

HÉMYTHON LUIS BANDEIRA DO NASCIMENTO

**RESPOSTAS PRODUTIVAS E MORFOFISIOLÓGICAS DE *Brachiaria brizantha*
CV. MARANDU EM SISTEMA SILVIPASTORIL**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

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

T

N244r
2018 Nascimento, Hémython Luis Bandeira do, 1987-
Respostas produtivas e morfofisiológicas de *Brachiaria brizantha*
cv. Marandu em sistema silvipastoril / Hémython Luis Bandeira do
Nascimento. - Viçosa, MG, 2018.
ix, 74 f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Fernanda Helena Martins Chizzotti.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Plantas forrageiras - Crescimento. 2. Plantas forrageiras -
Morfologia. 3. Forragem. 4. Solos. 5. Árvores. I. Universidade Federal
de Viçosa. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação
em Zootecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.2


HÉMYTHON LUIS BANDEIRA DO NASCIMENTO


**RESPOSTAS PRODUTIVAS E MORFOFISIOLÓGICAS DE *Brachiaria brizantha*
CV. MARANDU EM SISTEMA SILVIPASTORIL**

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

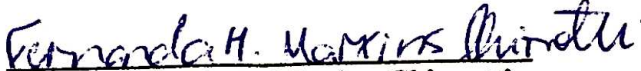
APROVADA: 18 de junho de 2018.


Domingos Sávio Campos Paciullo


Arthur Behling Neto


Bruno Carneiro e Pedreira
(Coorientador)


Dalton Henrique Pereira
(Coorientador)


Fernanda Helena Martins Chizzotti
(Orientadora)

DEDICO

Aos meus pais, Luis Chaves do Nascimento e Francisca Bandeira do Nascimento, fonte de ensinamentos, apoio e incentivo. À minha filha Ana Julia, razão de todo o meu esforço e dedicação. À minha tia Janete e à minha avó Antônia, exemplos de carinho, amor e apoio ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela proteção e por permitir ir em busca dos meus sonhos.

À minha família, pelo apoio incondicional.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo financiamento da bolsa.

À Embrapa Agrossilvipastoril, por possibilitar a realização do estudo, disponibilizando área e infraestrutura adequadas para que as atividades ocorressem dentro do planejado.

À Professora Fernanda Chizzotti, pela oportunidade e orientação.

Ao pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril Bruno Pedreira, pelas oportunidades, apoio e ensinamentos passados.

Ao professor Dalton, pelo apoio, oportunidade e conselhos.

À Júlia, pelo companheirismo, incentivo, compreensão, apoio e por acreditar em mim.

Ao Grupo de Estudos em Pecuária Integrada (GEPI), pela oportunidade e todo apoio na realização das atividades de campo e de laboratório.

Aos colegas de pós-graduação, Marina, Daiana, Cássia, Vitor, Lucas, Jarbas, Vanessa, Roman, David, João Paulo, Timão, Roberson, Madruga.

Aos colegas de trabalho que fiz em Sinop, Perivaldo, Leandro, Fagner, Josiana, Josiane, Cátia, Isadora, Mircéia, Mariely, Ana Paula, Alisson, Débora, Maira, Nágela, que de alguma forma contribuíram para a concretização desse trabalho.

Aos funcionários da Embrapa Agrossilvipastoril, Arntônio Sérgio, Diego Xavier, Cledir, Fábio, João e Renato Torres que deram suporte para realização das atividades.

Aos colaboradores, Janderson, Edegar e Clóves por todo o apoio no campo.

Aos estagiários, Gabriel, Gabriel Pedroso, Priscila, Delaine, Micheli, Rafael, José e Lidi, que ajudaram em alguma etapa do trabalho, muitas vezes do nascer ao pôr do sol, em sábados, domingos e feriados, nas avaliações em campo, lavando raízes ou no laboratório.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
Capítulo 1 - Estrutura do pasto, morfologia e arquitetura de perfilhos de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu em sistema silvipastoril¹	8
1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	11
3. RESULTADOS	15
4. DISCUSSÃO.....	19
5. CONCLUSÃO	26
6. REFERÊNCIAS.....	26
Capítulo 2 - Características agronômicas e fisiológicas de <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu em sistema silvipastoril no bioma Amazônia¹	42
1. INTRODUÇÃO	43
2. MATERIAL E MÉTODOS	45
3. RESULTADOS	52
4. DISCUSSÃO.....	55
5. CONCLUSÃO	59
6. REFERÊNCIAS.....	60

RESUMO

NASCIMENTO, Hémython Luis Bandeira do, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2018. **Respostas produtivas e morfofisiológicas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril.** Orientadora: Fernanda Helena Martins Chizzotti. Coorientadores: Bruno Carneiro e Pedreira e Dalton Henrique Pereira.

Para compor essa tese foram preparados dois artigos científicos baseados em estudos de estrutura do pasto, morfologia e arquitetura de perfilhos, características agrônômicas e fisiológicas de capim-marandu em sistema silvipastoril. Os sistemas de produção avaliados foram: pecuária com pastagens exclusivas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; e silvipastoril, com pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com renques triplos de árvores de *Eucalyptus urograndis*. O delineamento foi em blocos completos casualizados, com três repetições, e o período experimental foi de outubro de 2015 a setembro de 2016. Os pastos foram manejados em sistema de lotação contínua, com taxa de lotação variável, e meta de altura pré-estabelecida de 30 cm. O objetivo com o primeiro artigo foi avaliar as características estruturais do pasto, a arquitetura e a morfologia de perfilhos de capim-marandu em sistema silvipastoril. No sistema silvipastoril, a massa de forragem (MF) reduziu com o aumento do sombreamento ($p < .0001$). No sistema silvipastoril, foi observado uma redução de 23,7% na MF e de 19,7% na densidade de forragem, quando comparado com o sistema pecuária. A área foliar específica (AFE) foi 10% maior no sistema silvipastoril em relação ao sistema pecuária. Foram observadas diferenças entre faces apenas no outono, quando a AFE na face sul foi 31% maior em relação a face norte. O número total de folhas ($4,95 \pm 0,26$), folhas vivas ($3,25 \pm 0,14$), folhas mortas ($1,60 \pm 0,14$) e área por folha ($9,75 \text{ cm}^2 \text{ folha}^{-1}$) não foram influenciados por sistema ou interação sistema x estação. O sistema silvipastoril foi afetado apenas por variações nas estações. As características individuais de perfilhos tiveram pouca variação entre os sistemas e maiores variações ocorreram em função dos diferentes níveis de sombreamento dentro do sistema silvipastoril. No segundo artigo, o objetivo foi avaliar as características agrônômicas e fisiológicas do capim-marandu em sistema silvipastoril. Os sistemas apresentaram padrão de resposta semelhante para as características fisiológicas, não sendo verificadas diferenças para condutância estomática (gs), eficiência de uso da água (EUA), eficiência intrínseca de uso da água (EIUA), transpiração (E), razão de transpiração (RT) e temperatura da folha (Tleaf), que resultou em

acúmulo de forragem (AF) e taxa de acúmulo de forragem (TAF) semelhante. No sistema silvipastoril, houve maior efeito do sombreamento apenas na distância de 4 m, que teve redução de 34% na radiação fotossinteticamente ativa (RAF), menor E e RT, e maior EUA. Contudo, quando o sistema silvipastoril é avaliado como um todo, a redução de 19% na RAF não é suficiente para causar redução no AF e TAF. Sistemas silvipastoris, com linhas triplas e espaçamento de 30 metros entre os renques, apresenta um grande potencial para uso, quando corretamente manejado para minimizar a interferência do componente arbóreo na produção de forragem. A estrutura do pasto, morfologia e arquitetura de perfilho, bem como, as características fisiológicas do capim-marandu no sistema silvipastoril foram pouco afetados, assegurando que a produtividade do sistema fosse mantida em níveis semelhantes aos do sistema pecuária sem árvores.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Hémython Luis Bandeira do, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2018. **Morphophysiological and productive responses of Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) in silvopastoral system.** Adviser: Fernanda Helena Martins Chizzotti. Co-advisers: Bruno Carneiro e Pedreira and Dalton Henrique Pereira.

For this thesis, two manuscripts were prepared based on studies of sward structural characteristics, tiller morphology and architecture, agronomic and physiological characteristics of Marandu palisade grass in silvopastoral system. The production systems evaluated were: livestock with exclusive pastures of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; and silvopastoral system with pastures of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu and a triple row of *Eucalyptus urograndis* trees. The design was a randomized block, with three replications, and the experimental period was from October 2015 to September 2016. Pastures were managed in continuous stocking system, with variable stocking rate, and pre-established height target of 30 cm. In the first manuscript the objective was to evaluate sward structural characteristics, tiller morphology and architecture of Marandu palisade grass in silvopastoral system. In the silvopastoral system, the forage mass (FM) decreased ($p < .0001$) as shading increased. The silvopastoral system decreases 23.7% of FM and 19.7% in sward density, when compared with the livestock system. In the silvopastoral system, specific leaf area (SLA) was 10% higher than in the livestock system. The differences between faces were only observed in autumn when the SLA on the south face was 31% larger than on the north face. The total number of leaves (4.95 ± 0.26), live leaves (3.25 ± 0.14), dead leaves ($1,6 \pm 0.14$) and the area per leaf ($9.75 \text{ cm}^2 \text{ leaf}^{-1}$) were not influenced by the system x season or system interaction. The silvopastoral system was only affected by seasonal variations. The tillers' individual characteristics had little variation between the systems and larger variations occurred due to the different shading gradients within the silvopastoral system. In the second manuscript the objective was to evaluate agronomic and physiological characteristics of Marandu palisade grass in silvopastoral system. The systems presented a similar response pattern for the physiological characteristics, and no difference was registered for stomatal conductance (gs), water use efficiency (WUE), water use intrinsic efficiency (WUIE), leaf transpiration rate (E) transpiration ratio (E/A), and leaf temperature (Tleaf), which resulted in similar forage accumulation (FA) and forage accumulation rate (FAR). In silvopastoral system, there was a shading effect only in the distance of 4 m, which had 34% of reduction

in photosynthetically active radiation (PAR), lower E and E/A, and higher EWA. Although, when evaluating the silvopastoral as a whole, 19% of PAR reduction was not able to cause depletion in the FA or FAR. Silvopastoral systems, with triple lines and 30 meters spaced, present a great potential for use, when correctly managed to minimize the tree component interference in the forage growth. The sward structure, tiller morphology and architecture, as well as the physiological characteristics of Marandu palisade grass in Silvopastoral were slightly affected, ensuring that the productivity of the silvopastoral system was maintained in levels similar to livestock system without trees.

INTRODUÇÃO GERAL

A preocupação com os efeitos das mudanças do clima e o aumento das pressões ambientais (Dick et al., 2015), tem gerado um grande desafio ao setor agropecuário, para atender à crescente demanda por alimentos, bioenergia e produtos florestais, diante da necessidade de redução de desmatamento e mitigação da emissão de gases de efeito estufa (Vilela et al., 2011). Essa situação expõe a necessidade de desenvolvimento e implantação de novos sistemas de produção sustentáveis (Broom, 2017) mais produtivos e lucrativos. A adoção de sistemas integrados de produção pode ser uma excelente alternativa para esse cenário, pois possibilita maior diversificação econômica das atividades, redução de custos e aumento de produtividade, podendo ser mais lucrativos em relação aos sistemas tradicionais (Cordeiro et al., 2015).

Entre as modalidades de sistemas integrados de produção, os sistemas silvipastoris destacam-se por diversos benefícios, como captação de nutrientes em camadas mais profundas do solo pelo componente arbóreo, disponibilizando para a gramínea por meio dos processos de deposição e decomposição de serrapilheira; melhoria da estrutura física do solo, com melhor porosidade, maior capacidade de infiltração e maior retenção de água (Bernardino e Garcia, 2009), além da melhoria do microclima, proporcionando maior conforto térmico aos animais (Domiciano et al., 2016).

Contudo, para assegurar a obtenção dos benefícios do sistema silvipastoril, deve-se manter o equilíbrio entre os componentes do sistema (pasto, árvores e animais), pois a competição por recursos para crescimento e produção, como água, luz e nutrientes, podem tornar o sistema insustentável (Paciullo et al., 2011). A disponibilidade desses recursos determinará o potencial de produção da forrageira no sub-bosque, sendo que essas variáveis podem ser manipuladas através da adoção de espaçamento entre linhas de árvores adequado,

espécie arbórea adaptadas, manejo correto e cultivar de plantas forrageira tolerante ao sombreamento (Andrade et al., 2002).

O primeiro efeito do sombreamento sobre plantas individuais é a redução na taxa de assimilação de carbono (C), tendo como consequência a alocação de fotoassimilados preferencialmente na parte aérea, reduzindo drasticamente o crescimento radicular. Esse padrão de alocação de C é reconhecido como um mecanismo de aclimação da planta, afim de compensar a redução de luminosidade com uma rápida recuperação da área foliar e alongamento de colmos para aumentar a captura de luz (Lemaire, 2001). Em condições de sombreamento severo, o sistema radicular praticamente cessa seu crescimento e fica concentrado em camadas superficiais do solo.

Fernández et al. (2004) verificaram incrementos de mais de 50% na relação parte aérea/raiz das plantas cultivadas em condição de sombreamento e maior densidade de raiz no solo (g m^{-3}) em pontos mais afastados dos renques de árvores, onde o sombreamento era menor. O mesmo padrão de resposta foi observado por Paciullo et al. (2010), que registraram redução na produção de raízes e aumento da relação parte aérea/raiz com maior intensidade de sombreamento (60%). Esses autores observaram que sob condição de maior sombreamento, a produção de biomassa aérea reduziu em 23% em relação a condição de menor sombreamento (16%) enquanto a massa de raízes reduziu em 41,4%.

Nos sistemas silvipastoris, além da menor intensidade de radiação, há uma grande modificação na qualidade da luz, com redução na relação vermelho/vermelho-distante, que promove redução na produção de folhas e incremento no alongamento de colmo. Entretanto, em condições onde apenas a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é reduzida, há incremento na produção de área foliar e redução na produção de colmos (Feldhake and

Belesky, 2009). Isso indica que a qualidade da luz tem maior potencial para alterar a estrutura do pasto do que intensidade de radiação.

Além do ambiente luminoso, a resposta produtiva da planta é dependente da sua eficiência de utilização da RFA, uma característica intrínseca a cada espécie. Nem toda energia absorvida pela clorofila é utilizada na fotossíntese, pois a energia excedente é dissipada na forma de calor ou reemitida como energia fluorescente (Maxwell and Johnson, 2000). Algumas espécies mais tolerantes ao sombreamento podem aumentar a eficiência de utilização da RFA em condições de sombreamento moderado. Isso é consequência da elevação na disponibilidade de radiação em comprimentos do vermelho distante (maior que 680 nm), os quais possuem menor concentração de energia e proporcionam menor taxa de saturação fotossintética, resultando em redução na perda da energia por calor ou fluorescência da clorofila e aumentando da eficiência de utilização da RFA (Taiz and Zeiger, 2017). Feldhake e Belesky (2009) observaram que a eficiência de utilização da radiação reduz exponencialmente à medida que aumenta a RFA.

Algumas mudanças observadas frequentemente em plantas sombreadas são o aumento do teor de clorofila nos tecidos, menor número de folhas, maior área foliar específica, folhas mais finas e alongamento de colmos, pecíolos e entrenós (Benavides et al., 2009). Altos níveis de sombreamento podem causar drástica redução nas taxas de produção da forrageira, enquanto sob sombreamento moderado, a produção pode ser próxima da obtida em sistemas a pleno sol, como demonstrado por (Andrade et al., 2004) para capim-marandu, que, em condições de 50% de sombreamento, teve redução de apenas 13% na taxa de acúmulo de forragem.

Outra característica afetada fortemente pelo sombreamento é o perfilhamento. Alguns estudos tem verificado redução na densidade, na massa e no tamanho de perfilhos (Belesky,

2005) redução no índice de área foliar (IAF) e aumento área foliar específica (Paciullo et al., 2007). Contudo, Paciullo et al. (2007) verificaram que após um desbaste sistemático de 30% das árvores, com redução do sombreamento para 35%, a densidade de perfilhos do sistema silvipastoril aumentou, se equiparando ao sistema sem árvores. A rápida aclimatação da planta ao aumento da luminosidade e recuperação da sua capacidade produtiva é atribuída a plasticidade fenotípica, a qual é definida como mudanças reversíveis ocorridas na morfologia e arquitetura das plantas por influência do ambiente, incluindo tamanho, estrutura e posicionamento espacial dos órgãos (Huber et al., 1999).

Apesar dos inúmeros benefícios (econômicos, ambientais e sociais) e do grande potencial para desenvolvimento de sistemas pecuários sustentáveis, a inserção do componente arbóreo na pastagem promove grandes alterações no microclima e ambiente que refletem nas respostas da planta forrageira e do animal, dessa forma, para obter sucesso na adoção de sistemas silvipastoris, é preciso assegurar condições que garantam o equilíbrio entre os componentes do sistema. Nesse contexto, o objetivou-se com o presente estudo foi avaliar as características estruturais do pasto, a arquitetura e morfologia de perfilhos, bem como, as características agronômicas e fisiológicas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril.

Referências

- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., De Moraes Gonçalves, J.L., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol. Zeitschrift 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Andrade, C.M.S., Garcia, R., Couto, L., Pereira, O.G., 2002. Transmissão de luz em sistemas silvipastoris com eucalipto. Rev. Árvore 26, 19–23.

- Andrade, C.M.S. de, Valentim, J.F., Carneiro, J.D.C., Vaz, F.A., 2004. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 39, 263–270. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300009>
- Ballaré, C.L., Pierik, R., 2017. The shade-avoidance syndrome: Multiple signals and ecological consequences. *Plant Cell Environ.* <https://doi.org/10.1111/pce.12914>
- Belesky, D.P., 2005. Growth of *Dactylis glomerata* along a light gradient in the central Appalachian region of the eastern USA: I. Dry matter production and partitioning. *Agrofor. Syst.* 65, 81–90. <https://doi.org/10.1007/s10457-004-5725-y>
- Benavides, R., Douglas, G.B., Osoro, K., 2009. Silvopastoralism in New Zealand: Review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agrofor. Syst.* 76, 327–350. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9186-6>
- Bernardino, F.S., Garcia, R., 2009. Sistemas Silvopastoris. *Pesqui. Florest. Bras. Edição Esp.* 77–87. <https://doi.org/10.4336/2009.pfb.60.77>
- Broom, D.M., 2017. *Revista Brasileira de Zootecnia* Invited Review Components of sustainable animal production and the use of silvopastoral systems.
- Cordeiro, L.A.M., Vilela, L., Marchão, R.L., Kluthcouski, J., Júnior, G.B.M., 2015. Integração Lavoura-Pecuária e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Estratégias Para Intensificação Sustentável do Uso do Solo. *Cad. Ciência Tecnol.* 32, 15–53.
- Dias-Filho, M.B., 2002. Photosynthetic light response of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. *Sci. Agric.* 59, 65–68. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000100009>
- Dick, M., Abreu Da Silva, M., Dewes, H., 2015a. Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. *J. Clean. Prod.* 96. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.080>

- Dick, M., Da Silva, M.A., Dewes, H., 2015b. Mitigation of environmental impacts of beef cattle production in southern Brazil - Evaluation using farm-based life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 87, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.087>
- Domiciano, L.F., Mombach, M.A., Carvalho, P., Da Silva B, N.M.F., Pereira, D.H., Cabral, L.S., Lopes, L.B., Pedreira, B.C., 2016. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. *Anim. Prod. Sci.* <https://doi.org/doi.org/10.1071/AN16351>
- Feldhake, C.M., Belesky, D.P., 2009. Photosynthetically active radiation use efficiency of *Dactylis glomerata* and *Schedonorus phoenix* along a hardwood tree-induced light gradient. *Agrofor. Syst.* 75, 189–196. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9175-9>
- Fernández, M.E., Gyenge, J.E., Schlichter, T.M., 2004. Shade acclimation in the forage grass *Festuca Pallescens*: Biomass allocation and foliage orientation. *Agrofor. Syst.* 60, 159–166. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000013276.68254.78>
- Huber, H., Lukács, S., Watson, M.A., 1999. Spatial structure of stoloniferous herbs: an interplay between structural blue-print, ontogeny and phenotypic plasticity. *Plant Ecol.* <https://doi.org/10.1023/a:1009861521047>
- Lemaire, G., 2001. Ecophysiology of grasslands: Dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards, in: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, São Pedro, pp. 29–37.
- Maxwell, K., Johnson, G.N., 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. *J. Exp. Bot.* 51, 659–668.
- Paciullo, D.S.C., Castro, C.R.T., Gomide, C.A. de M., Maurício, R.M., Pires, M. de F.Á., Müller, M.D., Xavier, D.F., 2011. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livest. Sci.* 141, 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.05.012>
- Paciullo, D.S.C., Castro, C.R.T. de, Gomide, C.A. de M., Fernandes, P.B., Rocha, W.S.D.

- da, Müller, M.D., Rossiello, R.O.P., 2010. Soil bulk density and biomass partitioning of *Brachiaria decumbens* in a silvopastoral system. *Sci. Agric.* 67, 598–603.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000500014>
- Paciullo, D.S.C., De Carvalho, C.A.B., Aroeira, L.J.M., Morenz, M.J.F., Lopes, F.C.F., Rossiello, R.O.P., 2007. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 42, 573–579.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400016>
- Schlesinger, S., 2017. The Meat Production Chain in Brazil, in: Parapinski, M., Strack, M., Carbonare, D., Schmidt, P. (Eds.), 54^a Reunião Anual Da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Foz do Iguaçu, PR, p. 1250.
- Taiz, L., Zeiger, E., 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*, Artmed.
- Taiz, L., Zieger, E., 2009. *Fisiologia Vegetal*. Artmed, Porto Alegre.
- Vilela, L., Bueno, G., Junior, M., Cláudio, M., Macedo, M., Marchão, R.L., 2011. Sistemas de integração lavoura - pecuária na região do Cerrado. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 46, 1127–1138. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000003>

Capítulo 1

Estrutura do pasto, morfologia e arquitetura de perfilhos de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril¹

H. L. B. do Nascimento^a, B. C. Pedreira^b, D. H. Pereira^c; F. H. M. Chizzotti^a

¹ Artigo submetido para publicação na revista Grass and Forage Science (ID: GFS-2018-0088)

^a Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG 36570-900, Brasil.

^b Embrapa Agrossilvipastoril, Caixa postal 343, Sinop, MT 78550-970, Brasil.

^c Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT 78557-267, Brasil.

Resumo

Em sistemas silvipastoris ocorrem alterações microclimáticas capazes de comprometer a produtividade e persistência do pasto. Objetivou-se avaliar as características estruturais do pasto, a arquitetura e morfologia de perfilhos de capim-marandu em sistema silvipastoril no bioma Amazônia. Foram avaliados dois sistemas de produção com pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, um sistema silvipastoril com *Eucalyptus urograndis* clone H13 comparado à um sistema de pecuária sem árvores. As árvores foram plantadas no sentido leste-oeste em renques com linhas triplas, com espaçamento de 3,0 x 3,5 m e de 30 m entre renques. O delineamento foi em blocos completos casualizados, com três repetições, e o período experimental foi de outubro de 2015 a setembro de 2016. Os pastos foram manejados com lotação contínua e taxa de lotação variável e meta de altura pré-estabelecida de 30 cm. Houve redução de 19% na densidade de perfilhos vivos, 39% na densidade de perfilhos

mortos, 24% na massa de forragem, 20% na densidade de forragem e incremento em 10% na área foliar específica no sistema silvipastoril. A arquitetura e morfologia de perfilhos apresentou pouca variação entre sistemas, e as maiores variações foram observadas dentro do sistema silvipastoril, com redução do número de folhas e aumento da área por folha nas áreas com sombreamento mais intenso. Sistemas silvipastoris, arranjados com espaçamento de 30 metros entre renques de árvores, permitem que a planta forrageira utilize dos mecanismos morfofisiológicos de adaptação para compensar a redução de perfilhos, mantendo a produtividade e equilíbrio do sistema.

Palavras chave: Área foliar específica, Densidade de perfilhos, Sistemas integrados, Sombreamento

1. Introdução

Diante do crescimento populacional e aumento na demanda por alimentos, fibra e energia, e da crescente preocupação com a emissão de poluentes, degradação ambiental e mudanças climáticas (Dick et al., 2015), sem dúvida um dos maiores desafios do agronegócio é aumentar a produtividade garantindo sustentabilidade. O Brasil apresenta grande potencial suprir essa demanda sem a necessidade de abertura de novas áreas e preservando os recursos naturais. Isso já afeta a produção e exportação de carne do país, que tem sido impulsionada pelo aumento do consumo de proteína de origem animal por países emergentes como China e Índia (Schlesinger, 2017).

Apesar de se destacar por possuir o segundo maior rebanho comercial do mundo e uma área de pastagens maior que o território de muitos países desenvolvidos, a pecuária brasileira ainda é marcada por baixos índices produtivos. De acordo com Dias-Filho (2015), esse

cenário é atribuído principalmente às falhas na implantação e manejo das pastagens, como preparo do solo, falta de reposição de nutrientes e erros no ajuste de lotação, o que resulta em aproximadamente 80% das áreas de pastagem com algum grau de degradação.

Uma alternativa para recuperação dessas áreas é a adoção de sistemas integrados de produção, possibilitando interações ecológicas entre diferentes componentes, criando ecossistemas agrícolas mais eficientes na ciclagem de nutrientes, melhorando a qualidade do solo e aumentando a biodiversidade (Lemaire et al., 2014). A introdução de árvores nesses sistemas promove benefícios, tanto ao componente animal, quanto ao ambiente, proporcionando melhoria dos índices de conforto térmico animal (Domiciano et al., 2016; Paciullo et al., 2012) e fixação de carbono atmosférico, aumentando o estoque de carbono do solo, por meio da decomposição de raízes, além de melhorar as propriedades biológicas, com aumento da população de vertebrados de vida livre (Benavides et al., 2009), resultando em melhoria da estrutura do solo. Isso possibilita maior infiltração e retenção de água, reduzindo as perdas de solo e água por escoamento superficial (Rieger et al., 2016).

Entretanto, o sucesso de sistemas silvipastoris tem sido limitado pela adoção de arranjos espaciais adequados, pois precisam proporcionar conforto térmico aos animais e garantir boa produtividade e persistência à planta forrageira. Níveis intensos de sombreamento promovem acentuada redução na quantidade e qualidade da luz, resultando em alterações morfofisiológicas que prejudicam o desenvolvimento das plantas. As principais respostas das gramíneas ao sombreamento são: alongamento de colmo, aumento do comprimento de folhas e da área foliar específica, redução da densidade populacional de perfilhos, do índice de área foliar (IAF), das taxas fotossintéticas e menor acúmulo de forragem (Baldissera et al., 2016; Gómez et al., 2013; Paciullo et al., 2007; Santos et al., 2016).

Nesse sentido, o conhecimento detalhado dos padrões de resposta de forrageiras em ambientes sombreados é de fundamental importância para definir estratégias adequadas de manejo que possibilitem explorar o máximo potencial de utilização da planta forrageira, sem comprometer sua persistência e produtividade no sistema silvipastoril. Dessa forma, objetivou-se com este estudo avaliar as características estruturais do pasto, a arquitetura e morfologia de perfilhos de capim-marandu em sistema silvipastoril no bioma Amazônia.

2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado na Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop – MT, Brasil (11°51' S, 55°35' O, 370 m de altitude), e conduzido de acordo com padrões éticos e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso Animal (Protocolo n° 008/2015). A área experimental, no bioma Amazônia, apresenta clima Am (clima de monções) de acordo com a classificação de Köppen, com alternância bem definida entre estações chuvosas e seca (Alvares et al., 2013), com temperatura do ar média anual de 25,5 °C, média das mínimas de 20,2 °C e média das máximas de 33,0 °C. A umidade relativa do ar média anual é de 70%, com precipitação média anual de 2.250 mm (Embrapa, 2017). Os dados climáticos referentes ao período experimental foram obtidos no Posto Meteorológico da Embrapa Agrossilvipastoril, localizado a 500 metros do local do experimento (Figura 1).

A área experimental foi implantada no verão de 2011/2012, em local de solo classificado como Rhodic Hapludox pela classificação americana (Ditzler et al., 2017) ou Latossolo Vermelho-Amarelo Eutroférico na classificação brasileira, com relevo suavemente inclinado. O solo foi coletado na profundidade de 0-10 cm para análises, apresentando a seguinte composição química, respectivamente, para os sistemas pecuária e silvipastoril: P = 6,7 e 6,5 mg kg⁻¹; K = 71,5 e 69,0 mg kg⁻¹; Ca = 1,69 e 1,38 cmol_c dm⁻³;

Mg = 0,78 e 0,55 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca de cátions = 7,78 e 7,16 cmol_c dm⁻³; matéria orgânica = 33,5 e 31,0 g kg⁻¹ e pH (em água) = 5,6 e 5,0. Em dezembro de 2015 foi realizado a adubação com 50 kg N ha⁻¹, 50 kg K₂O ha⁻¹ e 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ nas formas de ureia, cloreto de potássio e superfosfato simples, respectivamente. A textura do solo não variou entre os tratamentos, apresentando 163 g kg⁻¹ de areia grossa, 179 g kg⁻¹ de areia fina, 620 g kg⁻¹ de argila e 38 g kg⁻¹ de silte.

A área total do experimento, com 72 ha, possui 10 arranjos de sistemas integrados e exclusivos em diversos níveis de complexidade, desde os mais simples: lavoura, pecuária e floresta em cultivo exclusivo, até os mais complexos que contemplam os três componentes na mesma área. Essa área tem sido utilizada para estudos de longo prazo com bovinos de corte.

O período experimental foi 14 de outubro de 2015 a 21 de setembro de 2016, compreendendo as estações primavera, verão, outono e inverno. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, com dois sistemas de produção e três repetições, com unidade experimental de 2,0 ha e área total de 12 ha. Os sistemas de produção avaliados foram: pecuária com pastagens exclusivas de *Brachiaria brizantha* (syn. *Urochloa brizantha*) cv. Marandu; e silvipastoril com pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com renques triplos de árvores de *Eucalyptus urograndis* clone H13 (espaçamento 3,0 m x 3,5 m) espaçados de 30 metros (270 árvores ha⁻¹). Os renques apresentavam orientação leste-oeste e com árvores que possuíam, em média, 18 metros de altura. Para possibilitar uma correta comparação entre os sistemas de produção, os resultados são apresentados por hectare efetivo com pastagem, semelhante ao adotado por Santos et al. (2016), dessa forma, no sistema silvipastoril, a área efetiva de capim marandu, excluindo a área com árvores, foi de 1,5 ha.

2.1. Altura, massa seca de forragem e densidade de forragem

Em dezembro de 2014, iniciou-se a atividade de pastejo com o objetivo de manter os pastos com altura do dossel constante. A partir de julho de 2015, os piquetes foram pastejados por novilhos da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) com peso médio inicial de $335 \pm 14,5$ kg. O método de pastejo foi o de lotação contínua com taxa de lotação variável, mantendo-se a altura do dossel em 30 cm (Silva e Nascimento Júnior, 2007), admitindo-se variação de até 15% para mais ou para menos. A altura do dossel foi monitorada semanalmente por meio de medições realizadas em 50 pontos por piquete. No sistema pecuária, as mensurações foram realizadas em pontos aleatórios ao longo de caminhamento em diagonal e no sistema silvipastoril foi estabelecido um ziguezague de modo a avaliar 25 pontos na face norte e 25 na face sul do renque central de árvores, nas distâncias de 3, 9, 15, 21 e 27 m do renque.

A massa de forragem (MF) e o acúmulo de forragem (AF) foram quantificados a cada 28 dias, utilizando-se o método da gaiola emparelhada (Martins et al., 2013), durante o inverno a coleta de forragem acumulada na gaiola foi realizada a cada 56 dias, devido a estagnação do crescimento do pasto. Gaiolas metálicas circulares de exclusão do pastejo ($0,62 \text{ m}^2$ de área e 1,1 m de altura) foram alocadas em quatro pontos aleatórios nos piquetes do sistema pecuária e 12 pontos no sistema silvipastoril, distribuídas sistematicamente 6 na face norte e 6 na face sul do renque central. Em cada face (norte ou sul) foram alocadas duas gaiolas por distância: 15,0, 7,5 e 4,0 m (Figura 2). O corte da forragem foi realizado no nível do solo. Todo o material coletado foi pesado para obtenção da massa fresca e sub amostras de 200 g foram retiradas e colocadas em estufa de circulação de ar forçada à $55 \text{ }^\circ\text{C}$ até atingir massa constante e determinar o teor de matéria seca (g kg^{-1}). A densidade da forragem (DF) foi obtida pelo quociente da MF e a altura no momento de coleta ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$).

2.2. Características morfológicas e estruturais

Para avaliação das características morfológicas e estruturais foram coletadas amostras em ciclos representativos de cada estação: 14/10/2015 (primavera), 18/02/2016 (verão), 30/05/2016 (outono) e 23/08/2016 (inverno). No sistema pecuária foram coletadas aleatoriamente seis amostras por piquete, em pontos representativos da pastagem. No sistema silvipastoril, as coletas foram realizadas em 18 pontos por piquete (9 pontos na face norte e 9 pontos na face sul), em que foram coletadas 3 amostras nas distâncias de 4,0 m, 7,5 m e 15,0 m dos renques centrais de árvores. Para estimar a densidade populacional de perfilhos, as amostras foram cortadas rente ao solo em uma área de 0,5 m² (moldura com 1,0 m x 0,5 m), e posteriormente foram levadas para o laboratório para separação, classificação e contagem dos perfilhos vivos e mortos. Após a separação, sub amostras foram colocadas em estufa para obtenção da massa seca por perfilho.

As características individuais dos perfilhos foram mensuradas seguindo metodologia descrita por Sbrissia e Da Silva (2008). No sistema pecuária, foram coletados aleatoriamente 50 perfilhos por piquete e, no sistema silvipastoril, seguiu-se o esquema de coletas nas faces (norte e sul) e distâncias (4,0, 7,5 e 15 m), coletando-se 20 perfilhos em cada ponto. Após a coleta, o material foi levado para o laboratório para mensuração do comprimento de colmo, altura de inserção de cada folha e número de folhas. Em seguida, foi realizada a separação morfológica do material (lâmina foliar, bainha + colmo e material morto). As folhas verdes foram levadas ao integrador de área foliar (LI-COR, modelo LI-3100) para obtenção da área foliar (cm²) e todos os componentes foram levados a estufa à 55 °C até atingir massa constante. Pelo quociente da área foliar e massa seca de folhas, obteve-se a área foliar específica (g cm⁻²).

2.3. Ambiente luminoso

Para caracterizar o ambiente luminoso, a projeção de sombra e a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foram monitoradas mensalmente ao longo do dia (8:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 horas). A projeção de sombra foi medida com uma fita métrica nas faces norte e sul. A radiação foi quantificada com o aparelho analisador de dossel AccuPAR LP 80 (Decagon Devices®) e, para tanto, cinco leituras foram realizadas nas distâncias de 4,0, 7,5, 11,0 e 15,0 m dos renques centrais de eucalipto.

2.4. Análise estatística

Para permitir comparações adequadas, os dados foram analisados de forma a 1) comparar sistemas pecuária x silvipastoril (considerou-se apenas a média de cada sistema) e 2) elucidar as respostas dentro do sistema silvipastoril (considerando-se as faces (norte e sul) e distâncias dos renques centrais (4,0, 7,5 e 15,0 m)).

Os dados foram analisados utilizando o método de modelos mistos com estrutura paramétrica especial na matriz de covariância, por meio do procedimento MIXED do software estatístico SAS (Littell et al., 2006). Os sistemas de produção e as estações foram considerados como efeitos fixos e bloco como aleatório. Para escolher a matriz de covariância foi usado o critério de informação de Akaike (Wolfinger et al., 1993). As médias dos tratamentos foram estimadas pelo “LSMEANS” e a comparação foi realizada pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%.

3. Resultados

3.1. Estrutura do dossel

Para altura do dossel, massa de forragem (MF), densidade de forragem (DF), densidade populacional de perfilhos vivos (DPPV), densidade populacional de perfilhos mortos

(DPPM), razão perfilho vivo/perfilho morto (PV/PM) e índice de área foliar (IAF) não houve efeito de interação sistema*estação ($p > 0.05$).

A altura do dossel não diferiu entre sistemas ($29 \pm 1,0$ cm), havendo variação na altura, apenas entre as estações ($p = 0,0035$), com maiores valores registrados durante o verão ($35 \pm 2,0$ cm) e média de $27 \pm 2,0$ cm nas demais estações.

Os sistemas e as épocas avaliados apresentaram, respectivamente, variação na MF ($p = 0,0010$; $p < ,0001$) e na DF ($p = 0,0038$; $p < ,0001$) (Tabela 1). O sistema silvipastoril apresentou redução de 23,7% na MF e 19,7% na densidade de forragem em comparação ao sistema pecuária. Durante a primavera foram registradas as menores MF (2120 kg ha^{-1}) e densidade de forragem ($77 \text{ kg cm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$).

No sistema silvipastoril, a massa de forragem reduziu ($p < ,0001$) com o aumento do sombreamento, sendo os menores valores registrados na distância de 4 m, e os maiores, à 15 m do renque de árvores. Quando comparados com a distância de 15 m, houve redução de 15% na MF à 7,5 m e de 29%, à 4 m (Tabela 2). Para densidade de forragem, houve efeito de interação distância*estação ($p = 0,0002$). As maiores densidades foram registradas na distância de 15 m e menores na distância de 4 m, exceto durante o outono que não houve diferença entre as distâncias e, no inverno, quando os valores foram maiores na distância de 7,5 m.

A densidade populacional de perfilhos foi menor no silvipastoril do que no sistema pecuária (Tabela 3), havendo redução de 19% na densidade de perfilhos vivos (DPPV; $p = 0,0043$) e 39% na densidade de perfilhos mortos ($p < ,0001$). A DDPV e a DDPM apresentaram variações ao longo das estações ($p < ,0001$), em que a DPPV foi maior no verão e menor na primavera e outono, enquanto a DPPM foi maior no outono/inverno e menor na primavera/verão.

Esse padrão de resposta refletiu em maior razão PV:PM no sistema silvipastoril ($p = 0,0016$), que manteve 1,35 perfilhos vivos para cada perfilho morto. No sistema pecuária, essa relação foi de 0,99. A relação PV:PM também apresentou variações marcantes ao longo das estações ($p = 0,0181$), e as maiores relações foram observadas no verão e inverno. No verão, a quantidade de perfilhos vivos foi quase o dobro da quantidade de perfilhos mortos ($PV/PM = 1,98$), enquanto no inverno, essa relação se inverte, e a população de perfilhos mortos foi mais que o dobro da população de perfilhos vivos ($PV/PM = 0,46$).

No sistema silvipastoril, a DPPV foi diferente para cada face ($p = 0,0053$) e distância ($p <,0001$) avaliadas. Na face norte do renque, a DPPV foi 12% maior ($353 \pm 7,8$ perfilhos m^{-2}) em relação à face sul (Figura 3). Entre as distâncias, a redução na DPPV à 4 m foi de 30% em relação à distância de 15 m do renque central (Figura 4). A DPPM não diferiu em função da face ($p = 0,3133$), apenas em relação às distâncias ($p <,0001$). Assim, como observado para DPPV, a DPPM também reduziu com o aumento do sombreamento, havendo redução de 33% na distância de 4 m (231 ± 32 perfilhos m^{-2}) em comparação à distância de 15 m (344 ± 32 perfilhos m^{-2}). Dentro do sistema silvipastoril, a razão PV:PM não apresentou efeito em função da face ($p = 0,6334$) ou distância ($p = 0,1619$). Na média, foi mantida uma relação de 1,6 perfilho vivo para cada perfilho morto.

Os sistemas apresentaram IAF semelhante ($p = 0,1404$) com valor médio de 1,52. No decorrer das estações, houve aumento gradativo no IAF da primavera até o verão, com acentuada redução durante o inverno ($p = 0,0003$). No sistema silvipastoril, a interação face*distância ($p = 0,6667$), face ($p = 0,8154$) e distância ($p = 0,6337$) não interferiram no IAF.

3.2. Arquitetura e morfologia de perfilho

O peso de perfilho e comprimento de entrenó apresentaram variação ao longo das estações ($p = 0,0005$ e $0,0012$) e não foi observado efeito de sistema ou de interação sistema*estação ($p > 0,05$). Entre as estações, tanto o peso de perfilhos quanto o comprimento de entrenó foram menores na primavera e inverno em relação ao verão e outono (Tabela 4). O comprimento de colmo foi semelhante, independentemente de sistema, estação ou de interação sistema*estação, apresentando média de 22,6 cm. No sistema silvipastoril, o peso de perfilho, comprimento de colmo e comprimento de entrenó não apresentaram efeito de face, distância ou interação.

A área foliar específica (AFE) variou em função do sistema ($p = 0,0300$) e da estação ($p = 0,0119$). O sistema silvipastoril apresentou aumento de 10% na AFE em relação ao sistema pecuária. Dentre as estações, a AFE foi maior na primavera e menor no outono e inverno. No sistema silvipastoril, a AFE foi influenciada apenas pela interação face*estação ($p = 0,0008$), sendo verificada diferença entre faces apenas no outono, quando a AFE na face sul foi 31% maior em relação à face norte (Tabela 5).

O número total de folhas (NTF), número de folhas vivas (NFV), número de folhas mortas (NFM) e área por folha não foram influenciados pela interação sistema*estação ou sistema, apresentando valores médios de $4,95 \pm 0,26$ folhas totais, $3,25 \pm 0,14$ folhas vivas, $1,60 \pm 0,21$ folhas mortas e $9,75 \text{ cm}^2 \text{ folha}^{-1}$ (Tabela 6). Porém, todas as variáveis diferiram ao longo das estações. O NTF foi maior no outono e menor na primavera ($p = 0,0400$), enquanto o NFV foi maior no verão e outono e, menor, no inverno ($p = 0,0042$) O NFM foi maior no inverno ($p < ,0001$) e a área por folha foi maior no outono ($p = 0,0002$). Para a razão folha:colmo foi observado efeito de interação sistema*estação ($p = 0,0010$), porém, os sistemas somente diferiram no outono, quando a razão folha:colmo do sistema silvipastoril foi maior em relação ao sistema pecuária (Figura 5).

Dentro do sistema silvipastoril, o NFM não foi afetado por face, distância ou interação face*distância ($p = 0,4198$, $p = 0,1226$ e $p = 0,2963$ respectivamente). O número total de folhas foi diferente em função da distância ($p = 0,0240$), com menores valores observados a 4 m (Tabela 7). O número de folhas vivas e área por folha também diferiram em função da distância, apresentando padrões de resposta inversos em função dos níveis de sombreamento. Com a redução da RFA, o NFV diminuiu ($p = 0,0107$), enquanto a área por folha aumentou ($p = 0,0318$). A redução no NFV na distância de maior sombreamento (4 m) em relação à distância com maior disponibilidade de luminosidade (15 m) foi de 11%, enquanto houve um incremento de 28% na área por folha (Figura 6).

4. Discussão

Em sistemas silvipastoris, além de redução da disponibilidade de RFA, há alteração da qualidade da luz nos pontos em que há projeção de sombra, com redução da relação vermelho/vermelho-distante (Assuero e Tognetti, 2010). Nessas condições, geralmente as plantas reduzem a produção de folhas e aumentam o alongamento de colmo, e seu padrão de distribuição de fotoassimilados é alterando, passando a priorizar a alocação de biomassa na parte aérea e reduzindo o crescimento radicular (Lemaire, 2001).

Entretanto, em condições de sombreamento moderado, a qualidade da luz é afetada em menor magnitude, o que resulta em incremento na produção de área foliar e redução na produção de colmos (Feldhake e Belesky, 2009), o que foi observado no presente estudo.

O nível de sombreamento no sistema silvipastoril não gerou incremento na altura do dossel, comprimento de colmo ou comprimento de entrenó, sendo observadas apenas variações em função das estações. Como forma de compensar a menor disponibilidade de radiação, a planta priorizou investir recursos na formação de tecidos foliares. Padrão de

resposta semelhante foi observado por Santos et al. (2016), em pastos de capim-piatã manejados com lotação contínua, os quais também não encontraram efeito do sombreamento na altura do pasto e verificaram incremento na área foliar específica com a redução da PAR.

A densidade de perfilhos reduziu com o sombreamento e os resultados encontrados nesse estudo indicam haver forte influência da RAF no perfilhamento. Isso fica claro quando as amplitudes de variação da RAF e da densidade de perfilhos (DPPV e DPPM) são observadas conjuntamente. No sistema silvipastoril houve redução de 19% na DPPV, que foi proporcional à redução na PAR ocorrida no sistema, com média de $878 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de PAR durante o período experimental, enquanto no sistema pecuária o valor médio de PAR foi $1079 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Paciullo et al. (2007) também verificaram redução na densidade de perfilhos em um sistema silvipastoril com 65% de sombreamento, porém, após o desbaste das árvores, e com a redução do sombreamento para 35% apenas, houve aumento do perfilhamento e a densidade de perfilhos do sistema silvipastoril assemelhou-se ao sistema sem sombreamento.

Essa proximidade na variação da PAR e DPPV foi mantida entre as distâncias do renque de árvores, na distância de 4 m ($674 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de PAR), houve redução de 30% na DPPV em relação à distância de 15 m ($1030 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de PAR), enquanto a redução na PAR foi de 35%. A redução em 11% na DPPV na face sul pode ser atribuída a ocorrência de sombreamento mais intenso nesse lado do renque ao longo do ano, variando de 36% da área sombreada às 8 horas até atingir 82% da área coberta por sombra às 16 horas.

A variação na projeção de sombra entre as faces, mesmo com os renques de árvores dispostos no sentido leste-oeste, ocorre devido ao “caminhamento do sol” durante o ano, que tem sua máxima inclinação para a face norte durante o solstício de inverno e para a face sul

durante o solstício de verão (Andrade et al., 2002), resultando em maior projeção de sombra para uma face ou outra dependendo da época do ano.

Para a DPPM, apesar de ter havido diferença significativa apenas entre as distâncias de 4 m e 15 m, com redução de 33% da DPPM na distância de 4 m, as amplitudes de variação foram muito similares ao padrão de variação da PAR, com reduções de 19% da DPPM na distância de 4 m em relação à distância de 7,5 m e, 17% na distância de 7,5 m em relação à distância de 15 m, com redução de 18% na PAR.

O aparecimento de novos perfilhos depende da ativação de gemas axilares e do desenvolvimento de primórdios foliares. Cada folha possui uma gema axilar em sua base com potencial para gerar um novo perfilho, havendo uma forte relação de dependência entre o perfilhamento e o número de folhas produzidas (Gastal e Lemaire, 2015). Com a menor disponibilidade de fatores abióticos para o crescimento, a taxa de aparecimento de folhas reduz e a duração de vida de folhas aumenta (Nelson, 2000). Em locais sombreados, apenas parte dos feixes de luz e a radiação transmitida pela copa das árvores são disponibilizados à forrageira do sub-bosque, pois parte da radiação fotossinteticamente ativa é absorvida pelo dossel das árvores, principalmente os comprimentos de onda na banda do vermelho (Taiz; Zieger, 2009). Dessa forma, quanto maior o nível de sombreamento, menor será a relação vermelho/vermelho distante, favorecendo a produção de auxina (ácido indol-3-acético) no meristema apical (Taiz e Zieger, 2009), que pode bloquear a síntese ou a utilização de citocinina dentro das gemas axilares, inibindo o seu desenvolvimento (Assuero; Tognetti, 2010).

A redução na densidade de perfilhos no sistema silvipastoril refletiu em menor massa e densidade de forragem, entretanto, o IAF não foi afetado, pois a menor população de perfilhos foi compensada pelo aumento da área por folha e área foliar específica. O índice de

área foliar é resultante da densidade de perfilhos e área foliar por perfilho (Gastal e Lemaire, 2015). Assim, um dos principais mecanismos de aclimatação das plantas para compensar a redução na densidade de perfilhos é aumentar a área foliar (Matthew et al., 2000). O incremento de 10% na AFE no sistema silvipastoril, em relação ao sistema pecuária, é reflexo direto da redução de 19% na PAR e foi suficiente para compensar a redução na DPPV, mantendo o IAF semelhante ao do sistema pecuária. Dentro do sistema silvipastoril, só foi verificada diferença na AFE durante o outono, quando a AFE na face sul foi 31% maior em relação à face norte. Ao longo do ano, a projeção de sombra foi maior na face sul do renque, e mais intensa durante o outono, quando chegou a 53% de redução na PAR em relação à face norte. A maior intensidade de sombreamento no outono provocou aumento da razão folha/colmo de perfilhos. Esses mecanismos de aclimatação proporcionam maior superfície de exposição da folha, maior capitação de luz e maior eficiência de utilização da radiação.

O aumento da área foliar específica resulta em folhas mais delgadas, devido ao reagrupamento das células do mesófilo, com redução da espessura do parênquima paliçádico, menor número e/ou tamanho de células e maior proporção de espaços intercelulares, promovendo menor resistência à difusão de CO₂ no interior da folha e aumento da eficiência fotossintética (Gobbi et al., 2011). Em condições de luminosidade reduzida, os cloroplastos acumulam-se nas superfícies celulares paralelamente ao plano da folha, ficando alinhados perpendicular à luz incidente e maximizando a absorção de luz. Além disso, há aumento na concentração de clorofila por centro de reação, com redução da relação clorofila a / clorofila b (Taiz e Zieger, 2009).

As características individuais de perfilhos tiveram pouca variação entre os sistemas e as maiores variações ocorreram em função dos diferentes gradientes de sombreamento dentro do sistema silvipastoril. Mesmo havendo ampla variação na densidade populacional, o peso

de perfilhos não variou entre os sistemas o que está ligado principalmente ao controle de alongamento de colmo.

Maior densidade de perfilhos resulta em perfilhos menores, enquanto em menor densidade são observados perfilhos maiores, definindo assim a relação compensação tamanho/densidade de perfilhos (Matthew et al., 2000). Um dos fatores que mais interfere na densidade de perfilhos é a intensidade de pastejo, que pode ser condicionada pela altura de manejo do pasto. Nesse sentido, diversos estudos mostram relação inversa entre a densidade populacional e o peso de perfilhos em pastos manejados em lotação contínua com diferentes alturas (Sbrissia et al., 2003, 2001; Sbrissia e Da Silva, 2008).

Além do sombreamento, outro fator que contribuiu para redução na densidade de perfilhos e o controle do alongamento de colmos no sistema silvipastoril, foi a utilização de lotação contínua com altura pré-estabelecida como critério de manejo do pastejo. Quando esse método de pastejo é utilizado, o intervalo médio entre duas desfolhações consecutivas em um mesmo perfilho é de 14 a 21 dias, podendo variar em função da oferta de forragem, de forma que com uma maior oferta, a frequência de retorno do animal no mesmo sitio de pastejo será menor, enquanto com menor oferta, essa frequência aumenta (Wade e Carvalho, 2000).

Além disso, quando se trabalha com meta de altura, a oferta de forragem não é constante, pois variações na arquitetura do dossel, como número de folhas, comprimento de colmo e razão folha:colmo podem condicionar níveis diferentes de oferta em pastos mantidos à uma mesma altura. Nessas condições, o estresse gerado pelo evento de pastejo é maior no sistema sombreado, pois o manejo proporciona taxa de remoção de tecidos semelhante, porém, as plantas encontram-se em condições fisiológicas diferentes, pois a taxa de reposição de tecidos em forrageiras sob sombreamento é mais lenta, podendo não ser suficiente para

restabelecer a área foliar do dossel no mesmo ritmo em que essa é removida. Isso induz a planta a recorrer com maior frequência às reservas orgânicas, para rápido restabelecimento da área foliar.

As reservas orgânicas são de extrema importância, principalmente nos primeiros dias após o pastejo, favorecendo a rebrotação e habilidade competitiva entre as plantas (Silva et al., 2015) pois, segundo Skinner e Goslee (2016), logo após a desfolhação, há um rápido decréscimo na fotossíntese e respiração, e as trocas líquidas do ecossistema (fotossíntese + respiração) só atingem a máxima resposta à radiação depois de 12 dias. Entretanto, em condição de redução na PAR, as taxas fotossintéticas do dossel são menores e a produção de fotoassimilados é reduzida (Gómez et al., 2013). Isso resulta em menor capacidade de armazenamento de reservas orgânicas (carboidratos solúveis e compostos nitrogenados), uma vez que, a planta só começa a estocar esses compostos quando a taxa de produção excede a taxa de utilização (Thornton et al., 2000).

Dessa forma, pode-se inferir que a intensidade de pastejo promove alterações mais intensas nas características morfológicas em nível de perfilho, de rápida resposta relacionada à ativação de gemas basais e emissão de novos perfilhos que começam a agir logo após o pastejo, enquanto o sombreamento interfere mais intensivamente em nível de células e tecidos, com resposta lenta, alterando o tamanho, quantidade, arranjo das células e espessura de tecidos, as quais vão ocorrendo gradativamente durante o período de aclimação da planta.

O número de folhas vivas reduziu com o sombreamento, enquanto a área por folha aumentou. O menor número de folhas permite maior penetração de luz no interior do dossel, reduzindo a competição e, por outro lado, o aumento da área por folha possibilita maior

absorção de luz nos diferentes estratos do dossel e aumento da eficiência de utilização da radiação.

O número de folhas vivas é dependente da taxa de aparecimento de folhas, enquanto que área por folha é determinada pela largura e comprimento da folha. Segundo Gastal e Lemaire (2015), há uma relação inversa entre a taxa de aparecimento de folha e o comprimento final de folhas, pois uma nova folha surge apenas quando a folha anterior atinge o seu máximo crescimento (comprimento final). Dessa forma, com o aumento da taxa de aparecimento de folha, há redução no intervalo de tempo para crescimento, resultando em folhas menores e com menor área.

Os resultados encontrados no presente estudo representam um importante avanço para consolidação e disseminação dos sistemas silvipastoris, pois comprovam que é possível manter a produtividade e características estruturais de pastos de sistemas silvipastoris em condições semelhantes às de pastagens bem manejados cultivadas a pleno sol. Para tanto é importante, que o componente arbóreo seja conduzido e manejado de forma correta, com as devidas intervenções como desbaste e desrama realizados nos momentos adequados, afim de não promover limitações ao crescimento do pasto. Isso surge como um forte argumento para quebrar o paradigma de que em sistemas silvipastoris há redução da produção do pasto e, por consequência, da produção animal, a qual será compensada pelo lucro adicional obtido com a comercialização das “árvores”. Nesse sentido, pode-se afirmar que em sistemas silvipastoris dimensionados com espaçamentos maiores e com manejo adequado do componente arbóreo, que garanta mínima interferência na produção do pasto, é possível obter maiores incrementos no lucro da propriedade.

5. Conclusão

Pastos de capim marandu em sistemas silvipastoris com linhas triplas de eucalipto e espaçamento de 30 metros entre os renques tem suas características morfológicas e estruturais fortemente afetadas, reduzindo a massa de forragem e densidade de perfilhos e aumentando a área foliar específica.

6. Referências

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Andrade, C. M. S., Garcia, R., Ccouto, L., & Pereira, O. G. (2002). Transmissão de luz em sistemas silvipastoris com eucalipto. *Revista Árvore*, 26(1), 19–23.
- Assuero, S. G., & Tognetti, J. A. (2010). Tillering regulation by endogenous and environmental factors and its agricultural management. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*, 4, 35–48.
- Baldissera, T. C., Pontes, L. D. S., Giostri, A. F., Barro, R. S., Lustosa, S. B. C., De Moraes, A., & Carvalho, P. C. D. F. (2016). Sward structure and relationship between canopy height and light interception for tropical C4 grasses growing under trees. *Crop and Pasture Science*, 67(11), 1199–1207. <https://doi.org/10.1071/CP16067>
- Ballaré, C. L., & Pierik, R. (2017). The shade-avoidance syndrome: Multiple signals and ecological consequences. *Plant Cell and Environment*. 40, 2530–2543. <https://doi.org/10.1111/pce.12914>

- Benavides, R., Douglas, G. B., & Osoro, K. (2009). Silvopastoralism in New Zealand: Review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agroforestry Systems*, 76(2), 327–350. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9186-6>
- da Silva, S., Sbrissia, A., & Pereira, L. (2015). Ecophysiology of C4 Forage Grasses— Understanding Plant Growth for Optimising Their Use and Management. *Agriculture*, 5(3), 598–625. <https://doi.org/10.3390/agriculture5030598>
- Dias-Filho, M. B. (2015). Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação (4th ed.). Edição do autor (MBDF). Retrieved from <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/976514/1/DegradacaopastagensalternativasrecuperacaoMMacedoScot.pdf>
- Dick, M., Abreu Da Silva, M., & Dewes, H. (2015). Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 96, 426-434. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.080>
- Ditzler, C., Scheffe, K. and Monger, H. C. (eds. (2017). *Soil Survey Manual*. USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C. páginas?
- Domiciano, L. F., Mombach, M. A., Carvalho, P., Da Silva, N. M. F., Pereira, D. H., Cabral, L. S., ... Pedreira, B. C. (2016). Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. *Animal Production Science*. <https://doi.org/doi.org/10.1071/AN16351>
- Embrapa. (2017). Estação meteorológica automática. <https://www.embrapa.br/en/agrossilvipastoril/estacao-meteorologica>
- Feldhake, C. M., & Belesky, D. P. (2009). Photosynthetically active radiation use efficiency of *Dactylis glomerata* and *Schedonorus phoenix* along a hardwood tree-induced light

- gradient. *Agroforestry Systems*, 75(2), 189–196. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9175-9>
- Gastal, F., & Lemaire, G. (2015). Defoliation, Shoot Plasticity, Sward Structure and Herbage Utilization in Pasture: Review of the Underlying Ecophysiological Processes. *Agriculture*, 5(4), 1146–1171. <https://doi.org/10.3390/agriculture5041146>
- Gobbi, K. F., Garcia, R., Ventrella, M. C., Neto, A. F. G., & Rocha, G. C. (2011). Área Foliar Específica E Anatomia Foliar Quantitativa Do Capim-Braquária E Do Amendoim-Forrageiro Submetidos a Sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(7), 1436–1444. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000700006>
- Gómez, S., Guenni, O., & Bravo de Guenni, L. (2013). Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *brachiaria decumbens* stapf. *Grass and Forage Science*, 68(3), 395–407. <https://doi.org/10.1111/gfs.12002>
- Lemaire, G. (2001). Ecophysiology of grasslands: Dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards. In *INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS*, 19 (pp. 29–37). São Pedro: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz.
- Lemaire, G., Franzluebbers, A., Carvalho, P. C. de F., & Dedieu, B. (2014). Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 190, 4–8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>
- Littell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W., Wolfinger, R. D., & Schabenberger, O. (2006). *SAS for mixed models*. SAS Institute. Inc., Cary, NC.
- Martins, C. D. M., Euclides, V. P. B., Barbosa, R. A., Montagner, D. B., & Miqueloto, T. (2013). Consumo de forragem e desempenho animal em cultivares de *Urochloa*

- humidicola sob lotação contínua. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(10), 1402–1409. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013001000012>
- Matthew, C., Assuero, S. G., Black, C. K., & Hamilton, N. R. S. (2000). Tiller dynamics of grazed swards. In C. N. and P. C. de F. C. G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes (Ed.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp. 127–150). Wallingford: CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851994529.0127>
- Nelson, C. J. (2000). Shoot morphological plasticity of grasses: leaf growth vs. tillering. In C. Lemaire, G.; Hodgson, J.; de Moraes, A.; Carvalho, P.C.F.; Nabinger (Ed.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp. 101–126). Wallingford: CABI Publishing.
- Paciullo, D. S. C., De Carvalho, C. A. B., Aroeira, L. J. M., Morenz, M. J. F., Lopes, F. C. F., & Rossiello, R. O. P. (2007). Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 42(4), 573–579. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400016>
- Paciullo, D. S. C., Fernandes, P. B., Gomide, C. A. de M., de Castro, C. R. T., Sobrinho, F. de S., & de Carvalho, C. A. B. (2011). Dinâmica do crescimento de espécies de Braquiária de acordo com a dose de nitrogênio e o sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(2), 270–276. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011000200006>
- Rieger, F. A., Zolin, C. A., & Paulino, J. (2016). Water Erosion on an Oxisol under Integrated Crop-Forest Systems in a Transitional Area between the Amazon and Cerrado Biomes, 1–12. *Revista Brasileira Ciências Solo* 2016; v.40, e.0150111. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150111>

- Santos, D. de C., Guimarães Júnior, R., Vilela, L., Pulrolnik, K., Bufon, V. B., & França, A. F. de S. (2016). Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.026>
- Sbrissia, A. F., & Da Silva, S. C. (2008). Compensação tamanho/densidade populacional de perfilhos em pastos de capim-marandu. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(1), 35–47. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000100005>
- Sbrissia, A. F., Da Silva, S. C., Matthew, C., De Carvalho, C. A. B., Carnevalli, R. A., De Moura Pinto, L. F., ... Pedreira, C. G. S. (2003). Tiller size/density compensation in grazed Tifton 85 bermudagrass swards. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 38(12), 1459–1468. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2003001200013>
- Sbrissia, A. F., Silva, S. C., Carvalho, C. A. B., Carnevalli, R. A., Pinto, L. F. D. M., Fagundes, J. L., & Pedreira, C. G. S. (2001). Tiller size/population density compensation in grazed Coastcross bermudagrass swards. *Scientia Agricola*, 58(4), 655–665. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000400002>
- Skinner, R. H., & Goslee, S. C. (2016). Defoliation effects on pasture photosynthesis and respiration. *Crop Science*, 56(4), 2045–2053. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.12.0733>
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p. il. color. TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p. il. color. Thornton, B., Millard, P., & Bausenwein, U. (2000). Reserve Formation and Recycling of Carbon and Nitrogen during Regrowth of Defoliated Plants. In C. N. and P. C. de F. C. G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes (Ed.), *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology* (pp. 85–99). CAB International 2000.

Wade, M. H., & Carvalho, P. C. de F. (2000). Defoliation patterns and herbage intake on pastures. In C. N. and P. C. de F. C. G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes (Ed.), *Grassland ecophysiology and grazing ecology* (pp. 233–248). <https://doi.org/10.1079/9780851994529.0233>

Wolfinger, R. (1993). Covariance structure selection in general mixed models. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*. <https://doi.org/10.1080/03610919308813143>

Anexos

Tabelas

Tabela 1. Massa de forragem (MF), densidade de forragem (DF) e altura do pasto *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistemas pecuária e silvipastoril na Amazônia

Sistema	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Média
Massa de forragem (kg ha ⁻¹)					
Pecuária	2674±205	3899±205	4675±205	4415±205	3916±49 a
Silvipastoril	1565±205	3196±205	3746±205	3438±205	2987±49 b
Média	2120±148 B	3548±148 A	4210±148 A	3927±148 A	
Densidade de forragem (kg cm ⁻¹ ha ⁻¹)					
Pecuária	98±7,8	112±7,8	155±7,8	163±7,8	132±5,6 a
Silvipastoril	57±7,8	93±7,8	131±7,8	146±7,8	106±5,6 b
Média	77±6,0 C	103±6,0 B	143±6,0 A	154±6,0 A	
Altura do pasto (cm)					
Pecuária	27±2	34±2	30±2	27±2	30±1 a
Silvipastoril	28±2	35±2	29±2	24±2	29±1 a
Média	27±2 B	35±2 A	30±2 B	25±2 B	

Médias seguidas por letras diferentes, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Massa de forragem (MF) e densidade de forragem (DF) de pastos de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril na Amazônia

Distância	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Média
Densidade de forragem (kg cm ⁻¹ ha ⁻¹)					
15,0 m	66±6,72 Ca	105±5,86 Ba	141±9,2 Aa	150±7,95 Aab	116±6,4
7,5 m	55±6,72 Dab	83±5,86 Cb	117±9,2 Ba	163±7,95 Aa	105±6,4
4,0 m	40±6,72 Cb	78±5,86 Bb	123±9,2 Aa	122±7,95 Ab	91±6,4
Massa de forragem (kg ha ⁻¹)					
15,0 m	1857±197	3694±197	4071±197	3828±197	3362±105 a
7,5 m	1503±197	2878±197	3565±197	3460±197	2852±105 b
4,0 m	1043±197	2521±197	3279±197	2637±197	2370±105 c
Média	1468±114 C	3031±114 B	3638±114 A	3308±114 AB	

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, e letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3. Densidade populacional de perfilhos vivos (DPPV), densidade populacional de perfilhos mortos (DPPM), razão perfilho vivo:perfilho morto (PV:PM) e índice de área foliar (IAF) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistemas pecuária e silvipastoril na Amazônia

Sistema	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Média
Densidade populacional de perfilhos vivos (perfilhos m ⁻²)					
Pecuária	296±34	502±34	591±34	314±34	426±14 a
Silvipastoril	130±34	440±34	533±34	279±34	346±14 b
Média	214±24 C	471±24 B	562±24 A	297±24 C	
Densidade populacional de perfilhos mortos (perfilhos m ⁻²)					
Pecuária	309±66	266±66	614±66	794±66	496±35 a
Silvipastoril	150±66	176±66	388±66	572±66	301±35 b
Média	230±51 B	221±51 B	461±51 A	683±51 A	
Razão perfilho vivo:perfilho morto (perfilho perfilho ⁻¹)					
Pecuária	1,05±0,37	1,54±0,21	0,99±0,12	0,41±0,09	0,99±0,07 b
Silvipastoril	1,07±0,37	2,43±0,21	1,38±0,14	0,51±0,09	1,35±0,07 a
Média	1,06±0,26 AB	1,98±0,14 A	1,18±0,09 A	0,46±0,07 B	
Índice de área foliar (m ² m ⁻²)					
Pecuária	0,73±0,07	1,88±0,08	2,59±0,20	0,60±0,05	1,45±0,05 a
Silvipastoril	0,23±0,07	2,28±0,11	3,31±0,26	0,55±0,05	1,59±0,06 a
Média	0,48±0,05 C	2,08±0,07 B	2,95±0,17 A	0,58±0,04 C	

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, e letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Peso de perfilho, comprimento de entrenó, comprimento de colmo e área foliar específica de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistemas pecuária e silvipastoril na Amazônia

Sistema	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Média
Peso de perfilho (g perfilho⁻¹)					
Pecuária	0,52±0,10	1,10±0,10	0,76±0,10	0,49±0,10	0,72±0,04 a
Silvipastoril	0,4±0,10	0,97±0,10	0,96±0,10	0,55±0,10	0,72±0,04 a
Média	0,39±0,07 B	0,94±0,07 A	0,96±0,07 A	0,53±0,07 B	
Comprimento de entrenó (cm)					
Pecuária	0,84±0,45	3,72±0,45	1,47±0,45	0,87±0,45	0,49±0,10 a
Silvipastoril	0,89±0,45	2,83±0,45	2,06±0,45	1,31±0,45	0,55±0,10 a
Média	0,87±0,32 C	3,17±0,32 A	2,08±0,32 B	1,25±0,32 C	
Comprimento de colmo (cm)					
Pecuária	20,6±2,04	28,5±2,04	22,8±2,04	21,1±2,04	23,2±0,35 a
Silvipastoril	16,5±2,04	27,6±2,04	22,6±2,04	21,8±2,04	22,1±0,35 a
Média	18,6±1,44 A	28,0±1,44 A	22,7±1,44 A	21,4±1,44 A	
Área foliar específica (cm² g⁻¹)					
Pecuária	146±9,7	145±7,5	103±9,9	124±7,5	130±3,8 b
Silvipastoril	157±7,5	147±7,5	133±7,5	133±7,5	143±3,8 a
Média	151±5,9 A	146±5,9AB	118±5,9 C	129±5,9 BC	

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, e letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Área foliar específica (AFE) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril na Amazônia

Estação	North	South
Primavera	165,0±12,0 Aa	159,7±12,7 Aa
Verão	159,2±9,0 Aa	150,4±9,3 Aa
Outono	115,7±8,6 Bb	152,1±8,6 Aa
Inverno	141,7±13,9 Aab	126,9±13,9 Aa

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, e letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Número total de folhas (NTF), número de folhas vivas (NFV), número de folhas mortas (NFM) e área por folha de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistemas pecuária e silvipastoril na Amazônia

Sistema	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Média
Número total de folhas					
Pecuária	4,8±0,34	4,7±0,34	5,4±0,34	5,4±0,34	5,1±0,26 a
Silvipastoril	3,9±0,34	4,9±0,34	5,4±0,34	4,9±0,34	4,8±0,26 a
Média	4,3±0,27 B	4,8±0,27 AB	5,4±0,27 A	5,1±0,27 AB	
Número de folhas vivas					
Pecuária	3,2±0,25	3,6±0,40	3,6±0,11	2,2±0,07	3,2±0,14 a
Silvipastoril	2,8±0,25	4,1±0,40	4,1±0,11	2,4±0,07	3,3±0,14 a
Média	3,0±0,18 AB	3,9±0,29 A	3,9±0,08 A	2,3±0,05 B	
Número de folhas mortas					
Pecuária	1,1±0,31	1,1±0,31	1,7±0,31	3,3±0,31	1,8±0,21 a
Silvipastoril	1,1±0,31	0,8±0,31	1,3±0,31	2,5±0,31	1,4±0,21 a
Média	1,1±0,22 B	1,0±0,22 B	1,5±0,22 B	2,9±0,22 A	
Área por folha (cm ² folha ⁻¹)					
Pecuária	7,7±1,06	10,4±1,06	12,1±1,06	9,1±1,06	9,8±0,72 a
Silvipastoril	5,8±1,06	9,9±1,06	14,9±1,23	8,2±1,06	9,7±0,74 a
Média	6,8±0,77 C	10,1±0,77 B	13,5±0,83 A	8,6±0,77 BC	

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, e letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Número total de folhas (NTF) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril na Amazônia

Distância	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Média
15 m	4,14±0,35	5,13±0,35	5,35±0,35	4,97±0,4	4,90±0,3 a
7.5 m	4,13±0,38	5,22±0,38	5,31±0,38	4,90±0,4	4,97±0,3 a
4 m	3,7±0,40	4,73±0,40	5,47±0,38	4,36±0,4	4,57±0,3 b
Média	3,99±0,30 C	5,01±0,30 AB	5,38±0,30 A	4,89±0,3 B	

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, e letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figuras

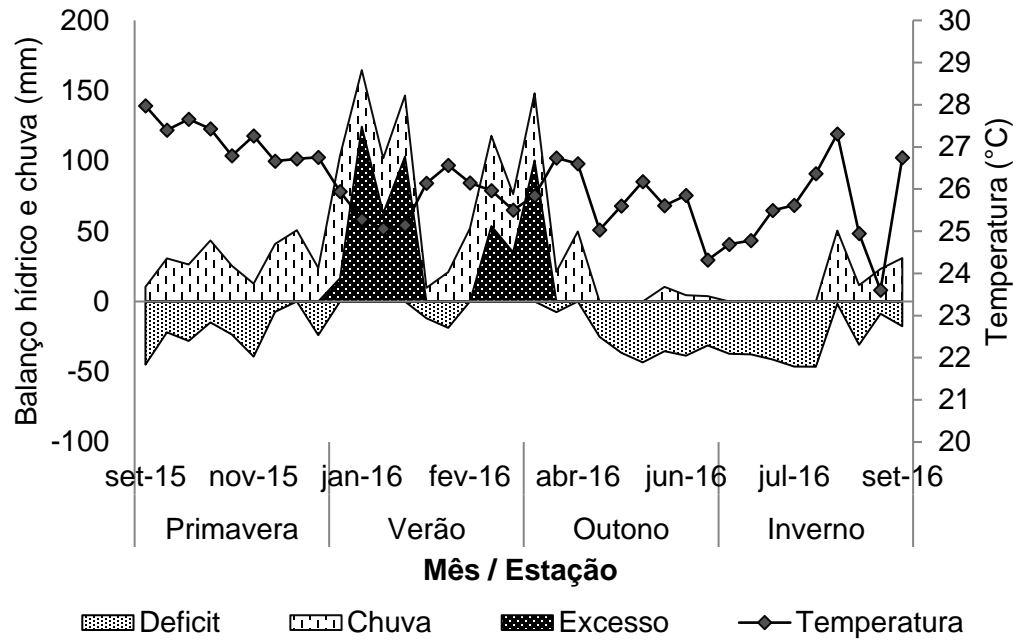


Figura 1. Balanço hídrico, chuva (mm) e temperatura na área experimental de setembro de 2015 a setembro de 2016.

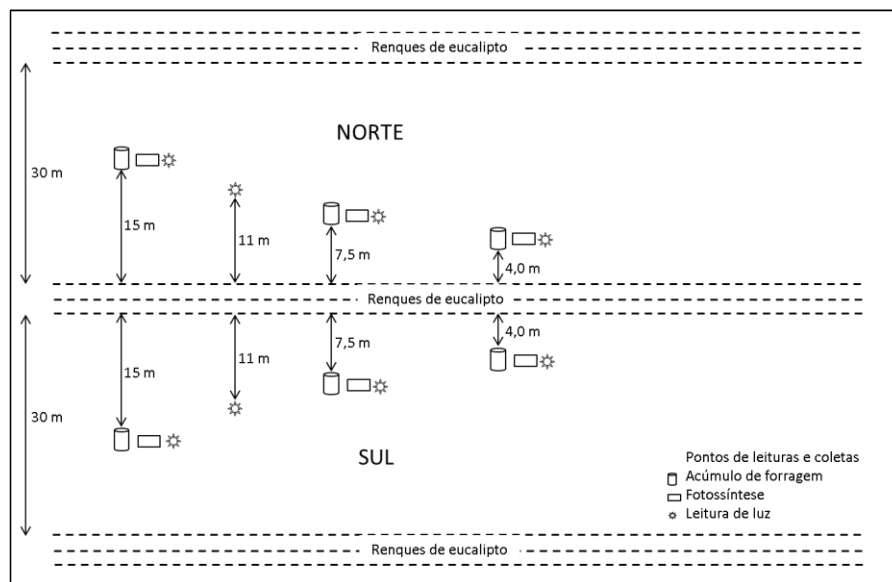


Figura 2. Croqui de uma das unidades experimentais, indicando os pontos de leitura e coletas no sistema silvipastoril

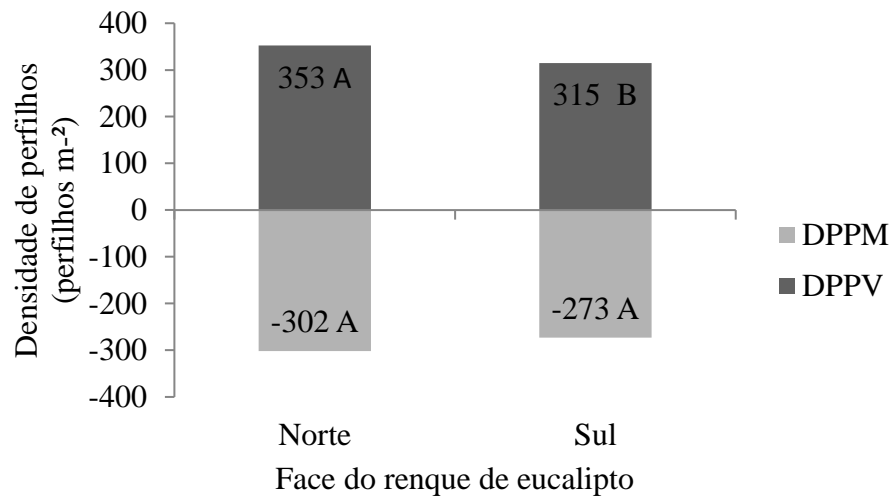


Figura 3. Densidade populacional de perfilhos vivos (DPPV), densidade populacional de perfilhos mortos (DPPM) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril na Amazônia.

Barras de mesma cor com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

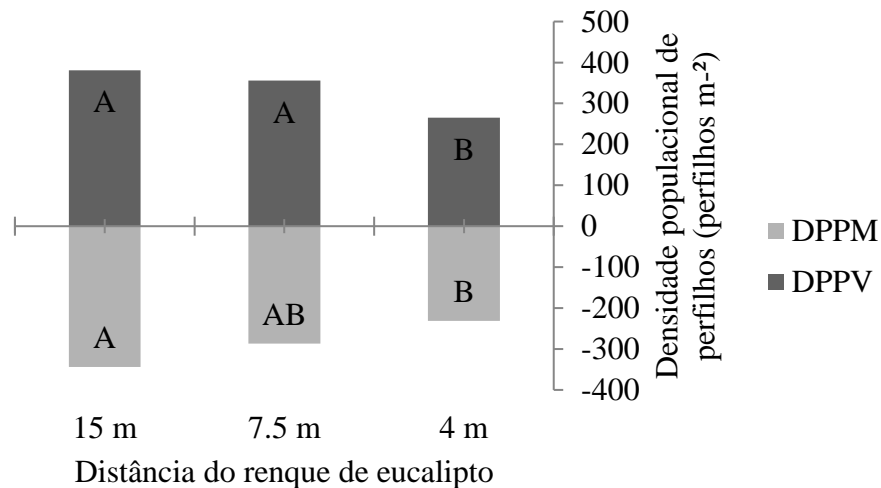


Figura 4. Densidade populacional de perfilhos vivos (DPPV), densidade populacional de perfilhos mortos (DPPM) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril na Amazônia.

Barras de mesma cor com letras diferentes diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

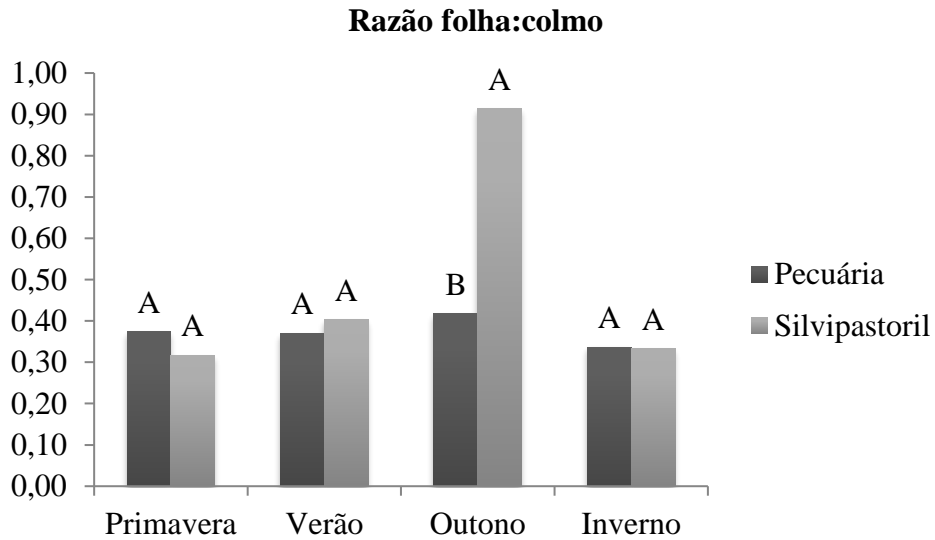


Figura 5. Razão folha:colmo de perfilhos de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistemas pecuária e silvipastoril na Amazônia.

Barras com letras diferentes na mesma estação diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

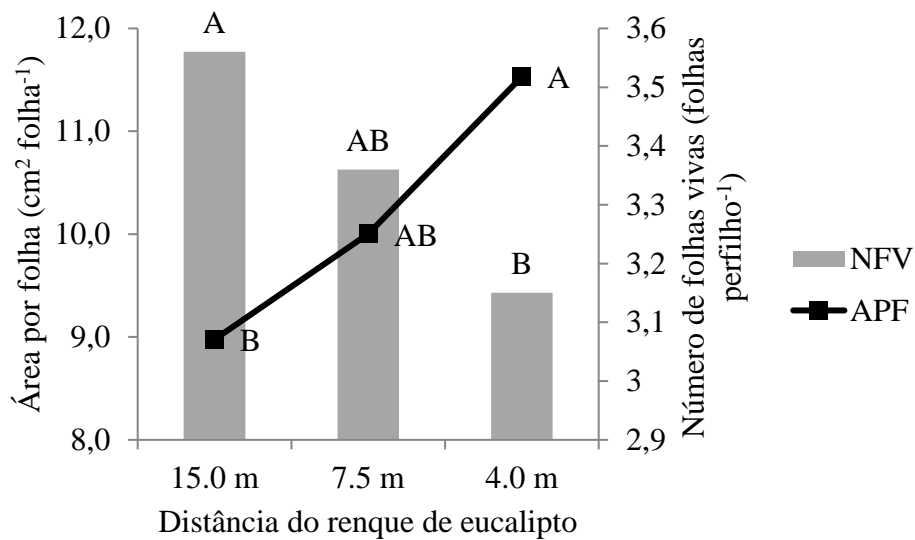


Figura 6. Área por folha (APF) e número de folhas vivas (NFV) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril na Amazônia

Barras com letras diferentes ou letras diferentes na linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Capítulo 2

Características agronômicas e fisiológicas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril no bioma Amazônia¹

H. L. B. do Nascimento^a, B. C. Pedreira^b, D. H. Pereira^c; F. H. M. Chizzotti^a

¹ Artigo submetido para publicação na revista Grass and Forage Science (ID: GFS-2018-0087)

^a Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG 36570-900, Brasil.

^b Embrapa Agrossilvipastoril, Caixa postal 343, Sinop, MT 78550-970, Brasil.

^c Universidade Federal de Mato Grosso, MT 78557-267, Brasil.

Resumo

O sombreamento gerado pela copa das árvores em sistemas silvipastoris pode interferir negativamente nas características fisiológicas e produtivas do pasto. Objetivou-se com esse estudo, avaliar as características agronômicas e fisiológicas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril no bioma Amazônia. Foram avaliados dois sistemas de produção com pastagens de capim-marandu, um sistema silvipastoril com *Eucalyptus urograndis* clone H13 comparado à um sistema de pecuária sem árvores. As árvores foram plantadas no sentido leste-oeste, em renques com linhas triplas, com espaçamento de 3 x 3,5 m entre árvores e de 30 m entre renques. O delineamento foi em blocos completos casualizados, com três repetições, e o período experimental foi de outubro de 2015 a setembro de 2016. Os pastos foram manejados em sistema de lotação contínua, com taxa de lotação variável e meta de altura pré-estabelecida em 30 cm. Os sistemas apresentaram

padrão de resposta semelhante para as características fisiológicas. Não foi verificada diferença para condutância estomática (gs), eficiência de uso da água (EUA), eficiência intrínseca no uso da água (EIUA), transpiração (E), razão de transpiração (E/A) e temperatura da folha (Tleaf), assim como para acúmulo de forragem (AF) e taxa de acúmulo de forragem (TAF). Dentro do sistema silvipastoril verificou-se maior efeito do sombreamento na distância de 4 m, com redução de 34% na PAR em relação a distância de 15 m, o que proporcionou menores E e RT e maior EWA, resultando em menor AF e TAF em relação à distância de 15 m. Pastos de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu estabelecidos em sistemas silvipastoris com *Eucalyptus urograndis* no bioma Amazônia, com espaçamento de 30 metros entre renques de árvores e manejados com lotação contínua, não tem seus padrões fisiológicos afetados, e conseguem manter a produtividade em níveis semelhantes aos do sistema pecuária sem árvores.

Palavras chave: Acúmulo de Forragem, Clorofila, Condutância Estomática, Fotossíntese

1. Introdução

O crescente aumento das preocupações com a mudança do clima e preservação ambiental, frente às atuais práticas de produção utilizadas na indústria e pecuária, tornam urgente a necessidade de desenvolver novos sistemas de produção sustentáveis (Broom, 2017), capazes de garantir alta produtividade e fornecer serviços ecossistêmicos à sociedade. Nesse sentido, os sistemas silvipastoris são uma excelente alternativa, pois a presença de árvores na área pode proporcionar melhorias nas características físicas e químicas do solo, aumentar a retenção de água no solo, reduzir as perdas de água e solo por escoamento

superficial (Zolin et al., 2016), mitigar a emissão de gases do efeito estufa e, ainda, garantir o bem-estar animal (Broom, 2017; Domiciano et al., 2016).

Além desses benefícios, a adoção de sistemas silvipastoris pode proporcionar aumento da renda da propriedade de forma direta, com a comercialização da madeira após o corte das árvores, e de forma indireta, com o recebimento pelos serviços ecossistêmicos gerados, principalmente o sequestro de carbono atmosférico, como já tem sido adotado em alguns países (Raes et al., 2017).

Apesar das vantagens e benefícios proporcionados, se o sistema não for dimensionado e manejado adequadamente, o sombreamento gerado pela copa das árvores pode interferir negativamente nas características fisiológicas e produtivas do pasto. Dessa forma, para funcionar de forma eficiente, as plantas precisam manter o equilíbrio das trocas gasosas do interior e exterior das folhas, maximizando a absorção de CO₂ para assimilação de carbono fotossintético e reduzindo a perda de água pela transpiração (Lawson e Blatt, 2014). Em condições intensas de sombreamento, ocorrem reduções das taxas de fotossíntese, do ponto de saturação luminosa e da condutância estomática (Zhang et al., 2017).

Por outro lado, em pastagens cultivadas à pleno sol, nas regiões de clima tropical, há possibilidade de que em algum momento a disponibilidade de luz exceda a capacidade de utilização da planta, resultando em aumento das perdas de energia por fluorescência e calor (Taiz e Zieger, 2009), o que também prejudica a eficiência fotossintética. Nesse sentido, sistemas silvipastoril, quando dimensionados e manejados corretamente, devem ser capazes de manter a produtividade da forrageira e produção animal em níveis equivalentes aos de sistemas sem árvores. Dessa forma, objetivou-se com esse estudo, avaliar as características agronômicas e fisiológicas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril no bioma Amazônia.

2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado na Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop – MT, Brasil (11°51' S, 55°35' O, 370 m de altitude), e conduzido de acordo com padrões éticos e aprovado pelo Comitê de Ética no Uso Animal (Protocolo n° 008/2015). A área experimental, no bioma Amazônia, apresenta clima Am (clima de monções) de acordo com a classificação de Koppen, com alternância bem definida entre estações chuvosas e seca (Alvares et al., 2013), com temperatura do ar média anual de 25,5 °C, média das mínimas de 20,2 °C e média das máximas de 33,0 °C. A umidade relativa do ar média anual de 70% e precipitação média anual de 2.250 mm (Embrapa, 2017). Os dados climáticos referentes ao período experimental foram obtidos no Posto Meteorológico da Embrapa Agrossilvipastoril, à 500 metros do local do experimento (Figura 1).

A área experimental foi implantada no verão de 2011/2012, em local de solo classificado como Rhodic Hapludox (Ditzler et al., 2017) ou Latossolo Vermelho-Amarelo Eutroferrico na classificação brasileira, em relevo suavemente inclinado. O solo foi coletado na profundidade de 0-10 cm para análises, apresentando a seguinte composição química, respectivamente, para os sistemas pecuária e silvipastoril: P = 6,7 e 6,5 mg kg⁻¹; K = 71,5 e 69,0 mg kg⁻¹; Ca = 1,69 e 1,38 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,78 e 0,55 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca de cátions = 7,78 e 7,16 cmol_c dm⁻³; matéria orgânica = 33,5 e 31,0 g kg⁻¹ e pH (em água) = 5,6 e 5,0. Em dezembro de 2015 foi realizado a adubação com 50 kg N ha⁻¹, 50 kg K₂O ha⁻¹ e 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ nas formas de ureia, cloreto de potássio e superfosfato simples, respectivamente. A textura do solo não varia entre os tratamentos, apresentando 163 g kg⁻¹ de areia grossa, 179 g kg⁻¹ de areia fina, 620 g kg⁻¹ de argila e 38 g kg⁻¹ de silte.

A área total do experimento, com 72 ha, possui 10 arranjos de sistemas integrados e exclusivos em diversos níveis de complexidade, desde os mais simples: lavoura, pecuária e floresta em cultivo exclusivo, até os mais complexos que contemplam os três componentes na mesma área. Essa área tem sido utilizada para estudos de longo prazo com bovinos de corte.

O período experimental foi 14 de outubro de 2015 a 21 de setembro de 2016, compreendendo as estações primavera, verão, outono e inverno. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, com dois sistemas de produção e três repetições com unidade experimental de 2,0 ha e área total de 12 ha. Os sistemas de produção avaliados foram: pecuária com pastagens exclusivas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu; e silvipastoril com pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com renques triplos de árvores de *Eucalyptus urograndis* clone H13 (espaçamento 3,0 m x 3,5 m) espaçados de 30 metros (270 árvores ha⁻¹). Os renques apresentavam orientação leste-oeste e com árvores que possuíam, em média, 18 metros de altura. Para possibilitar uma correta comparação entre os sistemas de produção, os resultados são apresentados por área efetiva de pastagem, semelhante ao que foi adotado no trabalho de Santos et al. (2016). Dessa forma, no sistema silvipastoril, a área efetiva de capim-marandu (excluindo a área com árvores) foi de 1,5 ha.

2.1. Altura do pasto e acúmulo de forragem

Os piquetes foram pastejados por bovinos da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) com peso médio inicial de 335±14,5 kg. O método de pastejo foi o de lotação contínua, com taxa de lotação variável, mantendo-se a altura do dossel em 30 cm (Euclides et al., 2014), admitindo-se variação de até 15% para mais ou para menos. A altura do dossel foi monitorada semanalmente por meio de medições feitas em 50 pontos por piquete. No sistema pecuária, as mensurações foram feitas em pontos aleatórios ao longo de caminhamento em diagonal, e

no sistema silvipastoril foram mensurados 25 pontos na face norte e 25 pontos na face sul do renque, nas distâncias de 3, 9, 15, 21 e 27 m do renque.

A massa de forragem (MF) e acúmulo de forragem (AF) foram quantificados a cada 28 dias, utilizando-se o método da gaiola emparelhada (Martins et al., 2013). Durante o inverno a coleta de forragem acumulada na gaiola foi realizada a cada 56 dias, devido ao crescimento leniente do pasto. As gaiolas de exclusão do pastejo foram instaladas em 12/11/2015 na área experimental, dessa forma, para as avaliações de MF e o AF, os períodos considerados para cada estação do ano foram 12/11 a 21/12/2015 (primavera), 22/12/2015 a 19/03/2016 (verão), 20/03 a 19/06/2016 (outono) e 20/06 a 21/09/2016 (inverno), correspondendo respectivamente à 39, 88, 91 e 93 dias avaliados em cada estação. A taxa de acúmulo de forragem (TAF) foi obtida dividindo-se o AF por cada intervalo de crescimento.

Gaiolas metálicas circulares de exclusão do pastejo (0,62 m² de área e 1,1 m de altura) foram alocadas em quatro pontos aleatórios nos piquetes do sistema pecuária e 12 pontos no sistema silvipastoril, distribuídas sistematicamente 6 na face norte e 6 na face sul do renque central. Em cada face (norte ou sul) foram alocadas duas gaiolas por distância: 15, 7,5 e 4 m do renque central (Figura 2). O corte da forragem foi realizado no nível do solo. Todo o material foi pesado para obtenção da massa fresca, e sub amostras de 200 g foram retiradas e colocadas em estufa de circulação de ar forçada, à 55 °C, até atingir massa constante, com determinação do teor de matéria seca.

2.2. Ambiente luminoso, índice de área foliar e área foliar específica

O ambiente luminoso foi caracterizado por meio do monitoramento mensal da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e projeção de sombra ao longo do dia (8:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 horas). A projeção de sombra foi medida com uma fita métrica nas faces norte e sul (Figura 3) e a radiação foi quantificada com o aparelho analisador de dossel AccuPAR

PAR/LAI Ceptometer, modelo LP 80, marca Decagon Devices®. Esse equipamento também estima o índice de área foliar (IAF). As leituras foram realizadas nos lados norte e sul, nas distâncias de 4,0, 7,5, 11,0 e 15,0 m do renque central de árvores. Foram realizadas leituras em 5 pontos por distância (Figura 2), e em cada ponto foi realizada uma leitura acima e outra abaixo do dossel. Para reduzir a interferência causada pelo auto-sombreamento no interior do dossel sobre o IAF durante as primeiras horas do dia e fim da tarde, foram utilizadas apenas as leituras realizadas as 10:00 e 12:00 horas para estimar o IAF e a interceptação luminosa (IL) (Tabela 1). A IL foi obtida pela diferença entre os valores de RFA registrados acima e abaixo do dossel.

A área foliar específica (AFE) foi obtida por meio da coleta e processamento de perfilhos seguindo a metodologia descrita por Sbrissia e Da Silva (2008). No sistema pecuária foram coletados 50 perfilhos por piquete aleatoriamente e no sistema silvipastoril foi realizada a coleta sistematizada nas faces (norte e sul) e distâncias (4,0, 7,5 e 15,0 m), coletando-se 20 perfilhos em cada ponto. Após a coleta, foi realizada a separação morfológica do material (folha, colmo e material morto). As folhas verdes foram passadas em integrador de área foliar (LI-COR, modelo LI-3100) para obtenção da área foliar (cm²) e em seguida colocadas para secar em estufa à 55 °C até atingir massa constante. Pelo quociente da área foliar e da massa seca de folhas obteve-se a área foliar específica.

2.3. Fotossíntese e índice de clorofila

A fotossíntese foliar foi mensurada usando o sistema portátil de análise de fotossíntese LCi-SD (ADC, BioScientific Ltd., Hoddesdon, UK). As leituras foram tomadas na região mediana da folha mais jovem completamente expandida e a intensidade luminosa na câmara de leitura foi mantida constante com densidade de fluxo fotossintético (PPFD) de 2000 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ usando fonte de luz vermelho/azul (Pedreira et al., 2015). No sistema pecuária,

as leituras foram realizadas em cinco folhas por piquete, enquanto no sistema silvipastoril foram selecionadas três folhas em cada distância de do renque (4.0, 7.5 e 15.0 m em relação ao renque central de eucalipto) nas faces norte e sul, totalizando 18 folhas por unidade experimental. As leituras foram realizadas sempre em dias ensolarados e com pouca nebulosidade, entre às 8:00 e 11:00 horas da manhã. Foram quantificados, a taxa de assimilação de CO₂ (fotossíntese foliar) (A); taxa de transpiração foliar (E); condutância estomática (gs); eficiência de uso da água (EUA), que é obtida pela razão A/E; eficiência no uso intrínseco da água (EIUA), que é obtida pela razão A/gs; a razão de transpiração (TR), que é obtida pela razão E/A e temperatura da folha (Tleaf).

Nas mesmas folhas que foram analisadas as trocas gasosas, o índice de clorofila foi mensurado com o medidor de clorofila ClorofiLOG (FALKER, Porto Alegre, RS, BR) para estimar o índice de clorofila Falker (FCI) para clorofila a, b e total, e a razão clorofila a:b.

2.4. Modelo de assimilação de carbono

A fotossíntese do dossel, foi calculada com base no “IAF de sol e de sombra” proposto por Boote e Jones, (1987), que leva em consideração o coeficiente de extinção luminosa (k) e a reflexão e a transmissão de luz pelo dossel. Dessa forma, o IAF de sol é calculado analiticamente por meio do IAF total e do k (equação 1), e o IAF de sombra é calculado subtraindo-se do IAF total (equação 2):

$$IAF_{sol} = (1/k)[1 - \exp(-k \cdot IAF_{total})], \quad (eq. 1)$$

$$IAF_{somb} = IAF_{total} - IAF_{sol} \quad (eq. 2)$$

A assimilação de CO₂ pelas folhas de sol foi calculada por uma curva de resposta exponencial negativa, na qual a assíntota corresponde a fotossíntese máxima de folhas, a

inclinação inicial representa a eficiência de utilização de luz e a variável de entrada é a irradiância fotossinteticamente ativa absorvida $[k(1 - \sigma)RFA]$, de acordo com a equação 3:

$$F_{sol} = F_{max} \{1 - \exp[- Q_e \times k(1 - \sigma)RFA/F_{max}]\} \quad (\text{eq. 3})$$

em que: F_{max} é a fotossíntese máxima de folhas individuais ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2); Q_e é a eficiência de utilização de luz ($\mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de $\text{CO}_2/\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$); RFA é a radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$); σ é o coeficiente de reflexão e transmissão. A RFA incidente para a fotossíntese de folhas sombreadas, que considera o mesmo k e a mesma eficiência no uso da luz refletida e transmitida por todas as folhas sombreadas, foi determinada pela equação 4:

$$RFA_{somb} = \sigma \times RFA [1 - \exp(- k \times IAF_{somb})]/IAF_{somb} \quad (\text{eq. 4})$$

em que: RFA_{somb} é a radiação fotossinteticamente ativa para folhas de sombra. Assim, a assimilação por folhas de sombra é calculada de maneira an\u00e1loga \u00e0 de folhas de sol, de acordo com a equa\u00e7\u00e3o 5:

$$F_{somb} = F_{max} [1 - \exp(- Q_e \times RFA_{somb}/F_{max})] \quad (\text{eq. 5})$$

em que: F_{somb} \u00e9 a assimila\u00e7\u00e3o de CO_2 por folhas de sombra. Por fim, a assimila\u00e7\u00e3o total do dossel \u00e9 a soma de ambas as categorias de folhas conforme equa\u00e7\u00e3o 6:

$$F_{\text{dos}} = F_{\text{sol}} \times \text{IAF}_{\text{sol}} + F_{\text{somb}} \times \text{IAF}_{\text{somb}} \quad (\text{eq. 6})$$

em que: F_{dos} é a assimilação total CO_2 pelo dossel.

Utilizando os resultados dessas simulações, foram estimadas as eficiências fotossintéticas dos dosséis. Foi assumido um valor de 20% para o coeficiente de reflexão e transmissão de luz no interior do dossel (Pedreira et al., 2015). O coeficiente de extinção de luz (k) foi calculado pela equação $k = - [\log_e(I/I_0)]/\text{IAF}$ (BOOTE; JONES, 1987), de modo que I e I_0 corresponderam a valores de irradiância abaixo e acima da folhagem, respectivamente (Tabela 1). A eficiência de utilização da luz Q_e foi obtida usando regressão não linear pelo procedimento NLIN do software estatístico SAS.

2.5. Análise estatística

Os valores médios de todas as variáveis coletadas no sistema silvipastoril foram obtidos por cálculo de média ponderada, considerando a contribuição de cada ponto de coleta (distâncias dos renques de eucalipto) para a média do sistema, dessa forma as distâncias de 15,0 m, 7,5 m e 4,0 m representaram 50%, 25% e 25% da área respectivamente, nas faces sul e norte. Além disso, para realizar as comparações desejadas, os dados foram agrupados e analisados de duas formas. Uma comparando apenas os sistemas e a outra comparando os lados e distâncias do sistema silvipastoril.

Os dados foram analisados usando método de modelos mistos com estrutura paramétrica na matriz de covariância, com medida repetida no tempo, pelo procedimento MIXED do software estatístico SAS® (Littel et al., 2006). Para escolha da matriz de covariância foi usado o critério de informação de Akaike (Wolfinger et al., 1993). As médias

dos tratamentos foram estimadas pelo “LSMEANS” e a comparação foi realizada usando teste de Tukey com níveis de significância de 5% e 10%.

3. Resultados

O sombreamento gerado pelo eucalipto no sistema silvipastoril causou uma redução média de 19% na RFA no sistema. Ao longo do dia e no decorrer das estações, houve grande variação na projeção de sombra no sistema silvipastoril. Durante a primavera, a maior projeção de sombra foi registrada no início da manhã (8 horas) reduzindo gradativamente ao longo do dia, com projeção de sombra predominantemente na face norte do renque. Nas demais estações, a projeção de sombra foi predominantemente na face sul e o sombreamento aumentou ao longo do dia (Figura 3).

Os sistemas apresentaram acúmulo e taxa de acúmulo de forragem semelhante ($p = 0,5606$ e $0,7402$, respectivamente) (Tabela 2), com valores médios de $12.087 \text{ kg de MS ha}^{-1}$ para AF e $43 \text{ kg de MS kg de MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para TAF. Entre as estações, o maior acúmulo de forragem foi registrado no verão ($p = 0,0001$) e o menor no inverno, com médias de 5743 e $938 \text{ kg de MS kg de MS ha}^{-1}$, respectivamente. A TAF apresentou padrão de resposta semelhante, com maiores taxas registradas durante a primavera e verão ($p < ,0001$) e menor durante o inverno: $65,5$ e $10,0 \text{ kg de MS kg de MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. Não foi verificado efeito de interação sistema*estação para acúmulo de forragem (AF) ou taxa de acúmulo de forragem (TAF). Dentro do sistema silvipastoril, o AF e TAF foram menores na distância de 4 m do renque de árvores em relação à 15 m ($p = 0,0005$ e $p = 0,0004$, respectivamente), com reduções de 24% e 33% , respectivamente (Tabela 3). Não foram verificados efeitos de face do renque ou de interação face*distância para ambas variáveis.

A fotossíntese foliar (A) foi semelhante entre os sistemas ($p = 0,6974$), com média de $17,6 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, porém a fotossíntese de dossel (CP) do sistema silvipastoril foi 18% menor em relação ao sistema pecuária ($p = 0,0026$) (Tabela 2), com médias de 35,2 e $42,7 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Entre as estações, menor fotossíntese foliar e de dossel foram observadas durante o inverno ($p < ,0001$). Dentro do sistema silvipastoril, não foi verificado efeito de face ou interação face*distância para A ou CP (Tabela 3). A fotossíntese foliar também não variou entre distâncias dos renques, entretanto a fotossíntese de dossel apresentou redução ($p < ,0001$), a qual foi de 34% na distância de 4,0 m em relação às distâncias de 7,5 m e 15,0 m.

A condutância estomática (gs), eficiência do uso da água (EUA), eficiência intrínseca no uso da água (EIUA), taxa de transpiração foliar (E), razão de transpiração (E/A) e temperatura da folha (Tleaf) foram semelhantes entre os sistemas ($p = 0,6501$, $p = 0,9809$, $p = 0,8604$, $p = 0,5675$, $p = 0,3360$ e $p = 0,1328$, respectivamente), com médias de $0,177 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $4,67 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $125,5 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $4,06 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $0,246 \text{ mol H}_2\text{O } \mu\text{mol}^{-1} \text{ de CO}_2$ e $39,5 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. Nenhuma dessas variáveis apresentou efeito de interação sistema*estação (Tabela 4). Entre as estações, no geral, apenas durante o inverno o padrão de resposta de algumas variáveis foi alterado. A gs reduziu drasticamente durante o inverno ($p = 0,0156$; -81%), enquanto EIUA e Tleaf foram maiores no inverno ($p = 0,0089$ e $p = 0,0044$, respectivamente) com incrementos de 92,5% e 13,1%, respectivamente. A EUA, E e E/A não apresentaram variação entre as estações ($p = 0,1416$, $p = 0,1749$ e $p = 0,2390$, respectivamente).

Dentro do sistema silvipastoril, a EIUA e gs foram as variáveis que apresentaram menor variação, não apresentando diferença para face ($p = 0,4211$ e $p = 0,3552$, respectivamente) ou distância ($p = 0,3517$ e $p = 0,2913$, respectivamente) (Tabela 5). Por

outro lado, EUA e E foram influenciadas pela face ($p = 0,0067$ e $p = 0,0036$, respectivamente) e distância ($p = 0,0232$ e $p = 0,0747$, respectivamente), apresentando-se como as mais sensíveis às alterações na luminosidade do ambiente. Essas variáveis apresentaram padrão de resposta inverso tanto para face quanto para distância, quando a face sul é comparada à norte, observa-se que houve redução de 7% na EUA e incremento de 16% na E. Com relação às distâncias, observa-se que na distância de 4 m houve incremento de 8% na EUA e redução de 12% na E em relação à distância de 15 m.

A razão de transpiração seguiu padrão de resposta semelhante ao da E, com maior valor na face sul, e com redução da E/A na distância de 4 m em relação à 15 m. A temperatura da folha (Tleaf) apresentou efeito de interação face*estação ($p = 0,0001$), porém, ocorre diferença apenas durante a primavera, quando a Tleaf na face sul foi 11% menor (Tabela 6).

A área foliar específica (AFE) aumentou 10% no sistema silvipastoril em relação ao sistema pecuária ($p = 0,0300$). Entre estações, a AFE foi maior durante o verão em comparação ao outono e inverno (0,0119), com médias de 151 e 126 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, respectivamente. Os índices Falker de Clorofila a (FCI a), b (FCI b) e total, e a razão FCI a:FCI b variaram em função de sistema e estação, mas não houve interação sistema*estação. O sistema silvipastoril apresentou maiores FCI a ($p = 0,0029$), FCI b ($p = 0,0002$) e FCI total ($p = 0,0026$) e menor FCI a:FCI b em relação ao sistema pecuária (Tabela 7), com médias de 32,24, 8,69 e 40,94 para FCI a, FCI b e FCI total, respectivamente. Entre as estações, as diferenças mais expressivas foram observadas durante o inverno, quando houve uma acentuada redução no FCI a ($p < 0,0001$), FCI b ($p = 0,0068$), FCI total ($p = 0,0001$) e aumento da razão FCI a:FCI b ($p = 0,0029$). Dentro do sistema silvipastoril, não foram verificados efeitos de distância ou interação distância*face. A face sul apresentou incrementos

significativos no FCI a (7%, $p = 0,0009$), FCI b (19%, $p = 0,0002$) e FCI total (9%, $p = 0,0012$) e redução no FCI a:FCI b (13%, $p = 0,0006$) em relação à face norte (Tabela 8).

4. Discussão

Em condições de sombreamento, as plantas desenvolvem mecanismos de aclimatação buscando maximizar a eficiência de utilização da radiação para manter níveis adequados de produção de fotoassimilados e suprir a demanda de manutenção e produção de novos tecidos. Essas alterações podem ocorrer em nível fisiológico e bioquímico (ponto de compensação de luz, respiração no escuro, taxa fotossintética), na morfologia e anatomia de folha (massa por área, espessura e tamanho de folhas, densidade estomática), no dossel (taxa de renovação de folhas e ângulo de inclinação foliar) e/ou na planta inteira (razão parte aérea:raiz, estoque de carboidratos, taxa relativa de crescimento) (Valladares e Niinemets, 2008).

A magnitude em que essas alterações ocorrem é determinada pela intensidade de sombreamento e nível de tolerância da planta. No presente estudo, o nível de sombreamento gerado no sistema silvipastoril não comprometeu o acúmulo de forragem. Embora tenha havido redução de 19% da PAR no sistema silvipastoril, o AF e a TAF do capim-marandu mantiveram-se em níveis semelhantes aos do sistema pecuária. O capim-marandu é reconhecido como uma gramínea forrageira de média tolerância ao sombreamento (Andrade et al., 2004; Dias-Filho, 2002), o que lhe confere habilidade para manter a estabilidade do pasto sem perda de produção quando submetida à sombreamento moderado.

A manutenção da produtividade do sistema silvipastoril é reflexo principalmente das taxas de fotossíntese foliar, que foram asseguradas pelos aumentos da AFE e dos índices de clorofila, principalmente FCI b, que tiveram incrementos 10% e 21% respectivamente. A clorofila b atua no fotossistema II absorvendo comprimentos de onda menores (< 680 nm) e

mais energizados (Taiz and Zieger, 2009). Adicionalmente, maior AFE representa maior área para absorver radiação por unidade de carbono investido na construção de tecido foliar (Ballaré and Pierik, 2017), o que permite melhor aproveitamento da radiação, especialmente em ambientes sombreados. O aumento na AFE é resultado do reagrupamento das células do mesófilo, com redução da espessura do parênquima paliçádico, aumento do diâmetro das bainhas do feixe, redução do número e/ou tamanho de células e maior proporção de espaços intercelulares, o que promove redução da resistência à difusão de CO₂ no interior da folha e aumento da eficiência fotossintética (Gobbi et al., 2011; Lichtenthaler et al., 1981; Ward e Woolhouse, 1986). Nessas condições, os cloroplastos aumentam em tamanho e ficam concentrados nas superfícies celulares, paralelamente ao plano da folha e perpendicular à luz incidente, e ainda apresentam maior número de tilacoides por granum (Taiz e Zieger, 2009).

Além das adaptações morfológicas e celulares, o padrão de resposta das demais variáveis fisiológicas (gs, EUA, EIUA, E, E/A e Tleaf) também contribuiu para garantir a manutenção das taxas de fotossíntese foliar do capim-marandu no sistema silvipastoril, pois mesmo com redução da radiação, mantiveram-se em níveis equivalentes aos do sistema pecuária. Essa resposta evidencia os mecanismos fisiológicos de compensação que contribuem para manutenção ou incremento da eficiência fotossintética no sistema silvipastoril.

Entre essas variáveis, a condutância estomática é a que apresenta maior sensibilidade ao ambiente, podendo variar em função da idade da folha, intensidade luminosa, umidade e temperatura, além de interferir diretamente nas demais variáveis citadas, especialmente E e EUA (Knapp, 1993; Knapp e Smith, 1990). Essa sensibilidade deve-se ao mecanismo regulatório de abertura e fechamento estomático, que garante rápida reação da planta aos estímulos do ambiente, como por exemplo, aumentar a condutância estomática para manter

a concentração interna de CO₂ em nível ótimo e elevar as taxas de fotossíntese (Ocheltree et al., 2012), especialmente quando as condições ambientais podem comprometer a assimilação de CO₂.

Entretanto, quando observa-se o padrão de resposta de acúmulo e taxa de acúmulo de forragem nas pastagens do sistema silvipastoril (magnitudes de variação muito próximas), verifica-se maior sensibilidade da gramínea ao sombreamento e forte associação com a PAR. Dessa forma, a redução de 28% na PAR na distância de 4 m em relação as demais distâncias foi acompanhada de redução de 24% no AF e 27% na TAF. Cada 1% de variação na PAR resultou em 0,86% e 0,96% de variação no AF e TAF, respectivamente.

Apesar de não ter sido observada diferença para fotossíntese foliar (A), a redução da E e E/A, e o aumento da EUA registrados na distância de 4 m são indicativos de que a redução do AF nesse ponto pode ser associada a quantidade de CO₂ fixado, pois a taxa de transpiração é regida pelo processo de abertura e fechamento dos estômatos, os quais são responsáveis por controlar toda difusão de gases, ajustando-se tanto ao ambiente interno como externo, e regulando os estímulos para fixação de CO₂ e perda de água (Hetherington e Woodward, 2003; Lawson e Blatt, 2014). Isso estabelece uma forte relação entre a fixação de CO₂ e liberação de vapor d'água por transpiração. Essa relação pode ser melhor compreendida pela dinâmica entre EUA (quantidade de CO₂ fixado por quantidade de água transpirada) e E/A (quantidade de água transpirada por quantidade de CO₂ fixado).

Nesse sentido, o aumento da EUA e redução da E/A verificados na distância de 4 m mostram que a planta foi mais eficiente em fixar CO₂. Entretanto, a redução observada na E, implica em menor quantidade de CO₂ fixado cumulativamente, representando menor produção acumulada de fotoassimilados e menor alocação de biomassa nos tecidos. As respostas estomáticas imediatas às mudanças na diferença de pressão de vapor (DPV)

geralmente são associadas à disponibilidade de água na planta e não à demanda por carbono fotossintético na folha, enquanto as respostas à concentração de CO₂ e radiação são fortemente associadas e correlacionadas com a demanda de CO₂ no mesófilo (Lawson e Blatt, 2014).

A redução do número de folhas por perfilho na distância de 4 m (Capítulo 1) também pode ter contribuído para redução no acúmulo de forragem, pois sob luminosidade reduzida, a fotossíntese depende principalmente da habilidade da folha em captar luz e converter com máxima eficiência de assimilação de carbono do dossel. Nessas condições, a eficiência fotossintética será determinada pelo máximo quantum aparente de assimilação de CO₂ (Pignon et al., 2017), logo, quanto menor a quantidade de folhas, menor a assimilação de CO₂ para produção de fotoassimilados.

Outro fator que justifica essa queda de eficiência fotossintética é a contribuição inexpressiva das folhas da parte inferior do dossel. Mesmo em condições de pleno sol, essas folhas da parte inferior contribuem menos para a assimilação de carbono e são menos eficientes fotosinteticamente, pois utilizam apenas parte da luz não interceptada pela folhagem na parte superior do dossel e/ou transmitidas (Taiz e Zeiger, 2009). No sistema silvipastoril, essa situação é um pouco mais crítica e o nível de contribuição é ainda menor, uma vez que a radiação que chega ao dossel forrageiro já foi parcialmente interceptada pela copa das árvores. Conseqüentemente, a combinação de menor quantidade de folhas em um ambiente com menor disponibilidade e qualidade de luz resulta em menor produção de fotoassimilados e menor produção de tecidos.

Durante a primavera, a projeção de sombra foi maior na face norte do renque, conferindo menor temperatura foliar ao capim em comparação à face sul (Figura 3). Essa redução na temperatura da folha, proporciona menor necessidade de liberação de vapor

d'água para dissipar o excesso de calor (Knapp e Smith, 1990), o que pode justificar a menor transpiração e maior eficiência de uso da água verificados na face norte. Além disso, das 10 às 12 horas não havia projeção de sombra na face sul, e as folhas eram expostas a incidência direta de radiação, o que geralmente leva ao acúmulo excessivo de energia e aquecimento da superfície foliar, podendo ser regulado com o aumento das taxas de transpiração.

No geral, a sombra projetada pela copa das árvores limitou o crescimento da planta na região mais próxima aos renques de árvores (distância de 4 m) onde o sombreamento era mais intenso, causando forte interferência nos atributos produtivos e fisiológicos da forrageira. Além dos efeitos diretos do sombreamento, a zona e exploração do sistema radicular das árvores se concentra nos pontos mais próximos aos renques, gerando uma maior competição por nutrientes. Conforme demonstrado por Marques Filho et al. (2017) que verificaram redução nos teores de magnésio e enxofre na camada superior do solo (0 a 10 cm) quando as coletas foram realizadas com distância inferior a 7,5 m do renque de eucalipto, arranjados em linhas triplas e espaçados de 20 m entre renques.

Entretanto, a redução na produção observada na distância de 4,0 m não foi suficiente para reduzir a média do sistema, que foi compensada pelos maiores AF e TAF obtidos na distância de 15 m. Contudo, para garantir que a produtividade seja mantida ao longo do tempo, é necessário a realização de práticas de manejo do eucalipto como desramas e desbastes para assegurar que o nível de sombreamento não seja limitante a produção de forragem.

5. Conclusão

Pastos de capim marandu em sistemas silvipastoris com linhas triplas de eucalipto e espaçamento de 30 metros entre os renques tem suas características fisiológicas alteradas

com redução na fotossíntese de dossel, porém, conseguem manter o acúmulo e taxa de acúmulo de forragem em níveis semelhantes aos de sistemas sem árvores.

6. Referências

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Andrade, C. M. S. de, Valentim, J. F., Carneiro, J. D. C., & Vaz, F. A. (2004). Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(3), 263–270. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300009>
- Ballaré, C. L., & Pierik, R. (2017). The shade-avoidance syndrome: Multiple signals and ecological consequences. *Plant Cell and Environment*, 40, 2530–2543 <https://doi.org/10.1111/pce.12914>
- Boote, K. J., & Jones, J. W. (1987). Equations to Define Canopy Photosynthesis from Quantum Efficiency, Maximum Leaf Rate, Light Extinction, Leaf Area Index, and Photon Flux Density. In J. Biggins (Ed.), *Progress in Photosynthesis Research: Volume 4 Proceedings of the VIIth International Congress on Photosynthesis Providence, Rhode Island, USA, August 10--15, 1986* (pp. 415–418). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0519-6_85
- Broom, D. M. (2017). *Revista Brasileira de Zootecnia Invited Review Components of sustainable animal production and the use of silvopastoral systems.*

- Dias-Filho, M. B. (2002). Photosynthetic light response of the C₄ grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. *Scientia Agricola*, 59, 65–68.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000100009>
- Ditzler, C., Scheffe, K. and Monger, H. C. (eds. . (2017). *Soil Survey Manual*. USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Domiciano, L. F., Mombach, M. A., Carvalho, P., Da Silva B, N. M. F., Pereira, D. H., Cabral, L. S., ... Pedreira, B. C. (2016). Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. *Animal Production Science*.
<https://doi.org/doi.org/10.1071/AN16351>
- Embrapa. (2017). Estação meteorológica automática. Incompleto?
- Euclides, V. P. B., Montagner, D. B., & Barbosa, R. A. (2014). Manejo do pastejo de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf e de *Panicum maximum* Jacq. v. 61, Suplemento, p. 808-818, nov/dez, 2014.
- Gobbi, K. F., Garcia, R., Ventrella, M. C., Neto, A. F. G., & Rocha, G. C. (2011). Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(7), 1436–1444. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000700006>
- Hetherington, A. M., & Woodward, F. I. (2003). The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*, 424(6951), 901–908.
<https://doi.org/10.1038/nature01843>
- Knapp, A. K. (1993). Gas Exchange Dynamics in C³ and C⁴ Grasses: Consequence of Differences in Stomatal Conductance. *Ecology*, 74(1), 113–123.
<https://doi.org/10.2307/1939506>

- Knapp, A. K., & Smith, W. K. (1990). Stomatal and photosynthetic responses to variable sunlight. *Physiologia Plantarum*, 78(1), 160–165. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1990.tb08731.x>
- Lawson, T., & Blatt, M. R. (2014). Stomatal Size, Speed, and Responsiveness Impact on Photosynthesis and Water Use Efficiency. *Plant Physiology*, 164(4), 1556–1570. <https://doi.org/10.1104/pp.114.237107>
- Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C., Döll, M., Fietz, H. J., Bach, T., Kozel, U., ... Rahmsdorf, U. (1981). Photosynthetic activity, chloroplast ultrastructure, and leaf characteristics of high-light and low-light plants and of sun and shade leaves. *Photosynthesis Research*, 2(2), 115–141. <https://doi.org/10.1007/BF00028752>
- Littell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W., Wolfinger, R. D., & Schabenberger, O. (2006). SAS for mixed models. SAS Institute. Inc., Cary, NC.
- Marques Filho, W. C., Barbosa, G. F., Cardoso, D. L., Ferreira, A. D., Pedrinho, D. R., Bono, J. A. M., ... Frainer, D. M. (2017). Productive sustainability in a silvopastoral system. *Bioscience Journal*, v. 33, n. 1, p. 10-18, Jan./Feb. 2017. <https://doi.org/10.14393/BJ-v33n1a2017-32925>
- Martins, C. D. M., Euclides, V. P. B., Barbosa, R. A., Montagner, D. B., & Miqueloto, T. (2013). Consumo de forragem e desempenho animal em cultivares de *Urochloa humidicola* sob lotação contínua. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(10), 1402–1409. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013001000012>
- Ocheltree, T. W., Nippert, J. B., & Prasad, P. V. V. (2012). Changes in stomatal conductance along grass blades reflect changes in leaf structure. *Plant, Cell and Environment*, 35(6), 1040–1049. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02470.x>

- Pedreira, B. C., Pedreira, C. G. S., & Lara, M. A. S. (2015). Leaf age, leaf blade portion and light intensity as determinants of leaf photosynthesis in *Panicum maximum* Jacq. *Grassland Science*, 61(1), 45–49. <https://doi.org/10.1111/grs.12080>
- Pignon, C. P., Jaiswal, D., McGrath, J. M., & Long, S. P. (2017). Loss of photosynthetic efficiency in the shade. An Achilles heel for the dense modern stands of our most productive C4 crops? *Journal of Experimental Botany*, 68(2), 335–345. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw456>
- Raes, L., Speelman, S., & Aguirre, N. (2017). Farmers' Preferences for PES Contracts to Adopt Silvopastoral Systems in Southern Ecuador, Revealed Through a Choice Experiment. *Environmental Management*, 0–1. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0876-6>
- Santos, D. de C., Guimarães Júnior, R., Vilela, L., Pulrolnik, K., Bufon, V. B., & França, A. F. de S. (2016). Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.026>
- Sbrissia, A. F., & Da Silva, S. C. (2008). Compensação tamanho/densidade populacional de perfilhos em pastos de capim-marandu. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(1), 35–47. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000100005>
- Taiz, L., & Zieger, E. (2009). *Fisiologia Vegetal*. Porto Alegre: Artmed. 819 p. il.
- Valladares, F., & Niinemets, Ü. (2008). Shade Tolerance, a Key Plant Feature of Complex Nature and Consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39(1), 237–257. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173506>
- WARD, D. A., & WOOLHOUSE, H. W. (1986). Comparative effects of light during growth on the photosynthetic properties of NADP-ME type C4 grasses from open and shaded

habitats. II. Photosynthetic enzyme activities and metabolism. *Plant, Cell & Environment*, 9(4), 271–277. <https://doi.org/10.1111/1365-3040.ep11611683>

Wolfinger, R. (1993). Covariance structure selection in general mixed models. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*. <https://doi.org/10.1080/03610919308813143>

Zhang, K., Shi, Z., Wang, J., & Al, E. T. (2017). Photosynthesis and chlorophyll fluorescence reaction to different shade stresses of weak light sensitive maize. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 49(5), 1681–1688.

Zolin, C. A., Paulino, J., Matos, S., Augusto, C., & Magalhães, D. S. (2016). Perda de solo e água sob integração lavoura-floresta e em sucessão soja-milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, 51(1), 1223–1230. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900022>

Anexos

Tabelas

Tabela 1. Índice de Área Foliar (IAF), Interceptação Luminosa (IL) e Coeficiente de extinção de luz (K) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistemas pecuária e silvipastoril na Amazônia

	IAF	IL	K
	m ² m ⁻²	----- % -----	
Sistema			
Pecuária	4,35	86,24	0,50
Silvipastoril	3,27	80,27	0,53
Face			
Norte	3,45	80,40	0,55
Sul	2,77	77,23	0,61
Distância			
15,0 m	3,74	84,63	0,56
7,5 m	3,43	81,67	0,58
4,0 m	2,16	70,16	0,61
Estação			
Primavera	2,10	70,49	0,58
Verão	4,64	87,36	0,45
Outono	4,48	90,35	0,54
Inverno	4,01	84,82	0,50

Tabela 2. Fotossíntese Foliar (A), Fotossíntese de Dossel (FD), Acúmulo de Forragem (AF) e Taxa de Acúmulo de Forragem (TAF) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistemas pecuária e silvipastoril na Amazônia

	Fotossíntese Foliar ---- $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ----	Fotossíntese de Dossel	Acúmulo de Forragem Kg MS ha^{-1}	de Taxa de Acúmulo de Forragem kg MS $\text{ha}^{-1} \text{ dia}$
Sistema				
Pecuária	17,37 a	42,74 a	12185 a	43,3 a
Silvipastoril	17,92 a	35,20 b	11989 a	42,7 a
EPM	0,94	2,05	219	1,20
P-valor	0,6974	0,0026	0,5606	0,7402
Estação				
Primavera	22,52 a	33,83 b	2561 b	66,0 a
Verão	22,10 a	55,97 a	5743 a	65,0 a
Outono	19,92 a	47,19 a	2844 b	31,0 b
Inverno	7,25 b	18,91 c	938 c	10,0 c
EPM	1,38	3,05	187	2,5
P-valor	<,0001	<,0001	0,0001	<,0001

Médias seguidas por letras diferentes na coluna são diferentes pelo teste de Tukey a 5% e probabilidade.

Tabela 3. Fotossíntese Foliar (A), Fotossíntese de Dossel (FD), Acúmulo de Forragem (AF) e Taxa de Acúmulo de Forragem (TAF) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril na Amazônia

	Fotossíntese Foliar ----- $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ -----	Fotossíntese Dossel	de Acúmulo de Forragem kg MS ha^{-1}	de Taxa de Acúmulo de Forragem kg MS $\text{ha}^{-1} \text{ dia}$
Face				
Norte	16,69 a	32,88 a	2795 a	40,3 a
Sul	18,55 a	31,40 a	2980 a	41,2 a
EPM	0,70	1,03	102	1,70
P-valor	0,0733	0,3315	0,2237	0,7053
Distância				
15,0 m	17,61 a	36,27 a	3327 a	48,7 a
7.5 m	18,68 a	36,23 a	2977 b	41,0 b
4.0 m	16,56 a	23,94 b	2358 b	32,6 c
EPM	0,86	1,25	125	2,0
P-valor	0,2561	<,0001	0,0005	0,0004

Médias seguidas por letras diferentes na coluna são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4. Condutância estomática (gs, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência de uso da água (EUA, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência intrínseca de uso da água (EIUA, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração foliar (E, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), razão de transpiração (E/A, $\text{mol H}_2\text{O } \mu\text{mol}^{-1} \text{ CO}_2$) e temperatura da folha (Tleaf, °C) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistemas pecuária e silvipastoril na Amazônia

	gs	EUA	EIUA	E	E/A	Tleaf
Sistema						
Pecuária	0,167 a	4,67 a	124,2 a	4,26 a	0,258 a	40,62 a
Silvipastoril	0,186 a	4,66 a	126,7 a	3,85 a	0,234 a	38,39 a
EPM	0,025	0,58	9,5	0,47	0,024	0,95
P-valor	0,6501	0,9809	0,8604	0,5675	0,3360	0,1328
Estação						
Primavera	0,219 a	5,27 a	110,3 b	4,35 a	0,210 a	38,4 b
Verão	0,275 a	5,19 a	83,90 b	4,30 a	0,195 a	37,1 b
Outono	0,171 ab	4,08 a	111,3 b	4,93 a	0,248 a	39,3 b
Inverno	0,043 b	4,13 a	196,4 a	2,66 a	0,332 a	43,3 a
EPM	0,034	0,62	9,09	0,52	0,037	1,02
P-valor	0,0156	0,1416	0,0089	0,1749	0,2390	0,0044

Médias seguidas por letras diferentes na coluna são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Condutância estomática (gs, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência de uso da água (EUA, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência intrínseca de uso da água (EIUA, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração foliar (E, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e razão de transpiração (E/A, $\text{mol H}_2\text{O } \mu\text{mol}^{-1} \text{ CO}_2$) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril na Amazônia

	gs	EUA	EIUA	E ¹	E/A ¹
Face					
Norte	0,177 a	4,82 a	98,47 a	3,43 b	0,22 b
Sul	0,196 a	4,50 b	102,61 a	3,99 a	0,23 a
EPM	0,025	0,36	6,31	0,34	0,017
P-valor	0,3552	0,0067	0,4211	0,0036	0,0973
Distância					
15,0 m	0,194 a	4,44 b	95,20 a	3,91 a	0,24 a
7.5 m	0,202 a	4,76 a	103,16 a	3,77 ab	0,23 ab
4.0 m	0,164 a	4,78 a	103,26 a	3,43 b	0,22 b
EPM	0,027	0,36	6,77	0,35	0,017
P-valor	0,2913	0,0232	0,3517	0,0747	0,0321

Médias seguidas por letras diferentes na coluna são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.¹Foi considerado a 10% de probabilidade.

Tabela 6. Temperatura da folha (Tleaf, °C) de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistemas pecuária e silvipastoril na Amazônia

	Norte	Sul	EPM	P-valor
Primavera	33,6 Bc	37,4 Aab	1,14	0,0001
Verão	34,0 Ac	35,2 Ac	1,09	
Outono	37,1 Ab	36,7 Abc	1,02	
Inverno	40,0 Aa	38,7 Aa	1,11	
EPM	1,09	1,09		

Médias seguidas por letras diferentes, maiúsculas na linha e minúsculas na mesma coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Área foliar específica (AFE, cm² g⁻¹), Índice Falker de clorofila a (FCIa), índice Falker de clorofila b, índice Falker de clorofila total (FCI total) e razão índice Falker de clorofila a:índice Falker de clorofila b (FCI a:FCI b) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistemas pecuária e silvipastoril na Amazônia

	AFE	FCIa	FCIb	FCI total	FCI a:FCI b
Sistema					
Pecuária	130 b	30,29 b	7,18 b	37,48 b	4,52 a
Silvipastoril	143 a	32,24 a	8,69 a	40,94 a	4,08 b
EPM	3,8	0,308	0,222	0,587	0,112
P-valor	0,0300	0,0029	0,0002	0,0026	0,0193
Estação					
Primavera	151 a	32,51 a	8,34 ab	40,85 a	4,06 b
Verão	146 ab	32,34 a	8,68 a	41,02 a	4,03 b
Outono	118 c	33,41 a	9,02 a	42,42 a	4,08 b
Inverno	129 bc	26,82 b	5,71 b	32,54 b	5,03 a
EPM	5,9	0,665	0,471	1,101	0,164
P-valor	0,0119	<,0001	0,0068	0,0001	0,0029

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna, são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 8. Índice Falker de clorofila a (FCIa), índice Falker de clorofila b, índice Falker de clorofila total (FCI total) e razão índice Falker de clorofila a:índice Falker de clorofila b (FCI a:FCI b) em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril na Amazônia

	FCI a	FCI b	FCI total	FCI a:FCI b
Face				
Norte	31,15 b	7,90 b	39,05 b	4,38 a
Sul	33,27 a	9,40 a	42,67 a	3,81 b
EPM	0,511	0,329	0,982	0,137
P-valor	0,0009	0,0002	0,0012	0,0006
Distâncias				
15,0 m	31,53 a	8,12 a	39,65 a	4,24 a
7,5 m	32,77 a	9,01 a	41,78 a	4,00 a
4,0 m	32,34 a	8,82 a	41,16 a	4,05 a
EPM	0,580	0,360	1,049	0,153
P-valor	0,1968	0,0633	0,1531	0,3295

Médias seguidas por letras diferentes na coluna são diferentes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figuras

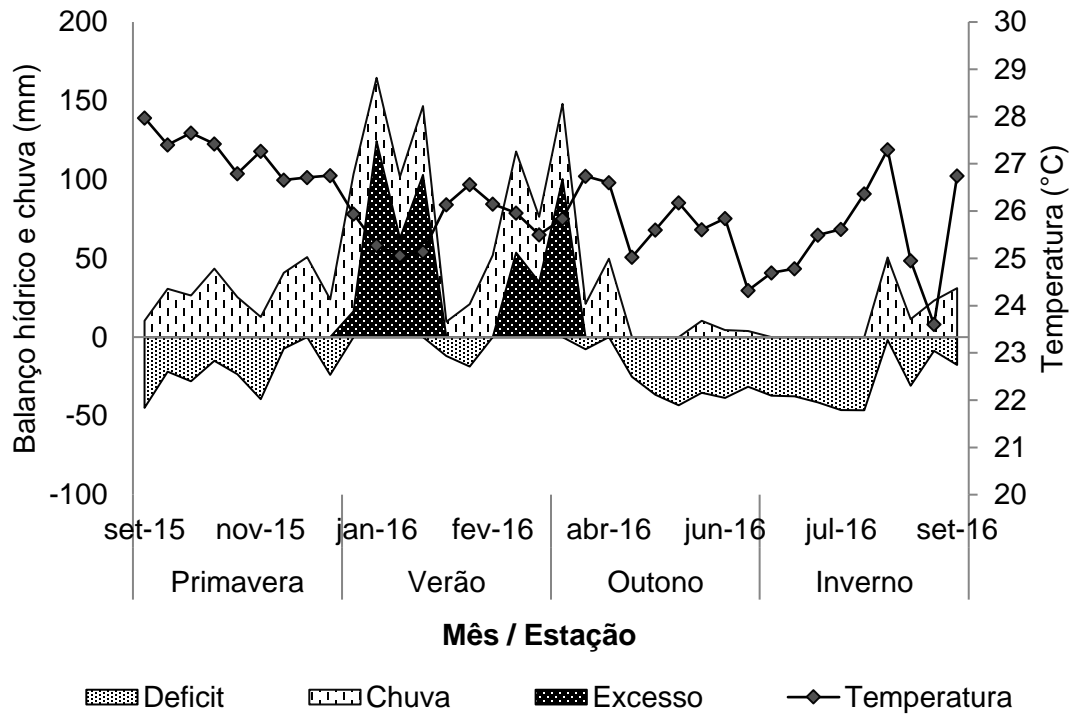


Figura 1. Balanço hídrico, chuva (mm) e temperatura na área experimental de setembro de 2015 a setembro de 2016.

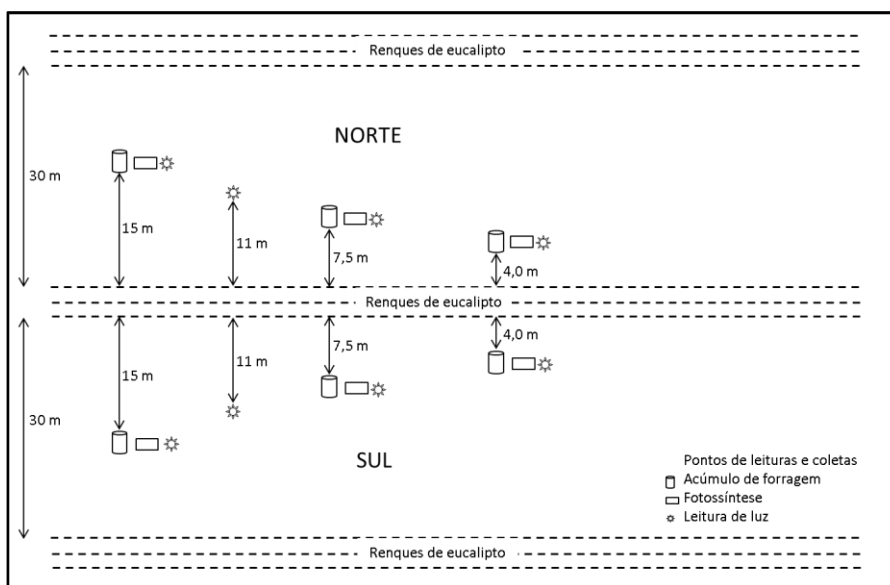


Figura 2. Croqui de uma das unidades experimentais, indicando os pontos de leitura e coletas no sistema silvipastoril.

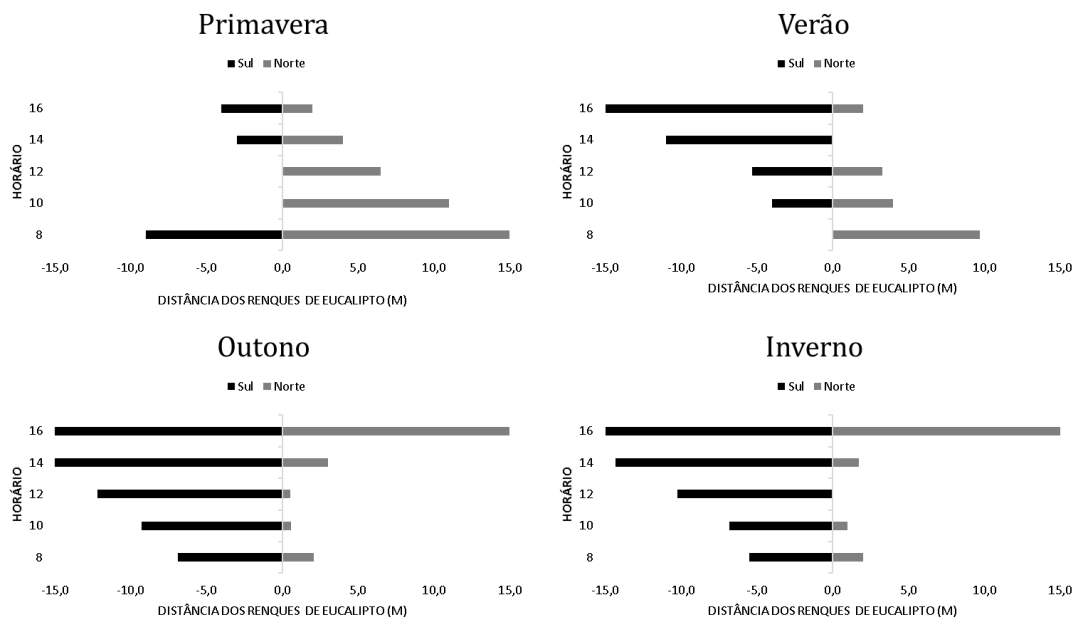


Figura 3. Projeção de sombra durante as estações do ano em sistema silvipastoril na Amazônia.