**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Características estruturais do dossel forrageiro e acúmulo de
forragem de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã submetido a regime de
sombra em sistemas de integração lavoura pecuária floresta**

Jorge Daniel Caballero Mascheroni

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência
Animal e Pastagens

**Piracicaba
2015**

Jorge Daniel Caballero Mascheroni
Engenheiro Agrônomo

**Características estruturais do dossel forrageiro e acúmulo de forragem de
Brachiaria brizantha cv. Piatã submetido a regime de sombra em sistemas de
integração lavoura pecuária floresta**

Orientador:
Prof. Dr. **SILA CARNEIRO DA SILVA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência
Animal e Pastagens

Piracicaba
2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Caballero Mascheroni, Jorge Daniel

Características estruturais do dossel forrageiro e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã submetido a regime de sombra em sistemas de integração lavoura pecuária floresta / Jorge Daniel Caballero Mascheroni. - - Piracicaba, 2015.

91 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2015.

1. Sistemas integrados 2. Estrutura do dossel 3. Sombreamento 4. Acúmulo de forragem I. Título

CDD 633.2
C112c

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICO,

*A mis padres, **Roberto Caballero y Ana Maria Mascheroni**
por ser mis ejemplos de vida, amor y dedicación.*

*A mi flamante esposa, **Jazmin Ramirez**,
por demostrarme su amor incondicional todos los días y
por el apoyo que me brinda en cada objetivo que me propongo alcanzar.*

OFEREÇO,

*A mi patria tan querida, mi cielo guaraní, mi amado **Paraguay!**
Rohayhu, roheka!*

AGRADECIMENTOS

À Organização dos Estados Americanos (OEA) pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade de São Paulo (USP), à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), e ao programa de pós-graduação em “Ciência Animal e Pastagens” pela oportunidade concedida.

A todos os professores da gloriosa ESALQ-USP que de alguma forma colaboraram com minha formação profissional, especialmente, ao Prof. Dr. Sila Carneiro da Silva, pela orientação, paciência, apoio e suporte durante todo o mestrado, com um profissionalismo inquestionável.

À Facultad de Ciencias Agrarias da Universidad Nacional de Asunción (FCA-UNA) pelo permiso concedido para continuar meus estudos.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), por permitir realizar meu experimento de campo em suas instalações, e a todos os pesquisadores, estagiários e amigos da EMBRAPA Agrossilvipastoril pela colaboração no trabalho de campo, especialmente à Dra. Roberta Carnevalli e ao Dr. Ciro Magalhães.

À Profa. Dra. Lilian Techio Pereira e à Dra. Marília Barbosa Chiavegato, pela contribuição nesta dissertação.

Aos amigos e companheiros de trabalho, Eliana Vera Geremia e Steben Crestani, pelo empenho e dedicação ao projeto e pela excelente amizade formada.

Aos colegas e amigos do grupo de estudos em plantas forrageiras (GEPF): Lucas, Guilherme, Aliedson, Kraxa, Cleo, Junior, Marcell, Enrique e Valdson, pela amizade e os excelentes momentos vividos e pelo apoio necessário nestes 2 anos de mestrado.

A toda minha família, minha maior fortaleza, pelo apoio constante, especialmente nos momentos mais difíceis.

**MUITO OBRIGADO!
MUCHAS GRACIAS!**

"Pensar é o trabalho mais difícil que existe. Talvez por isso tão poucos se dediquem a ele".

(Henry Ford)

"A maior recompensa do nosso trabalho não é o que nos pagam por ele, mas aquilo em que ele nos transforma."

(John Ruskin)

"Os ignorantes que acham que sabem tudo privam-se de um dos maiores prazeres da vida: aprender"

(Provérbio popular)

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABELAS	17
1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 O gênero <i>Brachiaria</i>	25
2.1.1 A importância do capim <i>Brachiaria</i> no Brasil	25
2.2.2 <i>Brachiaria brizantha</i> cv Piatã - Origem e características	26
2.2 A estrutura do dossel forrageiro	26
2.2.1 Definição e importância	26
2.2.2 Formação e modificação	27
2.3 Sistemas integrados – Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)	29
2.4 O crescimento de gramíneas forrageiras sob condições de sombra e suas implicações para a produção animal	30
2.4.1 Quantidade e qualidade da luz em sistemas integrados de produção	30
2.4.2 Adaptações morfológicas e estruturais	34
2.4.3 Implicações para o crescimento e desenvolvimento das plantas	35
2.4.4 Umidade do solo e nutrição nitrogenada das plantas	35
2.4.5 Produção, composição morfológica e valor nutritivo da forragem produzida ...	38
3 MAPA CONCEITUAL	41
4 HIPÓTESE	43
5 OBJETIVO	43
6 MATERIAL E MÉTODOS	45
7 RESULTADOS	59
8 DISCUSSÃO	77
9 CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS	83

RESUMO

Características estruturais do dossel forrageiro e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã submetida a regimes de sombra em área de integração lavoura-pecuária-floresta

Sistemas integrados têm sido apontados como alternativas ecologicamente apropriadas para recuperar a produtividade de pastagens tropicais degradadas, gerando benefícios tanto para o meio ambiente como para os animais. Apesar das diversas vantagens atribuídas aos sistemas integrados, existem ainda limitações técnicas que dificultam a otimização do processo produtivo, função da natureza complexa e multidisciplinar das interações entre seus componentes bióticos e abióticos. Existem, portanto, aspectos importantes que podem comprometer a produtividade do sistema, entre eles, as alterações na estrutura do dossel forrageiro e a menor produção de forragem, principalmente pela diminuição da radiação luminosa que chega ao sub-bosque. Partindo da hipótese que o dossel arbóreo irá determinar a quantidade e a qualidade de luz disponível para o sub-bosque e, assim, influenciar a estrutura do dossel forrageiro e a produção de forragem do capim-piatã manejado sob pastejo rotativo utilizando metas de interceptação luminosa (IL) pré-pastejo, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características estruturais e o acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cv Piatã em sistema ILPF de dezembro de 2013 a julho de 2014. O estudo foi desenvolvido por meio de três experimentos realizados de forma concomitante para avaliar três regimes de luz: (1) capim-piatã cultivado em área livre de árvores (pleno sol; PS); (2) sombreamento gerado por meio de fileiras duplas de Eucalipto nas bordaduras dos piquetes (S1); e (3) sombreamento gerado por meio de quatro renques de fileiras triplas de Eucalipto dispostos dentro dos piquetes de forma alternada com porções de pasto (S2). Os regimes de luz S1 e S2 foram divididos em duas faixas de sombra (central e lateral) para descrição da variação da luz dentro dos piquetes e sua implicação sobre o padrão de crescimento das plantas. O período experimental foi dividido em três períodos de avaliação em função do índice pluviométrico registrado. Para estudar a influência das árvores sobre a medição de IL e sua implicação sobre o crescimento das plantas, o regime S2 foi manejado utilizando-se dois métodos de tomada da leitura de referência da luz incidente: leitura dentro (sob a copa das árvores) e fora (luz natural na ausência de árvores) da área experimental. Foram avaliadas as seguintes variáveis-resposta: altura, massa de forragem e sua composição morfológica, índice de área foliar, ângulo da folhagem, interceptação luminosa do dossel forrageiro, umidade do solo, índice de nutrição nitrogenada, taxa de acúmulo e produção de forragem. Os resultados indicaram que pastos sombreados possuíam altura 30% maior que pastos não sombreados, com colmos mais longos e delgados. A massa de forragem em pré-pastejo diminuiu com o aumento do nível de sombreamento e a composição morfológica se manteve praticamente estável entre os regimes luz. As mudanças morfológicas e estruturais resultaram em redução das taxas de acúmulo e da produção de forragem em torno de 50% no regime S1 e de 65% no regime S2 relativamente ao regime PS. O conjunto de resultados obtidos revela claramente que as metas de altura pré-pastejo desenvolvidas com base na condição de 95% de IL em pleno sol não podem e não devem ser utilizadas em sistemas integrados com árvores, especialmente aqueles em que a densidade de árvores é elevada, necessitando que metas específicas sejam produzidas para o manejo do pastejo naquelas condições.

Palavras-chave: Sistemas integrados; Estrutura do dossel; Sombreamento; Acúmulo de forragem.

ABSTRACT

Sward structural characteristics and herbage accumulation in *Brachiaria brizantha* cv. Piatã subjected to shade regimes in a crop-livestock-forest integration area

Integrated production systems, such as the agrosilvopastoral systems, have been considered ecologically adequate alternatives in restoring the productivity of degraded tropical grasslands, as they generate benefits for both the environment and the grazing animals. Despite several advantages associated with the integrated systems, there are technical constraints that limit their optimization, due to the complex and multidisciplinary nature of the interactions between its biotic and abiotic components. In this context, there are important aspects that must be considered and that might influence the system's productivity, including changes in sward structure and herbage production due to decreased light availability under the trees. Based on the hypothesis that in a silvopastoral pastoral system the tree canopy determines the quantity and the quality of the light available for forages growing under the trees, and that this affects sward structural characteristics and herbage accumulation of rotationally grazed Piatã brachiariagrass managed using pre-grazing targets of canopy light interception during regrowth, the objective of this study was to evaluate the structural characteristics and the herbage accumulation of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã in a crop-livestock-forest integration area from December 2013 to July 2014. The study comprised three simultaneous experiments to evaluate three light regimes: (1) Piatã brachiariagrass cultivated in the absence of trees (full natural light; PS); (2) shade produced by a double row of *Eucalyptus* trees on the edges of the paddocks (S1); and (3) shade produced by four triple rows of *Eucalyptus* with pasture in between them (S2). The S1 and S2 light regimes were divided into two shade strips (central and lateral) in order to describe the variation in light availability within the paddocks and its implications to plant growth. The experimental period was divided in three evaluation periods according to rainfall. In order to evaluate the influence of the trees on the measurement of sward canopy light interception and its implications on grass growth, paddocks under the S2 light regime were managed using two methods for taking the reference readings of the incident light: reading inside (under the tree canopy) and outside (full natural light) the experimental area. The following response variables were analyzed: sward height, herbage mass and plant-part composition, sward leaf area index, foliage angle, canopy light interception, soil moisture, grass nitrogen nutrition index, herbage accumulation rates and total herbage yield. The results indicate that shading, results in taller swards (30% increase in sward height pre-grazing) with longer and thinner stems. Pre-grazing herbage mass decreased with increasing shade levels and plant-part composition remained relatively constant across light regimes. Morphological and structural changes resulted in approximately 50 and 65% decrease in herbage accumulation rates and herbage yield under the S1 and S2 light regimes, respectively, in relation to PS. Pre-grazing target sward height recommendations based on the 95% canopy light interception under full light conditions are not suitable for integrated systems with trees, particularly those where tree density is high, emphasizing the need to devise specific management targets for use under those conditions.

Keywords: Integrated systems; Sward structure; Shading; Herbage accumulation.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Modelo conceitual proposto das associações entre as principais variáveis envolvidas em sistemas integrados de produção.....41
- Figura 2 - Índice pluviométrico (mm) e temperaturas máximas e mínimas de agosto de 2013 a julho de 2014 (P, T_{mín} e T_{máx}, respectivamente) e histórica (PH, T_{mín.H} e T_{máx.H} dos últimos 30 anos, respectivamente) para a região de Sinop-MT45
- Figura 3 - Croqui da área experimental com representação das instalações e dos quadrantes contendo os arranjos de árvores caracterizadores dos regimes de luz avaliados46
- Figura 4 - Vista dos pastos nos regimes de luz em pleno sol (A), sombreamento 1 (B), sombreamento 2 (C) e vista aérea da área experimental (D)48
- Figura 5 - Croqui da área experimental apresentando os piquetes selecionados para a avaliação de cada um dos regimes de luz (PS, S1 e S2) e para os dois métodos de leitura da interceptação luminosa pelos pastos para o regime S2.....48
- Figura 6 - Croqui dos piquetes apresentando os três regimes de luz (PS = sem sombra, S1 = duas linhas de árvores em cada borda do piquete, e S2 = quatro renques com três linhas de árvores cada), faixas de sombra em cada piquete e suas respectivas dimensões50
- Figura 7 - Radiação solar líquida (RL), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e umidade relativa do ar (UR) para a região de Sinop-MT, de agosto de 2013 a julho de 201452

- Figura 8 - Croqui da localização da rede de 27 canos de PVC para monitoramento da umidade do solo em cada regime de sombra do experimento (a) e fotografia mostrando a medição do teor de umidade no solo (b)..... 53
- Figura 9 - Representação esquemática da combinação de experimentos para realização da análise relativa aos efeitos de regimes de luz, faixas de sombra e períodos de avaliação..... 57
- Figura 10 - Umidade do solo nas camadas de 0 a 10 cm (A) e de 10 a 20 cm (B) de profundidade durante a época de transição entre o período chuvoso e o período seco do ano (Abril a Julho) para os diferentes regimes de luz avaliados..... 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Transmitância média diária de radiação fotossinteticamente ativa (relativa ao pasto em pleno sol) em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a julho de 2014.....	59
Tabela 2 - Intervalo e número de ciclos de pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014	59
Tabela 3 - Índice de nutrição nitrogenada em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF.....	62
Tabela 4 - Índice de nutrição nitrogenada em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014.....	62
Tabela 5 - Índice de área foliar pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF.....	63
Tabela 6 - Índice de área foliar pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014	63
Tabela 7 - Ângulo da folhagem em pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF	64
Tabela 8 - Ângulo da folhagem em pré-pastejo em capim-piatã em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental.....	64
Tabela 9 - Ângulo da folhagem em pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014	65

Tabela 10 - Altura pré-pastejo (cm) de capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014	66
Tabela 11 - Altura pré-pastejo para interceptação de 95% da luz incidente em capim-piatã em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental.....	66
Tabela 12 - Massa de forragem em pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF	67
Tabela 13 - Massa de forragem em pré-pastejo em capim-piatã em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental	67
Tabela 14 - Porcentagem de colmos na massa de forragem pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF	67
Tabela 15 - Porcentagem de material morto na massa de forragem pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF	68
Tabela 16 - Interceptação luminosa pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF	68
Tabela 17 - Interceptação luminosa pós-pastejo em capim-piatã em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental	69
Tabela 18 - Índice de área foliar pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF	69
Tabela 19 - Índice de área foliar pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014	70

Tabela 20 - Ângulo da folhagem em pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF	70
Tabela 21 - Ângulo da folhagem em pós-pastejo em capim-piatã em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental.....	71
Tabela 22 - Ângulo da folhagem em pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014.....	71
Tabela 23 - Altura pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF	72
Tabela 24 - Altura pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental.....	72
Tabela 25 - Massa de forragem em pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF.....	72
Tabela 26 - Porcentagem de folhas na massa de forragem pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014	73
Tabela 27 - Porcentagem de colmos na massa de forragem pós-pastejo em capim-piatã submetido a diferentes métodos de avaliação de 95% IL e manejadas sob pastejo rotativo em área de ILPF	73
Tabela 28 - Porcentagem de colmos na massa de forragem pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014	74
Tabela 29 - Porcentagem de colmos na massa de forragem pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014	74

Tabela 30 - Taxa de acúmulo de forragem em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF	75
Tabela 31 - Taxa de acúmulo de forragem em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014	75
Tabela 32 - Produção de forragem em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF.....	76

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, que tem o agronegócio como uns dos pilares de sua economia, conta com uma particularidade marcante, a maior parte do rebanho é conduzida e alimentada em áreas de pastagens, fato que possibilita a produção e colheita de alimento de forma prática e econômica, posicionando o país dentre aqueles com os menores custos de produção de carne do mundo (Ferraz e Felício, 2010). Essa e outras vantagens fazem com que o país ocupe o sexto lugar como exportador de leite e uns dos principais produtores e exportadores de carne bovina do mundo (FAO, 2013). No entanto, a pecuária ainda precisa adotar maiores níveis de tecnologia para melhorar os baixos índices produtivos e reprodutivos vigentes, decorrentes, em grande parte, da má utilização e consequente baixa capacidade de suporte das pastagens. Segundo Dias-Filho (2011), a pecuária deve se modernizar e tornar-se mais eficiente no uso da terra, reduzindo o desmatamento e se tornando uma atividade sustentável. O mesmo autor menciona a implantação de sistemas agroflorestais como sendo uma estratégia de recuperação de pastagens degradadas.

Sistemas integrados, tais como os agrossilvipastoris, têm sido apontados como alternativas ecologicamente apropriadas para recuperar a produtividade de áreas tropicais degradadas, gerando benefícios tanto para o meio ambiente como para os animais. Dentre esses benefícios pode-se destacar a intensificação da ciclagem de nutrientes, a conservação do solo e dos recursos hídricos, o aumento da biodiversidade e do conforto animal e a mitigação da emissão de gases do efeito estufa por meio do sequestro de carbono, dentre outros (Balbino et al., 2011). Apesar das diversas vantagens atribuídas aos sistemas integrados, sua adoção é ainda relativamente pequena, ocupando uma área de aproximadamente dois milhões de hectares (Dias-Filho e Ferreira, 2007). Essa discrepância sugere a existência de barreiras e/ou limitações que dificultam a adoção mais ampla de sistemas integrados de produção. Alguns desses impedimentos podem ser de ordem econômica, social e/ou operacional (Dias-Filho e Ferreira, 2007). No entanto, as barreiras técnicas ainda estão longe de ser totalmente superadas. Embora grande número de publicações técnico-científicas sobre o assunto tenha sido publicado na última década, os resultados são

contraditórios, uma vez que na maioria dos casos são gerados a partir de análises simplistas ou que focam unicamente nas vantagens do sistema.

Sistemas integrados são multidisciplinares e complexos por natureza, caracterizados por contrastes e relações competitivas entre seus componentes bióticos. Existem, portanto, aspectos importantes que devem ser considerados e que podem comprometer a produtividade do sistema. Um deles é a tendência de menor produção de forragem, principalmente pela menor radiação luminosa que chega ao sub-bosque. A radiação incidente chega aos estratos inferiores da cobertura vegetal de diferentes formas: diretamente pelas clareiras e pelas margens, como radiação difusa proveniente da reflexão das folhas e da superfície do solo, ou ainda como radiação transmitida pelas folhas (radiação que atravessa as folhas) (Macedo et al., 2010). A modificação na quantidade e qualidade da luz que atinge o estrato herbáceo provoca alterações bioquímicas, fisiológicas e morfológicas nas plantas forrageiras (Dias-Filho, 2002).

No caso de plantas cultivadas a pleno sol, a dinâmica de crescimento em função da quantidade de luz já é conhecida. Para vários cultivares de plantas forrageiras acredita-se que a utilização da meta de 95% de interceptação luminosa como determinante de intervalos de manejo (sob pastejo rotativo) é o mais adequado, pois respeita a ecofisiologia de crescimento das plantas (Da Silva et al., 2009). Uma vez que a maior parte das respostas das plantas em pastagens é mediada por relações de competição por luz, em sistemas integrados a introdução do componente arbóreo modifica o ambiente luminoso. A modificação do ambiente luminoso afeta o microclima sob a copa das árvores e pode interferir em aspectos do crescimento e desenvolvimento das plantas, resultando em alteração na produção e valor nutritivo da forragem. Além disso, a estrutura do dossel forrageiro também é modificada, ou seja, a arquitetura na qual a forragem se faz disponível para o animal, afetando o processo de pastejo e a ingestão de nutrientes (Carvalho et al., 2007, 2009). Apesar de sua importância, informações sobre o efeito da qualidade e quantidade de luz no desenvolvimento de plantas forrageiras é ainda escasso no país, o que limita e compromete o uso eficiente e adequado das pastagens formadas sob árvores.

Com base no exposto, o objetivo geral deste trabalho foi monitorar, analisar e apresentar as variações nas características estruturais e acúmulo de forragem em *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) cv. Piatã (capim-piatã) em

função da qualidade e da quantidade de luz interceptada pelo dossel em diferentes condições de sombreamento em um sistema agrossilvipastoris. Os outros componentes do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) utilizados neste estudo foram lavoura de milho (*Zea mays* L.), recria de novilhas leiteiras e reflorestamento com *Eucalyptus* sp.

.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O gênero *Brachiaria*

2.1.1 A importância do capim *Brachiaria* no Brasil

A taxonomia do gênero é até hoje controversa em decorrência da ampla e contínua variação em características diferenciadoras utilizadas para delimitar espécies e mesmo entre gêneros afins como *Urochloa*, *Eriochloa* e *Panicum*. O gênero *Brachiaria* compreende cerca de 100 espécies de origem principalmente tropical e subtropical africana, das quais somente sete são utilizadas como plantas forrageiras na América tropical (Valle et al., 2010). As braquiárias possuem grande importância na produção de carne e leite no Brasil. Como exemplo, Macedo (2006) mencionou que poucos cultivares comerciais de braquiária estavam disponíveis no país na década de 2000 e respondiam por cerca de 85% do total de sementes de gramíneas forrageiras comercializadas anualmente no Brasil Central, fato indicador da alta vulnerabilidade a pragas e doenças nos mais de 50 milhões de hectares cultivados com braquiária (Macedo, 2005). O baixo número de cultivares disponível e a baixa diversidade genética entre eles representam grande risco a esse recurso genético. Dessa forma, existe uma grande demanda para o desenvolvimento e seleção de novos genótipos com o objetivo de favorecer a diversificação das áreas de pastagens no Brasil (Valle et al., 2010). Novos cultivares e materiais genéticos, por sua vez, geram a necessidade de informações e conhecimento sobre seu crescimento/desenvolvimento e produção de forragem nas diferentes regiões do país e sob as diversas modalidades de sistemas de produção. O capim-piatã seria um desses novos cultivares, devido ao seu elevado potencial produtivo. A busca por informações detalhadas normalmente é deixada em segundo plano relativamente aos esforços e investimentos relacionados com a identificação e produção de novos cultivares, resultando em restrições e dificuldades de utilização dos novos materiais.

2.2.2 *Brachiaria brizantha* cv Piatã - Origem e características

Dentre os cultivares da espécie *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.), o capim-piatã é uma opção forrageira recente, lançada pela Embrapa em 2007 como mais uma alternativa para a diversificação das áreas de pastagens no Brasil (Andrade, 2010). Esse material é resultado de seleção a partir de material coletado na década de 1980, na região de Welega, Etiópia, África. O capim-piatã possui hábito de crescimento ereto e cespitoso, formando touceiras que podem atingir altura de 0,85 a 1,10 m (porte médio), colmos verdes e finos. As bainhas foliares têm pouca pilosidade e a lâmina foliar é glabra. É apropriado para solos de média fertilidade, possuindo elevado potencial de produção de forragem de elevado valor nutritivo em função da elevada porcentagem de folhas (superior a 50%), além de ser capaz de produzir cerca de um terço do total anual (36%) durante o período seco do ano (outono e inverno) (Valle et al., 2007).

O capim-piatã difere dos demais cultivares de *Brachiaria brizantha* quanto às características estruturais do dossel forrageiro, o que pode ser explicado, em parte, por sua época de florescimento (Euclides et al., 2008). Durante o florescimento, ocorre o alongamento do colmo das gramíneas forrageiras. No capim-piatã o florescimento é precoce e por isso seu manejo necessita acompanhamento mais rigoroso para evitar a deterioração da estrutura do dossel forrageiro caracterizada pela diminuição da relação folha/colmo, aumento do perfilhamento aéreo e possível acamamento do pasto (Andrade e Assis, 2010).

2.2 A estrutura do dossel forrageiro

2.2.1 Definição e importância

Laca e Lemaire (2000) definiram a estrutura do dossel forrageiro como sendo o arranjo e a distribuição espacial de uma comunidade de plantas sobre o solo. É uma característica de importância central em sistemas pastoris, uma vez que é determinante tanto das respostas das plantas como dos animais (Da Silva e Carvalho, 2005). Em relação à planta, a estrutura do dossel afeta a interceptação luminosa, o índice de área foliar (IAF), e a altura, composição e distribuição da massa de forragem. Dessa forma, a estrutura do dossel tem grande influência sobre a dinâmica de crescimento das plantas, produção de forragem e aspectos de

competição intra e interespecífica em comunidades vegetais. Em relação ao animal, a estrutura do dossel possui alta correlação com o comportamento ingestivo dos animais em pastejo (massa do bocado, taxa de bocados, taxa de consumo, tempo de pastejo, padrões de deslocamento, busca e apreensão de forragem) e portanto, grande influência sobre o consumo, o desempenho e a produtividade animal. Dessa forma, a estrutura do dossel possui elevado potencial para uso como referência para o balizamento e definição de estratégias adequadas de manejo do pastejo, permitindo a criação de metas de manejo a serem utilizadas no campo (Hodgson e Da Silva, 2002).

2.2.2 Formação e modificação

Sob o enfoque morfogênico, a estrutura do dossel forrageiro é o resultado da dinâmica de crescimento das plantas e de seus componentes no tempo e no espaço (Carvalho et al., 2001). Nesse contexto, a estrutura do dossel forrageiro depende das características morfogênicas das plantas e sua relação com as variáveis de ambiente, uma vez que são reguladas pela disponibilidade de fatores de crescimento no ambiente pastoril como luz, temperatura, água e suprimento de nutrientes dentre outros (Carvalho et al., 2007). De acordo com Chapman e Lemaire (1993), as características morfogênicas do dossel no estágio vegetativo são: (1) aparecimento de folhas, (2) alongamento de folhas, e (3) duração de vida das folhas. Essas características genéticas são condicionadoras das características estruturais do pasto: (1) comprimento final das folhas, (2) densidade populacional de perfilhos, e (3) número de folhas vivas por perfilho (Lemaire e Chapman, 1996). Baseado nesses conhecimentos, aproximadamente uma década depois, foi desenvolvido um novo modelo conceitual para o estudo de plantas forrageiras tropicais por Da Silva e Nascimento Jr. (2006). Nesse modelo foi introduzido o alongamento de colmos como mais uma característica morfogênica que, como consequência, deu origem a mais uma característica estrutural, a relação folha/colmo por perfilho (Sbrissia e Da Silva, 2001). O conjunto dessas características estruturais determina o IAF do pasto, principal variável estrutural do dossel e que possui alta correlação com as respostas tanto de plantas como de animais em pastejo (Lemaire, 2001).

As inter-relações das variáveis estruturais caracterizam a apresentação espacial do alimento ao animal em pastejo e a estrutura do dossel que será disponibilizada ao animal (Carvalho et al., 2007). Como mencionado, o componente animal também está diretamente relacionado com a estrutura, uma vez que durante o pastejo o animal extrai uma fração da parte aérea das plantas, fato que interfere com a população de perfilhos e com o IAF e, conseqüentemente, com a composição morfológica do dossel forrageiro (Wade e Carvalho, 2000; Nabinger e Pontes, 2001). Portanto, a estrutura do dossel é o resultado do balanço entre dois processos: o acúmulo de forragem e sua remoção por meio do pastejo (Da Silva e Corsi, 2003). Nessa ótica, o manejo do pastejo permite oferecer o alimento ao animal numa estrutura que potencialize suas ações de colheita da forragem produzida (Carvalho et al., 2001).

Como forma de adaptação às diversas condições de ambiente e de pastejo, as plantas conseguem modificar suas características fisiológicas no curto prazo e morfológicas no médio e longo prazo (Lemaire e Chapman, 1996) com o intuito de restaurar o equilíbrio entre os processos de crescimento e a manutenção da persistência da planta na comunidade vegetal (Sbrissia et al., 2009). Essas respostas adaptativas são frequentemente referidas como plasticidade fenotípica e não exigem modificações genéticas, podendo, portanto, ser revertidas se as condições ambientais prevaícentes mudarem (Taiz e Zeiger, 2013). Por essa razão, pastagens são normalmente consideradas como sistemas altamente regulados onde qualquer mudança estrutural determina modificações na morfogênese das plantas. As modificações na morfogênese da planta alteram a estrutura do dossel forrageiro (Lemaire, 2001), modificando as respostas dos animais (Carvalho et al., 2001) que, por sua vez, alteram o padrão de modificação da estrutura do dossel, fechando um ciclo dinâmico de interações. Nesse contexto, a estrutura do dossel seria ao mesmo tempo o ponto de origem e de convergência das respostas de plantas e animais, razão pela qual requer atenção especial e deve ser considerada como aspecto central em estudos relacionados com o manejo do pastejo (Da Silva e Carvalho, 2005). Dessa forma, estratégias eficientes de manejo do pastejo devem explorar a plasticidade fenotípica por meio do emprego correto de intensidades de pastejo (combinações entre frequência e severidade de desfolhação), as quais devem estar baseadas em aspectos relacionados com a ecofisiologia e o crescimento das plantas forrageiras e seus limites de utilização.

2.3 Sistemas integrados – Integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)

O sistema de ILPF é um sistema de produção que integra os componentes agrícolas e pecuários em rotação, consórcio ou sucessão, incluindo também o componente florestal na mesma área (Balbino et al., 2012). Os diversos benefícios da integração podem ser classificados e sintetizados como: (1) agronômicos, por meio da recuperação e manutenção das características físicas e químicas do solo; (2) econômicos, com maior rendimento e maior diversificação da produção; (3) ecológicos, por meio da redução dos riscos de erosão e diminuição do uso de agroquímicos como resultado da quebra dos ciclos de pragas e doenças; e (4) sociais, por meio da distribuição mais uniforme da renda e maior geração de empregos (Vilela et al., 2003). Por outro lado, o sistema pode apresentar alguns fatores limitantes como riscos de influências alelopáticas entre os componentes, aumento da competição por nutrientes, água e luz e surgimento de enfermidades pela maior umidade relativa do ar no microclima gerado sob as árvores (Macedo et al., 2000).

De maneira geral, em sistemas agrossilvipastoris, as árvores possibilitam melhor utilização dos perfis da paisagem e da energia solar (Macedo et al., 2010) e, ao mesmo tempo, proporcionam ambiente de conforto térmico aos animais por fornecer sombra e reduzir o estresse calórico (Leme et al., 2005). Além disso, as espécies arbóreas podem também desempenhar outras funções, como o incremento da biodiversidade, da ciclagem de nutrientes e proteção do solo dentre outros serviços ambientais (Oliveira Neto e Paiva, 2010). Em função do crescimento da população mundial, tem ocorrido aumento significativo da demanda por alimentos e por produtos florestais. Neste último caso, as estimativas indicam que até 2030, o consumo mundial de madeira serrada aumentará em aproximadamente 60% (FAO, 2002), fato indicativo da necessidade de encontrar áreas, formas e meios para atender a essas demandas crescentes. Nesse contexto, as áreas de pastagens passam a ser consideradas como uma alternativa bastante interessante. As áreas de pastagens, quando utilizadas também para produção de árvores permitem a intensificação da produção de alimentos de origem animal e de madeira (Porfírio-da-Silva, 2006), favorecendo a recuperação e adequação do uso particularmente das áreas degradadas de pastagens (Dias-Filho, 2011).

Entretanto a disponibilidade de luz para as pastagens é um desafio dentro desse tipo de modalidade de sistema de produção. Nesse aspecto, a espécie e o tamanho das árvores, o formato geométrico de sua copa e o ângulo de incidência do sol, dentre outras características, são fatores determinantes da quantidade e qualidade da luz que chega ao dossel forrageiro no sub-bosque (Alves, 2012). As alterações na radiação luminosa impostas pelas copas das árvores selecionam as espécies de gramíneas capazes de se desenvolver nesses sistemas (Macedo et al., 2010). Para uma exploração bem sucedida no sistema de ILPF é necessário o uso de espécies forrageiras tolerantes ao sombreamento (Garcia et al., 2010) e que apresentem outras características importantes como capacidade produtiva, adaptação às condições edafoclimáticas e de manejo, resistência a pragas e doenças e elevado valor nutritivo (Andrade et al., 2004).

2.4 O crescimento de gramíneas forrageiras sob condições de sombra e suas implicações para a produção animal

2.4.1 Quantidade e qualidade da luz em sistemas integrados de produção

A produção de matéria seca das pastagens está altamente relacionada com a radiação solar incidente, já que esta é praticamente a única fonte de energia para os processos fisiológicos e bioquímicos que ocorrem nos vegetais. A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) correspondente à faixa de comprimento de onda dos 400 aos 700 nm (espectro visível) e refere-se à energia radiante que excita as moléculas de clorofila e dá início ao fluxo de energia requerido para a fotossíntese (Bernardes, 1987). O comprimento de onda e a frequência são inversamente relacionados, de forma que a luz caracterizada por comprimentos de onda curtos (alta frequência) possui alto conteúdo de energia e a luz caracterizada por comprimentos de onda longos (baixa frequência) possui baixo conteúdo de energia. A RFA pode ser expressa em termos de energia ($W\ m^{-2}$) e de *quanta* ($mol\ m^{-2}\ s^{-1}$), sendo esta última forma a mais comumente utilizada (Taiz e Zeiger, 2013). De maneira geral, a produção de matéria seca de uma planta depende da eficiência com que as folhas convertem a energia radiante em energia química por meio da fotossíntese (Assis e Mendez, 1989). Durante esse processo, a planta utiliza a energia solar para oxidar a água, liberando oxigênio e reduzindo o dióxido de

carbono para formar carboidratos, principalmente açúcares. Embora as plantas possuam diversos níveis e formas de controle sobre a fotossíntese, os quais favorecem seu desenvolvimento em condições variáveis de ambiente, existem limites possíveis em termos de aclimação ao sol ou à sombra, a temperaturas altas e baixas e a níveis variáveis de estresse hídrico (Taiz e Zeiger, 2013).

Assim, um dos principais obstáculos no manejo de sistemas silvipastoris é a alteração do ambiente de crescimento das espécies que constituem o sub-bosque, devido a modificações na qualidade e quantidade de luz disponível (Gobbi et al., 2011). Portanto, torna-se de primordial importância o conhecimento de padrões de crescimento e desenvolvimento das plantas sob condições de sombra como ponto de partida para o planejamento e a implementação de estratégias eficientes de manejo da pastagem em sistemas integrados com árvores. Ao longo do seu ciclo de crescimento, as plantas forrageiras acumulam matéria seca de maneira diferenciada. Esses diferentes padrões de crescimento têm implicações importantes sobre a produção de forragem, seu valor nutritivo, consumo e eficiência de colheita pelo animal (Da Silva, 2009). No início da rebrotação, as plantas priorizam a produção de folhas, com o objetivo de refazer sua área foliar e assim maximizar a interceptação da luz incidente. Nesse momento, praticamente não há competição por luz no dossel, mas, na medida em que o processo continua a massa de forragem aumenta e as folhas começam a se sobrepor e sombrear umas às outras. Esse ponto é quando 95% da luz incidente são interceptados. A partir desta condição, ocorre uma inversão de prioridades no dossel forrageiro, e as plantas, em resposta à competição por luz e com o objetivo de colocar novas folhas em condições de luz plena, iniciam o processo de alongamento de colmos (Da Silva et al., 2009).

Nesse contexto, no caso de plantas forrageiras cultivadas sob pleno sol, o ponto ideal para se interromper o período de rebrotação seria quando o dossel forrageiro intercepta 95% da luz incidente (Carnevalli et al., 2006; Barbosa et al., 2007; Pedreira et al., 2007; Da Silva et al., 2009). Essa é a condição que representa a máxima taxa de acúmulo de matéria seca de folhas, menor acúmulo de colmos e de material morto (Da Silva e Nascimento Jr, 2007), elevadas taxas de consumo de forragem (Trindade et al., 2007; Difante et al., 2009a), desempenho e produtividade animal (Gimenez et al., 2011; Difante et al., 2010) e qualidade da forragem consumida (Difante et al., 2009b). No entanto, em qualquer tipo de sistema integrado que possui árvores na área, o sombreamento ocasionado pela projeção das copas

leva à redução na radiação incidente e alteração na composição do espectro da luz (relação vermelho:vermelho distante) (Feldhake, 2001), promovendo alterações no padrão de crescimento das plantas forrageiras que crescem no sub-bosque. Assim, as folhas das árvores absorvem com maior eficiência os comprimentos de onda correspondentes ao azul e vermelho, diminuindo a proporção da RFA que chega ao sub-bosque, o que modifica o ambiente para produção de forragem e causa alterações na morfologia das plantas (Lin et al., 1999). Ainda, o nível de radiação que atinge o estrato herbáceo é dinâmico ao longo da formação dos sistemas agrossilvipastoris. Em densidades de árvores altas, a luz que chega ao sub-bosque declina com o tempo e pode existir até dominância total das copas (Franke e Furtado, 2001). Portanto, os sistemas devem ser bem planejados para garantir luminosidade no sub-bosque durante todo o ciclo.

A dinâmica de crescimento em função da quantidade de luz é conhecida e compreendida para vários cultivares de gramíneas forrageiras, porém as espécies arbóreas presentes nos sistemas agrossilvipastoris, além de influenciarem a quantidade de luz incidente sobre as plantas forrageiras, também influenciam sua qualidade (composição espectral), resultando numa carência de informações no que se refere à contribuição da qualidade da luz sobre as respostas das plantas forrageiras cultivadas em sistemas silvipastoris e como seriam as alterações causadas no padrão conhecido de crescimento sob condições de pleno sol. Sabe-se que os efeitos de qualidade de luz são coordenados pelos fitocromos, que são pigmentos proteicos que absorvem luz mais fortemente nas regiões do vermelho (V, 650-680 nm) e do vermelho-distante (Ve, 710-740 nm) e que possuem papel importante no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo dos vegetais (Taiz e Zeiger, 2013). Da radiação incidente numa camada de folhas do dossel forrageiro, uma fração é refletida, outra fração é absorvida e uma parte é transmitida. Essa fração transmitida, que atingirá folhas posicionadas mais abaixo no dossel (baixeiras), apresenta menor relação V:Ve e pode induzir alterações nos padrões de crescimento das gramíneas no sub-bosque. Taiz e Zeiger (2013) mencionaram que da RFA que é absorvida cerca de 15% são refletidos ou transmitidos pelas folhas verdes e dos outros 85% uma fração expressiva é perdida na forma de calor. Almeida e Mundstock (2001) estudaram o efeito da qualidade da luz sobre o perfilhamento de trigo (*Triticum aestivum* L.) e demonstraram que a melhoria da qualidade da luz, obtida por meio da adição de luz vermelha no ambiente de

crescimento das plantas, resultou em maior emissão de perfilhos e distribuição mais equilibrada da massa seca entre perfilhos e o colmo principal. Já a diminuição da qualidade da luz, obtida por meio da adição de luz vermelha distante, determinou priorização no acúmulo de massa seca no colmo principal, o que resultou em menor emissão de perfilhos e menor massa seca total da planta. Cabe ressaltar que o perfilhamento é uma característica de grande importância para a persistência dos pastos, principalmente de espécies cespitosas que, sob pastejo, são mantidas na maior parte do tempo em sua fase vegetativa de desenvolvimento.

Dias-Filho (2002) indicou que em sistemas silvipastoris o estrato herbáceo pode responder à modificação na qualidade e na intensidade da luz incidente por meio de mecanismos de aclimação, função de sua plasticidade fenotípica. Esta assegura às plantas a capacidade de alterar suas características bioquímicas, fisiológicas e morfológicas em resposta a variações ambientais. Essas adaptações morfológicas das plantas em resposta ao sombreamento têm como principal objetivo evitar a sombra e melhorar a distribuição da radiação ao longo do perfil do dossel (Gomide et al., 2007). De forma geral, plantas sombreadas possuem entrenós mais longos, caules mais finos, folhas mais delgadas e sistema radicular menos desenvolvido que plantas de pleno sol. Essas alterações modificam a composição e a disposição dos componentes morfológicos ao longo do perfil vertical do dossel forrageiro, modificando, portanto, sua estrutura.

Em um trabalho realizado com plantas do gênero *Brachiaria* (*B. brizantha* e *B. humidicola*) cultivadas em pleno sol e sob sombreamento de 70%, Dias-Filho (2000) observou reduções na produção de matéria seca da ordem de 75%. Além disso, as plantas mantidas em ambiente sombreado investiram quantidade significativamente maior de biomassa na parte aérea e menor no sistema radicular (redução de cerca de 90% na massa de raízes). Em outro trabalho com as mesmas espécies e tratamentos, Dias-Filho (2002) revelou que ambas as espécies foram capazes de ajustar seu processo fotossintético ao sombreamento, sendo a capacidade fotossintética e o ponto de compensação da luz menores nas plantas sombreadas de ambas as espécies. Taiz e Zeiger (2013) mencionaram que folhas sombreadas por outras folhas estão expostas a níveis mais baixos de luz e à qualidade de luz diferente em relação às folhas acima delas, razão pela qual apresentam taxas fotossintéticas significativamente menores.

2.4.2 Adaptações morfológicas e estruturais

A sombra induz modificações morfológicas nas plantas, entre as quais se destacam a área, comprimento, espessura e orientação da lamina foliar, comprimento do colmo, número de folhas e relação folha:colmo (Garcia et al., 2013). A luz solar incidente pode atingir uma superfície foliar plana em diversos ângulos dependendo do período do dia e da orientação da folha. O ângulo da folha em relação ao sol determinará a quantidade de luz solar incidente sobre ela. Assim, se o sol incide verticalmente sobre uma folha horizontal esta receberá mais luz solar que uma folha disposta num ângulo mais inclinado. De maneira geral, as folhas no topo do dossel, expostas à luz solar plena, por serem mais curtas, tendem a apresentar ângulos mais inclinados, favorecendo que uma maior quantidade de luz atravesse o dossel. Do mesmo modo, folhas mais próximas da base do dossel, por serem mais longas, possuem um ângulo mais horizontal, favorecendo uma maior interceptação de luz (Taiz e Zeiger, 2013). Dessa forma, o ângulo de inserção foliar regula a penetração da radiação solar no dossel (Bernardes, 1987), razão pela qual plantas com folhas mais planófilas atingem 95% de interceptação luminosa com um IAF menor em relação àquelas com folhas mais erectófilas, condição que resulta em uma menor eficiência de utilização da RFA incidente e, conseqüentemente, em menor produção de forragem.

Sob condições de sombra, as plantas investem maior proporção de fotoassimilados no aumento da área foliar relativamente plantas cultivadas em pleno sol com a finalidade de maximizar a captação e aproveitamento da luz disponível, aumentando, dessa forma, sua eficiência fotossintética e crescimento (Lambers et al., 1998). Assim, plantas que crescem em ambiente sombreado possuem maior área foliar específica, ou seja, menor massa foliar por unidade de área (folhas mais finas), resultado da menor quantidade e tamanho das células do parênquima paliádico por unidade de superfície (Taiz e Zeiger, 2013).

Como mencionado, o alongamento do colmo é uma das adaptações morfológicas mais importantes e notórias que a sombra provoca em sistemas silvopastoris, e que influencia diretamente na altura do dossel, que por sua vez, afeta as respostas de plantas e animais em pastejo (Hodgson, 1985). Haynes (1980) destacou à altura das plantas como a característica mais importante para determinar

a habilidade competitiva pela luz, mencionando que pequenas diferenças em altura podem ter grandes efeitos na competição por luz, sendo que uma diferença mínima seria suficiente para uma folha sobrepor à outra.

2.4.3 Implicações para o crescimento e desenvolvimento das plantas

Em sistemas integrados o crescimento da planta forrageira é influenciado por inúmeros fatores, dentre os quais se destacam o microclima, as práticas de manejo e a dinâmica de competição acima e abaixo do nível do solo. De igual forma, a idade, a densidade de plantio, o espaçamento e a disposição das fileiras de árvores em relação ao sol resultam em expressiva modificação da luminosidade do sub-bosque e afetam de maneira diferente o estabelecimento e o desenvolvimento das espécies forrageiras herbáceas (Garcia et al., 2013). Embora algumas plantas forrageiras que formam o sub-bosque sejam mais tolerantes ao sombreamento do que outras, o efeito geral de diminuição de intensidade de luz é a redução da produtividade do sub-bosque, razão pela qual se torna necessário ajustar as estratégias de manejo do pastejo empregadas, relacionando-as com o ambiente luminoso e a estrutura do dossel forrageiro de maneira a encontrar o balanço ótimo entre fotossíntese, respiração, crescimento e senescência para cada espécie forrageira nos diferentes tipos de sistemas e em determinada condição de ambiente (Sbrissia et al., 2007).

2.4.4 Umidade do solo e nutrição nitrogenada das plantas

De todos os recursos que as plantas necessitam para o seu desenvolvimento, a água é aquele utilizado em maior quantidade e, frequentemente, o mais limitante. No entanto, aproximadamente 97% da água absorvida pelas raízes e transportada pela planta são perdidos pelas superfícies foliares por meio da transpiração. Dessa forma, somente 2% do total de água absorvido permanecem na planta para suprir o crescimento e 1% para ser consumido nas reações bioquímicas da fotossíntese e outros processos metabólicos (Taiz e Zeiger, 2013).

A quantidade total, os padrões de distribuição sazonal da precipitação, e demandas por evapotranspiração afetam a disponibilidade de água e adaptação das espécies forrageiras. Além disso, a água disponível no solo depende da textura do solo e da profundidade e distribuição radicular (Volenec e Nelson, 2003). Entretanto, dentre todos os fatores citados, a evaporação na superfície da folha é o fator mais importante na determinação da demanda por água pelas plantas forrageiras. A evaporação é impulsionada em grande parte pela radiação solar, mas, no entanto, depende também da temperatura e umidade do ar, vento e propriedades da superfície foliar (Gastal e Durand, 2000). Assim, a quantidade de água absorvida e transportada está diretamente relacionada com a quantidade de energia solar interceptada, constituindo-se em um meio eficiente para dissipar o excesso de energia solar recebida pelas folhas e evitar o dessecamento foliar, assegurando temperaturas adequadas para a realização dos processos metabólicos internos da planta (Lemaire, 2001). Dessa forma, sob altas temperaturas, uma grande parte da água absorvida é utilizada para controle interno da temperatura da planta, podendo faltar água para a otimização dos processos internos, e consequentemente, prejudicar a produção de forragem.

O estresse hídrico, além de afetar os processos fisiológicos e as características morfogênicas e estruturais das plantas, pode prejudicar o crescimento das pastagens ao reduzir a absorção de nitrogênio e de outros nutrientes (Rodrigues e Rodrigues, 1987). O processo mais afetado pelo déficit hídrico é a expansão celular (Taiz e Zeiger, 2013). Nesse contexto, a primeira estratégia da planta para se adaptar ao estresse hídrico é um aumento do tamanho das raízes em detrimento da parte aérea, limitando assim sua capacidade de competição por luz, uma vez que diminui a área foliar e, consequentemente, a produtividade (Nabinger, 1997). Desse modo, em algumas circunstâncias, as plantas podem se beneficiar do sombreamento causado pelas plantas vizinhas diminuindo sua demanda por água. Em sistemas agrossilvipastoris, o microclima formado pela presença das árvores pode reduzir a velocidade dos ventos e a radiação solar, criando um regime de temperatura mais ameno, com umidade do ar e do solo mais elevadas, e menores taxas de evapotranspiração (Nicodemo, 2004). O fato pode favorecer a planta forrageira no período final da estação chuvosa e início do período de seca, assegurando maior disponibilidade de água relativamente a sistemas de

cultivo em pleno sol, prolongando, assim, o período de crescimento e diminuindo a sazonalidade da produção forrageira.

O teor de água no solo interfere na absorção e nutrição nitrogenada da planta. O nitrogênio (N) é o elemento mineral que as plantas exigem em maior quantidade, é constituinte de vários componentes da célula vegetal como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos e participa ativamente nos processos de absorção iônica, fotossíntese, respiração, síntese, multiplicação e diferenciação celular (Malavolta, 1981). Por essa razão, o N é geralmente o nutriente mais limitante na agricultura (Barker e Collins, 2003) e sua deficiência inibe rapidamente o crescimento vegetal. A exigência de nitrogênio está relacionada com a velocidade de crescimento, a densidade de plantas, as condições climáticas e os teores dos demais nutrientes no solo (Malavolta, 1981). Não havendo limitação de outro nutriente, é o nitrogênio que determinará a velocidade de crescimento e produção de forragem. Como mencionado acima, a absorção de nitrogênio pelas plantas é automaticamente reduzida em condições de seca, mesmo quando o N está presente no solo, devido principalmente a que a absorção de N pelas raízes requer a presença de água no solo, visto que a água é o principal solvente e agente de transporte dos solutos. Assim, a água controla todo o ciclo biogeoquímico do nitrogênio e, portanto, sua disponibilidade para a produção vegetal. Com a escassez de água no solo, a demanda de N pelas plantas é reduzida, conseqüentemente, a taxa de crescimento diminui (Gonzalez-Dugo et al., 2005). Dessa forma, em sistemas silvipastoris, o fato de as árvores modificarem o microclima e favorecerem um aumento do conteúdo de água no solo (Garcia et al., 2013) pode interferir com a absorção de N pela planta forrageira, e, por conseguinte, afetar seu status de nutrição nitrogenada. Existe, portanto, uma interação entre regime de sombra, umidade do solo e nutrição nitrogenada da planta forrageira em sistemas silvipastoris, razão pela qual a avaliação das plantas a níveis de sombra relativamente ao pleno sol requer acompanhamento do status de nutrição nitrogenada da planta, mesmo quando quantidades iguais de fertilizante nitrogenado são utilizadas.

A nutrição nitrogenada da planta pode ser avaliada por meio do índice de nutrição nitrogenada (INN), proposto por Lemaire et al. (1989). Este é calculado a partir da concentração de nitrogênio na parte aérea da planta e da concentração crítica de nitrogênio (concentração mínima necessária para a máxima produção de

biomassa aérea – Lemaire e Salette, 1984) utilizando a seguinte equação: $INN = (100 * \%N) / (\%Nc)$. Valores acima de 100 são indicativos de nitrogênio fornecido em excesso, entre 80 e 100 são considerados satisfatórios, entre 60 e 80 são considerados inadequados e abaixo de 60 são considerados muito ruins (Lemaire et al., 2008).

De maneira geral, em sistemas agrossilvipastoris, existe uma maior quantidade de material orgânico no solo, devido principalmente aos restos das culturas anteriores e a queda das folhas e galhos das árvores. Nesses sistemas, as modificações nas condições ambientais no solo e na interface solo-serrapilheira exercem efeito positivo sobre as atividades biológicas do solo aumentando a mineralização de N (processo biológico) e disponibilizando maior quantidade de N para as pastagens sob as copas das árvores (Hang et al., 1995). A quantidade e qualidade da serrapilheira varia em função da espécie de árvore utilizada. De forma geral, a serrapilheira de leguminosas arbóreas possui baixa relação carbono/nitrogênio (maior qualidade), o que favorece a atividade dos microrganismos e acelera os processos de decomposição e mineralização dos principais nutrientes do ecossistema (Wilson, 1996). Contrariamente, plantas perenes como o Eucalipto, possuem elevada eficiência de utilização de nutrientes e, portanto, produzem liteira com baixos teores de nutrientes, principalmente, daqueles mais móveis como nitrogênio e potássio (Macedo et al., 2010). Assim, em sistemas integrados onde o *Eucalyptus spp.* é a única espécie de árvore, pode haver problemas de imobilização de N no solo (Andrade, 2001).

2.4.5 Produção, composição morfológica e valor nutritivo da forragem produzida

O acúmulo de forragem é resultado de interações complexas provenientes da combinação de atributos genéticos da espécie com os efeitos do ambiente sobre seus processos fisiológicos e características morfofisiológicas (Da Silva e Pedreira, 1997). O acúmulo de forragem em pastagens envolve a integração de processos que ocorrem em forma concomitante em dois níveis. Primeiramente no plano individual, ou seja, o acúmulo pode ser interpretado como o balanço entre as taxas de crescimento e senescência foliar no perfilho individual durante um

determinado período de tempo. No segundo plano, em nível de população de perfilhos, de tal forma que o balanço líquido global no acúmulo de forragem é dado por flutuações sazonais no número de perfilhos na área, os quais, associado às taxas individuais, resultam nas taxas líquidas de acúmulo de forragem do pasto (Sbrissia et al., 2009).

Assim, durante todo o período de crescimento, as plantas passam por fases que se caracterizam por investimentos em estruturas vegetativas ou reprodutivas, aéreas ou subterrâneas. Em cada fase a natureza da produção das plantas apresenta diferentes proporções de folhas, colmos, inflorescência e material morto no perfil do dossel. Dessa forma, a composição da estrutura da planta é alterada ao longo do tempo (Carvalho et al., 2001).

Em gramíneas de clima tropical, durante a fase de desenvolvimento vegetativo, o componente colmo tem importância significativa sobre a estrutura do dossel forrageiro e o acúmulo de forragem (Sbrissia e Da Silva, 2001). Durante a fase reprodutiva, ocorre um aumento nas taxas de alongamento de colmo, semelhante às observadas durante crescimento em condições de alta competição por luz, indicando o colmo como um forte dreno de fotoassimilados sob essas condições (Taiz e Zeiger, 2013). O componente colmo contribui negativamente no valor nutritivo da forragem (Trindade et al., 2007; Difante et al., 2009b), dificulta o rebaixamento do dossel até a altura desejável (Carnevalli et al., 2006) e interfere no consumo de forragem pelos animais e no posterior processo de rebrota dos pastos (Carvalho et al., 2009). Durante o processo de crescimento, o componente folha, uma vez que possui um tempo de vida limitado, se não for consumido, entra em processo de senescência e posterior morte. Semelhantemente, os perfilhos jovens podem ter uma morte “prematura” devido ao processo de auto-desbaste como consequência da alta competição por luz (Sbrissia e Da Silva, 2008). Dessa forma, esses componentes dão origem ao material morto, que se acumula nos extratos inferiores do dossel, aumentando a densidade volumétrica da forragem e provocando alterações no ambiente luminoso no interior do dossel. (Carvalho et al., 2009).

De forma geral, em sistemas silvipastoris, o sombreamento tem um efeito mais intenso sobre a produção de matéria seca da forragem do que sobre a qualidade da mesma (Souza et al., 2007; Paulino et al., 2014). Com relação aos componentes morfológicos, o colmo e o tamanho das folhas aumentam de tamanho e existe uma tendência na redução do material morto do componente herbáceo

(Castro et al., 1999). Em termos de valor nutritivo, ainda existem resultados contrastantes, principalmente para os valores de FDN, FDA, lignina e digestibilidade, possivelmente, devido a diferentes metodologias de coleta e análise utilizada em diferentes estudos. No entanto, na maioria dos estudos, o sombreamento aumenta os teores de proteína bruta (Lin et al., 2001; Paciullo et al., 2007), e diminui a concentração de carboidratos na parede celular, devido à diminuição de fotoassimilados para a formação da parede celular secundária (Kephart e Buxton, 1993). O conhecimento da disponibilidade desses nutrientes (compostos nitrogenados e energia) é de fundamental importância para definição de dietas à base de forragem, já que pode afetar o consumo de matéria seca e o desempenho animal.

Com base no exposto, fica clara a necessidade de estudos que possam explicar a dinâmica das respostas das plantas forrageiras em sistemas integrados, onde a competição por radiação solar é dinâmica e complexa, aliada ao grande número de interações possíveis entre os componentes bióticos e os fatores de clima e solo. Essas informações podem contribuir para que os sistemas integrados possam ser melhor explorados, aumentando o potencial produtivo do sistema como um todo e mantendo o equilíbrio entre seus componentes, tornando-se dessa forma um sistema sustentável em longo prazo.

3 MAPA CONCEITUAL

O presente modelo conceitual (Figura 1) foi elaborado com o propósito de relacionar e associar as principais variáveis que atuam no processo de produção e utilização de forragem em um sistema de ILPF.

Figura 1 - Modelo conceitual proposto das associações entre as principais variáveis envolvidas em sistemas integrados de produção

4 HIPOTESE

A produção e características estruturais da *Brachiaria brizantha* cv. Piatã serão modificadas em função das diferentes quantidades e qualidades de luz que são interceptadas pelo dossel nas diferentes condições de sombreamento existentes em um sistema agrossilvipastoril.

5 OBJETIVO

- Descrever o ambiente luminoso em pastos de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã em sistema ILPF com *Eucalyptus*
- Quantificar, caracterizar e comparar as diferenças produtivas e estruturais da *Brachiaria brizantha* cv. Piatã em pastos de segundo ano de cultivo após cultura anual submetidos a regimes de sombra impostos por arranjos de árvores de *Eucalyptus* em sistema ILPF
- Quantificar o nível de umidade do solo ao longo do tempo para comparar o comportamento da água nos diferentes regimes de sombra do sistema ILPF
- Avaliar a condição nutricional da planta utilizando o INN nos diferentes regimes de sombra do sistema ILPF

6 MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área e tratamentos experimentais

O estudo foi realizado em área pertencente à Embrapa Agrossilvipastoril, em Sinop, MT (latitude 11° 51' 43" Sul, longitude 55° 35' 27" Oeste e 384 m de altitude). A área experimental possui 50 ha e encontra-se assentada sobre um latossolo vermelho-amarelo de relevo plano. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical com estação seca definida e precipitação média anual de 1815 mm. Os dados climatológicos foram coletados na estação meteorológica da Embrapa Agrossilvipastoril e são apresentados na Figura 2, juntamente com os valores históricos obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para os últimos 30 anos.

Figura 2 - Índice pluviométrico (mm) e temperaturas máximas e mínimas de agosto de 2013 a julho de 2014 (P, Tmín e Tmáx, respectivamente) e histórica (PH, Tmín.H e Tmáx.H dos últimos 30 anos, respectivamente) para a região de Sinop-MT

O solo foi classificado como argiloso, apresentando 283 g kg⁻¹ de areia, 123 g kg⁻¹ de silte e 594 g kg⁻¹ de argila. Após correção e adubação, realizadas previamente à implantação do sistema, a análise de solo apresentou o seguinte resultado: pH (água) = 5,8; MO = 29,5 g dm⁻³; P_(Mehlich) = 14,3 mg dm⁻³; K_(Mehlich) = 71,5 mg dm⁻³; Ca = 2,5 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,7 cmol_c dm⁻³; Al = 0,2 cmol_c dm⁻³; S = 3,3 cmol_c dm⁻³; V = 51%.

Do total de 50 ha, 10 ha estão destinados às instalações para cria e recria de novilhas leiteiras, ordenha, curral e galpões de armazenamento de alimentos, sendo os 40 ha restantes divididos em quadrantes de 10 ha cada (Figura 3), os quais foram divididos em três faixas correspondentes a três regimes de luz: ausência total de árvores (pleno sol - PS); presença de árvores em linhas duplas localizadas nas bordas laterais das faixas (espaçamento entre árvores 2 m na linha e 3 m entre linhas - S1); linhas triplas de árvores nas laterais e também no interior da área (espaçamento 2 m na linha e 3 m entre linhas - S2). Por se tratar de uma base experimental destinada à avaliação de longo prazo de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), a estrutura física foi estabelecida em 2010 e vem sendo mantida como concebida, variando ao longo do tempo apenas a utilização das áreas entre renques de árvores com a rotação entre lavoura anual e pastagem. Os regimes de luz estão dispostos nos quadrantes, de forma que todos os anos são mantidos 10 ha de lavoura de 1º ano, 10 ha de lavoura de 2º ano, 10 ha de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Piatã (capim-piatã) de 1º ano e 10 ha de pastagem de 2º ano, realizando assim ciclos de dois anos de pastagem e dois anos de culturas agrícolas (um ano com milho/*Brachiaria ruziziensis* para ensilagem e safrinha de feijão caupi, outro ano com milho/capim-piatã semeado nas entrelinhas).

Figura 3 - Croqui da área experimental com representação das instalações e dos quadrantes contendo os arranjos de árvores caracterizadores dos regimes de luz avaliados

O eucalipto (*Eucalyptus urophilla* x *E. grandis* clone H13) foi a espécie arbórea utilizada. Sua implantação foi realizada por ocasião da fase de lavoura de 1º ano, ocorrida no início de 2011. Em 2014, durante o período experimental deste trabalho, os renques de eucalipto apresentavam altura média de 16 m. O

experimento relativo à avaliação da planta forrageira começou a ser manejado com animais a partir de outubro de 2012 como forma de preparar e adaptar o pasto de primeiro ano para as avaliações no ano seguinte, uma vez que o capim-piatã é semeado na entrelinha do milho e disponibilizado para uso animal somente após a colheita do milho para ensilagem. Até novembro de 2013 os pastos foram manejados da forma que seriam utilizados durante o período experimental, ou seja, sob pastejo rotativo utilizando como critério de entrada dos animais nos piquetes a condição de 95% de interceptação da luz incidente e como de saída a altura de 50% da altura de entrada.

Arranjo do experimento com o capim-piatã e controle experimental

As avaliações relacionadas com as respostas do capim-piatã foram realizadas exclusivamente em pastos de 2º ano de cultivo entre dezembro de 2013 a julho de 2014. A área, representada por um quadrante de 10 ha, possuía os três regimes de luz (Figura 4) criados conforme os arranjos de árvores descritos acima (PS, S1 e S2). As linhas de plantio das árvores foram ordenadas no sentido Leste-Oeste. A área total disponível entre os renques de árvores para lavoura/pasto possuía tamanhos iguais em todos os regimes de luz. Contudo, em função da presença e do arranjo das árvores nos tratamentos de sombra (S1 e S2), o *layout* foi diferente para cada regime de luz. Além dos espaços entre as linhas de árvores, não foram consideradas para o cômputo da área disponível para lavoura/pasto as margens da espécie arbórea (1,5 m de cada lado da linha de árvores), resultando em faixas de 49 m de largura para o regime PS; 59 m de largura total e 49 m de área útil entre os renques laterais para o regime S1 (densidade de 181 árvores/ha e 89% de área útil para plantio); e 84 m de largura total e 49 m de área útil entre renques de árvores para o regime S2 (4 renques de 6 m de largura somada a área periférica de cada renque de 1,5 m) (densidade de 718 árvores/ha e 61% de área útil para plantio). Cada faixa de área útil foi dividida em 10 piquetes, os quais foram utilizados para manter os grupos de animais em cada uma das condições de luz durante todo o período experimental (Figura 5).

Figura 4 - Vista dos pastos nos regimes de luz em pleno sol (A), sombreamento 1 (B), sombreamento 2 (C) e vista aérea da área experimental (D)

Figura 5 - Croqui da área experimental apresentando os piquetes selecionados para a avaliação de cada um dos regimes de luz (PS, S1 e S2) e para os dois métodos de leitura da interceptação luminosa pelos pastos para o regime S2

Durante o período experimental foi realizada adubação com 100 kg/ha de nitrogênio na forma de ureia divididos em três aplicações: dezembro de 2013, janeiro e março de 2014. O manejo dos pastos foi comum para todos os regimes de luz avaliados e realizado por meio do método de pastejo rotativo utilizando como meta de entrada dos animais nos piquetes a condição de 95% de interceptação da luz incidente (IL) e como de saída altura não inferior a 50% da altura de entrada (Carvalho et al., 2009; Fonseca et al., 2012). O pastejo foi realizado por novilhas cruzadas das raças Gir e Holandês Preto e Branco.

O monitoramento da interceptação luminosa para a entrada dos animais nos piquetes foi realizado de duas maneiras: (1) tomando-se como leitura de referência a luz incidente sobre o dossel do pasto (abaixo do dossel das árvores) para todos os regimes de luz (leitura “dentro” das faixas úteis), e (2) tomando-se como leitura de referência a luz incidente acima do dossel das árvores (leitura “fora” das faixas úteis, em campo aberto), somente no regime de luz S2 (Figura 4). Do total de 10 piquetes disponíveis para cada regime de luz, três foram utilizados como repetições de campo para as avaliações das respostas da planta forrageira objeto deste estudo. Foram escolhidos os piquetes mais representativos das condições de pasto existentes para cada regime de luz no momento do início do experimento em novembro de 2013 (avaliação visual da altura e massa de forragem). Dessa forma, foram utilizados três piquetes para os regimes PS, S1 e S2 e outros três dentro de S2 em função da variação no método de leitura da IL (dentro e fora da área útil) (Figura 5).

Junto ao arranjo experimental, e em função de a distância em relação às linhas de árvores interferir na quantidade e qualidade de luz com potenciais efeitos sobre as respostas das plantas dentro da área útil disponível ao longo do ano, os piquetes amostrais dos regimes S1 e S2 foram subdivididos em três faixas (“faixas de sombra”), duas laterais, vizinhas às linhas de árvores, e uma central, posicionada entre as laterais e com a maior incidência de luz. As faixas laterais possuíam 4 m de largura contados a partir da margem de 1,5 m da linha de árvores. Como o regime de luz S1 possuía uma largura útil de 49 m, a soma das duas faixas laterais correspondeu a 8 m, restando 41 m caracterizados como faixa central. Para o regime de luz S2, que possuía quatro porções de pasto localizadas entre as linhas triplas de árvores com dimensão de 12 m cada, foi utilizada para avaliação a porção

central, assumindo-se ser ela a menos influenciada pelas “bordaduras”. Nesse caso, as faixas laterais totalizaram 8 m, restando uma faixa central de 4 m (Figura 6).

Figura 6 - Croqui dos piquetes apresentando os três regimes de luz (PS = sem sombra, S1 = duas linhas de árvores em cada borda do piquete, e S2 = quatro renques com três linhas de árvores cada), faixas de sombra em cada piquete e suas respectivas dimensões

Em função do *layout* da área experimental, o estudo foi realizado na forma de três experimentos conduzidos de forma concomitante de dezembro de 2013 a julho de 2014:

- Experimento 1 – realizado na área do regime PS, contendo somente a faixa de sombra central;
- Experimento 2 – realizado na área do regime S1, contendo as faixas de sombra central e lateral;
- Experimento 3 – realizado na área do regime S2, contendo as faixas de sombra central e lateral, utilizando os diferentes métodos de avaliação de IL.

Avaliações

O período experimental foi dividido em três épocas tomando-se por base a precipitação pluviométrica ocorrida (Figura 2) da seguinte forma: Período 1 - dezembro de 2013, janeiro e fevereiro de 2014; Período 2 - março e abril de 2014; e Período 3 - maio e junho de 2014. As amostragens foram realizadas considerando-se os diferentes regimes de luz (PS, S1 e S2), as faixas de sombra nos regimes S1 e S2 (central e lateral) e os dois métodos de avaliação de IL no regime S2 (dentro e fora), conforme descrito no *layout* experimental apresentado acima (Figura 5). A coleta e tabulação dos dados foram realizadas até o momento em que as taxas de acúmulo de forragem eram tão baixas que os pastos não tinham mais condições de

alcançar a meta de 95% de IL para entrada dos animais nos piquetes, fato que ocorreu no início do mês de julho de 2014.

Avaliação do ambiente luminoso

As avaliações meteorológicas, incluindo a disponibilidade de radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA) e de radiação solar líquida (RL) (Figura 7), foram realizadas utilizando-se estações meteorológicas automáticas equipadas com sensores de radiação PAR e saldo radiômetros, respectivamente, acoplados a sistemas automáticos de aquisição de dados (*dataloggers*). Estes foram programados para realizar leituras a cada 5 segundos (com médias a cada 15 min e a cada hora) além de fornecer os valores absolutos (totais) diários com o objetivo de permitir avaliação contínua das diferentes condições de densidade de fluxo de radiação. As estações foram dispostas da seguinte forma:

- Regime de luz PS: uma estação no meio do piquete central;
- Regime de luz S1: quatro estações, sendo uma posicionada abaixo do renque de árvores, outra no centro do piquete e as demais dispostas entre a estação central e as duas linhas duplas de árvores da borda;
- Regime de luz S2: cinco estações, sendo duas posicionadas abaixo do segundo e terceiro renques (linhas triplas) de árvores, e três estações dispostas na área de pasto, equidistantes uma da outra.
- Controle: uma única estação posicionada em área aberta, plana e gramada, localizada a aproximadamente 500 m da área experimental.

Figura 7 - Radiação solar líquida (RL), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e umidade relativa do ar (UR) para a região de Sinop-MT, de agosto de 2013 a julho de 2014

Umidade do solo

As avaliações de umidade do solo foram realizadas a partir do monitoramento do teor de água no solo por meio de sondas de capacitância, marca DIVINER, modelo 2000® (Sentek, Austrália). O aparelho portátil é composto de uma sonda FDR (*Frequency Domain Reflectometry*) conectada a uma unidade de visualização de dados (*display*). O método baseia-se na medição da constante dielétrica ou capacitância da matriz do solo (ar, água, solo), a qual é relacionada com a umidade volumétrica do solo (Paltineanu & Starr, 1997). As leituras são coletadas através das paredes de tubos de PVC instalados previamente. Dessa forma, previamente ao início das leituras, 27 tubos foram distribuídos e instalados conforme a localização das nove estações meteorológicas distribuídas na área experimental (3 tubos no regime PS, 3 tubos em cada uma das faixas de sombra nos regimes S1 e S2, e 3 tubos embaixo das linhas duplas e triplas de eucaliptos) (Figura 8). As leituras foram realizadas em intervalos de três dias a cada 10 cm de profundidade desde o início da transição do período de chuvas para o período de seca (1 de abril; meados do P2) até o final do experimento.

Figura 8 - Croqui da localização da rede de 27 canos de PVC para monitoramento da umidade do solo em cada regime de sombra do experimento (a) e fotografia mostrando a medição do teor de umidade no solo (b)

Interceptação luminosa e ângulo da folhagem do dossel forrageiro

As avaliações de interceptação luminosa e ângulo da folhagem nos piquetes foram realizadas antes e após cada pastejo utilizando-se um ceptômetro analisador de dossel marca LI-COR modelo LAI 2200. As leituras foram realizadas de acordo com a largura das faixas de sombra (centrais e laterais) de cada regime de luz, tomando-se uma medida de referência (acima do dossel) para cada 10 medidas tomadas no nível do solo (abaixo do dossel). Dessa forma, para o regime PS foram realizadas 40 medições; para o regime S1 foram realizadas 40 medições na faixa central e outras 40 nas faixas laterais; e para o regime S2 foram realizadas 20 medições na faixa central e outras 40 nas faixas laterais. O número total de leituras por faixa de sombra dentro de cada piquete foi tomado de forma casualizada ao longo de uma linha em formato de “W” utilizada durante todos os procedimentos de amostragem. No momento da tomada das leituras no nível do solo, o ceptômetro era posicionado no ponto médio da distância entre touceiras. O valor de IL e de ângulo da folhagem do piquete era calculado na forma de média ponderada utilizando-se como fator de ponderação a largura de cada faixa de sombra. As avaliações de IL e de ângulo da folhagem foram realizadas sempre nas primeiras horas da manhã. As leituras de referência, tomadas acima do dossel, foram sempre realizadas no centro dos piquetes e abaixo do dossel arbóreo para o método “dentro”. Para o método

“fora”, no regime S2, a leitura de referência era tomada externamente aos piquetes, de forma que não havia interferência do dossel arbóreo sobre a luz incidente.

O monitoramento da IL dos piquetes era realizado semanalmente após cada pastejo até que se atingisse valor próximo a 90%, ponto a partir do qual o monitoramento passava a ser realizado a cada dois dias como forma de assegurar que a meta de 95% de IL fosse atingida com precisão. Ao atingir 95% de IL eram realizadas as avaliações experimentais que antecedia a entrada dos animais nos piquetes.

Altura do dossel

As avaliações de altura do dossel forrageiro foram realizadas utilizando-se bastão graduado em centímetros. As leituras foram realizadas de maneira idêntica àquela utilizada para as avaliações de IL, inclusive com o mesmo número de pontos de amostragem. O valor tomado como leitura em cada ponto de avaliação era o que melhor descrevia a condição do pasto nos 20 a 30 cm no entorno do bastão medidor. Durante o pastejo, medições de altura eram tomadas para garantir que o rebaixamento do dossel não ultrapassasse a meta de 50% da altura de entrada para a retirada dos animais dos piquetes. Após a saída dos animais, uma última avaliação de altura era feita para determinar a altura pós-pastejo realizada.

Massa de forragem, composição morfológica e índice de área foliar

As avaliações de composição botânica e morfológica da massa de forragem foram realizadas a partir de amostras colhidas utilizando-se armações metálicas de 0,25 m² (0,35 x 0,71 m) em pré e em pós-pastejo. Foram colhidas duas amostras por unidade experimental (regime de luz x método de avaliação de IL; Figura 4) em locais representativos da condição média dos piquetes no momento da amostragem (avaliação visual da altura e massa de forragem). A forragem foi cortada a 3 cm da superfície do solo utilizando-se tesourão, e as amostras levadas para laboratório onde foram sub-amostradas. Dessa forma, em cada ciclo de pastejo foram coletados dois pontos para o regime PS e seis pontos para os regimes S1 e S2 (dois pontos na faixa central e dois em cada uma das faixas laterais). As amostras foram pesadas e sub-amostradas em três frações. Uma sub-amostra foi

pesada e colocada para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante e os resultados utilizados para calcular o teor de matéria seca da forragem. Outra foi utilizada para separação manual dos componentes morfológicos folha (lâminas foliares), colmo (colmo + bainhas) e material morto e determinação do índice de área foliar (IAF) e outra para a determinação da concentração de nitrogênio em laboratório. Os componentes morfológicos foram acondicionados em sacos de papel devidamente identificados e levados a estufa de circulação forçada de ar para secagem a 65°C até massa constante. A partir dos valores de peso para cada componente foi calculada a composição morfológica da massa de forragem. A massa de forragem (kg ha^{-1}) foi estimada a partir da relação entre peso total da amostra e área de amostragem da armação metálica utilizando-se o respectivo teor de matéria seca da sub-amostra e o acúmulo de forragem calculado a partir da diferença entre a massa de forragem pré e pós-pastejo ('t Mannetje, 2000) para cada ciclo de pastejo. As taxas de acúmulo de forragem foram calculadas dividindo-se o acúmulo de forragem pelo intervalo de pastejo.

O índice de área foliar (IAF) foi determinado utilizando-se as mesmas sub-amostras das avaliações de composição morfológica. Após a separação dos componentes morfológicos, as folhas foram passadas em aparelho integrador de área foliar marca LI-COR modelo LI-3100C antes de serem colocadas para secar em estufa. A partir dos valores de massa seca de folhas da sub-amostra e da leitura gerada de área foliar do aparelho foi calculada a relação entre massa seca de folhas e área foliar. Essa relação foi utilizada para se determinar a área foliar da amostra da qual a sub-amostra havia sido retirada. Os valores de IAF foram calculados a partir do quociente entre a área foliar da amostra e a área correspondente de amostragem.

Índice de nutrição nitrogenada

O índice de nutrição nitrogenada (INN) foi calculado utilizando-se os valores de massa de forragem pré-pastejo e a concentração de nitrogênio da forragem. Durante os procedimentos de amostragem e sub-amostragem para determinação da massa de forragem em pré-pastejo descritos acima, uma sub-amostra foi separada para análise da concentração de nitrogênio em laboratório. Após secagem, estas foram moídas em moinho de faca tipo Willey com peneira de 1

mm de malha em preparação para a quantificação química da concentração de nitrogênio. As análises foram realizadas por combustão via seca da amostra a 1400 °C utilizando-se o sistema Leco FP 528 (LECO CORPORATION, St. JOSEPH, MI, EUA).

A partir dos dados de massa de forragem pré-pastejo e concentração de nitrogênio na massa de forragem determinou-se a percentagem de nitrogênio crítico (%Nc) para cada ciclo de pastejo utilizando-se a equação $\%Nc = aW^{-b}$, proposta por Lemaire e Salette (1984). Os valores utilizados para os coeficiente “a” e “b” foram 3,6 e 0,34, respectivamente, conforme sugerido por Duru et al. (1997) para gramíneas forrageiras tropicais. A partir dos valores de concentração de N na forragem e de %Nc calculou-se o INN para cada regime de luz e faixa de sombra utilizando-se a equação $INN = (100 * \%N) / (\%Nc)$ (Lemaire et al., 1989). Logo, foi realizada uma média das repetições e calculado o INN para cada faixa de sombra e período.

Análise dos dados

A análise dos dados foi realizada utilizando-se a técnica de análise de experimentos combinados. Dessa forma, o número de repetições correspondeu ao número de piquetes de amostragem (três) e as causas de variação estudadas foram: regime de luz (PS, S1 e S2), faixa de sombra (central e lateral), método de avaliação de IL (dentro e fora) e período de avaliação (1, 2 e 3). A avaliação de cada uma das causas de variação foi feita combinando-se experimentos, utilizando os pontos e características comuns entre eles. Dessa forma, os efeitos de regime de luz e de período de avaliação, que são comuns aos três regimes de luz (experimentos), permitem que sejam realizadas comparações junto à faixa central, comum a todos eles. O efeito de faixa de sombra (central e lateral) é comum aos regimes de luz S1 e S2, e o efeito de método de avaliação de IL foi avaliado somente sob o regime de luz S2.

Figura 9 - Representação esquemática da combinação de experimentos para realização da análise relativa aos efeitos de regimes de luz, faixas de sombra e períodos de avaliação

Os dados foram analisados utilizando-se o PROC MIXED do pacote estatístico SAS, sob modelos lineares mistos com medidas repetidas e usando a metodologia REML (máxima verossimilhança restrita). Os efeitos de piquete (unidade experimental) foram considerados aleatórios juntamente com o erro experimental e todas as demais causas de variação e suas interações foram consideradas como efeitos fixos.

O modelo matemático utilizado foi o seguinte:

$$y_{ijklm} = \mu + S_i + F_{(i)j} + M_{(ij)k} + \omega_{(ijk)m} + P_{(ijk)l} + FP_{(ijk)l} + MP_{(ijk)l} + \varepsilon_{(ijkl)m}$$

Onde:

- y_{ijklm} é a resposta medida/mensurada;
- μ , S_i , $F_{(i)j}$ e $M_{(ij)k}$ são os parâmetros fixos, associados respectivamente à média geral, ao fator regime de sol ($i=1, 2, 3$), ao fator faixa de sombra ($j=1,2$) e ao fator método de avaliação de IL ($k=1,2$);
- $\omega_{(ijk)m}$ é o erro aleatório associado ao piquete $\omega_{(ijk)m} \sim N(0; \sigma_w^2)$
- $P_{(ijk)l}$, $FP_{(ijk)l}$ e $MP_{(ijk)l}$ são os parâmetros fixos, associados ao fator período de avaliação ($l=1,2,3$), à interação entre faixa de sombra e período de avaliação e à interação entre método de avaliação de IL e período de avaliação, respectivamente;
- ε_{ijklm} é o efeito aleatório do erro experimental, $\varepsilon_{ijklm} \sim NID(0; \sigma_e^2)$

Devido ao agrupamento e análise conjunta de dados experimentais oriundos de diferentes experimentos foi averiguada a possibilidade de heteroscedasticidade de variâncias entre os mesmos para cada variável estudada.

Na presença de variâncias heterogêneas estas foram consideradas, mas, quando possível, foram agrupadas sob variâncias homogêneas. Além disto, devido à condição de medidas repetidas, foi identificada a melhor estrutura de covariância, também para cada variável estudada, e aquela com menor valor de BIC (critério bayesiano de Schwarz (BIC; LITTEL; NATARAJAN; PENDERGAST, 2000) foi escolhida dentre as seguintes opções: compound symmetric (CS), first-order autoregressive (AR(1)), heterogeneous first-order autoregressive (ARH(1)), first-order autoregressive moving-average (ARMA(1,1)) unstructured (UN), Huynh-Feldt (HF), toeplitz (TOEP), heterogeneous toeplitz (TOEPH) and standard variance components (VC). A correção dos graus de liberdade foi feita utilizando-se o método de Kenward e Rogers (1997). As médias dos tratamentos foram obtidas com o comando LSMEANS e as comparações entre elas, quando adequadas, realizadas pelo teste “t” de Student e probabilidade de erro de 5%. Em caso de interações importantes ($P < 0,05$), foram realizados os desdobramentos correspondentes.

7 RESULTADOS

Características gerais e controle experimental

Os arranjos das árvores utilizados para gerar os regimes de luz S1 e S2 resultaram em redução de 18,1 e 55,0% da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em relação ao regime PS, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 - Transmitância média diária¹ de radiação fotossinteticamente ativa (relativa ao pasto em pleno sol) em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a julho de 2014

Regimes de luz	Período de avaliação			Média
	1	2	3	
	(%)			
Pleno sol (PS)	100	100	100	100
Sombreamento (S1)	83,1	82,8	79,9	81,9
Sombreamento (S2)	47,0	49,2	38,8	45,0

¹Transmitância = RFA do regime de luz/RFA em pleno sol.

O intervalo e o número de ciclos de pastejo não foram submetidos a análise de variância. Apenas estatística descritiva foi utilizada para a apresentação dos resultados. De forma geral, a medida que o nível de sombreamento aumentou ocorreu aumento do intervalo de pastejo e redução no número de ciclos de pastejo (Tabela 2).

Tabela 2 - Intervalo e número de ciclos de pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014

Regime de Luz	Intervalo (dias)	Número de ciclos de pastejo
PS	23	9
S1	26	8
S2 (Fora)	28	7
S2 (Dentro)	35	6

De forma análoga, os dados de umidade do solo não foram submetidos a análise de variância, sendo apresentados somente por meio de estatística descritiva. Os dados são expressos em umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e mostram, de maneira geral, que a umidade se manteve entre os limites de capacidade de campo (CC) e

50% da CC seguindo uma curva descendente, característica da época de transição entre o período chuvoso e o período seco do ano para todos os regimes de sombra, com pequena variação entre eles. A camada de solo de 0 a 10 cm de profundidade (Figura 10-A) apresentou valores de umidade numericamente maiores que a camada de 10 a 20 cm de profundidade (Figura 10-B) ao longo do período experimental. Em ambas as camadas, maiores valores se observam nas faixas de sombra centrais, relativamente as laterais, principalmente na época mais seca. Na camada de 10 a 20 cm, o S2-central registrou valores maiores e mais estáveis ao longo do período de avaliação.

Figura 10 - Umidade do solo nas camadas de 0 a 10 cm (A) e de 10 a 20 cm (B) de profundidade durante a época de transição entre o período chuvoso e o período seco do ano (Abril a Julho) para os diferentes regimes de luz avaliados

O índice de nutrição nitrogenada variou com o regime de luz, faixa de sombra e período de avaliação. Maiores valores foram registrados nos pastos submetidos ao regime S2 relativamente ao S1, com valores intermediários para o regime PS. Houve diferença entre faixa de sombra central e lateral somente para o regime S2, com

maiores valores registrados para a faixa central (Tabela 3). Com relação ao período de avaliação, houve redução do INN ao longo do experimento, com menores valores registrados no período 3, exceto para a faixa lateral do regime S2, que manteve valores estáveis ao longo de todo o período experimental (Tabela 4).

Tabela 3 - Índice de nutrição nitrogenada em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de Luz		
	PS	S1	S2
Central	71,3ab	60,5bA	74,5aA
Lateral	NA	61,1aA	65,3aB
EPM	3,06	3,06	2,16

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 4 - Índice de nutrição nitrogenada em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
1	78,9A (2,79)	68,2A (2,79)	64,1A (2,79)	71,8B (1,97)	64,4A (1,97)
2	81,7A (5,27)	65,5A (5,27)	68,2A (5,27)	82,9A (3,73)	69,0A (3,73)
3	53,4B (5,11)	47,9B (5,11)	51,1B (5,11)	68,9B (3,61)	62,6A (3,61)

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si ($P>0,05$). Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

Características do dossel forrageiro em pré-pastejo

A interceptação luminosa foi utilizada como variável controle do experimento, razão pela qual não foi submetida a análise de variância e apenas estatística descritiva foi utilizada para a apresentação dos resultados. Os valores efetivos de IL medidos foram $95,4 \pm 0,8$; $95,5 \pm 0,9$ e $94,7 \pm 1,1\%$ para os regimes de luz PS, S1 e S2, respectivamente.

O índice de área foliar variou com o regime de luz, faixa de sombra e período de avaliação. Maiores valores foram registrados nos pastos submetidos ao regime

de luz PS (em relação às médias das faixas central e lateral de S1 e S2) e na faixa central relativamente à lateral para os regimes de luz S1 e S2 (Tabela 5). Com relação ao período de avaliação, maiores valores foram registrados no período 2 relativamente ao 3, com valores intermediários durante o período 1, exceto para a faixa central do regime S1, cujos valores permaneceram estáveis ao longo de todo o período experimental (Tabela 6).

Tabela 5 - Índice de área foliar pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de luz		
	PS	S1	S2
Central	3,70a	3,24aA	3,25aA
Lateral	NA	2,74aB	2,48aB
EPM	0,235	0,130	0,135

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 6 - Índice de área foliar pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
1	4,08A	3,59A	2,84AB	3,25AB	2,48AB
2	4,22A	3,13A	3,17A	3,66A	2,97A
3	2,78B	2,98A	2,19B	2,83B	1,98B
EPM	0,408	0,225	0,225	0,233	0,233

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média.

O ângulo da folhagem variou com a faixa de sombra, método de avaliação de IL e período de avaliação. Houve diferença entre faixas de sombra somente para o regime de luz S2, com maiores valores registrados para a faixa central relativamente à lateral (Tabela 7). Para o método de avaliação, maiores valores foram registrados quando as leituras de referência da radiação incidente foram tomadas do lado de

fora relativamente ao lado de dentro da área experimental (Tabela 8). Com relação ao período de avaliação, maiores valores foram registrados no período 3 relativamente aos períodos 1 e 2, os quais não diferiram entre si, exceto para a faixa central do regime de luz S2, cujos valores permaneceram estáveis durante todo o experimento (Tabela 9).

Tabela 7 - Ângulo da folhagem em pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejado sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de Luz		
	PS	S1	S2
	(Graus)		
Central	50,4	51,3A	51,6A
Lateral	NA	50,7A	47,4B
EPM	1,15	1,15	0,81

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 8 - Ângulo da folhagem em pré-pastejo em capim-piatã em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental

Faixa de sombra	Método de avaliação de IL		EPM
	Dentro	Fora	
	(Graus)		
Central	47,8b	55,5a	1,15
Lateral	43,7b	51,0a	

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média.

Tabela 9 - Ângulo da folhagem em pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
		(Graus)			
1	48,5B (1,61)	49,5B (1,61)	49,2B (1,61)	52,0A (1,14)	46,1B (1,14)
2	48,5B (2,54)	49,3B (2,54)	48,2B (2,54)	50,3A (1,79)	45,8B (1,79)
3	54,2A (1,12)	55,2A (1,12)	54,7A (1,12)	52,6A (0,79)	50,1A (0,79)

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si ($P>0,05$). Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

A altura do dossel forrageiro variou com o regime de luz, método de avaliação de IL e com a interação faixa de sombra x período de avaliação. Maiores valores foram registrados nos pastos submetidos ao regime de luz S2 relativamente a S1 e PS. No período 3 houve diferença entre faixas de sombra para o regime S2, com maiores valores registrados para a faixa central relativamente à lateral (Tabela 10). Em relação ao método de avaliação de IL, maiores valores foram registrados quando a leitura de referência da radiação incidente foi tomada dentro da área experimental, independente da faixa de sombra (Tabela 11).

Tabela 10 - Altura pré-pastejo (cm) de capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014

Faixa de sombra	Regime de luz		
	PS	S1	S2
(cm)			
Período 1			
Central	35,0 b	37,8 bA	51,1 aA
Lateral	NA	36,9 b A	48,8 aA
Período 2			
Central	33,6 b	33,5 bA	45,6 aA
Lateral	NA	36,1 bA	45,7 aA
Período 3			
Central	30,1 b	32,3 bA	54,7 aA
Lateral	NA	35,1 bA	43,0 aB
EPM	1,86	1,86	1,32

Dentro de período de avaliação, médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 11 - Altura pré-pastejo para interceptação de 95% da luz incidente em capim-piatã em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental

Faixa de sombra	Método de avaliação de IL		EPM
	Dentro	Fora	
	(cm)		
Central	56,6a	44,3b	1,18
Lateral	49,4a	42,2b	

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média.

A massa de forragem variou com o regime de luz, faixa de sombra e método de avaliação de IL. Houve redução da massa de forragem com o aumento da intensidade de sombreamento, com maiores valores registrados nos pastos submetidos ao regime de luz PS relativamente a S1 e S2. Entre os tratamentos S1 e S2, maiores valores foram registrados nas faixas centrais relativamente às laterais (Tabela 12). Com relação ao método de avaliação de IL, maiores valores foram registrados quando as leituras de referência da radiação incidente foram tomadas do lado de dentro da área experimental somente para a faixa central (Tabela 13).

Tabela 12 - Massa de forragem em pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de Luz		
	PS	S1	S2
(kg/ha de MS)			
Central	5370a	4680bA	3460cA
Lateral	NA	3210aB	2820bB
EPM	128	128	90

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 13 - Massa de forragem em pré-pastejo em capim-piatã em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental

Fora da área experimental			
Faixa de sombra	Método de avaliação de IL		EPM
	Dentro	Fora	
(kg/ha de MS)			
Central	3750a	3160b	128
Lateral	2970a	2680a	

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM = erro padrão da média.

A porcentagem de folhas na massa de forragem não variou com nenhuma das causas de variação estudadas (regime de luz, faixa de sombra, período de avaliação e método de avaliação de IL), e correspondeu a um valor médio de $42,7 \pm 0,66\%$. A porcentagem de colmos variou apenas com o regime de luz, com maiores valores registrados para o regime S2 relativamente a PS e S1, os quais não diferiram entre si (Tabela 14). A porcentagem de material morto variou somente com o regime de luz, com maiores valores registrados para os regimes PS e S1 relativamente ao S2 (Tabela 15).

Tabela 14 - Porcentagem de colmos na massa de forragem pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de Luz		
	PS	S1	S2
Central	30,0b	27,9b	32,9a
Lateral	NA	29,2b	33,1a
EPM	1,10	1,10	0,77

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 15 - Porcentagem de material morto na massa de forragem pré-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de Luz		
	PS	S1	S2
Central	31,0a	29,7a	22,6b
Lateral	NA	27,4a	24,5a
EPM	1,1	1,1	0,7

Médias seguidas de mesma minúscula nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

Características do dossel forrageiro em pós-pastejo

A interceptação de luz variou com a faixa de sombra e com o método de avaliação de IL. Dentre os níveis de sombra, maiores valores foram registrados na faixa lateral relativamente à central para o regime de luz S1, não tendo sido registrada diferença entre faixas de sombra para o regime S2 (Tabela 16). Com relação ao método de avaliação de IL, maiores valores foram registrados quando as leituras de referência da radiação incidente foram tomadas do lado de fora da área experimental para ambas as faixas de sombra (Tabela 17).

Tabela 16 - Interceptação luminosa pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de luz		
	PS	S1	S2
		(%)	
Central	81,6	80,0B	82,4A
Lateral	NA	87,3A	82,4A
EPM	1,11	0,91	1,06

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 17 - Interceptação luminosa pós-pastejo em capim-piatã em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental

Faixa de sombra	Método de avaliação de IL		EPM
	Dentro	Fora	
	(%)		
Central	78,5b	86,4a	1,5
Lateral	77,0b	87,9a	

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média.

O índice de área foliar variou com o regime de luz e com período de avaliação. Maiores valores foram registrados nos pastos submetidos ao regime de luz PS relativamente a S1 e S2 (Tabela 18). Com relação ao período de avaliação, maiores valores foram registrados nos períodos 1 e 2 relativamente ao período 3 (Tabela 19).

Tabela 18 - Índice de área foliar pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de Luz		
	PS	S1	S2
Central	1,13a	0,91b	0,85b
Lateral	NA	0,92A	0,78a
EPM	0,055	0,062	0,050

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 19 - Índice de área foliar pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
1	1,37A	1,11A	0,97A	0,99A	0,94A
2	1,28A	0,93A	1,01A	1,04A	0,97A
3	0,75B	0,70B	0,77B	0,52B	0,43B
EPM	0,062	0,079	0,079	0,070	0,070

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média.

O ângulo da folhagem variou com o regime de luz, faixa de sombra, método de avaliação de IL e período de avaliação. Maiores valores foram registrados nos pastos submetidos ao regime de luz PS em relação a S1 e S2 (médias das faixas de sombra), sendo que nestes, maiores valores foram registrados na faixa central relativamente à faixa lateral (Tabela 20). Com relação ao método de avaliação de IL, maiores valores foram registrados quando as leituras de referência da radiação incidente foram tomadas do lado de fora relativamente ao lado de dentro da área experimental (Tabela 21). Independentemente dos regimes de luz e das faixas de sombra, os valores de ângulo da folhagem foram aumentando ao longo do experimento, com menores valores registrados no período 1 e maiores no período 3 (Tabela 22).

Tabela 20 - Ângulo da folhagem em pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de Luz		
	PS	S1	S2
	(Graus)		
Central	58,2a	58,3aA	59,0aA
Lateral	NA	51,1aB	50,3aB
EPM	0,83	0,83	0,58

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 21 - Ângulo da folhagem em pós-pastejo em capim-piatã em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental

Faixa de sombra	Método de avaliação de IL		
	Dentro	Fora	EPM
(Graus)			
Central	55,4b	62,6a	0,83
Lateral	44,1b	56,6a	

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média.

Tabela 22 - Ângulo da folhagem em pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
		(Graus)			
1	54,7B	53,0B	44,6B	54,9B	45,0C
2	56,5AB	58,6AB	50,2B	58,9AB	49,9B
3	63,3A	63,4A	58,3A	63,2A	56,1A
EPM	2,10	2,10	2,10	1,49	1,49

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média.

A altura do dossel forrageiro variou com o regime de luz e com o método de avaliação de IL. Maiores valores foram registrados nos pastos submetidos ao regime de luz S2 relativamente a PS e S1 (Tabela 23), sendo que quando as leituras de referência da radiação incidente foram tomadas do lado de dentro da área experimental os valores foram maiores que aqueles obtidos com leituras tomadas do lado de fora somente para a faixa central (Tabela 24).

Tabela 23 - Altura pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de Luz		
	PS	S1	S2
	(cm)		
Central	21,8b	20,0b	25,9a
Lateral	NA	21,8b	26,4a
EPM	1,12	1,12	0,79

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 24 - Altura pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF utilizando como referência a medição da radiação incidente dentro e fora da área experimental

Faixa de sombra	Método de avaliação de IL		EPM
	Dentro	Fora	
	(cm)		
Central	27,9a	23,8b	1,12
Lateral	27,2a	25,1A	

Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média.

A massa de forragem variou com o regime de luz e com a faixa de sombra. Maiores valores foram registrados nos pastos submetidos ao regime de luz PS relativamente a S1 e S2 (média das faixas de sombra). Entre os tratamentos S1 e S2, maiores valores foram registrados para a faixa central relativamente à lateral para o regime S1 (Tabela 25).

Tabela 25 - Massa de forragem em pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de Luz		
	PS	S1	S2
	(kg/ha de MS)		
Central	3370a	3150aA	2180bA
Lateral	NA	2220aB	1890bA
EPM	124	86	116

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

A porcentagem de folhas na massa de forragem pós-pastejo variou somente com o período de avaliação, com valores maiores registrados nos períodos 1 e 2 relativamente ao período 3 (Tabela 26).

Tabela 26 - Porcentagem de folhas na massa de forragem pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
1	25,6A (0,43)	20,3A (1,54)	23,7AB (1,54)	21,4A (1,08)	22,7A (1,08)
2	23,7A (0,58)	20,2A (1,3)	24,6A (1,3)	24,9A (2,31)	24,4A (2,31)
3	17,2B (0,21)	15,4B (1,44)	20,1B (1,44)	14,5B (1,02)	16,5B (1,02)

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si ($P>0,05$). Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

A porcentagem de colmos na massa de forragem variou com o método de avaliação de IL e com o período de avaliação. Maiores valores foram registrados quando as leituras de referência da radiação incidente foram tomadas do lado de dentro da área experimental relativamente ao lado de fora somente para a faixa central (Tabela 27). Com relação ao período de avaliação, os valores foram estáveis para o regime de luz PS e para a faixa central do regime S1. Para a faixa lateral do regime S1 e para o regime S2 (faixas central e lateral) houve redução da porcentagem de colmos ao longo do experimento, com maiores valores registrados no período 1 e menores no período 3 (Tabela 28).

Tabela 27 - Porcentagem de colmos na massa de forragem pós-pastejo em capim-piatã submetido a diferentes métodos de avaliação de 95% IL e manejadas sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Método de avaliação de IL		
	Dentro	Fora	EPM
Central	43,0a	37,0b	1,44
Lateral	40,1a	39,5a	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média.

Tabela 28 - Porcentagem de colmos na massa de forragem pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
1	36,5A	37,1A	36,8AB	43,2A	40,0A
2	36,9A	36,8A	39,3A	41,2A	43,5A
3	36,0A	36,5A	33,1B	35,6B	36,0B
EPM	3,37	1,67	1,67	1,62	1,62

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média.

A porcentagem de material morto na massa de forragem pós-pastejo variou somente com o período de avaliação, com maiores valores registrados no período 3 relativamente aos períodos 1 e 2 apenas para o regime de luz S2. Para os regimes de luz PS e S1 os valores registrados permaneceram estáveis ao longo de todo o experimento (Tabela 29).

Tabela 29 - Porcentagem de colmos na massa de forragem pós-pastejo em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
1	37,9A	42,6A	37,4A	35,4B	37,4B
2	39,4A	43,0A	36,2A	33,9B	32,1B
3	46,8A	48,1A	46,8A	49,9A	47,5A
EPM	2,44	2,44	2,44	1,72	1,72

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média.

Taxas de acúmulo e produção de forragem

A taxa de acúmulo de forragem variou com o regime de luz, faixa de sombra e com o período de avaliação. Maiores valores foram registrados nos pastos submetidos ao regime de luz PS relativamente a S1 e S2, sendo que nestes maiores valores foram registrados nas faixas centrais relativamente às faixas laterais (Tabela 30). Com relação ao período de avaliação, maiores valores foram registrados nos períodos 1 e 2 em relação ao período 3, exceto para as faixas laterais dos dois níveis de sombreamento (S1 e S2), para as quais não houve diferença entre os períodos apesar da magnitude da diferença numérica entre as médias (Tabela 31).

Tabela 30 - Taxa de acúmulo de forragem em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de Luz		
	PS	S1	S2
Central	85,0a	55,1bA	35,6cA
Lateral	NA	33,6aB	23,9bB
EPM	3,45	3,45	2,44

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

Tabela 31 - Taxa de acúmulo de forragem em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF de dezembro de 2013 a junho de 2014

Período de avaliação	Regime de luz				
	PS	S1		S2	
		Central	Lateral	Central	Lateral
1	101,3A (11,90)	75,7A (11,90)	42,6A (11,90)	44,5A (8,41)	29,7A (8,41)
2	102,9A (16,84)	62,4AB (16,84)	44,4A (16,84)	48,7A (11,91)	37,3A (11,91)
3	50,7B (9,63)	27,2B (9,63)	13,9A (9,63)	13,6B (6,81)	4,7A (6,81)

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si ($P>0,05$). Valores entre parênteses correspondem ao erro padrão da média.

A produção de forragem variou com o regime de luz e faixa de sombra. Maiores valores foram registrados nos pastos submetidos ao regime de luz PS

relativamente a S1 e S2, sendo que entre estes maiores valores foram registrados na faixa central relativamente à lateral para o regime S1 (Tabela 32).

Tabela 32 - Produção de forragem em capim-piatã submetido a regimes de luz e manejados sob pastejo rotativo em área de ILPF

Faixa de sombra	Regime de Luz		
	PS	S1	S2
Central	15210a	9910bA	6270cA
Lateral	NA	6120aB	4210bA
EPM	817,9	578,3	408,9

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem entre si ($P>0,05$). EPM corresponde ao erro padrão da média. NA = não avaliado.

8 DISCUSSÃO

Sistemas agrossilvipastoris são entidades multidisciplinares e complexas, difíceis, portanto, de serem estudadas. As dificuldades estão relacionadas com as interações múltiplas entre os fatores bióticos e abióticos do sistema e com o tamanho das áreas cultivadas, fato que normalmente dificulta o controle experimental. Apesar disso, o nível de controle experimental obtido neste estudo foi eficaz e satisfatório, como demonstrado pelos valores efetivos realizados de IL pré-pastejo e altura pós-pastejo do dossel forrageiro, ambos metas de manejo estipuladas para a condução do manejo do pastejo. Durante todo o período experimental os valores realizados foram sempre muito próximos daqueles planejados, ou seja, 95% de IL para o pré-pastejo e altura pós-pastejo correspondente a 50% da altura pré-pastejo (Tabela 23).

De forma geral, as variáveis caracterizadoras da estrutura do dossel forrageiro (altura, massa de forragem, IAF e ângulo da folhagem) e agronômicas (taxa de acúmulo e produção de forragem) foram influenciadas pelos regimes de luz e períodos de avaliação. Os efeitos de período de avaliação estão certamente relacionados com as variações estacionais em precipitação, uma vez que a variação em temperatura e radiação solar foram pequenas durante os 3 períodos de avaliação (Figura 7). O fato é corroborado pelas variações verificadas em umidade do solo (Figura 10), que demonstraram redução na água disponível no solo do período 2 para o período 3 de avaliação (transição do período de chuva ao período seco). As variações em umidade do solo, por sua vez, influenciaram a nutrição nitrogenada das plantas (Tabela 3), uma vez que a absorção de nitrogênio é diretamente afetada pela disponibilidade de água no solo (Gonzalez-Dugo et al., 2010). Dessa forma, a menor umidade do solo no período 3 relativamente aos períodos 1 e 2 foi a responsável pelos menores valores de INN dos pastos no período 3 (Tabela 4). De forma geral, apesar da aplicação de 100 kg/ha de nitrogênio na forma de uréia (distribuídos em três aplicações), os valores de INN durante todo o período experimental, para todos os regimes de luz avaliados, ficaram abaixo de 100, indicando que as plantas receberam níveis sub ótimos de fertilização nitrogenada (Lemaire et al., 2008).

Os efeitos de regimes de luz estiveram associados com o nível de sombra gerado por eles. Em média, a redução da radiação fotossinteticamente ativa (RFA)

foi de 18 e 55% para os regimes S1 e S2 relativamente ao regime PS, respectivamente (Tabela 1). De forma geral, o aumento do nível de sombreamento entre os regimes de luz (PS, S1 e S2), entre faixas de sombra (central e lateral) e entre métodos de avaliação de IL (tomada das leituras de referência para determinação da IL dentro e fora da área experimental) resultou em alterações morfológicas e estruturais do dossel forrageiro, particularmente em pré-pastejo, já descritas por outros autores (Peri et al., 2007; Gobbi et al., 2009) para plantas crescendo sob sombra. Dentre elas, destaca-se a maior altura pré-pastejo dos pastos sombreados, sendo o aumento em altura maior quanto maior o nível de sombreamento a que as plantas foram submetidas. Na comparação entre regimes de luz, a altura para o regime S2 foi 35% maior relativamente ao regime PS. Entre os métodos de avaliação de IL, os valores obtidos quando as leituras de referência foram tomadas dentro foram entre 15 e 20% superiores quando comparados com os valores obtidos quando as leituras foram tomadas fora da área experimental (Tabela 11). Essa diferença entre métodos de avaliação de IL indica que o incremento em altura em pastos sombreados se deve à quantidade e à qualidade da luz disponível para crescimento, uma vez que a leitura fora da área experimental considera o dossel total (árvores + pasto) para a interceptação de luz, fazendo com que a meta de 95% de IL seja atingida com um menor intervalo de pastejo relativamente à leitura tomada dentro. Nesse contexto, 95% de IL para o regime PS com a leitura de referência dentro da área experimental seria equivalente a 95% de IL para o regime S2 com a leitura de referência tomada fora. Contudo, mesmo assim a altura dos pastos submetidos ao regime S2 continuou maior que aquela dos pastos submetidos ao regime PS. O fato deve ser consequência da variação espectral da luz em S2, uma vez que foi filtrada pelo dossel arbóreo antes de chegar no dossel forrageiro dos pastos no sub-bosque.

De forma inversa à altura, a massa de forragem em pré-pastejo diminuiu com o aumento do nível de sombreamento e a composição morfológica se manteve praticamente estável entre os regimes de luz. O fato indica que, apesar da maior proporção de colmos (Tabela 14), pastos sombreados possuíam menor massa de colmos que pastos cultivados em pleno sol. Como os pastos sombreados possuíam altura 35% maior que pastos não sombreados, os colmos produzidos eram mais longos e delgados, fato coerente e consistente com a resposta clássica de plantas à sombra, o estiolamento. As folhas dos pastos sombreados também eram mais

longas e delgadas que aquelas de pastos não sombreados, uma vez que os valores de IAF pré-pastejo foram semelhantes entre os regimes de luz (Tabela 5). Como a massa de folhas foi menor nos pastos sombreados, a área foliar específica das folhas de pastos sombreados foi maior, resultados similares aos encontrados na literatura (Paciullo et al., 2007; Guenni et al., 2008), indicando maior investimento em captação de luz comparativamente a resistência estrutural da planta. O fato é consistente com os menores valores de ângulo da folhagem (folhas mais horizontal) registrados para os níveis mais elevados de sombra (faixas lateral em comparação a faixa central) (Tabela 7). Essa é uma resposta adaptativa de plantas à sombra e que tem implicações sobre a produção de forragem e valor nutritivo da forragem produzida. Adicionalmente, a menor massa de folhas distribuída em uma altura 35% maior dos pastos sombreados resultou em uma distribuição mais dispersa das folhas ao longo do perfil vertical do dossel forrageiro e em menor densidade volumétrica da forragem (163, 136 e 69 kg/cm.ha para os regimes PS, S1 e S2, respectivamente), com potenciais implicações sobre o comportamento ingestivo e consumo de forragem dos animais em pastejo.

As mudanças morfológicas e estruturais mencionadas acima resultaram em redução das taxas de acúmulo e da produção de forragem na medida em que o nível de sombreamento aumentou. As taxas de acúmulo de forragem diminuíram em torno de 35% no regime S1 e de 60% no regime S2 relativamente ao regime PS (Tabela 30), o que resultou em menor produção de forragem ao final do experimento para os pastos submetidos aos regimes S1 e S2 (35 e 60% para o regime S1 e S2 relativamente ao regime PS, respectivamente) (Tabela 32). Ao se avaliar os valores de IAF pré e pós-pastejo dos pastos, observa-se que apesar de IAF semelhante no pré-pastejo (Tabela 5) os valores de IAF pós-pastejo foram menores nos pastos submetidos aos regimes S1 e S2 relativamente ao regime PS (Tabela 18), resultado de sua área foliar estar posicionada mais acima no perfil vertical do dossel forrageiro (estiolamento). O mesmo foi observado entre as faixas central e lateral (maior e menor nível de sombreamento) dos regimes S1 e S2. O fato indica que para a mesma meta de altura pós-pastejo (50% da altura pré-pastejo) as severidades de pastejo realizadas foram distintas. Dessa forma, em pastos sombreados a severidade de pastejo é relativamente maior que aquela em pastos não sombreados para uma mesma meta de manejo pós-pastejo, o que poderia ter contribuído para a menor produção de forragem.

Embora diversos autores (Castro et al., 1999; Andrade et al., 2004) afirmem que níveis moderados de sombra (até 50%) não resultam em diminuição da produção de forragem, os resultados deste experimento demonstraram que já a partir de 18% de redução em RFA (regime S1 em relação ao regime PS) houve redução significativa da produção de forragem. Possivelmente as diferenças entre o que mostra a literatura e o que foi mensurado neste experimento podem estar relacionadas com a severidade relativa de pastejo, mas também com os níveis sub ótimos de nitrogênio nas plantas e com o tipo de sombreamento empregado (árvores x sombrites). Outra discrepância observada esteve relacionada com a possível menor estacionalidade de produção de forragem de pastos em áreas de ILPF (Andrade et al., 2004), uma vez que nos pastos submetidos ao regime PS houve redução de 50% nas taxas de acúmulo de forragem entre os períodos 1 e 3 de avaliação e nos pastos submetidos aos regimes S1 e S2 essa redução foi de 65 e 70%, respectivamente (Tabela 31). O fato provavelmente seja devido à menor massa de raízes normalmente encontrada em plantas sombreadas (menor relação massa de parte aérea/massa de raízes) (Dias filho, 2000; Guenni et al., 2008; Paciullo et al., 2010), diminuindo a capacidade de absorção de água e tornando essas plantas mais susceptíveis à redução da umidade do solo (Figura 10).

9 CONCLUSÕES

O conjunto de resultados obtidos revela claramente que as metas de altura pré-pastejo desenvolvidas com base na condição de 95% de IL em pleno sol não podem e não devem ser utilizadas em sistemas integrados com árvores, especialmente aqueles em que a densidade de árvores é elevada, necessitando que metas específicas sejam produzidas para o manejo do pastejo naquelas condições.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.L.; MUNDSTOCK, C.M. A qualidade da luz afeta o afilhamento em plantas de trigo, quando cultivadas sob competição. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.3, p.401-408, 2001.
- ALVES, F.V. O componente animal em sistemas de produção em integração. Sistemas de integração lavoura pecuária floresta: a produção sustentável. 2nd ed. Brasília, DF:Ed. Bungenstab, D.J.; Embrapa. 2012. p.144-154.
- ANDRADE, C.M.S.; ASSIS, G.M.L.; **Brachiaria brizantha cv. Piatã**: Gramínea Recomendada para Solos Bem-drenados do Acre, Rio Branco-AC: EMBRAPA, 2010. 29p (Curricular técnica ,54).
- ANDRADE, C.M.S.; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA, O.G. Fatores limitantes ao crescimento de capim-tanzânia em um sistema agrosilvipastoril com eulípto, na região dos cerrados de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.30, n.4, p.1178-1185, 2001.
- ANDRADE, C.M.S.; VALENTIM, J.F.; CARNEIRO, J.C.; VAZ, F.A. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 263-270, 2004.
- ASSIS, F.N.; MENDEZ, M.E.G. Relação entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 2, n. 7, p. 797-800, jul. 1989.
- BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A.O.; STONE, L.F. (Ed.). **Marco referencial em integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 2011. 130p.
- BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L.A.M.; OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J; GALERANI, P.R.; VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da Integração Lavoura-pecuária-floresta (Ilpf). **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 138, p. 1-14. 2012.
- BARBOSA, R.A.; NASCIMENTO Jr, D.; EUCLIDES, V.P.B.; DA SILVA, S.C.; ZIMMER, A.H.; TORRES Jr, R.A.A. Capim-tanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 329-340, 2007.
- BARKER, D.J.; COLLINS, M. Forage fertilization and nutrient management, In: Barnes, R.F.; Nelson, J.C.; Collins, M.; Moore, K.J. (Ed.). Forages, an introduction to grassland agriculture, 6th Ed. Iowa State Press: Blackwell, Ames, 2003. p. 263–293.
- BERNARDES, M.S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira de Pesquisa de Potassa e do Fósforo, 1987. p.13-48.

CARNEVALLI, R.A.; DA SILVA, S.C.; BUENO, A.A.O; UEBELE, M.C.; BUENO, F.O; HODGSON, J.; SILVA, G.N.; MORAIS, J.P.G. Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça under four grazing managements. **Tropical Grasslands**, Brisbane, v.40, p.165-176, 2006.

CARVALHO, P.C.; RIBEIRO FILHO, H.M.N.; POLI, C.H.E.; MORAES, A de.; DELEGARDE, R. Importância da estrutura da pastagem na ingestão e seleção de dietas pelo animal em pastejo In: MATTOS, W. R.S. (Org.). REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001. Piracicaba, **Anais...** Piracicaba, 2001, v. 1, p. 853-871.

CARVALHO, P.C.F.; SANTOS, D. T. dos; NEVES, F. P. **Oferta de forragem como condicionadora da estrutura do pasto e do desempenho animal**. In: Miguel Dall'Agnol; Carlos Nabinger; Danilo Menezes Santana; Rogério Jaworski dos Santos. (Org.). Sustentabilidade Produtiva do Bioma Pampa. Porto Alegre: Gráfica Metrópole., 2007. v. p. 23-60.

CARVALHO, P.C.F.; TRINDADE, J.K.; MEZZALIRA, J.C.; POLI, C.H.E.C. NABINGER, C.; GERNO, T.C.M.; GONDA, H.L. Do bocado ao pastoreio de precisão: Compreendendo a interface planta-animal para explorar a multi-funcionalidade das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, p.109-122, 2009 (supl. especial).

CHAPMAN, D.F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: BAKERS, M.J. (Ed.). **Grasslands for our world**. Wellington: SIR Publishing, 1993. p. 55-56.

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

DA SILVA, S.C. Conceitos básicos sobre sistemas de produção animal em pasto. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 25., 2009, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2009. p.7-36.

DA SILVA, S.C.; CARVALHO, P.C.F. Foraging behaviour and herbage intake in the favourable tropics/sub-tropics. In: McGilloway, D.A (Org.). **Grassland: a global resource**. Wageningen - The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2005. p. 81-95.

DA SILVA, S.C.; CORSI, M. Manejo do pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, p.155-186. 2003.

DA SILVA, S.C.; NASCIMENTO JR. Ecofisiologia de plantas forrageiras. In: PEREIRA, O.G.; OBEID, J.A.; NASCIMENTO Jr., D.; FONSECA, D.M. (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 3., 2006. Viçosa, **Anais...** Viçosa: UFV, 2006. 430p

DA SILVA, S.C.; NASCIMENTO Jr, D. Ecofisiologia da produção animal em pastagens e suas implicações sobre o desempenho e a produtividade de sistemas

pastoris. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 4., 2007, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Ed. Suprema, 2007. p. 1-42.

DA SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo de pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 3., 1997. Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Funep, 1997. p. 1-12.

DA SILVA, S.C.; BUENO, A.A.O.; CARNEVALLI, R.A.; UBELE, M.C.; BUENO, F.O.; HODGSON, J.; MATTHEW, C.; ARNOLD, G.C.; MORAIS, J.P.G. Swards structural characteristics and herbage accumulation of *Panicum maximum* cv. Mombaça subjected to rotational stocking managements. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 1, p. 8-19, 2009.

DIAS FILHO, M.B. 2000. Growth and biomass allocation of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, 35(12): 2335-2341.

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

DIAS-FILHO, M.B. Degradação de pastagens: Processos, causas e estratégias de recuperação. 4. ed. rev., atual. e ampl. Belém, PA : Ed. do Autor, 2011. p. 127-145.

DIAS-FILHO, M.B.; FERREIRA, J.N. Barreiras para a adoção de sistemas silvipastoris. In: EVANGELISTA, A.R.; TAVARES, V.B.; MEDEIROS, L.T.; VALERIANO, A.R. (Ed.). In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS: TEMAS EM EVIDÊNCIA - RELAÇÃO CUSTO BENEFÍCIO, 6., 2007. Lavras. **Anais...** Lavras: NEFOR: UFLA, 2007. p. 347-365.

DIFANTE, G.S.; EUCLIDES, V.B.P.; NASCIMENTO Jr, D.; DA SILVA, S.C.; TORRES Jr, R.A.A.; SARMENTO, D.O.L. Ingestive behavior, herbage intake and grazing efficiency of beef cattle steers on Tanzania guineagrass subjected to rotational stocking managements. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 1001-1008, 2009a.

DIFANTE, G.S.; NASCIMENTO Jr, D.; EUCLIDES, V.B.P.; DA SILVA, S.C.; BARBOSA, R.A.; GONÇALVES, W.V.; Sward structure and nutritive value of tanzânia guineagrass subjected to rotational stocking managements. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 9-19, 2009b.

DIFANTE, G.S.; EUCLIDES, V.B.P.; NASCIMENTO Jr, D.; SILVA, S.C.; BARBOSA, R.A.; TORRES Jr, R.A.A. Desempenho e conversão alimentar de novinhos de corte em capim-tanzânia submetido a duas intensidades de pastejo sob lotação rotativa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 33-41, 2010.

DURU M.; LEMAIRE G.; CRUZ P.; The nitrogen requirement of major agricultural crops. Grasslands. In: LEMAIRE, G. (Ed.). Diagnosis of N status in crops, Berlin, Allemagne: Springer-Verlag, Heidelberg, 1997. p. 59-72.

EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M.; VALLE, C.B.; BARBOSA, R.A.; GONÇALVES, W.V.; OLIVEIRA, M.P. Produção de forragem e características estruturais de três cultivares de *Brachiaria brizantha* sob pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 12, p. 1805-1812, 2008.

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

FERRAZ, J.B.S.; FELÍCIO, P.E.D. Production systems: an example from Brazil. **Meat Science**, Oxford, v. 84, n. 2, p. 238-243, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION Agricultura mundial: Hacia los años 2015/2030. Informe resumido. Roma, 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO [2013]. Disponível em: <www.faostat.fao.org> Acesso em: 30 jul. 2014.

FONSECA, L.; MEZZALIRA, J.C.; BREMM, C.; FILHO, R.S.A.; GONDA, H.L.; CARVALHO, P.C.F. Management targets for maximizing the short-term herbage intake rate of cattle grazing in *Sorghum bicolor*. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 145, p. 205-211, 2012.

FRANKE, I.L.; FURTADO, S.C. **Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 51p. (Embrapa Acre. Documentos; 74).

GARCIA, R.; TONUCCI, R.G.; GOBBI, K.F. Sistemas silvipastoris: uma integração pasto, árvore e animal. In: OLIVEIRA NETO, S.N. VALE, A.B.; NACIF, A.P.; VILAR, M.B.; ASSIS, J.B. (Ed.). **Sistema agrossilvipastoril**: integração lavoura, pecuária e floresta, Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 2010. 189p.

GARCIA, R.; TONUCCI, R.G.; BERNARDINO, F.S. Sistema silvipastoril: uma integração árvore, pasto, animal. In: REIS, R. A.; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G. R. (Ed.). **Forragicultura**: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros. Jaboticabal: M. de L. Brandel-ME, 2013. cap. 15 p. 219-234.

GASTAL, F.; DURAND, J. Effects of nitrogen and water supply on N and C fluxes and partitioning in defoliated swards. In: LEMAIRE, G; HODGSON, J.; MORAES, A.; NABINGER, C. (Ed.). **Grasslands ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford, UK : CAB INTERNATIONAL, 2000. p.15-39.

GIMENES, A.F.A.; DA SILVA, S.C.; FIALHO, C.A.; GOMES, M.B.; BERNDT, A.; GERDES, L.; COLOZZA, M.T.; Ganho de peso e produtividade animal em capim-marandu sob pastejo rotativo e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 751-759, 2011.

GOBBI, K.F.; GARCIA, R.; GARCEZ NETO, A.F. PEREIRA, O.G.; VENTRELLA, M.C.; ROCHA, G.C. Características morfológicas, estruturais e produtividade do

capim braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.9, p.1645-1654, 2009.

GOBBI, K.F. GARCIA, R.; VENTRELLA, M.C.; GARCEZ NETO, A.F. ROCHA, G.C. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, n.7, p.1436-1444, 2011.

GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A.; ALEXANDRINO E. Índices morfogênicos e de crescimento durante o estabelecimento e a rebrotação do capim-Mombaça (*Panicum maximum* Jacques). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.42, n.10, p.1487-1494, 2007.

GONZALEZ-DUGO, V.; DURAND, J.L.; GASTAL, F.; PICON-COCHARD, C. Short-term response of the nitrogen nutrition status of tall fescue and Italian ryegrass swards under water deficit. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.56, p. 1269-1276, 2005.

GONZALEZ-DUGO, V.; DURAND, J.L.; GASTAL, F. Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. **Agronomy Sustainable Development**, Baghdad, v. 30, n. 3, p. 529-544, 2010.

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

HANG, S.; MAZZARINO, M.J.; NUÑEZ, G.; OLIVA, L. Influencia del desmonte selectivo sobre la disponibilidad de nitrógeno en años húmedos y secos en sistemas silvopastoriles en el Chaco árido argentino. **Agroforesteria en las Americas**, Turrialba, v. 2, n. 6, p. 9-14, 1995.

HAYNES, R.J. Competitive aspects of the grass legume association. **Advances in Agronomy**, New York, v. 33, n. spe, p.1-117, 1980.

HODGSON, J. The significance of sward characteristics in the management of temperate Sown pastures. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 15., Kyoto, 1985. **Proceedings...** Nishi-Nasuno: Japanese Society of Grassland Science, 1985. p. 63-66.

HODGSON, J.; DA SILVA, S.C. Options in tropical pasture management. In: BATISTA, A.M.V.; BARBOSA, S.B.P.; SANTOS, M.V.F.; FERREIRA, L.M.C. (Org.). REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002. Recife. Anais... Recife: SBZ, 2002. p. 180-202.

KENWARD, M.G.; ROGER, J.H. Small sample inference for fixed effects from restricted maximum likelihood. **Biometrics**, Malden, v. 53, n.3, p.983-997, 1997.

KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R. Forage quality responses of C3 and C4 perennial grasses to shade. **Crop Science**, Madison, v. 33, p.831-837, 1993.

LACA, E.A.; LEMAIRE, G. Measuring sward structure. In: In: t'MANNETJE, L., JONES, R.M. (Ed.). **Field and laboratory methods for grassland and animal production research**. Wallingford: CAB International, 2000. p.103-122

LAMBERS, H.; CHAPIN, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer-Verlag, 1998. 540p.

LEMAIRE, G. Ecophysiology of grasslands: dynamics aspects of plant populations in grazed swards. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001. São Pedro. **Proceedings...** São Pedro, 2001. p.29-37.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Ed.). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford: CAB International, 1996. p.3-36.

LEMAIRE, G.; SALETTE, J. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de relevement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. Y. - Etude de l'effet du milieu. 1984. p.431-436

LEMAIRE, G.; JEUFFROY, M.; GASTAL, F. N. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage theory and practices for crop N management. **Europ. J. Agronomy** v. 28, 2008. p.614-624

LEMAIRE, G.; GASTAL, F.; SALETTE, J. Analysis of the effect of N nutrition on dry matter yield of a sward by reference to potential yield and optimum N content. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 16., 1989, Nice. **Proceedings...** Nice: Ed. Association Française pour la Production Fourragère, 1989. p. 179- 180.

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

LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F.; GARRETT, H.E. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. **Agroforestry systems**, Dordrecht, v.44. p. 109-119, 1999.

LIN, C. H.; MCGRAW, R. L.; GEORGE, M. F.; GARRETT, H. E. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 53, n. 3, p. 269-281, 2001.

LITTLE, R.C.; PENDERGAST, J.; NATARAJAN, R. Tutorial in biostatistics: modeling covariance structure in the analysis of repeated measures data. **Statistics in Medicine**, Malden, v. 19, p.1793-1819, 2000.

MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema cerrados: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42., 2005, Goiânia. A produção animal e o foco no agronegócio: **Anais...** Goiânia: SBZ, 2005. p.56-84

MACEDO, M.C.M. Aspectos edáficos relacionados com a produção de *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu. In: BARBOSA, R.A. (Ed.). **Morte de pastos de braquiárias**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2006. p. 35-65.

MACEDO, R.L.G.; VENTURIN, N.; TSUKAMOTO FILHO, A.A. Princípios de agrossilvicultura como subsidio do manejo sustentável. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.21, n.202, p.93-98. 2000.

MACEDO, R.L.G.; VALE, A.B.; VENTURIN, N. Eucalipto em sistemas agroflorestais. Lavras: UFLA, 2010. 331 p. il

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo : Ceres. p. 31-96, 1981.

NABINGER, C. Eficiência do uso de pastagens: disponibilidade e perdas de forragem. In: PEIXOTO, A.M., MOURA, J.C., FARIA, V.P. (Ed.). In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 14., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, SP: FEALQ, 1997. p.231-251.

NABINGER, C.; PONTES, L. da S. Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba, SP: SBZ, 2001. p.755-771.

NICODEMO, M.L.F.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; THIAGO, R.L.R.; NETO, M.M.G., LAURA, V.A. **Sistemas Silvopastoris** - Introdução de árvores na pecuária do Centro-Oeste Brasileiro. Campo Grande, MG: Embrapa, 2004. 37p.

OLIVEIRA NETO, S.N.; PAIVA, H. N. Implantação e manejo do componente arbóreo em sistema agrossilvipastoril. In: OLIVEIRA NETO, S. N. et al. **Sistema Agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta**. Viçosa, MG: SIF, 2010. p. 15-68.

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

PACIULLO D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M. Soil bulk density and biomass partitioning of *Brachiaria decumbens* in a silvopastoral system. **Scientia Agricola**, Piracicaba. v. 67, p.598-603, 2010.

PACIULLO D.S.C.; CASTRO, C.R.T.; GOMIDE, C.A.M.; FERNANDES, P.B.; ROCHA, W.S.D.; MÜLLER, M.D.; ROSSIELLO, R.O.P. Soil bulk density and biomass partitioning of *Brachiaria decumbens* in a silvopastoral system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, p.401-407, 2010.

PALTINEANU, I.C; STARR, J.L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, WI, v.61, p.1576-1585, 1997.

PAULINO, P.V.R.; LEONEL, F.P.; ARAÚJO, R.P. Estratégias de intensificação da pecuária de corte em sistemas integrados. In: PEDREIRA, B.C.; PEREIRA, D.H.; PINA, D.S.; CARNEVALLI, R.A.; LOPES, L.B. (Ed). SIMPÓSIO DE PECUÁRIA INTEGRADA, 2014. Brasília, **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA, 2014. p.141-176.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S.; DA SILVA, S.C. Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés em respostas a estratégias de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 281-287, 2007.

PERI, P.L.; LUCAS, R.J.; MOOT, D.J. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.70, n.1, p.63-79, 2007.

PORFIRIO-DA-SILVA, V. Sistemas silvipastoris para a produção de carne. In: PEDREIRA, C. G. S.; MOURA, J. C. de; DA SILVA, S. C.; FARIA, V. P. de (Ed.). **As pastagens e o meio ambiente**. Piracicaba: FEALQ, 2006. p. 297-326.

RODRIGUES, L.R.A; RODRIGUES, T.J.D. Ecofisiologia de plantas forrageiras. In: CASTRO, P.R.C; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p.203-230.

SBRISSIA, A.F.; DA SILVA, S.C. O ecossistema de pastagens e a produção animal. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001. Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001.p.731-754.

SBRISSIA, A.F.; DA SILVA, S.C. Compensação tamanho/densidade populacional de perfilhos em pastos de capim-marandu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 35-47, 2008.

SBRISSIA, A.F.; DA SILVA, S.C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Ecofisiologia de plantas forrageiras e o manejo do pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 24., 2007, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2007. p.153-176

SBRISSIA, A.F.; DA SILVA, S.V.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; PEREIRA, L.E.T. Crescimento da planta forrageira: aspectos relativos ao consumo e valor nutritivo da forragem. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 25., 2009, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2009. p.37-59.

SENTEK. Diviner 2000: user guide version 1.21. Stepney: Sentek Pty, 2000.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2013. Fisiologia Vegetal. 5. ed. Artmed, Porto alegre, RG.

T'MANNETJE, L. Measuring biomass of grassland vegetation. In: T'MANNETJE, L'; JONES, R. M. Field and laboratory methods for grassland and animal production research. Cambridge: CABI, 2000. p. 51-178.

TRINDADE, J.K.; DA SILVA, S.C.; SOUZA JUNIOR, S.J.; GIACOMINI, A.A.; ZEFERINO, C.V.; CARVALHO, P.C.F. Composição morfológica da forragem consumida por bovinos de corte durante o rebaixamento do capim-marandu submetido a estratégias de pastejo rotativo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 883-890, 2007.

VALLE, C.B.; EUCLIDES, V.P.B.; VALÉRIO, J.R.; MACEDO, M.C.M.; FERNANDES, C.D.; DIAS-FILHO, M.B. *Brachiaria brizantha* cv. Piatã: uma forrageira para diversificação de pastagens tropicais. **Seed News**, v. 11, n. 2, p. 28-30, 2007

VALLE, C.B. do; MACEDO, M.C.M.; EUCLIDES, V.P.B.; JANK, L.; RESENDE, R.M.S. Gênero *Brachiaria*. In: FONSECA, D.M. da; MARTUSCELLO, J.A. (Ed.) **Plantas forrageiras**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2010. p.30-77.

VILELA, L.; MACEDO, M.C.M.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; KLUTHCOUSKI, J. **Benefícios da Integração Lavoura Pecuária**. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 145-170.

VOLENEC, J.J.; NELSON, C.J. Environmental and physiological aspects of forage management. In: BARNES, R.F.; NELSON, C.J.; COLLINS, M.; MOORE, K.J. (Ed.). **Forages: an introduction to grasslands agriculture**. Ames: Iowa State University Press, 2003. p.99-124

WADE, M.; CARVALHO, P.C.F. Defoliation patterns and herbage intake on pastures. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; MORAES, A.; NABINGER, C.; CARVALHO, P.C.F. (Ed.). **Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology**. Wallingford (UK): CAB international, 2000. p.233-248.

WILES, P.G.; GRAY, I.K.; KISSLING, R.C. Routine analysis of proteins by Kjeldahl and Dumas methods: review and interlaboratory study using dairy products. **Journal of AOAC International**, Rockville, MD, v.81, n.3, p.620-632, 1998.

WILSON, J.R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pasture grasses in a subtropical environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.47, p.1075-1093, 1996.