



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

**MARIA TELMA DE AQUINO RODRIGUES**

**IMPACTO DA DISTÂNCIA DE ÁRVORES DE SABIÁ (*Mimosa  
caesalpinifolia* Benth.) NA *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster EM  
SISTEMA SILVIPASTORIL**

**RECIFE  
2025**

**MARIA TELMA DE AQUINO RODRIGUES**

**IMPACTO DA DISTÂNCIA DE ÁRVORES DE SABIÁ (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) NA *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster EM SISTEMA SILVIPASTORIL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Área de concentração: Zootecnia

Orientador: Prof. Dr. Valdson José da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Márcio Vieira da Cunha.

**RECIFE  
2025**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

R696i

Rodrigues, Maria Telma de Aquino.

Impacto da distância de árvores de Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia Benth.*) NA *Urochloa decumbens (Stapf)* R.D. Webster em sistema silvipastoril / Maria Telma de Aquino Rodrigues. – Recife, 2025.

60 f.

Orientador(a): Valdson José da Silva.

Co-orientador(a): Márcio Vieira da Cunha.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências e apêndice(s).

1. *Sabiá (Árvore) - Sombreamento.* 2. *Sabiá (Árvore) - Sustentabilidade.* 3. *Fornagem.* 4. *Densidade populacional* I. Silva, Valdson José da, orient. II. Cunha, Márcio Vieira da, coorient. III. Título

CDD 636



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

**IMPACTO DA DISTÂNCIA DE ÁRVORES DE SABIÁ (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) NA *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster EM SISTEMA SILVIPASTORIL**

Dissertação elaborada por

MARIA TELMA DE AQUINO RODRIGUES

Aprovada em 21.02.2025

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

VALDSON JOSE DA SILVA

Data: 26/02/2025 09:49:39-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Valdson José da Silva  
Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE  
Departamento de Zootecnia (Orientador)



Documento assinado digitalmente

ALEXANDRE CARNEIRO LEAO DE MELLO

Data: 24/02/2025 17:36:03-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Alexandre Carneiro Leão de Mello  
Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE  
Departamento de Zootecnia

---

Profa. Dra. Liliane Severino da Silva Clemson  
University  
Department of Animal and Veterinary Sciences

## **BIOGRAFIA DA AUTORA**

Maria Telma de Aquino Rodrigues, filha de Maria Rodrigues da Silva e Manoel Aquino da Silva, nasceu em Piranhas, Alagoas, em 8 de fevereiro de 1997. Concluiu o Ensino Médio integrado ao curso técnico em Agroecologia pelo Instituto Federal de Alagoas (IFAL). Em 2017, iniciou o bacharelado em Zootecnia pela Universidade Estadual de Alagoas (UNEAL), onde realizou atividades em projetos de pesquisa e extensão. Em março de 2023, concluiu a graduação em Zootecnia e, no mesmo mês, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), com área de concentração em Zootecnia, na linha de pesquisa de Produção, Avaliação e Conservação de Plantas Forrageiras e Pastagens, sob orientação do Prof. Dr. Valdson José da Silva. Submeteu-se à defesa da dissertação para obtenção do título de Mestre em Zootecnia no dia 21 de fevereiro de 2024.

Dedico esta dissertação aos meus pais, Maria Rodrigues da Silva e Manoel Aquino da Silva, por todo o amor e apoio incondicional ao longo de cada etapa da minha vida; à minha namorada, Juliana Medeiros de Santana, e ao Prof. Dr. Valdson José da Silva, pela orientação e motivação indispensáveis durante todo este trajeto acadêmico.

## AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, por me conceder o dom da vida, paz, saúde, conhecimento e força para poder ir em busca dos meus sonhos. Toda honra e glória a Ti, Senhor!

Aos meus pais, Maria Rodrigues da Silva e Manoel Aquino da Silva, pela base moral e amorosa na minha construção pessoal. Vocês sempre desejaram o melhor para mim e foram espelhos de conduta.

À minha namorada, Juliana Medeiros de Santana, minha maior incentivadora e parceira de todas as horas. Aos meus irmãos, Maria do Socorro, Maria de Lourdes e José Augusto, por todo carinho, amor e incentivo ao longo da minha caminhada. Vocês foram fundamentais em todo esse processo, pois nunca duvidaram da minha capacidade, acreditaram sempre e me fizeram forte em momentos de dificuldades.

Ao Prof. Dr. Valdson José da Silva, meu orientador, pela dedicação, paciência e incentivo essenciais ao longo deste percurso acadêmico. Sua experiência e conhecimento foram vitais para a realização deste trabalho.

Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Márcio Vieira e Profa. Dra. Mércia Virginia Ferreira dos Santos, pela orientação, disponibilidade e apoio nas decisões a serem tomadas durante a realização do nosso trabalho.

Aos meus amigos da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em especial José Lypton Izidro, Maria Aline Mota, Rita Manso, sem a ajuda de todos vocês, não seria possível a conclusão deste trabalho. Aos meus colegas, Rircado Soriano, João Marcelino Neto, Jessíka Cassiane, Aline Pereira, Matheus de Lima, Daniel Bezerra, José Roberto Gomes, Lethycia Helena Oliveira, Maria Vitória Gomes, Adrielle Carneiro, Elton Francisco e Maria Nágila Costa, pela parceria e apoio durante toda a jornada acadêmica. Vocês tornaram este percurso mais leve e enriquecedor. Sem a ajuda de todos, vocês não seria possível a conclusão deste trabalho.

A todos os professores e funcionários da UFRPE, pela dedicação e pelo ambiente acadêmico acolhedor.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade de realizar o Mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual não seria possível a realização deste curso. À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pelo financiamento do projeto de pesquisa.

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

Aos profissionais da Fazenda Experimental da UFRPE em Garanhuns: Paulo Sérgio,

Esmeraldo, Marquinhos, Rodrigo, Renato e Juscélio. Sou muito grata a todos vocês por cada palavra de apoio, incentivo, amizade e disponibilidade e prontidão em sempre estarem aptos a ajudar nas atividades desta pesquisa. Aos responsáveis técnicos da Fazenda Experimental: José Luiz e Dr. Nivaldo, por todo apoio.

Aos laboratórios de forragicultura, pela oportunidade de realização das análises. Aos técnicos laboratoriais Carlos e Vanessa, pela ajuda indispensável no preparo de soluções e análises.

À banca examinadora, pelo aceite do convite em participar e pelas valiosas contribuições.

"A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original" - Albert Einstein.

## RESUMO

O uso de sistemas silvipastoris (SSPs) proporciona diversos benefícios ecossistêmicos e desempenha um papel fundamental no alcance das metas de desenvolvimento sustentável no Brasil. Além disso, os SSPs contribuem para a redução da emissão de gases de efeito estufa na pecuária, ajudando a mitigar os impactos das mudanças climáticas. O objetivo deste trabalho foi avaliar e explicar o impacto da distância de árvores de sabiá em SSP na umidade do solo, nitrogênio total, massa de forragem, características morfológicas e estruturais da *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster em SSP após sete anos de estabelecimento do componente arbóreo. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Prof. Antônio de Pádua Maranhão Fernandes, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), no município de Garanhuns - PE. Os tratamentos foram distribuídos em um delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, e consistiram em cinco diferentes distâncias (2,5, 5, 7,5, 10, 12,5 m) da leguminosa arbórea nativa sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) em SSP e o tratamento controle correspondente monocultivo de *Urochloa decumbens*. As avaliações foram realizadas a cada 21 dias durante um ano (2023-2024). As seguintes variáveis foram avaliadas: altura do dossel, densidade populacional de perfilhos, peso médio de perfilhos, densidade de forragem, massa de forragem, altura do meristema apical, relação folha:colmo, proporção de folha, colmo e material senescente, umidade do solo, índice SPAD e concentração de nitrogênio. Os dados foram analisados utilizando o SAS OnDemand for Academics. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, onde os períodos (seco e chuvoso) foram considerados como parcelas principais, e os tratamentos foram alocados na subparcela. A massa e a densidade de forragem apresentaram efeito quadrático, sendo superiores no SSP a 7,5 m da linha das árvores em relação ao monocultivo. A massa de forragem, nessa distância, apresentou média de 4.213 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto, no monocultivo, foi de 3.819 kg ha<sup>-1</sup>. Já a densidade de forragem foi de 235 cm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> a 7,5 m da linha das árvores, e, no monocultivo, foi de 137 cm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. A densidade populacional de perfilhos também variou de forma quadrática com as distâncias em relação às árvores, apresentando um aumento até 10 m, atingindo o máximo de 244 perfilhos m<sup>2</sup>. Além disso, a proporção de material senescente no SSP foi menor nas distâncias de 2,5 m e 5,0 m em comparação ao monocultivo. A umidade do solo não apresentou diferenças significativas entre as distâncias das árvores e o monocultivo. O teor de nitrogênio na *U. decumbens* foi maior no SSP a 2,5 m e 5,0 m em relação ao monocultivo. O SSP avaliado, composto por filas duplas de sabiá com densidade de 600 árvores ha<sup>-1</sup> após sete anos de estabelecimento, influenciou a estrutura do pasto de *U. decumbens* até a distância de 5,0 m das árvores. Houve um incremento do nitrogênio total na forragem até distância 5 m, sugerindo a necessidade de reposição de nutrientes a partir de 5,0 m para garantir a persistência da *U. decumbens* no SSP. A redução na massa de forragem e densidade populacional de perfilhos nas áreas mais próximas da sabiá indicam a necessidade de adoção de taxa de lotação reduzida no SSP em comparação ao monocultivo.

**Palavras-chaves:** Sombreamento, sustentabilidade, massa de forragem, densidade populacional de perfilhos

## ABSTRACT

The use of silvopastoral systems (SPS) provides various ecosystem benefits and plays a crucial role in achieving sustainable development goals in Brazil. Additionally, SPS contributes to reducing greenhouse gas emissions in livestock farming, helping mitigate the impacts of climate change. This study aimed to evaluate and explain the impact of the distance from *sabiá* trees in SPS on soil moisture, total nitrogen, forage mass, and the morphological and structural characteristics of *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster in an SPS after seven years of tree establishment. The experiment was conducted at the Experimental Farm Prof. Antônio de Pádua Maranhão Fernandes of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE) in Garanhuns, PE, Brazil. The treatments were arranged in a randomized block design with three replications and consisted of five different distances (2.5, 5.0, 7.5, 10.0, and 12.5 m) from the native leguminous tree *sabiá* (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.) in an SPS, with a corresponding monoculture of *Urochloa decumbens* as a control treatment. Evaluations were conducted every 21 days over one year (2023-2024). The following variables were assessed: canopy height, tiller population density, average tiller weight, forage density, forage mass, apical meristem height, leaf-to-stem ratio, leaf, stem, and senescent material proportions, soil moisture, SPAD index, and nitrogen concentration. Data were analyzed using SAS OnDemand for Academics. The experimental design included a randomized block design with split plots, where the seasons (dry and rainy) were considered the main plots, and treatments were assigned to the subplots. Forage mass and forage density showed a quadratic effect, being higher in the SPS at 7.5 m from the tree rows compared to the monoculture. At this distance, forage mass averaged 4,213 kg ha<sup>-1</sup>, while in the monoculture, it was 3,819 kg ha<sup>-1</sup>. Forage density was 235 cm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> at 7.5 m from the tree rows, whereas in the monoculture, it was 137 cm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. Tiller population density also exhibited a quadratic variation with distance from the trees, increasing up to 10 m and reaching a peak of 244 tillers m<sup>2</sup>. Additionally, the proportion of senescent material in the SPS was lower at 2.5 m and 5.0 m compared to the monoculture. Soil moisture did not show significant differences between tree distances and monoculture. However, nitrogen content in *U. decumbens* was higher at 2.5 m and 5.0 m in the SPS compared to the monoculture. The evaluated SPS, composed of double rows of *sabiá* trees at a density of 600 trees ha<sup>-1</sup> after seven years of establishment, influenced the pasture structure of *U. decumbens* up to a distance of 5.0 m from the trees. There was an increase in total nitrogen in the forage up to 5.0 m, suggesting the need for nutrient replenishment beyond this distance to ensure the persistence of *U. decumbens* in the SPS. The reduction in forage mass and tiller population density in areas closer to *sabiá* trees indicates the need for a lower stocking rate in the SPS compared to the monoculture.

**Keywords:** Shading, sustainability, forage mass, tiller population density

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Efeito das distâncias das árvores de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) em sistema silvipastoril vs. monocultivo nas características estruturais e produtivas de *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster em Garanhuns, Pernambuco, Brasil.....35
- Tabela 2.** Efeito do período do ano nas características estruturais e produtivas de *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster em sistema silvipastoril e monocultivo em Garanhuns, Pernambuco, Brasil.....36
- Tabela 3.** Relação folha: colmo da *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster no estrato inferior (EI) e estrato superior (ES) em diferentes distâncias das árvores em sistema silvipastoril com sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) e em monocultivo em Garanhuns, Pernambuco, Brasil.....37
- Tabela 4.** Altura do meristema apical (AMA) e comprimento do perfilho estendido (CPE) da *Urochloa decumbens* em diferentes distâncias das árvores em sistema silvipastoril e em monocultivo em Garanhuns, Pernambuco, Brasil.....37
- Tabela 5.** Proporção dos componentes morfológicos total e nos estratos superior e inferior da *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster em diferentes distâncias das árvores de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) em sistema silvipastoril e em monocultivo em Garanhuns, Pernambuco, Brasil.....39
- Tabela 6.** Umidade do solo, Índice Soil Plant Analysis Development (SPAD) e teor de nitrogênio da *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster em diferentes distâncias das árvores em sistema silvipastoril e em monocultivo em Garanhuns, Pernambuco, Brasil..... 41

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Localização da área experimental na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Pernambuco Prof. Antônio de Pádua Maranhão no município de Garanhuns - PE. Fonte: Pessoa et al. (2024) .....29
- Figura 2.** Balanço hídrico sequencial do solo, precipitação e temperatura média (A), temperatura máxima e mínima (B) de outubro de 2023 a setembro de 2024, Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns - PE, Brasil.....30
- Figura 3.** Croqui e detalhamento das parcelas experimentais e projeção da sobra em relação a distâncias das árvores.....32
- Figura 4.** Efeito do período do ano na altura meristema apical e comprimento do perfilho de *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster no agreste de Pernambuco, Brasil. Médias seguidas por letras distintas nas barras diferem entre si pelo teste F ( $P \leq 0,05$ ). Barras verticais nas colunas representam o erro padrão da média (EPM). EPM = 1,25; 3,16. AMA: altura do meristema apical; AP: altura do perfilho estendido. ....38
- Figura 5.** Proporção dos constituintes morfológicos do estrato superior (A) e inferior (B) de *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster em diferentes sistemas de cultivo no agreste de Pernambuco, Brasil. Médias seguidas por letras distintas nas barras diferem entre si pelo teste F ( $P \leq 0,05$ ). Barras verticais nas colunas representam o erro padrão da média (EPM). EPM = 2,1; 4,2. ....40

## SUMÁRIO

<b>1.0 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2.0 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
<b>2.1 Importância dos sistemas silvipastoris para a sustentabilidade da atividade pecuária</b> .....	18
<b>2.2 Sistemas silvipastoris no Nordeste brasileiro</b> .....	21
<b>2.3 Impacto do sombreamento no estratoherbáceo</b> .....	24
<b>3.0 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	29
<b>3.1 Descrição do local</b> .....	29
<b>3.2 Delineamento experimental</b> .....	31
<b>3.3 Manejo da área</b> .....	33
<b>3.4 Variáveis mensuradas</b> .....	33
<b>3.5 Análise estatística</b> .....	34
<b>4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	35
<b>4.1 Resultados</b> .....	35
<b>4.2 Discussão</b> .....	41
<b>5.0 CONCLUSÕES</b> .....	49
<b>6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	50
<b>APÊNDICES</b> .....	60

## 1.0 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o setor pecuário tem sido desafiado a aumentar a produção de proteína animal enquanto adota sistemas mais sustentáveis (NETO et al., 2023). A adoção de sistemas integrados, como os sistemas silvipastoris (SSPs), destacam como alternativas viáveis para melhorar a sustentabilidade da pecuária e contribuir para que o Brasil alcance os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ALMEIDA et al., 2014).

Os SSPs combinam árvores, pastagens e animais, contribuindo para melhorar a oferta de diversos benefícios ecossistêmicos, como o aumento da fertilidade do solo (LIMA et al., 2018), melhoria do conforto térmico (ANJOS et al., 2021; MARTIN et al., 2022), desempenho animal (SILVA et al., 2021a), fixação biológica de nitrogênio quando conta com a presença de leguminosas (APOLINÁRIO et al., 2015), sequestro de carbono (HOOSBEEK et al., 2018), conservação da biodiversidade (SIMIONI et al., 2022) e redução de gases de efeito estufa (FROTA et al., 2017). Ao integrar árvores e pastagens, a mesma área pode gerar, simultaneamente, produtos como carne, leite e madeira, agregando valor econômico (CARVALHO et al., 2018; BERNARDY et al., 2022; ORTIZ TIMOTEO et al., 2023), otimizando a utilização de recursos naturais e uso da terra.

O sucesso dos SSPs depende de uma combinação estratégica de fatores, incluindo a escolha da espécie forrageira e do componente arbóreo, bem como o arranjo espacial e densidade de árvores no sistema que permita uma boa produtividade e persistência da planta forrageira (LIMA et al., 2019; BENTO et al., 2020; SILVA et al., 2021b; CARVALHO et al., 2022a). Entre as espécies forrageiras, a gramínea *Urochloa decumbens* Stapf R. Webster (syn. *Brachiaria decumbens* Stapf.) destaca-se por sua moderada tolerância ao sombreamento natural (LOPES et al., 2017; LIMA et al., 2019), apresentando o bom nível de adaptação às condições edafoclimáticas de grande parte das áreas destinadas à exploração pecuária no Brasil, incluído áreas com solos com níveis baixos de fertilidade e ácidos (PACIULLO et al., 2007).

A leguminosa arbórea sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.) é uma espécie nativa da região Nordeste do Brasil que tem apresentado um bom potencial para utilização SSPs (APOLINÁRIO et al. 2016; COSTA et al., 2016; SANTOS et al., 2020; HERRERA et al., 2020; SILVA et al., 2021b; IZIDRO et al., 2024a) devido ao seu rápido crescimento e ao elevado teor de proteína bruta nas folhas (SANTOS et al., 2020; HERRERA et al., 2021). Além disso, apresenta boa tolerância a diferentes condições de solo (compactação, aridez e salinidade) (COSTA et al., 2021) e elevado potencial comercial para produção de madeira e estacas

(APOLINÁRIO et al., 2016).

Apesar dos benefícios, a presença de árvores nos SSPs pode resultar na diminuição na quantidade e na qualidade de radiação solar que chega no dossel no estrato herbáceo (LIMA et al., 2019), e o impacto tende a aumentar ao longo do tempo devido ao crescimento e ao desenvolvimento do componente arbóreo, por causa do aumento da copa da árvore e da projeção da sua sombra no sistema. O sombreamento proporcionado pelo componente arbóreo pode resultar em alterações na morfologia, fisiologia e produtividade das plantas (NASCIMENTO et al., 2019; GOMES et al., 2020; SILVA et al., 2021b), incluindo o alongamento de colmo, o aumento do teor de clorofila e a redução da densidade de perfilhos e da taxa fotossintética, o que pode levar à redução da massa de forragem do estrato herbáceo e ao desempenho animal (PACIULLO et al., 2007; GÓMEZ et al., 2013; SANTOS et al., 2016; SANTOS et al., 2020; SILVA et al., 2021a). A presença das árvores em SSPs pode, além de reduzir a radiação solar, diminuir a velocidade do vento e a temperatura nas áreas próximas, contribuindo para a menor evapotranspiração e a maior umidade do solo (PEZZOPANE et al., 2015). Entretanto, a competição das plantas por recursos como luz, água e nutrientes em SSPs podem variar ao longo do tempo em virtude do desenvolvimento do componente arbóreo, apresentando alta demanda por água, o que pode reduzir a umidade do solo em áreas próximas à copa das árvores.

Paciullo et al. (2011) avaliaram a massa de forragem em diferentes distâncias (0, 3, 6, 9, 12 e 15 m) dos pontos de observação da pastagem de *U. decumbens* em relação ao renque de árvores em sistema silvipastoril com a presença de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Acacia mangium* Willd, dispostas no sentido norte-sul, com alturas médias de 21,7 m e 14,2 m, respectivamente. Os autores observaram que a massa de forragem aumentou com o distanciamento das árvores em função da diminuição do sombreamento.

O distanciamento das árvores também pode afetar a umidade solo. Lima et al. (2018), avaliando atributos do solo em SSPs, composto por leguminosas sabiá, ou gliricídia (*Gliricidia sepium* Jacq) com quatro anos, e por *urochloa decumbensem*, reportaram menores valores de umidade do solo em pontos de coletas mais próximos a fileiras de leguminosas e maior teor de umidade à medida que os pontos se distanciavam das árvores. Em SSP composto por leguminosas (sabiá e gliricídia), com densidade de 2500 árvores ha<sup>-1</sup> e com espaçamento de 15 m entre filas duplas das árvores com árvores, com idade entre cinco e seis anos, foi reportada diminuição de 37% na massa de forragem verde da *Urochloa decumbens* em SSP- sabiá (SILVA et al., 2021b). Izidro et al. (2024b), avaliando massa de forragem em SSP e em monocultivo composto por *U. decumbens* e sabiá com densidade de 600 árvores ha<sup>-1</sup> e espaçamento de 25m entre filas duplas das árvores com árvores na idade entre quatro e cinco

anos, reportaram que o sistema de cultivo não afetou a massa de forragem média da *U. decumbens*.

Nesse sentido, a hipótese do presente trabalho é que, em SSPs, após sete anos de estabelecimento das árvores de sabiá, ocorre redução da massa de forragem com a proximidade das linhas de árvores devido ao sombreamento e à redução da umidade do solo em função da presença das árvores, contudo, a redução é compensada a partir de mudanças no teor de nitrogênio da gramínea e nas características morfológicas e estruturais do dossel com o distanciamento linha das árvores. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar e explicar o impacto da distância de árvores de sabiá em SSP na umidade do solo, no teor de nitrogênio, na massa de forragem e nas características morfológicas e estruturais da *U. decumbens* em sistema silvipastoril após sete anos de estabelecimento do componente arbóreo.

## **2.0 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Importância dos sistemas silvipastoris para a sustentabilidade da atividade pecuária**

Os sistemas silvipastoris (SSPs) são uma modalidade de sistemas agroflorestais que combinam árvores, espécies forrageiras e animais na mesma área (HERRERA et al., 2021; CARVALHO et al., 2022), sendo considerados uma opção sustentável para a produção pecuária, pois tem potencial de otimizar o uso de recursos naturais, aumentar a produtividade de forma sustentável e promover a conservação da biodiversidade (ARAÚJO et al., 2017; LOPEZ-HERNANDEZ et al., 2023). Pesquisas têm destacado as vantagens dos SSPs em relação aos convencionais, incluindo uma maior eficiência na ciclagem de nutrientes (MAIA et al., 2021; BANSAL et al., 2022; PESSOA et al., 2024), a possibilidade de obter múltiplos produtos por área cultivada (CARVALHO et al., 2018), as melhorias nas características do solo (BANSAL et al., 2022; SIMÕES et al., 2023) e a redução da necessidade de fertilizantes (ALVES et al., 2019). Piroli e Piroli (2018) indicaram que o consórcio entre diferentes espécies diminui os riscos de investimento em uma única cultura, mesmo sendo uma atividade mais complexa em relação aos sistemas convencionais, demandando, com isso, mais tempo. De acordo com Osewold et al. (2022), as árvores utilizadas nestes sistemas podem fornecer múltiplas funções ecológicas e econômicas.

O componente arbóreo é um elemento-chave na resiliência ecológica e na provisão de múltiplos serviços ecossistêmicos em SSPs (TORRES et al., 2024). Segundo Montagnini et al. (2022), a presença de espécies arbóreas em SSPs pode contribuir para a retenção de nutrientes, redução da erosão e melhoria da qualidade do solo. As mudanças no uso da terra com o uso de SSPs podem alterar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, elevando produtividade pecuária e a sustentabilidade destes sistemas a longo prazo (TORRES et al., 2024). Silva-Olaya et al. (2022), avaliando SSPs na Amazônia, relataram que a utilização de SSPs durante 15 anos e o manejo da terra nestes sistemas aumentaram a fertilidade química (macro e micronutrientes) e reduziram a acidez do solo. Os autores também reportaram o aumento da atividade biológica, favorecendo a mitigação de processos de degradação física do solo.

As árvores podem explorar camadas mais profundas do solo quando comparadas ao sistema radicular de culturas anuais e de forrageiras. Isso pode contribuir para que nutrientes depositados em camadas mais profundas sejam disponibilizados a partir da deposição e da decomposição da serapilheira na superfície do solo, contribuindo para a formação da matéria

orgânica do solo (SOUZA et al., 2021). A ciclagem de nutrientes é um dos processos mais importantes dentro dos ecossistemas, e o acúmulo de serrapilheira constitui-se em um dos componentes-chaves deste processo, uma vez que é por meio do seu depósito e de sua decomposição sobre o solo que os nutrientes minerais retornarão às plantas e reiniciarão o ciclo (SILVA et al., 2023). A contínua deposição de serrapilheira (folhas, ramos, estruturas reprodutivas e miscelânea) e a cobertura do solo, associadas a extensos sistemas radiculares em SSPs, contribuem para os aumentos nas concentrações de carbono e nitrogênio orgânico do solo (CHEN et al., 2017; ABREU et al., 2020). A renovação das raízes nas camadas mais profundas do solo e a liberação de exsudatos vegetais também auxiliam no aumento do armazenamento de carbono em SSP (ABREU et al., 2020; MORALES RUIZ et al., 2021). Estes eventos acarretam a melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo (CAMELO et al., 2021; SCHUMACHER et al. 2018).

Santos et al. (2024), estudando que a distância das leguminosas arbóreas, sabiá ou gliricídia, em SSPs, modifica a serrapilheira em pastagens compostas por gramíneas, reportaram que, para a leguminosa sabiá, as maiores deposição de serrapilheira foram registradas próximo à copa das árvores, com média de 1021 kg de matéria orgânica (MO) por hectare ( $\text{ha}^{-1}$ ), sendo a menor média observada na distância 7,5 m das fileiras das árvores. A deposição de serrapilheira foi maior nos meses que compreendem a época seca, sendo observada deposição total, em novembro, de 1704 kg OM  $\text{ha}^{-1}$ . Já para a leguminosa gliricídia, a deposição foi bastante uniforme nas distâncias das fileiras árvores e, no mês de novembro, a deposição foi de 1000 kg OM/ $\text{ha}^{-1}$ . Pessoa et al. (2024), trabalhando com deposição e decomposição de serrapilheira em SSP, compostas pela gramínea *Urochloa decumbens* e pela leguminosa tropical sabiá, relataram uma baixa deposição anual de serrapilheira, apresentando 18.615; 9.445 e 4.290 kg  $\text{ha}^{-1}$  entre a fileira dupla, a 2 m e a 3 m, respectivamente.

A utilização de leguminosas como componente arbóreo em SSPs com gramíneas vem sendo recomendada como uma alternativa interessante devido ao potencial de fixação biológica de nitrogênio (N) e incorporação natural de N no solo por meio da decomposição de serrapilheira, raízes e nódulos, o que contribui para a redução da dependência de uso de fertilizantes nitrogenados, potencialmente reduzindo os custos de produção do sistema de produção (FIGUEIREDO et al., 2023; NIZA COSTA et al., 2023; RAWAL et al., 2023; MONTEIRO et al., 2024).

Atualmente, o Brasil ocupa a quarta posição mundial, com cerca de 8% do consumo global de fertilizantes, sendo o potássio o principal nutriente utilizado pelos produtores nacionais 38%. E, na sequência, aparecem o fósforo, com 33% do consumo total de fertilizantes,

e o nitrogênio, com 29% (BRASIL, 2022). Segundo os dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2022), mais de 85% dos fertilizantes utilizados no país são importados, evidenciando um elevado nível de dependência. Como estratégia para reduzir a dependência do Brasil das importações de fertilizantes, o governo federal lançou o Plano Nacional de Fertilizantes (PNF), com objetivo de reduzir a dependência externa (BRASIL, 2022). Nesse sentido, a utilização de leguminosas em SSPs pode ser uma opção interessante em virtude do potencial de fixação biológica de N e incorporação natural de N no solo por meio da decomposição de serrapilheira, raízes e nódulos. Os animais também têm participação importante nestes sistemas por causa da deposição de fezes e urina, contribuindo para uma diminuição da dependência do país de uso de fertilizantes nitrogenados, potencialmente cooperando para a redução de custos de produção do sistema de produção (NIZA COSTA et al., 2023; RAWAL et al., 2023).

Lira Jr. et al. (2020) avaliaram SSPs, no Nordeste do Brasil, utilizando *Urochloa decumbens* consorciado com fileiras duplas de sabiá ou gliricídia, além do monocultivo da *U. decumbens*. Observou-se aumento nos estoques de N no solo em diferentes distâncias das árvores (0, 4 e 8 m), com valores de 5,7 Mg ha<sup>-1</sup> no SSP com sabiá e 6,4 Mg ha<sup>-1</sup> no SSP com gliricídia na camada de 0-10 cm. No SSP com sabiá, os estoques de N triplicaram em relação aos níveis iniciais, atingindo 3,4 Mg ha<sup>-1</sup> a 40 cm e 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> a 60 cm de profundidade. Pessoa et al. (2025), trabalhando com SSP no Nordeste do Brasil, composto pela leguminosa sabiá e pela gramínea *Urochloa decumbens*, verificaram que, na camada de 0-10 cm, a concentração e o estoque de N foram de 1,52 g kg<sup>-1</sup> e 1,99 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Já na camada de 10-20 cm, a concentração e o estoque de N foram de 1,27 g kg<sup>-1</sup> e 1,64 Mg ha<sup>-1</sup> respectivamente, enquanto, na camada de 20-40 cm, a concentração e o estoque de N foram de 1,03 g kg<sup>-1</sup> e 2,69 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Nos últimos anos, ocorreram aumentos significativos na emissão de CO<sub>2</sub> (C) para atmosfera, causando impactos nas mudanças climáticas, (PESSOA et al., 2024). Durante as últimas décadas, foi dada maior atenção aos efeitos das mudanças ambientais sobre o clima (ONU, 2020). O Brasil assumiu compromissos climáticos na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP 29), realizada em 2024 na cidade de Baku, Azerbaijão, enviando novas contribuições nacionalmente determinadas, dispendo a reduzir suas emissões líquidas totais de gases de efeito estufa (GEE) em 67% até 2035 em relação a 2005 (BRASIL, 2024). O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o gás de efeito estufa com maior concentração na atmosfera, contribuindo significativamente para o aquecimento global (VITAL, 2018). Devido à sua capacidade de permanecer por longos períodos na atmosfera, o CO<sub>2</sub> intensifica o efeito

estufa, causando impactos climáticos globais (SANTOS, 2024). Nesse contexto, os SSPs podem atuar como sumidouros de carbono (C) em virtude do armazenamento de grandes quantidades de C na biomassa arbórea, nas gramíneas e no solo (MONTAGNINI et al., 2013; MCGRODDY et al., 2015; SILVA et al., 2019; LIRA JR. et al., 2020). Junior (2021), estudando a qualidade física do solo e o estoque de carbono em diferentes SSPs e sistema de monocultivo, utilizando as espécies *Khaya ivorenses* A. Chev, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Eucalyptus urograndis*, *Acacia mangium* Willd, *Gliricidia sepium* Jacq e gramínea *Panicum maximum* Jacq, verificou que houve maior incremento médio anual de C nos SSPs em comparação ao sistema produtivo de gramínea em monocultivo. Nesse sentido, os SSPs podem contribuir para a captura, armazenamento de carbono e mitigação do efeito estufa, já que, a cada ano, 120 Gt de C são trocados entre a atmosfera terrestre e a vegetação (CHEBLI et al., 2021).

Lira Jr. et al. (2020) avaliaram SSPs, utilizando *Urochloa decumbens* consorciado com fileiras duplas de sabiá ou gliricídia, além do monocultivo da *U. decumbens*, observando que o SSP com as leguminosas arbóreas apresentou potencial para aumentar o estoque de C no solo, mesmo após quatro anos de implantação. Os solos com sabiá e gliricídia apresentaram elevados aumentos nos estoques de C entre dois e quatro anos de análise, nas distâncias de 0,4 e 8 m das fileiras das leguminosas, a gliricídia apresentou média para os estoques de C na camada superficial do solo (0-10 cm) de 41, 42 e 39 Mg ha<sup>-1</sup> para as distâncias (0,4 e 8), respectivamente. Já para o consórcio da *U. decumbens* com a sabiá, as médias para os estoques de C nas distâncias de 0,4 e 8 m foram de 42, 38 e 38 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, na camada superficial do solo (0-10 cm).

## 2.2 Sistemas silvipastoris no Nordeste brasileiro

A região Nordeste do Brasil abrange uma área de 1.558.000 km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 74% estão inseridos no semiárido. Aproximadamente, 55% da região é coberta pela vegetação típica da caatinga (SOUZA et al., 2024). Em 2017, o Nordeste possuía 15,71 milhões de hectares ocupados por pastagens, sendo 12,11 milhões de hectares de pastagens naturais (IBGE, 2017). Predominam na região as pastagens nativas, especialmente nas áreas do bioma caatinga, compostas por espécies vegetais adaptadas ao ambiente, organizadas em três estratos distintos: herbáceo, arbustivo e arbóreo, variando em altura e porte (BARROS et al., 2024). A caatinga é um bioma com oito ecorregiões, onde a presença de árvores e arbustos caracteriza pelo menos metade desses ambientes. Este bioma está associado a baixos índices de precipitação. Períodos prolongados de seca e altas temperaturas,

degradação dos solos, desmatamento e queimadas têm aumentado as áreas suscetíveis à desertificação, comprometendo a sustentabilidade ambiental. A desertificação afeta flora, fauna e solo, mas também aspectos econômicos, sociais e culturais, levando à redução de recursos naturais, à diminuição da produção agrícola e ao êxodo rural (ALMEIDA et al., 2014).

Os SSPs apresentam-se como uma solução importante para conservação dos recursos naturais no Nordeste, contribuindo para a diversificação da renda rural, aumento da produtividade pecuária e mitigação dos gases de efeito estufa (GEEs). Além disso, estes sistemas promovem melhorias nas pastagens de baixo índice produtivo e no bem-estar animal, oferecendo conforto térmico por meio da sombra proporcionada pelas árvores (MATOS, 2010; SILVA, 2017; AMENDOLA et al., 2018; ARAÚJO et al., 2018; GIRO et al., 2019; TEIXEIRA, 2023; TEODORO et al., 2024).

O delineamento de SSPs para a região deve priorizar na escolha de componentes arbóreos, pastagens e animais, espécies adaptadas às características dos agroecossistemas locais (BENTO et al., 2020). As espécies herbáceas utilizadas nos SSPs desempenham um papel fundamental, pois precisam apresentar considerável tolerância à sombra, alto rendimento e persistência. Entre as espécies forrageiras, destaca-se a *Urochloa decumbens* (Stapf) R.Webster, por sua ampla adaptação às condições edafoclimáticas das áreas de exploração pecuária no Brasil. Esta espécie é amplamente utilizada devido à sua resistência a solos de baixa fertilidade e acidez, além de seu bom desempenho em SSPs, demonstrando adaptação a condições moderadas de sombreamento. Seu metabolismo fotossintético C4 contribui para um crescimento rápido e eficiente na assimilação de CO<sub>2</sub> (PACIULLO et al., 2014; COSTA et al., 2016; PACIULLO et al., 2017; LIMA et al., 2021).

Estudos realizados na região Nordeste reforçam a viabilidade da *U. decumbens* em SSPs. Silva et al., (2021b) avaliaram a dinâmica da vegetação herbácea da *U. decumbens* em SSPs com sabiá ou gliricídia, com espaçamento de 15 m entre filas duplas de árvores com densidade de 2.500 árvores ha<sup>-1</sup>. Os autores observaram que a taxa de acúmulo de forragem da *U. decumbens*, em consórcio com gliricídia, foi maior (55 kg MS ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>) do que com o sabiá (32 kg MS ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>), e que a *U. decumbens* avançou mais rápido e teve melhor valor nutritivo quando cresceu sob gliricídia em comparação com o SSP de sabiá. Oliveira Neto (2022) avaliou as características produtivas de *U. decumbens* e sabiá em SSPs e monocultivo, com espaçamento entre linhas de árvores de 25 m entre filas duplas, com densidade arbórea de 600 plantas ha<sup>-1</sup>. O autor não verificou diferenças na altura da gramínea, massa de forragem total e frações (lâmina foliar, colmo e material senescente) entre os sistemas. Izidro et al. (2024b)

avaliaram características estruturais e produtivas de *U. decumbens* em SSPs e monocultivo na mesma área experimental, porém, com árvores na idade entre quatro e cinco anos, e reportaram que as árvores não afetaram a densidade de forragem e a composição morfológica da forragem colhida (proporção de folhas, colmos, material senescente e relação folha colmo).

Nas últimas duas décadas, a sabiá tem se destacado como uma das espécies arbóreas com maior potencial para uso em SSPs no Nordeste do Brasil. Esta leguminosa é nativa da região Nordeste do Brasil e uma espécie que se destaca pela produção de madeira de alta qualidade em curto intervalo de tempo, capacidade de fixação de N e adaptação às diversas condições do Nordeste brasileiro, sendo capaz de fornecer forragem e produzir madeira, apresentando ainda alto teor de proteína bruta em suas folhas (COSTA et al. 2016; SANTOS et al., 2019; SANTOS et al. 2020; HERRERA et al. 2021; SILVA et al. 2021b; CARVALHO et al. 2022; PESSOA et al, 2024; IZIDRO et al., 2024).

Herrera et al. (2021) estudaram o potencial de gliricídia e sabiá em SSPs com *U. decumbens*. A sabiá apresentou altura de 6,0 m, diâmetro à altura do peito de 6,3 cm e diâmetro basal de 7,6 cm, além disso, maior volume de árvores comparado à gliricídia. Houve também maior incorporação de nutrientes foliares no solo no SSP com sabiá. Os autores relataram que a sabiá produziu madeira com alto valor comercial e possui maior potencial para diversificar a renda do produtor por meio da produção de madeira comercializável em SSPs. Carvalho et al., (2022b) avaliaram o crescimento inicial e a sobrevivência de *Eucalyptus* spp. e sabiá em SSPs e monocultivo do componente arbóreo. A sabiá apresentou maior taxa de sobrevivência (89,0% no SSP e 90,6% no monocultivo) e crescimento superior ao *Eucalyptus*, independente do sistema de cultivo.

### 2.3 Impacto do sombreamento no estrato herbáceo

A fotossíntese é um processo fundamental para a vida vegetal e os ecossistemas globais, pois permite que as plantas convertam a energia solar em compostos orgânicos, principalmente carboidratos, essenciais para seu crescimento e metabolismo (KLUGE et al., 2015; CARRIL, 2011). A eficiência do processo, entretanto, depende da quantidade e da qualidade da luz que chega às plantas. Em SSPs, a presença do componente arbóreo tem potencial de modificar fatores do ambiente, como disponibilidade hídrica, temperatura e, sobretudo, quantidade e qualidade da luz incidente (OLIVEIRA et al., 2024), podendo impactar o crescimento, o desenvolvimento e a persistência do estrato herbáceo.

O estabelecimento de SSPs deve levar em consideração arranjos espaciais e densidades de árvores que permitam uma boa produtividade e persistência da planta forrageira (SILVA et al., 2021b; CARVALHO et al., 2022a; LIMA et al., 2019; BENTO et al., 2020). Dependendo do arranjo do SSP, o estrato herbáceo pode ser submetido a um intenso sombreamento, afetando a disponibilidade de luz, que, aliada à redução na qualidade, pode impactar, de forma negativa, as características morfológicas, fisiológicas, estruturais e produtivas do estrato herbáceo. Nesse sentido, é fundamental um bom planejamento para minimizar prejuízos à produção de forragem e, conseqüentemente, à produção animal.

Santos et al., (2016) avaliando acúmulo de massa seca de forragem e características estruturais da *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã em SSP, utilizando eucalipto urogranis (*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*) com espaçamento entre renques de 12 e 22 m, totalizando 417 e 715 árvores ha<sup>-1</sup>, respectivamente, reportaram que houve diminuição de 1,35% na massa de forragem para cada 1% de redução na radiação fotossinteticamente ativa (RFA), levando a uma diminuição de 42,8 kg ha<sup>-1</sup>, e recomendaram que o espaçamento entre fileiras de eucalipto fosse maior que 22 m a fim de reduzir o impacto na produtividade da espécie forrageira.

A presença da leguminosa arbórea sabiá, com espaçamento de 25 m entre filas duplas das árvores e com densidade de árvores 600 árvores ha<sup>-1</sup>, com dois anos após o estabelecimento do componente arbóreo, não afetou o acúmulo de forragem da *U. decumbens* em relação ao monocultivo da gramínea (CARVALHO et al., 2022a). O impacto do sombreamento sobre o estrato herbáceo, entretanto, tende a aumentar ao longo do tempo devido ao crescimento e ao desenvolvimento do componente arbóreo, com o aumento da copa da árvore e projeção da sua sombra no sistema. Lima et al., (2019) avaliaram a produtividade da *U. decumbens* em pleno sol e em SSPs com componente arbóreo, composto pelas espécies *Eucalyptus grandis* (Hill ex

Maiden), além das leguminosas arbóreas *Acacia mangium* (Willd) e *Mimosa artemisiana* (Her inger & R.M. King), plantadas no sentido norte-sul, com espaçamento entre fileira de árvores de 10 m. Os autores apontaram que, a partir do sétimo ano, houve redução progressiva da radiação fotossinteticamente ativa, e isso impactou negativamente as características produtivas da pastagem em SPS, e a massa total de forragem no sétimo ano foi reduzida em 19% no SPS em comparação com o cultivo em pelo sol. Lima et al. (2019) compararam o crescimento da *Urochloa decumbens* em pleno sol e em SSPs com sabiá e gliricídia, com espaçamento entre fileiras de 10 m, e reportaram que o sombreamento das árvores com seis e sete anos após o estabelecimento reduziu o acúmulo de forragem, onde o SSP teve redução de acúmulo de forragem de 53% em relação cultivo em pleno sol.

O efeito do sombreamento proporcionado pela inclusão de espécies arbustiva/arbórea no estrato herbáceo e o componente florestal podem levar ao alongamento foliar, ao maior alongamento de colmo, ao aumento do teor de clorofila e à redução da densidade de perfilhos e da taxa fotossintética, o que pode influenciar negativamente o acúmulo de forragem (PACIULLO et al., 2007; GÓMEZ et al., 2013; SANTOS et al., 2016; SANTOS et al., 2020; GOMES et al., 2020; SILVA et al., 2021).

Leal (2021) avaliou a densidade populacional de perfilhos de *Megathyrus maximus* (Jacq) em SSP com o componente arboreo *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e em pleno sol em duas distâncias da copa das árvores (1 m e 6 m). Foi observado que o sombreamento ocasionado pela copa das árvores influenciou negativamente a população de perfilhos, que, por sua vez, contribuiu para menores valores de índice de área foliar. Paciullo et al. (2007) avaliaram a densidade populacional de perfilhos em SSPs compostos pelas leguminosas arbóreas *Eucalyptus grandis*, *Acacia mangium*, *Mimosa artemisiana* e a arbustiva *Leucaena leucocephala* x *L. diversifolia*) e espaçamento entre fileiras de árvore de 15 m e em pleno sol. Foi observado maior densidade populacional de perfilhos em pleno sol do que em SSP. Com maior nível de sombreamento, a planta emite menos perfilhos e, também, menos folhas, modificando aspectos estruturais e o dossel forrageiro, levando a mudanças na assimilação de carbono (SANTOS et al., 2016).

Em um estudo avaliando o efeito da copa das árvores sob a dinâmica da vegetação herbácea em um SSP com sabiá e gliricídia, Silva et al. (2021b) verificaram maior densidade de forragem na *U. decumbens* em monocultivo do que em sistemas consorciados com as leguminosas arbóreas. Os autores relataram que isso pode ter ocorrido devido à competição das árvores por água e luz com o estrato herbáceo. Lima et al. (2019) também observaram menores densidades totais de forragem em pastos de *U. decumbens* com diferentes componentes

arbóreos (*Eucalyptus grandis*, *Acacia mangium* e *Mimosa artemisiana*) e espaçamento entre filhérias de árvore de 10 m em comparação ao monocultivo. Densidades reduzidas de forragem podem impactar o tamanho do bocado, alterando o comportamento ingestivo no pasto. Nessa situação, os animais precisam realizar um número maior de bocados para alcançar a quantidade desejada de forragem (SANTOS et al., 2018). Isso pode comprometer o desempenho animal, pois a baixa densidade de forragem tende a levar os animais a gastarem mais tempo caminhando em busca de alimento (SALEMANI et al., 2013).

O conhecimento do impacto do sombreamento na composição morfológica é importante no planejamento de sistemas integrados e na definição de estratégias de manejo mais eficazes, considerando as respostas morfofisiológicas das plantas (LOPES et al., 2017). Além disso, é fundamental monitorar as variações nas proporções de folhas, colmos e material senescente, já que podem impactar o ajuste da lotação animal e otimizar o uso da pastagem, contribuindo para maior sustentabilidade ao sistema (BRAGA et al., 2020). Uma maior proporção de colmos em relação às folhas, por exemplo, dificulta a apreensão do alimento pelos animais. Adicionalmente, a taxa de crescimento das plantas forrageiras apresenta grande variação entre as estações do ano (PEDREIRA et al., 2017).

Um estudo foi realizado para avaliar as proporções de folha, colmo e material senescente de *Megathyrus maximus* cv. Mombaça em SSP composto por *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) com espaçamento de 12 m entre fileiras no sentido leste-oeste e em monocultivo com avaliações realizadas em duas distâncias das árvores (1 m e 6 m) (Rocha, 2021). Observou-se que a massa seca de folha na distância das árvores de 1 m, 6 m e no monocultivo foi de 91,40, 88,81 e 88,87%, respectivamente, já a massa seca de colmo apresentou média de 5,40, 6,71 e 7,44% para a distância das árvores de 1 m, 6 m e monocultivo, respectivamente. A massa seca de material senescente foi de 3,50, 4,68 e 4,48% para a distância das árvores de 1 m, 6 m e monocultivo, respectivamente. Em um estudo em SSP e monocultivo com sabiá com densidade de 600 árvores ha<sup>-1</sup> e espaçamento de 25 m entre filas duplas das árvores e com a espécie forrageira composta pela *U. decumbens*, verificou-se média para percentagem de folha em SSP de 24% e em o monocultivo; 23% para o colmo; apresentou de 18% para o SSP e, para o monocultivo, 17%. Material senescente demonstrou média 60 para o monocultivo e, para SSP, 57%. Os autores não viram diferença de sistema de cultivo para a composição morfológica (IZIDRO et al., 2024b).

A resposta das plantas à intensidade luminosa resulta de uma série de interações entre sinais ambientais e seus receptores específicos. Na fotossíntese, a luz é captada por pigmentos como clorofila e carotenóides, sendo que a eficiência do processo depende diretamente da

quantidade de energia luminosa disponível, até atingir o ponto de saturação da luz em uma folha específica (TAIZ et al., 2015).

Dentre as técnicas mais recentes com potencial para avaliar o estado de N da planta em tempo real, destaca-se a análise da intensidade do verde das folhas, pelo fato de haver correlação significativa entre a intensidade do verde e o teor de clorofila com a concentração de N na folha (GIL et al., 2002). A avaliação do verde da folha de forma rápida e com baixo custo tornou-se mais fácil com os recentes avanços e aperfeiçoamento dos medidores portáteis (BLACKMER et al., 1995; GUIMARÃES et al., 1999). Um destes medidores portáteis é o SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development), que apresenta facilidade de operação e permite avaliações *in situ*. O instrumento SPAD-502 avalia, quantitativamente, a intensidade do verde da folha, medindo as transmissões de luz a 650 nm, onde ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila, e a 940 nm, em que não ocorre absorção. Com estes dois valores, o equipamento calcula um número ou índice SPAD que, normalmente, é altamente correlacionado ao teor de clorofila da folha (MARKWELL et al., 1995; GUIMARÃES et al., 1999).

Lopes et al., (2017), avaliando a intensidade do verde da folha da *U. decumbens* submetido a níveis de sombreamento artificial, relataram um aumento nos valores de índice SPAD, onde o maior teor foi registrado nas condições de sombreamento intenso, sem diferenças em comparação à situação de pleno sol e sombreamento moderado. Em um estudo com *U. brizantha* cv. Marandu em SSP composto por árvores de Bolsa-de-pastor (*Zeyheria tuberculosa*) e monocultivo, verificou-se que houve maior concentração de clorofila a e b em SSP em relação ao monocultivo (SOUZA et al., 2023). Plantas que se desenvolvem em ambientes com menor radiação luminosa apresentam maior número de grana e estruturas compostas por pilhas de tilacoides membranosos contendo clorofila (SHAO et al., 2014; TAIZ et al., 2015). É possível que, nas plantas tropicais expostas a condições de alta luminosidade, a clorofila seja continuamente sintetizada e degradada por processos de foto-oxidação, fazendo com que os valores SPAD sejam menores em condições de pleno sol em relação ao sombreamento mais intenso devido à degradação acentuada, resultando em um equilíbrio que mantém níveis mais baixos de clorofila. Estes fatores contribuem para que folhas que crescem em ambientes sombreados apresentem concentrações de clorofila mais elevadas do que aquelas submetidas à luz solar direta (MALAVIYA et al., 2020).

O sombreamento pode modificar características químicas das plantas (PACIULO et al., 2011) e a presença de leguminosas em SSPs com leguminosas pode contribuir para o aumento do teor de nitrogênio N e, conseqüentemente, do teor de proteína bruta do estrato herbáceo. A presença de leguminosas arbóreas no SSP pode melhorar a fertilidade do solo por

meio da fixação de N e aumento da ciclagem de nutrientes nesse sistema via deposição e decomposição da serrapilheira (APOLINÁRIO et al., 2016). Em ambientes sombreados, o crescimento das plantas é reduzido, o que pode gerar um desequilíbrio na assimilação de carbono e N, já que a absorção de N pode exceder as necessidades metabólicas da planta (DALE et al., 1992).

Carvalho et al. (2002) avaliaram seis diferentes espécies de gramíneas submetidas a sol pleno e ao sombreamento arbóreo da leguminosa *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan e observaram maiores valores de N nas folhas das seis gramíneas, impactados pela presença das leguminosa. A concentração de compostos nitrogenados nas folhas varia em função da disponibilidade de nitrogênio. Em condições de alta luminosidade, o nitrogênio alocado na clorofila representa aproximadamente 15 a 20% do total de N presente na folha. Já em ambientes sombreados, esta concentração aumenta juntamente com os níveis de clorofila, podendo atingir cerca de 60% (EVANS 1989). Em outro estudo, Santos et al. (2024), avaliando N na *Urochloa decumbens* em SSP composto por gliricídia e sabiá em diferente distância da árvore (0, 1,8, 3,7, 5,6 e 7,5 m), notaram que o teor de N da forragem diminuiu com o aumento da distância das fileiras de árvores.

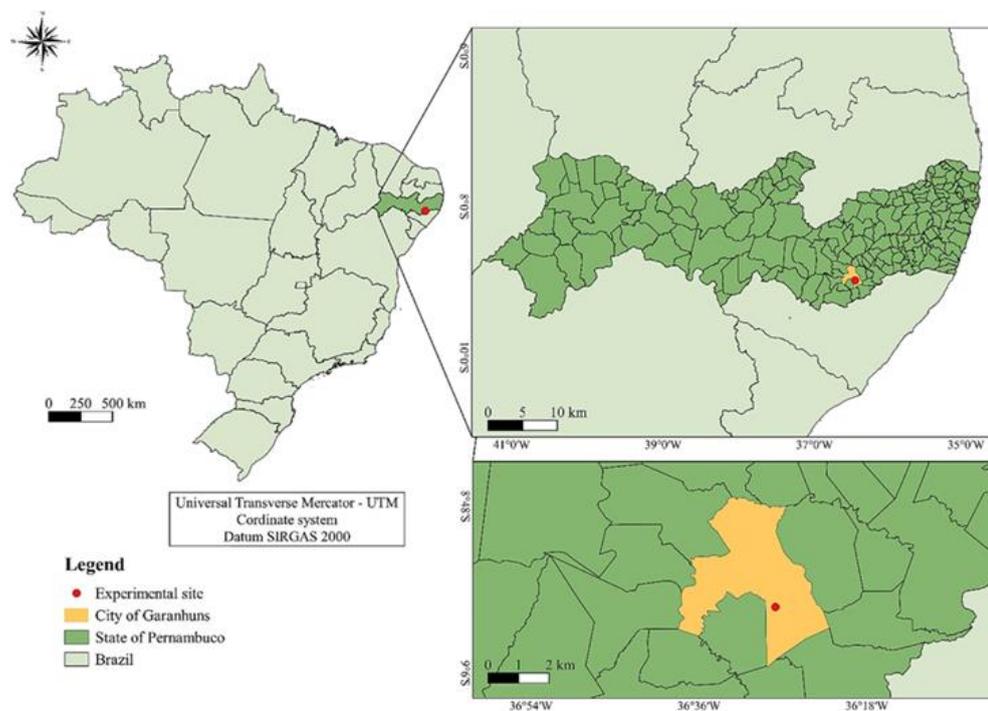
A presença das árvores em SSPs pode, além de reduzir a radiação solar, diminuir a velocidade do vento e a temperatura nas áreas próximas, contribuindo para menor evapotranspiração, impactando na umidade do solo (PEZZOPANE et al., 2015). Porém, segundo Costa et al. (2016) e Silva et al. (2021), quando as árvores estão totalmente desenvolvidas, alcançam a máxima competição por água, o que pode impactar a umidade do solo. Silva et al. (2021), avaliando a umidade de solo em SSPs, composto pelas leguminosas arbóreas, sabiá e gliricídia, com um espaçamento entre fileiras de 15 m, onde as árvores estavam com idade entre seis e sete anos, indicaram que o componente forrageiro foi a *Urochloa decumbens* e que as árvores contribuíram para manutenção de maior umidade do solo em comparação ao pasto totalmente exposto à luz solar. A umidade do solo em SSP com a sabiá foi de 16,2% e, com gliricídia, foi de 17,2%, enquanto a *U. decumbens* em pleno sol foi de 11,5%. Entretanto, a competição das plantas por recursos como luz, água e nutrientes em SSPs pode variar ao longo do tempo devido ao desenvolvimento do componente arbóreo, que podem apresentar alta demanda de água, reduzindo a umidade do solo em áreas próximas à copa das árvores. A umidade do solo diminui em pontos de coletas mais próximos a fileiras de leguminosas com cinco anos, ocorrendo maior teor de umidade à medida que os pontos se distanciam das árvores (LIMA et al. 2018). Gomes et al. (2020), avaliando a umidade do solo em SSP composto por *Eucalyptus urograndis* (híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex

Maiden  $\times$  *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake), com três distâncias (7,5 m norte, 15 m e 7,5 m sul) e espaçamento de 14 m entre fileiras de árvores, no Sudeste do Brasil, relataram que, nos pontos mais próximos às fileiras de árvores, houve menor umidade do solo, e que isso ocorreu, principalmente, em virtude da maior exploração de raízes das árvores em profundidades maiores, em comparação com os pontos mais distantes das árvores.

### 3.0 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição do local

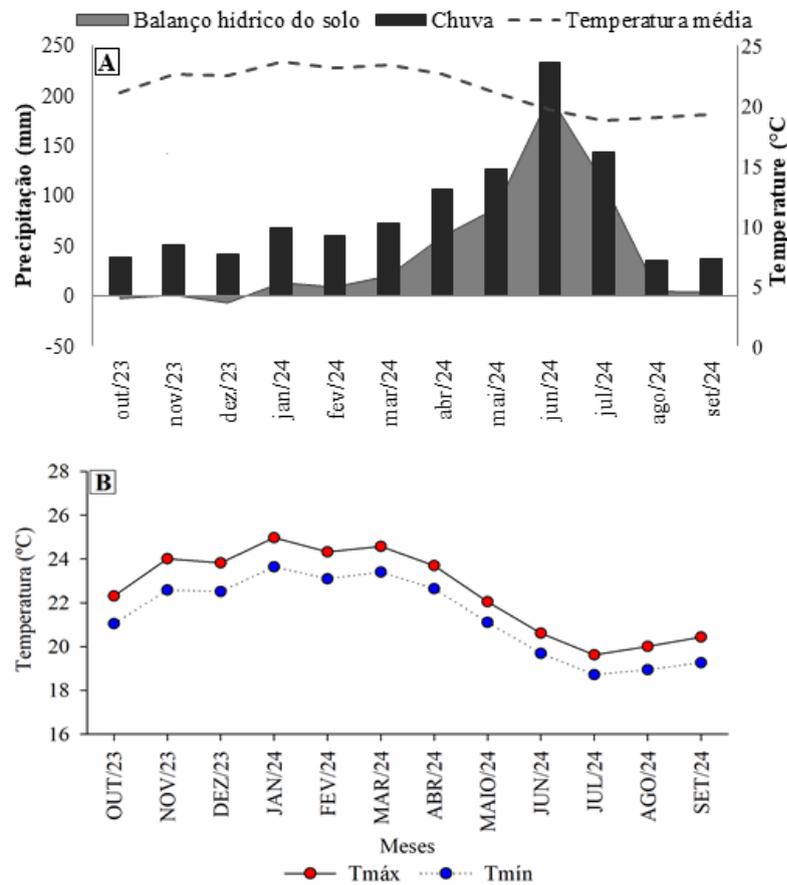
O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Prof. Antônio de Pádua Maranhão Fernandes, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Garanhuns - PE ( $8^{\circ}53'30''\text{S}$   $36^{\circ}30'00''\text{W}$ ), situada a 842 m de altitude (Figura 1), no período de outubro/2023 a setembro/2024. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima é tropical úmido e seco (Aw). A temperatura média anual é de  $22,8^{\circ}\text{C}$ , com precipitação média anual de 866 mm (Barbosa et al., 2016).



**Figura 1.** Localização da área experimental na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Pernambuco Prof. Antônio de Pádua Maranhão no município de Garanhuns - PE. Fonte: Pessoa et al. (2024)

O balanço hídrico sequencial (Figura 2A) foi calculado pelo método proposto por

Thornthwaite e Mather (1955). Para fins de organização dos dados, foram considerados como período chuvoso os meses que apresentaram balanço hídrico positivo ou nulo, correspondendo aos meses de abril a julho de 2024. A denominação de período seco foi atribuída aos meses com balanço hídrico negativo, equivalendo aos meses de outubro de 2023 a março de 2024, e agosto de 2024 a setembro de 2024. A precipitação acumulada durante todo o período experimental foi de 1.015 mm. A maior temperatura máxima alcançada durante o período experimental foi no mês de janeiro de 2024, já a temperatura mínima alcançada foi no mês de julho de 2024 (Figura 2B)

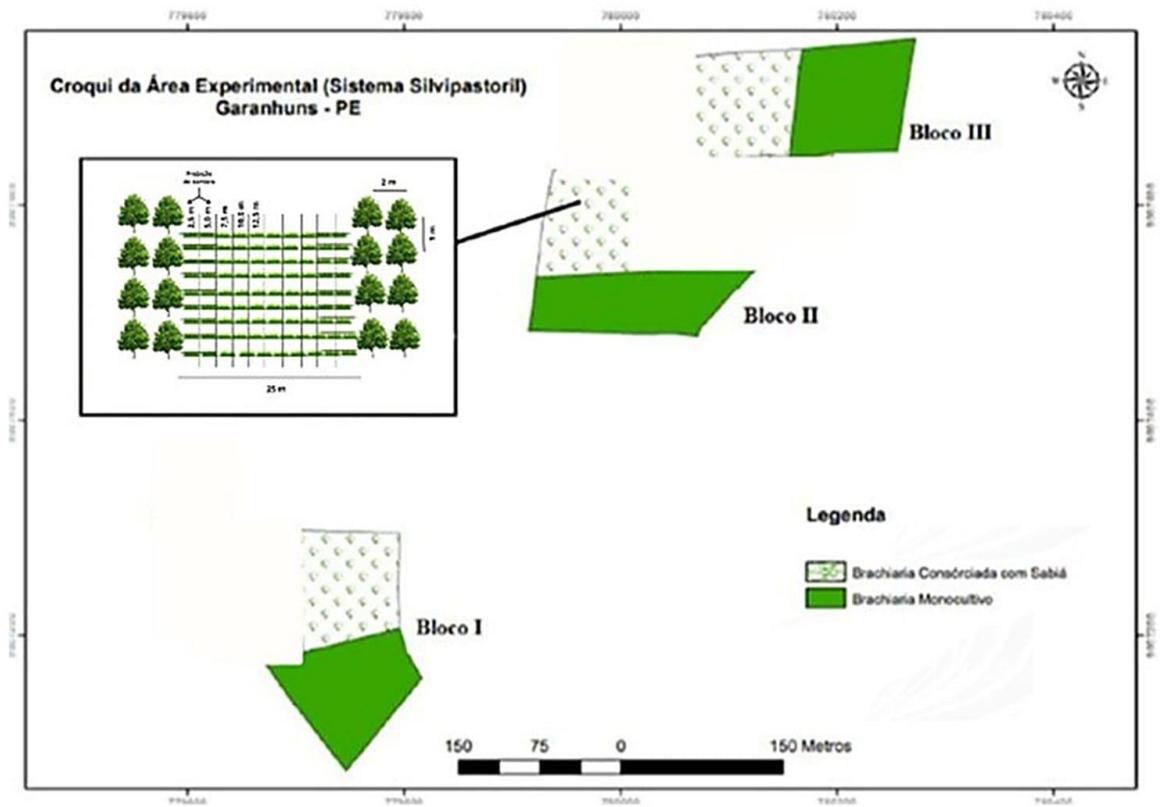


**Figura 2.** Balanço hídrico sequencial do solo, precipitação e temperatura média (A), temperatura máxima e mínima (B) de outubro de 2023 a setembro de 2024, Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns - PE, Brasil.

O solo da área experimental é classificado como argissolo amarelo, com textura franco-argilosa, de acordo com estudos realizados por Souza et al. (2021), tomando como base o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2013). A coleta do solo foi realizada na profundidade de 0 a 20cm, na área experimental durante a implantação do experimento (2017). O solo apresentou as seguintes características químicas: pH em água (1:2,5) = 5,3; P (Mehlich-I) = 2,0 mg dm<sup>-3</sup>; Na = 0,006 cmolc dm<sup>-3</sup>; K = 0,19 cmolc dm<sup>-3</sup>; Ca = 0,35 cmolc dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,53 cmolc dm<sup>-3</sup>; Al = 0,95 cmolc dm<sup>-3</sup>; H = 4,95 cmolc dm<sup>-3</sup>; soma de bases = 1,15 cmolc dm<sup>-3</sup>; capacidade de troca catiônica = 7,05 cmolc dm<sup>-3</sup>; V = 16% e m = 46,5. O solo recebeu calagem 60 dias antes do plantio das árvores leguminosas (agosto/2017), com aplicação de 2,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico [54,3% de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e 45,7% de carbonato de magnésio (MgCO<sub>3</sub>) com poder relativo de neutralização total de 90%].

### 3.2 Delineamento experimental

O experimento foi estabelecido em áreas de *Urochloa decumbens* já existentes na fazenda experimental (estabelecidas em 1998). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso e três repetições. Os tratamentos consistiram em cinco diferentes distâncias (2,5, 5, 7,5, 10, 12,5 m) da leguminosa arbórea nativa sabiá em sistema silvipastoril e o tratamento controle correspondente ao pasto de *Urochloa Decumbens* em monocultivo (sem a presença de árvores). O espaçamento das fileiras duplas das árvores leguminosas foi de 2,0 x 1,0 m, as mudas de sabiá foram plantadas (outubro/2017) em covas (15 cm de diâmetro e 15 cm de profundidade). As fileiras duplas foram dispostas na direção leste-oeste, com espaçamento de 25 m entre renques. O replantio de mudas que não sobreviveram foi realizado em maio de 2018, formando uma população de 600 árvores ha<sup>-1</sup>. A adubação com fósforo (superfosfato simples) (30 kg ha<sup>-1</sup>) e potássio (cloreto de potássio) (15 kg ha<sup>-1</sup>) foi realizada em cada cova (30 × 30 × 20 cm) durante o plantio das mudas, seguindo as recomendações de adubação para o estado de Pernambuco, utilizando como referência a recomendação para *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. (Cavalcanti et al., 2008). Para caracterização da área no início e no final do experimento, foi realizada a avaliação das alturas das árvores. No início do experimento, as árvores apresentaram altura de 5,20 m e, ao final do experimento, as árvores possuíam 6 m. Além disso, a projeção da sombra foi avaliada no final do experimento, atingindo uma projeção de 5 m (Figura 3).



**Figura 3.** Croqui e detalhamento das parcelas experimentais e projeção da sobra em relação a distâncias das árvores.

### 3.3 Manejo da área

A área foi submetida ao pastejo, sendo utilizados dois bovinos machos não castrados e mestiços (Holandês x Zebu), com peso médio inicial de 170 kg PV<sup>-1</sup>, buscando manter a oferta de forragem de 3kg de massa de forragem seca verde por kg<sup>-1</sup> de PC (Carvalho et al., 2022a,b). O uso de animais foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA/UFRPE), sob licença número 3695240820 (ID 000457). O método de lotação animal utilizado foi lotação contínua, com taxa de lotação variável, conforme Mott e Lucas (1952), com ajuste da taxa de lotação realizada de acordo com a recomendação de Sollenberger et al. (2005). Água e mistura mineral foram disponibilizadas *ad libitum* em todas os piquetes. O manejo tem sido mantido desde março de 2019.

### 3.4 Variáveis mensuradas

#### *Massa de forragem e composição morfológica*

A avaliação da massa de forragem (MF) da *Urochloa decumbens* foi realizada a cada 21 dias, cortando a forragem em três molduras de 0,25 m<sup>2</sup> ao nível do solo em áreas representativas da condição do pasto em cada distância da árvore e no monocultivo. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e pesadas para determinação do peso total. Uma subamostra de aproximadamente 200 g foi retirada e fracionada ao meio em dois estratos (superior e inferior), separados em folha, e colmo + bainha e material senescente no Laboratório de Forragicultura Prof. Iderval Farias, do Departamento de Zootecnia - UFRPE, e levados à estufa de ventilação forçada a 55 °C, até peso constante. O peso seco das frações foi utilizado para determinar as proporções de lâmina foliar do estrato superior, inferior e total, colmo (bainha + colmo) do estrato superior, inferior e total, e material senescente estrato superior, inferior e total.

A relação folha: colmo do estrato superior foi obtida a partir da divisão do peso seco da fração de lâmina foliar do estrato superior pelo peso da fração colmo superior. Já a relação folha: colmo do estrato inferior foi obtida através da divisão do peso seco da fração de lâmina foliar do estrato inferior pelo peso da fração colmo inferior, E a relação folha: colmo total foi obtida mediante a divisão do peso seco da fração de lâmina foliar total pelo peso da fração colmo total. A densidade da forragem (kg cm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>) foi estimada a partir da divisão da massa de forragem total (kg MS ha<sup>-1</sup>) pela altura média do dossel (cm).

#### *Densidade populacional, altura do dossel, altura do meristema apical, comprimento do perfilho e peso médio de perfilhos*

A densidade populacional de perfilhos foi realizada a cada 21 dias e determinada por meio da contagem manual de perfilhos no interior da moldura de 0,25 m<sup>2</sup>, posicionados em três pontos

representativos da condição média do dossel no momento da avaliação em cada distância da linha das árvores e no monocultivo. Para determinação do peso médio de perfilhos, foram coletados 40 perfilhos de cada distância da linha das árvores e no monocultivo, colocados em sacos de papel e levados à estufa de ventilação forçada a 55 °C, até peso constante. O peso médio foi obtido pela divisão do peso seco pelo número de perfilhos. A altura média do pasto foi estimada em cada distância das árvores e no monocultivo a cada 21 dias, utilizando uma régua graduada, medindo a altura em 40 pontos representativos da área avaliada.

Para a determinação do comprimento do perfilho e altura do meristema apical, foram coletados 20 perfilhos em pontos representativos da área, em cada distância da linha das árvores e no monocultivo. Os perfilhos foram coletados ao nível do solo e levados ao Laboratório de Forragicultura - UFRPE, para medir o comprimento do perfilho, utilizando uma régua graduada em centímetros, posicionada ao longo do perfilho, da base até a extremidade superior. Os perfilhos foram mantidos em uma superfície plana durante a aferição e, posteriormente, seccionados no colmo e utilizados para medir a altura do meristema apical, tomando a medida da base do perfilho.

#### *Índice Soil Plant Analysis Development (SPAD) e teor de nitrogênio (N)*

Para determinação da clorofila em valores SPAD, foi utilizado o clorofilômetro SPAD-502 Plus Konica Minolta Sensing (Soil Plant Analysis Development). As leituras foram realizadas no terço médio da lâmina da primeira folha completamente expandida (SANTOS, 1997) em 20 perfilhos representativos em cada distância da linha das árvores e no monocultivo. A análise de N análise foi realizada no Laboratório de Forragicultura - UFRPE (método 988.05), de acordo com a metodologia descrita pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2023).

#### *Umidade gravimétrica do solo*

Ocorreu também a determinação da umidade gravimétrica do solo a partir da coleta de quatro amostras de solo em cada distância da linha das árvores e no monocultivo, constituindo a média de cada tratamento. Após a coleta, as mostras foram pesadas e, em seguida, levadas ao Laboratório de Forragicultura Prof. Iderval Farias, do Departamento de Zootecnia - UFRPE e secas em estufa de 105° por 24 horas. A umidade gravimétrica foi determinada pela diferença entre o peso seco e o peso úmido do solo.

### **3.5 Análise estatística**

As análises foram conduzidas no *software SAS On Demand for Academics*, pelo procedimento PROC MIXED. Os dados foram analisados considerando um delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Os períodos (seco e chuvoso) foram considerados como parcelas principais, e os tratamentos como subparcela, com três repetições. Os períodos e os tratamentos foram entendidos como efeitos fixos, enquanto os blocos, como efeitos aleatórios. Os resíduos foram avaliados quanto à normalidade e homogeneidade de variância pelos gráficos

diagnósticos gerados no SAS. As médias ajustadas para os períodos foram comparadas pelo teste F. As comparações específicas entre cada distância e o controle (monocultivo) foram realizadas por meio de controle múltiplo com ajuste simulado. Contrastes ortogonais foram aplicados para identificar padrões de resposta linear, quadrática e cúbica nas distâncias das árvores, excluindo o monocultivo. O nível de significância adotado foi de 5% de probabilidade.

## 4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Resultados

Houve efeito quadrático para altura do dossel (AD), sendo observado maior AD na distância 2,5 m, com redução da altura à medida que se aumentava a distância do renque (Tabela 1). Quando comparado com o controle (monocultivo), a AD foi sempre inferior, exceto na distância de 2,5m.

**Tabela 1.** Efeito das distâncias das árvores de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) em sistema silvipastoril vs. monocultivo nas características morfológicas e estruturais da *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster em Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

Variável	Distância das árvores (m)					Controle (Monocultivo)	EPM	Contraste		
	2,5	5	7,5	10	12,5			L	Q	C
AD	30	22*	19*	19*	19*	29	1,51	0,2122	<0,0001	0,0466
DPP	181*	214*	236*	244*	236*	308	20,31	0,480	0,0059	0,4319
PMP	0,80	0,67*	0,70*	0,78	0,70*	0,99	0,08	0,3217	0,9832	0,9032
MF	1.799*	2.438	4.213	2.492	2.570	3.819	789,00	0,0611	0,0219	0,2597
DF	63	118	235	134	143	137	47,06	0,0975	0,0063	0,1604
RFC	1,02	1,10	1,25	1,28	1,40	1,35	0,13	0,2713	0,1526	0,0686

EPM: erro padrão da média; AD (cm): altura do dossel; DPP: densidade populacional de perfilhos; PMP (g MS): peso médio do perfilho; MF: massa de forragem seca (kg ha<sup>-1</sup>); DF: densidade de forragem (kg cm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>); RFC: Relação folha:colmo; L: linear; Q: quadrática; C: cúbica \*Indica diferença (p<0,05) em relação ao controle (monocultivo) por meio do controle múltiplo com ajuste simulado.

A densidade populacional de perfilhos (DPP) variou (p=0,0059) de forma quadrática com as distâncias da linha das árvores (Tabela 1). Valores crescentes foram observados até 10 m das linhas das árvores, onde o número máximo de perfilhos foi de 244 perfilhos m<sup>2</sup>. Além disso, os valores de DPP, em todas as distâncias dos renques de árvores, foi inferior ao observado no monocultivo, sendo a menor DPP observada na distância 2,5 m, com redução de 43% em relação ao monocultivo.

O peso médio de perfilhos (PMP) apresentou baixa variação entre as distâncias avaliadas com ausência de efeito significativo linear ou quadrático (Tabela 1) e foi sempre inferior à média observada no monocultivo, exceto na distância de 2,5 m.

A massa de forragem (MF) e densidade de forragem (DF) apresentaram efeito quadrático

devido ao aumento na MF até a distância de 7,5 m ( $4.213 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Apenas a MF na distância 2,5 m diferiu do monocultivo, com redução de 52% da MF nessa distância (Tabela 1). A DF também apresentou resposta quadrática à distância das árvores, com aumento à medida que se distanciou do renque (Tabela 1).

Houve baixa variação na relação folha: colmo total (RFC) (Tabela 1), o que contribuiu para ausência de efeitos significativos. Ademais, não houve diferença na RFC verificada nas distâncias das árvores em relação ao monocultivo. Esta resposta ocorreu mesmo com diferenças em outras características morfológicas e estruturais.

Não houve efeito do período do ano nas variáveis de AD, DPP, PMP, MF, DF e RFC (Tabela 2). A ausência de efeito significativo para período pode ser resultado da dispersão dos dados ao longo do período experimental em virtude de respostas pouco claras em relação ao período do ano em momentos de transição de estações do ano ou mudanças nas frequências de precipitação.

**Tabela 2.** Efeito do período do ano nas características morfológicas e estruturais de *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster em sistema silvipastoril e monocultivo em Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

Período do ano	Variável					
	AD	DPP	PMP	MF	DF	RFC
Chuvoso	27	258	0,86	3.557	135	1,36
Seco	19	215	0,69	2.220	132	1,10
EPM	4,3	36,9	0,2	576,70	27,48	0,11
<i>P</i>	0,1386	0,3074	0,4404	0,0812	0,4598	0,0697

EPM: erro padrão da média; AD (cm): altura do dossel; DPP: densidade populacional de perfilhos; PMP (g MS): peso médio do perfilho; MF: massa de forragem seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); DF: densidade de forragem ( $\text{kg cm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ); Relação folha: colmo total.

A relação folha: colmo do estrato inferior e superior do dossel apresentou baixa variação entre as distâncias, não resultando em efeito linear ou quadrático (Tabela 3). Apenas a relação folha: colmo no estrato superior na distância 2,5 diferiu estatisticamente do monocultivo, indicando uma menor relação folha: colmo, o que pode ser resultado do maior alongamento do colmo devido ao maior sombreamento pelo componente arbóreo.

**Tabela 3.** Relação folha: colmo da *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster no estrato inferior (EI) e estrato superior (ES) em diferentes distâncias das árvores em sistema silvipastoril com sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) e em monocultivo em Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

Variável	Distância das árvores (m)					Controle (monocultivo)	EPM	Contraste		
	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5			L	Q	C
RFC EI	0,70	0,65	0,81	0,85	0,89	0,90	0,1	0,2765	0,3014	0,1360
RFC ES	1,56*	1,89	1,92	1,91	1,97	2,1	0,15	0,8916	0,1381	0,6808

EPM: Erro padrão da média; RFC: relação folha: colmo; L: linear; Q: quadrática; C: cúbica \*Representa a média que difere do tratamento controle pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). \*Indica diferença ( $p < 0,05$ ) em relação ao controle (monocultivo) por meio do controle múltiplo com ajuste simulado.

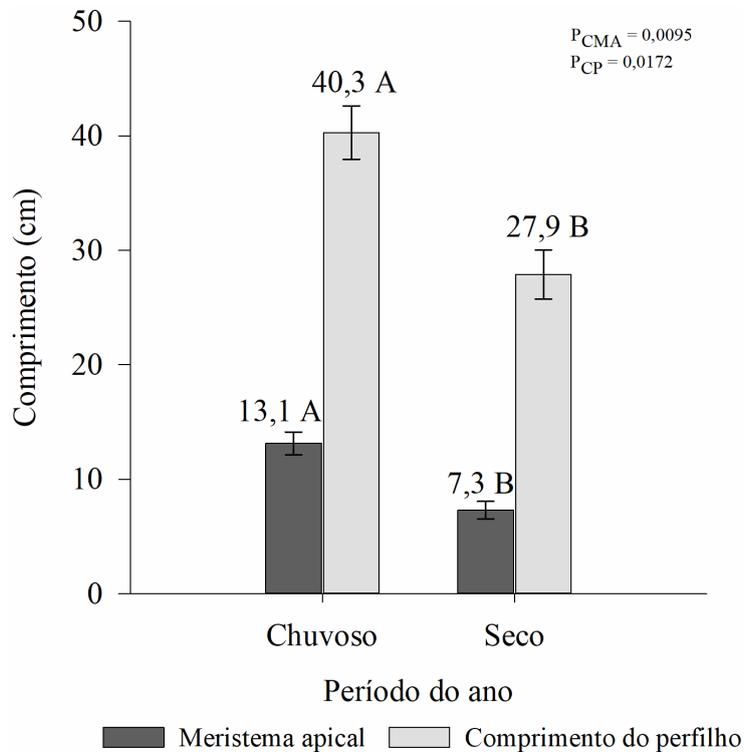
Não houve efeito linear ou quadrático significativo para altura do meristema apical, no entanto, a maior altura de meristema apical foi na distância 2,5 m, sendo superior ao monocultivo 25,47%. Atrelado a isso, houve efeito quadrático ( $p = < 0,0001$ ) para o comprimento do perfilho; as distâncias 2,5, 5, 7,5 m não diferiram estatisticamente do monocultivo, e as distâncias de 10 e 12,5 m distinguem-se do monocultivo (Tabela 4).

**Tabela 4.** Altura do meristema apical (AMA) e comprimento do perfilho estendido (CPE) da *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster em diferentes distâncias das árvores em sistema silvipastoril com sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) e em monocultivo em Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

Variável	Distância das árvores (m)					Controle (monocultivo)	EPM	Contraste		
	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5			L	Q	C
AMA (cm)	13,3	8,7	8,9	11,9	7,7	10,6	1,31	0,2033	0,7700	0,2121
CPE (cm)	44,0	34,0	30,9	29,7*	28,4*	37,5	2,3	0,1763	<0,0001	0,0904

EPM: Erro padrão da média. L: linear; Q: quadrática; C: cúbica \*Representa a média que difere do tratamento controle quando  $P < 0,05$ . \*Indica diferença ( $p < 0,05$ ) em relação ao controle (monocultivo) por meio do controle múltiplo com ajuste simulado.

Foram observadas diferenças significativas entre os períodos do ano para as variáveis AMA e CPE, sendo 79% maior no período chuvoso para altura do meristema apical, e 43,35% para o comprimento do perfilho (Figura 4).



**Figura 4.** Efeito do período do ano na altura meristema apical e comprimento do perfilho de *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster em sistema silvipastoril no agreste de Pernambuco, Brasil. Médias seguidas por letras distintas nas barras diferem entre si pelo teste F ( $P \leq 0,05$ ). Barras verticais nas colunas representam o erro padrão da média (EPM). EPM = 1,25; 3,16. AMA: altura do meristema apical; CPE: comprimento do perfilho estendido.

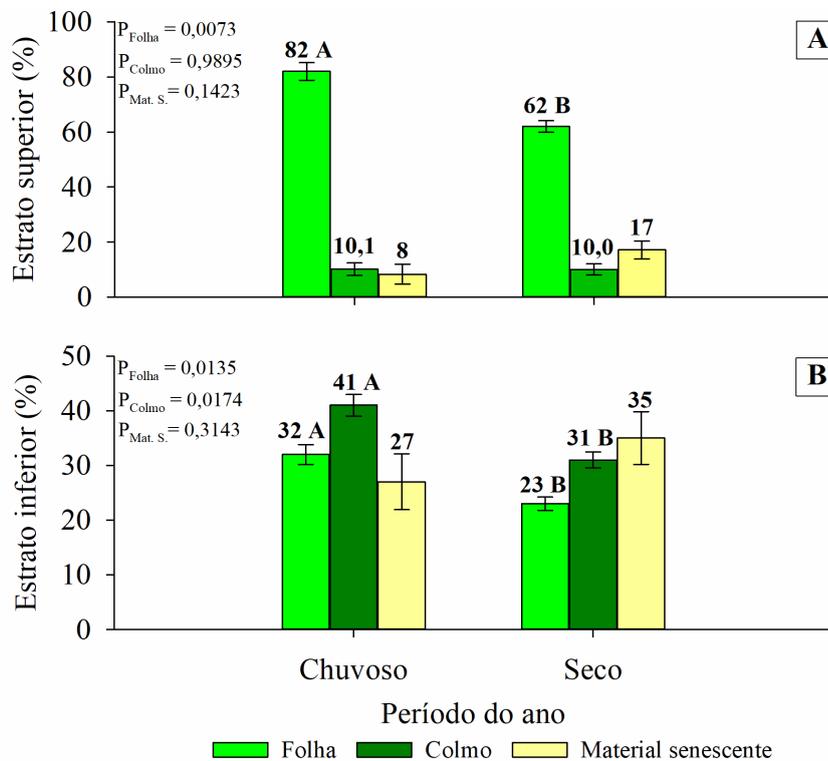
As porcentagens de folha total, colmo total, folha nos estratos inferior e superior, colmo nos estratos inferior e superior, material senescente total, material senescente nos estratos inferior e superior (Tabela 5) apresentaram baixa variação entre as distâncias de árvores, não indicando efeito linear ou quadrático significativo. As distâncias 2,5 e 5 m mostraram diferenças na proporção de material senescente em relação ao monocultivo, com porcentagem de material senescente total 36,67% menor em relação ao monocultivo. Já a proporção de material senescente no estrato inferior na distância 2,5 m foi 34,2% inferior ao observado no monocultivo.

**Tabela 5.** Proporção dos componentes morfológicos total e nos estratos superior e inferior da *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster em diferentes distâncias das árvores de sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.) em sistema silvipastoril e em monocultivo em Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

Variável	Distância das árvores (m)					Controle (monocultivo)	EPM	Contraste		
	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5			L	Q	C
Folha total (%)	47	47	43	46	46	45	4,3	0,5932	0,3379	0,6038
Colmo total (%)	28	26	25	24	22	25	2,7	0,4080	0,3324	0,1950
Material senescente total (%)	19*	21*	25	23	26	30	3,4	0,9975	0,2391	0,0891
<b>Estrato inferior</b>										
Folha total (%)	29	27	24	28	29	28	3,7	0,2232	0,3507	0,9996
Colmo total (%)	41	40	35	35	31	35	3,6	0,2167	0,1766	0,0367
Material senescente total (%)	25*	27	34	30	35	38	4,0	0,9959	0,1667	0,0595
<b>Estrato superior</b>										
Folha total (%)	72	77	69	72	70	71	6,6	0,9110	0,6681	0,2495
Colmo total (%)	13	6	11	10	10	10	3,0	0,4121	0,9895	0,2914
Material senescente total (%)	10	11	12	10	14	18	3,8	0,9060	0,9358	0,2401

EPM: erro padrão da média. L: linear; Q: quadrática; C: cúbica \*Representa a média que difere do tratamento controle pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Indica diferença ( $p < 0,05$ ) em relação ao controle (monocultivo) por meio do controle múltiplo com ajuste simulado.

A porcentagem da lâmina foliar na matéria fresca total variou ao longo do ano, sendo maior no período chuvoso para o estrato superior (82%), em comparação com o período seco (61%) (Figura 5A). No estrato inferior, a porcentagem de lâmina foliar também foi superior no período chuvoso versus seco (32 e 22%, respectivamente). Por outro lado, a porcentagem de colmo no estrato inferior foi maior no período chuvoso (41%) do que no seco (31%) (Figura 5B). Além disso, a porcentagem de material senescente não apresentou diferença significativa entre os períodos do ano para os estratos superior e inferior.



**Figura 5.** Proporção dos constituintes morfológicos do estrato superior (A) e inferior (B) de *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster em diferentes sistemas de cultivo no agreste de Pernambuco, Brasil. Médias seguidas por letras distintas nas barras diferem entre si pelo teste F ( $P \leq 0,05$ ). Barras verticais nas colunas representam o erro padrão da média (EPM). EPM = 2,1; 4,2.

A umidade do solo nas diferentes distâncias de árvores e monocultivo não diferiram (Tabela 6). O índice SPAD não foi influenciado pelas distâncias das árvores. Ademais, as distâncias da sabiá não diferem ( $P>0,05$ ) do monocultivo para o índice SPAD (Tabela 6). No entanto, o teor de nitrogênio da forragem foi maior nas distâncias de 2,5 m ( $22,9 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ ) e de 5,0 m ( $21,3 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ ), comparadas ao monocultivo de *U. decumbens*, que apresentou o menor teor de N com  $15,5 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$  (Tabela 6). Não houve efeito de contraste (linear, quadrático ou cúbico) das distâncias das árvores no N da forragem da *U. decumbens* (Tabela 6).

**Tabela 6.** Umidade do solo, índice SPAD e teor de nitrogênio da *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster em diferentes distâncias das árvores em sistema silvipastoral e em monocultivo em Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

Variáveis	Distância das árvores (m)					Controle (monocultivo)	EPM	Contraste		
	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5			L	Q	C
Umidade do solo (%)	11,5	11,1	11,0	11,6	11,9	12,3	1,4	0,4997	0,7886	0,7193
Índice de SPAD	34,5	34,9	33,3	32,0	31,9	32,1	1,2	0,1300	0,2532	0,2262
N total ( $\text{g kg}^{-1}$ )	22,9*	21,3*	18,9	19,5	18,1	15,5	1,6	0,5837	0,0619	0,0682

EPM: Erro padrão da média. L: linear; Q: quadrática; C: cúbica. Indica diferença ( $p<0,05$ ) em relação ao controle (monocultivo) por meio do controle múltiplo com ajuste simulado.

Já o índice SPAD não indicou diferenças entre períodos (média de 33,1), o que pode ser, de certa forma, influenciado pela forma como as avaliações são realizadas, tomando a primeira folha completamente expandida como referência (Tabela 6). O N total não apresentou diferenças entre períodos apresentando média de  $20,5 \text{ g kg}^{-1}$  para período chuvoso e  $18,2 \text{ g kg}^{-1}$  para período seco.

## 4.2 Discussão

A altura do dossel variou entre 19 e 30 cm; a redução da AD ocorreu nas maiores distâncias das árvores (7,5; 10,0 e 12,5 m), e as maiores AD, nas distâncias de 2,5 m (30 cm) e no monocultivo de *U. decumbens* com 29 cm (Tabela 1). A redução da AD nas maiores distâncias das árvores pode ser explicada pelo efeito do pastejo, enquanto a maior AD na distância de 2,5 m pode ser associada ao maior alongamento do colmo para interceptar mais luz devido ao maior sombreamento pela copa das árvores nas menores distâncias (2,5 e 5,0 m). Izidro et al. (2024b) avaliaram a altura média do dossel nos anos quatro e cinco após o estabelecimento das árvores no SSP na mesma área experimental em comparação ao

monocultivo e não observaram efeito do sistema de cultivo na AD (37 vs. 33 cm, respectivamente). Os autores sugeriram que o espaçamento entre renques de 25 m possivelmente minimizou o efeito do sombreamento das árvores de sabiá na *U. decumbens*, contribuindo para maior resiliência da planta forrageira no SSP.

Paciullo et al. (2011) avaliando diferentes distâncias (0, 3, 6, 9, 12 e 15 m) dos pontos de observação da pastagem da *U. decumbens* em relação ao renque de árvores em SSP composto por renques de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* nas distâncias de 30 m dispostos no sentido norte-sul, estabelecido há dez anos, observaram que a altura do pasto tende a ser maior mais próximo das árvores. Em estudo avaliando três distâncias de árvores (3,7, 5,6 e 7,5m) em SSP com sabiá e gliricidia com distância entre renques de 15 m, foi relatado que a *U. decumbens* não estava presente até a distância de 1,8 m da copa das árvores no 3º ao 5º ano após o plantio do componente arbóreo (SANTOS et al., 2024). É importante destacar que a competição entre as árvores de sabiá e *U. decumbens* tende a ser mais intensa em distâncias mais curtas, com maior impacto nas distâncias de 2,5 e 5,0 m.

A dinâmica de aparecimento de perfilhos é modificada em condições de sombreamento (que por sua vez, tende a ser maior em áreas mais próximas do renque de árvores), contribuindo para redução da DPP devido ao atraso na emergência de novos perfilhos (NAKANO, 2000; CARVALHO et al., 2022a). A qualidade da luz é modificada pelo sombreamento natural que promove redução na relação vermelho:vermelho distante que induz efeitos negativos na morfogênese das plantas com impacto direto na DPP (WILSON; LUDLOW, 1990; GAUTIER et al., 1999). Em gramíneas, o sombreamento geralmente contribui para o aumento na taxa de alongamento do colmo, o que provavelmente ocorreu no presente estudo, sobretudo nas menores distâncias das árvores (2,5 e 5,0 m) (Tabela 1), devido a manutenção do crescimento de perfilhos já existentes ao invés do surgimento de novos perfilhos (Paciullo et al., 2011; Carvalho et al., 2022). Paciullo et al. (2011) avaliando DPP em diferentes distâncias (0, 3, 6, 9, 12 e 15 m) do renque de árvores reportaram valores máximos entre 9 e 12 m da faixa de árvores em condições de sombreamento moderado, semelhantemente ao observado no presente trabalho nas maiores distâncias de 7,5; 10,0 e 12,5 m. Crestani et al. (2022) avaliaram a dinâmica do perfilhamento, estabilidade populacional e distribuição de touceiras do capim-piatã (*Urochloa brizantha*) afetados por diferentes regimes de sombreamento contrastantes no bioma Amazônia brasileira e reportaram redução da DPP e do perímetro da touceira do capim-piatã em sistema de integração lavoura-pecuária.

A sabiá apresenta ramificações laterais (APOLINÁRIO et al., 2015), o que pode contribuir para ampliar o efeito da presença de árvores no SSP em comparação com outras espécies que não apresentam essa característica. No presente trabalho, foi caracterizada a projeção da sombra pela copa de árvores de sabiá no SSP, e observado que ela atingiu até 5,0 m, o que ajuda a explicar maior impacto nas menores distâncias (2,5 e 5 m). A diminuição na quantidade e qualidade de radiação solar que chega no dossel no estrato herbáceo pode impactar negativamente as características morfofisiológicas do estrato herbáceo (LIMA et al., 2019), e no presente estudo foi mais evidente nas menores distâncias (2,5 e 5m). Nessas condições pode ocorrer maior alongamento do colmo, aumento no comprimento e na área foliar, além de uma diminuição na densidade populacional de perfilhos (GÓMEZ et al., 2013; SANTOS et al., 2016), uma vez que a luz é considerada um fator de estímulo ao perfilhamento de gramíneas (PACIULLO et al., 2007), resposta observada nas maiores distâncias (Tabela 1) quando a intensidade luminosa não foi fator limitante. Essa redução sugere que, caso o crescimento do pasto nas áreas com menor impacto do sombreamento não sejam aumentadas, dificilmente seria possível manter taxas de lotação semelhantes ao observado nas áreas em condições de monocultivo.

Os resultados obtidos no presente estudo para peso PMP (Tabela 1) não indicaram uma resposta clara ao efeito de distância das árvores (ausência de efeito linear, quadrático e cúbico), entretanto, houve diferenças quando comparado ao monocultivo. Os perfilhos em condições de maior sombreamento (2,5 m) foram mais pesados em relação ao monocultivo, provavelmente em virtude de maior AD. Paciullo et al. (2009) avaliaram as características do pasto e o desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de *Urochloa decumbens* em monocultivo com idade média de sete anos do componente arbóreo e verificaram que o sombreamento moderado não interferiu nas características do pasto. O PMP foi semelhante ao monocultivo apenas nas distâncias de 2,5 e 10 m. Em áreas mais próximas das árvores, o sombreamento estimula o alongamento dos colmos como uma adaptação à menor disponibilidade de luz, resultando em perfilhos mais pesados (CABRAL et al., 2017).

A MF foi afetada pelo sombreamento na menor distância das árvores de 2,5 m com 1.799 kg MS ha<sup>-1</sup> (Tabela 1). No entanto, o incremento na massa de forragem com o valor médio das quatro distâncias (5,0 até 12,5 m) correspondeu a 62,8% em relação à menor distância das árvores. Esta resposta pode ser explicada pelo sombreamento nesta distância próxima das fileiras das árvores, ligado à maior competição por água, luz solar e nutrientes entre os componentes arbóreo e herbáceo (SILVA et al., 2021b). A sabiá é uma leguminosa com alto

grau de competição comparada a outras espécies arbóreas (e.g. Gliricídia), possuindo uma alta taxa de crescimento, tendo, assim, uma demanda por mais recursos, atingindo a maturidade mais rápido, com árvores acima de 5 m após cinco anos de estabelecimento em SSP (IZIDRO et al., 2024a). É possível associar as menores respostas de DPP e DF (Tabela 1) com a menor massa de forragem na distância de 2,5 m, pois estas variáveis influenciam na MF, levando em conta que, nas demais distâncias (7,5 a 12,5 m), quando a luz não foi um fator limitante, estas variáveis apresentaram respostas variadas (efeito quadrático).

A espécie de árvore e a densidade arbórea influenciam a produção de forragem e o valor nutritivo da forragem no sub-bosque (BUERGLER et al., 2005; CASTILLO et al., 2020). A densidade moderada de árvores pode aumentar a MF em comparação com densidades baixas ou altas (BUERGLER et al., 2005). A partir disso, alguns estudos, como o de Silva et al. (2021b), reportaram redução da MF (2.266 kg MS ha<sup>-1</sup>) em sistema silvipastoril com espaçamento de 15 m entre fileiras duplas de árvores e densidade de árvores de 2.500 árvores ha<sup>-1</sup>, considerando as áreas de monoculturas de gramíneas (MF de 3.496 kg MS ha<sup>-1</sup>). Izidro et al. (2024b) avaliaram SSP com espaçamento de 25 m entre fileiras duplas e densidade de árvores de 600 árvores ha<sup>-1</sup> e não observaram diferença na MF média da área sob SSP em relação ao monocultivo.

Lira Jr. et al. (2020) avaliaram dois SSPs compostos por *U. decumbens* consorciado com filas duplas de sabiá ou gliricídia, além de um monocultivo de *U. decumbens*. Os autores estudaram os estoques de nitrogênio (N) e carbono (C) em diferentes distâncias das filas duplas de árvores (0, 4 e 8 m), na camada superficial do solo (0-10 cm), e reportaram que houve aumento nos estoques de C e N em todas as distâncias. O aumento da MF e DF até os 7,5m pode ser reflexo do aumento da fertilidade do solo combinado com o aumento da maior disponibilidade de luz devido ao menor impacto do sombreamento das árvores. Izidro et al., (2024b), avaliando as características estruturais e produtivas de *U. decumbens* em monocultivo e sistema silvipastoril com árvores na idade entre quatro e cinco anos na mesma área experimental, não apontaram diferenças entre a MF do SSP (3.820 kg MS ha<sup>-1</sup>) e do monocultivo foi de (4.567 kg MS ha<sup>-1</sup>). Os autores, entretanto, não avaliaram a MF em diferentes distâncias. No presente trabalho, a MF foi severamente reduzida na distância de 2,5m (redução de 52%) em relação ao monocultivo, indicando que o aumento do tamanho das árvores e suas ramificações laterais pode ter efeito restritivo ao desenvolvimento da *U. decumbens*.

As respostas da relação folha: colmo em sistema silvipastoril pode apresentar

variabilidade, a depender das características específicas do sistema silvipastoril (e.g, arranjo, sombreamento e espécies), principalmente com efeitos variados das proximidades das árvores com o estrato herbáceo. Izidro et al. (2024b) estudaram as características estruturais, produtivas e morfológicas de *U. decumbens* em SSP com três filas duplas de sabiá espaçadas a 25 m, conduziram o experimento na mesma área experimental do presente estudo e não verificaram influência do SSP nos aspectos morfológicos, com RFC de 1,6 em monocultivo vs. 1,5 em SSP. A RFC da *U. decumbens* no presente estudo foram inferiores aos valores obtidos por estes autores. No entanto, o nosso estudo também avaliou a RFC entre os estratos superior (média de 1,85) e inferior (média de 0,78). Com as mesmas condições experimentais, os valores de RFC no estrato alto foram superiores aos trabalhos de Carvalho et al. (2022) e Izidro et al. (2024b), que avaliaram o SSP durante a fase de estabelecimento e desenvolvimento das árvores (três e cinco anos), respectivamente. Além disso, a RFC foi inferior na menor distância das árvores (2,5 m) em 35%, se comparada ao monocultivo (RFC = 2,1) (Tabela 3). A menor RFC na distância de 2,5 m pode estar associada à maior participação da fração colmo, devido ao alongamento do colmo que ocorreu nesta distância em função do maior sombreamento, porém, também foram obtidos os menores valores de MF (1.799 kg MS ha<sup>-1</sup>) e DF (0,52 kg MS cm<sup>2</sup>) em relação ao monocultivo de *U. decumbens*.

Araújo et al. (2013) reportaram que não houve efeito do espaçamento de *Eucalyptos* spp. na RFC e outras características do pasto. Coelho et al. (2014) relataram que a RFC foi influenciada pelo local da amostragem apenas em arranjos de árvores de linha dupla e observaram que os arranjos em linha dupla reduziram a radiação fotossinteticamente ativa no sub-bosque, mas não limitaram a produção de forragem em comparação aos arranjos de fileira simples. Outro ponto importante a ser considerado é que as frações verdes da planta são as mais nutritivas da dieta e consumidas preferencialmente pelos animais (WILSON et al., 1978). Dessa forma, a alta RFC representa, na forragem, um bom valor nutricional com bom teor de proteína, digestibilidade e consumo.

A maior altura do meristema apical na distância 2,5 (Tabela 4) pode estar relacionada ao menor pastejo nas proximidades das árvores, havendo alongamento do colmo, em virtude do sombreamento. Logo, a altura do meristema apical aumentou. Ademais, o efeito do período do ano na altura do meristema apical e no comprimento do perfilho estendido (Figura 4) está ligado à maior disponibilidade hídrica no período chuvoso, resultando em maior crescimento do perfilho e, conseqüentemente, maior elevação da altura do meristema apical. Os animais preferem pastar em locais com maior disponibilidade de forragem e, no presente trabalho,

houve uma menor DF nas distâncias próximas das árvores (2,5 e 5,0 m). Vieira Júnior et al., (2013), avaliando características da forragem que acarretam o comportamento e o consumo de ruminantes, concluem que os ruminantes tendem a preferir áreas onde a disponibilidade de forragem é maior, pois isso facilita o acesso à forragem e aumenta a ingestão de alimento, resultando em um maior desempenho.

A fração folha é a mais digestível da planta (TESK et al., 2018) e, no presente trabalho, foi pouco influenciada pelo sombreamento das árvores. Já a menor proporção de folhas no período seco (Figura 5) pode estar relacionada à menor pluviosidade, que pode ter prejudicado a formação e a manutenção dos tecidos vegetais vivos, levando à redução da porcentagem de folhas no período seco (SOUSA et al., 2023). A menor presença de material morto em áreas mais próximas das árvores pode ser resultado do menor autossombreamento de folhas devido ao maior alongamento de colmos nessas distâncias, levando à redução de autossombreamento de folhas e perfilhos.

Os resultados de umidade do solo (Tabela 6) diferem dos reportados por Lima et al. (2018), avaliando os atributos do solo de um sistema silvipastoril na zona da mata de Pernambuco, com árvores de sabiá e glirícidia estabelecidas em linhas duplas com distância de 10 m entre renques. Os autores observaram que a umidade do solo foi maior nas pastagens de *U. decumbens* em monocultivo do que no SSP. No presente estudo, esperava-se que a umidade do solo variasse entre as distâncias por causa da competição entre as plantas e a alta exigência das *C<sub>3</sub>* por água, que poderia levar à diminuição da umidade do solo próximo às árvores da sabiá, visto que o sistema radicular da sabiá já estava desenvolvido. Durante o período experimental, as árvores já apresentavam seis anos e, possivelmente, tinham acesso à água em camadas mais profundas no solo (Silva et al., 2021b).

A evaporação de água do solo, a textura do solo e a quantidade de solo descoberto são outros fatores que podem influenciar o teor de umidade do solo, embora estas variáveis não tenham sido objetivo do estudo. Wythers et al. (1999) relataram que as taxas mais altas de evaporação em solo descoberto podem levar à redução da umidade do solo, particularmente nas camadas superiores do solo. Oliveira Neto (2022) avaliou a porcentagem de solo descoberto nas áreas de pasto com *U. decumbens* e reportou mais de 8,7% de solo descoberto no primeiro ano de avaliação (2019-2020). É importante considerar que, com o decorrer das avaliações e por influência também do pastejo dos animais, é possível observar de forma visual que este percentual aumentou consideravelmente principalmente nos sub-bosques do SSP. Assim, devido à tal condição, possivelmente este fator tenha influenciado a ausência de efeito da

umidade do solo durante o período experimental. Silva et al. (2021b) reportaram que o teor de umidade do solo foi menor em SSP composto por sabiá e *U. decumbens* próximo das fileiras de árvores, quando comparado ao SSP de gliricídia e *U. decumbens*. Porém, outro aspecto que deve ser considerado é que os valores foram numericamente inferiores no SSP, sendo necessário avaliar o efeito cumulativo desta diferença na umidade do solo por períodos mais longos (>12 meses) durante o crescimento do pasto para realmente verificar se este padrão de resposta permanece ou é alterado nas condições do experimento.

A determinação do índice SPAD permite estimar o teor de clorofila em plantas e pode indicar o estado de nitrogênio na folha (MARANHÃO et al., 2009). De maneira geral, a adubação com nitrogênio contribui para aumentar valores de SPAD, o teor de proteína bruta e a produção de matéria seca (MARANHÃO et al., 2009). A ausência de efeito para este índice no presente estudo pode ser devido a alguns fatores que influenciaram, como o horário do dia, a posição da folha, os protocolos de medição, a fertilização e o estado hídrico das plantas (SILVA et al., 2011).

O fornecimento de N influencia positivamente o conteúdo de clorofila e os valores de SPAD em espécies de *Urochloa*, pois quanto maiores as doses de N, a tendência é ocorrer leituras mais altas de SPAD (MARANHÃO et al., 2009). Assim, é importante considerar estes fatores ao interpretar os valores do índice SPAD em *U. decumbens* em sistema silvipastoril. Por se tratar de um sistema complexo com várias sinergias, deve-se definir um protocolo de medição específico com mais medições em folhas de uma mesma touceira. Além disso, os resultados obtidos neste trabalho para o índice SPAD diferiram do trabalho de Cabral et al. (2013), avaliando as características de pastagem de *Urochloa decumbens* em SSPs e as leguminosas sabiá e gliricídia, com espaçamento de 10 m entre as fileiras no sentido norte-sul. Os autores observaram maior índice SPAD na *Urochloa decumbens* em SSP em relação ao monocultivo; o índice SPAD variou entre 34 e 43 em SSP e, em monocultivo, a variação foi entre 28 e 41. No presente trabalho, esperava-se que o maior índice SPAD ocorresse no SSP, especialmente nas distâncias 2,5 e 5 m (Tabela 6), devido à fixação biológica de N<sub>2</sub> pela leguminosa (ANDRADE et al., 2002).

Em relação ao maior incremento de N total na forragem nas distâncias 2,5 e 5,0 em SSP, a sabiá possui o potencial de fixar aproximadamente 100 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 6) (APOLINÁRIO et al., 2015; HERRERA et al., 2020). Ademais, esta espécie leguminosa apresenta raiz principal que pode chegar até 7,3 m de profundidade (CALDAS et al., 2009) e, com isso, interceptar e absorver nutrientes de horizontes profundos do solo e reciclá-los para a

superfície do solo por meio da fixação biológica de N<sub>2</sub> (FBN) (LIRA JR et al., 2020; PESSOA et al., 2025) e, também, por meio da deposição de serapilheira (DUBEUX et al., 2017; POUDEL et al., 2024), visto que a deposição de serapilheira concentra-se próximo das fileiras das árvores. Esta situação associada à FBN e a renovação das raízes abaixo do solo contribuem para aumentar a disponibilidade de nutrientes para espécies herbáceas adjacentes como a *U. decumbens* em SSP (PESSOA et al., 2025). Lira Junior et al. (2020) reportaram que os estoques de C e N do solo aumentam significativamente sob árvores de leguminosas, com os estoques de N triplicando em todas as distâncias das árvores (0, 4 e 8 m) após dois anos de estabelecimento.

No entanto, o tipo da árvore influencia os padrões de crescimento da gramínea e o teor de N na serapilheira do pasto (SANTOS et al., 2024). A partir deste resultado, é possível apontar que talvez seja necessário ajustar a fertilização com N, com base na distância das árvores e, a partir dessa intervenção no manejo, atingir uma maior eficiência do uso de N pela *U. decumbens* nas maiores distâncias das árvores (7,5; 10 e 12,5 m). Herrera et al. (2023) indicaram que a fertilidade do solo é reduzida em SSPs com sabiá ao longo dos anos devido à maior demanda por nutrientes com o avanço da idade das árvores nestes sistemas integrados. Assim, é importante considerar que as árvores de sabiá, no presente estudo, estavam com mais de seis anos. Por isso, é fundamental refletir sobre os ajustes no manejo de fertilização com N e outros nutrientes para obter melhores respostas do pasto e evitar a degradação ao longo do tempo. Komainda et al. (2024) constataram que não fertilizar com N a 6,5 m das árvores pode economizar fertilizante sem impactar negativamente a produção de forragem em SSP.

## 5.0 CONCLUSÕES

O tipo de SSP com filas duplas e a densidade arbórea de 600 árvores ha<sup>-1</sup> da sabiá após sete anos de estabelecimento influenciaram a estrutura do pasto de *U. decumbens* até a distância de 5,0 m. Houve impacto na densidade populacional de perfilhos, massa de forragem e densidade de forragem, evidenciando a necessidade de manejo adequado para mitigar os efeitos do componente arbóreo na gramínea. Os constituintes morfológicos folha e colmo são menos afetados pela distância das árvores, mesmo com variações significativas da massa de forragem. A umidade do solo apresentou baixa variabilidade em relação às distâncias das árvores e ao monocultivo. Houve incremento do nitrogênio total da forragem da *U. decumbens* até 5,0 m das fileiras das árvores, sugerindo a necessidade de reposição de nutrientes a partir da distância das árvores de 5,0 m para não comprometer a persistência da *U. decumbens* em SSP. A redução na MF e DPP nas áreas mais próximas da sabiá indicam a necessidade de adoção de taxa de lotação reduzida no SSP em comparação ao monocultivo.

## 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ALMEIDA, R. G. et al. Sistemas silvipastoris: produção animal com benefícios ambientais. In: **Embrapa Gado de Corte-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: congresso nordestino de produção animal**. 2014.

ALVES, L. A. et al. Soil acidification and P, K, Ca and Mg budget as affected by sheep grazing and crop rotation in a long-term integrated crop-livestock system in southern 41 Brazil. *Geoderma*, v. 351, p. 197-208, 2019.

AMÉNDOLA, L. et al. Social behaviour of cattle in tropical silvopastoral and monoculture systems. **Animal**, v. 10, n. 5, p. 863-867, 2018.

ANDA, Associação Nacional para Difusão de Adubos. 2022. Disponível em: [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/governo-federal-lanca-plano-nacional-de-fertilizantes-para-reduzir-importacao-dos-insumos?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/governo-federal-lanca-plano-nacional-de-fertilizantes-para-reduzir-importacao-dos-insumos?utm_source=chatgpt.com). Acesso em: fevereiro de 2025.

ANGULO, A. M. H. et al. Soil fertility in silvopastoral systems integrating tree legumes with signalgrass (*Urochloa decumbens* Stapf. R. Webster). **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 31, n. 4, p. 287-298, 2023.

ANJOS, M.M. et al. Sistemas integrados de produção agropecuária e os efeitos do componente animal. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, p. e498101624014-e498101624014, 2021.

AOAC, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C, 2023.

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

APOLINÁRIO, V. X. O. et al. Tree Legumes Provide Marketable Wood and Add Nitrogen in Warm-Climate Silvopasture Systems. **Agronomy Journal**, v.107, p.1915-1921, 2015.

ARAÚJO, J. P. et al. Sistemas silvipastoris: uma alternativa para a recuperação de pastagens degradadas e melhoria do bem-estar animal. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 13, n. 3, p. 45-58, 2018.

ARAÚJO, R. P. et al. Produção e composição química de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk em sistema silvipastoril sob diferentes espaçamentos com *Eucalyptus Urophylla* s.t. Blake. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 3, p. 90-98, 2013.

ARAÚJO, S. A. C. et al. Growing tropical forage legumes in full sun and silvopastoral systems. *Acta Scientiarum*. **Animal Sciences**, v.39, p.27-34, 2017.

BANSAL, S.; CHAKRABORTY, P.; KUMAR, S. Crop–livestock integration enhanced soil aggregate-associated carbon and nitrogen, and phospholipid fatty acid. *Scientific Reports*, v. 12, n. 1, p. 1-13, 2022.

BARBOSA, V.V. et al. Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco – Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 09, n. 02, p. 353–367, 2016.

BARROS, D. M. A. et al. Perspectiva do manejo de pastagens nativas no bioma caatinga para produção de ruminantes. *Atualizações científicas do centro de ciências agrárias da universidade federal do piauí*, 2024.

BENTO, G. P. et al. Sistemas silvipastoris no Brasil: uma revisão sistemática. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 10, p. e7019109016-e7019109016, 2020.

BERNARDY, D. J. et al. Produção E Viabilidade Financeira Em Sistema Silvopastoril Em Pequena Propriedade Rural. *Revista Árvore*, v. 46, p. e4622, 2022.

BLACKMER, T.M. SCHEPERS, J.S. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *Journal Production Agriculture*, v. 8, p. 56-60, 1995.

BRAGA, C.J. et al. Seasonal herbage accumulation plant-part composition and nutritive value of signalgrass (*Urochloa decumbens*) pastures under simulated continuous stocking. *Tropical Grasslands Forrajes Tropicales*, v.8, p.48-59, 2020.

BRASIL. Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil para 2035. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/nova-ndc-do-brasil-representa-paradigma-para-o-desenvolvimento-do-pais-diz-marina-na-cop29>. Acesso em: fevereiro de 2025.

BRASIL. Governo Federal lança Plano Nacional de Fertilizantes para reduzir importação dos insumos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/governo-federal-lanca-plano-nacional-de-fertilizantes-para-reduzir-importacao-dos-insumos>. Acesso em: fevereiro de 2025.

BRASIL. Plano Nacional de Fertilizantes 2050. Governo Federal, 2022. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2022/03/plano-nacional-de-fertilizantes-brasil-2050.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2025.

BUERGLER, A. L. et al. Botanical composition and forage production in an emulated silvopasture. *Agronomy Journal*, v. 97, n. 4, p. 1141-1147, 2005.

CALDAS, G. G. et al. Efeito da fertilização fosfatada na produção de raízes, liteira e nodulação de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. *Revista Árvore*, v. 33, p. 237-244, 2009.

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.

CARVALHO P.C.D.F. et al. Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification. *Journal of Animal Science*, v. 96, n. 9, p. 4012-4012. 2018.

CARVALHO, C. A. B. et al. Morphogenetic and structural traits of tillers and herbage accumulation of Tanganyika grass under shading levels. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 23, p. e2100452022, 2022.

CARVALHO, C. B. M. et al. Initial growth and survival of Eucalyptus spp. and Mimosa caesalpiniiifolia Benth. in silvopastoral systems and their impact on herbage accumulation of Urochloa decumbens Stapf RD Webster. **Agroforestry Systems**, v. 96, n. 7, p. 1053-1064, 2022b.

CARVALHO, C. B. M. et al. Nutritive value of Urochloa decumbens Stapf RD Webster and Mimosa caesalpiniiifolia Benth. and performance of cattle in monoculture and silvopastoral systems, in the Agreste region of Pernambuco. **Tropical Animal Health and Production**, v. 54, n. 4, p. 246, 2022a.

CASTILLO, M. S. et al. Tree species effects on understory forage productivity and microclimate in a silvopasture of the Southeastern USA. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 295, p. 106917, 2020.

CAVALCANTI, F.J.A.; LIMA JÚNIOR, M.A.; LIMA, J.F.W.F. Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª Aproximação. 3 ed. Recife: Instituto Agrônomico de Pernambuco, 212 p., 2008.

CHEBLI, Y. et al. Silvopastoral system in Morocco: Focus on their importance, strategic functions, and recent changes in the Mediterranean side. **Sustainability**, 13(19), 10744.2021.

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.

COELHO, J. S. et al. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1487-1499, 2014.

COSTA, S. B. M. et al. Livestock performance in warm-climate silvopastures using tree legumes. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 5, p. 2026-2035, 2016.

COSTA, S. B. M. et al. Proportion and digestibility of tree legumes in diets of grazing cattle in a tropical silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 252, p. 104689, 2021.

CRESTANI, S. et al. Tussock and tiller population dynamics on rotationally stocked Piatã palisadegrass (Urochloa brizantha) in an integrated crop–livestock–forestry system. **Crop and Pasture Science**, v. 73, n. 3, p. 273-284, 2022.

DA SILVA, P. L. F. et al. Estoques de carbono e retenção hídrica em biomassa de gramíneas no agreste da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 13, n. 2, p. 155-167, 2019.

DALE, J. E. et al. The ecophysiology of plants in the shade. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 43, p. 599-626, 1992.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. et al. Tree legumes: An underexploited resource in warm climatesilvopastures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.46, p.689-703, 2017.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 353 p., 3 ed, 2013.

FIGUEIREDO, C.C. de et al. Nitrogen Use Efficiency in an Agrisilviculture System with *Gliricidia sepium* in the Cerrado Region. **Plants**, v. 12, n. 8, p. 1647, 2023.

FROTA, M.N.L.D. Enteric methane in grazing beef cattle under full sun, and in a silvopastoral system in the Amazon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 52, n. 11, p. 1099-1108, 2017.

GAUTIER, H. et al. Tillering responses to the light environment and to defoliation in populations of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) selected for contrasting leaf length. **Annals of Botany**, v.83, p.423-429, 1999.

GIRO, Alessandro et al. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. **Science of the Total Environment**, v. 684, p. 587-596, 2019.

GODINA, R. et al. Forage yield of *Urochloa* grass cv Camello I and II at different cutting frequencies and intensities. **Agro Productividad**, 2022.

GOMES, F. J. et al. Microclimate effects on canopy characteristics of shaded palisadegrass pastures in a silvopastoral system in the Amazon biome of central Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 115, p. 126029, 2020.

GÓMEZ, S.; GUENNI, O.; BRAVO GUENNI, L. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *B. rachiaria decumbens* Stapf. **Grass and Forage Science**, v. 68, n. 3, p. 395-407, 2013.

GUIMARÃES, T.G. **Nitrogênio no solo e na planta, teor de clorofila e produção do tomateiro, no campo e de estufa, influenciados por doses de nitrogênio**. 201 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa, 1998.

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

HERRERA, A. M. et al. Potential of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. and *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. in silvopastoral systems intercropped with signalgrass [*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster]. **Agroforestry Systems**, 2021.

HERRERA, A. M. et al. Potential of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. and *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. in silvopastoral systems intercropped with signalgrass [*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster]. **Agroforestry Systems**, 2021.

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, p.263–273, 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017: Resultados Definitivos. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017/resultados-definitivos.html>. Acesso em: fevereiro de 2025.

IZIDRO, J. L. P. S. et al. Dendrometry, production, and nutritional value of *Mimosa caesalpiniiifolia* (Leguminosae) under monocrop and silvopastoral system<sup>1</sup>. **Agroforestry Systems**, v. 98, p. 2897-2910, 2024a.

IZIDRO, J. L. P. S. et al. Structural and productive characteristics of *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster in monoculture and silvopastoral system. **The Journal of Agricultural Science**, p. 1-11, 2024b.

JUNIOR, O. V.S. **Qualidade física do solo, estoque de carbono e produtividade de diferentes sistemas silvipastoris regenerativos**. 2021. (Dissertação de Mestrado Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

KLUGE, Ricardo Alfredo; TEZOTTO-ULIANA, Jaqueline V.; DA SILVA, Paula PM. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 56-73, 2015. CARRIL, Elena Pérez-Urria. Fotosíntesis: aspectos básicos. **Reduca (Biología)**, v. 2, n. 3, 2011.

KOMAINDA, M. et al. Adjusting nitrogen fertilization to spatial variations in growth conditions in silvopastoral systems for improved nitrogen use efficiency. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 128(3), 397-409, 2024.

LEAL, W. S. **Manejo de capim mombaça nos sistemas convencional e silvipastoril submetido a alturas de corte**, 2021. (Graduação Zootecnia). Universidade Federal do Norte do Tocantins, Araguaína.

LIMA M.A. et al. Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system. **Grass and Forage Science**, v.74, p.160-170, 2019.

LIMA, H.N.B. et al. Soil attributes of a silvopastoral system in Pernambuco Forest Zone. **Tropical Grasslands**, v. 6(1), 2018.

LIMA, M. A. et al. Evaluation of a long-established silvopastoral *Brachiaria decumbens* system: Plant characteristics and feeding value for cattle. **Crop and Pasture Science**, v.70, p.814-825, 2019.

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.

LIRA JUNIOR, M. A. et al. Legume-based silvopastoral systems drive C and N soil stocks in a subhumid tropical environment. **Catena**, v. 189, p. 104508, 2020.

LOPES, C. M. et al. Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 69, p. 225-233, 2017.

LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J.C. et al. Carbon storage and sequestration rates in *Leucaena leucocephala* based silvopasture in Southern Mexico. **Agroforestry Systems**, p. 1-17, 2023.

MADAKADZE, I.C. et al. Field evaluation of the chlorophyll meter to predict yield and nitrogen concentration of switchgrass. **Journal of Plant Nutrition**, v. 22. n. 6, p. 1001-1010, 1999.

- MAIA, N. J. C. et al. Integrated crop-livestock versus conventional systems: use of soil indicators to detect short-term changes during seasonal variation. *Bragantia*, v. 80, p. e5821, 2021.
- MALAVIYA, D. R. et al. Effects of shade on Guinea grass genotypes *Megathyrsus maximus* (Poales: Poaceae). **Revista de Biologia Tropical**, 68(2), 563-572, 2020.
- MARANHÃO, C. M. A. et al. Produção e composição químico-bromatológica de duas cultivares de braquiária adubadas com nitrogênio e sua relação com o índice SPAD. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 31, n. 2, p. 117-122, 2009.
- MARTIN, D.M. et al. Beef cattle behavior in integrated crop-livestock systems. **Ciência Rural**, v. 52, n. 3, p. e20210143, (2022).
- MATOS, A. K. M. G. **Biometria e morfologia de inaji (*Attalea maripa* (Aubl.) Mart. (arecaceae) em sistema silvipastoril**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal Rural da Amazonia, Belpm, 2010.
- MCGRODDY, M. E. et al. Estoques de carbono em sistemas silvipastoris: um estudo em quatro comunidades do sudeste do Equador. **Biotropica**, 47(4), 407-415, 2015.
- MONTAGNINI, F. et al. Sistemas silvipastoris e mitigação das mudanças climáticas na América Latina. **Bois et forêts des tropiques** 316.2 (2013): 3-16, 2022.
- MONTEIRO, A. et al. Crop-livestock-forestry systems as a strategy for mitigating greenhouse gas emissions and enhancing the sustainability of forage-based livestock systems in the Amazon biome. **Science of The Total Environment**, v. 906, p. 167396, 2024.
- MORALES RUIZ, D. E. et al. Carbon contents and fine root production in tropical silvopastoral systems. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 2, p. 738-756, 2021.
- 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.
- NAKANO, H. Effect of early-stage shading of direct seeded rice on growth and yield components. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 69, n. 2, p. 182-188, 2000.
- NASCIMENTO, H. L. B. et al. Physiological characteristics and forage accumulation of grazed Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) growing in monoculture and in silvopasture with *Eucalyptus urograndis*. **Crop and Pasture Science**, v. 70, n. 4, p. 384-394, 2019.
- NETO, R. P. et al. Avanços da sustentabilidade da pecuária de corte brasileira. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, 2023.
- NIZA COSTA, M. et al. Combined Use of a Bacterial Consortium and Early-Colonizing Plants as a Treatment for Soil Recovery after Fire: A Model Based on Los Guájares (Granada, Spain) Wildfire. **Biology**, v. 12, n. 8, p. 1093, 2023.
- OLIVEIRA NETO, P.M. **Fertilidade do solo, características produtivas e valor nutritivo de *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster. e *Mimosa caesalpinifolia* Benth. em**

**monocultivo e sistema silvipastoril.** 2022. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

OLIVEIRA, A. et al. Características das pastagens e desempenho do gado em sistemas silvipastoris com Eucalyptus e Urochloa: revisão sistemática e meta-análise. **Livestock Science**, v. 262, p. 104973, 2024.

ONU, Relatório Anual das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas.2020. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/publications/relatorio-anual-2020>. Acesso em: fevereiro de 2025.

ORTIZ T.J. et al. Árvores em pastagens: conhecimento, manejo e motivos locais em Veracruz tropical, México. **Sistemas Agroflorestais**, 97(4), 687-698, 2023.

OSEWOLD, J. et al. Support trees in vanilla agroforests of Madagascar: diversity, composition and origin. **Agroforestry Systems**, v. 96, n. 4, p. 717-730, 2022.

PACIULLO, D. S. C. et al. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1176-1183, 2011.

PACIULLO, D. S. C. et al. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 573-579, 2007.

PACIULLO, D. S. C. et al. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal*, v.8, p.1264-1271, 2014.

PACIULLO, D.S.CE. et al. Opportunities and challenges of integrated systems in animal production: Emphasis on silvopastoral systems. **Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal**, v.25, p.25-35, 2017.

PEDREIRA, C. G. S. et al. Herbage accumulation, plant-part composition and nutritive value on grazed signal grass (*Brachiaria decumbens*) pastures in response to stubble height and rest period based on canopy light interception. **Crop and Pasture Science**, v. 68, n. 1, p. 62-73, 2017.

PESSOA, D. V. et al. Legume trees in an established tropical grass pasture increase deep-soil N stocks. **European Journal of Agronomy**, v. 164, p. 127462, 2025.

PESSOA, D. V. et al. Litter Deposition and Decomposition in a Tropical Grass-Legume Silvopastoral System. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, p. 1-15, 2024.

PEZZOPANE J. R. M. et al (2015). Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, 74, 110-119, 2015.

PIROLI, E. L. et al. Sistemas agroflorestais em assentamentos rurais: aplicação no município de Rosana, SP, Brasil. **Revista Ciência em Extensão**, v. 14, n. 2, p. 159-169, 2018.

POUDEL, S. et al. Silvopastures: benefits, past efforts, challenges, and future prospects in the United States. **Agronomy** 14, 1369,2024.

RAWAL, N. et al. Fertilizer management and incorporation of legumes on performance of maize (*Zea mays* L.) in western hills of Nepal. **Journal of Agriculture and Food Research**, p. 100690, 2023.

ROCHA, J. M. L. **Altura de manejo do capim mombaça em sistema silvipastoril sob duas distâncias do renque de árvores**. 2021. (Monografia apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus de Araguaína.

SANTOS S. H. M. Et al. Crescimento e teor de clorofila em plantas jovens de *Ceiba pentandra* (L) Gaertn e *Acacia mangium* Willd, sob diferentes condições de luminosidade. In: **Congresso brasileiro de fisiologia vegetal, 6.**, Belém, PA. Resumos. Belém, PA: SBFV,1997.

SANTOS, A. M. G. et al. Animal performance in grass monoculture or silvopastures using tree legumes. **Agroforestry Systems**, v. 94, p. 615-626, 2020.

SANTOS, A. M. G. et al. The distance from tree legumes in silvopastoral systems modifies the litter in grass-composed pastures. **The Journal of Agricultural Science**, p. 1-32, 2024.

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

SANTOS, D.C. et al. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.266, p.174-180, 2019.

SANTOS, D.C. et al. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.266, p.174-180, 2018.

SANTOS, M. E. R. et al. Pasture height at the beginning of defoliation as a determinant of signal grass structure and potential selectivity by cattle. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 35, p. 379-385, 2013.

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.

SELEMANI, I. S. et al. Variação na quantidade e qualidade de forragens nativas e comportamento de pastejo de bovinos e caprinos na Tanzânia. **Ciência da Pecuária**, v. 157, n. 1, p. 173-183, 2013.

SHAO, Qingsong et al. Effects of shade treatments on photosynthetic characteristics, chloroplast ultrastructure, and physiology of *Anoectochilus roxburghii*. **PloS one**, v. 9, n. 2, p. e85996, 2014.

SILVA, I. A. G. et al. Tree legume enhances livestock performance in a silvopasture system. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 1, p. 358-369, 2021a.

SILVA, I. A. Gomes et al. Tree canopy management affects dynamics of herbaceous vegetation and soil moisture in silvopasture systems using arboreal legumes. **Agronomy**, v. 11, n. 8, p. 1509, 2021b.

SILVA, M. C. C. et al. Índice SPAD em função de diferentes horários e posições no folíolo da batata sob fertilização nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 971-977, 2011.

SILVA, M.G. **Crescimento, produção e distribuição de biomassa de espécies florestais em resposta ao método de cultivo**. 2017. (Dissertação de mestrado ciências florestais), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SILVA, P.H.F. et al. Radiation use efficiency and canopy structure of contrasting elephant grass varieties grown as monocrops and intercrops with butterfly pea. **The Journal of Agricultural Science**, v. 161, n. 1, p. 88-96, 2023.

SILVA, V. J. et al. Canopy height and nitrogen affect herbage accumulation, nutritive value, and grazing efficiency of 'Mulato II' brachiariagrass. **Crop Science**, v. 56, n. 4, p. 2054-2061, 2016.

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

SIMIONI, G.F. et al. Response of birds to high biodiversity silvopastoral systems: Integrating food production and biodiversity conservation through applied nucleation in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 324, p. 107709, 2022.

SIMÕES, V.J.L.P. et al. Physical-hydric attributes and soil CO<sub>2</sub> efflux in pastoral systems in a Brazilian semi-arid environment. *Agroforestry Systems*, p. 1-13, 2023.

SOARES, A. B. et al. Estrutura do dossel e comportamento ingestivo de caprinos em pastos de papuã manejados sob lotação contínua. **Ciência Animal Brasileira**, v. 20, p. e-49219, 2019.

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

SOUSA, L. F. et al. Morpho-physiological and anatomical characteristics of *Urochloa brizantha* cv. Marandu in silvopastoral and monoculture systems. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, 45, e59494, 2023.

SOUZA, G. S. et al. Sistemas silvipastoris e preparo do solo na renovação de pastagens degradadas no Espírito Santo. *Sistemas integrados de produção: Pesquisa e desenvolvimento de tecnologias*. Gonçalves, fg [et al.](Eds.). Guarujá, SP: **Científica Digital**, 2021.

SOUZA, R. T. D. A. et al. Dwarf and tall elephantgrass genotypes under irrigation as forage sources for ruminants: herbage accumulation and nutritive value. *Animals*, v.11, p.2392-2408, 2021.

SOUZA, W. A. **Respostas fisiológicas e desempenho de caprinos canindé e moxotó suplementados com concentrado energético no semiárido equatorial**. 2024. Monografia de conclusão de curso (Graduação em Zootecnia) Universidade Federal da Paraíba, São João do Cariri.

TAIZ, L. et al. Plant Physiology and Development. **In Journal of Chemical Information**

**and Modeling** (6th ed., p. 761). Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2015.

TEIXEIRA, M. F. **Importância do sistema silvipastoril na pecuária leiteira**. 2023. Monografia de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

TEODORO, A. G. et al. Características da pastagem de capim marandu sobre efeito de espécies de eucalipto, arranjos e espaçamento entre árvores à diferentes distâncias do renque. **Observatório de la economía latinoamericana**, v. 22, n. 4, p. e3993-e3993, 2024.

THORNTHWAITE, C.; MATHER, J. The Water Balance. New Jersey: Drexel Institute Of 508 Technology. Publications in Climatology, p.104, 1955.

TORRES, B. et al. Tree Diversity and Its Ecological Importance Value in Silvopastoral Systems: A Study along Elevational Gradients in the Sumaco Biosphere Reserve, Ecuadorian Amazon. **Land**, v. 13, n. 3, p. 281, 2024.

VIEIRA J, et al. Características da forragem que implicam no comportamento e consumo de ruminantes. 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/25b4ee38-c340-4c11-b24c-7757d0fcad5a>. Acesso em: Janeiro de 2025.

VITAL, M. H. F. Aquecimento global: acordos internacionais, emissões de CO2 e o surgimento dos mercados de carbono no mundo. **BNDES Setorial**, v. 24, n. 48, 2018.

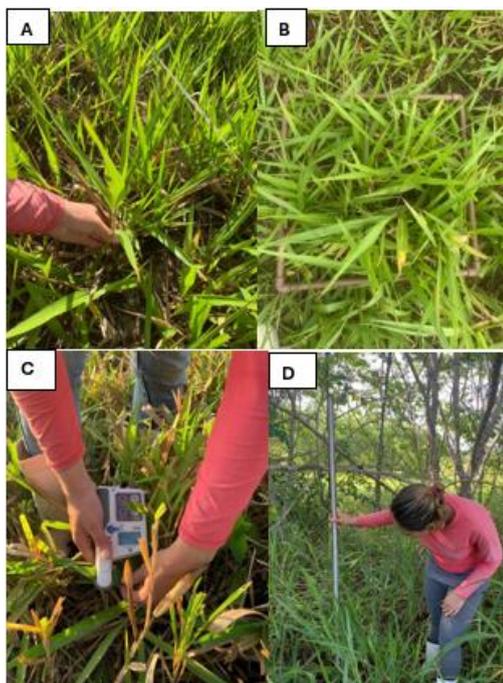
WILSON, J.R. et al. Senescence, digestibility and carbohydrate content of buffel grass and green panic leaves in swards. *Australian Journal Agricultural Research*, v.29, p.503-519, 1978.

WILSON, J.R. et al. The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. **Tropical Grasslands**, v.24, p.24-28, 1990.

WYOTHERS, K. R. et al. Bare-soil evaporation under semiarid field conditions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 5, p. 1341-1349, 1999.

## APÊNDICES

Apêndice 1. Avaliações no *Urochloa decumbens* nas parcelas experimentais de coleta de perfilho (A), massa de forragem (B), teor de clorofila (C) e altura do dossel (D).



Apêndice 2. Separação dos constituintes morfológicos do estrato superior e inferior, na massa de forragem (21 dias) da *Urochloa decumbens*.

