

SEBASTIÁN GIRALDO MONTOYA

**ECOFISIOLOGIA E PRODUTIVIDADE DE *Brachiaria decumbens*
EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM MACAÚBA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

G516e
2016
Giraldo Montoya, Sebastián, 1987-
Ecofisiologia e produtividade de *Brachiaria decumbens* em
sistema silvipastoril com macaúba / Sebastián Giraldo Montoya.
– Viçosa, MG, 2016.
vii, 93f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.41-44.

1. *Brachiaria decumbens* - Efeito da luz. 2. Capim
braquiária. 3. Fotossíntese. 4. Macaúba. I. Universidade Federal
de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de
Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22 ed. 633.27

SEBASTIÁN GIRALDO MONTOYA

**ECOFISIOLOGIA E PRODUTIVIDADE DE *Brachiaria decumbens*
EM SISTEMA SILVIPASTORIL COM MACAÚBA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 21 de outubro de 2016.

Rafael Carlos dos Santos

Fernanda Helena Chizzotti

Kacilda Naomi Kuki
(Coorientadora)

Domingos Sávio Queiroz
(Coorientador)

Sérgio Yoshimitsu Motoike
(Orientador)

A minha mãe, Sara Beatriz Montoya Jaramillo pelo amor e apoio incondicional e por encarar a vida como se não houvesse barreira suficientemente forte que não pudesse ser superada.

Dedico.

“La insistencia vence lo que la dicha no alcanza”

Sara B. Montoya

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Sara B. Montoya e irmã Catalina Giraldo Montoya pelo exemplo de vida e por sempre acreditarem nos meus sonhos.

A minha família brasileira Dona Clenda, Nivia Aniele Oliveira e Monique Oliveira, pelo carinho ao longo desses anos de vida acadêmica e principalmente por terem me recebido de braços abertos neste país maravilhoso, meu amado Brasil.

A Dra. Manuela Maria Cavalcante Granja pelo amor incondicional e principalmente pela paciência e incentivo nos momentos mais difíceis ao longo desses anos.

À família Giraldo Sanchez pelo incentivo, com especial carinho ao meu tio Juan José Giraldo Velásquez, por me apoiar incondicionalmente nesse meu sonho e vida profissional.

A minha tia Vicky Von Siebenthal e família por terem me ajudado nessa caminhada sem importar a distância.

Ao meu orientador Sérgio Yoshimitsu Motoike por me receber na UFV e me permitir fazer parte do grupo REMAPE. Igualmente por disponibilizar todos os recursos humanos e econômicos para a execução do meu trabalho.

Aos meus co-orientadores, Kacilda Naomi Kuki, Domingos Sávio Queiroz e Paulo Roberto Cecon por participarem ativamente na realização deste trabalho e principalmente por me guiarem pacientemente por esse desafiador e maravilhoso mundo acadêmico.

Aos membros da banca pela participação e valiosas contribuições para a melhoria deste trabalho.

Aos colegas do REMAPE pela parceria, amizade e trocas de conhecimento ao longo desses anos, que contribuíram para a execução deste estudo.

Às instituições Universidade Nacional da Colômbia, Universidade de Buenos Aires e a Universidade Federal de Viçosa por fazerem parte do meu crescimento profissional e pessoal.

Às agências de fomento CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa e à Petrobrás pela concessão da bolsa de estudo.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO GERAL	5
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1 ENSAIO I.....	6
a) Local, material vegetal, condições de cultivo e tratamentos.	6
b) Avaliações	8
c) Delineamento experimental e análise estatística	10
3.2 ENSAIO II	11
a) Local, material vegetal, condições de cultivo e tratamentos	11
b) Avaliações	13
<i>b.1) Componente climático: Meso e Micro-clima</i>	14
<i>b.2) Componente vegetal: Capim braquiária</i>	15
c) Delineamento experimental e análise estatística	17
<i>c.1) Análise estatística do meso e micro-clima</i>	18
<i>c.2) Análise estatística da forrageira</i>	18
3.3 ENSAIO III.....	20
a) Local e material vegetal.....	20
b) Avaliações	20
c) Estimativa do carbono estocado e CO ₂ assimilado no SSP macaúba - capim braquiaria	21
4. RESULTADOS	23
4.1 ENSAIO I	23
4.2 ENSAIO II	29
4.3 ENSAIO III.....	44
5. DISCUSSÃO.....	47
5.1 ENSAIO I	47
5.2 ENSAIO II	52
5.3 ENSAIO III.....	65
6. CONCLUSÕES.....	68

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	71
9. APÊNDICES	82

RESUMO

MONTOYA, Sebastián Giraldo, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2016. **Ecofisiologia e produtividade de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril com macaúba.** Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Coorientadores: Kacilda Naomi Kuki, Domingos Sávio Queiroz e Paulo Roberto Cecon.

Algumas gramíneas como *Brachiaria decumbens* tem sido apontadas como tolerantes ao sombreamento, característica que torna essa espécie viável para ser inserida nos sistemas silvipastoris (SSPs) como componente vegetal forrageiro. Os SSPs são considerados modelos de produção agrícola e pecuária de suma importância para a otimização das áreas agrícolas. A macaúba, palmeira nativa do Brasil é considerada uma planta promissora para a produção de biocombustível e para a inserção da espécie nos SSPs. O objetivo deste estudo foi verificar a capacidade fotossintética de *Brachiaria decumbens* (capim braquiária) sob diferentes níveis de sombreamento, além de estimar a disponibilidade de matéria seca e o sequestro de CO₂ quando consorciada com a macaúba sob diferentes espaçamentos. Foram analisadas variáveis microclimáticas, fisiológicas, físicas e químicas de *Brachiaria decumbens* dentro os ensaios realizados. O ensaio I foi realizado em casa de vegetação sob três condições de sombreamento, 0, 50 e 80% em relação á luminosidade global. Esse experimento foi disposto em DBC com três tratamentos (sombreamento 0, 50 e 80%) e 5 repetições. O ensaio II foi realizado em campo (Araponga - MG) durante duas épocas sazonais, época seca e chuvosa. O experimento foi conduzido em DBC com 4 blocos e 6 tratamentos: T_{4,5x4,5}: 4,5m x 4,5m; T_{5x4}: 5m x 4m; T_{6x4}: 6m x 4m; T_{7x4}: 7m x 4m; T_{8x4}: 8m x 4m; T_{mono}: monocultivo (somente capim braquiária). Durante as duas épocas avaliadas, foi possível detectar diferenças, físicas, químicas e fisiológicas do capim braquiária em todos os tratamentos. A redução da luminosidade tanto artificial quanto natural afetou consideravelmente o crescimento, perfilhamento e acúmulo de massa seca (MS) da forrageira. Nas áreas consorciadas menos adensadas (menor número de plantas de macaúba/ha) o acúmulo de MS não diferiu em relação ao monocultivo. A assimilação e acúmulo de carbono pelo SSP macaúba – capim braquiária mostrou ser eficiente e ecologicamente correto. A adoção do SSP macaúba – capim braquiária é viável, entretanto o arranjo espacial do componente arbóreo deve ser implementado de acordo com as necessidades e objetivo do produtor.

ABSTRACT

MONTOYA, Sebastián Giraldo, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2016. **Ecophysiology and productivity of *Brachiaria decumbens* in silvipastoral system with macaúba.** Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Coorientadores: Kacilda Naomi Kuki, Domingos Sávio Queiroz and Paulo Roberto Cecon.

Some grasses such as *Brachiaria decumbens* has been identified as tolerant to shade, a characteristic that makes this viable species to be inserted in silvopastoral systems (SSPs) as plant compound feed. Silvopastoral systems (SPSs) are considered models of agricultural and livestock production of great importance to optimize agricultural areas. The macaw palm, a native palm tree from Brazil is considered a promising plant for biofuel production and for its insertion in SPSs. The objective of this research was to verify the physiological and productive performance of *B. decumbens* in combination with maw palm under different spacings. Microclimatic, physiological, physical and chemical variables of *B. decumbens* were analyzed during two seasonal periods, wet and dry season. The experiment was conducted in RB design with four blocks and six spacings of maw palm: T₁: 4.5m x 4.5m; T₂: 5m x 4m; T₃: 6m x 4m; T₄: 7m x 4m; T₅: 8m x 4m; T₆: monoculture (only brachiaria grass). During the first two evaluated periods, it was possible to detect physical, chemical and physiological differences in the brachiaria grass in all treatments. The luminosity reduction artificial and natural affected considerably the forage dry matter (DM) growth, tillering and accumulation in the denser spacings of macaw palm. On the other hand, in less dense aren't s the DM accumulation did not differ in relation to the monoculture. The Assimilation and carbon accumulation by SSP macaúba – capim brachiaria was efficient and environmentally friendly. The adoption of the SPS macaw palm - brachiaria is viable, however the spatial arrangement of the tree component it should be implemented according to the farmer's needs and primary goal.

1. INTRODUÇÃO

A exploração não racional dos recursos naturais, a excessiva dependência por combustíveis fósseis e as atividades agrícolas inadequadas têm contribuído para o aumento da perturbação do ambiente, diagnosticado pelos níveis crescentes de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera terrestre. Dentre as práticas agrícolas potencialmente danosas ao ambiente, cita-se a instalação e condução inadequada de pastagens em monocultivo, que em áreas de solos de baixa fertilidade acelera a sua degradação (BODDEY *et al.*, 2004). Além disso, o manejo inadequado das pastagens tem levado à perda prematura das áreas produtivas (MACEDO, 2005).

Outro aspecto preocupante é que, em prol de uma fonte de energia mais limpa, a crescente demanda por biocombustíveis vegetais significará em um aumento da área necessária para seu cultivo e produção (FARGIONE *et al.*, 2010), forçando: i) a substituição e deslocamento de culturas não-energéticas (incluído pastagens) para áreas de floresta, ou ii) a intensificação da atividade agrícola numa mesma área de cultivo. Estas mudanças de uso da terra (*land use change*) para a produção de biocombustíveis sejam elas diretas ou indiretas, invariavelmente acarretarão em um aumento dos impactos ambientais, ao invés de sua mitigação (CROEZEN *et al.*, 2010; EDWARDS *et al.*, 2010; FRITSCHÉ & WIEGMANN, 2011). Atividades agrícolas que permitem o sequestro de carbono com a readequação de práticas de uso da terra e silvicultura (MÜLLER *et al.*, 2009), podem auxiliar na redução deste risco.

Metas e prazos estabelecidos em 1997 no protocolo de Quioto mudaram o cenário mundial da produção agrícola e especificamente em relação à emissão de GEEs (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2008). Essas mudanças na visão política mundial têm levado setores da agricultura e da pecuária a estudar

sistemas de produção mais eficientes e sustentáveis (MACEDO *et al.*, 2000; SOUSA *et al.*, 2007). Nesse contexto, a adoção de sistemas agroflorestais (SAFs), em especial os sistemas silvipastoris (SSPs), apresentam-se como uma solução viável, uma vez que podem atuar no sequestro do CO₂ atmosférico e na mitigação das mudanças climáticas (ALBRECHT & KANDJI, 2003). Em comparação com os sistemas tradicionais os SAFs, SSPs incluso, são apontados como excelentes seqüestradores de carbono, uma vez que o cultivo consorciado de diferentes espécies vegetais garante uma remoção de CO₂ atmosférico mais eficiente, em razão dos padrões fisiológicos diferenciados das espécies envolvidas (NAIR, 1993; YOUNG, 1997; HUXLEY, 1999; MACEDO, 2000; TSUKAMOTO FILHO, 2003; SHARROW & ISMAIL, 2004).

A remoção do CO₂ da atmosfera pelas plantas ocorre através da assimilação carboxílica, a fotossíntese. Durante o processo fotossintético, o CO₂ é fixado em compostos reduzidos de carbono que constituirão a biomassa, estrutural e de reserva, dos vegetais (SCHULZE *et al.*, 2005). Estudos apontam que sistemas florestais apresentam elevada taxa de crescimento e, conseqüentemente, da alta capacidade de remover CO₂. De fato, o estoque médio de carbono em plantações de eucalipto, com seis anos de idade, aproxima-se aos 71ton C/ha (PAIXÃO 2006), enquanto que no plantio consorciado de seringueira e cacau o estoque médio de carbono foi de 92 ton C/ha (COTTA, 2005).

Ao contrário dos sistemas de consórcio agroflorestais que só se utilizam de espécies arbóreas, os sistemas SSPs empregam simultaneamente espécies arbóreas e espécies herbáceas, sendo que estas últimas são comumente forrageiras, destinadas a alimentar do componente animal. No Brasil, a prática dos SSPs geralmente utiliza espécies florestais madeireiras, em especial o eucalipto (OLIVEIRA, 2005;

SANTOS, 2005), porém outras espécies arbóreas podem ser empregadas, as quais dependerão da averiguação da compatibilidade entre os componentes vegetais do sistema (PACIULLO, 2008).

A macaúba, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., é uma palmeira arbórea, Neotropical que apresenta alta produtividade e seus frutos contem alto teor de óleo na polpa. Estas características tornam a espécie uma fonte alternativa de óleo para as indústrias óleo-química, alimentícia, e de produção de biocombustível (ARKCOLL, 1990; MOURA, 2010; PIRES *et al.*, 2013). Sua presença natural é comum tanto em ecossistemas naturais como em áreas degradadas, o que revela uma elevada capacidade de aclimação da espécie em relação às adversidades edafo-climáticas. Portanto, a macaúba pode ser uma opção para a recuperação de áreas degradadas ou como componente arbóreo nos SSPs (MOTOIKE & KUKI, 2009). Entretanto, nos SSPs existe a real possibilidade de competição por recursos entre os elementos arbóreo e herbáceo. Em decorrência do próprio arranjo no SSP, as alterações microclimáticas (luminosidade, temperatura, água e UR) são mais exacerbadas no sub-bosque, expondo a forrageira a uma maior gama de estresses potenciais, o que pode interferir no êxito produtivo do sistema (CASTRO *et al.*, 1997; SOARES *et al.*, 2009; BAHMANI *et al.*, 2000).

O manejo de pastagens consorciadas torna-se complexo por envolver diferentes espécies, incluindo o efeito da competição entre as mesmas, que são fisiologicamente diferentes e também, envolvendo os efeitos da seletividade animal sobre as espécies (MUIR *et al.*, 2011). No Brasil, as espécies forrageiras mais comuns em sistemas SSPs são as gramíneas do gênero *Brachiaria*, ditas como tolerantes ao sombreamento (CARVALHO, 1997; CASTRO *et al.*, 1999; PACIULLO, 2007; ANDRADE, 2001). Porém, o nível de redução da luminosidade imposto pelo estrato

arbóreo é um fator limitante para o ótimo crescimento/desenvolvimento das plantas do sub-bosque, pois o processo fotossintético é altamente dependente da qualidade e quantidade de luz incidente. Este fato é ainda mais marcante para espécies de metabolismo C_4 , como as gramíneas tropicais, uma vez que estas demandam mais energia radiante e temperaturas elevadas para a eficácia do processo (BERNARDINO & GARCIA, 2009).

O sombreamento em *B. decumbens*, forrageira de sol, mas dita como tolerante a baixa luminosidade, acarreta alterações na capacidade fotossintética (DIAS FILHO, 2002). Dentre os parâmetros mais utilizados para estimar essas alterações fisiológicas estão aqueles referentes a eficiência do uso da luz, incluindo o ponto de compensação luminoso (PCL), ponto de saturação luminoso (PSL), respiração (R_d) e fotossíntese máxima (A_{max}). Esses parâmetros são influenciados de maneira direta por diversos fatores como a quantidade e qualidade da radiação incidente, temperatura, suprimento de água e, pelo estágio de desenvolvimento da folha (PEDREIRA *et al.*, 2001; BRAGA *et al.*, 2006, 2008). Porém, as gramíneas apontadas como tolerantes ao sombreamento, apresentam alterações morfológica (PACIULLO *et al.*, 2007; NETO *et al.*, 2010) e/ou fisiológica que lhes permitem preservar a fotossíntese sob níveis satisfatórios, garantindo tanto sua sobrevivência (manutenção) como seu crescimento, quando cultivadas em condições de baixa luminosidade (SOARES *et al.*, 2009; BERNARDES, 1987).

Portanto, para o sucesso do SSP é necessário identificar o nível de tolerância da espécie forrageira ao sombreamento e adotar práticas de manejo que garantam a produtividade e persistência da mesma no sub-bosque, que em última análise significa identificar o espaçamento adequado entre as árvores (TORRES, 1982; WONG & STUR, 1993). O cultivo da macaúba e o capim braquiária em SSP poderá

favorecer a produção de biocombustível, ao mesmo tempo em que promoveria a recuperação de pastagens degradadas, minimizando a necessidade de novas áreas de cultivo e os impactos da mudança do uso da terra. Porém, apesar da densidade de plantio da macaúba ser um fator determinante do microclima no sub-bosque, informações acerca da ecofisiologia da braquiária sob interação macaúba-pastagem são escassas.

2. OBJETIVO GERAL

Visando contribuir para a viabilização do cultivo sustentável da macaúba, o presente estudo teve como objetivo geral verificar o desempenho fisiológico e produtivo do capim braquiária, quando cultivado em sistema silvipastoril macaúba - capim braquiária sob diferentes espaçamentos.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O presente estudo focou em três objetivos específicos através da condução de ensaios independentes, como a seguir:

- **Ensaio Investigativo I.** Avaliar a capacidade fotossintética e eficiência do uso da luz do capim braquiária, sob diferentes níveis de sombreamento.
- **Ensaio Investigativo II.** Verificar o desempenho fisiológico e disponibilidade de matéria seca do capim braquiária, quando consorciado com a macaúba sob diferentes espaçamentos e sazonalidade climática, portanto sob diferentes condições microclimáticas.
- **Ensaio Investigativo III.** Estimar o sequestro de CO₂ e acúmulo de carbono do sistema silvipastoril macaúba – capim braquiária, sob diferentes densidades de plantas de macaúba/hectare.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ENSAIO I - *Efeito do sombreamento na capacidade fotossintética e crescimento do capim braquiária.*

a) Local, material vegetal, condições de cultivo e tratamentos.

Este ensaio foi conduzido em uma área aberta, do setor de fruticultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, entre novembro/2015 e janeiro/2016. Plantas de capim braquiária (*Brachiaria decumbens*, sinônimo de *Urochloa decumbens* [Stapf] R.D.Webster) foram propagadas vegetativamente e cultivadas em nove vasos de 20L, tendo como substrato areia e terra na proporção de 1:3, irrigadas e adubadas periodicamente.

Quando as plantas atingiram três folhas completamente expandidas, foi realizada uma poda manual para homogeneização do material vegetal. Posteriormente os vasos foram transferidos e mantidos em três condições de luminosidade (tratamentos): 0, 50 e 80% de sombreamento, T_0 , T_{50} e T_{80} , respectivamente. O sombreamento das plantas em T_{50} e T_{80} foi imposto artificialmente, condicionando-as em uma estrutura de madeira recoberta por camadas de sombrite (parte superior e laterais), enquanto que as plantas em T_0 foram mantidas a pleno sol. Para verificar o grau de sombreamento ocasionado pela tela sombrite em relação à condição de pleno sol, foi utilizado o foto-receptor AccuPAR LP-80 (Decagon Devices, UK).

A umidade relativa do ar (UR) e a temperatura média atmosférica (T °C) em cada condição/tratamento foram registradas com auxílio do Datalogger DT-500 no decorrer do experimento. Os registros diários de temperatura e de umidade relativa do ar dos tratamentos encontram-se na Figura 1, com a temperatura aumentando gradativamente ao longo da manhã e as maiores medias ocorrendo entre 12 e 16 h enquanto que a umidade relativa (UR) apresentou um comportamento inverso.

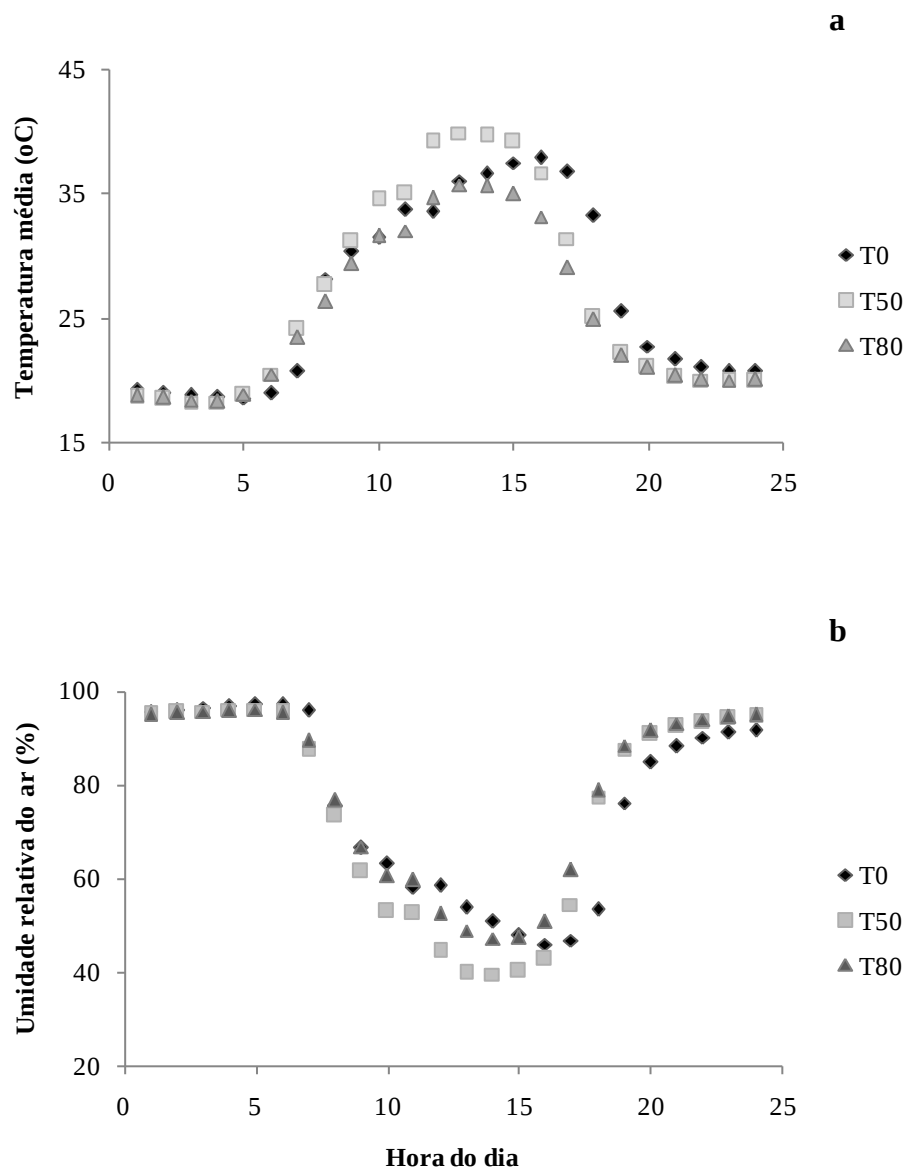


Figura 1: Caracterização do microclima dos tratamentos T_0 , T_{50} e T_{80} . Onde, T_0 : 0% de sombreamento; T_{50} : 50% de sombreamento; T_{80} : 80% de sombreamento. Temperatura média (**a**) e umidade relativa do ar (%) (**b**) ao longo do dia (24 horas) no período de Nov/15 a Jan/16.

b) Avaliações

b.1) Trocas gasosas

Ao longo de três meses de exposição aos tratamentos, a forrageira foi podada manualmente periodicamente para manter as condições físicas desejáveis. Após cada rebrota e quando atingida a condição de três folhas completamente expandidas, foram realizadas as leituras de trocas gasosas. Dessa forma, os dados coletados foram o resultado de três leituras de três ciclos de corte e rebrota.

As leituras de trocas gasosas foram iniciadas após o segundo corte de homogeneização, em dois procedimentos metodológicos independentes: medição pontual e eficiência do uso da luz. Todas as mensurações foram realizadas com um analisador de gás no infravermelho (IRGA) modelo LC Pro da ADC (UK) sempre na terceira folha completamente expandida (quando exposta a lígula), considerando a folha mais próxima do ápice do perfilho, como a folha número 1.

Medição pontual

As leituras foram efetuadas entre as 7 e 9 horas, com a câmara foliar do IRGA fornecendo radiação fotossinteticamente ativa (RFA) constante de $1200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. A temperatura da câmara e a concentração de CO_2 do ar de referência foram aquelas vigentes no momento da medição. O número de leituras de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e da relação A/E , corresponderam ao número de ciclos de podas, como descrito anteriormente.

Eficiência do uso da luz (Curva de luz).

A medição da taxa fotossintética líquida foram realizadas fornecendo-se, de forma decrescente, as seguintes intensidades luminosas de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) 2000, 1800, 1600, 1400, 1200, 1000, 800, 600, 400,

200, 100, 80, 60, 30, 0 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. A temperatura da câmara e o fluxo de ar foram aquelas vigentes no momento da medição.

O dados foram ajustados para o modelo hiperbólico não-retangular usado pelo programa Photosyn Assistant (Dundee Scientific Co., UK) tendo como base a equação quadrática proposta por PRIOUL e CHARTIR (1977):

$$A = \frac{\alpha \cdot Q + A_{max} - \sqrt{(\alpha \cdot Q + A_{max})^2 - 4 \cdot \alpha \cdot Q \cdot k \cdot A_{max}}}{2k} - R_{dia}$$

Onde:

A - Taxa da fotossíntese líquida;

α ou EQ - Eficiência quântica aparente da assimilação de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1}$ fótons);

Q – Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (PPDF) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

A_{max} - Taxa fotossintética saturada pela irradiância ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

k – Convexidade da curva

R_d - Taxa de respiração no escuro ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

b.2) Crescimento

A altura das plantas foi mensurada com auxílio de uma trena, entre a superfície do solo e a primeira folha completamente expandida (exposição da lígula). Sendo a primeira folha, a mais próxima do ápice do perfilho. As coletas de dados de altura foram realizadas ao longo dos ciclos de corte-rebrota, sempre quando atingidas três folhas completamente expandidas.

A contagem dos perfilhos foi realizada uma única vez ao final do experimento, sendo contabilizados todos os perfilhos contidos nos nove vasos de cada um dos tratamentos.

c) Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) constituído por três níveis de sombreamento 0, 50, 80% dispostos em três blocos. Cada bloco continha nove vasos com uma touceira de capim braquiária.

Para a avaliação de trocas gasosas “pontual” procedeu-se à leitura aleatória (na 3ª folha completamente expandida) de cinco perfilhos/vaso em cinco vasos dos nove vasos disponíveis, totalizando 25 leituras por tratamento. A unidade experimental foi constituída pela média da leitura “pontual” de cinco perfilhos/vaso. Foi realizada a análise de variância (ANOVA) e o teste de médias Tukey com $P \leq 0,05$.

Para estimar a eficiência do uso da luz, foram realizadas cinco curvas de luz por tratamento, sendo utilizada uma única folha por perfilho (3ª folha completamente expandida) em cinco vasos dos nove disponíveis. A unidade experimental foi constituída pela curva de luz/perfilho, tendo assim, cinco leituras por tratamento. Os dados foram ajustados pela equação quadrática proposta por PRIOUL e CHARTIR (1977), como descrito anteriormente.

A contagem dos perfilhos foi realizada nos nove vasos disponíveis, em cada um dos tratamentos, constituindo assim, nove repetições por tratamento. A unidade experimental foi constituída pelo número de perfilhos contidos por vaso. Foi realizada a análise de variância (ANOVA) em DBC e o teste de médias Tukey com $P \leq 0,05$.

3.2 ENSAIO II – Respostas ecofisiológicas, bioquímicas e de crescimento do capim braquiária quando cultivado em consórcio com a palmeira macaúba sob diferentes espaçamentos.

a) Local, material vegetal, condições de cultivo e tratamentos

Este estudo foi conduzido na Fazenda Experimental de Araponga pertencente à Universidade Federal de Viçosa. A região possui clima subtropical úmido (Cwa-classificação de Köppen) e encontra-se a 1.244 m de altitude, à 20° 40' 14" S; 42° 30' 47" W. O local de estudo compreendeu uma área consorciada de macaúba-capim braquiária (*Acrocomia aculeata*–*Brachiaria decumbens*) de 1,4 hectares, com cerca de sete anos de idade de implantação e cerca de dois anos da inserção do capim braquiária na área.

As plantas de macaúba foram inseridas na área em 2009, dispostas em quatro blocos e cinco arranjos espaciais (Tabela 1). Essas plantas foram provenientes de diferentes regiões do país o que explica as diferenças fenotípicas do estipe e da copa das plantas. Entre 2009 e 2013 cada um dos espaçamentos foi conduzido com e sem a presença da forrageira (capim braquiária), em virtude de outro trabalho de pesquisa realizado por SOUZA, (2013). Em Dez/2013 foi realizada a semeadura do capim braquiária nas áreas onde não havia forrageira e em Abril/2014 foram inseridas quatro áreas de monocultivo completando assim, seis locais distintos dentro a área de 1,4 hectares (Figura 2) onde foi conduzido o presente estudo.

Os tratamentos consistiram de cinco espaçamentos entre as macaúbas, consorciadas com o capim braquiária, além de quatro áreas de monocultivo com capim braquiária (Figura 2). A densidade de plantas de macaúba por hectare variou em virtude do arranjo espacial de cada um dos espaçamentos (Tabela 1). As áreas consorciadas tinham entre 90 e 120 plantas de macaúba por bloco, sendo que o

número de plantas de macaúba por espaçamento variou de 20 a 40 plantas/bloco dentre as linhas de plantio.

Entre os anos de 2014 a 2016 foram realizadas adubações periódicas nas plantas de macaúbas, na região da projeção da copa na formulação 20N-05P-20K: de 1.000g/planta em Nov/2014, 500g/planta em Jan/2015, 400g/planta em Maio/2015 e em 2016 (janeiro e maio) 800g/planta. As áreas consorciadas e de monocultivo foram adubadas com 300 kg/ha (fórmula: 20N-05P-20K). Entre as aplicações de **NPK**, foram realizadas três aplicações 2ton/ha de calcário o qual tinha na sua composição 1/3 de gesso. Essas aplicações foram realizadas em Nov/2013, Nov/2014 e Nov/2015.

Tabela 1. Descrição do arranjo espacial e número de plantas de macaúba/hectare consorciadas com o capim braquiária.

Espaçamentos	Arranjo espacial	Plantas de macaúba por hectare
T_{4,5x4,5}	4,5 m x4,5 m	494
T_{5x4}	5,0 m x 4,0 m	500
T_{6x4}	6,0 m x 4,0 m	417
T_{7x4}	7,0 m x 4,0 m	357
T_{8x4}	8,0 m x 4,0 m	313
T_{mono}	Monocultivo capim braquiaria	-



Figura 2: Localização da área experimental e tratamentos, disposição dos tratamentos ($T_{4,5 \times 4,5}$; $T_{5 \times 4}$; $T_{6 \times 4}$; $T_{7 \times 4}$; $T_{8 \times 4}$) em quatro blocos (Bl_1 , Bl_2 , Bl_3 e Bl_4) com quatro áreas de monocultivo (M_1 , M_2 , M_3 e M_4). Imagem - direitos autorais Google Earth/2016.

b) Avaliações

As avaliações das variáveis microclimáticas do sub-bosque e dos parâmetros relacionados ao componente forrageiro do sistema (fisiologia, acúmulo de massa seca e composição química) foram realizadas entre dezembro-2014 e julho-2016, abrangendo duas épocas chuvosas e duas secas, e em dois estágios de ciclo de pastejo (pré e pós-pastejo). A frequência e cronograma das avaliações encontram-se no **Apêndice I**.

Considerou-se como ciclo de pastejo o período entre o dia de entrada e o dia de reingresso do gado na área após a rebrota da gramínea (pastejo-descanço). Foram realizados sete ciclos por ano, dos quais, quatro foram concentrados durante a época chuvosa (outubro, novembro, dezembro e janeiro) e três durante a época seca (maio, junho, julho), totalizando catorze ciclos de pastejo ao longo dos dois anos de

avaliação. Entretanto, durante os 24 meses de experimentação, ocorrem períodos em que a coleta da gramínea não foi realizada, visto que outras práticas de manejo estavam sendo executada, como adubação, manutenção das cercas e limpeza das plantas de macaúba, etc. Assim sendo, no 1º ano nos meses de maio, agosto e setembro não houve coleta; e no 2º ano, nos meses de fevereiro e abril.

Os ciclos de pastejo variaram de frequência e duração. A razão dessa variação foi o tempo de pastejo que o animal demandou para rebaixar em 50% a altura do capim braquiária em relação à sua altura inicial (~35-45 cm da superfície do solo) no momento de entrada do animal na área.

b.1) Componente climático: Meso e Micro-clima

As variáveis meso-climáticas mais próximas da região de Araponga/MG foram as registradas pela estação meteorológica de Viçosa, entre os anos de 2014 e 2016. Os registros meteorológicos foram expressos em valores médios mensais, com base no histórico do INMET (2016).

As variáveis atmosféricas (micro-clima) e físicas monitoradas no sub-bosque do consórcio macaúba – capim braquiária e no monocultivo foram: temperatura média expressa em Celsius, percentual da umidade relativa do ar (UR), intensidade da radiação fotossinteticamente ativa (RFA - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$) e luminosidade no sub-bosque (LSub - $\mu\text{mol. m}^{-2} \text{s}^{-2}$). A temperatura e umidade relativa do ar foram registradas a 30 cm da superfície do solo com auxílio do Datalogger DT-500 (INSTRUTHERM). O monitoramento da T °C e da UR foi realizado por pelo menos dez dias consecutivos em cada bloco, entre as 6 e 18 horas, considerando o período diurno. A RFA e a LSub, foram mensuradas com auxílio do foto-receptor AccuPAR LP-80 (Decagon Devices, UK). Os registros de RFA e LSub foram realizadas entre as 8 e 11h da manhã, com o intuito de retratar a luminosidade dentro dos

espaçamentos e interligar esses dados de trocas gasosas e com o rendimento fotossintético, que também foram quantificados durante o mesmo período do dia. Os registros da RFA e de LSub foram realizados dentro dos espaçamentos em cinco locais pré-estabelecidos, sempre entre 8 e 11 horas (Figura 3). Todos os registros do meso e micro-clima foram concentrados no pico das estações seca e chuvosa, sendo estimadas as médias e o desvio padrão de cada parâmetro como descrito na Tabela 7.

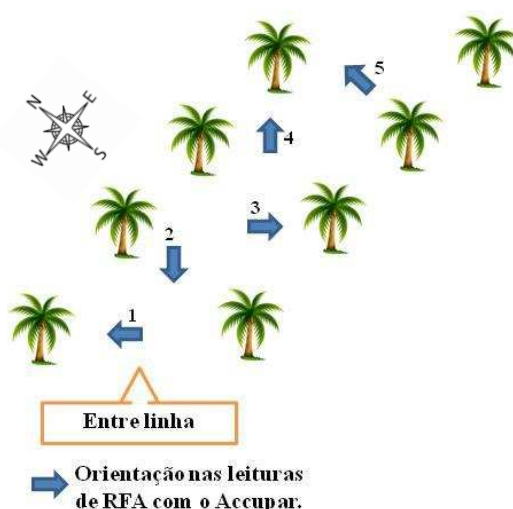


Figura 3: Locais e direcionamento das leituras de RFA e LSub com auxílio do AccuPAR-LP80 nas entrelinhas das áreas consorciadas.

b.2) Componente vegetal: Capim braquiária

Antes do início das avaliações (Out/2013) a pastagem foi roçada mecanicamente com uma roçadora agrícola para estimular a rebrota e a uniformização das áreas. Após um prévio ciclo de pastejo e rebrota procedeu-se as avaliações de trocas gasosas (fisiológicas), acúmulo de massa seca e químicas do capim braquiária.

Trocas gasosas

As leituras de trocas gasosas foram realizadas na 3ª folha completamente expandida no pré-pastejo e na 1ª folha remanescente no pós-pastejo, que equivaleu à mesma folha do pré-pastejo (considerando a folha mais próxima do ápice do perfilho,

como a folha número 1). Por esse motivo foi de suma importância que as plantas apresentassem três folhas completamente expandidas entre os ciclos de pastejo e que a herbivoria não ultrapassasse 50% da altura do capim no momento de entrada do gado.

As medições dos parâmetros de trocas gasosas – fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) – foram realizadas com auxílio do medidor de gás no infra vermelho, IRGA LCpro (ADC Company / UK), entre 8-11 horas da manhã. A RAF na câmara foliar foi fixada em $1.200 \mu\text{mols de fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, valor saturante determinado previamente nas plantas controle. A temperatura e concentração de CO_2 foram as vigentes do local no momento das leituras. As leituras no período pós-pastejo foram realizadas a partir do 6º dia após a retirada do animal, baseando-se em observação prévia da recuperação da atividade fotossintética da braquiária. As medições foram realizadas em quatro plantas aleatorizando a posição destas dentro do espaçamento.

Características biométricas

A altura da forrageira foi medida com auxílio de uma trena entre a superfície do solo e a primeira folha completamente expandida (1ª folha mais próxima do ápice do perfilho), em um conjunto de plantas escolhida aleatoriamente, em cinco locais diferentes dentro de cada uma das áreas dos tratamentos, como realizado nas leituras de RFA e LSub e descrito anteriormente na Figura 3.

Para estimar a massa seca (MS) do capim braquiária, o material vegetal contido dentro da moldura com dimensões 1,0 m x 0,5 m foi cortado rente à superfície do solo e ensacado para posterior pesagem da massa fresca. As coletas das amostras frescas ocorreram aleatoriamente, lançando-se a moldura uma única vez em cada tratamento, nos quatro blocos.

Desse material vegetal fresco foi retirada uma sub-amostra (MFSub), de aproximadamente 150 a 200g. Procedeu-se a pesagem das folhas e colmos separadamente. Posteriormente as porções foram secas em estufa de circulação forçada de ar, a 55 °C, até peso constante para determinação da massa seca foliar (MSF) e da massa seca do colmo (MSC). Para o calculo da relação folha/colmo foram utilizados os valores de MSF/MSC. As amostras de MSF foram armazenadas em sacos plásticos vedados em temperatura aproximada de 22 °C para posteriores análises bioquímicas.

Com base nos dados de MSF e MSC foi estimada a disponibilidade de matéria seca por unidade de área, expressa em kg/ha.

Composição química

As análises químicas realizadas nas folhas incluíram: percentual de cinzas ou material mineral (MM) pelo Método INCT-CA M-001/1; avaliação do nitrogênio total ou proteína bruta (PB) pelo Método de *Kjeldahl*. A avaliação da fibra insolúvel foi realizada em detergente neutro (FDN) pelo Método -INCT-CA F-002/1, utilizando-se autoclave (INCT, 2012).

c) Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) em arranjo fatorial 6 x 2 x 2, dispostos em quatro blocos. Os fatores foram compostos por: cinco arranjos espaciais das plantas de macaúba mais as áreas de monocultivo (Tabela 1), duas épocas (seca e chuvosa) e duas condições de pastejo (pré e pós-pastejo). Esse arranjo foi mantido durante os dois anos de avaliação.

As análises estatísticas de alguns parâmetros foram diferenciadas, em número, locais, repetições e épocas, em virtude da acurácia e objetividade dos resultados. Ou seja, a coleta de dados e a análise estatística para cada um dos parâmetros avaliados,

variaram no número de repetições por bloco e na adoção da análise de variância em decorrência do interesse de estudo dos valores observados. Com base no resultado da ANOVA, foi feita a comparação das médias pelo teste Tukey com $P \leq 0,05$. Para maior esclarecimento, cada delineamento e análise estatística referentes a cada parâmetro é descrito a seguir.

c.1) Análise estatística do meso e micro-clima.

O arranjo foi em parcela subdividida, sendo as parcelas constituídas pelos espaçamentos das plantas de macaúba mais as áreas de monocultivo e as sub-parcelas pelas duas épocas (seca e chuvosa). A unidade experimental foi constituída pelo valor médio diário de temperatura e de UR. Os registros foram realizados em intervalos de 1 hora ao longo de dez dias consecutivos em cada bloco. Os dados utilizados para análise estatística foram os registrados entre as 6 e 18 horas, compreendendo o período diurno.

c.2) Análise estatística da forrageira

Ecofisiológicas

O arranjo foi em parcela sub-subdividida, sendo as parcelas constituídas pelos espaçamentos das plantas de macaúba mais as áreas de monocultivo, as sub-parcelas pelas duas épocas (seca e chuvosa) e as sub-subparcelas constituídas pela condição de pré e pós-pastejo. A unidade experimental foi constituída pelo valor médio de quatro perfilhos do capim braquiária.

Características biométricas

O arranjo foi em parcela subdividida, sendo duas análises, uma da condição pré-pastejo e outra do pós-pastejo. Nas duas análises, as parcelas foram constituídas pelos espaçamentos das plantas de macaúba mais as áreas de monocultivo e as sub-parcelas constituídas pelas épocas seca e chuvosa. A unidade experimental foi

constituída pelo material vegetal coletado em uma área de 0,5 m² como descrito no item “**b.2 Componente vegetal: capim braquiária - *Características biométricas***”.

Características químicas

O arranjo foi em parcela subdividida, sendo as parcelas compostas pelos espaçamentos das plantas de macaúba mais as áreas de monocultivo e as sub-parcelas constituídas pelas épocas seca e chuvosa. A unidade experimental foi constituída pela sub-amostra da forrageira extraída do material vegetal fresco coletado em uma área de 0,5 m² como descrito no item “**b.2 Componente vegetal – *Características biométricas***”.

3.3 ENSAIO III – *Estimativa do sequestro de CO₂ e Carbono estocado no SSP macaúba-capim braquiária.*

a) Local e material vegetal

Este estudo foi realizado utilizando os dados obtidos no Ensaio II. Dentre as áreas consorciadas de macaúba - capim braquiária foi estimado o acúmulo de matéria seca da macaúba e do capim braquiária (parte aérea) nas duas épocas, seca e chuvosa. Com esses valores foi estimado o sequestro de CO₂ do SSP, tomando como base os cálculos matemáticos descritos a seguir.

b) Avaliações

b.1) Determinação da biomassa seca do capim braquiária e da macaúba

Para o capim braquiária, o acúmulo de matéria seca do dossel foi estimado utilizando os valores obtidos no **ENSAIO II**, item “**b.2 Componente vegetal – Características biométricas**”. Os valores correspondem à disponibilidade de matéria seca anual (época seca + época chuvosa), expressas em kg/ha.

Para a macaúba, somente a biomassa da parte aérea (kg/ha) foi estimada, utilizando-se a equação ($r^2 = 0,96$) proposta por FRANGI & LUGO (1985) para palmáceas arbóreas:

$$Y \text{ (biomassa seca, kg)} = 10,0 + 6,4 * X$$

Onde o valor de X corresponde à altura das plantas (m) estimada com auxílio de um clinômetro (Haglöf Co./ Sweden), em cada um dos espaçamentos e em todos os blocos.

c) Estimativa do carbono estocado e CO₂ assimilado no SSP macaúba - capim braquiária

Carbono estocado

A estimativa do carbono estocado para cada componente do SSP (macaúba e capim braquiária) foi obtida com base na fórmula proposta por CHAUHAN *et al.* (2009):

$$C = 0,455 \times B$$

Onde:

C = conteúdo de carbono

B = biomassa seca (ton/ha)

Sendo B os valores de biomassa seca da macaúba ou da braquiária, obtidos como descrito anteriormente.

Assimilação de CO₂

A estimativa de CO₂ assimilado para cada componente (macaúba e braquiária) foi calculada partir dos valores de carbono estocado obtidos anteriormente, usando-se a fórmula (RIZVI *et al.*, 2011):

$$CO_{2(\text{tonelada/ha})} = [C] \times 44/12$$

Onde:

[C] = conteúdo de carbono (componente vegetal)

Estimativa da assimilação total de CO₂ pelo SSP macaúba-capim braquiária, foi enfim calculado como:

$$CO_{2(\text{SSP})(\text{ton/ha})} = CO_{2(\text{macaúba})} (\text{ton/ha}) + CO_{2(\text{capim braquiária})} (\text{ton/ha})$$

Onde:

CO_{2(macaúba)} = Assimilação de CO₂ pela macaúba

CO_{2(capim braquiária)} = Assimilação de CO₂ pelo capim braquiária

d) Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC). Os tratamentos foram compostos pelos arranjos espaciais das plantas de macaúba e as áreas de monocultivo (Tabela 1) dispostos em quatro blocos. Os dados utilizados para a análise de variância foram os valores estimados de assimilação de CO₂ pelo SSP macaúba– capim braquiária descrito anteriormente no item **b2 “Assimilação de CO₂ assimilado”**. Foi realizada a ANOVA e o teste de médias com $P \leq 0,05$.

4. RESULTADOS

4.1 ENSAIO I – *Efeito do sombreamento na capacidade fotossintética e crescimento da braquiária.*

O grau de sombreamento do tratamento T_{80} , influenciou de forma direta na temperatura, mantendo os valores aproximadamente 5 °C menores, em relação ao tratamento T_{50} . Por outro lado, a diferença de temperatura entre os tratamentos T_0 e T_{50} não superou os 3 °C. Os registros de temperatura dos três tratamentos apresentaram a mesma tendência (Figura 1), entretanto, no tratamento T_0 foi registrada pequena diferença cronológica. Nesse tratamento, a temperatura máxima foi atingida aproximadamente duas horas depois dos valores máximos dos tratamentos T_{50} e T_{80} (Figura 2a). Isso indica que a temperatura máxima dos tratamentos T_{50} e T_{80} foi atingida entre as 12h e 14h e no T_0 entre as 15h e 16h.

A análise da resposta fotossintética (A) do capim braquiária sob constantes $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de fótons (avaliação pontual), detectou diferença significativa entre os tratamentos. O maior valor de A foi observado em plantas do tratamento T_0 , seguido pelo tratamento T_{50} e T_{80} os quais foram respectivamente 15% e 34% menores em relação ao tratamento a pleno sol (Tabela 2). Os valores de E e de g_s foram maiores nos tratamentos T_0 e T_{50} , sendo que as médias desses tratamentos não diferiram entre si ($P>0,05$). Consequentemente as menores médias destes parâmetros foram registradas nas plantas do tratamento mais sombreado (T_{80}). Por outro lado, a eficiência de carboxilação (A/C_i) não diferiu entre os tratamentos sombreados (T_{50} e T_{80}), porém as plantas à pleno sol (T_0) apresentaram maior taxa de carboxilação (0,44). A relação A/C_i do tratamento T_0 foi respectivamente, duas e quatro vezes maiores, quando comparado com os tratamentos T_{50} e T_{80} (Tabela 2).

Tabela 2: Valores médios da leitura pontual de trocas gasosas do capim braquiária, sob diferentes graus de sombreamento, T₀, T₅₀ e T₈₀.

Tratamento	Parâmetros de trocas gasosas			
	<i>A</i>	<i>E</i>	<i>g_s</i>	<i>A/Ci</i>
T ₀	17,07 a	1,66 a	0,094 a	0,44 a
T ₅₀	14,45 b	1,48 ab	0,086 ab	0,24 b
T ₈₀	11,25 c	1,44 b	0,075 b	0,10 b

Tratamentos, T₀: 0% de sombreamento; T₅₀: 50% de sombreamento; T₈₀: 80% de sombreamento. *A*: fotossíntese ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); *E*: transpiração ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); *g_s*: condutância estomática ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); *A/Ci*: eficiência de carboxilação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey $P \leq 0,05$.

Independente do tratamento, a resposta fotossintética do capim braquiária ao incremento luminoso (curva de luz), seguiu uma tendência quadrática (Figura 4), com base na equação proposta por PRIOUL & CHARTIER (1977). As plantas apresentaram resposta similar, com um incremento acentuado da taxa fotossintética até aproximadamente 800-1000 fótons $\mu\text{mol}^{-2}\text{s}^{-1}$. Após esta faixa de RFA as plantas alcançaram invariavelmente valores acima de 18 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de assimilação carbônica, ainda que as plantas do T₅₀ apresentaram maior intensidade da resposta. Entretanto, em nenhum dos tratamentos foi observada uma fase de típica de saturação ou platô (*steady state*) da fotossíntese.

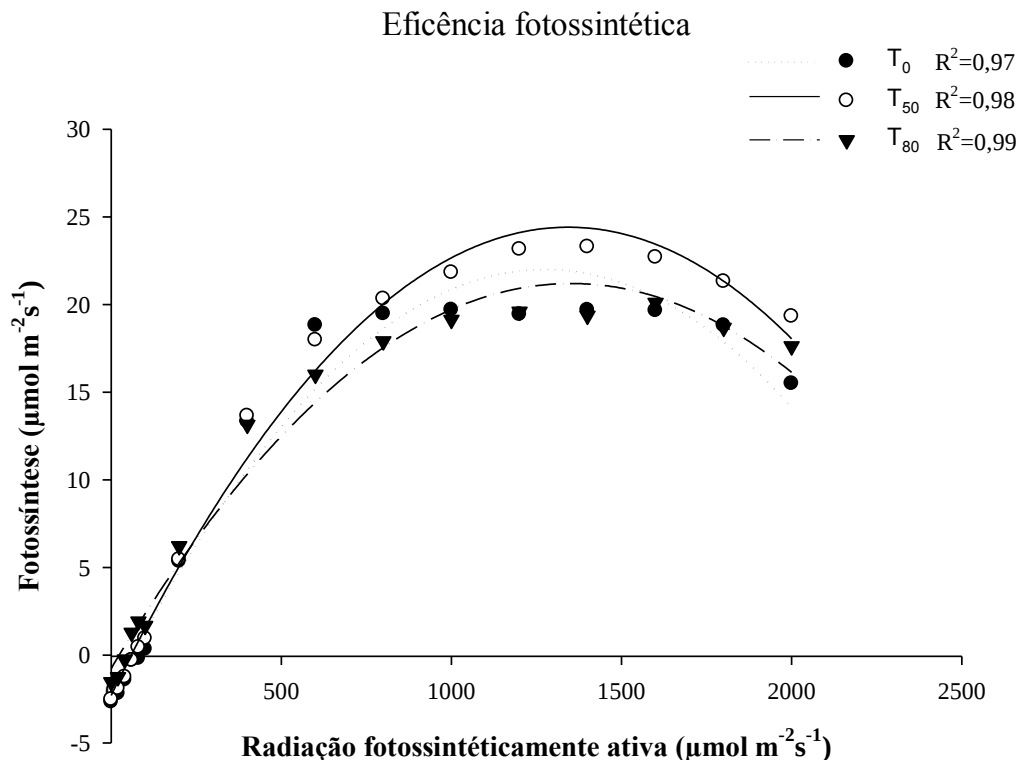


Figura 4: Eficência fotossintética do capim braquiária, cultivadas em três graus de sombreamento, T_0 , T_{50} e T_{80} . Sendo T_0 : 0% de sombreamento; T_{50} : 50% de sombreamento; T_{80} : 80% de sombreamento.

A taxa respiratória no escuro (R_d) não variou entre os tratamentos T_0 e T_{50} ($P>0,05$), porém, houve uma redução significativa de aproximadamente 43% no T_{80} , em relação aos tratamentos anteriormente citados (Tabela 3). Igualmente, o ponto de compensação luminoso (PCL) reduziu em virtude do aumento do sombreamento dos tratamentos, sendo significativamente menor ($\sim 46\%$) no tratamento T_{80} em relação ao tratamento T_0 ($71,72$ fótons $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Em plantas do T_{50} , esta diferença em relação às plantas a pleno sol (T_0) foi de somente 11,6% menor, não sendo significativa (Tabela 3).

Por sua vez, o ponto de saturação luminoso (PSL), a eficiência quântica (EQ) e taxa fotossintética máxima (A_{max}) não variaram entre os tratamentos ($P > 0,05$). Os valores médios de EQ foram numericamente similares (0,036-0,038) entre os tratamentos. Porém, as plantas do tratamento T_{50} (sombreamento intermediário)

apresentaram os maiores valores médios de PSL e A_{max} em relação a T_0 e T_{80} (Tabela 3).

Tabela 3: Valores estimados da taxa respiratória (Rd $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ponto de compensação luminoso (PCL $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ponto de saturação luminoso (PSL $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência quântica (EQ) e fotossíntese máxima (A_{max} $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do capim braquiária, cultivados sob diferentes graus de sombreamento.

Tratamento	Parâmetros derivados da curva de Luz				
	Rd	PCL	PSL	EQ	A_{max}
T₀	-2,45 b	71,72 a	614 ^{ns}	0,038 ^{ns}	21,0 ^{ns}
T₅₀	-2,44 b	63,40 a	722 ^{ns}	0,036 ^{ns}	24,2 ^{ns}
T₈₀	-1,38 a	38,56 b	585 ^{ns}	0,038 ^{ns}	20,6 ^{ns}

Tratamentos, T_0 : 0% de sombreamento; T_{50} : 50% de sombreamento; T_{80} : 80% de sombreamento. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey $P \leq 0,05$.

Os tratamentos tiveram efeito significativo no crescimento do capim braquiária. O perfilhamento das plantas nos tratamentos T_{50} e T_{80} foi respectivamente, 54% e 80% menor em relação às plantas do tratamento a pleno sol (Tabela 4), podendo-se inferir que o perfilhamento variou na mesma proporção dos níveis de sombreamento (50 e 80%). O oposto foi encontrado para altura dos perfilhos, onde plantas do T_0 foram cerca de 50% menores que as plantas dos tratamentos sombreados T_{50} e T_{80} . Visualmente, observou-se que as touceiras de braquiária dos tratamentos T_{50} e T_{80} eram menos volumosas que aquelas crescendo a pleno sol (Figura 5).

Tabela 4: Altura e números de perfilhos do capim braquiária quando cultivado sob diferentes graus de sombreamento, T₀, T₅₀ e T₈₀.

Tratamento	Altura dos perfilhos (cm)	Número de perfilhos
T ₀	20,68 b	179,77 a
T ₅₀	38,40 a	82,33 b
T ₈₀	40,56 a	36,66 c

Tratamentos, T₀: 0% de sombreamento; T₅₀: 50% de sombreamento; T₈₀: 80% de sombreamento. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey $P \leq 0,05$.

Figura 5: Vista superior e lateral de vasos de 20L com *Braquiária decumbens* cultivadas sob diferentes graus de sombreamento, T₀, T₅₀ e T₈₀.

Tratamentos	Vista superior e lateral dos vasos com capim braquiária	
T ₀		
T ₅₀		
T ₈₀		

Tratamentos, T₀: 0% de sombreamento; T₅₀: 50% de sombreamento; T₈₀: 80% de sombreamento.

4.2 ENSAIO II – *Respostas ecofisiológicas, bioquímicas e de crescimento do capim braquiária quando cultivado em consórcio com a palmeira Macaúba sob diferentes espaçamentos.*

Os dados meteorológicos de evapotranspiração, precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, coletado em duas épocas chuvosas (Dez/14 a Mar/15; Nov/15 a Jan/16) e em duas épocas secas (Mai/2015 a Set/15 e de Mar/16 a Jun/16), indicam que os valores das variáveis encontram-se dentro do esperado para as respectivas estações. Nessa região, a época de verão foi caracterizada por maior regime de chuva e maior média diária de temperatura, contrario da época de inverno, a qual apresentou menor índice pluviométrico e menor temperatura média diária. Na época chuvosa, a taxa média de precipitação (mm) foi cinco vezes maior em relação à época seca, enquanto que a evapotranspiração teve um aumento de 6%, quando comparado à época seca. Por sua vez, a média da temperatura e da umidade relativa do ar, durante a época chuvosa, foi 3% maior e 13% menor do que na época seca, respectivamente (Figura 6a).

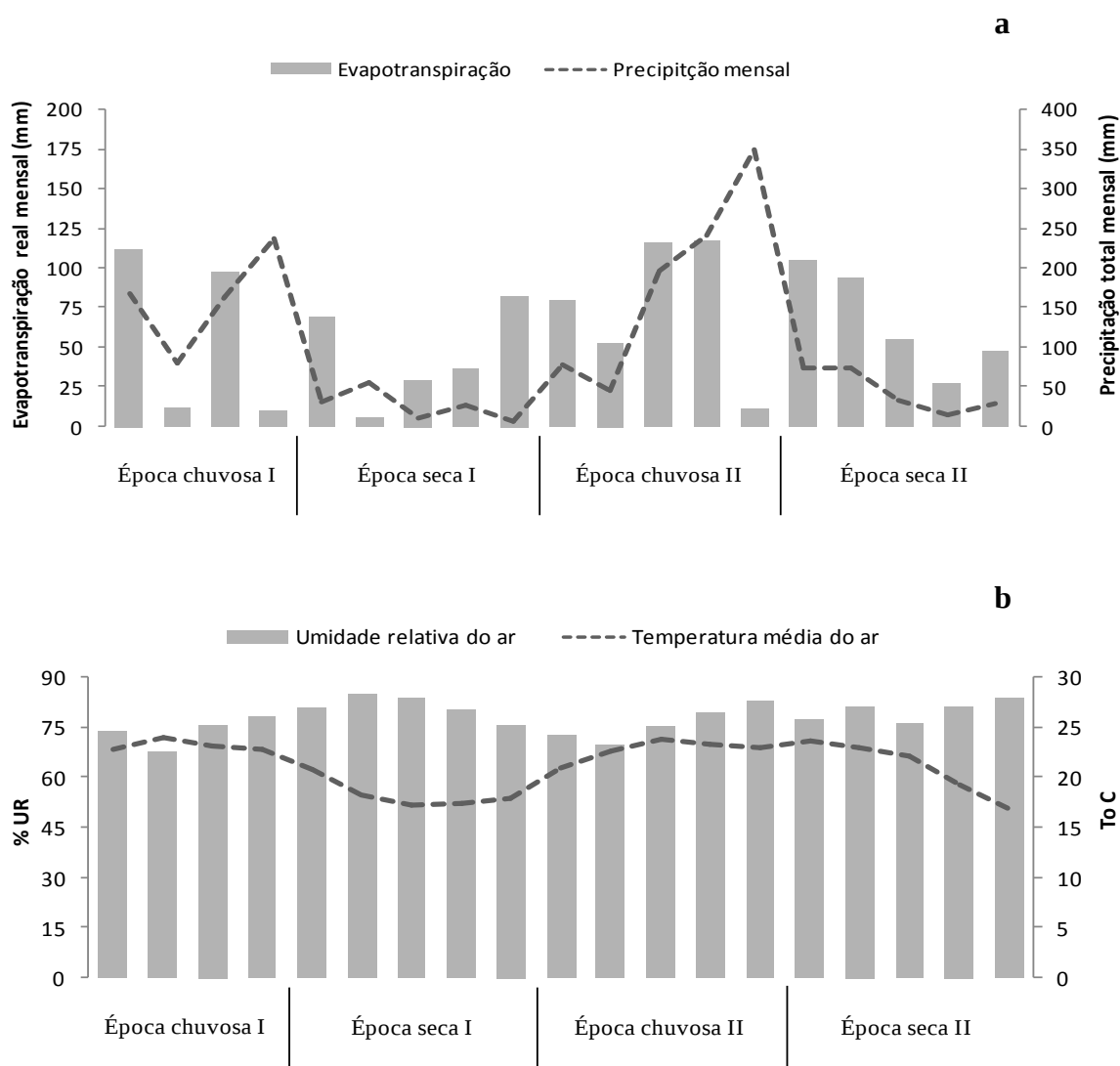


Figura 6: Registro da estação meteorológica da região de Viçosa - MG, entre Dez/14 a Jun/2016, onde foi conduzido o experimento agrosilvipastoril macaúba – capim braquiária. Os registros correspondem a duas épocas chuvosas e duas épocas secas. Época chuvosa I (Dez/14 a Mar/15); época seca I (Mai/2015 a Set/15); época chuvosa II (Nov/15 a Jan/2016) e época seca II (Mar/16 a Jun/16). (a) valores médios de evapotranspiração e precipitação média mensal; (b) valores médios mensais de temperatura e umidade relativa do ar.

A temperatura no sub-bosque entre as 06 e 18 horas foi diferente entre os tratamentos e as épocas. Durante a época chuvosa, a temperatura foi aproximadamente 19 % maior em relação à época seca. A maior média de temperaturas foi registrada no monocultivo (32 °C), sendo distinto das áreas consorciadas. Nos tratamentos $T_{8 \times 4}$ e $T_{7 \times 4}$, a temperatura foi ≈ 17 % menor em relação ao monocultivo, sendo a maior temperatura observada dentre as áreas consorciadas. Nos tratamentos $T_{6 \times 4}$, $T_{5 \times 4}$ e $T_{4,5 \times 4,5}$ a temperatura foi ≈ 22 % menor em relação ao monocultivo (Tabela 6). De maneira geral, a UR do sub-bosque foi inversamente proporcional à distância das entrelinhas das plantas de macaúba. Nas áreas consorciadas, a UR foi 17% (tratamentos $T_{4,5 \times 4,5}$, $T_{5 \times 4}$, $T_{6 \times 4}$) e 11% (tratamentos $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$) maior em relação ao monocultivo (Tabela 6).

Tabela 6: Teste de médias de temperatura (T °C) e umidade relativa do ar (UR) diurnas.

Tratamentos	T °C		UR	
$T_{4,5 \times 4,5}$	24,82	c	67,25	a
$T_{5,0 \times 4,0}$	25,20	c	66,70	a
$T_{6,0 \times 4,0}$	25,40	c	66,45	a
$T_{7,0 \times 4,0}$	26,08	b c	62,07	b
$T_{8,0 \times 4,0}$	26,99	b	61,71	b
T_{mono}	32,22	a	55,40	c

Tratamentos: $T_{4,5 \times 4,5}$: 4,5m x 4,5m; $T_{5 \times 4}$: 5m x 4m; $T_{6 \times 4}$: 6m x 4m; $T_{7 \times 4}$: 7m x 4m; $T_{8 \times 4}$: 8m x 4m; T_{mono} : monocultivo. Os registros de temperatura e umidade relativa do ar correspondem ao período entre as 06 e 18h. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$).

A RFA dentre os espaçamentos reduziu em função do adensamento das plantas de macaúba, sendo que a passagem de luz através do dossel da macaúba foi maior nos tratamentos menos adensados e menos nos tratamentos mais adensados.

A RFA nas entrelinhas dos tratamentos menos adensados variou entre as épocas. Durante a época seca, nos tratamentos $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$, foi observado um incremento da RFA de $\approx 12\%$ e 20% , respectivamente. Essa variação da RFA dentro das áreas estudadas é explicada pelas características climáticas da região. Durante a época seca, a região de Araponga - MG além da reduzida precipitação, também é caracterizada por apresentar menor nebulosidade, permitindo maior entrada de luz através do dossel das plantas de macaúbas. O contrário foi observado na época chuvosa, onde a nebulosidade e a interceptação de luz pelas nuvens foi consideravelmente maior.

Nas áreas mais adensadas $T_{4,5 \times 4,5}$, $T_{5 \times 4}$ e $T_{6 \times 4}$, onde a RFA não superou os $590 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, não foi detectada diferença entre as épocas (Tabela 7). Nas áreas menos adensadas, tratamentos $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$, a interceptação luminosa variou entre 135 e $555 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em relação à RFA do monocultivo, o que indica menor interferência na passagem de luz pelo dossel da macaúba.

Nos tratamentos $T_{4,5 \times 4,5}$, $T_{5 \times 4}$ e $T_{6 \times 4}$, foi evidente a sobreposição ou contato das folhas de macaúba nas entrelinhas (Tabela 7 - Registros fotográficos). Essa proximidade entre os dosséis das plantas de macaúba reduziu consideravelmente a passagem de luz no sub-bosque, ocasionando maior sombreamento nas áreas mais adensadas (tratamentos $T_{4,5 \times 4,5}$, $T_{5 \times 4}$ e $T_{6 \times 4}$). Contrário das áreas menos adensadas (tratamentos $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$) onde o sombreamento foi menor (Tabela 7). A penetração de luminosidade no sub-bosque aumentou progressivamente em virtude do afastamento das entre linhas das plantas de macaúba. Durante a época seca nos

tratamentos $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$, houve redução de 23 % e 6 % da RFA, em relação à luminosidade global, enquanto que na época chuvosa, essa redução foi de 17 % e 7 %, respectivamente.

A luminosidade no sub-bosque (LSub) no tratamento $T_{7 \times 4}$ foi aproximadamente 40 % menor em relação à luminosidade global durante a época chuvosa do que durante a época seca. Isso indica que o dossel da macaúba interferiu, em menor proporção, durante a época chuvosa em relação à época seca, condição que está diretamente relacionada com a inclinação rotacional da terra durante essa época (Tabela 7). Por outro lado, a LSub do tratamento $T_{8 \times 4}$ não diferiu entre as épocas, o que demonstra que o dossel das plantas de macaúba no arranjo espacial 8,0m x 4,0m, não influenciou consideravelmente na entrada de luz no sub-bosque. Nos espaçamentos menores ($T_{4,5 \times 4,5}$, $T_{5 \times 4}$ e $T_{6 \times 4}$) a LSub foi reduzida de forma acentuada. Nesses espaçamentos a interceptação superou os $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante a época chuvosa e os $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante a época seca, o que significa uma redução de aproximadamente 85 % em relação à luminosidade a pleno sol (Tabela 7).

Tabela 7: Médias e desvio padrão da temperatura diária (T °C), umidade relativa do ar (UR), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e luminosidade no sub-bosque (LSub) expressa em percentagem nas duas épocas, seca e chuvosa.

Tratamentos	Época	T °C	UR %	RFA ($\mu\text{mol m}^{-2}.\text{s}^{-1}$)	Luminosidade no sub-bosque (%)	Vista inferior – dossel da macaúba
$T_{4,5 \times 4,5}$	Seca	$22,5 \pm 1,1$	$68,1 \pm 2,9$	$147,9 \pm 31,0$	6,2	
	Chuvosa	$27,2 \pm 0,6$	$66,4 \pm 3,1$	$195,8 \pm 90,4$	27,0	
$T_{5 \times 4}$	Seca	$21,5 \pm 1,2$	$70,5 \pm 2,5$	$344,3 \pm 148,3$	14,4	
	Chuvosa	$28,9 \pm 0,9$	$62,9 \pm 4,2$	$311,6 \pm 134,7$	31,8	
$T_{6 \times 4}$	Seca	$22,1 \pm 1,4$	$68,2 \pm 3,2$	$589,3 \pm 281,6$	32,6	
	Chuvosa	$28,7 \pm 1,0$	$64,7 \pm 5,9$	$331,9 \pm 115,5$	24,6	
$T_{7 \times 4}$	Seca	$23,1 \pm 1,2$	$63,8 \pm 2,8$	$1845,0 \pm 451,6$	76,9	
	Chuvosa	$29,0 \pm 0,9$	$60,3 \pm 3,9$	$1621,7 \pm 129,4$	86,3	
$T_{8 \times 4}$	Seca	$23,4 \pm 1,4$	$65,5 \pm 3,1$	$2264,6 \pm 77,0$	94,3	
	Chuvosa	$30,6 \pm 0,9$	$57,9 \pm 3,1$	$1815,4 \pm 161,5$	92,6	
T_{mono}	Seca	$31,0 \pm 3,4$	$53,6 \pm 9,3$	$2313,0 \pm 80,8$	100,0	
	Chuvosa	$33,4 \pm 2,2$	$57,2 \pm 5,4$	$1820,9 \pm 59,8$	100,0	

Tratamentos: $T_{4,5 \times 4,5}$: 4,5m x 4,5m; $T_{5 \times 4}$: 5m x 4m; $T_{6 \times 4}$: 6m x 4m; $T_{7 \times 4}$: 7m x 4m; $T_{8 \times 4}$: 8m x 4m; T_{mono} : monocultivo.

Os valores de A , E e gs do capim braquiária diferiram entre tratamentos ($P \leq 0,05$), sendo detectada interação entre os parâmetros avaliados, os quais variaram em função das épocas e da condição de pastejo. As médias obtidas desses parâmetros apresentaram padrão crescente, em paralelo aos tratamentos, onde os menores valores de A , E e gs foram registradas no tratamento $T_{4,5 \times 4,5}$, enquanto que os maiores valores foram registrados no tratamento $T_{8 \times 4}$ e no monocultivo. As taxas de A e E do tratamento $T_{7 \times 4}$ foram similares ao tratamento $T_{8 \times 4}$, porém os valores de gs entre esses tratamentos foram distintas (Figura 7). Esse padrão crescente, entre os valores dos parâmetros anteriores, descreve uma resposta fisiológica do capim braquiária ao adensamento das plantas de macaúba, e especificamente que plantas de capim braquiária no arranjo espacial $T_{7 \times 4}$, apresentaram taxas de A e de E intermediárias, porém satisfatórias, entre o monocultivo e as áreas consorciadas mais adensadas.

Adicionalmente, houve diferença significativa de A , E e gs entre as épocas avaliadas ($P \leq 0,05$). Durante a época chuvosa, os valores de A e gs foram 18 % maiores em relação à época seca, enquanto que para E , esse aumento foi de 9 % (Tabela 8).

Durante a época seca, na condição pré-pastejo, foi constatado que nos tratamentos $T_{6 \times 4}$, $T_{7 \times 4}$, $T_{8 \times 4}$ e no monocultivo os valores de A , E e gs , não foram distintos entre si (Tabela 8). Entretanto, no tratamento $T_{4,5 \times 4,5}$ foi constatada redução de 32 % de A , 57 % de E e 30 % de gs em relação ao monocultivo. Isso indica que arranjos espaciais do SSP macaúba – capim braquiária menores que 6,0m x 4,0m influenciam negativamente nas trocas gasosas da forrageira. Por outro lado, na condição pós-pastejo e durante a época seca, os valores de A , E e gs das áreas consorciadas foram significativamente menores em relação ao monocultivo.

Igualmente foi constatado que as taxas de A do monocultivo foram 1,5 e 1,8 vezes maiores em relação às áreas menos adensadas, tratamento $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$, respectivamente. A transpiração também variou consideravelmente, sendo observado incremento de 8 e 13% nas taxas de E do monocultivo em relação aos tratamentos $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$, respectivamente. Os valores de g_s variaram em maior proporção, sendo observados valores 1,75 e 2,3 vezes menores em relação ao monocultivo nos tratamentos $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$, respectivamente (Tabela 8).

A resposta de trocas gasosas A , E e g_s nos tratamentos $T_{5 \times 4}$, $T_{6 \times 4}$, $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$ foram distintos entre as épocas seca e chuvosa. De forma que na época seca estes parâmetros tiveram queda significativa entre a condição pré e pós-pastejo. Por outro lado, os valores de A e E do monocultivo não variaram dentre as condições de pastejo, com exceção dos valores de g_s os quais foram 28 % maiores no pós-pastejo, em relação ao pré-pastejo (Tabela 8).

Durante a época chuvosa, na condição pré-pastejo, foi observada igualdade estatística nos valores de A e de g_s nos tratamentos $T_{7 \times 4}$, $T_{8 \times 4}$ e no monocultivo. Nos valores de E o tratamento $T_{6 \times 4}$ igualou as médias dos tratamentos citados anteriormente, entretanto foi 27 % menor em relação ao monocultivo (Tabela 8). Durante a época chuvosa, na condição pós-pastejo, houve aumento nas taxas de A e de E em todos os tratamentos, com exceção do tratamento $T_{4,5 \times 4,5}$ nas taxas de A . Isto sugere, que os valores de A e de E do capim braquiária após a herbivoria, apresentam um incremento considerável, o qual pode estar relacionado com a recuperação do dossel do capim consumido pelo animal. Os valores de g_s dentre as áreas consorciadas não foram distintos, porém o valor de g_s do monocultivo foi $\approx 21\%$

maior em relação ao maior valor das áreas consorciadas, o tratamento T_{8x4} (Tabela 8).

Tabela 8: Médias de fotossíntese (*A*), transpiração (*E*) e condutância estomática (*g_s*) nas duas épocas, seca e chuvosa.

	Fotossíntese (<i>A</i>)				Transpiração (<i>E</i>)				Condutância estomática (<i>g_s</i>)			
	Época seca		Época chuvosa		Época seca		Época chuvosa		Época seca		Época chuvosa	
Tratamentos	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
T _{4,5x4,5}	12,92 Ca	9,58 Ba	14,46 Ca	16,36 Ba	1,62 Ca	1,19 Bb	1,54 Ba	1,74 Aa	0,07 Ba	0,05 Ba	0,08 Ba	0,08 Ba
T _{5x4}	14,12 BCa	9,93 Bb	15,46 Ca	17,29 ABa	1,84 BCa	1,17 Bb	1,71 Bb	2,03 Aa	0,08 Ba	0,05 Bb	0,09 Ba	0,09 Ba
T _{6x4}	16,27 ABCa	11,77 Bb	16,30 BCa	19,06 ABa	2,01 ABCa	1,38 Bb	1,75 ABb	2,18 Aa	0,09 Aba	0,06 Bb	0,09 Ba	0,09 Ba
T _{7x4}	18,61 ABa	11,88 Bb	19,51 ABCa	18,08 ABa	2,20 ABCa	1,35 Bb	2,04 ABa	2,12 Aa	0,10 Aba	0,06 Bb	0,11 ABa	0,08 Bb
T _{8x4}	20,09 Aa	14,72 Bb	21,30 Aba	22,10 Aa	2,32 Aba	1,61 Bb	2,03 ABb	2,35 Aa	0,12 Aa	0,08 Bb	0,13 Aa	0,11 Bb
T _{mono}	19,14 ABa	22,24 Aa	23,52 Aa	21,75 Aa	2,54 Aa	2,70 Aa	2,40 Aa	2,22 Aa	0,10 Ab	0,14 Aa	0,14 Aa	0,14 Aa

Tratamentos: T_{4,5x4,5}: 4,5m x 4,5m; T_{5x4}: 5m x 4m; T_{6x4}: 6m x 4m; T_{7x4}: 7m x 4m; T_{8x4}: 8m x 4m; T_{mono}: monocultivo. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha dentro de cada época seca ou chuvosa não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$).

Por outro lado, foi observado que o tratamento $T_{7 \times 4}$ apresentou valores intermediários de A , E e g_s entre as áreas consorciadas e o monocultivo, tanto na época seca quando na época chuvosa. Isso indica que o adensamento 7,0m x 4,0m pode ser considerado limite para o sucesso do consórcio macaúba – capim braquiária (Figura 7).

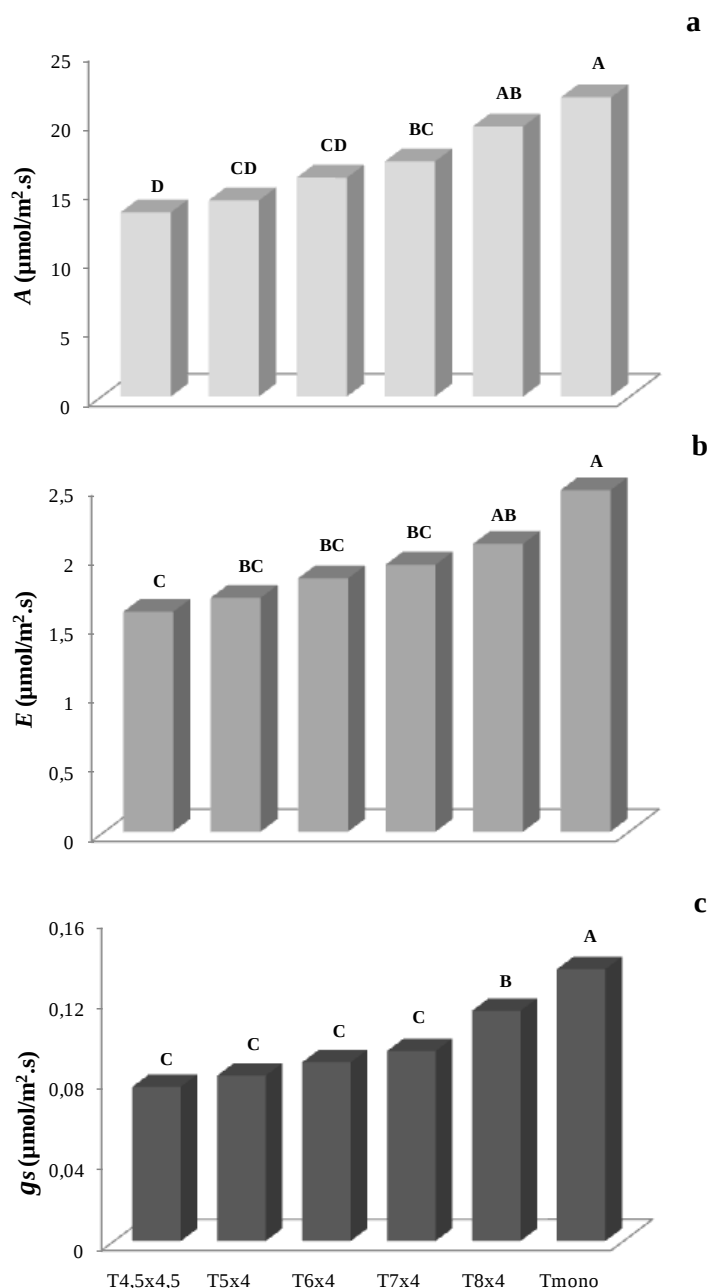


Figura 7: Média geral dos parâmetros, (a) fotossíntese (A), (b) transpiração (E) e (c) condutância estomática (g_s) de *Brachiaria decumbens* durante as épocas seca e chuvosa, na condição pré-pastejo. Tratamentos: $T_{4,5 \times 4,5}$: 4,5m x 4,5m; $T_{5 \times 4}$: 5m x 4m; $T_{6 \times 4}$: 6m x 4m; $T_{7 \times 4}$: 7m x 4m; $T_{8 \times 4}$: 8m x 4m; T_{mono} : monocultivo. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$).

Durante a época chuvosa, as plantas do capim braquiária foram 3% mais altas, quando comparadas às plantas da época seca. Porém, independente da época, a altura das plantas foi idêntica dentre as áreas consorciadas e significativamente maiores que no monocultivo ($P \leq 0,05$). As plantas de capim braquiária do tratamento $T_{7 \times 4}$ foram aproximadamente 1,5 vezes maiores em relação às plantas da área a pleno sol (Figura 8a).

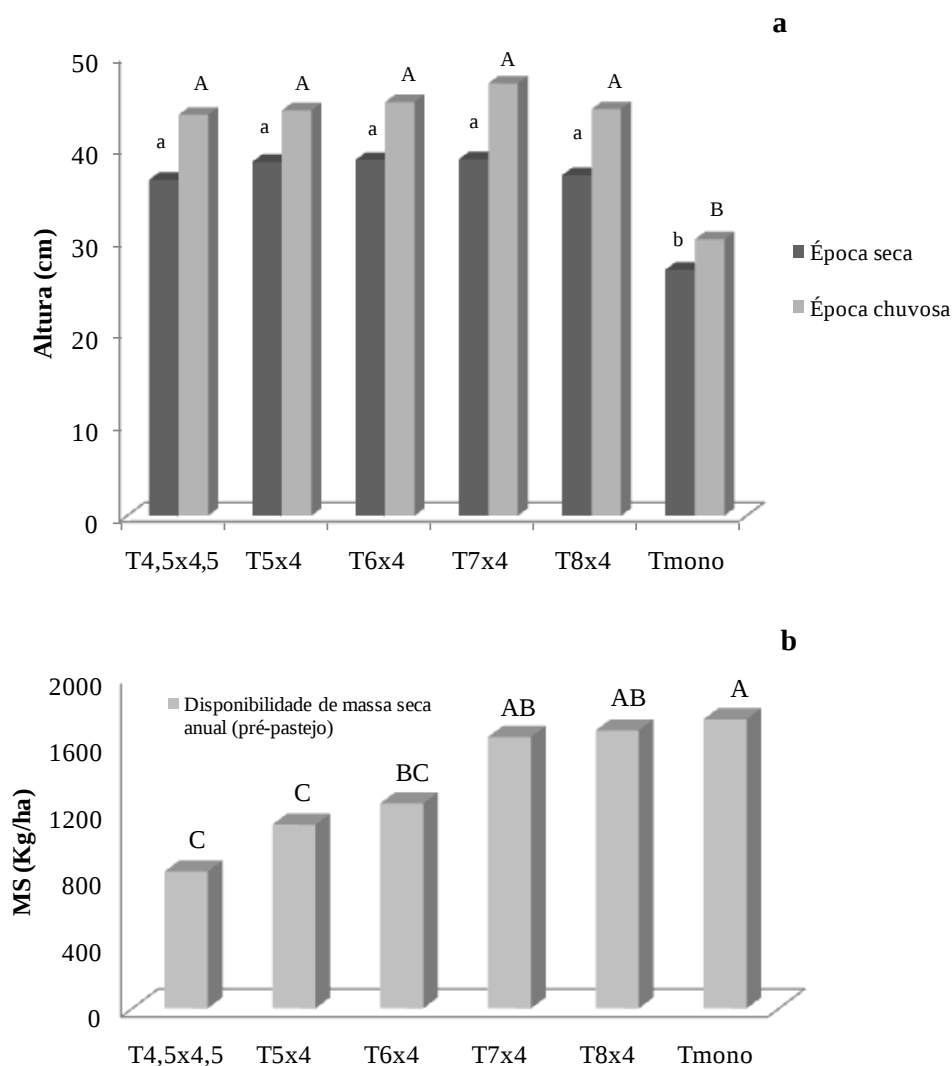


Figura 8: Valores médios pré-pastejo, (a) altura das plantas de *B. decumbens* em centímetros (cm) durante a época seca e chuvosa; (b) disponibilidade média de massa seca por ciclo (MS) de *B. decumbens* em Kg/ha ao longo das épocas duas épocas seca e chuvosa. Tratamentos, $T_{4,5 \times 4,5}$: 4,5m x 4,5m; $T_{5 \times 4}$: 5m x 4m; $T_{6 \times 4}$: 6m x 4m; $T_{7 \times 4}$: 7m x 4m; $T_{8 \times 4}$: 8m x 4m; T_{mono} : monocultivo. Médias dos tratamentos seguidas pela mesma letra não diferiram entre si, pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$).

Em geral, a disponibilidade de MS (kg/ha) do capim braquiária foi diferente entre as épocas. Na época chuvosa, foram quantificados 250 kg a mais em relação à época seca e nos tratamentos T_{7x4}, T_{8x4} e monocultivo foram observadas as maiores médias de MS (kg/ha), as quais não diferiram entre si ($P \geq 0,05$). Por outro lado, nos tratamentos T_{4,5x4,5}, T_{5x4}, e T_{6x4} houve redução de 40% de MS (kg/ha) quando comparado com os valores médios do monocultivo (Figura 7b).

A relação lâmina/colmo foi distinta entre as épocas. Essa relação foi aproximadamente 1,4 na época seca e 0,9 na época chuvosa. Ao longo das duas épocas, não foi detectada diferença significativa entre os tratamentos. Durante a época seca, no tratamento T_{4,5x4,5} e no monocultivo, houve aumento na relação lâmina/colmo, com valores médios de 1,72 e 2,03, respectivamente. Por sua vez, na época chuvosa não houve diferença entre os tratamentos e a relação lâmina/colmo foi $\leq 1,10$ (Tabela 9).

Tabela 9: Valores médios da relação lâmina/colmo de *Brachiaria decumbens* das épocas, seca e chuvosa.

Tratamentos	Lâmina/colmo	
	Época seca	Época chuvosa
T _{4,5x4,5}	1,72 A B	0,98 A
T _{5x4}	1,08 B	1,10 A
T _{6x4}	1,14 B	0,97 A
T _{7x4}	1,28 B	0,81 A
T _{8x4}	1,19 B	0,81 A
T _{mono}	2,03 A	0,76 A

Tratamentos: T_{4,5x4,5}: 4,5m x 4,5m; T_{5x4}: 5m x 4m; T_{6x4}: 6m x 4m; T_{7x4}: 7m x 4m; T_{8x4}: 8m x 4m; T_{mono}: monocultivo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$).

O teor de material mineral (MM) do capim braquiária não variou entre os tratamentos. Porém, durante a época chuvosa esse teor foi em média 10% maior em todos os tratamentos, quando comparado com a época seca.

Os teores de fibra em detergente neutro da lâmina foliar (FDN) das áreas consorciadas não diferiram entre si ($P \geq 0,05$) (Tabela 10). Entre as épocas, foi observada diferença nos teores de FDN, sendo que na época chuvosa o teor foi aproximadamente 13% maior em relação à época seca. Durante a época seca foi observado o menor teor de FDN no monocultivo, o contrário observado em relação às médias das áreas consorciadas, as quais não diferiram entre si (Tabela 10). Plantas do monocultivo apresentaram redução do teor de FDN durante a época seca e aumento durante a época chuvosa, variação que não ocorreu nas plantas das áreas consorciadas. Nas áreas mais adensadas (tratamentos $T_{4,5 \times 4,5}$, $T_{5 \times 4}$ e $T_{6 \times 4}$) o capim apresentou os maiores valores de FDN em contraste com as áreas menos adensadas (tratamentos $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$) e o monocultivo.

Os teores de proteína bruta (PB) entre as áreas consorciadas não diferiram entre si, enquanto que no monocultivo foi registrada a menor média de PB. No monocultivo o teor de PB foi aproximadamente 23% menor quando comparado com a maior média de PB das áreas consorciadas (Tabela 10). Apesar dos teores de PB não apresentarem diferença entre os tratamentos, houve aumento de aproximadamente 10% durante a época chuvosa em relação à época seca, mostrando que a qualidade nutricional do capim oferecida ao animal foi consideravelmente melhor, durante a época chuvosa.

Tabela 10: Teor em % de fibras em detergente neutro [FDN] na época seca e chuvosa; teor em % médio ponderado, das épocas seca e chuvosa de proteína bruta [PB] em folhas de *Brachiaria decumbens*.

Tratamentos	FDN%		PB%
	Época seca	Época chuvosa	Média conjunta das épocas seca e chuvosa
T_{4,5x4,5}	71,26 Ab	77,48 Aa	15,90 A
T_{5x4}	72,40 Ab	77,45 Aa	16,01 A
T_{6x4}	71,08 Ab	77,25 Aa	15,68 A
T_{7x4}	71,69 Ab	76,15 Aa	14,90 A
T_{8x4}	63,65 Ab	77,59 Aa	14,51 A
T_{mono}	50,04 Bb	75,44 Aa	12,20 B

Tratamentos: T_{4,5x4,5}: 4,5 x 4,5m; T_{5x4}: 5,0 x 4,0 m; T_{6x4}: 6,0 x 4,0 m; T_{7x4}: 7,0 x 4,0 m; T_{8x4}: 8,0 x 4,0 m; T_{mono}: monocultivo. Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$).

4.3 ENSAIO III – *Estimativa do sequestro de CO₂ e Carbono estocado no SSP*

Macaúba - capim braquiária

Os valores médios de biomassa de cada um dos componentes vegetais do SSP variaram em virtude no adensamento das plantas de macaúba. No caso do capim braquiária houve relação inversa entre o acúmulo de massa seca e o número de plantas de macaúba ha⁻¹. Contrário do componente arbóreo, onde os valores de massa seca diminuíram conforme o menor adensamento de plantas de macaúba (Tabela 11). Nesse contexto pode-se inferir, que quanto maior o adensamento das plantas de macaúba, maior será o acúmulo de biomassa por parte do componente arbóreo. Diferente da forrageira, onde maior adensamento de plantas de macaúba acarreta maior sombreamento no sub-bosque ocasionando menor crescimento e disponibilidade de matéria seca do capim braquiária.

Foi evidente que a partir do espaçamento 6m x 4m não houve diferença no acúmulo de matéria seca da forrageira, resultados similares aos obtidos no Ensaio II, Figura 7b. Por outro lado, o acúmulo de matéria seca do componente arbóreo nos espaçamentos menos adensados (T_{7x4} e T_{8x4}) foi menor, em relação aos espaçamentos mais adensados (T_{4,5x4,5}; T_{5x4} e T_{6x4}).

Dentre as áreas consorciadas foi evidente que no arranjo espacial T_{7x4} não houve diferença estatística no acúmulo de matéria seca da forrageira em relação ao T_{8x4} e o monocultivo (Figura 11). Por sua vez o acúmulo de matéria seca do componente arbóreo não variou entre as áreas consorciadas T_{7x4} e T_{8x4} (Figura 11). Entretanto, a diferença de 44 plantas/ha no arranjo espacial T_{7x4} em relação ao T_{8x4} representam ganho aproximado de 1593 kg de matéria seca do componente arbóreo por hectare.

Tabela 11: Estimativa anual de biomassa em Kg/hectare dos componentes do SSP macaúba - capim braquiária, considerando sete ciclos de pastejo/ano.

Tratamento	Matéria seca do componente vegetal			
	Capim braquiária (kg ha ⁻¹)		Macaúba (kg ha ⁻¹)	
T_{4,5x4,5}	5761	c	30209	a
T_{5x4}	7735	c	29932	a
T_{6x4}	8631	b c	24618	b
T_{7x4}	11424	a b	21647	c
T_{8x4}	11704	a b	20516	c
T_{mono}	12173	a	0	d

Tratamentos: T_{4,5x4,5}: 4,5 x 4,5m; T_{5x4}: 5,0 x 4,0 m; T_{6x4}: 6,0 x 4,0 m; T_{7x4}: 7,0 x 4,0 m; T_{8x4}: 8,0 x 4,0 m; T_{mono}: monocultivo. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey (P ≤ 0,05).

Quando analisado o SSP como um todo (macaúba + capim braquiária) foi observado no geral, variação no acúmulo de biomassa, carbono estocado e assimilação de CO₂ entre os espaçamentos mais adensados (T_{4,5x4,5}, T_{5x4} e T_{6x4}) e os menos adensados (T_{7x4} e T_{8x4}) (Tabela 12). Nos tratamentos T_{4,5x4,5} e T_{5x4} foram registradas as maiores médias de acúmulo de biomassa, estocagem de carbono e assimilação de CO₂ do SSP, sendo em média três vezes maior em relação ao monocultivo. Por sua vez, nos tratamentos T_{7x4} e T_{8x4} os mesmos parâmetros foram cerca de 2,6 vezes maiores em relação ao monocultivo. Já os valores no tratamento T_{6x4} foram intermediários entre as áreas consorciadas, sendo 36 % maior em relação ao monocultivo.

No geral, o acúmulo de biomassa, estocagem de carbono e a assimilação de CO₂ foram significativamente menores no monocultivo, contrario das áreas consorciadas

onde a presença do componente arbóreo elevou consideravelmente os parâmetros avaliados (Tabela 12).

Tabela 12: Estimativa anual de biomassa, carbono estocado e assimilação de CO₂ pelo sistema silvipastoril (SSP) macaúba - capim braquiária, em cada um dos espaçamentos.

SSP (Macaúba - capim braquiária)	Biomassa do SSP (Ton ha ⁻¹) por ano	Carbono estocado pelo SSP (ton ha ⁻¹) por ano	CO ₂ assimilado pelo SSP (ton ha ⁻¹) por ano
T _{4,5x4,5}	36,21 a b	16,47 a b	60,40 a b
T _{5x4}	38,24 a	17,40 a	63,80 a
T _{6x4}	33,13 b c	15,07 b c	55,27 b c
T _{7x4}	32,88 b c	14,96 b c	54,86 b c
T _{8x4}	31,61 c	14,38 c	52,74 c
T _{mono}	12,17 d	5,54 d	20,30 d

Valores correspondentes à somatória dos parâmetros, biomassa (ton ha⁻¹), carbono estocado (ton ha⁻¹) e assimilação de CO₂ (ton ha⁻¹) por ano, dos dois componentes vegetais do SSP macaúba - capim braquiária. Tratamentos: T_{4,5x4,5}: 4,5m x 4,5m; T_{5x4}: 5m x 4m; T_{6x4}: 6m x 4m; T_{7x4}: 7m x 4m; T_{8x4}: 8m x 4m; T_{mono}: monocultivo. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$).

5. DISCUSSÃO

5.1 ENSAIO I

A redução da luminosidade interferiu negativamente em todos os parâmetros de trocas gasosas do capim braquiária (Tabela 2). Ainda que as plantas em T_{50} e T_{80} tenham mantido satisfatória taxa fotossintética, ocorreram quedas na proporção de 16 e 34% em relação ao tratamento T_0 . A queda mais acentuada de A nas plantas do tratamento T_{80} , reflete bem a dependência da braquiária por luminosidade para manter uma assimilação carbônica adequada.

Plantas de metabolismo C_4 , como a braquiária, necessitam de maior *input* de energia luminosa para garantir o metabolismo fotossintético, uma vez que mais energia e poder redutor (ATP e NADPH) são necessários para manter a dupla maquinaria bioquímica (PEPcase e Rubisco) funcionando adequadamente (DE SOUZA *et al.*, 2005). Ademais, a luz também atua como sinalizador para abertura dos estômatos e ativação da enzima Rubisco (MURCHIE *et al.*, 2005; SUI *et al.*, 2011). Portanto, sua ausência ou limitação excessiva pode restringir a fotossíntese também de forma não energética (LAMBERS *et al.*, 2008).

Outros fatores, de caráter secundário, podem ter afetado, em menor ou maior grau, a capacidade fotossintética destas plantas submetidas a baixa luminosidade. No presente estudo, a temperatura dentro das estruturas que compunham os tratamentos variou ao longo do dia (Figura 1), porém as plantas em T_{80} ficaram expostas a temperaturas menores por mais horas se comparado às dos tratamentos T_{50} e T_0 . Como as temperaturas ótimas para a atividade da PEPcase e a Rubisco se diferem – (25 °C e 35 °C respectivamente) (VALENTE 2011, LAMBERS *et al.*, 2008) –, este fator pode ter contribuído para o menor desempenho fotossintético das plantas no tratamento mais sombreado T_{80} .

Como mencionado anteriormente, plantas C_4 , como a braquiária, requerem maior irradiância para suprir a maior demanda energética. Por essa razão, estas plantas não apresentam uma típica fase de saturação luminosa da fotossíntese (LAMBERS *et al.*, 2008), como de fato foi observado no presente estudo. A resposta da fotossíntese ao incremento luminoso em todos os tratamentos comportou-se de forma similar, ajustando-se adequadamente ao modelo de PRIOUL & CHARTIR (1977), (T_0 , $R^2 = 0,97$; T_{50} , $R^2 = 0,99$; T_{80} , $R^2 = 0,98$) (Figura 4). Este resultado indica que a eficiência estimada da fotossíntese da forrageira foi mantida, a despeito das plantas terem sido submetidas ao sombreamento, revelando o potencial de aclimação do processo fotossintético da espécie à condições de baixa luminosidade, mesmo que extrema (tratamento T_{80}).

Seria esperado que na condição a pleno sol a forrageira apresentasse uma eficiência do uso da luz superior em relação aos tratamentos T_{50} e T_{80} (CARVALHO *et al.*, 2002, DE ANDRADE *et al.*, 2004). Porém, alguns estudos demonstram que gramíneas sob condições de sombreamento leve a moderado podem atingir uma produção carbônica satisfatória ou até superiores as plantas que se desenvolvem a pleno sol (PACIULLO *et al.*, 2007; GUENNI *et al.*, 2008; SOARES *et al.*, 2009). De fato, plantas do tratamento T_{50} tenderam a apresentar eficiência fotossintética superior às plantas dos tratamentos T_0 e T_{80} . No tratamento T_{50} , a forrageira cresceu em condições de temperatura mais elevadas que dos demais tratamentos (Figura 1), o que pode ter beneficiado a atividade enzimática dos sistemas fixadores de CO_2 (PEP carboxilase e Rubisco), como discutido anteriormente. A UR em T_{50} , apesar de inferior quando comparada com os tratamentos T_0 e T_{80} , não representa um problema real, pois plantas C_4 estão adaptadas a condições de alta temperatura e déficit de pressão de vapor moderados (DE SOUZA *et al.*, 2005).

Dos parâmetros derivados da curva de luz, observou-se somente *Rd* e *PCL* deferiram entre os tratamentos, enquanto que a *EQ*, a *A_{max}* e o *PSL* foram similares (Tabela 3). Sendo *EQ* e *A_{max}* os indicadores diretamente relacionados à eficiência fotossintética (MACHADO *et al.*, 2005), reforçasse a suposição da tolerância fotossintética da braquiária ao sombreamento. Da mesma forma, a não variação do *PSL* ($\sim 600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) entre os tratamentos indica que a forrageira, mesmo sobre condições de sombreamento, manteve o aparato fotossintético funcional tal qual as das plantas em pleno sol (*T₀*). Valores similares de *PSL* também foram obtido em plantas de *B. brizantha* e *B. humidicola* sob condições de 0 e 70% de restrição luminosa (DIAS FILHO, 2002; LIMA *et al.*, 2006). Este resultado também reafirma o potencial das braquiárias em tolerar, no quesito fotossintético, o sombreamento.

Plantas do tratamento *T₈₀* apresentaram valores de *Rd* menores em relação aos tratamentos *T₀* e *T₅₀* (Tabela 3), o que significa que a forrageira, sob sombreamento extremo, apresentou menor aproveitamento dos fotoassimilados, mesmo que a produção destes tenha sido similar em todos os tratamentos. É comum que plantas que crescem sob baixa luminosidade apresentem uma aclimação do metabolismo mitocondrial, de forma a reduzi-lo, pois o próprio processo respiratório requer gasto energético e a maior parte das enzimas envolvidas apresentam temperatura ótima para a sua atividade acima de 25 °C (LAMBERS *et al.*, 2008). Porém, esta economia energética implica também numa menor disponibilidade de elementos carbônicos intermediários, necessários tanto a manutenção quanto ao crescimento das plantas (SCHULZ *et al.*, 2013). Da mesma forma, a redução do *PCL* observado nas plantas em *T₈₀*, revela que a forrageira se aclimatou a esta condição, reduzindo concomitante tanto a respiração quanto a assimilação carbônica. Este é um padrão esperado em

plantas de sombra, e garante que ao menor incremento de luz o processo fotossintético será favorecido (GOBBI *et al.*, 2009).

Como mencionado anteriormente, apesar de o nível de sombreamento em T₅₀ e T₈₀ causar redução significativa da taxa fotossintética (leitura pontual), esta não foi drástica em ambos os casos (Tabela 2). Ademais, a eficiência fotossintética das plantas, fornecida por EQ e A_{max} , não diferiu entre os tratamentos (Tabela 3). Nessa ordem de idéias, pode-se inferir que plantas de braquiária, mesmo sob condições de luminosidade reduzida (50% e 80%) mantiveram um desempenho fotossintético satisfatório. Porém, a taxa fotossintética pontual ou a curva de luz foliar não representam a fotossíntese do dossel, menos quando medidas em curtos períodos de tempo. Estas podem não coincidir com as variações de crescimento e produção, pois não expressam a assimilação total de CO₂ pela comunidade de folhas ou plantas inteiras ao longo do dia ou de uma estação (ZELITCH, 1982).

Esta colocação foi contestada na análise de crescimento da forrageira, onde a redução do número e altura dos perfilhos variaram entre os tratamentos (Tabela 4). O número de perfilhos reduziu na mesma proporção do nível de sombreamento dos tratamentos, respectivamente 54 e 80% menor em T₅₀ e T₈₀ em relação ao tratamento T₀. Ainda assim, plantas em T₅₀ apresentaram um desempenho mais satisfatório em relação às plantas em T₈₀, com valores similares aos obtidos em outras gramíneas do gênero *Brachiaria sp.* por PACIULLO *et al.*, (2007), GUENNI *et al.*, (2008) e SOARES *et al.*, (2009). A redução mais acentuada do número de perfilho nas plantas em T₈₀, mesmo com a manutenção da capacidade fotossintética, leva a inferir que produção de fotoassimilados nestas plantas foi direcionada preferencialmente para os processos bioquímicos de manutenção em detrimento do crescimento e desenvolvimento, como proposto por CARVALHO *et al.*, (1995) e

MARTUSCELLO *et al.*, (2009). Corrobora para isso o fato de que a taxa respiratória destas plantas foi, também, a menor dentre os tratamentos.

A altura dos perfilhos foi igualmente afetada pelo nível de sombreamento, apesar de inversamente ao padrão observado para o número de perfilhos. Assim sendo, plantas cultivadas em T₈₀, sombreamento extremo, mostram-se mais altas que as demais. Este estiolamento é uma mudança morfológica em função do sombreamento, é comumente observada tanto em plantas C₃ quanto C₄ (CARVALHO *et al.*, 1997, MORAIS, *et al.*, 2003, SOUZA *et al.*, 2007, NETO, *et al.*, 2010). CASTRO *et al.*, (1999) trabalhando com *B. brizantha* cv. Marandu, também observou que a altura média das plantas sob sombreamento artificial (30 e 60% de sombreamento) foi maior do que daquelas a pleno sol.

Pelo exposto acima pode-se assumir que metabolismo fotossintético de *Brachiaria decumbens*, mostrou-se tolerante ao sombreamento, sendo que as plantas se aclimataram ao ambiente luminoso onde foram cultivadas. Gramíneas como a braquiária tem sido reportadas genericamente como tolerantes ao sombreamento (CARVALHO *et al.*, 2002; PACIULLO *et al.*, 2007). Porém, essa tolerância em campo é dependente de outras condições ambientais e até nutricionais (ERIKSEN & WHITNEY, 1981) e pode não ser completa, ou seja, não refletir em todos os processos biológicos da planta. Assim, o crescimento, o desenvolvimento ou a reprodução de plantas crescendo em condições de baixa luminosidade podem ser mais severamente afetados que processos fisiológicos ou bioquímicos isolados. Isso decorre do fato de que os processos que compõem o ciclo de vida da planta são dependentes da integração temporal do desempenho fisiológico (SCHULZ *et al.*, 2013).

5.2 ENSAIO II

O sombreamento natural proporcionado pelas árvores altera a quantidade e qualidade da radiação incidente no sub-bosque (FELDHAKKE, 2001), além de interferir na disponibilização de outros recursos, como água e nutrientes minerais, ocasionando importantes efeitos sobre a fisiologia, o crescimento e a morfogênese das plantas (WILSON & LUDLOW, 1991; WAN & SOSEBEE, (1998) e GAUTIER *et al.*, (1999).

Os parâmetros de precipitação, evapotranspiração, temperatura e umidade relativa podem ser considerados fatores fundamentais que definem as condições climáticas de uma região. A região durante a época chuvosa caracterizou-se pelo índice de precipitação média mensal acima de 125 mm, temperatura média de 25 °C e UR entre 60 e 75%. Outra característica dessa época foi a densa nebulosidade ao longo do dia, a qual influenciou, os fatores anteriormente descritos e principalmente, a RFA.

A época seca caracterizou-se pelo baixo índice de precipitação com média mensal de 27 mm, UR entre 75 e 85% e pelas baixas temperaturas, aproximadamente 15 °C. Na mesma época, a nebulosidade ao longo do dia foi menor, em relação à época chuvosa, o que permitiu maior passagem de luz através do dossel da macaúba.

Outro fator relevante é a inclinação da Terra em relação ao Sol, ao longo das duas épocas. Na época seca, a incidência natural de luz em relação à superfície do solo foi oblíqua, em contraste com a época chuvosa, na qual a incidência de luz foi perpendicular (LANGHI, 2011). Essa condição natural influencia diretamente no sombreamento das áreas consorciadas.

Na época seca foi observada menor RFA dentro das áreas consorciadas. Por sua vez, na época chuvosa, a RFA foi maior nas áreas consorciadas e o tempo de

sombreamento no período da manhã e da tarde foram, consideravelmente, menores. Isso mostra que a luminosidade foi influenciada pela época do ano e consequentemente, houve alterações nos fatores micro-ambientais dentro das áreas consorciadas.

Entre as épocas seca e chuvosa foi evidente a mudança dos parâmetros ambientais. Entretanto, nas áreas consorciadas $T_{4,5 \times 4,5}$, $T_{5 \times 4}$, $T_{6 \times 4}$ e $T_{7 \times 4}$ não foi detectada diferença na temperatura média diurna, o que indica que a presença da macaúba no sistema consorciado manteve as condições micro-climáticas analisadas estáveis ao longo das épocas (Tabela 6). Igualmente foi observada uma relação inversa entre a distância das entrelinhas de macaúba e o percentual da UR. Isso indica uma maior retenção do vapor d'água nas áreas consorciadas. Segundo NICODEMO *et al.* (2004) a presença de árvores nos SSPs reduz a velocidade do vento favorecendo a produção das pastagens. A atenuação dos ventos em áreas consorciadas, otimiza a eficiência no uso da água, aumenta a UR, diminui a oscilação das temperaturas diurnas e noturnas, beneficia o suprimento de CO_2 e minimiza os danos físicos e bioquímicos decorrentes da alta irradiância, quando comparadas com pastagens a pleno sol.

No monocultivo, as plantas cresceram em condições ambientais diferenciadas. Ao longo do dia, a área a pleno sol esteve exposta por mais tempo à radiação solar direta, situação contrária à observada nas áreas consorciadas, onde a luminosidade foi interceptada pelo dossel da palmeira principalmente durante o período das 8h às 11h e das 15h às 17h. Resultado similar foi como observado por PACIULLO *et al.*, (2008) em pastagens cultivadas em consorcio com eucalipto.

As folhas da macaúba são finas, pinadas e de aspecto plumoso (LORENZI & NEGRELLE, 2006), características que permite maior entrada de luz no sub-bosque.

Entretanto, a proximidade das linhas de plantio de macaúba nas áreas mais adensadas (tratamentos $T_{4,5 \times 4,5}$ e $T_{5 \times 4}$) ocasionaram a sobreposição das folhas, sendo evidente maior sombreamento pelo dossel da macaúba. Esta condição, consequentemente, resultou em uma maior interceptação luminosa pelo dossel e menor luminosidade dentro do sub-bosque, o que pode ter influenciado do.

Diferente do que foi observado nas áreas menos adensadas ($T_{6 \times 4}$, $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$), onde não houve sobreposição do dossel das palmeiras, permitindo maior passagem de luz, e de forma intermitente, para o sub-bosque (Tabela 8). Observações de campo indicaram que nestes espaçamentos, a maior intensidade luminosa no sub-bosque era atingida nas horas finais da manhã e início da tarde (11h - 14h), resultados que condizem com os menores valores de umidade relativa e de temperatura média diurna, nas áreas mais adensadas ($T_{4,5 \times 4,5}$ e $T_{5 \times 4}$) em relação ao monocultivo (Tabela 6). Em conjunto, essas condições micro-ambientais podem influenciar o desempenho fisiológico e de crescimento e, portanto, a persistência do capim braquiária no sub-bosque, como descrito por NICODEMO *et al.*, (2004) e MARTUSCELLO *et al.*, (2009). Ademais, mudanças na intensidade e temporalidade da disponibilidade de luz, ocasionada pelo dossel da macaúba, pode alterar a cronologia e a eficiência de processos fisiológicos dependentes de luz da braquiaria, notadamente a fotossíntese (SCHULZ *et al.*, 2013).

Todos os parâmetros microclimáticos avaliados têm efeito direto no processo fotossintético e, consequentemente, no crescimento e desenvolvimento das plantas (COSTA & MARENCO, 2007). Em plantas C_4 como o capim braquiária, a T °C e a RFA são cruciais (VALENTE *et al.*, 2011) para os processos fisiológicos e de trocas gasosas como discutido no Ensaio I. Em geral, a redução da luminosidade observada nas áreas consorciadas limitou os parâmetros de A , E e g_s da braquiaria em relação

ao monocultivo. A relação inversa entre a luminosidade disponível no sub-bosque e os valores de A , E e g_s da forrageira no presente estudo (Tabela 8) foram similares aos obtidos por DIAS-FILHO (2002) para *B. brizantha* e *B. humidicola* quando cultivadas a 70% de redução luminosa. Entretanto, foi detectada interação entre os fatores analisados, indicando que estes parâmetros ecofisiológicos são influenciados tanto pelo nível de sombreamento, como pela disponibilidade sazonal das chuvas e a atividade herbívora do gado (Tabela 8).

Foi constatado que a época influenciou de forma acentuada nas taxas fotossintéticas do capim braquiária. Essa premissa parte do pressuposto que durante a época seca e na condição pré-pastejo, os maiores valores de A foram observados nos tratamentos menos adensados, $T_{6 \times 4}$, $T_{7 \times 4}$, $T_{8 \times 4}$ e no monocultivo (Tabela 8). Entretanto, durante a época chuvosa, e na mesma condição pré-pastejo, os valores de A da braquiaria no tratamento $T_{6 \times 4}$ foram menores em relação ao monocultivo. Esse fenômeno pode ser explicado pela incidência luminosa através do dossel da macaúba e a variação da RFA entre as épocas. Como descrito (Tabela 7) e discutido anteriormente, a proximidade do dossel das palmeiras nos tratamentos mais adensados e a maior nebulosidade durante a época chuvosa, influenciaram na RFA que atingiu o dossel da forrageira. Estes dois fatos contribuem para uma redução mais acentuada da luminosidade no sub-bosque (RFA <44%), a partir de $T_{6 \times 4}$ em ordem decrescente, fator que seguramente influenciou as taxas fotossintéticas da forrageira, tal qual observado no Ensaio I. Além disso, nos tratamentos menos adensados, $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$, durante algumas horas da manhã e da tarde, as áreas do sub-boque receberam radiação direta, principalmente durante a época chuvosa.

Quando analisada a condição pós-pastejo durante a época seca, foi observada queda nas taxas de A e de E , com exceção do monocultivo. Porém na condição pós-

pastejo durante a época chuvosa os valores de *A* e de *E* foram mantidos ou até maiores em relação ao pré-pastejo (Tabela 8). Esses resultados indicam, que do ponto de vista fisiológico, o processo de recuperação do capim braquiária após a herbivoria foi consideravelmente maior durante a época chuvosa. Outros estudos descrevem diferentes tipos de resposta das plantas à herbivoria como por exemplo, defesas físicas (tricomas e espinhos) e químicas (compostos secundários tóxicos e redutores da digestibilidade) (MARQUIS & BRAKER, 1993). Outra possibilidade é a planta tolerar o ataque de herbívoros repondo as estruturas consumidas.

As respostas das plantas à herbivoria baseiam-se na hipótese da disponibilidade de recursos (HDR) (COLEY *et al.*, 1985). Essa hipótese defende que plantas em ambientes mais ricos em recursos investem mais em crescimento do que em defesas devido ao baixo custo de produção de folhas novas, entretanto espécies em ambientes pobres investem mais em defesas do que em crescimento em decorrência do alto custo de produção de folhas novas (COLEY *et al.*, 1985). Nesse contexto pode-se inferir que a produção de novas folhas, induz o aumento das taxas fotossintéticas e na remobilização de carboidratos. Plantas danificadas de *Cucumis sativus* apresentaram maior eficiência e capacidade fotossintética, e dissiparam menos energia na forma de calor (THOMSON *et al.*, 2003). Os autores descrevem que plantas que sofreram herbivoria podem ser induzidas a utilizar uma maior proporção da energia luminosa absorvida para a fotossíntese, como resultado da alteração da relação fonte-dreno dos carboidratos.

Maior incidência luminosa, aumento da temperatura atmosférica (Tabela 7) e disponibilidade de água na época chuvosa (Figura 5), podem ter influenciado positivamente nos processos fisiológicos da forrageira, como observado por DA SILVA & PEDREIRA (1997); FAGUNDES *et al.* (2005). Outro fator predominante

e que a herbívora pode interferir na relação fonte-dreno, por acarretar numa demanda maior de fotoassimilados, de modo que quando sob condições ambientais adequadas, algumas espécies vegetais podem responder com aumento do metabolismo fotossintético, como observado por THOMPSON *et al.*, (2003).

Em geral, a queda da fotossíntese da braquiaria nos espaçamentos menores ($T_{4,5 \times 4,5}$ e $T_{5 \times 4}$) foi acompanhada pela concomitante redução de g_s (Figura 6). Decréscimos em g_s também causaram efeitos negativos no processo fotossintético em *B. brizantha* (DE OLIVEIRA *et al.*, 2007) e como observado no Ensaio I do presente estudo. Porém, a fotossíntese da braquiaria, durante a época chuvosa, não foi alterada entre os ciclos de pastejo, ao contrario do que foi observado na época seca, (Tabela 8). Plantas C_4 em condições favoráveis de temperatura e água, podem manter um eficiente assimilação carbônica, mesmo com alterações da abertura dos estômatos (SCHULZ *et al.*, 2013). Isso ocorre pelo fato de justamente possuir duplo sistema enzimático de carboxilação, que garante a captura mais eficiente de CO_2 (LAMBERS, 2008).

Esta restrição estomática também limitou a perda de água por transpiração (E) na forrageira, fenômeno que garante uma melhor economia de água pelas plantas (PLAUT, 1994, PIMENTEL & HÉBERT 1999). Porém, esse controle de E pode ser alterado quando ocorre algum tipo de dano nos tecidos vegetais. O rompimento dos tecidos vegetais e a inicial perda não controlada de água induzem uma série de respostas fisiológicas e mecânicas para evitar a perda excessiva de água (LAMBERS, 1998). De fato, na época seca e no pós-pastejo, a forrageira apresentou menores valores de g_s , possivelmente um estratégia de restringir a excessiva perda de água devido à ação herbívora.

Esses resultados indicam que de fato a época e a condição de pastejo influenciaram nas trocas gasosas do capim braquiária. Entretanto, o comportamento animal, durante o pastejo, também influenciou diretamente na resposta fisiológica da forrageira (LEME *et al.*, 2005). Observações de campo mostraram que o gado preferiu se alimentar nas áreas menos adensadas, enquanto que permaneceu nas áreas mais sombreadas para ruminar e/ou descansar. Nesse sentido, as plantas de capim braquiária dos espaçamentos menores ($T_{4,5 \times 4,5}$, $T_{5 \times 4}$ e $T_{6 \times 4}$) não tiveram a mesma intensidade de pastejo em relação aos tratamentos $T_{7 \times 4}$, $T_{8 \times 4}$ e o monocultivo.

Foi possível constatar que o sombreamento no sub-bosque das áreas de consórcio mais adensados ($T_{4,5 \times 4,5}$) afetou de forma significativa a fotossíntese da forrageira, ainda que não em uma proporção acentuada. Este mesmo padrão de resposta foi obtido no Ensaio I, e reforça a íntima associação entre a fotossíntese da braquiária e a disponibilidade de RFA. Contudo, em ambos os Ensaios I e II esta redução não ultrapassou 35%, o que pode explicar a persistência, e portanto a tolerância, da espécie ao cultivo em sistemas consorciados/ sombreados. Mas, assim como observado no Ensaio I a limitação luminosa no sub-bosque pode ter um efeito mais acentuado no crescimento e na qualidade da forrageira.

O acúmulo de MS nas plantas forrageiras depende de fatores intrínsecos e extrínsecos, (DA SILVA & PEDREIRA, 1997). Plantas de braquiária, em condições de sombreamento acentuado ($T_{4,5 \times 4,5}$, $T_{5 \times 4}$ e $T_{6 \times 4}$), apesar de persistirem no sub-bosque, apresentaram grande redução do acúmulo de MS (redução de 40%) em relação ao monocultivo. Resultados que corroboram os valores obtidos no Ensaio I, onde o perfilhamento do capim braquiária foi afetado proporcionalmente em relação ao nível de interceptação luminosa dos tratamentos (0, 50 e 80%) (Tabela 4).

Nos espaçamentos mais adensados ($T_{4,5 \times 4,5}$ e $T_{5 \times 4}$) apenas 8% da RFA atingiu o dossel da forrageira, afetando diretamente o crescimento e a rebrota do capim braquiária ao longo dos ciclos de pastejo, quando comparado com o monocultivo. CARVALHO *et al.* (1997) observou que *B. decumbens* quando submetida a redução de 60% da luminosidade também apresentou alterações morfológicas como visível estiolamento. Resultados similares foram obtidos por DONG & KROON (1994), CASTRO *et al.*, (1999) e PACIULLO *et al.*, (2007), os quais afirmam que o fator luminosidade foi limitante para o crescimento de *B. decumbens*.

A fotossíntese pode ser utilizada como parâmetro de predição do crescimento das plantas (INOUE & ODA, 1988). Portanto, é plausível inferir que o menor acúmulo de MS do tratamento $T_{6 \times 4}$ (Figura 7b) – redução de cerca de 30% em relação ao monocultivo – está relacionado às menores taxas de A da forrageira nesse tratamento. Sendo o crescimento um integralizador temporal das taxas fotossintéticas ao longo tempo, esse menor valor de MS possivelmente decorreu do efeito sinérgico dos fatores micro ambientais vigentes ao longo da estação de inverno, onde a menor disponibilidade de água e temperaturas mais baixas se somaram à maior limitação luminosa do espaçamento 6m x 4m do sub-bosque (Da SILVA & PEDREIRA, 1997; FAGUNDES *et al.*, 2005). Outros estudos também relataram redução no acúmulo de MS de folhas, colmo, material senescente e a taxa de acúmulo líquido do capim braquiária durante o inverno (MOREIRA, 2009).

Por outro lado, apesar das plantas de braquiária em $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$ não terem atingido taxas fotossintéticas tão elevadas quanto as plantas do monocultivo, seus valores foram sempre acima de $17 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. É possível, ainda, que a capacidade fotossintética máxima das plantas $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$ ocorreram entre 11-14h, quando a luminosidade dentro dos respectivos sub-bosques foram maiores. Este desempenho

fotossintético similar entre as plantas do tratamento T_{7x4}, T_{8x4} e do monocultivo, apesar de não serem sincrônicos, é o que possivelmente possibilitou a disponibilidade equivalente de MS nestes tratamentos. Isso indica que os adensamentos T_{7x4} e T_{8x4} são promissores, pois permitem a sustentabilidade produtiva da forrageira no SSP macaúba-capim braquiária, por períodos mais longos. Nestes adensamentos a redução da luminosidade no sub-bosque não ultrapassou 50%, assegurando um satisfatório fornecimento de RFA para o processo fotossintético da braquiária, assim como foi observado para a gramínea *Cenchrus ciliaris* cultivada em consorcio com *Acacia tortillis* (MISHRA *et al.*, 2010). Consequentemente, espaçamento 7m x 4m pode ser considerado limítrofe para o capim braquiária em consorcio com a macaúba.

Outra alteração observada foi a relação lâmina/colmo, a qual parece ser influenciada pela época do ano. Durante a época seca na região de Araponga - MG, além da luminosidade, outro fator limitante para o crescimento da gramínea é a temperatura. As baixas temperaturas somadas à baixa luminosidade podem ter influenciado negativamente no crescimento e na relação lâmina/colmo. Na época seca, essa relação foi aproximadamente 35% maior em relação à época chuvosa, o que indica que durante a época seca e fria, houve maior emissão de folhas e menor perfilhamento. Por sua vez, na época chuvosa as plantas de braquiária mantiveram a proporção próxima de 1,0. A variação na relação lâmina/colmo entre as épocas está diretamente relacionada com a qualidade e quantidade de luz solar, como mencionado previamente nos resultados das condições meso e micro-climáticas.

Menor incidência luminosa durante a época seca influenciou no aumento da relação lâmina/colmo, como mecanismo de compensação entre a redução da luminosidade e da lâmina foliar (PACIULLO *et al.*, 2007; SOARES *et al.*, 2009). Ao

contrário do que foi observado na época chuvosa, onde as plantas apresentaram menor lâmina foliar em virtude da maior luminosidade, acompanhada do aumento da temperatura. Esses resultados são similares com os obtidos por PACIULLO *et al.* (2007), os quais afirmaram que a baixa luminosidade ocasionou alterações morfológicas no dossel de *B. decumbens* e potencializou a interceptação luminosa.

Verificou-se neste Ensaio II, que a fotossíntese da forrageira aclimatou-se ao ambiente sombreado imposto pelos espaçamentos, tendo as taxas fotossintéticas permanecido em níveis satisfatórios. Contudo, nas condições de menor adensamento da palmeira, a tolerância da forrageira, neste quesito fisiológico foi maior. Em relação ao crescimento – disponibilidade de MS – observou-se uma queda mais acentuada nos adensamentos maiores; porém a forrageira persistiu nestes ambientes. Estes resultados contribuem para a controvérsia da tolerância da braquiária ao sombreamento. É relevante ressaltar que o sombreamento nem sempre está associado a perdas de biomassa ou a qualidade nutricional. Essas respostas dependem da somatória de fatores microambientais e da plasticidade fenotípica da espécie a essas condições. Segundo WILSON & COOPER (1970) e RYMPH, *et al.* (2004), em uma comunidade de plantas, a conversão da energia luminosa em biomassa depende das taxas fotossintéticas de folhas individuais e padrões de interceptação luminosa. Entretanto, a capacidade fotossintética de folhas individuais apresenta grande variação, causada por diversos fatores tais como: quantidade e qualidade da radiação, suprimento de água, nutrição mineral e principalmente pelo estágio de desenvolvimento da folha (PEDREIRA *et al.*, 2001; BRAGA *et al.*, 2008).

Segundo ERIKSEN & WHITNEY (1981) o sombreamento moderado e a não suplementação de nitrogênio, beneficiam a produtividade e qualidade da forragem, enquanto que respostas positivas à adubação nitrogenada foram obtidas em

condições de luminosidade média a alta. No presente estudo, as áreas a pleno sol e consorciadas foram adubadas regularmente, o que pode ter influenciado na tolerância da braquiária ao sombreamento. Em condições de deficiência de nitrogênio e sombreamento moderado, *B. decumbens* apresentou melhoria nos parâmetros de produção e qualidade da forragem, enquanto que na presença de nitrogênio as exigências de luminosidade devem ser de média a alta para obter rendimentos significativos (SCHREINER, 1987). Outros estudos indicam que a sombra pode influenciar no aumento da produção da forrageira, quando consorciadas com baixa densidade arbórea, média fertilidade do solo (BURROWS *et al.*, 1990; WILSON *et al.*, 1990) e baixa precipitação (WELTZIN & COUGHENOUR, 1990).

A qualidade e a composição bioquímica das plantas são dependente das condições ambientais em que crescem, bem como da disponibilidade de fotoassimilados (ENGEL & POGGIANI, 1991; ALMEIDA *et al.*, 2004). Na época chuvosa os teores de FDN e de PB da braquiaria foram maiores em relação aos teores obtidos durante a época seca. O teor de PB observado por EUCLIDES *et al.* (2000), foram similares ao do presente estudo, diferindo apenas no teor de FDN, o qual foi maior durante a época seca.

As fibras são componentes estruturais das plantas (WEISS, 1993), contidas principalmente nas estruturas de suporte, como caule ou colmo. Do ponto de vista nutricional, o teor de fibras vem sendo utilizado para caracterizar os alimentos (VAN SOEST, 1994) e como parâmetro para o balanceamento de dietas de ruminante, visto que a presença de fibras interfere, na qualidade dos alimentos (MACEDO JÚNIOR, 2007). As plantas das áreas consorciadas foram mais altas em relação às plantas do monocultivo, apresentando maior distância dos entrenós e maior teor de FDN. Diferentemente das plantas que cresceram na área solteira, onde a altura, a distância

dos entrenós e o teor de FDN foram significativamente menores. Durante a época seca, o teor de FDN foi menor em relação à época chuvosa, condição que está diretamente relacionada com a relação lâmina/colmo. Como foi observado durante a época seca, o crescimento do capim braquiária (Figura 7a) foi discretamente menor, o que pode ter refletido no teor de FDN.

Além das fibras, o teor de PB também determina a qualidade da forrageira oferecida ao animal. A síntese de proteínas está diretamente relacionada com a disponibilidade e transporte do N, o qual é considerado elemento essencial para o crescimento das plantas (REIS *et al.*, 2006). Neste estudo foi observada redução de 23% no teor de PB no monocultivo em relação às áreas consorciadas, resultados que condizem com os obtidos por MISHRA *et al.*, (2010). Porém essa diferença pode ter sido influenciada pela diluição do N dentre os tecidos, uma vez que a adubação nitrogenada pode beneficiar o crescimento e produtividade de algumas gramíneas, como em *B. brizantha* (ALEXANDRINO *et al.*, 2004). A demanda por N torna-se maior à medida que as taxas de crescimento das plantas aumenta, tornando a adubação nitrogenada essencial em algumas culturas. Entretanto, quando o suprimento de N excede o requerimento para o crescimento das plantas de *B. brizantha*, há acúmulo de N na forma de nitrato (NO_3^-) nos tecidos (CORRÊA *et al.*, 2001; PRIMAVESI *et al.*, 2006) podendo mascarar o teor de PB.

Durante a coleta do material vegetal foi observado visualmente que nas áreas de monocultivo houve maior acúmulo de material senescente, em relação às áreas consorciadas. A adubação nitrogenada em *B. Decumbens* reduz a duração de vida das folhas e promove maior renovação dos tecidos (SILVA *et al.*, 2009), ou seja, o processo de senescência desta forrageira é acelerado com aumento das doses de nitrogênio (MARTUSCELLO *et al.*, 2005). Portanto, tudo indica que nas áreas de

monocultivo houve maior taxa de renovação dos tecidos, o que pode explicar a diluição no teor de proteína. Diferente das áreas consorciadas, onde o teor de PB foi maior e a taxa de renovação foi significativamente menor em relação ao monocultivo. Com base nesses resultados pode-se inferir que o SSP macaúba – capim braquiária aumenta o tempo de vida dos perfilhos da forrageira e beneficia a manutenção do teor de PB. Resultados que estão de acordo com outros estudos realizados com *Cenchrus ciliaris* L. em consórcio com *Acacia tortilis*(Forssk) (MISHRA *et al.*,2010).

5.3 ENSAIO III

As estimativas anuais de acúmulo de biomassa, sequestro de CO₂ e o conteúdo de carbono estocado pelos componentes vegetais do SSP macaúba – capim braquiária variaram conforme os tratamentos. No geral, os maiores valores foram pertinentes aos tratamentos mais adensados (T_{4,5x4,5} e T_{5x4}) enquanto que os menores valores foram encontrados nos menos adensados (T_{7x4} e T_{8x4}) (Tabela 12). Assim como observado e discutido para trocas gasosas (fotossíntese) e disponibilidade de MS do capim braquiária (Ensaio II), o T_{6x4} foi o espaçamento limítrofe – entre os maiores e o menores valores – para produtividade, sequestro de CO₂ e acúmulo de carbono no SSP macaúba-capim braquiária.

Avaliando os componentes vegetais individualmente, é possível observar que os valores de MS para a braquiária foram menores nos tratamentos mais adensados, onde na medida em que o grau de sombreamento se tornava mais severo, limitava o ótimo desempenho fotossintético e o crescimento da forrageira, em decorrência da ação dos fatores microclimáticos atuantes (DE ANDRADE *et al.*, 2004; PACIULLO *et al.*, 2007; MARTUSCELLO *et al.*, 2009), como discutido no Ensaio I e II.

Ao contrario da forrageira, o acúmulo de matéria seca do componente arbóreo diminuiu com o aumento dos espaçamentos. Mas isso ocorreu, certamente, pelo menor número de plantas de macaúba/hectare, e não por redução da capacidade de acúmulo de MS por planta, uma vez que a altura e os valores de biomassa/planta não variaram entre os tratamentos (Apêndice II altura e MS das macaúbas/tratamento). De fato, a macaúba acumulou em média 25,4 ton ha⁻¹, valor considerado padrão para espécies arbóreas dicotiledôneas tropicais (ANDRADE *et al.*, 2008). Este mesmo padrão foi encontrado na mesma área experimental, quando as palmeiras apresentavam-se com 4 anos de idade (SOUZA, 2013).

Portanto, no presente estudo, ao contrario do que foi estabelecido por WILSON (1988) estabelece o adensamento do componente arbóreo e o seu cultivo consorciado com a forrageira, não interferiu no seu crescimento. Este resultado comprova a premissa de que plantas arbóreas ou perenes são acumuladoras mais eficientes de matéria seca e, por consequência, melhores elementos estocadores de carbono do que espécies herbáceas de ciclo curto (MONTAGNINI & NAIR, 2004, SAXENA *et al.*, 1996). Gramíneas C₄, como as braquiárias, são por sua vez melhores seqüestradoras de CO₂ atmosférico, devido a seu inerente mecanismo metabólico de concentração de CO₂. Entretanto, ressalta-se que a macaúba apresenta eficiência de assimilação fotossintética equivalente as das plantas C₄ (PIRES *et al.*, 2013, SOUZA, 2013).

De fato, o conteúdo de carbono estocado e a assimilação de CO₂ está diretamente relacionado com o acúmulo de matéria seca (LAMBERS 1998). Nos espaçamentos T_{7x4} e T_{8x4}, o acúmulo de matéria seca do SSP foi 22 % menor em relação aos espaçamentos T_{4,5x4,5} e T_{5x4}, porém a disponibilidade de MS do capim braquiária nos espaçamentos maiores foi similar ao do monocultivo, como observado no Ensaio II (Figura 7b). Esses resultados estão de acordo com (PACIULLO *et al.*, 2007, GOBBI *et al.*, 2007) onde os autores afirmam que *B. decumbens* quando em condições de sombreamento moderado alcançam produtividade adequada. O menor desempenho do SSP macaúba – capim braquiaria nos espaçamentos maiores está possivelmente relacionado à menor densidade de plantas de macaúba por hectare, como mencionado anteriormente. Sendo a palmeira, portanto, o elemento diferencial.

O SSP é de fato um ótimo complexo sequestrador de carbono, podendo ser realizadas atividades tanto agrícolas quanto pecuárias, sempre e quando a densidade do componente arbóreo não comprometa o crescimento das plantas do sub-bosque. A vantagem desses sistemas pode ser atribuída à maior eficiência na captura dos

recursos para crescimento, visto que mais componentes ativos são agregados ao processo de produção (SHARROW & ISMAIL, 2004) e aos diferentes padrões de crescimento, sendo possível aumentar o estoque total de carbono na mesma área de cultivo (BERNARDINO & GARCIA, 2009).

A parte aérea do SSP eucalipto – pastagens temperadas estoca em média 11,3 ton ha⁻¹ de carbono (SHARROW & ISMAIL, 2004), resultados abaixo dos estimados no maior espaçamento 8m x 4m do presente estudo (Tabela 12). Segundo PAIXÃO (2004), o carbono fixado por uma planta de Eucalipto corresponde a 67,06 % na parte aérea, 20,68 % nas raízes e 12,26 % na camada orgânica do solo. Isso indica que se considerado o carbono fixado no solo e nas raízes do SSP macaúba - capim braquiária, as estimativas totais do sistema superariam em maior proporção os SSPs tradicionais.

Com base nos resultados no presente estudo, pode-se inferir que para o sucesso na adoção do SSP macaúba-capim braquiária o adensamento deve ser maior ou igual a 7m x 4m, no qual existiu um equilíbrio entre os componentes vegetais do SSP, sendo benéfico tanto para a forrageira quanto para a macaúba (Tabela 12).

6. CONCLUSÕES

Baseado nos resultados do Ensaio I conclui-se que o processo fotossintético de *Brachiaria decumbens* apresenta tolerância ao sombreamento, aclimatando-se ao ambiente luminoso de crescimento.

A eficiência do uso da luz da forrageira foi preservada, independente da intensidade luminosa no ambiente de cultivo.

O crescimento da forrageira se mostrou mais sensível à restrição luminosa, sendo a redução do número de perfilhos foi proporcional ao nível de sombreamento do ambiente de crescimento.

Os resultados do Ensaio II confirmam que a época do ano, a ação bovina e as condições de adensamento da macaúba, no SSP macaúba - braquiária interferem de forma diferenciada na resposta fisiológica e de crescimento da braquiária, em especial, as condições microclimáticas do sub-bosque como a disponibilidade de luz, temperatura e umidade relativa do ar.

Nos espaçamentos $T_{7 \times 4}$ e $T_{8 \times 4}$ (equivalentes a 357 e 313 plantas/ha respectivamente), a braquiária mantém a qualidade nutricional e os rendimentos fotossintéticos e de crescimento em patamares similares aos das plantas do monocultivo.

Nos espaçamentos menores $T_{4,5 \times 4,5}$, $T_{5 \times 4}$ e $T_{6 \times 4}$, os parâmetros fisiológicos e de crescimento são severamente impactados, pela ação sinérgica das condições de baixa luminosidade e baixa temperatura dentro do sub-bosque.

Com base nos resultados do Ensaio III, comprovou-se que o SSP macaúba - capim braquiária atua como um eficiente sequestrador de carbono atmosférico, especialmente nos adensamentos menores ($T_{4,5 \times 4,5}$ e $T_{5 \times 4}$), em decorrência do maior número de palmeiras por hectare, sendo a palmeira a componente vegetal que atua

de forma mais determinante no acúmulo de biomassa e na estocagem de carbono no sistema SSP.

É possível inserir o SSP macaúba – capim braquiária em pastagens abandonadas e/ou degradadas, visto que o cultivo consorciado macaúba – capim braquiária apresenta-se como prática sustentável e de baixo impacto ambiental, quando realizado o manejo de forma adequada.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho comprovou que o capim braquiária é tolerante ao sombreamento parcial, tornando-se uma espécie forrageira ideal para ser inserida no sistema silvipastoril com a macaúba. Igualmente foi constatado que o sistema silvipastoril macaúba - capim braquiária é uma prática agrícola viável tanto do ponto de vista agrícola quanto pecuário, sempre e quando o adensamento de plantas de macaúba por hectare não supere as 357 plantas. Abaixo desse arranjo espacial, pode ocorrer queda na disponibilidade de matéria seca do capim braquiária em decorrência da maior restrição luminosa, ocasionada pela proximidade do componente arbóreo.

O SSP macaúba - capim braquiária, comportou-se com um excelente sequestrador de carbono, equiparando-se ao SSP mais tradicional de eucalipto – forrageira, comprovando sua aptidão à exploração agrícola sustentável e responsável com o meio ambiental. Do ponto de vista pecuário, a presença da macaúba no SSP ofereceu locais ideais para o descanso, ócio e ruminação dos animais. Sugere-se, portanto, que dentro do arranjo espacial do SSP macaúba – capim braquiária, sejam inseridas duas ou três linhas de macaúba mais próximas oferecendo assim, locais de proteção luminosa e de descanso para os animais (Apêndice III).

Porem, para que a adoção do SSP macaúba – capim braquiária seja adotado em sua plenitude mais informações são necessárias. Estas poderão ser geradas através de estudos complementares como: sequestro de carbono pelo sistema radicular dos componentes vegetais, ciclos de matéria orgânica e nutrientes no sistema, produtividade das macaúbas (frutos), comportamento animal, ganho de peso dos animais, pressão de pastejo adequada para os espaçamentos 7m x 4 m e 8m x 4m e a implantação de um modelo espacial alternativo do SSP macaúba – capim braquiária como descrito no Apêndice II.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, A.; KANDJI, S., T. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 99, n. 1, p. 15-27, 2003.

ALEXANDRINO, E.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; MOSQUIM, P. R., REGAZZI, A. J.; ROCHA, F. C. Características Morfogênicas e Estruturais na Rebrotação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu Submetida a Três Doses de Nitrogênio. *Revista Brasileira Zootecnia.*, v. 33, n. 6, p. 1372-1379, 2004.

ALMEIDA, L. P.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO E. M.; ZANELA, S. M.; VIEIRA, C. V.. Crescimento inicial de plantas de *Cryptocaria aschersoniana* Mez. submetidas a níveis de radiação solar. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 83-88, jan-fev, 2004.

ANDRADE, C. M. S.; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA, O. G. Fatores limitantes ao crescimento do capim-tanzânia em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto, na região dos cerrados de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, MG, v. 30, n. 4, p. 1178-1185, 2001.

BAHMANI, I.; HARZARD, L.; VARLET-GRANCHER, C. Differences in tillering of long and short-leaved Perennial Ryegrass genetic lines under full light and shade treatments. *Crop Science*, Madison, v. 40, n. 4, p. 1095-1102, 2000.

BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas Silvipastoris. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, n. 60, p. 77 - 87, Dezembro, 2009.

BODDEY, R. M.; MACEDO, R.; TARRÉ, R. M.; FERREIRA, E.; OLIVEIRA, O. C.; de REZENDE, C. de P.; CANTARUTTI, R. B.; PEREIRA, J.M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Nitrogen cycling in *Brachiaria* pastures: the key to understanding the process of pasture decline. *Agriculture, Ecosystem sand Environment*, v. 103, p. 389 - 403, 2004.

BRAGA, G. J.; PEDREIRA, C. G. S.; HERLING, V. R.; CERQUEIRA, P. H.; DE LIMA, C. G. de. Sward structure and herbage yield of rotationally stocked pastures of 'Marandu' palisa degrass [*Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf.] as affected by herbage allowance. *Scientia Agricola*, v. 63, p. 121-129, 2006.

BRAGA, G. J.; PEDREIRA, C. G. S.; HERLING, V. R.; LUZ, P. H. de C.; LIMA, C. G. Herbage allowance effects on leaf photosynthesis and canopy light interception in palisade grass pastures under rotational stocking. *Tropical Grasslands*, v. 42, p. 214 - 223, 2008.

BURROWS, W. H.; CARTER, J. O.; SCANLAN, J. C.; ANDERSON, E. R. Management of savannas for livestock production in north-east Australia: contrast across the tree-grass continuum. *J Biogeography*, v. 13 (4) p. 503 - 412, 1990.

CARVALHO, M. M.; SILVA, J. L. O.; CAMPOS J. R, B. A. Produção de matéria seca e composição mineral da forragem de seis gramíneas tropicais estabelecidas em um sub-bosque de angico-vermelho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 26 (2), 213 - 218, 1997.

CARVALHO, M. M.; FREITAS, V. D. P.; XAVIER, D. F. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37 (5), 717 - 722, 2002.

CASTRO, C. R. T.; CARVALHO, M. M.; GARCIA, R. Produção forrageira e alterações morfológicas em gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. In: *Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia*, v. 2, n. 34, p. 338 - 340, 1997.

CASTRO, C. R. T.; GARCIA, R.; CARVALHO, M. M.; COUTO, L. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 28, p. 919 - 927, 1999.

CHAUHAN, S. K.; GUPTA, N.; YADAV, R. S.; CHAUHAN, R. Biomass and carbon allocation in different parts of agroforestry tree species. *Indian Forester*. v. 135, n. 7, p. 981-993, 2009.

COLEY P.D., BRYANT J.P. & CHAPIN F.S. 1985. Resource availability and plant anti-herbivore defense. *Science* 230: 895-899.

CORRÊA, L. A.; CANTARELLA, H.; PRIMAVESI, A. C. Dry matter production response of Coastcross (*Cynodon dactylon* (L.) Pears) to sources and rates of nitrogen. In: *INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS*, v. 19, p. 193 - 194, 2001.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*) v. 37, p. 229 - 234, 2007.

COTTA, M. K. Quantificação de biomassa a análise econômica do consorcio seringueira-cacau para geração de créditos de carbono. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

CROEZEN, H. J., BERGSMA, G. C., OTTEN, M. B. J., & VAN VALKENGOED, M. P. J. Biofuels: Indirect land use change and climate impact. CE Delft, 2010.

DA SILVA, S. C.; PEDREIRA, C. G. S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo de pastagem. Simpósio sobre ecossistemas de pastagens, v. 3, p. 1 - 62, 1997.

DE ANDRADE, C. M. S.; VALENTIM, J. F., CARNEIRO, J. Da C.; VAZ, F. A. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento, Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 39, n. 3, p. 263 - 270, Março, 2004.

DE OLIVEIRA, T. K.; MACEDO, R. L. G.; DOS SANTOS, I. P. A.; HIGASHIKAWA, E. M.; VENTURIN, N. Produtividade de *Brachiaria brizantha* (hochst. ex a. rich.) stapf cv. marandu. sob diferentes arranjos estruturais de sistema agrosilvipastoril com eucalipto. Ciências agrotécnicas, Lavras, v. 31, n. 3, p. 748 - 757, maio/junho, 2007.

DE SOUZA, A.; DE MORAES, M. G.; RIBEIRO, R. D. C. L. F. Gramíneas do cerrado: carboidratos não-estruturais e aspectos ecofisiológicos. Acta botanica brasileira, 19 (1), 81-90, 2005.

DIAS-FILHO, M. B. Photosynthetic light response of the C₄ grasses *Brachiaria brizantha* and *Brachiaria humidicola* under shade. Scientia Agricola, v. 59 (1), p. 65 - 68, 2002.

DONG, M; DE KROON, H. Plasticity in morphology and biomass allocation in *Cynodon dactylon*, a grass species forming stolons and rhizomes. Oikos, p. 99 - 106, 1994.

EDWARDS, R., MULLIGAN, D. & MARELLI, L. Indirect Land Use Change from increased biofuels demand. Comparison of models and results for marginal biofuels production from different feedstocks. European Union, Joint Research Centre, Institute for Energy, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2010.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, Londrina, v. 3, n .1, p. 39 - 45, Junho, 1991.

ERIKSEN, F. I.; WHITNEY, A. S. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. Agronomy Journal, 73 (3), 427 - 433, 1981.

EUCLIDES, V. P. B.; CARDOSO, E. G.; MACEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, M. D. Consumo voluntário de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob pastejo. Revista Brasileira de Zootecnia, 29 (6), 2200 – 2208, 2000.

FAGUNDES, J. L.; DA FONSECA, D. M.; GOMIDE, J. A.; JUNIOR, D. N.; VITOR, C. M. T.; DE MORAIS, R. V.; MISTURA, C.; REIS, G. DA C. E MARTUSCELLO, J. A. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. Pesquisa agropecuária Brasileira, Brasília, v. 40, n. 4, p. 397 - 403, Abril, 2005.

FARGIONE, J. E., RICHARD, J., PLEVIN, AND JASON D. HILL. The ecological impact of biofuels. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, v. 41, p. 351 - 77, 2010.

FELDHAKKE, C. M. Microclimate of a natural pasture under planted *Robinia pseudoacacia* in central Appalachia, West Virginia. Agroforestry Systems, v. 53, p. 297 - 303, 2001.

FRANGI, J. L.; A. E. LUGO. Ecosystem dynamics of a subtropical floodplain forest. Ecological Monographs.v. 55, p. 351 – 369, 1985.

FRITSCH, U. R.; WIEGMANN, K. Indirect land use change and biofuels. Directorate General For Internal Policies, Policy Department A: Economic And Scientific Policy, 2011.

GAUTIER, H.; VARLET-GRANCHER, C.; HAZARD, L. 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.

GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; GARCEZ NETO, A. F.; PEREIRA, O. G.; VENTRELLA, M. C.; ROCHA, G. C. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim-braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38 (9), 1645-1654, 2009.

GUENNI, O.; SEITER, S.; FIGUEROA, R. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. *Tropical Grasslands*, v. 42, p. 75 - 87, 2008.

HUXLEY, P. *Tropical Agroforestry*. Cambridge: University Press, 371 p, 1999.

INOUE, M.T.; ODA, S. Photosynthesis and transpiration of cuttings and micropropagated clones of *Eucalyptus grandis* and *E. grandis* x *E. urophylla* hybrids. In: International symposium on Forest tree physiology, Nancy, 1988.

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T. L. Photosynthesis. In *Plant physiological ecology*. Springer New York. p. 11 – 99, 2008.

LANGHI, R. Educação em astronomia: da revisão bibliográfica sobre concepções alternativas à necessidade de uma ação nacional. Departamento de Física – UFMS Campo Grande – MS. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 28, n. 2, p. 373 - 399, Agosto, 2011.

LEME, T. M. S. P.; PIRES, M. DE F. A.; VERNEQUE, R. S. ALVIM, M. J.; AROEIRA, J. M. Comportamento de vacas mestiças Holandês x Zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, n. 3, p. 668 - 675, 2005.

LORENZI, G. M. A. C.; NEGRELLE, R. R. B. *Acrocomia aculeata* (JACQ.) LODD. EX MART. Aspectos ecológicos, usos e potencialidades *Acrocomia aculeata* (JACQ.), 2006.

MACEDO JÚNIOR, G. L.; ZANINE, A. M.; BORGES, I.; PÉREZ, J. R. O. Qualidade da fibra para a dieta de ruminantes (Fiber quality for ruminant diets) *Ciência Animal*, 17 (1), 7-17, 2007.

MACEDO, M. C. M. Degradação de pastagens: conceitos, alternativas e métodos de recuperação. *Informe Agropecuário*, v. 26, n. 226, p. 36 - 42, 2005.

MACEDO, R. L. G. Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais. Lavras: UFLA/FAEPE, 157 p, 2000.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 40 (12), 1161 - 1170, (2005).

MARTUSCELLO, J. A.; JANK, L.; NETO, M. M. G.; LAURA, V. A.; DA CUNHA, D. DE N. F. V. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. *Revista Brasileira Zootecnia*, v. 38, n. 7, p. 1183 - 1190, 2009.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT. Protocolo de Kyoto. MCT, Brasília, DF, 2000. Disponível em: Acesso em: 07 Fevereiro, 2008.

MOREIRA, L. DE M.; MARTUSCELLO, J. A.; DA FONSECA, D. M.; MISTURA, C.; DE MORAIS, R. V.; JÚNIOR, J. I. R. Perfilamento, acúmulo de forragem e composição bromatológica do capim-braquiária adubado com nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 9, p. 1675 - 1684, 2009.

MOTOIKE, S. Y.; KUKI, K. N. The Potential of Macaw Palm (*Acrocomia aculeata*) as Source of Biodiesel in Brazil. *International Review of Chemical Engineering*, v. 1, n. 6, p. 632 - 635, 2009.

MOURA, E. F., VENTRELLA M. C, MOTOIKE S. Y. Anatomy, histochemistry and ultrastructure of seed and somatic embryo of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae). *Science Agricola* v. 67, p. 399 – 407, 2010.

MUIR, J.P.; PITMAN, W.D.; FOSTER J.L. Sustainable, low-input, warm-season, grass–legume grassland mixtures: Mission (nearly) impossible. *Grass Forage Science*, v. 66, p. 301 – 315, 2011.

MÜLLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; CASTRO, C. D.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. D. F. Estimativa de acúmulo de biomassa e carbono em sistema agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 60, p. 11 – 17, 2009.

MURCHIE, E. H.; HUBBART, S.; PENG, S.; HORTON, P. Acclimation of photosynthesis to high irradiance in rice: gene expression and interactions with leaf development. *Journal of Experimental Botany*, 56 (411), p. 449 - 460, 2005.

NAIR, P. K. An Introduction to Agroforestry. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 499, 1993.

NETO, A. F.; GARCIA, R.; MOOT, D. J.; GOBBI, K. F. Aclimação morfológica de forrageiras temperadas a padrões e níveis de sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 29, p. 42, 2010.

NICODEMO, M. L. F.; SILVA, V. D.; THIAGO, L. D. S.; GONTIJO NETO, M. M.; LAURA, V. A. Sistemas silvipastoris: introdução de árvores na pecuária do Centro-Oeste brasileiro. Embrapa Gado de Corte, 2004.

OLIVEIRA, T. K. Sistema agrossilvipastoril com eucalipto e braquiária sob diferentes arranjos estruturais em área de Cerrado. 2005. 105 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; LOPES, F. C. F. E.; ROSSIELLO, R. O. P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.42, n.4, p.573-579, Abril, 2007.

PACIULLO, D. S. C.; CAMPOS, N. R.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T.; TAVELA, R. C.; ROSSIELLO, R. O. P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.43, n.7, p.917-923, Julho, 2008.

PAIXÃO, F. A.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L. D.; LEITE, H. G.; SILVA, G. F. D. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. *Revista Árvore*, 30 (3), 411 - 420, 2006.

PEDREIRA, C. G. S.; MELLO, A. C. L. de; OTANI, L. O processo de produção de forragem em pastagens. In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 38, 2001, Piracicaba. A produção animal na visão dos brasileiros: anais. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p. 772 - 807, 2001.

PIMENTEL, C.; HÉBERT, G. Potencial fotossintético e condutância estomática em espécies de feijão caupi sob deficiência hídrica. *Revista brasileira de fisiologia vegetal*, 11 (1), 7 - 11, 1999.

PIRES, T. P., DOS SANTOS SOUZA, E., KUKI, K. N., MOTOIKE, S. Y. (2013). Ecophysiological traits of the macaw palm: a contribution towards the domestication of a novel oil crop. *Industrial Crops and Products*, 44, 200-210.

PLAUT, Z., Photosynthesis in plant/crops under water and salt stress. In: PESSARAKLI, M. (Ed.) Handbook of plant and crop stress. New York, Marcel Dekker. p.587-603, 1994.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O. D. O.; CORRÊA, L. A.; SILVA, A. G., CANTARELLA, H. Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função primavesi, de fontes e doses de nitrogênio. *Ciências agrotécnicas*, Lavras, v.30, n.3, p. 562-568, maio/junho, 2006.

REIS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Metodologia e técnicas experimentais: diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila Bragantia, Campinas, v.65, n.1, p.163-171, 2006.

RIZVI, R. H.; DHYANI, S. K.; YADAV, R. S.; SINGH, R. H. Biomass production and carbon stock of poplar agroforestry systems in Yamunanagar and Saharanpur districts of northwestern India . *Current Science*. v. 100, p. 5 - 10. 2011.

RYMPH, S. J. Modeling growth and composition of perennial tropical forage grasses (Doctoral dissertation, University of Florida), 2004.

SCHREINER, H. G. Tolerância de quarto gramíneas forrageiras a diferentes graus de sombreamento. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n.15, p.61-72, Dezembro, 1987.

SCHULZE, E. D., FREIBAUER, A. Environmental science: Carbon unlocked from soils. **Nature**, v. 437, n. 7056, p. 205-206, 2005.

SCHULZ, G. E., & SCHIRMER, R. H.. *Principles of protein structure*. Springer Science & Business Media. 2013.

SHARROW, S.H.; ISMAIL, S. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations and pastures in western Oregon, USA. *Agroforestry Systems*, v.60, p.123-130, 2004.

SILVA, C. D., BONOMO, P., PIRES, A. J. V., MARANHÃO, C. M. A., PATÊS, N. D. S., & SANTOS, L. C.. Características morfogênicas e estruturais de duas espécies de braquiária adubadas com diferentes doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(4), 657-661, 2009.

SOARES, A. B., SARTOR L. R.; ADAMI, P. F.; VARELLA, A. C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. *Bras. Zootec.*, v.38, n.3, p.443-451, 2009.

SOUZA, L. F.; MAURÍCIO, R. M.; GONÇALVES, L. C.; SALIBA, E. O. S., MOREIRA, G. R. Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em um sistema silvipastoril. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.*, v.59, n.4, p.1029-1037, 2007.

SOUZA, E. D. S. Respostas ecofisiológicas e produtivas de plantas juvenis de macaúba em consórcio com braquiária. Universidade Federal de Viçosa. TESE, 2013.

- SUI, X., SUN, J., WANG, S., LI, W., HU, L., MENG, F., FAN, Y., & ZHANG, Z. (2011). Photosynthetic induction in leaves of two cucumber genotypes differing in sensitivity to low-light stress. *African Journal of Biotechnology*, 10 (12), 2238-2247.
- THOMSON, V. P., CUNNINGHAM, S. A., BALL, M. C., E NICOTRA, A. B. (2003). Compensation for herbivory by *Cucumis sativus* through increased photosynthetic capacity and efficiency. *Oecologia*, 134(2), 167-175.
- TORRES, F. Role of woody perennials in animal agroforestry. *Agroforestry Systems*, v. 1(2): p. 131-163, 1982.
- TSUKAMOTO FILHO, A. A. Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. Tese Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2003.
- VALENTE, T. N. P., LIMA, E. DA S., HENRIQUES, L. T., NETO, O. R. M., GOMES, D. I. SAMPAIO, C. B., COSTA, V. A. C. Anatomia de plantas forrageiras e a disponibilidade de nutrientes para ruminantes: revisão. *Veterinária e Zootecnia*. v. 18 (3), p. 347 - 358, Setembro, 2011.
- WAN, C.; SOSEBEE, R.E. Tillering responses to red:far-red light ratio during different phenological stages in *Eragrostis curvula*. *Environmental and Experimental Botany*, v. 40, p. 247 - 254, 1998.
- WEISS, W.P. Predicting energy values of feeds, *Journal of Dairy Science*, v. 76, p. 1802, 1993.
- WELTZIN, JAKE F.; COUGHENOUR, MICHAEL B. Savanna tree influence on understory vegetation and soil nutrients in northwestern Kenya. *Journal of Vegetation Science*, v. 1, n. 3, p. 325 - 334, 1990.
- WILSON, D.; COOPER, J. P. Effect of selection for mesophyll cell size on growth and assimilation in *Lolium perenne* L. *New Phytologist*, v. 69, n. 2, p. 233 - 245, 1970.
- WILSON, J.B., 1988. Shoot competition and root competition. *J. Appl. Ecol.*, 25: 279-296.

WILSON, J. R., HILL, K., CAMERON, D. M., & SHELTON, H. M. The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. *Tropical Grasslands*, 24(1), 24-28, 1990.

WILSON, J.R.; LUDLOW, M.M. The environment and potential growth of herbage under plantations. In: SHELTON, H.M.; STÜR, W.W. (Ed.). Forages for plantation crops. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1991. p. 10 - 24. (ACIAR Proceedings, 32).

WONG, C. C, STÜR, W. W. Persistence of an erect and a prostrate *Paspalum* species as affected by shade and defoliation. In: International grassland congress, 18, Nice. Proceedings. p. 2059 - 2060. 1993.

YOUNG, A. Agroforestry for Soil Management. 2. ed. Nairobi: ICRAF, p. 320, 1997.

ZELITCH, I. The close relationship between net photosynthesis and crop yield. *BioScience*, v. 32, p. 796 - 802, 1982.

9. APÊNDICES

Apêndice I: Planilha de atividades e coleta de dados realizados na estação experimental de Araponga - MG, e executadas ao longo de dois anos consecutivos, entre Dezembro de 2014 e Julho de 2016, abrangendo duas épocas de seca e duas épocas de chuva.

	Dez de 2014 – Dez de 2015				Jan de 2016 – Jul de 2016			
	Época chuvosa I		Época seca I		Época chuvosa II		Época seca II	
Avaliações	Pré-pastejo	Pós-pastejo	Pré-pastejo	Pós-pastejo	Pré-pastejo	Pós-pastejo	Pré-pastejo	Pós-pastejo
Microclimáticas do sub-bosque (T °C; UR; LSub).	*	*	*	*	*	*	*	*
	n = Registros de no mínimo dez dias consecutivos por bloco, durante as épocas seca e chuvosa. Horário de leitura diurno, entre as 06 e 18 horas.							
Trocas gasosas de <i>B. decumbens</i> (A; E; gs).	*	*	*	*	*	*	*	*
	n = Dentro de cada espaçamento foram escolhidos aleatoriamente quatro perfilhos de braquiária, tentando abranger diferentes locais dentro do espaçamento. Dessas quatro leituras foi feita uma média para a análise estatística.							
Crescimento e acúmulo de biomassa de <i>B. decumbens</i> .	*	*	*	*	*	*	*	*
	A coleta do material vegetal foi realizada antes da entrada do animal (pré-pastejo) e após saída do animal (pós-pastejo) sendo a área amostral de 0,5 m ² . Tanto do pré quanto no pós-pastejo, foram separadas as porções folha e colmo, para estimar a relação lâmina colmo e o acúmulo de massa seca (MS).							
Bioquímica /composição nutricional	*	x	*	x	*	x	*	*
	Foi utilizada a porção foliar das amostras coletadas no pré-pastejo para a quantificação de material mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN) e teor de proteína bruta (PB).							

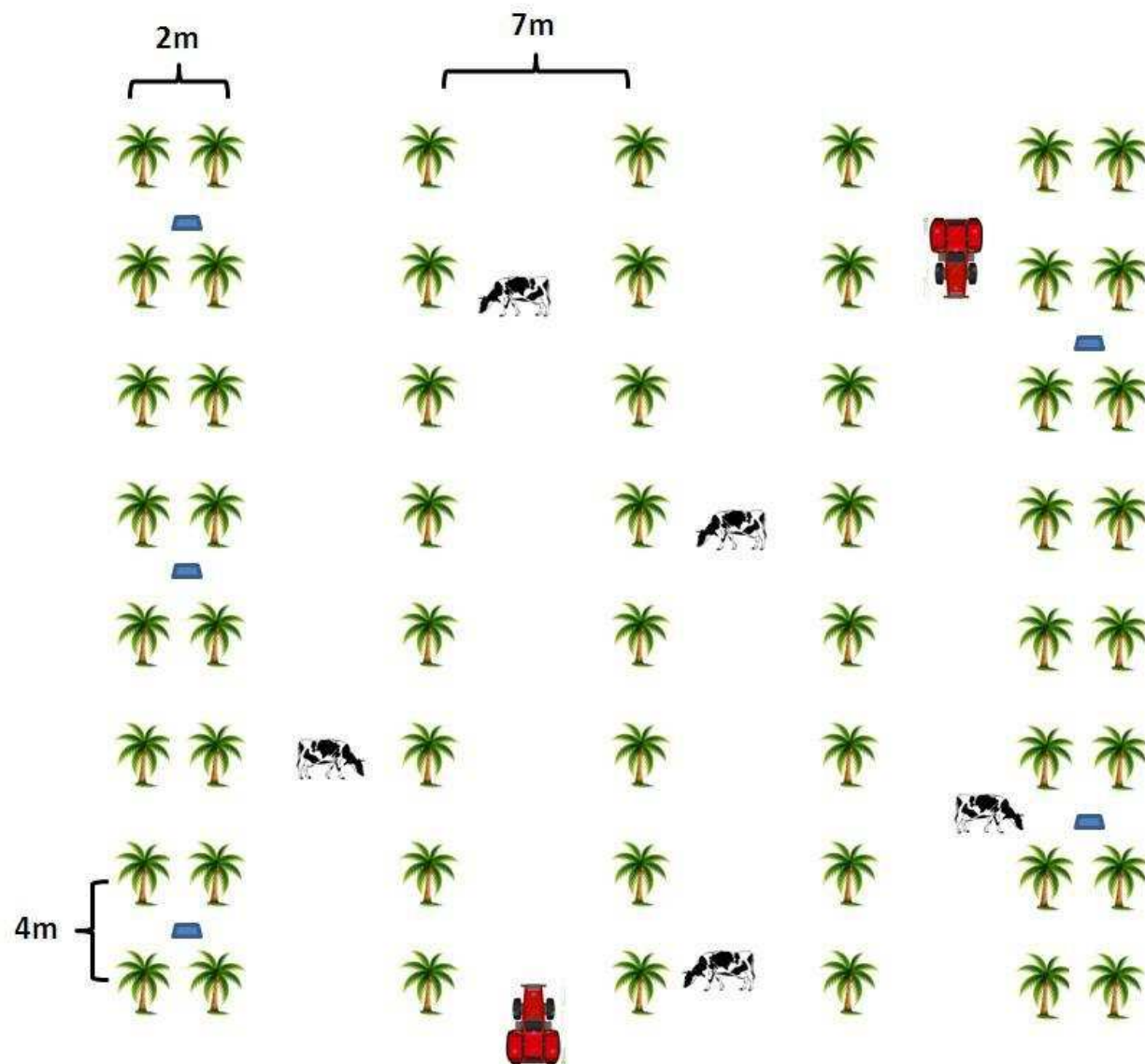
Espaços preenchidos com o símbolo * indicam a execução da atividade e espaços preenchidos com x ausência da execução.

Apêndice II: Valores médios e desvio padrão de altura e massa seca das plantas de macaúba em cada um dos espaçamentos.

Espaçamentos	Altura das plantas de macaúba (cm)	Massa seca da macaúba (kg)
T _{4,5x4,5}	8,05 ± 0,99	61,52 ± 6,34
T _{5x4}	7,97 ± 0,38	61,00 ± 2,43
T _{6x4}	7,62 ± 0,42	58,74 ± 2,67
T _{7x4}	7,83 ± 0,35	60,10 ± 2,26
T _{8x4}	8,37 ± 0,33	63,59 ± 2,09
T _{mono}	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00

Tratamentos: T_{4,5x4,5}: 4,5 x 4,5m; T_{5x4}: 5,0 x 4,0 m; T_{6x4}: 6,0 x 4,0 m; T_{7x4}: 7,0 x 4,0 m; T_{8x4}: 8,0 x 4,0 m; T_{mono}: monocultivo.

Apêndice III: Sugestão de modelo de arranjo espacial do SSP macaúba - capim braquiária, baseado nos resultados obtidos no



Densidade de plantas de macaúba/ha

Arranjo espacial = $(2 \times 4) + (7 \times 4)$

375 plantas/ha

Apêndice IV.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA - ENSAIO I

Análise de variância dos parâmetros de trocas gasosas de *Brachiaria decumbens*.

Fotossíntese (A)					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Bloco	4	248,0585	62,01464	6,458	0,00018
Tratamento	2	425,5424	212,7712	22,159	0,00000
Resíduo	68	652,9501	9,602207		

Coeficiente de variação = 21,728

Transpiração (E)					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Bloco	4	2,558045	0,6395113	7,238	0,00006
Tratamento	2	0,741272	0,3706360	4,195	0,01915
Resíduo	68	6,007955	0,08835E ⁻⁰¹		

Coeficiente de variação = 19,494

Condutância estomática (gs)					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Bloco	4	0,31386E-02	0,78466E-03	3,161	0,01919
Tratamento	2	0,42560E-02	0,21280E-02	8,574	0,00048
Resíduo	68	0,16877E-01	0,24819E-03		

Coeficiente de variação = 18,491

Relação A/E					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Bloco	4	11,43949	2,859871	1,678	0,16519
Tratamento	2	81,29271	40,64636	23,848	0,00000
Resíduo	68	115,8975	1,704375		

Coeficiente de variação = 13,923

ANÁLISE DE VARIÂNCIA - ENSAIO II

- Análise de variância dos registros micro-climáticos de temperatura e umidade relativa do ar do consórcio macaúba – capim braquiária.

Temperatura (T °C)					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Total	47	815,3575			
Total redução	29	756,1219	26,07317	7,92	0,0000
Bloco	3	13,47856	4,492853	6,38	0,0039
Tratamento	5	306,8764	61,37528	87,15	0,0000
Erro (a)	15	10,56355	0,704236		
Época	1	389,0084	389,0084	118,21	0,0000
Época * tratamento	5	36,19495	7,238989	2,20	0,0995
Resíduo	18	59,23561	3,290867		

Número de dados = 48

Média geral = 26,789

Coeficiente de variação = 6,7717

Umidade relativa do ar (UR)					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Total	47	1871,884			
Total redução	29	1299,789	44,82030	1,41	0,2249
Bloco	3	80,22693	26,74231	4,99	0,0108
Tratamento	5	828,2687	165,6537	30,89	0,0000
Erro (a)	15	80,43755	5,362503		
Época	1	136,8130	136,8130	4,30	0,0526
Época * tratamento	5		34,80850	1,10	0,3968
Resíduo	18		31,78305		

Número de dados = 48

Média geral = 63,268

Coeficiente de variação = 8,9107

- Análise de variância de trocas gasosas, fotossíntese (A), transpiração (E) e condutância estomática (g_s) do capim braquiária em consórcio com macaúba.

Fotossíntese (A)					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Total	95	1960,225			
Total redução	59	1747,274	29,6148	5,01	0,0000
Bloco	3	45,35873	15,1195	2,05	0,1247
Tratamento	5	813,9034	162,780	22,03	0,0000
Erro (a)	15	110,8412	7,38941		
Época	1	321,5398	321,539	43,46	0,0000
Época * tratamento	5	16,33716	3,26743	0,44	0,0000
Erro (b)	18	133,1697	7,39831		
Pastejo	1	47,86500	47,8650	8,09	0,0073
Pastejo * tratamento	5	52,05920	10,4118	1,76	0,1461
Pastejo * época	1	105,2051	105,205	17,79	0,0002
Pastejo * época * tratamento	5	100,9949	20,1989	3,41	0,0126
Resíduo	36	212,9508	5,91530		

Número de dados = 96

Média geral = 16,941

Coefficiente de variação = 14,357

Transpiração (E)					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Total	95	23,80552			
Total redução	59	22,19937	0,3762605	8,43	0,0000
Bloco	3	0,707845	0,2359483	1,09	0,3657
Tratamento	5	8,665145	1,733029	8,01	0,0000
Erro (a)	15				
Época	1	0,783933	0,7839332	6,74	0,0136
Época * tratamento	5	1,209401	0,2418803	2,08	0,0907
Erro (b)	18	2,093913	0,1163285		
Pastejo	1	0,646150	0,6461505	14,48	0,0005
Pastejo * tratamento	5	0,311309	0,622E-01	1,40	0,2492
Pastejo * época	1	3,071455	3,071455	68,84	0,0000
Pastejo * época * tratamento	5	1,463479	0,2926958	6,56	0,0002
Resíduo	36	1,606154	0,446E-01		

Número de dados = 96

Média geral = 1,9231

Coefficiente de variação = 10,983

Condutância estomática (gs)					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Total	95	0,8279E ⁻⁰¹			
Total redução	59	0,7684E ⁻⁰¹	0,1302E ⁻⁰²	7,88	0,0000
Bloco	3	0,2105E ⁻⁰²	0,7018E ⁻⁰³	2,47	0,0779
Tratamento	5	0,3908E ⁻⁰¹	0,7816E ⁻⁰²	27,46	0,0000
Erro (a)	15	0,4269E ⁻⁰²	0,2846E ⁻⁰³		
Época	1	0,8299E ⁻⁰²	0,8299E ⁻⁰²	20,04	0,0001
Época*tratamento	5	0,3267E ⁻⁰³	0,6534E ⁻⁰⁴	0,16	*****
Erro (b)	18	0,7453E ⁻⁰²	0,4140E ⁻⁰³		
Pastejo	1	0,4269E ⁻⁰²	0,4269E ⁻⁰²	25,83	0,0000
Pastejo * tratamento	5	0,7535E ⁻⁰²	0,1507E ⁻⁰²	9,12	0,0000
Pastejo * época	1	0,7179E ⁻⁰³	0,7179E ⁻⁰³	4,34	0,0443
Pastejo * época * tratamento	5	0,2785E ⁻⁰²	0,5570E ⁻⁰³	3,37	0,0134
Resíduo	36	0,5950E ⁻⁰²	0,1652E ⁻⁰³		

Número de dados = 96

Média geral = 0,98698E⁻⁰¹

Coefficiente de variação = 13,026

- Análise de variância das características biométricas do *Brachiaria decumbens* em consórcio com macaúba.

Altura (cm)					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Total	47	2307,891			
Total redução	29	2256,282	77,8028	27,14	0,0000
Bloco	3	86,27947	28,7598	2,32	0,1102
Tratamento	5	1913,821	382,764	30,81	0,0000
Erro (a)	15	186,3272	12,4218		
Época	1	22,14083	22,1408	7,72	0,0124
Época * tratamento	5	47,71348	9,54269	3,33	0,0265
Resíduo	18	51,60899	2,86716		

Número de dados = 48

Média geral = 46,658

Coefficiente de variação = 3,6291

Massa seca					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Total	47	863301,0			
Total redução	29	804758,0	277503,0	8,53	0,0000
Bloco	3	375247,3	125082,4	1,42	0,2703
Tratamento	5	546799,0	109359,0	12,39	0,0000
Erro (a)	15	132353,0	88235,65		
Época	1	754709,1	754709,1	23,20	0,0001
Época * tratamento	5	126099,2	25219,84	0,78	
Resíduo	18	585427,3	32523,74		

Número de dados = 48

Média geral = 1367,7

Coefficiente de variação = 13,186

Relação lâmina/colmo					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Total	47	10,1795			
Total redução	29	8,41286	0,29009	2,96	0,0095
Bloco	3	0,40538	0,13512	1,14	0,3587
Tratamento	5	1,15919	0,23183	1,96	0,1339
Erro (a)	15	1,77389	0,11825		
Época	1	3,00933	3,00933	30,66	0,0000
Época * tratamento	5	2,06506	0,41301	4,21	0,0104
Resíduo	18	1,76663	0,981E ⁻⁰¹		

Número de dados = 48

Média geral = 1,1607

Coefficiente de variação = 26,990

Teor de cinzas					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Total	47	92,2020			
Total redução	29	69,7082	2,4037	1,92	0,0746
Bloco	3	11,5958	3,8652	1,89	0,1680
Tratamento	5	13,9382	2,7876	1,36	0,2849
Erro (a)	15	30,7260	2,0484		
Época	1	10,0996	10,099	8,08	0,0108
Época * tratamento	5	3,34848	0,6696	0,54	*****
Resíduo	18	22,4937	1,2496		

Número de dados = 48

Média geral = 8,9703

Coefficiente de variação = 12,462

Fibra em detergente neutro (FDN)					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Total	47	3685,458			
Total redução	29	3188,762	109,9573	3,98	0,0017
Bloco	3	4,780273	1,593424	0,06	*****
Tratamento	5	879,2275	175,8455	6,91	0,0009
Erro (a)	15	381,7108	25,44738		
Época	1	1249,714	1249,714	45,29	0,0000
Época * tratamento	5	673,3297	134,6659	4,88	0,0054
Resíduo	18	496,6952	27,59418		

Número de dados = 48

Média geral = 71,794

Coeficiente de variação = 7,3168

Proteína bruta (PB)					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Total	47	209,995			
Total redução	29	145,607	5,0209	1,40	0,2281
Bloco	3	3,31574	1,1052	0,70	*****
Tratamento	5	82,0190	16,403	10,34	0,0001
Erro (a)	15	23,7916	1,5861		
Época	1	33,8428	33,842	9,46	0,0065
Época * tratamento	5	2,63811	0,5276	0,15	*****
Resíduo	18	64,3885	3,5771		

Número de dados = 48

Média geral = 14,872

Coeficiente de variação = 12,717

- Análise de variância do acúmulo de massa seca dos componentes vegetais, capim braquiária e macaúba. As análises de variância correspondem aos valores acumulados dos sete ciclos de pastejo anuais, como descrito na Tabela 11.

Acúmulo de massa seca do capim braquiária					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Tratamento	5	273399,0	54679,60	12,394	0,00000
Bloco	3	187623,6	62541,21	1,418	*****
Resíduo	15	661767,4	44117,83		

Coeficiente de variação = 15,358

Acúmulo de massa seca da macaúba					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Tratamento	5	0,2535E ⁺¹⁰	0,5071E ⁺⁰⁹	410,501	0,00000
Bloco	3	1774664,0	591554,8	0,479	*****
Resíduo	15	0,1853E ⁺⁰⁸	123546,0		

Coeficiente de variação = 5,260

- Análise de variância do acúmulo de massa seca, carbono estocado e captura de CO₂ do SSP macaúba – capim braquiária. As análises de variância correspondem aos valores acumulados dos sete ciclos de pastejo anuais, como descrito na Tabela 12.

Acúmulo de massa seca pelo SSP					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Tratamento	5	1767,652	353,5304	107,66	0,00000
Bloco	3	4,083758	1,361253	0,415	*****
Resíduo	15	49,25288	3,283525		

Coeficiente de variação = 5,901

Carbono estocado pelo SSP					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Tratamento	5	365,948	73,1896	107,66	0,00000
Bloco	3	0,84544	0,28181	0,415	*****
Resíduo	15	10,1965	0,67977		

Coeficiente de variação = 5,901

Sequestro de CO₂ pelo SSP					
F.V	g.l	S.Q	Q.M	F	Significância
Tratamento	5	4919,970	983,9940	107,66	0,00000
Bloco	3	11,36647	3,788824	0,415	*****
Resíduo	15	137,0873	9,139154		

Coeficiente de variação = 5,901