Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Acúmulo de forragem e contribuição relativa de categorias de folhas na fotossíntese do dossel do capim Mulato II pastejado sob taxas contrastantes de crescimento e alturas do dossel

Júnior Issamu Yasuoka

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

Piracicaba
2016

Júnior Issamu Yasuoka
Zootecnista

Acúmulo de forragem e contribuição relativa de categorias de folhas na fotossíntese do dossel do capim Mulato II pastejado sob taxas contrastantes de crescimento e alturas do dossel

Orientador:
Prof. Dr. **CARLOS GUILHERME SILVEIRA PEDREIRA**

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

Piracicaba
2016

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

Yasuoka, Júnior Issamu
Acúmulo de forragem e contribuição relativa de categorias de folhas na fotossíntese do dossel do capim Mulato II pastejado sob taxas contrastantes de crescimento e alturas do dossel / Júnior Issamu Yasuoka. - - Piracicaba, 2016.
91 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Adubação nitrogenada 2. Assimilação de carbono 3. Convert HD 364 4. Nitrogênio 5. Pastejo 6. *Urochloa* spp. 7. *Brachiaria* spp I. Título

CDD 633.2
Y29a

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

DEDICO

*Aos meus queridos pais **Massuo Yasuoka** e **Elza Shigueko Mizuno Yasuoka**,*

pelo amor incondicional e pelos exemplos de trabalho e força de vontade.

OFEREÇO

*Às minhas irmãs **Érika** e **Mari**, pelo apoio e carinho.*
*À minha namorada e companheira **Yasmin**, pelo amor, carinho, paciência e incentivo.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Carlos Guilherme Silveira Pedreira, pela oportunidade, exemplo, compreensão, sabedoria e, principalmente, pelos ensinamentos e conhecimentos transmitidos que contribuíram para o meu amadurecimento profissional, o que levarei comigo para toda vida.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens que de alguma forma contribuíram para minha formação profissional.

Aos integrantes e ex-integrantes do grupo de pesquisa em pastagens (GP^2) e contemporâneos no programa de pós-graduação Aliedson Ferreira, Ana Flávia Faria, Débora Basto, Diego Pequeno, Fagner Gomes, Ianê Almeida, Liliane Silva, Marcell Alonso, Otávio Almeida, Patrícia Barbosa, Solange Holschuch e Valdson Silva, pela amizade, troca de experiências e conhecimentos e pela valiosa contribuição nas atividades experimentais.

Agradecimento especial ao Valdson Silva pela convivência, conhecimentos transmitidos, auxílio nas análises estatísticas e ajuda em todas as etapas do mestrado.

A todos os estagiários do GP^2 que fizeram parte desta caminhada pela grande ajuda e colaboração para a realização deste trabalho.

Aos demais integrantes e ex-integrantes da equipe do Laboratório de Plantas Forrageiras (LAPF): Cleonice, Diego, Eliana, Guilherme, Guilhermo, Henrique, Jorge Daniel, Lucas e Steben pelo convívio e momentos de descontração.

Aos familiares, em especial aos meus pais Massuo e Elza, que, mesmo à distância, me deram amor, carinho, apoio e por sempre incentivarem as minhas escolhas e decisões.

Ao Prof. Dr. Flávio Augusto Portela Santos, ao Dr. Marco Antônio Penatti e aos estagiários do grupo CPZ pelo auxílio no empréstimo de animais que foram utilizados no experimento.

Agradecimento em especial à minha amada Yasmin pela compreensão, incentivo e amor incondicional.

Enfim, a todos, que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

Agradeço sinceramente!

“Investir em conhecimentos rende sempre melhores juros.”

(Benjamin Franklin)

“Uma pessoa grande de verdade sabe que é pequena e por isso cresce. Gente pequena acha que já é grande e o único modo dela crescer é se ela diminuir outra pessoa.”

(Mário Sérgio Cortela)

“Há três caminhos para o fracasso: Não ensinar o que se sabe, não praticar o que se ensina e não perguntar o que se ignora.”

(São Beda)

SUMÁRIO

RESUMO 11
ABSTRACT 13
LISTA DE FIGURAS 15
LISTA DE TABELAS 17
1 INTRODUÇÃO 19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 23
2.1 Papel das pastagens na bovinocultura brasileira 23
2.2 Importância do gênero *Brachiaria* na pecuária brasileira: histórico do uso e lançamento de novos cultivares 25
2.3 Determinantes morfofisiológicos da produção de forragem 30
2.4 Altura do dossel como critério de manejo em pastos sob lotação contínua 33
2.5 Nitrogênio como modulador do crescimento de plantas forrageiras 35
3 OBJETIVO 39
4 MATERIAL E MÉTODOS 41
4.1 Localização e caracterização da área experimental 41
4.2 Caracterização do solo e instalação do experimento 41
4.3 Delineamento experimental e tratamentos 42
4.4 Avaliações 44
4.4.1 Massa e acúmulo de forragem 44
4.4.2 Composição morfológica, índice de área foliar e composição do índice de área foliar 47
4.4.3 Interceptação de luz pelo dossel e ângulos foliares 48
4.4.4 Taxa de fotossíntese de folhas individuais 49
4.4.5 Taxa de fotossíntese do dossel 50
4.4.6 Contribuição das categorias de folhas na fotossíntese do dossel 51
5 ANÁLISE DOS DADOS 53
6 RESULTADOS 55
6.1 Massa, acúmulo e taxa de acúmulo de forragem 55
6.2 Composição morfológica da massa de forragem e índice de área foliar 56
6.3 Participação das categorias de folhas no IAF 57
6.4 Interceptação de luz pelo dossel e ângulos foliares 57
6.5 Taxa de fotossíntese de folhas de diferentes categorias 58
6.6 Taxa de fotossíntese do dossel 59
6.7 Contribuição das categorias de folhas na fotossíntese do dossel 60

7 DISCUSSÃO 63
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS 73
REFERÊNCIAS 75
APÊNDICE 89

RESUMO

Acúmulo de forragem e contribuição relativa de categorias de folhas na fotossíntese do dossel do capim Mulato II pastejado sob taxas contrastantes de crescimento e alturas do dossel

A intensidade de pastejo e o uso de fertilizantes nitrogenados podem impactar as características estruturais no dossel forrageiro afetando o ambiente luminoso dentro da vegetação, o que por sua vez pode influenciar a taxa fotossintética das folhas e do dossel, e também a produção de forragem. O objetivo deste trabalho foi descrever e explicar os efeitos da altura do dossel mantida constante e da taxa de crescimento aplicada como dose de nitrogênio (N) do capim Mulato II (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) sob lotação contínua e taxa de lotação variável sobre as características produtivas e morfofisiológicas e a participação de diferentes categorias de folhas na composição do índice de área foliar (IAF) e na fotossíntese do dossel. O estudo foi conduzido na ESALQ/USP em Piracicaba-SP durante dois verões agrostológicos. O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, com arranjo fatorial combinando três alturas do dossel (10, 25 e 40 cm) e duas taxas de crescimento geradas por doses de N (50 e 250 kg ha^{-1} ano^{-1}), em três repetições. As variáveis estudadas incluíram: acúmulo total anual de forragem (ATF), IAF, interceptação de luz (IL), taxas de fotossíntese foliar e do dossel e contribuição relativa de diferentes categorias de folhas no IAF e na fotossíntese do dossel. O ATF aumentou linearmente com a altura do dossel (de 8560 para 13600 kg MS ha^{-1} ano^{-1}). Aumentos também foram observados para IAF, IL, taxa de fotossíntese do dossel e contribuição das folhas maduras (MAD) no IAF e das folhas mais jovens completamente expandidas (JCE) na fotossíntese do dossel. A contribuição das folhas em expansão (EXP) e das folhas JCE no IAF, a taxa de fotossíntese das folhas EXP e MAD e a contribuição relativa das folhas EXP na fotossíntese do dossel aumentaram com a diminuição da altura do dossel. A aplicação de 250 kg N ha^{-1} ano^{-1} resultou em aumento de 137% no ATF em relação à taxa de 50 kg ha^{-1} ano^{-1}. A maior dose de N resultou em aumento significativo no IAF, IL, taxa de fotossíntese de todas as categorias de folhas, fotossíntese do dossel e contribuição das folhas JCE na fotossíntese do dossel, embora a contribuição das folhas EXP na fotossíntese do dossel tenha sido maior na menor dose de N. A contribuição das folhas MAD na fotossíntese do dossel foi maior quando o dossel foi mantido mais alto e também com maior dose de N na altura de 10 cm. Nos dosséis de 25 cm a proporção de folhas MAD foi maior na menor dose de N e não diferiu entre doses de N quando mantido a 40 cm. Embora dosséis mantidos mais baixos apresentem maior proporção de folhas mais jovens (EXP e JCE) que são as que apresentam maiores taxas fotossintéticas, a fotossíntese do dossel e o ATF foram maiores nos dosséis mais altos. A aplicação de 250 kg N ha^{-1} ano^{-1} resulta em aumento na fotossíntese do dossel como consequência do aumento do IAF e da taxa de fotossíntese foliar, resultando em aumento no ATF.

Palavras-chave: Adubação nitrogenada; Assimilação de carbono; Convert HD 364; Nitrogênio; Pastejo; *Urochloa* spp.

ABSTRACT

Herbage accumulation and relative contribution of leaf categories to canopy photosynthesis of grazed Mulato II brachiariagrass under contrasting growth rates and canopy heights

Grazing intensity and nitrogen fertilization can impact the structural characteristics of the canopy affecting the light environment within the vegetation, which in turn may affect leaf and canopy photosynthetic rates, and also forage production. The objective of this study was to describe and explain the effects of canopy height kept constant and growth rate applied as N rate of Mulato II brachiariagrass (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) under continuous stocking and variable stocking rate, on the productive and morpho-physiological characteristics, and the relative contribution of different leaf categories to the leaf area index (LAI) and to canopy photosynthesis. A field trial was conducted at ESALQ/USP in Piracicaba, SP, Brazil, during two summer growing seasons. A randomized complete block design was used, with a factorial arrangement combining three canopy heights (10, 25, and 40 cm) and two growth rates imposed by N rates (50 and 250 kg ha^{-1} yr^{-1}), with three replications. The variables studied included: total annual forage accumulation (TFA), LAI, light interception (LI), leaf and canopy photosynthetic rates, and the relative contribution of different leaf categories to the LAI and to canopy photosynthesis. There was a linear increase in TFA with increased canopy height (from 8560 to 13600 kg DM ha^{-1} yr^{-1}). The LAI, LI, canopy photosynthesis rates, the relative contribution of mature leaves (MAT) to the LAI, and relative contribution of the youngest fully-expanded leaves (YFE) to canopy photosynthesis also increased with canopy height. The relative contribution of expanding leaves (EXP) and YFE to the LAI, leaf photosynthesis of EXP and MAD leaves, and relative contribution of EXP leaves to canopy photosynthesis increased with the reduction in canopy height. The use of a greater N rate (250 kg N ha^{-1} yr^{-1}) increased ATF by 137%. The application of more N (250 kg N ha^{-1} yr^{-1}) also increased LAI, LI, photosynthetic rates of all leaf categories, canopy photosynthesis, and relative contribution of YFE leaves to canopy photosynthesis, but the relative contribution of EXP leaves to canopy photosynthesis was greater in the lesser N rate (50 kg N ha^{-1} yr^{-1}). The relative contribution of MAT leaves to canopy photosynthesis was greater in taller canopies, and also in canopies maintained at 10 cm fertilized with 250 kg N ha^{-1} yr^{-1}. The canopies maintained at 25 cm showed greater proportion of MAD leaves in the lesser N rate, and was similar in 40-cm canopies for both N rates. Although canopies kept at 10 cm showed greater relative proportion of younger leaves (EXP and YFE), which are those with greater photosynthetic rates, canopy photosynthesis and the TFA were greater in taller canopies. The application of 250 kg N ha^{-1} yr^{-1} results in increased canopy photosynthesis, due to increased LAI and leaf photosynthetic rate, resulting in increased TFA.

Keywords: Carbon assimilation; Convert HD 364; Grazing; Nitrogen; Nitrogen fertilization; *Urochloa* spp.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visão da área experimental 43

Figura 2 - Medição da altura do dossel (a) e detalhe do bastão graduado com transparência de acetato (b) 44

Figura 3 - Leitura com o prato ascendente (a) e detalhe do prato ascendente (b) 45

Figura 4 - Gaiola de exclusão utilizada para estimativa do AF (a) e estimativa da MF contida dentro da gaiola de exclusão (b) 46

Figura 5 - Subamostra fracionada em material morto, colmo, folhas EXP, folhas JCE e folhas MAD 47

Figura 6 - Medição de assimilação líquida de carbono (a) e detalhe da câmara de CO_2 do LAI-6400 utilizado para medição de assimilação líquida de carbono 49

Figura 7 - Folhas utilizadas para medição de fotossíntese 50

Figura 8 - Curva de calibração com o conjunto de dados do ano 1 91

Figura 9 - Curva de calibração com o conjunto de dados do ano 2 91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Precipitação e temperaturas máxima e mínima durante o período experimental e média histórica (1917-2015). 41

Tabela 2 - Análise de terra do solo da área experimental 42

Tabela 3 - Massa de forragem (MF), taxa média diária de acúmulo de forragem (TAF) e acúmulo total anual de forragem (ATF) em resposta à altura do dossel do capim Mulato II 55

Tabela 4 - Taxa média diária de acúmulo de forragem (TAF) e acúmulo total anual de forragem (ATF) em resposta à dose de N do capim Mulato II 55

Tabela 5 - Proporção de folhas em resposta à altura do dossel do capim Mulato II 56

Tabela 6 - Proporção de colmo e material morto e IAF em resposta à altura do dossel do capim Mulato II 56

Tabela 7 - Proporção de colmo e material morto e IAF em resposta à dose de N do capim Mulato II 57

Tabela 8 - Participação das folhas em expansão (folhas EXP), folhas jovens completamente expandidas (folhas JCE) e folhas maduras (folhas MAD) no índice de área foliar em resposta à altura do dossel do capim Mulato II 57

Tabela 9 - Interceptação de luz pelo dossel em resposta à altura do dossel do capim Mulato II. 58

Tabela 10 - Taxa de fotossíntese das folhas em expansão (folhas EXP), folhas jovens completamente expandidas (folhas JCE) e folhas maduras (folhas MAD) em resposta à altura do dossel do capim Mulato II 58

Tabela 11 - Taxa de fotossíntese das folhas em expansão (folhas EXP), folhas jovens completamente expandidas (folhas JCE) e folhas maduras (folhas MAD) em resposta à dose de N do capim Mulato II 59

Tabela 12 - Taxa de fotossíntese do dossel em resposta à altura do dossel do capim Mulato II. 60

Tabela 13 - Contribuição das folhas em expansão (folhas EXP) e folhas jovens completamente expandidas (folhas JCE) na fotossíntese do dossel em resposta à altura do dossel do capim Mulato II 60

Tabela 14 - Contribuição das folhas em expansão (folhas EXP) e folhas jovens completamente expandidas (folhas JCE) na fotossíntese do dossel em resposta à dose de N do capim Mulato II 61

Tabela 15 - Contribuição das folhas maduras na fotossíntese do dossel em resposta à altura do dossel do capim Mulato II 61

1 INTRODUÇÃO

A população mundial vem crescendo e manterá essa tendência para as próximas décadas. Em projeção realizada pela Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial, que é atualmente de 7,2 bilhões de pessoas, passará a ser de 9,6 bilhões em 2050 e 10,9 bilhões em 2100 (GERLAND et al., 2014). Além desse crescimento, está ocorrendo a intensificação do processo de urbanização e o crescimento da economia mundial, principalmente nos países em desenvolvimento, que promoverão fortes mudanças nos padrões alimentares da população, com a diminuição no consumo de grãos e elevação na demanda por proteínas de origem animal como carne e leite (BARROS et al., 2011). Com isso, há forte pressão para aumentar a produção de alimentos e, assim, conseguir atender a demanda de uma população cada vez maior, mais urbana e mais rica. Diante desse cenário de fortes mudanças, o Brasil surge como um país com imenso potencial para atender essa crescente demanda por possuir características favoráveis para tal, como vasta extensão territorial e condições climáticas adequadas (DIAS-FILHO, 2015).

Estima-se que as pastagens ocupem entre 160 (MEYER; RODRIGUES, 2014) e 196 milhões de ha (FAOSTAT, 2013) do território brasileiro. Desse total, cerca de 50 milhões de ha são cultivadas com capim Marandu [*Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu] (JANK et al., 2014). O país apresenta, assim, uma grande monocultura desse capim (VIGNA et al., 2011), que, apesar da inquestionável importância na produção de bovinos, tem sido acometido da síndrome da morte do capim-braquiarão (PEDREIRA et al., 2014). Dessa forma, o lançamento de novos genótipos forrageiros surge como alternativa para a diversificação das pastagens brasileiras cuja base é composta de uma quantidade relativamente pequena de genótipos.

Com o objetivo de desenvolver novos cultivares de *Brachiaria* (syn. *Urochloa*), com faixa de adaptação mais ampla, bom valor nutritivo, alta produção forrageira e de sementes de boa qualidade, o Programa de Forragens Tropicais do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) lançou o primeiro híbrido no gênero *Brachiaria* conhecido como *Brachiaria* híbrida cv. Mulato I (CIAT 36061), também conhecido simplesmente como capim Mulato. O capim Mulato resultou do cruzamento entre *Brachiaria ruziziensis* (R. Germ. & C. M. Evrard) e *B. brizantha* (ARGEL et al., 2005). Apesar da forragem desse material apresentar boas características agronômicas a produção de sementes é baixa. Subsequentemente, com o objetivo de obter um material igualmente bom, com maior produção de sementes, foi lançado,

também pelo CIAT, o segundo híbrido comercial do mesmo gênero, o capim Mulato II, que é resultado de três gerações de cruzamentos envolvendo as espécies *B. ruziziensis*, *B. decumbens* Stapf cv. Basilisk e *B. brizantha* cv. Marandu. O cv. Mulato II possui produção de forragem e valor nutritivo semelhante ao Mulato I, porém com maior produção de sementes (INYANG et al., 2010; VENDRAMINI et al., 2012) o que faz dele uma boa opção para diversificação das pastagens brasileiras.

Alguns trabalhos avaliando esse novo genótipo foram conduzidos sob regime de colheita mecânica (HARE; TATSPONG; PHENGPHET, 2009; VENDRAMINI et al., 2012; HARE et al., 2013; VENDRAMINI et al., 2014; PEQUENO et al., 2015) e também sob pastejo com lotação intermitente (TEODORO, 2011; DEMSKI, 2013). Esses estudos mostraram que o capim Mulato II é um material bastante promissor. Entretanto, não há na literatura registro do desempenho do capim Mulato II sob lotação contínua, embora esse seja o método de pastejo mais utilizado globalmente.

Em pastos pastejados, a altura do dossel tem se relacionado de maneira consistente com as respostas produtivas da planta e do animal (HODGSON, 1990). A intensidade de pastejo, expressa pela altura do dossel, pode modificar de forma significativa a estrutura do estande de plantas interferindo em características como IAF, distribuição espacial dos componentes morfológicos e interceptação de luz pelo dossel (MOLAN, 2004). Diferenças relativamente pequenas em altura do dossel podem resultar em grandes efeitos na competição por luz, pois são suficientes para promover o autossombreamento (PEDREIRA; MELLO; OTANI, 2001). Assim, diferentes intensidades de pastejo, traduzidas em diferentes alturas de dossel mantidas constantes podem resultar em diferentes ambientes luminosos dentro do estande, levando, consequentemente, a diferentes taxas fotossintéticas das folhas com diferentes níveis de inserção. Uma vez que a fotossíntese é um importante determinante da produtividade em uma comunidade de plantas, uma forma de entender os processos que determinam a produção de forragem é pela avaliação da estrutura do dossel e seus efeitos na fotossíntese das folhas e do dossel.

O nitrogênio é o nutriente mineral que as plantas exigem em maior quantidade e frequentemente o que mais limita o crescimento das plantas (CHAPIN et al., 1987). O N acelera a dinâmica de crescimento (DURU; DUCROC, 2000) e, assim, pode contribuir para o aumento na produtividade de biomassa em pastagens. O N também promove alterações estruturais na vegetação como o aumento da densidade volumétrica de folhas e de colmos e aumento no IAF (PEREIRA et al., 2010) que podem afetar o ambiente luminoso dentro do

estande influenciando a taxa fotossintética das folhas que compõem o dossel por diminuir a radiação solar que chega nas folhas localizadas principalmente nos estratos mais próximos ao solo.

Nesse contexto, o estudo da influência de diferenças em altura do dossel e/ou o uso de fertilizantes nitrogenados na estrutura do dossel e como esses fatores podem afetar a taxa fotossintética das folhas e do dossel podem ser ferramentas poderosas para a melhor compreensão dos efeitos de diferentes estratégias de uso da pastagem sobre os processos relacionados à produção de forragem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Papel das pastagens na bovinocultura brasileira

O Brasil possui o maior rebanho comercial de bovinos do mundo com aproximadamente 212 milhões de cabeças (FAOSTAT, 2013). O país também aparece continuamente como o maior, ou o segundo maior, produtor mundial de carne bovina (JANK et al., 2014). Mais de 90% desse rebanho tem como única fonte de alimento as pastagens (KARIA; DUARTE; ARAÚJO, 2006). Isso se deve ao menor custo de produção nessas condições, uma vez que é o próprio animal que colhe a forragem.

Esse modelo de produção também traz grande vantagem competitiva frente às preocupações cada vez maiores em relação à segurança alimentar, motivo que fez do país um grande exportador de carne bovina (JANK; VALLE; RESENDE, 2011), por evitar os riscos associados com a encefalopatia espongiforme bovina, também conhecida como doença da vaca louca (JANK et al., 2014), além de atender a demanda cada vez maior de carne e leite produzidos em condições mais naturais e com menor uso de concentrados e produtos químicos (ARAÚJO; DEMINICIS; CAMPOS, 2008) quando comparado aos sistemas de produção em confinamento.

Os produtores envolvidos nessas cadeias produtivas estão tendo que se tornar cada vez mais eficientes na sua forma de produzir. As mudanças ocorridas nos últimos anos – como a estabilização da moeda e a competição pelo uso da terra exercida por outras alternativas agrícolas como a soja (*Glycine max* L. Merril) e, mais recentemente, a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) e oleaginosas para produção de biocombustíveis – exigem maior produtividade e competitividade em seus sistemas de produção (BARCELLOS et al., 2008). Ser mais eficiente, ou seja, produzir mais carne e leite com menos área de pastagem, vem se tornando uma necessidade de sobrevivência para a pecuária brasileira (DIAS-FILHO, 2015).

A produção de carne bovina brasileira teve um grande crescimento nas últimas décadas. No entanto, há uma percepção que esse crescimento ocorreu principalmente devido à expansão das áreas de pastagens (NEPSTAD; STICKLER; ALMEIDA, 2006; SOARES-FILHO et al., 2006; MARTHA JR; ALVES; CONTINI, 2012). Por essa razão, essa modalidade de produção vem sendo criticada, pois acredita-se que os animais são criados de forma extensiva, trazendo prejuízos ambientais devido à sua baixa produtividade e a necessidade de expandir as áreas de pastagens para se manter economicamente viável

(MEYER; RODRIGUES, 2014). Entretanto, alguns estudos demonstram que essa afirmação não é verdadeira.

Analisando dados do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 1985, 1995 e 2006, Meyer e Rodrigues (2014) reportaram aumento de 128 milhões de cabeças de bovinos em 1985 para 176,1 milhões em 2006. No mesmo período, a área de pastagem caiu de 179,2 para 160 milhões de hectares. Outro exemplo do aumento da produtividade na pecuária nacional é a produção de peso de carcaça que aumentou de 38,4 kg ha^{-1} ano^{-1} em 2001 para 53,9 kg ha^{-1} ano^{-1} em 2010 (JANK et al., 2014). A melhora dos índices de produtividade na pecuária brasileira foi possível pela substituição de pastagens naturais por pastagens cultivadas ao longo do tempo (MEYER; RODRIGUES, 2014; DIAS-FILHO, 2015). Estima-se que aproximadamente oito milhões de ha de pastagens são renovados ou recuperados no Brasil anualmente (JANK et al., 2014).

Martha Jr., Alves e Contini (2012), também com base em dados do IBGE, mostraram um acentuado aumento na produção de carne bovina no Brasil entre 1950 e 2006, de 1,08 para 6,89 milhões de toneladas em equivalente-carcaça. Entre 1950 a 1975, a principal causa desse aumento apontada pelos autores foi a expansão nas áreas de pastagem, responsável por aproximadamente 86% do crescimento da produção de carne bovina no Brasil. Depois de 1975, a principal causa desse aumento na produção passou a ser o aumento na produtividade, que a partir de 1985 foi responsável por mais de 100% do crescimento da produção de carne bovina. Isso foi possível porque, a partir de 1985, passou a haver redução nas áreas de pastagem. Os autores apontam que dentre os motivos para esse aumento na produtividade está a adoção de gramíneas melhoradas como as do gênero *Brachiaria*.

Preocupações sobre questões ambientais não se resumem apenas ao desmatamento. Cada vez mais assuntos como aquecimento global e gases de efeito estufa (GEEs) são pauta das discussões da sociedade. A pecuária é responsável pela emissão de GEEs que contribuem para o aquecimento global e dentre esses gases o dióxido de carbono (CO_2) é o principal contribuinte para o aquecimento global por ser liberado em grandes quantidades para a atmosfera (CHIZZOTTI; PIMENTEL; CHIZZOTTI, 2014). Apesar dessa negativa contribuição da pecuária para o aquecimento global, a atividade pode, por outro lado, ser uma poderosa ferramenta para mitigação dos GEEs (DIAS-FILHO, 2011) devido ao enorme potencial das gramíneas forrageiras em aumentar o estoque de carbono no solo (CARVALHO et al., 2010). Porém, para as pastagens cumprirem esse papel, é importante que haja manejo adequado da pastagem, caso contrário, a emissão desses gases será maior que a mitigação

(FEARNSIDE; BARBOSA, 1998). Chizzotti, Pimentel e Chizzotti (2014) revisaram a literatura e concluíram que na maioria dos estudos um bom manejo da pastagem resultou em sequestro de CO_2, enquanto que quando o pasto foi mal manejado prevaleceram as emissões de CO_2.

É indiscutível a importância das pastagens na atividade pecuária brasileira. Contudo, diante do atual cenário, a pecuária conduzida de forma extensiva é indesejável por não ser economicamente viável e trazer passivos ambientais. Dessa forma, o aumento da eficiência no processo produtivo passa a ser chave para que o pecuarista se mantenha na atividade e para minimizar os efeitos negativos da atividade sobre o ambiente.

2.2 Importância do gênero *Brachiaria* na pecuária brasileira: histórico do uso e lançamento de novos cultivares

A área de pastagens no Brasil compreende aproximadamente 196 milhões de hectares (FAOSTAT, 2013), sendo 100 milhões ocupados por pastagens cultivadas (EUCLIDES et al., 2010). Grande proporção das áreas de pastagens cultivadas são ocupadas por gramíneas do gênero *Brachiaria* com predominância das espécies *B. brizantha*, *B. decumbens* e *B. humidicola* (Rendle) Schweick (ASSIS et al., 2014). Características como boa produção de forragem, boa adaptação às mais variadas condições de solo e clima, facilidade de estabelecimento, persistência, bom valor nutritivo, baixa suscetibilidade a doenças e pragas e bom crescimento durante a maior parte do ano fizeram os capins desse gênero muito popular entre os pecuaristas (COSTA et al., 2005).

A *B. decumbens* foi introduzida oficialmente no Brasil em 1952, e a partir de 1965 houveram novas introduções desse material que foi denominado cv. IPEAN. No início da década de 1960, outro ecótipo de *B. decumbens* que foi levado de Uganda para a Austrália e lá registrado como cv. Basilisk também foi introduzido no país e, devido a atributos interessantes como boa adaptação a solos ácidos e pobres, boa produção de sementes e bom desempenho animal se comparado às pastagens naturais, associado a estímulos governamentais de incentivo a formação de pastagens, formou-se um extenso monocultivo nos cerrados brasileiros (VALLE et al., 2011). Considera-se que a introdução desse material, que ficou conhecido como “capim-braquiária” ou “braquiarinha”, foi o responsável por uma revolução na pecuária nacional (KARIA; DUARTE; ARAÚJO, 2006). Entretanto, a *B. decumbens* é bastante suscetível à cigarrinha-das-pastagens (SOARES FILHO, 1994), principalmente às espécies *Deois flavopicta* (Stall) e *Zulia enteriana* (Berg) (KARIA;

DUARTE; ARAÚJO, 2006). O cultivo da *B. decumbens* cv. Basilisk em uma vasta extensão territorial e o desmatamento, que promoveu diminuição no número de aves que são predadores naturais desse inseto-praga, favoreceram a proliferação das cigarrinhas-das-pastagens causando grandes prejuízos às pastagens de capim-braquiária (KARIA; DUARTE; ARAÚJO, 2006).

Outro problema associado à *B. decumbens* é a ocorrência de surtos de fotossensibilização em animais que a consomem, atribuída à micotoxina esporodesmina produzida pelo fungo *Pithomyces chartarum* (Berk & Curt). Atualmente, acredita-se que saponinas esteroidais presentes na própria gramínea sejam as responsáveis pela toxicidade que ocorre nos animais consumindo esse capim, sendo os ovinos mais suscetíveis que os bovinos e animais jovens mais suscetíveis que os adultos (ALBERNAZ et al., 2010; SATURNINO et al., 2010).

Em função disso, aumentou a demanda por novos materiais livres de tais problemas. Em 1984 foi lançada a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (NUNES et al., 1984). Por ser tolerante às principais espécies de cigarrinhas-das-pastagens, esse novo cultivar se tornou o material de preferência para a formação de novas áreas de pastagens e também foi gradativamente substituindo a *B. decumbens* e, assim, acabou por constituir um novo monocultivo que perdura até os dias atuais (VALLE et al., 2011). O “capim-braquiarão”, “brizantão”, ou capim Marandu, como ficou conhecido, passou a ser o capim mais plantado no país desde então (KARIA; DUARTE; ARAÚJO, 2006; ARAÚJO; DEMINICIS; CAMPOS, 2008). Esse cultivar ocupa, nos dias atuais, aproximadamente 50 milhões de ha, sendo considerado o maior monocultivo do mundo em termos de área (JANK et al., 2014), o que corresponde a cerca de 50% das pastagens cultivadas no Brasil.

Apesar de ter sido lançado como opção de gramínea forrageira resistente às cigarrinhas-das-pastagens, na região Norte o capim Marandu tem sofrido, em tempos recentes, danos causados por espécies de cigarrinhas do gênero *Mahanarva*, que tipicamente ataca a cana-de-açúcar (VALLE et al., 2011). O capim Marandu também tem sofrido com a chamada “Síndrome da morte do capim Marandu”. A manifestação dessa síndrome ocorre durante a época das chuvas, especialmente em solos de baixa permeabilidade (DIAS-FILHO, 2005) devido à má adaptação desse capim a solos mal drenados (VALLE et al., 2011). O fenômeno tem sido considerado uma importante causa de degradação das pastagens na região norte do Brasil, principalmente no Acre, mas tem afetado também pastagens no Amazonas, Pará, Rondônia, Mato Grosso, Tocantins e Maranhão (DIAS-FILHO, 2006a). Segundo Dias-Filho

(2006b), a síndrome da morte do capim Marandu teria sua origem em alterações nos mecanismos bioquímicos de defesa da planta quando exposta ao excesso de água no solo. Essas alterações tornariam o capim Marandu mais suscetível a ataques oportunistas de fungos patogênicos às suas raízes (DIAS-FILHO, 2011). Devido a esses problemas atribuídos ao capim Marandu, foram lançados dois cultivares de *Brachiaria brizantha*: o cv. Xaraés e o cv. BRS Piatã. Por serem bem adaptados aos solos do Cerrado, esses novos capins são excelentes opções de forrageiras para a diversificação das áreas de pastagens (EUCLIDES et al., 2008).

O capim Xaraés foi lançado em 2003 e, embora seja menos resistente à cigarrinha-das-pastagens do que o Marandu, apresenta rebrotação mais rápida após o pastejo, bom valor nutritivo, maior produção de forragem, maior capacidade de suporte no período das águas e maior produtividade (VALLE et al., 2004). O capim Xaraés também é menos suscetível a solos mal drenados, o que o torna uma opção para áreas acometidas pela síndrome da morte do capim Marandu (DIAS-FILHO, 2005).

Lançado em 2007, o capim Piatã apresenta ampla adaptação e elevada produtividade (ANDRADE; ASSIS, 2010). Esse cultivar apresenta nível intermediário de tolerância ao encharcamento do solo (CAETANO; DIAS-FILHO, 2008), sendo mais tolerante às condições que causam a síndrome da morte do capim Marandu se comparado ao capim Marandu, sendo, porém, menos adaptado a elas do que o capim Xaraés (ANDRADE; ASSIS, 2010). Por apresentar baixa infestação e danos moderados resultantes do ataque de cigarrinhas das espécies *Notozulia entreriana* e *Deois flavopicta*, o capim Piatã é considerado resistente às cigarrinhas-das-pastagens (ANDRADE; ASSIS, 2010), e ainda se destaca por produzir forragem de melhor qualidade, apresentar maior acúmulo de folhas e produzir colmos mais finos (VALLE et al., 2007).

Atualmente, os capins do gênero *Brachiaria* representam aproximadamente 85% das áreas de pastagens cultivadas no Brasil (JANK et al., 2014). Apesar do lançamento de vários cultivares de braquiária em diversos países da América tropical, incluindo o Brasil, a base genética desses materiais é bastante estreita, pois foram originados de poucos acessos das espécies *B. brizantha*, *B. decumbens* e *B. humidicola* (ASSIS et al., 2003).

O principal método de melhoramento em plantas forrageiras utilizado no Brasil é a seleção a partir da variabilidade genética natural de materiais existentes em coleções e bancos de germoplasma. As oportunidades de exploração desse método, no entanto, são finitas, indicando que a recombinação genética passará a ser a melhor alternativa para a busca de novos cultivares (VALLE; JANK; RESENDE, 2009; VALLE et al., 2011). Com as

Brachiarias essa tendência também se mostra verdadeira, visto que, nos últimos anos, houve o desenvolvimento e lançamento de cultivares híbridos dentro desse gênero.

O desenvolvimento de híbridos é um grande avanço no melhoramento de plantas forrageiras, por possibilitar a combinação de atributos e potencializar características desejáveis de diferentes cultivares como produção, valor nutritivo, persistência, tolerância a pragas e doenças e outras características que possam favorecer a produção animal (FARIA FILHO, 2012). Valle et al. (2008) também apontaram como objetivo do melhoramento de plantas forrageiras a produção de sementes de boa qualidade, o uso eficiente de fertilizantes e a adaptação a estresses edáficos e climáticos.

Para um programa de melhoramento genético ser bem sucedido, é importante determinar o nível de ploidia e o modo de reprodução dos genitores e das progênies (VALLE; JANK; RESENDE, 2009). Diferenças no nível de ploidia dentro e entre as espécies e a reprodução por apomixia são os principais obstáculos encontrados para a produção de híbridos do gênero *Brachiaria* (MENDES-BONATO et al., 2002; FUZZINATTO; PAGLIARINI; VALLE, 2007), uma vez que a apomixia e a diferença de ploidia, mesmo quando as plantas apresentam reprodução sexual, impedem os cruzamentos (CARNEIRO; DUSI, 2002).

No gênero *Brachiaria*, há espécies que se reproduzem por apomixia e outras de modo sexual (CARNEIRO; DUSI, 2002). Genótipos desse gênero que apresentam apomixia são poliplóides (MENDES-BONATO et al., 2002) com prevalência de tetraplóides (MILES; VALLE, 1996). Como exemplos de tetraplóides podem ser citados a *B. decumbens* cv. Basilisk e a *B. brizantha* cv. Marandu que são os dois cultivares mais cultivados no Brasil Central (SIMIONI; VALLE, 2009). Por outro lado, espécies diplóides, como a *B. ruziziensis*, são sexuais (MILES; VALLE, 1996). No entanto, há também acessos de *B. decumbens* e *B. brizantha* que apresentam diploidia (KARIA; DUARTE; ARAÚJO, 2006).

Os primeiros cruzamentos em *Brachiaria* não obtiveram sucesso, pois a hibridização foi feita cruzando um genótipo diplóide com outro tetraplóide, ou seja, plantas com diferenças no nível de ploidia (MILES; VALLE, 1996). Para que esse tipo de cruzamento seja bem sucedido é necessário equilibrar o número de cromossomos entre os genitores que pode ser feito pela duplicação do número de cromossomos das plantas diplóides (SIMIONI; VALLE, 2009). A indução da poliploidia é de grande serventia para o melhoramento genético por permitir a transferência de genes de interesse entre genótipos que apresentam diferentes níveis de ploidia (WITTMANN; DALL'AGNOL, 2003).

Baseado nesse princípio, na década de 1980, na Bélgica foi desenvolvido um tetraplóide sexual a partir do tratamento com o alcalóide colchicina de um diplóide sexual, a *B. ruziziensis*. Desde então, os primeiros cruzamentos dessa espécie com genótipos tetraplóides apomíticos (*B. decumbens* e *B. brizantha*) bem sucedidos foram conseguidos (MILES; VALLE, 1996) utilizando pólen dos cultivares Marandu e Basilisk para fecundar a *B. ruziziensis* (KARIA; DUARTE; ARAÚJO, 2006). Posteriormente, a poliploidia também foi induzida em um acesso diplóide de *B. brizantha* (PINHEIRO et al., 2000) e também em um de *B. decumbens* (SIMIONI; VALLE, 2009), abrindo novas perspectivas para o melhoramento genético por expandir as possibilidades de cruzamentos.

O primeiro híbrido comercial do gênero *Brachiaria* foi desenvolvido pelo Programa de Forragens Tropicais do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), localizado em Cali, na Colômbia. Sua origem teve início em 1988 com o cruzamento entre o clone sexual 44-6 de *B. ruziziensis* (tetraplóide sexual) e a *B. brizantha* CIAT 6297, que corresponde ao cv. Marandu no Brasil. Um dos híbridos gerados foi o 625-06 que foi identificado como sexual. Em 1991 esse foi utilizado como progenitor feminino em novos cruzamentos mediante fertilização aberta com híbridos sexuais e apomíticos e acessos apomíticos de *Brachiaria* dando origem a seis novas progênies. Uma delas foi identificada como FM9201/1873 e foi classificada como apomítica. Esse clone foi incluído em ensaios de campo a partir de 1994 na Colômbia, Filipinas, China, México e países da América Central e, posteriormente, passou a ser denominada *Brachiaria* híbrida CIAT 36061. Os direitos de multiplicação e comercialização desse material foram adquiridos em 2000 pela empresa mexicana Semillas Papalotla S. A. de C. V. que o liberou com o nome de cultivar Mulato (MILES, 1999).

Argel et al. (2005) apontam entre as características interessantes do cv. Mulato sua ampla faixa de adaptação, alto valor nutritivo, alta produção forrageira, facilidade de estabelecimento por meio de sementes, intenso perfilhamento e sistema radicular profundo, o que lhe atribui alta resistência às condições de seca. Contudo, os autores alertaram para o fato desse cultivar não tolerar condições de solo encharcado. Outra limitação é sua baixa produção de sementes que elevam os custos para sua implantação.

O cultivar Mulato II é o segundo híbrido comercial lançado pelo Projeto de Forragens Tropicais do CIAT. O cv. Mulato II é o resultado de três gerações de cruzamentos iniciados em 1989 envolvendo, primeiramente as espécies *B. ruziziensis* clone 44-6 e *B. decumbens* cv. Basilisk. Os híbridos sexuais dessa primeira geração foram expostos à polinização aberta dando origem à segunda geração de híbridos de onde foi selecionado um genótipo

identificado como SX94NO/0612. Esse material também foi exposto à fertilização aberta com uma série de acessos e híbridos sexuais e apomíticos. Das progênies geradas foi possível identificar em 1996 um clone apomítico que foi denominado FM9503/S046/024, identificado posteriormente como *Brachiaria* hibrida CIAT 36087. Vigor, produtividade e alta proporção de folhas foram os critérios utilizados para a seleção desse genótipo. Da mesma forma que aconteceu com o cv. Mulato, no ano de 2000 a empresa Semillas Papalotla S. A. de C. V. adquiriu os direitos para comercialização desse novo cultivar e o lançou em 2005 como cv. Mulato II (ARGEL et al., 2007). No Brasil esse cultivar tem sido comercializado como Convert HD 364® pela empresa Dow AgroSciences. No presente texto, em prol da simplicidade, referência a esse material será feita como capim Mulato II.

O capim Mulato II se adapta bem a solos de baixa fertilidade com altos teores de alumínio tóxico, tolera períodos prolongados de seca, tem boa recuperação depois da ocorrência de geadas e queimadas, boa tolerância ao sombreamento moderado e melhor adaptação que os capins Mulato e Marandu às zonas com drenagem deficiente e apresenta resistência a várias espécies de cigarrinhas (*Aeneolamia reducta, A. varia, Zulia carbonaria*, *Z. pubescens*, *Prosapia simulans* e *Mahanarva trifissa*), que é uma de suas características mais desejadas, uma vez que a cigarrinha é a praga que mais tem causado danos aos capins *Brachiaria*. Além disso, o capim Mulato II também apresenta produção de sementes superior à do capim Mulato (ARGEL et al., 2007).

2.3 Determinantes morfofisiológicos da produção de forragem

O acúmulo de massa seca em plantas resulta de complexas interações entre atributos genéticos e efeitos ambientais sobre os processos fisiológicos e características morfológicas (DA SILVA; PEDREIRA, 1997). A eficiência na conversão da energia solar em matéria seca passível de ser colhida depende da taxa de fotossíntese de folhas individuais, do padrão de interceptação de luz pelo dossel e de como os fotoassimilados são distribuídos na planta (COOPER; WILSON, 1970; NELSON; ASAY; HORST, 1975).

Segundo Pearce, Brown e Blaser (1965) a capacidade de produção de matéria seca de uma comunidade de plantas depende, em última análise, do grau de interceptação da radiação solar incidente. Vários são os aspectos morfológicos e fisiológicos que estão relacionados com a interceptação da luz pelas plantas (BERNARDES, 1987). Entre os morfológicos estão o brilho e transparência da epiderme e da cutícula e a organização espacial das folhas, expressa pela densidade de cobertura foliar, distribuição horizontal e vertical das folhas e

ângulo foliar. Já os fatores fisiológicos dependem de aspectos da planta e do ambiente, sendo idade, tipo e tamanho das folhas, saturação luminosa e flutuações na intensidade e na qualidade da luz, os mais importantes.

A partição dos produtos resultantes da fotossíntese, os fotoassimilados, também tem impacto marcante na produtividade (IRVING, 2015). A importância da translocação dos fotoassimilados é mais visível quando a produção é composta, por exemplo, por drenos metabólicos não-fotossintetizantes, como grãos, frutos e órgãos subterrâneos em algumas culturas (DA SILVA; PEDREIRA, 1997). Essa partição de carboidratos é dependente de vários fatores fisiológicos, genéticos e do meio, que podem, em alguns casos, ser manipulados a fim de promover aumento da produtividade da pastagem (PEDREIRA; MELLO; OTANI, 2001).

A distribuição da folhagem no perfil vertical de um dossel de plantas forrageiras afeta a produtividade da pastagem devido à sua importância nos processos de fotossíntese e competição por luz, além de afetar a proporção da forragem presente que é removida pelo corte ou pastejo (PEDREIRA; MELLO; OTANI, 2001). Em uma vegetação onde as folhas estão concentradas nas camadas superiores do dossel, desfolhações por corte ou pastejo mais severos removerão grande parte das folhas que são os principais tecidos responsáveis pela fotossíntese. Nessas situações, o vigor de rebrotação é menor, uma vez que pouca área foliar se encontra presente no resíduo.

A fotossíntese compreende os processos de captura da energia solar e sua conversão para formas químicas de energia que são utilizadas em reações bioquímicas associadas à manutenção do metabolismo, ao crescimento e desenvolvimento de órgãos necessários à captação de recursos e à reprodução (LAWLOR, 1995). A eficiência desse processo nas plantas é fator determinante da produtividade agrícola (BERNARDES, 1987), o que pode ser corroborado pelo fato de que a composição da forragem colhida é constituída de 90 a 95% de carbono derivado da fotossíntese (NELSON; ASAY; HORST, 1975).

A taxa de fotossíntese das folhas individuais é o elemento central da produtividade em uma comunidade de plantas (SAEKI, 1959). A capacidade fotossintética das folhas pode sofrer grandes flutuações influenciadas pela quantidade de radiação solar, temperatura, suprimento de água e, sobretudo, estádio de desenvolvimento da folha (ZELITCH, 1982; PEDREIRA; MELLO; OTANI, 2001).

O potencial fotossintético nas folhas também varia em função da porção do limbo foliar onde as medições são realizadas. Pedreira, Pedreira e Lara (2015) avaliaram o potencial

fotossintético da folha mais jovem completamente expandida de dois genótipos de *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B. K. Simon & S. W. L. Jacobs (syn. *Panicum maximum* Jacq.) (cvs. Massai e Tobiatã) em três regiões da lâmina foliar (terço basal, terço central e terço apical). Os autores mediram maiores valores nas porções central e apical da lâmina foliar e justificaram esses resultados pelo fato das células nessas regiões possuírem o aparato fotossintético completamente desenvolvido.

Em pastos de capim Xaraés mantidos sob lotação intermitente, Pedreira e Pedreira (2007) mediram a taxa fotossintética da folha mais jovem completamente expandida em três momentos (imediatamente após o pastejo, imediatamente antes do pastejo e no dia médio do período de rebrotação) do ciclo de rebrotação, que foi baseado em interceptação de luz (95 e 100%) ou período de descanso de 28 dias. Os autores reportaram maiores taxas fotossintéticas no dia médio do ciclo. A fase inicial de rebrotação apresentou os valores mais baixos de fotossíntese foliar, enquanto que valores intermediários foram encontrados no pré-pastejo. A baixa eficiência fotossintética logo após o período de pastejo se deve à condição de sombreamento em que as folhas se desenvolveram, conforme apontado por Woledge (1971). A autora demonstrou que folhas que cresceram sob baixa luminosidade apresentam menor taxa fotossintética por unidade de área, mesmo quando expostas a elevadas radiações em relação a folhas que já se desenvolveram em condições de alta luminosidade. A irradiância durante o desenvolvimento da folha influencia seu potencial fotossintético por afetar características anatômicas da folha, como densidade de estômatos e espaços intercelulares, que são determinadas durante a fase inicial do alongamento celular (ALLARD; NELSON; PALLARDY, 1991). Já em dosséis sob lotação contínua, as plantas podem manter tecidos com baixa eficiência fotossintética, como folhas velhas e colmos, em proporções altas. Embora ao utilizar esse método de pastejo seja possível conseguir boa cobertura do solo - e, portanto, elevada interceptação de luz - grande parte da radiação é interceptada por esses tecidos com baixa capacidade fotossintética, que contribuem pouco para a fotossíntese do dossel (PARSONS et al., 1983a).

A estrutura do dossel também interfere na fotossíntese das folhas por influenciar a distribuição de luz dentro do estande de plantas que, por sua vez, influencia a circulação de ar afetando a transferência de CO_2, vapor d'água e calor (LOOMIS; WILLIAMS, 1969). A intensidade de pastejo, imposta por meio da altura do dossel, pode modificar de forma significativa a estrutura do estande de plantas interferindo em características como IAF, distribuição espacial dos componentes morfológicos e interceptação de luz (MOLAN, 2004).

Portanto, pequenas diferenças em altura do dossel podem trazer grandes efeitos na competição por luz, pois pequenas variações são suficientes para promover o autossombreamento (PEDREIRA; MELLO; OTANI, 2001). O estádio de desenvolvimento da folha também afeta sua capacidade fotossintética (PEDREIRA; PEDREIRA; LARA, 2015). Esses fatores sofrem grande variação ao longo do perfil do dossel, resultando em diferentes potenciais fotossintéticos. Dessa forma, a intensidade de pastejo, traduzida na altura do dossel mantida constante, pode afetar o ambiente luminoso dentro do estande, levando, consequentemente, a diferentes taxas fotossintéticas das folhas com diferentes níveis de inserção em dosséis sob lotação contínua.

Uma vez que a taxa de fotossíntese do dossel provém das taxas fotossintéticas das folhas que o compõem, a busca por dosséis compostos por folhas mais jovens que são fotossinteticamente mais ativas é interessante. Embora, o IAF seja uma variável comumente avaliada nos estudos envolvendo plantas forrageiras, a composição desse IAF é raramente avaliada. Parsons et al. (1983a) observaram que em pastos de azevém perene (*Lolium perenne* L.) mantidos com IAF próximo a 1 sob lotação contínua, as folhas em expansão e as folhas mais jovens completamente expandidas contribuíram com 77% da fotossíntese do dossel. Para que o dossel possa alcançar altas taxas fotossintéticas, é igualmente importante que este possua altos valores de área foliar. Em pastos submetidos a maiores frequências de desfolhação, como é o caso de dosséis mantidos mais baixos, a taxa de aparecimento de folhas é maior (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996), o que faz com que a idade média dessas folhas seja menor. Além disso, dosséis mais baixos também promovem menor autossombreamento. Esses fatores favorecem maiores taxas fotossintéticas. Em contrapartida, dosséis mais altos apresentam maiores valores de IAF, ou seja, maior área de tecido fotossintetizante. Dessa forma, é necessário a busca de estratégias de manejo da pastagem que consigam combinar taxa de fotossíntese foliar e IAF de forma a maximizar a fotossíntese do dossel e que, consequentemente se traduza em máxima produção de forragem.

2.4 Altura do dossel como critério de manejo em pastos sob lotação contínua

Um importante pré-requisito para o manejo do pastejo é a avaliação periódica da condição do dossel forrageiro. A mensuração da altura do dossel é uma maneira efetiva para caracterizar o dossel, principalmente sob lotação contínua, por frequentemente apresentar melhor relação com produção de forragem e desempenho animal se comparada a outras características como densidade da forragem, massa de forragem e massa de folhas

(HODGSON, 1990). No entanto, Braga et al. (2006) alertaram que, pelo menos sob lotação intermitente, a relação entre altura do dossel e interceptação de luz pode mudar com o decorrer do tempo e, assim, essa relação deve ser usada com cautela.

Estudos conduzidos em espécies forrageiras de clima temperado confirmaram que a adoção de um alvo de altura do dossel como critério de manejo é uma maneira eficaz para fornecer estimativas confiáveis em relação a respostas tanto dos animais quanto das plantas em pastos mantidos sob lotação contínua (WRIGHT; WHYTE, 1989; PENNING et al., 1991). Nos últimos anos, pesquisas feitas com diversas gramíneas forrageiras tropicais (CARVALHO et al., 2000; CARNEVALLI et al., 2001; CECATO et al., 2001; CANTO et al., 2008; FLORES et al., 2008; CARLOTO et al., 2011; SANTOS et al., 2011; PAULA et al., 2012; HERNANDEZ-GARAY et al., 2014) também sugerem que o monitoramento da altura do dossel como estratégia de manejo do pastejo gera relações consistentes desta com respostas da planta e do animal.

Estudando quatro alturas do dossel (20, 40, 60 e 80 cm) em pastos de capim Tanzânia (*Megathyrsus maximus* cv. Tanzânia) sob lotação contínua, Canto et al. (2008) observaram que o aumento da altura do dossel promoveu aumento linear na massa de forragem e na massa de lâminas de folhas verdes, porém aumentou mais ainda a massa de colmos, o que causou diminuição na relação folha:colmo. Em contrapartida, o aumento da altura do dossel levou à diminuição no acúmulo de forragem e na taxa de acúmulo de forragem. Os autores ressaltaram que apesar da altura de 20 cm ter promovido maior produção de forragem, apareceram nesses pastos áreas descobertas e espécies de plantas invasoras, o que pode ser interpretado como indícios de degradação da pastagem. Também sob lotação contínua, Flores et al. (2008) estudaram os capins Marandu e Xaraés nas alturas 15, 30 e 45 cm e, contrastando com os resultados de Canto et al. (2008), encontraram maiores taxas de acúmulo de forragem nos dosséis mantidos mais altos (45 cm). A massa de forragem e o desempenho animal também foram maiores nos pastos com dosséis mantidos a 45 cm. Paula et al. (2012) encontraram maior relação folha:colmo, maior densidade volumétrica e melhor valor nutritivo em pastos de capim Marandu manejados a 15 cm em relação aos manejados a 30 e 45 cm. Entretanto, maior ingestão de forragem ocorreu nos pastos de 30 cm, pois quando manejado a 15 cm, a oferta de forragem limitou a ingestão.

Por apresentar respostas consistentes com as respostas produtivas, tanto da planta quanto dos animais em pastejo, é razoável assumir ser possível determinar amplitudes de alturas ótimas em que o dossel possa ser mantido. Além disso, essa característica estrutural do

dossel também é de fácil medição e controle e, consequentemente, fácil adoção no campo. Assim, a altura do dossel se mostra uma ferramenta potencialmente valiosa e útil para o manejo do pastejo.

2.5 Nitrogênio como modulador do crescimento de plantas forrageiras

O nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pelas plantas e frequentemente o que mais limita o seu crescimento (CHAPIN et al., 1987). Esse elemento é constituinte de muitos compostos importantes das células vegetais, tais como os nucleotídeos que formam a estrutura dos ácidos nucleicos e os aminoácidos que são as estruturas básicas das proteínas (BRISKIN; BOOM, 2013). O N também faz parte das membranas e de diversos hormônios (SOUZA; FERNANDES, 2006), além de fazer parte da molécula de clorofila interferindo diretamente na fotossíntese foliar (ANDRADE et al., 2003).

O uso de fertilizantes nitrogenados altera a dinâmica dos processos fisiológicos das plantas como o crescimento e a senescência, podendo causar mudanças na estrutura da vegetação (PEREIRA et al., 2010). Avaliando o capim Xaraés em vasos, Martuscello et al. (2005) observaram que a aplicação de 120 mg N dm^{-3} promoveu aumento nas taxas de alongamento e aparecimento foliar, no número de perfilhos, no número de folhas vivas e no comprimento final da lâmina foliar, resultando no aumento da área foliar. Os autores também observaram aumento na produção de matéria seca com a aplicação de N. Vários outros trabalhos reportaram aumento na produtividade de biomassa em pastagens tropicais com aplicação de fertilizantes nitrogenados (BRAGA et al., 2004; FAGUNDES et al., 2005; FREITAS et al., 2012; COSTA et al., 2013).

Segundo Hay e Walker (1989), devido à aceleração das respostas morfológicas das plantas promovida pelo N, o principal efeito desse nutriente na fotossíntese do dossel é pelo aumento na interceptação de luz. Gastal e Durant (2000) postularam que o papel do N na fotossíntese é dependente da condição em que o dossel se encontra. Em valores de baixo IAF, a principal contribuição do N na fotossíntese do dossel é pelo seu papel no aumento da área foliar e, portanto, na interceptação de luz. Já em dosséis com elevados IAF, seu efeito é principalmente no aumento da capacidade fotossintética das folhas.

Aproximadamente 65% das proteínas encontradas nas folhas estão presentes nos cloroplastos, dos quais, possivelmente, metade desse montante está presente na Rubisco (HAY; WALKER, 1989). Essa é a provável razão da correlação positiva existente entre concentração de N na folha e fotossíntese foliar máxima (GASTAL; DURAND, 2000).

Estudos têm demonstrado que o incremento das doses de N promove aumento na concentração de N nas folhas de capins do gênero *Brachiaria* (BATISTA; MONTEIRO, 2007; COSTA et al., 2008). Dessa forma, o uso de fertilizantes nitrogenados pode afetar a capacidade fotossintética das folhas. Entretanto, o aumento na fotossíntese foliar com maiores concentrações de N na folha é pouco evidente quando a radiação solar é baixa (GASTAL; DURAND, 2000). Robson e Parsons (1978) avaliaram o efeito de doses contrastantes de N na fotossíntese em dosséis de azevém perene onde praticamente toda a luz estava sendo interceptada pelo dossel. Os autores observaram maiores taxas de fotossíntese foliar nos dosséis que receberam solução nutritiva com 300 ppm de N em comparação aos que receberam com apenas 3 ppm de N e concluíram que esse fato foi o responsável pela maior fotossíntese bruta do dossel nos dosséis que receberam maior dose de N. Maiores taxas respiratórias também foram medidas quando aplicado solução nutritiva com 300 ppm de N. Isso ocorre porque a exigência de energia para a manutenção de folhas com alta concentração de N é maior (CHAPIN et al., 1987). Devido ao aumento da fotossíntese foliar em resposta à disponibilidade de N ser mais acentuado quando o nível de radiação solar é maior e pelo fato das folhas localizadas mais próximas do ápice da planta estarem mais expostas a luz, a maneira como o N é distribuído entre as folhas passa a desempenhar importante papel na fotossíntese do dossel (CHAPIN et al., 1987). A maximização da fotossíntese do dossel é conseguida quando o conteúdo de N é maior nas folhas que estão mais expostas à luz e menor nas folhas sombreadas (FIELD, 1983).

O N também influencia características estruturais do dossel que tem efeitos importantes na fotossíntese do dossel. Mesquita et al. (2010) avaliando o capim Marandu mantido a 30 cm sob lotação contínua observaram que com a aplicação de doses mais altas de N (300 e 450 kg ha^{-1}) houve aumento no IAF em relação a tratamentos com 0 e 150 kg N ha^{-1}. Os autores também observaram que a aplicação de 300 e 450 kg N ha^{-1} tem efeito sobre o ângulo das folhas dependendo da estação do ano e comentaram que, embora não tenha sido encontrada diferença entre as doses de N na maior parte do ano, houve tendência do dossel em manter as folhas mais horizontais com maiores doses de N. Em estudo realizado concomitantemente ao de Mesquita et al. (2010), Pereira et al. (2010) mediram maiores densidades volumétricas de folhas e de colmos em pastos recebendo 300 e 450 kg N ha^{-1}. Embora essas alterações estruturais da vegetação (IAF, ângulos foliares e densidade volumétrica) resultantes da aplicação de N promovam aumento na capacidade do dossel em interceptar a radiação solar e aumento de área de tecido fotossintetizante, nessas condições a penetração de luz e o

ambiente luminoso dentro do estande de plantas é afetado, influenciando a taxa fotossintética das folhas.

3 OBJETIVO

O objetivo neste trabalho foi descrever e explicar a participação de diferentes categorias de folhas na composição do índice de área foliar e nas taxas de fotossíntese do dossel e seu impacto no acúmulo de forragem do capim Mulato II em resposta a duas taxas de crescimento contrastantes geradas por doses anuais de N e alturas do dossel mantidas por pastejo mimetizando lotação contínua com taxa de lotação variável.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido por duas estações de pastejo (anos) nos verões agrostológicos, 2013/2014 e 2014/2015 em área experimental do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), localizada em Piracicaba-SP (22°42'30" S, 47°30'00" W, altitude 580 m) (CERVELLINI et al., 1973).

O clima do local é classificado como Cwa (mesotérmico úmido subtropical de inverno seco) (Sistema Köppen). Os dados climáticos do período experimental (Tabela 1) foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ, situado a 2 km de distância da área experimental.

Tabela 1 - Precipitação e temperaturas máxima e mínima durante o período experimental e média histórica (1917-2015)

Variável climática	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
			Ano 1 (2013/14)		
Temperatura Máx. (°C)	32,5	33,4	33,7	31,4	29,2
Temperatura Mín. (°C)	20,2	20,2	20,5	19,3	17,2
Pluviosidade (mm)	121,0	83,3	62,4	108,8	54,0
			Ano 2 (2014/15)		
Temperatura Máx. (°C)	32,5	33,7	32,2	30,1	29,7
Temperatura Mín. (°C)	20,5	21,6	20,9	19,9	17,5
Pluviosidade (mm)	256,9	104,1	248,2	134,3	12,8
			1917-2015		
Média hist. das Temp. Máx. (°C)	29,8	30,0	30,0	30,0	28,0
Média hist. das Temp. Mín. (°C)	18,3	19,1	19,0	18,0	16,0
Pluviosidade hist. (mm)	199,4	228,8	180,0	142,0	66,0

4.2 Caracterização do solo e instalação do experimento

O solo da área experimental é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférrico típico (EMBRAPA, 2006) de alta fertilidade, ou Kandiudalfic Eutrudox (SOIL SURVEY STAFF, 1990). Para avaliação da fertilidade do solo foi realizada amostragem na profundidade de 0-20 cm antes do início do experimento sendo constatado que não havia a necessidade de correção (Tabela 2).

Tabela 2 - Análise de terra do solo da área experimental

pH	MO	P†	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
($CaCl_2$)	g/dm^3	mg/dm^3	- - - - - - - - - - - - - $mmol_c/dm^3$ - - - - - - - - - - - - -						%
6	37	18,2	5,7	57	21	31	83,8	115	73

†P_{Resina}; SB = soma de bases; T = capacidade de troca catiônica total; V% = saturação por bases.

Para o estabelecimento do pasto, realizou-se gradagem com grade aradora no dia 24/01/2012 seguida de semeadura a lanço, utilizando-se 8 kg ha^{-1} de sementes puras viáveis, fornecidas pela empresa Dow AgroSciences, em área total e aplicando-se 16 kg ha^{-1} de P, na forma de superfosfato simples. Após um mês da semeadura, realizou-se aplicação de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) utilizando pulverizador costal na dose de 1 kg ha^{-1} do equivalente ácido para controle de plantas invasoras, principalmente o caruru (*Amaranthus* spp.) e a mamona (*Ricinus communis* L.).

Em maio de 2012 a área foi pastejada por bovinos para estimular o perfilhamento e garantir bom estabelecimento do pasto. Em agosto de 2012, a área foi novamente pastejada para remoção da massa de forragem e em seguida foi roçada a 8 cm de altura. Foi feita, então, aplicação de 50 kg de N ha^{-1} para estimular o crescimento e a divisão da área em piquetes para colocação das cercas de divisão. A partir de setembro do mesmo ano as condições alvo (alturas de dossel) foram estabelecidas e mantidas com o uso de animais até o início do período experimental.

4.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, em arranjo fatorial 3×2 com três repetições, totalizando 18 unidades experimentais (piquetes) (Figura 1). Os tratamentos foram todas as combinações possíveis entre as três intensidades de desfolhação e duas taxas de crescimento. As intensidades de desfolhação corresponderam às alturas de 10, 25 e 40 cm e foram mantidas constantes ("*steady state*") ao longo do período experimental. As duas taxas de crescimento foram geradas pela aplicação de 50 e 250 kg N ha^{-1} ano^{-1}. Cada unidade experimental tinha área de 200 m^2.

Figura 1 - Visão da área experimental

A adubação anual foi fracionada em quatro aplicações dentro de cada estação de pastejo, em 10/12/2013, 07/01/2014, 04/02/2014 e 01/04/2014 no primeiro ano e 14/12/2014, 21/01/2015, 25/02/2015 e 20/03/2015 no segundo ano. A fonte de N foi o nitrato de amônio (NH_4NO_3). Também foi aplicada uma dose fixa de 250 kg K_2O ha^{-1} ano^{-1}, na forma de KCl (cloreto de potássio) em todos os tratamentos que também foi fracionada em quatro aplicações dentro de cada estação de pastejo nas mesmas datas em que o N foi aplicado.

A imposição dos tratamentos de desfolhação teve o objetivo de mimetizar pastejo sob lotação contínua com taxa de lotação variável, visando a manutenção das alturas designadas, tolerando-se uma amplitude de variação para os dosséis manejados a 10 (variando de 9 a 11), 25 (de 23 a 27) e 40 (de 38 a 42) cm. Assim, os animais foram conduzidos aos piquetes tão logo as metas de altura se aproximaram do limite superior de altura para cada intensidade e o pastejo efetuado respeitando os limites mínimos de cada altura. O monitoramento da altura do dossel foi feito três vezes por semana em 40 pontos por unidade experimental (Figura 2a), sendo as leituras realizadas com auxílio de uma transparência de acetato e um bastão graduado (Figura 2b).

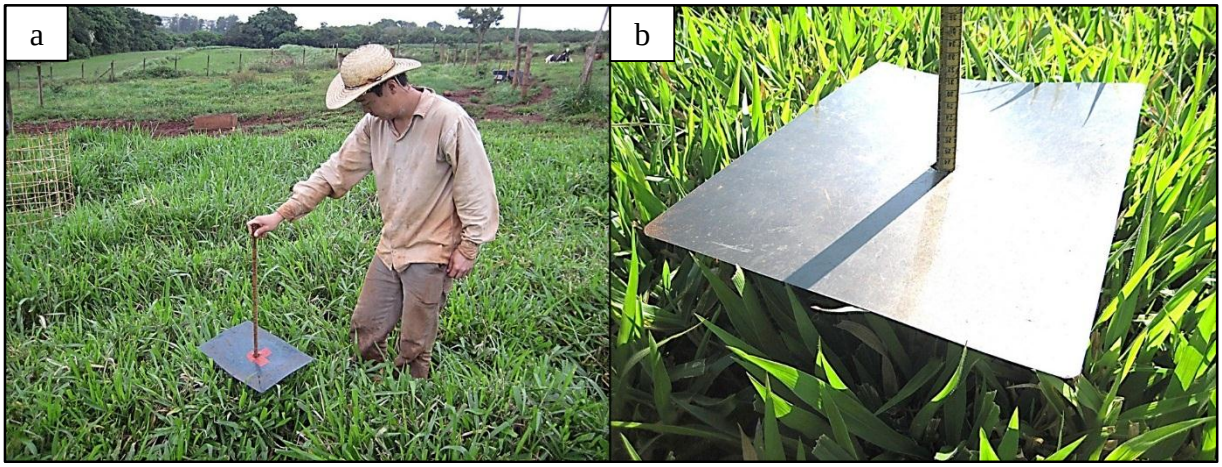

Figura 2 - Medição da altura do dossel (a) e detalhe do bastão graduado com transparência de acetato (b)

O pastejo foi feito por bovinos leiteiros que, nos momentos em que não estavam pastejando as unidades experimentais, permaneceram em área de pastagem adjacente à experimental, também cultivada com o capim Mulato II, onde tiveram livre acesso a água e sal mineral.

O período experimental foi de 30/11/2013 a 25/04/2014 (ano 1) e de 29/11/2014 a 24/04/2015 (ano 2), totalizando 147 dias de avaliação em cada ano. O critério utilizado para o encerramento do período experimental em cada ano foi a redução do ritmo de crescimento do capim até próximo da estagnação. Entre o final da primeira estação de pastejo (abril de 2014) e o início da segunda (novembro de 2014) as alturas foram monitoradas semanalmente e mantidas por pastejo sem qualquer outro trato cultural.

4.4 Avaliações

4.4.1 Massa e acúmulo de forragem

A massa de forragem (MF) nos piquetes foi periodicamente estimada usando-se a técnica da dupla amostragem. A medida indireta foi a leitura dada por um prato ascendente (Figura 3b) com 0,1 m^2 de área e a medida direta para calibração consistiu de cortes da forragem ao nível do solo em áreas selecionadas para a calibração.

Em cada ocasião de calibração duas estações de dupla amostragem foram colhidas de cada unidade experimental, totalizando 36 amostras por data de calibração. Essas estações de dupla amostragem foram selecionadas com o objetivo de representar condições de MF contrastantes em cada piquete (uma onde a MF era julgada ser máxima e outra onde a MF era mínima, estimadas visualmente). Em cada estação foi feita a leitura com o prato ascendente e, em seguida, a forragem, dentro de uma moldura metálica de 0,25 m^2, foi colhida ao nível do

solo utilizando tosquiadeira elétrica, pesada fresca no campo e subamostrada em aproximadamente 400 g. A subamostra foi pesada no campo, levada à estufa de circulação forçada de ar, seca a 60°C até peso constante e pesada para cálculo do teor de matéria seca e do peso seco da amostra. Utilizando esses dados (144 e 108 estações de calibração nos anos 1 e 2, respectivamente), ao final do período experimental, foi desenvolvida uma calibração do prato ascendente por análise de regressão (Apêndice A), que foi utilizada para converter os valores obtidos pelas leituras do prato em MF no piquete a cada evento de amostragem. As calibrações do prato ascendente foram feitas em quatro ocasiões durante o primeiro ano experimental (18/12/2013, 09/01/2014, 29/01/2014 e 25/03/2014) e em três no segundo ano (22/01/2015, 05/03/2015 e 21/04/2015).

As medidas indiretas para estimativa da MF (leituras com o prato ascendente) foram feitas a cada 21 dias. Os locais para as leituras foram selecionados sistematicamente com o objetivo de abranger toda a unidade experimental, onde, seguindo um trajeto que abrangesse todo o piquete, foram realizadas 50 leituras com o prato ascendente (Figura 3a). A média das 50 medidas indiretas foi inserida na equação de regressão gerada pela dupla amostragem para predizer a MF.

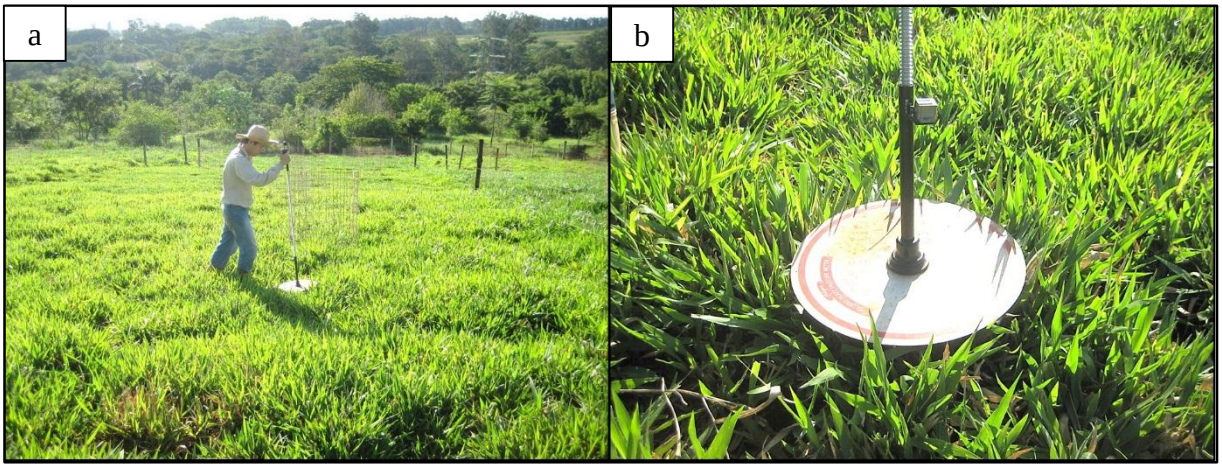

Figura 3 - Leitura com o prato ascendente (a) e detalhe do prato ascendente (b)

Para estimativa do acúmulo de forragem (AF) foram utilizadas três gaiolas de exclusão (Figura 4a) cilíndricas de 0,9 m de diâmetro e 1,2 m de altura em cada unidade experimental. O AF foi medido em ciclos de amostragem de 21 dias ao longo de cada ano experimental. No primeiro dia de cada ciclo de acúmulo foram escolhidos locais onde a MF (leitura do prato) era próxima da média do dossel permitindo uma amplitude máxima de variação de ±1. Nesses

pontos foram realizadas leituras com o prato ascendente (Figura 4b) e as gaiolas foram ancoradas ao solo com grampos de aço. Decorridos 21 dias, uma nova leitura com o prato foi feita dentro de cada gaiola e todas as gaiolas foram removidas e em seguida ancoradas em novos locais que representavam a condição média de MF do piquete. Com a equação de calibração e os valores das leituras do prato ascendente no primeiro (MF do piquete) e no último dia (MF dentro da gaiola) de cada ciclo de acúmulo foi possível o acúmulo de forragem utilizando o método agronômico da diferença (DAVIES; FUTHERGILL; MORGAM, 1993) conforme a equação: $AF = MF_f – MF_i$, sendo: AF = acúmulo de forragem; MF_f = massa de forragem dentro das gaiolas no último dia de exclusão; MF_i = massa de forragem média no piquete no 1º dia de exclusão. Os valores de taxa média diária de acúmulo de forragem foram obtidos dividindo-se o AF pelo período de acúmulo (21 dias). O acúmulo total anual de forragem (produção) foi calculado somando-se os AFs de todos os ciclos de acúmulo de cada ano experimental.

Figura 4 - Gaiola de exclusão utilizada para estimativa do AF (a) e estimativa da MF contida dentro da gaiola de exclusão (b)

4.4.2 Composição morfológica, índice de área foliar e composição do índice de área foliar

A composição morfológica da MF ofertada (total) e o IAF foram avaliados a cada 21 dias sempre em dias próximos às datas de medições da MF. A coleta das amostras foi feita em dois locais visualmente representativos da MF média em cada unidade experimental. O material foi colhido ao nível do solo, em áreas de 0,75 × 0,35m, pesado fresco ainda no campo, homogeneizado e em seguida subamostrado em aproximadamente 500 g e pesado fresco. As subamostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas, levadas ao laboratório e congeladas a -5°C e depois de descongeladas foram separadas em folhas (lâmina foliar verde), colmo (colmo + bainha foliar) e material morto (MM) (Figura 5). A inflorescência quando presente foi mantida junto ao colmo. As folhas, por sua vez, foram separadas em três categorias que serão aqui chamadas de folhas em expansão (folhas EXP; quando a região da lígula não estava exposta), folhas jovens completamente expandidas (folhas JCE; folha mais jovem completamente expandida de cada perfilho, com região da lígula visível) e folhas maduras (folhas MAD; demais folhas, exceto as senescentes) (Figura 5).

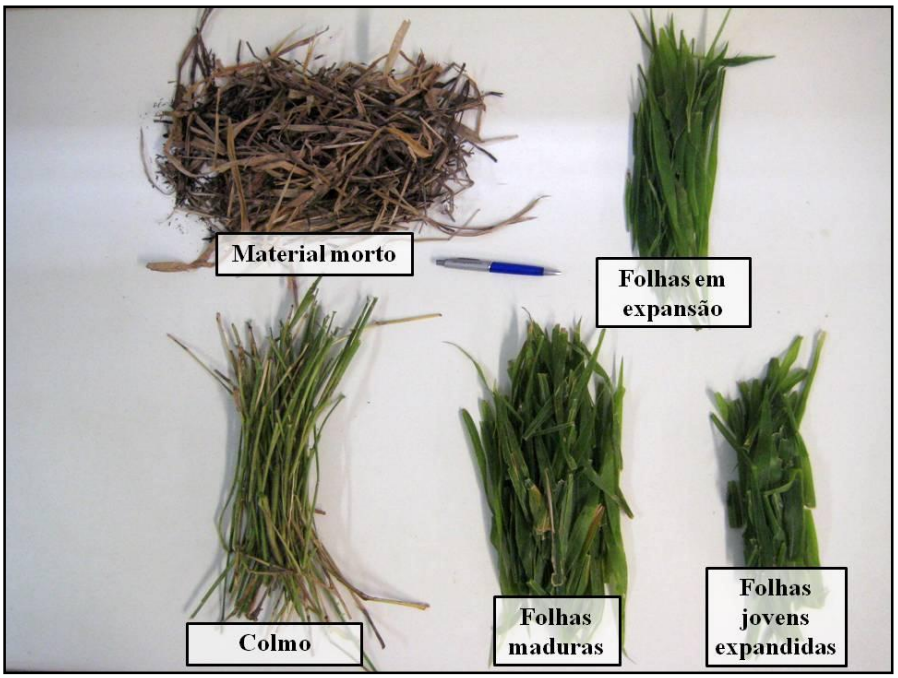

Figura 5 - Subamostra fracionada em material morto, colmo, folhas EXP, folhas JCE e folhas MAD

As folhas de cada categoria foram escaneadas num integrador de área foliar modelo LI-3100 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA). Após a determinação da área foliar, as frações folha (as três categorias), colmo e MM foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 60ºC até peso constante e pesadas. A soma do peso seco das categorias de folhas, juntamente com o peso seco do colmo e do MM resultou na massa seca da subamostra. O cálculo para determinação da participação do colmo e do MM na forragem ofertada foi realizado dividindo-se o peso seco de cada uma dessas frações pela massa seca da subamostra. Para as folhas, foi realizada a divisão do peso seco de cada categoria de folha pela massa seca da subamostra resultando na porcentagem de cada categoria de folhas na MF ofertada e os valores obtidos foram somados.

Para determinação do IAF, primeiramente foi realizada a divisão da massa seca da subamostra pelo seu peso fresco para determinar o teor de matéria seca da subamostra. O valor obtido foi assumido como sendo também o teor de matéria seca da amostra e, assim, foi determinada a massa seca da amostra. A multiplicação da porcentagem de cada categoria de folha na MF ofertada pela massa seca da amostra resultou na massa seca das folhas de cada categoria na amostra. A divisão da área foliar de cada categoria de folha pelo seu respectivo peso seco permitiu a determinação da área foliar específica das categorias de folhas que foi multiplicada pela sua respectiva massa seca da amostra resultando na área foliar das folhas de diferentes categorias na amostra. Dividindo-se a área foliar de cada categoria de folha pela área da moldura utilizada para a coleta das amostras foi obtido o IAF de cada categoria de folha que, somadas, representou o IAF total. Utilizando esses valores também foi calculada a contribuição do IAF de cada categoria de folha no IAF total.

4.4.3 Interceptação de luz pelo dossel e ângulos foliares

As avaliações de interceptação de luz (IL) e ângulos foliares foram realizadas a cada 21 dias sempre em dias próximos às datas de medições de MF, utilizando um analisador de dossel modelo LAI-2000 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA). As medições foram realizadas em 40 pontos representativos (locais onde as alturas representavam a condição média do dossel no momento da amostragem) em cada piquete em cada data de amostragem, na proporção de uma leitura acima do dossel para oito leituras na base do dossel em cinco repetições. As medidas foram realizadas em momentos de predominância de radiação difusa (condição de céu nublado ou baixa elevação solar) seguindo as recomendações de uso do aparelho (WELLES; NORMAN, 1991), dando-se preferência ao final da tarde.

4.4.4 Taxa de fotossíntese de folhas individuais

As taxas de fotossíntese foliar líquida foram medidas a cada 21 dias, sempre em dias próximos às datas de medições indiretas de MF e AF utilizando-se um sistema portátil medidor de fotossíntese, modelo LI-6400 (Li-Cor, Lincoln Nebraska, EUA) (Figuras 6a e 6b). Foram medidas as taxas fotossintéticas de quatro folhas por perfilho (folha EXP, folha JCE e as duas folhas MAD imediatamente abaixo) (Figura 7) de três perfilhos por parcela, seguindo o critério de avaliação visual de modo a selecionar perfilhos que possuíssem pelo menos essas quatro folhas com um mínimo de limbo, verdes e limpas e que representassem a altura média das plantas dentro da unidade experimental.

As leituras foram realizadas entre 8:00 e 11:00 h da manhã, período em que as plantas apresentam seu máximo potencial fotossintético, em dias de céu aberto. A intensidade de luz usada dentro da câmara foi de 2000 µmol fótons m^{-2} s^{-1} e a concentração de CO_2 de 400 µmol mol^{-1}.

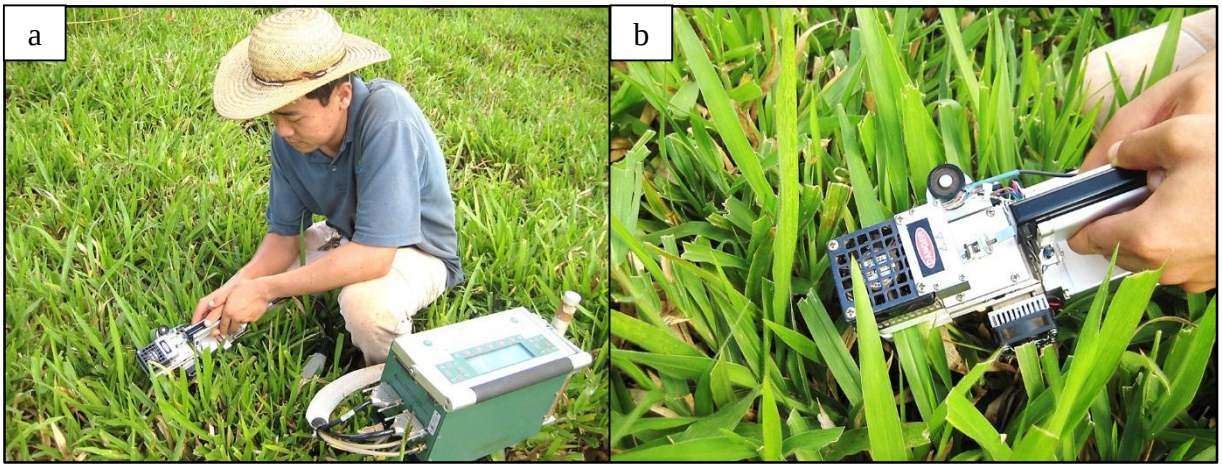

Figura 6 - Medição de assimilação líquida de carbono (a) e detalhe da câmara de CO_2 do LAI-6400 utilizado para medição de assimilação líquida de carbono

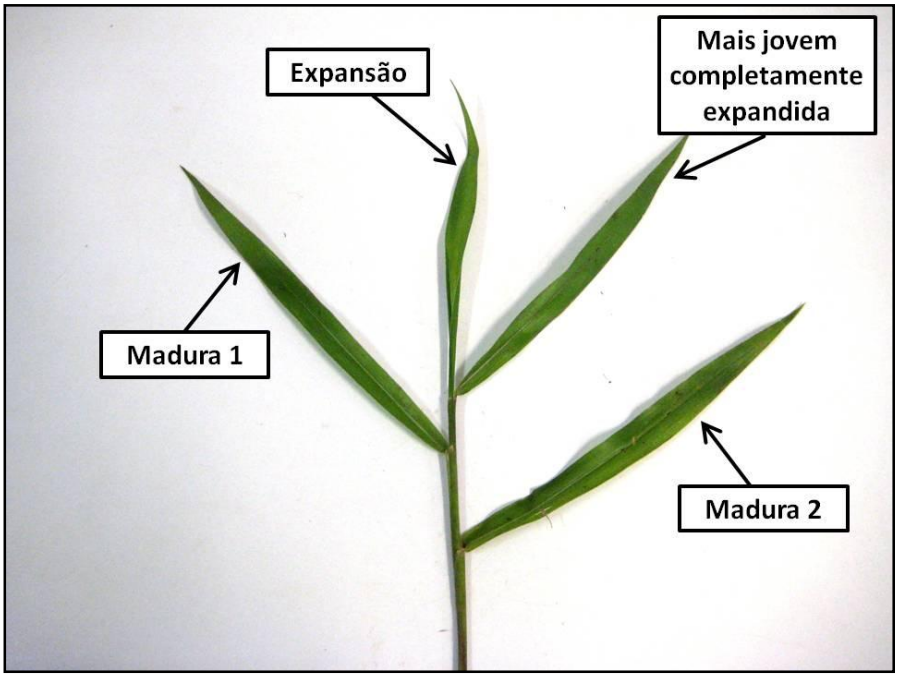

Figura 7 - Folhas utilizadas para medição de fotossíntese

4.4.5 Taxa de fotossíntese do dossel

A taxa de fotossíntese do dossel foi calculada utilizando-se o modelo de assimilação de CO_2 em folhas "de sol" e folhas "de sombra", proposto por Boote e Jones (1987), que leva em consideração o coeficiente de extinção luminosa e também a reflexão e a transmissão de luz pelo dossel. Assim, um IAF de sol é calculado analiticamente usando IAF total e k (equação 2) e um IAF de sombra calculado subtraindo-se do IAF total o IAF de sol (equação 3).

$$IAF_{sol} = (1 / k) [1 - \exp (-k * IAF_{total})] \quad \text{(eq. 2)}$$

$$IAF_{somb} = IAF_{total} - IAF_{sol} \quad \text{(eq. 3)}$$

A assimilação de CO_2 pelas folhas de sol é calculada por uma curva de resposta exponencial negativa, onde a assíntota é dada pela fotossíntese máxima de folhas, a inclinação inicial representa a eficiência de utilização de luz e a variável de entrada é a irradiância fotossinteticamente ativa absorvida [k (1- σ) PAR], de acordo com a equação 4:

$$F_{sol} = F_{max} \{1 - \exp [-Q_e * k (1-\sigma) PAR / F_{max}]\} \quad \text{(eq. 4)}$$

onde: F_{max} = fotossíntese de folhas individuais (µmol de CO_2 m^{-2} s^{-1}); Q_e = eficiência de utilização de luz (mol de CO_2 m^{-2} s^{-1} / mol PAR); PAR = radiação fotossinteticamente ativa incidente (J m^{-2} s^{-1}); σ = coeficiente de reflexão e transmissão. A PAR incidente para a fotossíntese de folhas sombreadas, considerando o mesmo k e a mesma eficiência no uso da luz refletida e transmitida por todas as folhas sombreadas, é dada pela equação 5:

$$PAR_{somb} = \sigma * PAR\ [1 - exp\ (-k * IAF_{somb})] / IAF \quad \text{(eq. 5)}$$

onde: PAR_{somb} = radiação fotossinteticamente ativa para folhas de sombra. Desse modo, a assimilação por folhas de sombra é calculada de maneira análoga à de folhas de sol:

$$F_{somb} = F_{max}\ [1 - exp\ (-Qe * PAR_{somb} / F_{max})] \quad \text{(eq. 6)}$$

onde: F_{somb} = assimilação de CO_2 por folhas de sombra. Por fim, a assimilação total do dossel é obtida pela soma da assimilação de CO_2 de ambas as categorias de folhas (equação 7):

$$F_{dos} = F_{sol} * IAF_{sol} + F_{somb} * IAF_{somb} \quad \text{(eq.7)}$$

onde: F_{dos} = assimilação total de CO_2 pelo dossel.

Os valores adotados foram:
PAR = 2000 µmol de fótons m^{-2} s^{-1} (LARA; PEDREIRA, 2011).
Q_e = 0,07 mol CO_2 mol $fótons^{-1}$ (BOOTE; LOOMIS, 1991; MORENO, 2004).
σ = 0,20 (BOOTE; LOOMIS, 1991).

4.4.6 Contribuição das categorias de folhas na fotossíntese do dossel

A contribuição de cada categoria de folha na fotossíntese do dossel foi calculada a partir da combinação dos dados da área foliar das folhas EXP, folhas JCE e folhas MAD e suas respectivas taxas fotossintéticas. O produto da área foliar de cada categoria de folha pela sua taxa fotossintética resultou na fotossíntese dessa categoria de folha. A taxa fotossintética utilizada para as folhas MAD foi a média das taxas de fotossíntese das duas folhas MAD que foram medidas. A soma das fotossínteses das diferentes categorias de folhas resultou na fotossíntese total. O cálculo para a determinação da contribuição das categorias de folhas na

fotossíntese do dossel foi realizado dividindo-se a fotossíntese de cada categoria de folha pela fotossíntese total. A fotossíntese total não foi considerada o mesmo que fotossíntese do dossel, pois, embora seja sabido que o ambiente luminoso varia ao longo do perfil do dossel, a intensidade de luz utilizada na câmara para as medições de fotossíntese (2000 µmol fótons m^{-2} s^{-1}) foi a mesma para todas as categorias de folhas. Além disso, as medições de fotossíntese foram feitas em um período em que as plantas apresentam seu máximo potencial fotossintético (8:00 e 11:00 h da manhã), não representando a variação da radiação solar ao longo do dia.

5 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram analisados utilizando-se o procedimento MIXED do pacote estatístico SAS (SAS Institute, 2013), com um modelo incluindo os efeitos de altura, dose de N e suas interações. Os efeitos de ano e bloco foram considerados efeitos aleatórios (LITTEL et al., 2006). Na escolha da matriz de variância e covariância foi utilizada o Critério de Informação de Akaike (AIC) (WOLFINGER, 1993). A normalidade dos resíduos foi testada e quando necessário os dados foram transformados. As transformações utilizadas foram $\log_{10}$ para IL e fotossíntese do dossel e SQRT para taxa de fotossíntese foliar, entretanto os valores apresentados são os não transformados. Contrastes polinomiais ortogonais foram realizados (linear e quadrático) para determinar a natureza das respostas em relação à altura do dossel. As médias dos tratamentos foram estimadas utilizando-se o "LSMEANS" e a comparação entre elas foi realizada por meio da probabilidade da diferença ("PDIFF"), usando o teste "t" de "Student" e nível de significância de 5%.

6 RESULTADOS

6.1 Massa, acúmulo e taxa de acúmulo de forragem

A MF foi afetada apenas pela altura do dossel ($P < 0,0001$) e aumentou de 5730 para 13820 kg MS ha^{-1} quando altura do dossel foi de 10 para 40 cm, respectivamente (Tabela 3). O acúmulo total anual de forragem (ATF) e taxa média diária de acúmulo de forragem (TAF) foram afetados pela altura do dossel ($P < 0,0001$ para ambas as variáveis) e pela dose de N ($P < 0,0001$ para ambas as variáveis). Da mesma forma que para a MF, houve aumento no ATF e na TAF com aumento em altura do dossel (Tabela 3). O ATF e TAF foram maiores na maior dose de N com aumento de 137% no ATF em relação à menor dose de N (Tabela 4).

Tabela 3 - Massa de forragem (MF), taxa média diária de acúmulo de forragem (TAF) e acúmulo total anual de forragem (ATF) em resposta à altura do dossel do capim Mulato II

Altura	MF	TAF	ATF
cm	kg MS ha^{-1}	kg MS ha^{-1} dia^{-1}	kg MS ha^{-1} ano^{-1}
10	5730	60	8560
25	9660	80	11260
40	13820	93	13600
Contraste Polinomial†	L*	L*	L*
EPM‡	1060	5,66	815

†Contraste Polinomial para o efeito de altura: L = linear; *, $P \leq 0,05$.
‡EPM = Erro padrão da média.

Tabela 4 - Taxa média diária de acúmulo de forragem (TAF) e acúmulo total anual de forragem (ATF) em resposta à dose de N do capim Mulato II

Dose de N	TAF	ATF
kg ha^{-1} ano^{-1}	kg MS ha^{-1} dia^{-1}	kg MS ha^{-1} ano^{-1}
50	45	6620
250	108	15660
P†	<0,0001	<0,0001
EPM‡	5,56	801

†Valor de *P* para dose de N.
‡EPM = Erro padrão da média.

6.2 Composição morfológica da massa de forragem e índice de área foliar

A porcentagem de folhas foi afetada pela interação altura do dossel × dose de N (P < 0,0001). Independentemente da dose de N, a proporção de folhas na MF aumentou quando os dosséis foram mantidos mais baixos, mas variou pouco entre 25 e 40 cm (Tabela 5). Na maior dose de N a proporção de folha foi maior em relação à dose de N mais baixa nos dosséis mantidos mais altos (25 e 40 cm). Nos pastos mantidos a 10 cm, o aumento na dose de N não resultou em diferenças na proporção de folhas (Tabela 5).

Tabela 5 - Proporção de folhas em resposta à altura do dossel do capim Mulato II

Dose de N	Altura (cm)			Contraste Polinomial[†]
	10	25	40	
kg ha^{-1} ano^{-1}	- - - - - - - - - - - - - - - % - - - - - - - - - - - - - - -			
50	29,5	22,0	19,9	L*, Q*
250	29,8	26,0	26,6	L*, Q*
P[‡]	0,6945	<0,0001	<0,0001	
EPM[§]	1,05	1,04	1,04	

[†]Contraste Polinomial para o efeito de altura: L = linear, Q = quadrático; *, $P \leq 0,05$.
[‡]Valor de P para dose de N.
[§]EPM = Erro padrão da média.

A proporção de colmo e de MM e o IAF foram afetados pela altura do dossel (P < 0,0001 para todas as variáveis) e dose de N (P < 0,0001 para todas as variáveis). A proporção de colmo e o IAF aumentaram com a altura do dossel, enquanto que a proporção de MM decresceu com o aumento da altura do dossel (Tabela 6). Com 250 kg N ha^{-1} ano^{-1}, a proporção de colmo e o IAF foram maiores (Tabela 7), enquanto que a porcentagem de MM foi maior com 50 kg N ha^{-1} ano^{-1}. A porcentagem de MM foi sempre superior a 43%.

Tabela 6 - Proporção de colmo e material morto e IAF em resposta à altura do dossel do capim Mulato II

Altura	Colmo	Material morto	IAF
cm	- - - - - - - - - - % - - - - - - - - - -		
10	18,1	51,5	2,3
25	28,4	47,8	4,3
40	33,1	43,5	5,5
Contraste Polinomial[†]	L*	L*	L*
EPM[‡]	0,72	0,94	0,26

[†]Contraste Polinomial para o efeito de altura: L = linear; *, $P \leq 0,05$.
[‡]EPM = Erro padrão da média.

Tabela 7 - Proporção de colmo e material morto e IAF em resposta à dose de N do capim Mulato II

Dose de N	Colmo	Material morto	IAF
kg ha^{-1} ano^{-1}	- - - - - - - - - - % - - - - - - - - - -		
50	24,6	51,4	3,4
250	28,5	43,8	4,7
P†	<0,0001	<0,0001	<0,0001
EPM‡	0,68	0,88	0,26

†Valor de *P* para dose de N.
‡EPM = Erro padrão da média.

6.3 Participação das categorias de folhas no IAF

As proporções de folhas EXP, folhas JCE e folhas MAD no IAF foram afetadas pela altura do dossel ($P < 0,0001$, $P = 0,0077$ e $P < 0,0001$, para as três respostas, respectivamente), mas não pela dose de N ($P > 0,05$). O aumento na altura do dossel reduziu a participação de folhas EXP no IAF, enquanto que a de folhas MAD aumentou. A proporção de folhas JCE, no entanto, variou pouco entre 10 e 25 cm, e foi diminuída quando os pastos foram mantidos a 40 cm (Tabela 8).

Tabela 8 - Participação das folhas em expansão (folhas EXP), folhas jovens completamente expandidas (folhas JCE) e folhas maduras (folhas MAD) no índice de área foliar em resposta à altura do dossel do capim Mulato II

Altura	Folhas EXP	Folhas JCE	Folhas MAD
cm	- - - - - - - - - - - - - - - - - - - % - - - - - - - - - - - - - - - - - - -		
10	32	30	38
25	30	30	40
40	27	28	45
Contraste Polinomial†	L*	L*, Q*	L*
EPM‡	1,0	0,8	0,9

†Contraste Polinomial para o efeito de altura: L = linear, Q = quadrático; *, $P \leq 0,05$.
‡EPM = Erro padrão da média.

6.4 Interceptação de luz pelo dossel e ângulos foliares

A IL pelo dossel foi afetada pela altura ($P < 0,0001$) e pela dose de N ($P = 0,004$). A IL variou pouco entre os pastos dosséis a 25 e 40 cm, mas foi menor quando o dossel foi mantido a 10 cm (Tabela 9). A maior dose de N resultou em maiores valores de IL, embora com valores muito próximos (96 e 97% para as doses de 50 e 250 kg ha^{-1} ano^{-1}, respectivamente)

($P < 0,004$; EPM = 0,53). Os ângulos foliares não foram afetados pela altura do dossel ($P = 0,3210$), nem pela dose de N ($P = 0,2395$) com valor médio de 42,1° em relação à horizontal.

Tabela 9 - Interceptação de luz pelo dossel em resposta à altura do dossel do capim Mulato II

Altura	Interceptação de luz
cm	%
10	92,2
25	98,7
40	99,1
Contraste Polinomial†	L*, Q*
EPM‡	0,53

†Contraste Polinomial para o efeito de altura: L = linear, Q = quadrático; *, P ≤ 0,05.
‡EPM = Erro padrão da média.

6.5 Taxa de fotossíntese de folhas de diferentes categorias

A taxa de fotossíntese foliar foi afetada pelas interações altura do dossel × categoria de folha ($P < 0,0001$) e dose de N × categoria de folha ($P = 0,0032$), nas três categorias de folhas. Para as folhas EXP e folhas MAD, a taxa de fotossíntese foi maior nos dosséis mantidos a 10 cm e diminuiu nos dosséis mais altos (25 e 40 cm) (Tabela 10). A fotossíntese das folhas JCE variou pouco entre as alturas ($P > 0,05$) com média de 26 $\mu mol\, CO_2\, m^{-2}\, s^{-1}$. Independente da altura do dossel, as taxas de fotossíntese foram maiores nas folhas JCE e menores nas folhas MAD. Quando o dossel foi mantido a 10 cm, as folhas EXP e as folhas JCE não apresentaram diferenças na taxa fotossintética.

Tabela 10 - Taxa de fotossíntese das folhas em expansão (folhas EXP), folhas jovens completamente expandidas (folhas JCE) e folhas maduras (folhas MAD) em resposta à altura do dossel do capim Mulato II

Altura	Folhas EXP	Folhas JCE	Folhas MAD	EPM‡
cm	- - - - - - - - - - - - - - $\mu mol\, CO_2\, m^{-2}\, s^{-1}$ - - - - - - - - - - - - -			
10	25,7 a	26,7 a	17,2 b	1,52
25	21,1 b	25,6 a	15,3 c	1,52
40	21,7 b	25,7 a	16,0 c	1,52
Contraste Polinomial†	L*, Q*	ns§	L*, Q*	

Letras na linha comparam médias entre categorias de folhas na mesma altura do dossel ($P > 0,05$).
†Contraste Polinomial para o efeito de altura: L = linear, Q = quadrático; *, $P \leq 0,05$.
‡EPM = Erro padrão da média.
§ns = Não significativo.

Em todas as categorias de folhas as taxas de fotossíntese foram maiores na maior dose de N (250 kg ha^{-1}) (Tabela 11). O aumento na fotossíntese foi mais acentuado (31%) nas folhas JCE. Para as folhas EXP e folhas MAD o aumento na fotossíntese foi de 25% da menor para a maior dose de N. Para ambas as doses de N as duas categorias de folhas mais jovens (folhas EXP e folhas JCE) apresentaram maior fotossíntese em relação às folhas MAD (Tabela 11). Na menor dose de N não houve diferença na taxa de fotossíntese entre as folhas EXP e folhas JCE. Na maior dose de N as folhas JCE apresentaram maiores valores de fotossíntese, seguidas das folhas EXP.

Tabela 11 - Taxa de fotossíntese das folhas em expansão (folhas EXP), folhas jovens completamente expandidas (folhas JCE) e folhas maduras (folhas MAD) em resposta à dose de N do capim Mulato II

Dose de N	Folhas EXP	Folhas JCE	Folhas MAD
kg ha^{-1} ano^{-1}	- - - - - - - - - - - - - - - - µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} - - - - - - - - - - - - - - - -		
50	20,3 a	22,5 a	14,4 b
250	25,3 b	29,4 a	18,0 c
P†	<0,0001	<0,0001	<0,0001
EPM‡	1,5	1,5	1,5

Letras na linha comparam médias entre categorias de folhas na mesma altura de manejo (*P* > 0,05).
†Valor de *P* para dose de N.
‡EPM = Erro padrão da média.

6.6 Taxa de fotossíntese do dossel

A fotossíntese de dossel foi afetada pela altura (*P* < 0,0001) e pela dose de N (*P* < 0,0001). O aumento da altura resultou em aumento na taxa de fotossíntese do dossel (Tabela 12). A fotossíntese do dossel foi maior na maior dose de N e apresentou valores de 33,4 e 48,3 µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} nas doses de 50 e 250 kg ha^{-1} ano^{-1}, respectivamente (*P* < 0,0001; EPM = 0,48).

Tabela 12 - Taxa de fotossíntese do dossel em resposta à altura do dossel do capim Mulato II

Altura	Fotossíntese do dossel
cm	μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}
10	37,3
25	40,1
40	45,3
Contraste Polinomial†	L*
EPM‡	0,57

†Contraste Polinomial para o efeito de altura: L = linear; *, P ≤ 0,05.
‡EPM = Erro padrão da média.

6.7 Contribuição das categorias de folhas na fotossíntese do dossel

A contribuição das folhas EXP e das folhas JCE na fotossíntese do dossel foi afetada pela altura ($P < 0,0001$ e $P = 0,0003$, respectivamente) e pela dose de N ($P = 0,0238$ e $P = 0,0002$, respectivamente). A contribuição das folhas EXP na fotossíntese do dossel aumentou com a redução da altura (Tabela 13). A contribuição das folhas JCE, no entanto, aumentou com o aumento da altura. A contribuição das folhas EXP na fotossíntese do dossel foi maior quando os pastos receberam menor dose de N, enquanto que as folhas JCE contribuíram mais na fotossíntese do dossel com 250 kg N ha^{-1} (Tabela 14).

Tabela 13 - Contribuição das folhas em expansão (folhas EXP) e folhas jovens completamente expandidas (folhas JCE) na fotossíntese do dossel em resposta à altura do dossel do capim Mulato II

Altura	Folhas EXP	Folhas JCE
cm	- - - - - - - - - - - - % - - - - - - - - - - - -	
10	34,9	35,3
25	30,8	38,4
40	28,4	36,0
Contraste Polinomial†	L*	L*Q*
EPM‡	0,60	0,76

†Contraste Polinomial para o efeito de altura: L = linear, Q = quadrático; *, P ≤ 0,05.
‡EPM = Erro padrão da média.

Tabela 14 - Contribuição das folhas em expansão (folhas EXP) e folhas jovens completamente expandidas (folhas JCE) na fotossíntese do dossel em resposta à dose de N do capim Mulato II

Dose de N	Folhas EXP	Folhas JCE
kg ha^{-1} ano^{-1}	- - - - - - - - - - % - - - - - - - - - -	
50	32,1	35,4
250	30,7	37,8
P[†]	0,0238	0,0002
EPM[‡]	0,48	0,48

[†]Valor de P para dose de N.
[‡]EPM = Erro padrão da média.

A contribuição das folhas MAD na fotossíntese do dossel foi afetada pela interação altura do dossel × dose de N ($P = 0,0074$). Na menor dose de N ocorreu aumento da participação das folhas MAD na fotossíntese do dossel com o aumento da altura (Tabela 15). Com a aplicação de 250 kg N ha^{-1}, a contribuição das folhas MAD na fotossíntese do dossel variou pouco entre os pastos mantidos a 10 e 25 cm, mas essa contribuição foi maior nos pastos mantidos a 40 cm. A participação das folhas MAD na fotossíntese do dossel foi maior na maior dose de N quando os dosséis foram mantidos a 10 cm, mas foi menor nos dosséis mantidos a 25 cm (Tabela 15). Nos dosséis mantidos a 40 cm a contribuição das folhas MAD na fotossíntese do dossel foi a mesma para as duas doses de N.

Tabela 15 - Contribuição das folhas maduras na fotossíntese do dossel em resposta à altura do dossel do capim Mulato II

Dose de N	Altura (cm)			
	10	25	40	Contraste Polinomial[†]
kg ha^{-1} ano^{-1}	- - - - - - - - - - - - - - - % - - - - - - - - - - - - - - -			
50	28,3	32,2	36,5	L*
250	30,7	29,5	34,5	L*Q*
P[‡]	0,0469	0,0246	0,0858	
EPM[§]	1,24	1,24	1,24	

[†]Contraste Polinomial para o efeito de altura: L = linear, Q = quadrático; *, $P \leq 0,05$.
[‡]Valor de *P* para dose de N.
[§]EPM = Erro padrão da média.

7 DISCUSSÃO

O ATF e a TAF variaram bastante em função da altura do dossel e foram maiores nos dosséis mais altos (Tabela 3). Dosséis mantidos a 40 cm tiveram ATF 59% maior e TAF 55% maior do que aqueles mantidos a 10 cm. Variações no ATF e na TAF em função da altura do dossel foram reportadas para diversas espécies forrageiras tropicais. Em alguns casos os resultados foram semelhantes aos do presente experimento com maior TAF associada à maior altura do dossel (FLORES et al., 2008; CARLOTO et al., 2011), enquanto que Canto et al. (2008) observaram que o aumento da altura do dossel resultou em diminuição na TAF em capim Tanzânia. Há também estudos que não registraram diferenças no acúmulo de forragem em diferentes alturas de manejo (FAGUNDES et al., 1999; BORTOLO et al., 2001; CARNEVALLI et al., 2001; PEQUENO, 2010; CALVANO et al., 2011; DA SILVA et al., 2014). A ausência de diferenças no ATF em pastos sob lotação contínua foi explicada por Bircham e Hodgson (1983) que demonstraram em pastagens de clima temperado que a diminuição na intensidade de pastejo resulta em maiores taxas de crescimento compensadas por taxas de senescência também mais altas, o que faz com que a taxa de acúmulo seja constante dentro de certa amplitude de alturas. Ao avaliarem pastos de azevém perene (*Lolium perenne* cv. S23) sob lotação contínua, Parsons et al. (1983b) reportaram que os pastos sob pastejo leniente (IAF próximo a 3) apresentaram maior fotossíntese bruta em relação aos pastos sob pastejo severo (IAF próximo a 1). Entretanto, maior quantidade de fotoassimilados perdidos por respiração também foi observada nos dosséis mantidos com IAF próximo a 3. Ao não encontrarem diferenças na TAF em pastos de capim Marandu mantidos a 10, 20, 30 e 40 cm de altura sob lotação contínua, da Silva et al. (2014) sugerem que nos dosséis mais baixos a menor área foliar pode ter sido compensada pela maior população de perfilhos jovens que provavelmente apresentaram maior eficiência fotossintética, embora os autores não realizaram essas medições. A ausência de diferenças no ATF nesses casos também pode ser de natureza metodológica, resultado do uso de gaiolas de exclusão para a mensuração dessa resposta. Segundo Carvalho et al. (2000) e Carnevalli et al. (2001), o uso dessa técnica em dosséis baixos faz com que, durante o período de exclusão, os perfilhos protegidos da ação do animal cresçam em tamanho sem que haja, num primeiro momento, redução correspondente na densidade populacional de perfilhos, resultando em estimativas de acúmulo de forragem inflacionadas. Os autores ainda comentaram que quando gaiolas de exclusão são usados em dosséis altos, a interceptação de luz de 95% é atingida rapidamente

resultando em redução na taxa de acúmulo de forragem, o que subestima o acúmulo de forragem. Assim, pode-se especular que a amplitude de variação do ATF e da TAF em relação aos níveis de altura de dossel usados poderia ser ainda maior. Por não terem observado diferenças na TAF em diferentes alturas de dossel, Calvano et al. (2011), estudando capim Marandu e Pequeno (2010), avaliando capim Xaraés, concluíram que havia grande flexibilidade de manejo para esses dois capins sob lotação contínua, o que não foi observado para o capim Mulato II no presente estudo. Isso evidencia a importância de se determinar a altura de manejo mais adequada para o capim Mulato II sob lotação contínua.

O incremento no ATF e na TAF em forrageiras tropicais em resposta à aplicação de N já foi amplamente documentado (BRAGA et al., 2004; FAGUNDES et al., 2005; FREITAS et al., 2012; COSTA et al., 2013). O N favorece o crescimento e a produção de massa (CABRAL et al., 2012), pois afeta características morfogenéticas da planta como as taxas de aparecimento, expansão e senescência foliar e também as características estruturais, tais como tamanho das folhas, densidade populacional de perfilhos e número de folhas vivas por perfilho (COSTA et al., 2013).

A MF é, possivelmente, a variável-resposta relacionada à pastagem mais importante a ser mensurada em termos quantitativos (PEDREIRA, 2002). O aumento na MF em função do aumento em altura do dossel tem sido amplamente reportado na literatura em gramíneas forrageiras tropicais (CANO et al., 2004; FLORES et al., 2008; FERREIRA, 2010; SANTOS et al., 2010). Além de estar associado às diferenças em MF, o contraste entre alturas também implicou em variação na composição morfológica da forragem. Resultados semelhantes aos do presente estudo foram encontrados por Paula et al. (2012) que, avaliando o capim Marandu sob as alturas de 15, 30 e 45 cm mantidas constantes, reportaram que o dossel mantido a 15 cm foi o que apresentou maior porcentagem de folhas (29%) e que, em dosséis mantidos a 30 e a 45 cm, a proporção de folhas foi menor (19%).

Em gramíneas o colmo é um componente importante na sustentação da planta (FAGUNDES et al., 2006). Além disso, a proporção do material fotossintetizado que é alocado para os colmos aumenta quanto mais a planta cresce (IRVING, 2015). Dessa forma, maior proporção de colmos nos dosséis mais altos já era esperado. Segundo Pequeno (2010), nos dosséis mantidos mais altos a baixa intensidade de luz dentro da comunidade de plantas gera competição entre os perfilhos resultando em modificação na partição dos nutrientes, com aumento na participação de colmos e redução na de folhas nos dosséis mantidos mais altos.

A maior proporção de MM nos dosséis mantidos mais baixos (Tabela 6) pode ter ocorrido em função do aumento na intensidade de pastejo, que pode causar maiores danos aos perfilhos em função do pisoteio e remoção do meristema apical resultando em maior mortalidade de perfilhos (CANO et al., 2004; SILVA, 2015). Dosséis mais baixos também apresentam maior taxa de aparecimento de folhas e menor longevidade das folhas como reportado por Sbrissia (2004). Assim, em dosséis mais baixos ocorre aumento na mortalidade de folhas, o que também pode ter contribuído para maior proporção de MM sob essas condições. Aumento na proporção de MM com a diminuição da altura do dossel também foram reportados por Bortolo et al. (2001) em capim Coastcross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), Cano et al. (2004) em capim Tanzânia e por Flores et al. (2008) nos capins Marandu e Xaraés no verão.

Devido ao fato da altura do dossel ter sido mantida constante, era esperado que a proporção de colmo não fosse afetada pela dose de N em dosséis de mesma altura. A maior IL observada na maior dose de N pode ter promovido maior competição por luz dentro do estande estimulando o alongamento do colmo, o que explica a proporção de colmo 16% maior sob maior dose de N para uma mesma altura de dossel. A maior proporção de colmo foi acompanhada pela proporção de MM 15% menor na maior dose de N. Esses resultados sugerem que, embora o N não tenha afetado a MF dentro da mesma altura, o N afeta a proporção dos componentes morfológicos do dossel.

O IAF é determinante para a captura da radiação solar e, portanto, está relacionado diretamente com a interceptação de luz pelo dossel. Apesar do aumento do IAF com o aumento da altura (Tabela 6), o mesmo não foi observado para a IL, que apresentou pequena diferença entre os dosséis mantidos a 25 e 40 cm (Tabela 9). A utilização do analisador de dossel para as mensurações de IL pode estar relacionada com essa fraca associação entre IAF e IL. Nas medições com o equipamento feitas ao nível do solo, o sensor assume que toda a interceptação é feita pelas folhas, pois ele não é capaz de distinguir se a luz está sendo interceptada apenas pelas folhas ou também por outros componentes morfológicos. Dessa forma, parte da luz foi efetivamente interceptada por colmos, bainhas e material morto, principalmente nos dosséis mantidos mais altos. O colmo e o MM, juntos, contribuíram com cerca de 70% da MF nos dosséis de 10 cm e com mais de 76% nos mantidos a 25 e 40 cm (Tabela 6). Assim, a percepção que em pastos sob lotação contínua há grande cobertura do solo, devido aos altos valores de IL, pode equivocadamente sugerir que há bom uso da radiação incidente por tecidos foliares fotossinteticamente ativos, quando na verdade grande

parte da radiação solar pode estar sendo interceptada por componentes que contribuem pouco para a fotossíntese do dossel conforme ponderado por Parsons et al. (1983a).

Os maiores valores de IAF na maior dose de N (Tabela 7) podem estar associados à maior densidade populacional de perfilhos devido à aplicação de maiores doses de nitrogênio. Em trabalho conduzido concomitantemente ao presente estudo, Silva (2015) reportou que a densidade populacional de perfilhos no capim Mulato II foi 10% maior com a aplicação de 250 kg N ha^{-1} ano^{-1} quando comparado com pastos adubados com apenas 50 kg N ha^{-1} ano^{-1}. Mazzanti, Lemaire e Gastal (1994) avaliando dois cultivares de *Lolium arundinaceum* (Schreb.) Darbysh. (cvs. Clarine e Barcel) sob lotação contínua mediram aumento de 22% na densidade populacional de perfilhos quando o suprimento de N passou de 160 para 360 kg ha^{-1} ano^{-1}. O estímulo ao perfilhamento pela aplicação de N também foi registrado por Garcez Neto et al. (2002) em capim Mombaça e por Batista e Monteiro (2008) em capim Marandu. O suprimento de N ainda estimula a taxa de alongamento celular (FRICKE; McDONALD; MATTSON-DJOS, 1997) e a divisão celular (MACADAM; VOLENEC; NELSON, 1989) resultando no aumento no tamanho das folhas. Essas alterações em perfilhos individuais e na população de plantas promovidas pela aplicação de N resultaram em maior interceptação de luz no presente estudo.

Em estudos envolvendo relações luminosas em pastagens, o IAF é frequentemente uma resposta de grande interesse e, portanto, comumente quantificada. No entanto, raros são os estudos em que a composição do IAF (i.e., a participação de diferentes categorias de folhas na área foliar total) é avaliada. Há relatos na literatura de que sob lotação contínua, maior intensidade de pastejo está associada a dosséis mais baixos e presença de tecido foliar mais jovem (NEWMAN et al., 2002; HERNÁNDEZ GARAY et al., 2004; DUBEUX et al., 2006). Os dados do presente estudo são consistentes com esses relatos, tendo em vista que com o aumento da intensidade de pastejo a participação de folhas jovens no IAF aumentou. Considerando as três alturas de dossel estudadas, as folhas EXP, juntamente com as folhas JCE, representaram 62, 60 e 55% do IAF, respectivamente. Em contrapartida, a participação das folhas MAD aumentou com o aumento da altura, o que pode estar associado ao fato dessa categoria de folha se encontrar em regiões mais baixas do dossel, onde os animais tem maior dificuldade de preensão, principalmente nos pastos sob menor intensidade de pastejo. O conhecimento de como folhas de diferentes idades compõem o IAF também é importante para entender o efeito de diferentes manejos nos processos fisiológicos que determinam a produção de forragem. Como exemplo pode-se citar o efeito de diferentes composições do IAF na

fotossíntese do dossel, uma vez que a capacidade fotossintética das folhas que o compõem sofre variação em função do seu estádio de desenvolvimento (Tabela 10).

A atividade fotossintética das folhas aumenta até a maturidade fisiológica, declinando com o avanço da idade (BERNARDES, 1987). Isso explica a maior taxa de fotossíntese apresentada pelas folhas JCE em todas as intensidades de pastejo (Tabela 10) e sob as duas doses de N (Tabela 11). Ao avaliarem três grupos de folhas (em expansão, a mais jovem completamente expandida e a mais velha não senescida) em dois cultivares de *Megathyrsus maximus* (cvs. Massai e Tobiatã), Pedreira, Pedreira e Lara (2015) também encontraram a maior taxa de fotossíntese na folha mais jovem completamente expandida. No presente estudo nos dosséis mantidos a 10 cm, a ausência de diferença na fotossíntese entre as folhas EXP e as folhas JCE pode estar relacionada com a limitação metodológica relacionada à necessidade de mensurar a taxa de fotossíntese em folhas que possuíssem um mínimo de área foliar e pelo tamanho reduzido das folhas dos pastos sob maior intensidade de pastejo. Dessa forma, para que fosse possível realizar as medições, é possível que as folhas em expansão que foram selecionadas para tal medição já estivessem com idade fisiológica próxima à das folhas JCE. A menor fotossíntese medida nas folhas MAD ocorreu devido à sua idade mais avançada e pela sua localização no perfil do dossel onde há maior nível de sombreamento, o que leva à degradação da Rubisco e exportação no N para as folhas mais jovens (IRVING, 2015). Além disso, minerais importantes no processo de fotossíntese, como N e P, são preferencialmente destinados às folhas mais novas (BERNARDES, 1987).

O aumento de 20% na fotossíntese das folhas EXP quando a altura média do dossel passou de 25 e 40 cm para 10 cm (Tabela 10) está provavelmente associado a alterações na estrutura do dossel, como a maior IL (Tabela 9) causada pelos maiores IAFs (Tabela 6) e MFs (Tabela 3) nos dosséis mais altos. As folhas que se desenvolvem em ambientes com maior nível de sombreamento apresentam menor potencial fotossintético por não serem capazes de utilizar de maneira eficiente a luz disponível, mesmo quando elas emergem em ambiente com alta irradiância (PERI et al., 2003). Nos dosséis mais altos, a maior IL (Tabela 9) pode ter feito com que as folhas tenham se desenvolvido em um ambiente mais sombreado, quando ainda estavam dentro da bainha foliar nos estágios iniciais de desenvolvimento, o que pode ter influenciado em algum grau a capacidade fotossintética dessas folhas. A menor fotossíntese das folhas MAD quando a altura do dossel passou de 10 cm para 25 e 40 cm também resultou do aumento da IL devido à baixa disponibilidade de radiação, uma vez que essas folhas se encontram em estratos mais próximos ao solo e, portanto, mais sombreados.

Peri et al. (2003) observaram em pastos de *Dactylis glomerata* (L.) que o comprimento do colmo aumentou do 10º ao 60º dia de rebrotação, fazendo com que a folha tivesse que percorrer um caminho mais longo dentro da bainha até completar sua expansão. Isso fez com que a folha mais jovem completamente expandida no 60º dia fosse cronologicamente mais velha do que a folha de mesma categoria no 10º dia, motivo que contribuiu para a queda nas taxas de fotossíntese com o avanço nos dias de rebrotação reportada pelos autores. O mesmo raciocínio pode ser utilizado para os dosséis mantidos em diferentes alturas, pois, quando o dossel é mantido mais alto, os perfilhos que compõem a comunidade de plantas apresentam maiores comprimentos de colmo e, portanto, suas folhas são fisiologicamente mais velhas em relação as folhas de mesma categoria de um dossel mantido mais baixo. Dessa forma, alterações na morfologia dos perfilhos quando os dosséis são manejados em diferentes alturas podem também explicar as maiores taxas de fotossíntese foliar nos dosséis mais baixos (Tabela 10).

Além a idade da folha, a idade do perfilho também pode ser uma das causas da diferença encontrada na taxa de fotossíntese nas folhas de mesma categoria, conforme demonstrado por Carvalho (2002). A autora avaliou a taxa de fotossíntese na folha mais jovem completamente expandida nos capins Mombaça e Tanzânia em três idades de perfilhos (perfilhos jovens, com menos de um mês; perfilhos maduros, entre um e três meses de idade; perfilhos velhos, com mais de três meses) e reportou maiores taxas de fotossíntese nas folhas dos perfilhos jovens e maduros em comparação às dos perfilhos velhos, com valores de 15,8, 15,8 e 12,2 μmol CO_2 m^{-2} s^{-1}, respectivamente. No presente estudo, as menores taxas de sobrevivência de perfilhos no capim Mulato II mantido a 10 cm, em relação aos mantidos a 25 e 40 cm observadas por Silva (2015), sugerem que sob maior intensidade de pastejo os perfilhos eram renovados com maior frequência. Como consequência, os pastos mantidos a 10 cm eram compostos por perfilhos mais jovens que, como já discutido anteriormente, podem apresentar maiores taxas de fotossíntese.

Por essas razões, seria de se esperar que para a fotossíntese das folhas JCE também fossem encontradas diferenças entre os dosséis de diferentes alturas. O fato de não ter sido possível o controle de fatores ambientais como luz, temperatura, precipitação, etc. pode ter gerado variabilidade nos dados a ponto de não permitir a detecção de diferenças na fotossíntese das folhas JCE entre as alturas de manejo quando os dados foram analisados ao nível de 5% de significância. Especula-se se em ambientes mais controlados (e.g., casa de vegetação) ou com o aumento do poder estatístico (e.g., aumento no número de repetições)

essas diferenças apareceriam. Ainda assim, o valor de *Pr > F* para a fotossíntese das folhas JCE foi de 0,1114 e de 0,1024 quando o dossel de 10 cm foi comparado aos de 25 e 40 cm, respectivamente. Esses valores podem ser considerados baixos considerando as influências ambientais já citadas que ocorrem em experimentos de campo.

Em experimento acompanhante ao aqui reportado, Silva (2015) notou que a aplicação de 250 kg N ha^{-1} ano^{-1} promoveu maior renovação de perfilhos, indicando que o maior crescimento decorrente do uso de mais N faz com que a idade média dos perfilhos seja menor, o que pode ter contribuído para as maiores taxas de fotossíntese observadas em todas as categorias de folhas na maior dose de N (Tabela 11). A aplicação de N também está diretamente relacionada com a concentração de N nas folhas como reportado por Batista e Monteiro (2007). Em experimento com capim Marandu em casa de vegetação, os autores encontraram aumento na concentração de N nas folhas emergentes (folhas não expandidas), nas folhas recém expandidas (as duas folhas mais jovens recém expandidas) e nas folhas maduras (demais folhas expandidas) com o aumento na dose de N. Tendo em vista a participação do N na molécula de clorofila (ANDRADE et al., 2003), a aplicação de maior dose de N provavelmente afetou a taxa de fotossíntese das folhas.

A taxa de fotossíntese do dossel apresentou o mesmo padrão de resposta do ATF e da TAF (Tabela 3) com aumento à medida que diminuiu a intensidade de pastejo (Tabela 12). Também da mesma forma que para ATF e TAF, maiores valores de fotossíntese do dossel foram registrados na maior dose de N. Esses resultados confirmam a importância da assimilação de carbono pelo dossel nos processos que determinam a produção de forragem.

O modelo proposto por Boote e Jones (1987) utilizado para estimar a fotossíntese do dossel leva em consideração o IAF, a interceptação de luz pelo dossel e a fotossíntese foliar potencial ou máxima (taxa de fotossíntese da folha mais jovem completamente expandida). Como a fotossíntese das folhas JCE variou pouco entre as alturas (Tabela 10), a variação encontrada na fotossíntese do dossel, foi determinada pelas outras variáveis que compõem o modelo utilizado para o cálculo da fotossíntese do dossel.

A interceptação de luz e o IAF são utilizados no modelo para o cálculo do coeficiente de extinção luminosa (k). Para o mesmo valor de IAF, maiores valores de IL resultam em maiores valores de k, que, por sua vez, resultam em menores valores de IAF de sol e maiores valores de IAF de sombra. Uma vez que a taxa de fotossíntese das folhas de sol é maior que aquela das folhas de sombra, o aumento da IL resulta em diminuição da fotossíntese do dossel. A pequena variação na IL nos pastos mantidos a 25 e 40 cm (Tabela 9) indica que a

variação encontrada na fotossíntese do dossel ocorreu pela diferença no IAF nessas duas alturas (Tabela 6). A menor IL nos dosséis mantidos a 10 cm (Tabela 9) causaria − se considerada isoladamente − aumento na fotossíntese do dossel. Portanto, também nos dosséis mantidos mais baixos, o fator determinante da menor fotossíntese do dossel foi o menor IAF nesses dosséis. Conclusão semelhante foi postulada por Parsons et al. (1983a) em estudo avaliando pastagens de azevém perene sob lotação contínua. Os autores salientaram que, embora a taxa de fotossíntese das folhas dos pastos mantidos com IAF próximo a 1 fosse maior, a fotossíntese do dossel foi inferior à dos mantidos com IAF próximo a 3, o que enfatiza a maior importância da área de tecido fotossintetizante do que a taxa de fotossíntese desses tecidos quando se trata de fotossíntese do dossel. Sob regime de colheita mecânica, forte associação entre IAF e fotossíntese do dossel foi observada por Moreno (2004) para capins do gênero *Megathyrsus* (r = 0,89; $P < 0,0001$) e por Lara e Pedreira (2011) para cultivares do gênero *Brachiaria* no verão ($r^2 = 0,79$). Em pastos de capim Xaraés sob lotação contínua, Pequeno (2010) encontrou relação linear e positiva entre fotossíntese do dossel e IAF ($r^2 = 0,45$; $P < 0,0001$).

Como o aumento apenas na IL resultaria na diminuição nas taxas de fotossíntese do dossel, os maiores valores de IL medidos sob a maior dose de N sugerem que a fotossíntese das folhas JCE (Tabela 11) e o maior IAF (Tabela 7) foram os responsáveis pelo aumento em 45% na fotossíntese do dossel com maior dose de N. Com maior área de tecido fotossintetizante e maior fotossíntese por unidade de área foliar, maiores taxas de fotossíntese seriam efetivamente esperadas nos dosséis adubados com mais N.

As folhas EXP e as folhas JCE, juntas, foram responsáveis por aproximadamente 70% da fotossíntese do dossel nos pastos mantidos a 10 e 25 cm e por cerca de 64% nos pastos mantidos a 40 cm (Tabela 13), o que mostra a importância das folhas mais jovens nos processos que determinam a captura de carbono. Resultados semelhantes foram encontrados por Parsons et al. (1983a) que, ao avaliarem azevém perene mantido com IAF próximo a 1 sob lotação contínua, também observaram que as folhas em expansão e as folhas mais jovens completamente expandidas eram as que mais contribuíram na fotossíntese do dossel (~77%). As folhas MAD, por apresentarem menores taxas de fotossíntese, contribuíram mais na composição do IAF do que para a fotossíntese do dossel (Tabelas 8 e 15). Nesse sentido, a manutenção dos pastos em alturas que promovam maiores proporções de folhas jovens parece ser uma boa ferramenta para se atingir altas produções de forragem. Entretanto, no presente estudo os dosséis que apresentaram os maiores valores de ATF foram justamente os que

continham maiores proporções de folhas MAD (Tabelas 3 e 8), indicando que, embora maiores intensidades de pastejo proporcionem maiores taxas de fotossíntese foliar e maiores proporções de folhas jovens (que também são mais eficientes fotossinteticamente), isso não se mostrou suficientemente eficiente para compensar a maior área foliar dos dosséis mais altos. Além disso, outros processos fisiológicos como partição de fotoassimilados certamente estão envolvidos na produção de forragem (IRVING, 2015).

Como a participação das categorias de folhas no IAF não foi afetada pela dose de N, a diferença encontrada na contribuição das folhas EXP e folhas JCE na fotossíntese do dossel sob as duas doses de N ocorreu provavelmente em função das diferenças na taxa de fotossíntese em resposta às doses de N. Embora a fotossíntese de todas as categorias de folhas tenha sido maior com mais N aplicado, esse aumento ocorreu em maior intensidade para as folhas JCE. Por essa razão, a contribuição dessas folhas na fotossíntese do dossel foi ligeiramente superior na maior dose de N, enquanto que as folhas EXP tiveram maior contribuição na fotossíntese do dossel na dose de N mais baixa. Vale ressaltar que para as duas doses de N a contribuição dessas duas categorias de folhas, somadas, se mantiveram altas (68 e 69% nas doses de 50 e 250 kg N ha^{-1} ano^{-1}, respectivamente). A interação altura × dose de N na contribuição das folhas MAD na fotossíntese do dossel provavelmente se deve ao fato de que na maior dose de N a contribuição dessas folhas na fotossíntese do dossel foi maior nos dosséis mantidos a 10 cm e menor nos mantidos a 25 cm (Tabela 15). Além disso, nos dosséis mantidos a 40 cm a participação dessas folhas na fotossíntese do dossel foi semelhante entre as duas doses de N.

Os resultados do presente estudo indicam que pastos de capim Mulato II sob lotação contínua apresentam diferentes respostas em função da altura do dossel e da dose de N. O uso da altura para o monitoramento da condição do dossel se mostrou um parâmetro-guia eficiente para caracterizar o dossel, pois o contraste em altura resultou em variações nas características estruturais e fisiológicas do dossel, o que impactou na produção de forragem. Essas características do dossel também foram afetadas pela aplicação de maiores doses de N. Dessa forma, estudos dessa natureza são ferramentas importantes para o melhor entendimento de como diferentes práticas de manejo podem influenciar nos processos fisiológicos importantes que determinam a produção de forragem.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A altura do dossel mantida constante a 10 cm resulta em pastos pastejados de capim Mulato II com maior proporção de folhas jovens (folhas em expansão e folhas jovens completamente expandidas). Essas categorias de folhas são as que apresentam maiores taxas fotossintéticas e que também são as que mais contribuem para a fotossíntese do dossel. Entretanto, a fotossíntese do dossel e o acúmulo de forragem aumentam com o aumento em altura do dossel, indicando que a área de tecido fotossintetizante é mais importante que a taxa de fotossíntese foliar quando se trata de fotossíntese do dossel.

A aceleração do ritmo de crescimento pela aplicação de 250 kg N ha^{-1} ano^{-1} promove aumento no acúmulo de forragem e na taxa de fotossíntese do dossel para o capim Mulato II sob lotação contínua, mas não resulta em mudanças na composição do IAF. A maior taxa de fotossíntese do dossel foi o resultado tanto do aumento do IAF quanto do aumento na taxa fotossintética das folhas proporcionado pela aplicação de maior dose de N.

Os resultados encontrados no presente estudo demonstram a importância da taxa de fotossíntese do dossel nas respostas produtivas de acúmulo de forragem. Entretanto, a magnitude do aumento observado no ATF resultante do aumento da altura do dossel foi proporcionalmente diferente ao observado na taxa de fotossíntese do dossel (aumento de 59% para ATF e de 21% para taxa de fotossíntese do dossel quando a altura aumentou de 10 para 40 cm). O mesmo foi observado para dose de N onde o aumento de 50 para 250 kg N ha^{-1} ano^{-1}, resultou em aumento de 37% no ATF e de 45% na fotossíntese do dossel. Esses resultados indicam que outros processos fisiológicos como respiração e partição de fotoassimilados estão provavelmente envolvidos na determinação do acúmulo de forragem. Assim, para melhor compreensão de como diferenças em manejo afetam os processos fisiológicos determinantes do acúmulo de forragem é necessário que, concomitantemente às respostas aqui quantificadas, avaliações da taxa de respiração e partição de fotoassimilados também sejam incluídos nos estudos desta natureza.

Outro aspecto importante a ser considerado em relação às estimativas de acúmulo de forragem em pastos sob lotação contínua é o aspecto metodológico. A utilização de gaiolas de exclusão pode resultar em modificações no microambiente dentro do estande de plantas nos locais excluídos, como aumento na umidade relativa, diminuição na velocidade do vento e redução nas perdas por transpiração (COWLISHAW, 1951), o que pode fazer com que o acúmulo de forragem dentro da gaiola não represente de maneira acurada o real acúmulo de

forragem do pasto. Além disso, o uso de gaiolas pode resultar em importantes modificações na estrutura da vegetação protegida do pastejo (PEQUENO, 2010), especialmente aquelas relacionadas com a área foliar. Nos dosséis mantidos mais baixos, durante o período de exclusão, o dossel dentro da gaiola passa de um baixo IAF para valores que podem estar próximos do IAF ótimo, onde ocorre máxima taxa de acúmulo de forragem (BORTOLO et al., 2001), e isso pode ter gerado estimativas acima dos valores reais de AF nos dosséis mantidos a 10 cm. Já em dosséis mantidos mais altos, os mesmos autores sugerem que a vegetação dentro da gaiola atinge rapidamente o IAF crítico (onde IL = 95%), situação além da qual a taxa diária de acúmulo de forragem começa a diminuir. Isso pode ter gerado estimativas de acúmulo de forragem abaixo do valor real nos dosséis mantidos a 25 e 40 cm de altura, pois para essas alturas os dosséis iniciaram o período de exclusão com 98,7 e 99,1% de IL, respectivamente. Dessa forma, esforços para quantificar o quão próximo o acúmulo dentro da gaiola representa o valor real de AF do dossel sob pastejo devem ser feitos a fim de estimar com maior nível de exatidão o real impacto do manejo adotado sobre as respostas produtivas das espécies forrageiras estudadas.

REFERÊNCIAS

ALBERNAZ, T.T.; SILVEIRA, J.A.S.; SILVA, N.S.; OLIVEIRA, C.H.S.; REIS, A.S.B.; OLIVEIRA, C.M.C.; DUARTE, M.D.; BARBOSA, J.D. Fotossensibilização em ovinos associada à ingestão de *Brachiaria brizantha* no estado do Pará. **Pesquisa Veterinária Brasileira,** Seropédica, v. 30, n. 9, p.741-748, 2010.

ALLARD, G.; NELSON, C.J.; PALLARDY, S.G. Shade effects on growth of Tall Fescue: II. Leaf gas exchange characteristics. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 1, p. 167-172, 1991.

ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M.; QUEIROZ, D.S.; SALGADO, L.T.; CECON, P.R. Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. spe., p. 1643-1651, 2003.

ANDRADE, C.M.S.; ASSIS, G.M.L. ***Brachiaria brizantha* cv. piatã**: gramínea recomendada para solos bem-drenados do Acre. Rio Branco: EMBRAPA ACRE, 2010. 8p. (EMBRAPA. Circular Técnico, 54).

ARAÚJO, S.A.C.; DEMINICIS, B.B.; CAMPOS, P.R.S.S. Melhoramento genético de plantas forrageiras tropicais no Brasil. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 57, n. spe., p. 61-76, 2008.

ARGEL, P.J.; MILES, J.W.; GUIOT, J.D.; CUADRADO, H.; LASCANO, C.E. **Cultivar Mulato II (*Brachiaria* híbrida CIAT 36087**): Gramínea de alta qualidade e produção forrageira, resistente às cigarrinhas e adaptada a solos tropicais ácidos e bem drenados. Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT), 2007. 22p.

ARGEL, P.J.; MILES, J.W.; GUIOT, J.D.; LASCANO, C.E. **Cultivar Mulato (*Brachiaria* híbrido CIAT 36061):** Gramínea de alta producción y calidad forrajera para los trópicos. Cali, CO. Centro de Agricultura Tropical (CIAT), 2005. 28p.

ASSIS, G.M.L.; EUCLYDES, R.F.; CRUZ, C.D.; VALLE, C.B. Discriminação de espécies de *Brachiaria* baseada em diferentes grupos de caracteres morfológicos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 576-584, 2003.

ASSIS, G.M.L.; SANTOS, C.F.; FLORES, P.S.; VALLE, C.B. Genetic divergence among *Brachiara humidicola* (Rendle) Schweick hybrids evaluated in the Western Brazilian Amazon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 14, n. 4, p. 224-231, 2014.

BARCELLOS, A.O.; RAMOS, A.K.B.; VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. spe, p. 51-67, 2008.

BARROS, A.L.M.; PEREIRA, E.M.; HAUSKNETCH, J.C.O.V.; FERNANDES, M.H.M.R. Estratégias de intensificação em pecuária de corte: da pecuária extensiva à adubação de pastagens e integração lavoura-pecuária. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 26, 2011. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, SP: FEALQ, 2011. p. 29-50.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Nitrogen and sulphur in Marandu grass: relationship between supply and concentration in leaf tissues. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 44-51, 2007.

BATISTA, K.; MONTEIRO, F.A. Nitrogênio e enxofre nas características morfogênicas do capim-marandu em substituição ao capim-braquiária em degradação em solo com baixo teor de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 7, p. 1151-1160, 2008.

BERNARDES, M.S. Fotossíntese no dossel de plantas cultivadas. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. (Ed.**). Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fosfato, 1987. p. 13-48.

BIRCHAM, J.S.; HODGSON, J. The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continous stocking management. **Grass and Forage Science**, Chichester, v. 38, n. 4, p. 323-331, 1983.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W. Equations to define canopy photosynthesis from quantum efficiency, maximum leaf rate, light extinction, leaf area index, and photon flux density. In: BIGGINS, J. (Ed.). **Progress in photosynthesis research**. The Hague: Martinus Niijhoff Publ., 1987. v. 4, p. 415-418.

BOOTE, K.J.; LOOMIS, R.S. The prediction of canopy assimilation. In: BOOTE, K. J.; LOOMIS, R. S. (Ed.). **Modeling crop photosynthesis - from biochemistry**. Madison: CSSA; ASA, 1991. p. 109-140.

BORTOLO, M.; CECATO, U.; MARTINS, E.N.; CANO, C.C.P.; COALHO, M.R.; CANTO, M.W.; SANTOS, G.T. Avaliação de uma pastagem de Coastcross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) sob diferentes níveis de matéria seca residual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 627-635, 2001.

BRAGA, G.J.; LUZ, P.H.C.; HERLING, V.R.; LIMA, C.G. Resposta do capim-Mombaça a doses de nitrogênio e a intervalos de corte. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 123-128, 2004.

BRAGA, G.J.; PEDREIRA, C.G.S.; HERLING, V.R.; LUZ, P.H.C.; LIMA, C.G. Sward structure and herbage yield of rotationally stocked pastures of 'Marandu' palisadegrass [*Brachiaria brizantha* (A.Rich.) Stapf] as affected by herbage allowance. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 2, p. 121-129, 2006.

BRISKIN, D.P.; BLOOM, A. Nutrição Mineral. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Ed.) **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. p. 108-130.

CABRAL, W.B.; SOUZA, A.L.; ALEXANDRINO, E.; TORAL, F.L.B.; SANTOS, J.N.; CARVALHO, M.V.P. Características estruturais e agronômicas da *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés submetida a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 41, n. 4, p. 846-855, 2012.

CAETANO, L.P.S.; DIAS-FILHO, M.B. Responses of six *Brachiaria* spp. Accessions to root zone flooding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 5, p. 795-801, 2008.

CALVANO, M.P.C.A.; EUCLIDES, V.P.B.; MONTAGNER, D.B.; LEMPP, B.; DIFANTE, G.S.; FLORES, R.S.; GALBEIRO, S. Tillering and forage accumulation in Marandu grass under different grazing intensities. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, n. 6, p. 781-789, 2011.

CANO, C.C.P; CECATO, U.; CANTO, M.W.; RODRIGUES, A.B.; JOBIM, C.C.; RODRIGUES, A.M.; GALBEIRO, S.; NASCIMENTO, W.G. Produção de forragem do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1) pastejado em diferentes alturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, supl. 2, p. 1949-1958, 2004.

CANTO, M.W.; JOBIM, C.C.; GASPARINO, E.; HOESCHL, A.R. Características do pasto e acúmulo de forragem em capim-tanzânia submetido a alturas de manejo do pasto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 3, p. 429-435, 2008.

CARLOTO, M.N.; EUCLIDES, V.P.B.; MONTAGNER, D.B.; LEMPP, B.; DIFANTE, G. S.; PAULA, C.C.L. Desempenho animal e características de pasto de capim-xaraés sob diferentes intensidades de pastejo, durante o período das águas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 1, p. 97-104, 2011.

CARNEIRO, V.T.C.; DUSI, D.M.A. Apoxia: em busca de tecnologias de clonagem de plantas por sementes. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Uberlândia, n. 25, p. 26-42, 2002.

CARNEVALLI, R.A.; DA SILVA, S.C.; CARVALHO, C.A.B.; SBRISSIA, A.F.; FAGUNDES, J.L.; PINTO, L.F.M.; PEDREIRA, C.G.S. Desempenho de ovinos e respostas de pastagens de Coastcross submetidas a regimes de desfolha sob lotação contínua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 6, p. 919-927, 2001.

CARVALHO, C.A.B.; DA SILVA, S.C.; SBRISSIA, A.F.; PINTO, L.F.M.; CARNEVALLI, R.A.; FAGUNDES, J.L.; PEDREIRA, C.G.S. Demografia do perfilhamento e taxas de acúmulo de matéria seca em capim 'Tifton 85' sob pastejo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 591-600, 2000.

CARVALHO, D.D. **Leaf morphogenesis and tillering behavior in single plants and simulated swards of Guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) cultivars**. 2002. 180p. Thesis (Ph.D.) - Massey University, Palmerston North, 2002.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 277-289, 2010.

CECATO, U.; CASTRO, C.R.C.; CANTO, M.W.; PETERNELLI, M.; ALMEIDA JÚNIOR, J.; JOBIM, C.C.; CANO, C.C.P. Perdas de forragem em capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq cv. Tanzania-1) manejado sob diferentes alturas sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 295-301, 2001.

CERVELLINI, A.; SALATI, E.; FERRAZ, E.S.B.; VILLA NOVA, N.A.; REICHARDT, K.; DEDICO, A.; OMETTO, J.C.; PEDRO JUNIOR, M.J. **Análise dos dados meteorológicos de Piracicaba**, SP., Piracicaba: ESALQ/USP, 1973. 26p. (Boletim Científico, 36).

CHAPIN, F.S.; BLOOM, A.J.; FIELD, C.B.; WARING, R.H. Plant responses to multiple environmental factors. **BioScience**, Cary, v. 37, n. 1, p. 49-57, 1987.

CHIZZOTTI, F.H.M.; PIMENTEL, R.M.; CHIZZOTTI, M.L. Estratégias de mitigação de gases de efeito estufa na pecuária de corte em sistemas integrados. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA INTEGRADA, 1., 2014, Sinop. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 2014. p. 177-212.

COOPER, J.P.; WILSON, D. Variation in photosynthetic rate in *Lolium*. In: INTERNATIONAL GRASSLANDS CONGRESS, 11., 1970, Surfers Paradise. **Proceedings...** Santa Lucia: University of Quensland Press, 1970. p. 522-527.

COSTA, K.A.P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, J.L.; RODRIGUES, R.B. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. II - Nutrição nitrogenada da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 1601-1607, 2008.

COSTA, K.A.P.; ROSA, B.; OLIVEIRA, I.P.; CUSTÓDIO, D.P.; SILVA, D.C. Efeito da estacionalidade na produção de matéria seca e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Ciência Animal Brasileira,** Goiânia, n. 3, p. 187-193, 2005.

COSTA, N.L.; MORAES, A.; MONTEIRO, A.L.G.; MOTTA, A.C.V.; OLIVEIRA, R.A.; RODRIGUES, A.N.A. Forage productivity and morphogenesis of *Axonopus aureus* under different nitrogen fertilization rates. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 42, n. 8, p. 541-548, 2013.

COWLISHAW, S.J. The effect of sampling cages on the yields of herbage. **Grass and Forage Science**, Chichester, v. 6, n. 3, p. 179-182, 1951.

DA SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DE PASTAGENS, 3., 1997, Jaboticabal. **Anais…** Jaboticabal: FUNEP, 1997. p. 1-62.

DA SILVA, S.C.; PEREIRA, L.E.T.; SBRISSIA, A.F.; HERNANDEZ-GARAY, A. Carbon and nitrogen reserves in marandu palisade grass subjected to intensities of continuous stocking management. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 153, n. 8, p. 1449-1463, 2014.

DAVIES, D.A.; FUTHERGILL, M.; MORGAM, C.T. Assessment of contrasting perennial ryegrasses with and white clover, under contínuous stocking in the uplands. 5 – Herbage production, quality and intake in years 4-6. **Grass and Forage Science**, Chichester, v. 48, n. 3, p. 213-222, 1993.

DEMSKI, J.B. **Desempenho e comportamento de vacas lactantes em pastagens de cultivares de braquiárias**. 2013. 77p. Dissertação (Mestre em Produção Animal Sustentável) - Instituto de Zootecnia, APTA/SAA, Nova Odessa. 2013.

DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação.** 4.ed. rev. atual. e ampl. Belém: Ed. do Autor, 2011. 216p.

DIAS-FILHO, M.B. Degradação e recuperação de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 23., 2006a, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2006a. p. 185-220.

DIAS-FILHO, M.B. Opções forrageiras para áreas sujeitas a inundação ou alagamento temporário. 22., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 71-96.

DIAS-FILHO, M.B. **Respostas morfofisiológicas de *Brachiaria* spp. ao alagamento do solo e a síndrome da morte do capim-marandu**. Belém: EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 2006b. 27p. (EMBRAPA. Documentos, 242).

DIAS-FILHO, M.B. Uso de pastagens para a produção animal no Brasil: estado da arte e a necessidade de intensificação de forma sustentável e ambientalmente adequada. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 27., 2015, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2015. p. 7-32.

DUBEUX JR, J.C.B.; STEWART JR., R.L.; SOLLENBERGER, L.E.; VENDRAMINI, J. M.B.; INTERRANTE, S.M. Spatial heterogeneity of herbage response to management intensity in continuously stocked Pensacola bahiagrass pastures. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, n. 6, p. 1453-1459, 2006.

DURU, M; DUCROCQ, H. Growth and senescence of the successive leaves on a cocksfoot tiller. Effect of nitrogen and cutting regime. **Annals of Botany**, Oxford, UK, v. 85, n. 5, p. 645-653, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

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

EUCLIDES, V.P.B.; VALLE, C.B.; MACEDO, M.C.M.; ALMEIDA, R.G.; MONTAGNER, D.B.; BARBOSA, R.A. Brazilian scientific progress in pasture research during the first decade of XXI century. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, suppl. spe, p. 151-168, 2010.

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

FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D.M.; MISTURA, C.; MORAIS, R.V.; VITOR, C.M.T.; GOMIDE, J.A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; CASAGRANDE, D.R.; COSTA, L.T. Características morfogênicas e estruturais do capim-braquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, n. 1, p. 21-29, 2006.

FAGUNDES, J.L; SILVA, S.C.; PEDREIRA, C.G.S.; SBRISSIA, A.F.; CARNEVALLI, R.A.; CARVALHO, C.A.B.; PINTO, L.F.M. Índice de área foliar, interceptação luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon* spp. sob diferentes intensidades de pastejo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, suppl. p. 1141-1150, 1999.

FAO. **FAOSTAT**. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/home/E >. Acesso em: 13 jan. 2016.

FARIA FILHO, E.M. **Produção animal, valor nutritivo e aspectos morfológicos de braquiárias**. 2012. 54p. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) - Faculdade de Medicina Veterinária, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

FEARNSIDE, P.M.; BARBOSA, R.I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 108, n. 1/2, p. 147-166, 1998.

FERREIRA, A.S. **Dinâmica de acúmulo de forragem e estrutura do dossel em pastagens de *Brachiaria decumbens* Stapf. cv. Basilisk sob lotação contínua**. 2010. 82p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2010.

FIELD, C. Allocating leaf nitrogen for the maximization of carbon gain: leaf age as a control on the allocation program. **Oecologia**, Berlin, n. 56, p. 341-347, 1983.

FLORES, R.S.; EUCLIDES, V.P.B.; ABRÃO, M.P.C; GALBEIRO, S.; DIFANTE, G.S.; BARBOSA, R.A. Desempenho animal, produção de forragem e características estruturais dos capins marandu e xaraés submetidos a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 8, p. 1355-1365, 2008.

FREITAS, F.P.; FONSECA, D.M.; BRAZ, T.G.S.; MARTUSCELLO, J.A.; SANTOS, M. E.R. Forage yield and nutritive value of Tanzania grass under nitrogen supplies and plant densities. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 41, n. 4, p. 864-872, 2012.

FRICKE, W.; MCDONALD, A.J.S.; MATTSON-DJOS, L. Why do leaves and leaf cells of N-limited barley elongate at reduced rates? **Planta**, Heidelberg, v. 202, n. 4, p. 522-530, 1997.

FUZINATTO, V.A.; PAGLIARINI**,** M.S.; VALLE**,** C.B. Microsporogenesis in sexual *Brachiaria* hybrids (*Poaceae*). **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 6, n. 4, p. 1107-1117, 2007.

GARCEZ NETO, A.F.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; REGAZZI, A.J.; FONSECA, D.M.; MOSQUIM, P.R.; GOBBI, K.F. Respostas morfogênicas e estruturais de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1890-1900, 2002.

GASTAL, F.; DURAND, J.L. Effect of nitrogen and water supply on N and C fluxes and partitioning in defoliated swards. In: LEMAIRE, G; HODGSON, J; MORAES, A; NABINGER, C.; CARVALHO, P.C.F. (Ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2000. p. 15-39.

GERLAND, P.; RAFTERY, A.E.; ŠEVČÍKOVÁ, H.; LI, N.; GU, D.; SPOORENBERG, T.; ALKEMA, L.; FOSDICK, B.K.; CHUNN, J.; LALIC, N.; BAY, G.; BUETTNER, T.; HEILIG, G.K.; WILMOTH, J. World population stabilization unlikely this century. **Science**, Washington, DC, v. 346, n. 6206, p. 234-237, 2014.

HARE, M.D.; PHENGPHET, S.; SONGSIRI, T.; SUTIN, N.; STERN, E. Effect of cutting interval on yield and quality of three B*rachiaria* hybrids in Thailand. **Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales**, Cali, v. 1, n. 1, p. 84-86, 2013.

HARE, M.D.; TATSAPONG, P.; PHENGPHET, S. Herbage yield and quality of *Brachiaria* cultivars, *Paspalum atratum* and *Panicum maximum* in north-east Thailand. **Tropical Grasslands**, St Lucia, v. 43, p. 65-72 65, 2009.

HAY, R.K.M.; WALKER, A.J. Photosynthetic efficiency: photosynthesis and photorespiration. In: HAY, R. K. M.; WALKER, A. J. **An introduction to the physiology of crop yield**. New York: Longman Scientific & Technical, 1989. p. 31-86.

HERNADEZ-GARAY, A.; EUCLIDES, V.P.B.; DA SILVA, S.C.; MONTAGNER, D.B.; NANTES, N.N.; NASCIMENTO JUNIOR, D. ; SOARES, C.O. Herbage accumulation and animal performance on Xaraés palisade grass subjected to intensities of continuous stocking management. **Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales**, Cali, v. 2, n. 1, p. 76-78, 2014.

HERNÁNDEZ GARAY, A.; SOLLENBERGER, L.E.; MCDONALD, D.C.; RUEGSEGGER, G.J.; KALMBACHER, R.S.; MISLEVY, P. Nitrogen fertilization and stocking rate affect stargrass pasture and cattle performance. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 4, p. 1348-1354, 2004.

HODGSON, J. **Grazing management:** science into pratice. New York: Longman Scientific & Technical, Longman, 1990. 203p.

INYANG, U.; VENDRAMINI, J.M.B.; SELLERS, B.; SILVEIRA, M.L.A.; LUNPHA, A.; SOLLENBERGER, L.E.; ADESOGAN, A.; PAIVA, L.M. Harvest frequency and stubble height affect herbage accumulation, nutritive value, and persistence of 'Mulato II' brachiariagrass. **Forage and Grazinglands**, St Paul, v. 8, p. 1-7, 2010.

IRVING, L.J. Carbon assimilation, biomass partitioning and productivity in grasses. **Agriculture**, Basel, v. 5, n. 4, p. 1116-1134, 2015.

JANK, L.; BARRIOS, S.C.; VALLE, C.B.; SIMEÃO, R.M.; ALVES, G.F. The value of improved pastures to Brazilian beef production. **Crop & Pasture Science**, Clayton, v. 65, n. 11, p. 1132–1137, 2014.

JANK, L.; VALLE, C.B.; RESENDE, R.M.S. Breeding tropical forages. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 11, n. spe, p. 27-34, 2011.

KARIA, C.T.; DUARTE, J.B.; ARAÚJO, A.C.G. **Desenvolvimento de cultivares do Gênero *Brachiaria* (trin.) Griseb. no Brasil**. Planaltina-DF: EMBRAPA CERRADOS, 2006. 57p. (EMBRAPA. Documentos, 163).

LARA, M.A.S.; PEDREIRA, C.G.S. Estimativa da assimilação potencial de carbono em dosséis de espécies de braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 7, p. 743-750, 2011.

LAWLOR, D.W. Photosynthesis, productivity and environment. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, UK, v. 46, n. spe, p. 1449-1461, 1995.

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

LITTEL, R.C.; MILLIKEN, G.A.; STROUP, W.W.; WOLFINGER, R.D.; SCHABENBERBER, O. **SAS for Mixed Models**. 2nd. ed. Cary: SAS Institute, 2006, 813p.

LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. Productivity and the morphology of crop stands: patterns with leaves. In: EASTIN, J.D.; HASKINS, F.A.; SULLIVAN, C.Y.; VAN BAVEL, C.H.M. (Ed.). **Physiological aspects of crop yield**. Madison: ASA/CSSA/SSA, 1969. p. 27-47.

MACADAM, J.W.; VOLENEC, J.J.; NELSON, C.J. Effects of nitrogen on mesophyll cell division and epidermal cell elongation in tall fescue leaf blades. **Plant Physiology**, Rockville, v. 89, n. 2, p. 549-556, 1989.

MARTHA JR, G.B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 110, p. 173-177, 2012.

MARTUSCELLO, J.A.; FONSECA, D.M.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SANTOS, P.M.; RIBEIRO JUNIOR, J.I.; CUNHA, D.N.F.V.; MOREIRA, L.M. Características morfogênicas e estruturais do capim-xaraés submetido à adubação nitrogenada e desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 1475-1482, 2005.

MAZZANTI, A.; LEMAIRE, G.; GASTAL, F. The effect of nitrogen fertilization upon the herbage production of tall fescue swards continuously grazed with sheep. 1. Herhage growth dynamics. **Grass and Forage Science,** Chichester, v. 49, n. 2, p. 111-120, 1994.

MENDES-BONATO, A.B.; PAGLIARINI, M.S.; FORLI, F.; VALLE, C.B.; PENTEADO, M.I.O. Chromosome numbers and microsporogenesis in *Brachiaria brizanth*a (Gramineae). **Euphytica**, Dordrecht, v. 125, n. 3, p. 419–425, 2002.

MESQUITA, P.; DA SILVA, S.C.; PAIVA, A.J.; CAMINHA, F.O.; PEREIRA, L.E.T.; GUARDA, V.D.A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Structural characteristics of marandu palisadegrass swards subjected to continuous stocking and contrasting rhythms of growth. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n. 1, p. 23-30, 2010.

MEYER, P.M.; RODRIGUES, P.H.M. Progress in the Brazilian cattle industry: an analysis of the Agricultural Censuses database. **Animal Production Science**, Clayton, v. 54, n. 9, p. 1338-1344, 2014.

MILES, J.W. Nuevos híbridos de *Brachiaria*. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 21, n. 2, p. 78-80, 1999.

MILES, J.W.; VALLE, C.B. Manipulation of apomixes in *Brachiaria* breeding. In: MILES, J.W.; MAASS, B.L.; VALLE, C.B. (Ed.). ***Brachiaria*:** biology, agronomy, and improvement. Cali: CIAT - Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1996. p. 164-177.

MOLAN, L.K. **Estrutura do dossel, interceptação luminosa e acúmulo de forragem em pastos de capim-marandu submetidos a alturas de pastejo por meio de lotação contínua**. 2004. 159p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2004.

MORENO, L.S.B. **Produção de forragem de capins do gênero *Panicum* e modelagem de respostas produtivas e morfofisiológicas em função de variáveis climáticas.** 2004. 86p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

NELSON, C.J.; ASAY, K.H.; HORST, G.L. Relationship of leaf photosynthesis to forage yield of tall fescue. **Crop Science**, Madison , v. 15, n. 4, p. 476-478, 1975.

NEPSTAD, D.C.; STICKLER, C.M.; ALMEIDA, O.T. Globalization of the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation. **Conservation Biology**, Malden, v. 20, n. 6, p. 1595-1603, 2006.

NEWMAN, Y.C.; SOLLENBERGER, L.E.; KUNKLE, W.E.; BATES, D.B. Crude protein fractionation and degradation parameters of limpograss herbage. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 6, p. 1381-1386, 2002.

NUNES, S.G.; BOOCK, A.; PENTEADO, M.I.O.; GOMES, D.T. ***Brachiaria brizantha* cv. Marandu**. 2. ed. Campo Grande: EMBRAPA, CNPGC, 1984. 31p. (EMBRAPA/CNPGC. Documentos, 21).

PARSONS, A.J.; LEAFE, E.L.; COLLETT, B.; PENNING, P.D.; LEWIS, J. The physiology of grass production under grazing. II. Photosynthesis, crop growth and animal intake of continuously-grazed swards. **Journal of Applied Ecology**, Chichester, v. 20, n. 1, p. 127-139, 1983b.

PARSONS, A.J.; LEAFE, E.L.; COLLETT, B.; STILES, W. The physiology of grass production under grazing. I. Characteristics of leaf and canopy photosynthesis of continuously-grazed swards. **Journal of Applied Ecology**, Chichester, v. 20, n. 1, p. 117-126, 1983a.

PAULA, C.C.L.; EUCLIDES, V.P.B.; MONTAGNER, D.B.; LEMPP, B.; DIFANTE, G. S.; CARLOTO, M.N. Estrutura do dossel, consumo e desempenho animal em pastos de capim-marandu sob lotação contínua. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 64, n. 1, p. 169-176, 2012.

PEARCE, R.B.; BROWN, R.H.; BLASER, R.E. Relationships between leaf area index, light interception and net photosynthesis in Orchardgras. **Crop Science**, Madison, v. 5, n. 6, p. 533-556, 1965.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S. ; LARA, M.A.S. Leaf age, leaf blade portion and light intensity as determinants of leaf photosynthesis in *Panicum maximum* Jacq.. **Grassland Science**, Nishinasuno, v. 61, n. 1, p. 45-49, 2015.

PEDREIRA, B.C.; DIAS-FILHO, M.B.; ANDRADE, C.M.S.; RIBEIRO, L.F.C.; PEREIRA, D.H.; PINA, D.S.; CARNEVALLI, R.A.; COSTA, F.C.; FELIPE, F.L. Síndrome da morte do Braquiarão em Mato Grosso. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA INTEGRADA, 1., 2014. Sinop. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 2014. p. 217-237.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S. Fotossíntese foliar do capim-xaraés [*Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf. cv. Xaraés] e modelagem da assimilação potencial de dosséis sob estratégias de pastejo rotativo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 4, p. 773-779, 2007.

PEDREIRA, C.G.S. Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002. Recife. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2002. p. 100-150.

PEDREIRA, C.G.S.; MELLO, A.C.L.; OTANI, L.O processo de produção de forragem em pastagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBZ, 2001. p. 772-807.

PENNING, P.D.; PARSONS, A.J.; ORR, R.J.; TREACHER, T.T. Intake and behaviour responses by sheep to changes in sward characteristics under continuous stocking. **Grass and Forage Science**, Chichester, v. 46, n. 1, p. 15-28, 1991.

PEQUENO, D.N.L. **Intensidade de pastejo como condicionante da estrutura do dossel e da assimilação de carbono de pastos de capim Xaraés [*Brachiaria brizantha* (A. Rich) Stapf. cv. Xaraés] sob lotação contínua**. 2010. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2010.

PEQUENO, D.N.L.; PEDREIRA, C.G.S.; SOLLENBERGER, L.E.; FARIA, A.F.G.; SILVA, L.S. Forage accumulation and nutritive value of brachiariagrasses and Tifton 85 bermudagrass as affected by harvest frequency and irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 107, n. 5, p. 1741-1749, 2015.

PEREIRA, L.E.T.; PAIVA, A.J.; DA SILVA, S.C.; CAMINHA, F.O.; GUARDA, V.D.A.; PEREIRA, P.M. Sward structure of marandu palisadegrass subjected to continuous stocking and nitrogen-induced rhythms of growth. **Scientia Agricola,** Piracicaba, v. 67, n. 5, p. 531-539, 2010.

PERI, P.L.; MOOT, D.J.; MCNEIL, D.L.; LUCAS, R.J. Modelling net photosynthetic rate of field-grown cocksfoot leaves to account for regrowth duration. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Cingapura, v. 46, n. 2, p. 105-115, 2003.

PINHEIRO, A.A.; POZZOBON, M.T.; VALLE, C.B.; PENTEADO, M.I.O.; CARNEIRO, V.T.C. Duplication of the chromosome number of diploid *Brachiaria brizantha* plants using colchicines. **Plant Cell Reports**, Heidelberg, v. 19, n. 3, p. 274-278, 2000.

ROBSON, M.J.; PARSONS, A.J. Nitrogen deficiency in small closed communities of s24 ryegrass. I. photosynthesis, respiration, dry matter production and partition. **Annals of Botany**, Oxford, UK, v. 42, n. 5, p. 1185-1197, 1978.

SAEKI, T. Variation of photosynthetic activity with aging of leaves and total photosynthesis in a plant community. **The Botanical Magazine Tokyo**, Tokyo, v. 72, n. 856, p. 404-408, 1959.

SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; GOMES, V.M.; GOMIDE, C.A.M.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; QUEIROZ, D.S. Capim-braquiária sob lotação contínua e com altura única ou variável durante as estações do ano: morfogênese e dinâmica de tecidos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, n. 11, p. 2323-2331, 2011.

SANTOS, M.E.R.; FONSECA, D.M.; SILVA, G.P.; PIMENTEL, R.M.; CARVALHO, V. V.; SILVA, S.P. Estrutura do pasto de capim-braquiária com variação de alturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 39, n. 10, p. 2125-2131, 2010.

SATURNINO, K.C.; MARIANI, T.M.; FERREIRA, M B.; BRUM, K.B.; FERNANDES, C.E.S.; LEMOS, R.A.A. Intoxicação experimental por *Brachiaria decumbens* em ovinos confinados. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Seropédica, v. 30, n. 3, p. 195-202, 2010.

SBRISSIA, A.F. **Morfogênese, dinâmica do perfilhamento e do acúmulo de forragem em pasto de capim-marandu sob lotação contínua**. 2004. 171p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

SILVA, L.S. **Tiller population density and demography dynamics of Convert HD 364 brachiariagrass in response to canopy height and growth rate under continuous stocking**. 2015. 53p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2015.

SIMIONI, C.; VALLE, C.B. Chromosome duplication in *Brachiaria* (A. Rich.) Stapf allows intraspecific crosses. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 9, n. 4, p. 328-334, 2009.

SOARES FILHO, C.V. Recomendações de espécies e variedades de *Brachiaria* para diferentes condições. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 25-48.

SOARES-FILHO, B.S.; NEPSTAD, D.C.; CURRAN, L.M.; CERQUEIRA, G.C.; GARCIA, R.A.; RAMOS, C.A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P; SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, London, v. 440, n. 7083, p. 520-523, 2006.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 4th ed. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute State University Press, 1990. 422p. (Soil Management Support Services Technical Monograph, 19).

SOUZA, S.R.; FERNANDES, M.S. IX – Nitrogênio. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas.** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 215-252.

TEODORO, M.R.S**. Características produtivas e bromatológicas dos capins Marandu e Mulato II**. 2011. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, Jataí. 2011.

VALLE, C.B.; EUCLIDES, V.P.B.; PEREIRA, J.M.; VALÉRIO, J.R.; PAGLIARINI, M. S.; MACEDO, M.C.M.; LEITE, G.G.; LOURENÇO, A.J.; FERNANDES, C.D.; DIAS-FILHO, M.B.; LEMPP, B.; POTT, A.; SOUZA, M.A. **O capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) na diversificacão das pastagens de braquiária**. Campo Grande: EMBRAPA GADO DE CORTE, 2004. 36p. (EMBRAPA. Documentos, 149).

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

VALLE, C.B.; JANK, L; RESENDE, R.M.S. O melhoramento de forrageiras tropicais no Brasil. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 56, n. 4, p. 460-472, 2009.

VALLE, C.B.; MACEDO, M.C.M.; EUCLIDES, V.P.B.; JANK, L; RESENDE, R.M.S. Gênero *Brachiaria*. In: FONSECA, D. M.; MARTSCELLO, J.A. (Ed.). **Plantas forrageiras**. Viçosa: UFV, 2011. p. 30-77.

VALLE, C.B.; SIMIONI, C; RESENDE, R.M.S.; JANK, L.; CHIARI, L. Melhoramento genético de *Brachiaria*. In: RESENDE, R.M.S.; VALLE, C.B.; JANK, L. (Ed.) **Melhoramento de Forrageiras Tropicais**. Campo Grande: Embrapa, 2008. v. 1, p. 13-53.

VENDRAMINI, J.M.B.; SOLLENBERGER, L.E.; LAMB, G.C.; FOSTER, J.L.; LIU, K.; MADDOX, M.K. Forage accumulation, nutritive value, and persistence of 'Mulato II' Brachiariagrass in Northern Florida. **Crop Science**, Madison, v. 52, n. 2, p. 914-922, 2012.

VENDRAMINI, J.M.B.; SOLLENBERGER, L.E.; SOARES, A.B.; SILVA, W.L.; SANCHEZ, J.M.D.; VALENTE, A.L.; AGUIAR, A.D.; MULLENIX, M.K. Harvest frequency affects herbage accumulation and nutritive value of brachiaria grass hybrids in Florida. **Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales**, Cali, v. 2, n. 2, p. 197-206, 2014.

VIGNA, B.B.Z.; JUNGMANN, L.; FRANCISCO, P.M.; ZUCCHI, M.I.; VALLE, C.B.; SOUZA, A. P. Genetic diversity and population structure of the *Brachiaria brizantha* germplasm. **Tropical Plant Biology**, Nova York, v. 4, n. 3, p. 157–169, 2011.

WELLES, J.M.; NORMAN, J.M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, n. 5, p. 818-825, 1991.

WITTMANN, M.T.S.; DALL´AGNOL, M. Indução de poliploidia no melhoramento de plantas. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 9, n. 1/2, p. 155-164, 2003.

WOLEDGE, J. The effect of light intensity during growth on the subsequent rate of photosynthesis of leaves of Tall Fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) **Annals of Botany**, Oxford, UK, v. 35, n. 2, p. 311-322, 1971.

WOLFINGER, R. Covariance structure selection in general mixed models. **Communications in Statistics-Simulation and Computation**, Nova York, v. 22, n. 4, p. 1079-11-6. 1993.

WRIGHT, I.A.; WHYTE, T.K. Effects of sward surface height on the performance of continuously stocked spring-calving beef cows and their calves. **Grass and Forage Science**, Chichester, v. 44, n. 3, p. 259-266, 1989.

ZELITCH, I. The close relationship between net photosynthesis and crop yield. **BioScience**, Cary, v. 32, n. 10, p. 796-802, 1982.

APÊNDICE

Apêndice A - Calibração do prato ascendente

Para a calibração do prato ascendente foram feitas curvas de calibração utilizando regressão linear entre massa de forragem e leitura do prato ascendente. Os dados obtidos nas ocasiões de calibração foram agrupados dentro de cada ano. As equações geradas e utilizadas para a estimativa da MF e AF para cada ano experimental estão apresentadas nas figuras 8 e 9 com seus respectivos coeficientes de determinação (r^2).

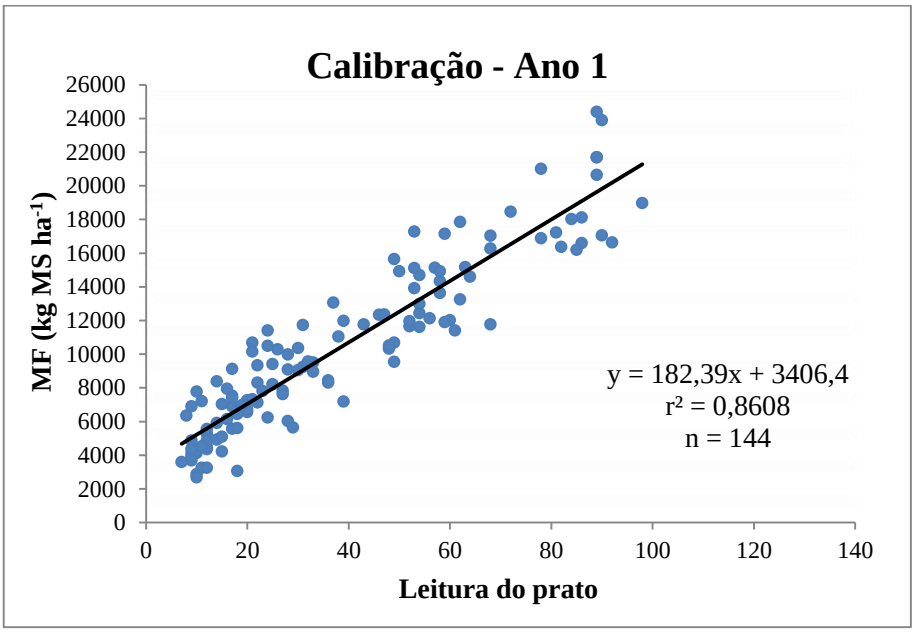

Figura 8 - Curva de calibração com o conjunto de dados do ano 1

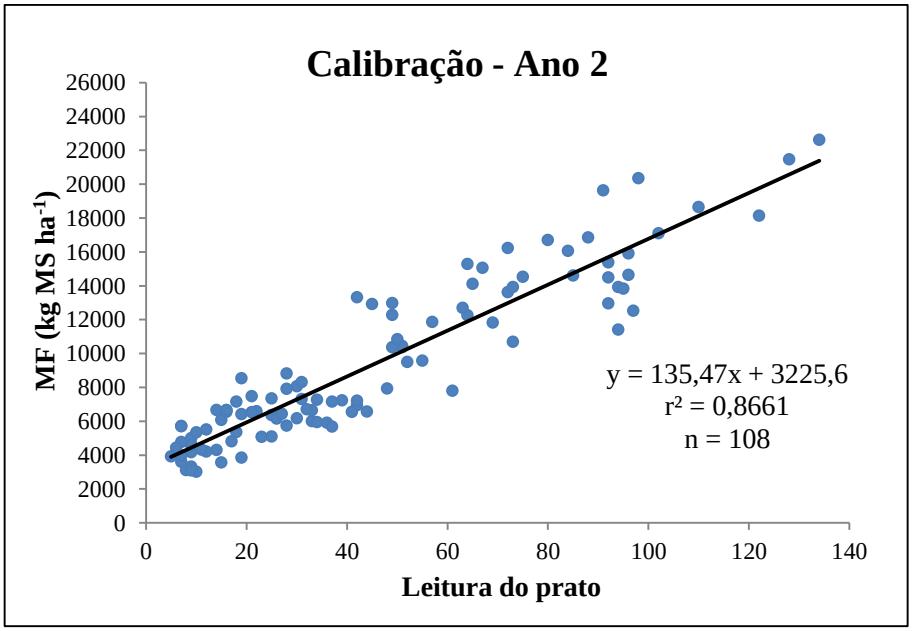

Figura 9 - Curva de calibração com o conjunto de dados do ano 2