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

**Respostas agronômicas e microclimáticas dentro de gaiolas de exclusão e
seus impactos na estimativa do acúmulo de forragem em pastos sob lotação
contínua**

Junior Issamu Yasuoka

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

**Piracicaba
2020**

Junior Issamu Yasuoka
Zootecnista

Respostas agronômicas e microclimáticas dentro de gaiolas de exclusão e seus impactos na estimativa do acúmulo de forragem em pastos sob lotação contínua

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

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

Piracicaba
2020

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

Yasuoka, Junior Issamu

Respostas agronômicas e microclimáticas dentro de gaiolas de exclusão e seus impactos na estimativa do acúmulo de forragem em pastos sob lotação contínua / Junior Issamu Yasuoka. - - Piracicaba, 2020.

93 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Arquitetura do dossel 2. Convert HD 364 3. Fluxo de tecidos 4. Microambiente 5. Morfogênese 6. Pastagem 7. Produção de forragem I. Título

DEDICO

*À minha família, em especial aos meus amados pais, **Massuo Yasuoka e Elza Shigueko Mizuno Yasuoka**, pelo apoio e incentivo em todas as minhas decisões.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Carlos Guilherme Silveira Pedreira pela oportunidade, disposição, ensinamentos, amizade, confiança, conselhos e conhecimentos transmitidos ao longo dos anos em que estive sob sua orientação.

Aos membros do comitê de orientação Dra. Patrícia Menezes Santos e Prof. Paulo Cesar Sentelhas pela colaboração na elaboração do projeto de pesquisa e orientações ao longo da execução do projeto.

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 Doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens da ESALQ pelos ensinamentos durante as disciplinas que contribuíram profundamente à minha formação acadêmica.

Aos meus colegas de trabalho, Solange Garcia Holschuch, Gabriel Baracat Pedroso e Otávio Goulart de Almeida, pela amizade, colaboração, dedicação e companhia durante o período de condução do experimento.

Aos demais integrantes e ex-integrantes do Grupo de Pesquisa em Pastagens (GP²), Cristiam Bosi, Fagner Junior Gomes, Juliana Aparecida de Assis, Marcell Patachi Alonso, Patrícia Luizão Barbosa, Paulo César da Silva Santos, Theyson Duarte Maranhão e Valdson José da Silva pelo agradável convívio no dia-a-dia, troca de experiências e conhecimentos e pela oportunidade da construção de sólidas amizades.

Agradecimento especial ao Fagner Junior Gomes pela amizade e auxílio nas análises estatísticas e ao Cristiam Bosi pelo auxílio na modelagem do crescimento das plantas.

A todos os estagiários do GP² que colaboraram para a realização do trabalho que foram muitos e, portanto, primo de citar todos para não cometer injustiças no esquecimento de algum...

Aos demais integrantes e ex-integrantes da equipe do Laboratório de Plantas Forrageiras (LAPF): Alex, Alexandre, Caio, Diego, Emannela, Eliana, Guilherme, Guilherme, Larissa, Lucas e Marília pelo convívio e momentos de descontração.

Ao Prof. Dr. Flávio Augusto Portela Santos, ao Dr. Marco Antônio Penatti e aos estagiários do grupo CPZ pela concessão da utilização de animais utilizados no experimento.

Ao Prof. Paulo Cesar Sentelhas pelo empréstimo dos equipamentos meteorológicos utilizados no experimento.

À Ester Holcman pelo auxílio na instalação dos equipamentos meteorológicos e pela atenção e paciência no auxílio na discussão dos resultados de microclima.

À toda minha família, em especial aos meus pais Massuo e Elza, pelo amor e pelos exemplos de trabalho e dedicação, e à minha irmã Mari pela amizade e apoio em todos os momentos da minha vida.

Enfim, a todos que de alguma forma colaboraram para a conclusão de mais uma etapa da minha vida.

Agradeço sinceramente!

“Ama-se mais o que se conquista com esforço.”

(Benjamin Disraeli)

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.”

(Aldo Novak)

“O importante não é vencer todos os dias, mas lutar sempre.”

(Waldemar Valle Martins)

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE ABREVIATURAS.....	11
LISTA DE SÍMBOLOS	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
REFERÊNCIAS	16
2 CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E FISIOLÓGICAS DO DOSSEL DENTRO DE GAIOLAS DE EXCLUSÃO E SEUS IMPACTOS NA ESTIMATIVA DE ACÚMULO DE FORRAGEM EM EXPERIMENTOS DE PASTEJO SOB LOTAÇÃO CONTÍNUA.....	19
Resumo	19
Abstract.....	19
2.1 INTRODUÇÃO.....	20
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.2.1 Localização e caracterização da área experimental	22
2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos	24
2.2.3 Avaliações	24
2.2.3.1 Acúmulo de forragem e taxa de acúmulo de forragem	24
2.2.3.2 Composição morfológica, massa de forragem, massa seca dos componentes morfológicos e IAF.....	26
2.2.3.3 Densidade populacional de perfilhos e peso médio de perfilhos.....	26
2.2.3.4 Interceptação de luz pelo dossel e ângulo médio da folhagem.....	26
2.2.3.5 Taxa de fotossíntese de folhas individuais e estimativa da fotossíntese do dossel	27
2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	28
2.4 RESULTADOS	28
2.4.1 Acúmulo de forragem e taxa de acúmulo de forragem	28
2.4.2 Composição morfológica, massa de forragem, massa seca dos componentes morfológicos e IAF.....	28
2.4.3 Densidade populacional de perfilhos e peso médio de perfilhos.....	29
2.4.4 Interceptação de luz pelo dossel e ângulo médio da folhagem.....	30
2.4.5 Taxa de fotossíntese de folhas individuais e estimativa da fotossíntese do dossel	31
2.5 DISCUSSÃO.....	32
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES PRÁTICAS.....	36
REFERÊNCIAS	37

3 USO DE GAIOLAS EM EXPERIMENTOS DE PASTEJO SOB LOTAÇÃO CONTÍNUA: IMPACTO DA EXCLUSÃO DO PASTEJO SOBRE AS RESPOSTAS MORFOGÊNICAS DA VEGETAÇÃO E SOBRE A ESTIMATIVA DE ACÚMULO DE FORRAGEM.....	41
Resumo.....	41
Abstract	41
3.1 INTRODUÇÃO	42
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	44
3.2.1 Localização e caracterização da área experimental	44
3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos	45
3.2.3 Avaliações	46
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	48
3.4 RESULTADOS.....	48
3.5 DISCUSSÃO	51
3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
REFERÊNCIAS.....	55
4 MICROCLIMA DENTRO DE GAIOLAS DE EXCLUSÃO E SEUS IMPACTOS NO ACÚMULO DE FORRAGEM EM EXPERIMENTOS DE PASTEJO SOB LOTAÇÃO CONTÍNUA.....	59
Resumo.....	59
Abstract	59
4.1 INTRODUÇÃO	60
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	61
4.2.1 Experimento 1	63
4.2.2 Experimento 2	65
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	71
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.4.1 Experimento 1	72
4.4.2 Experimento 2	76
4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
REFERÊNCIAS.....	85
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
REFERÊNCIAS.....	92

RESUMO

Respostas agronômicas e microclimáticas dentro de gaiolas de exclusão e seus impactos na estimativa do acúmulo de forragem em pastos sob lotação contínua

O método de gaiolas de exclusão é o mais utilizado para estimar o acúmulo de forragem (AF) em experimentos de pastejo sob lotação contínua. Entretanto, diferenças entre dentro e fora das gaiolas nas características morfofisiológicas, morfogênicas e microclimáticas, além da condição do dossel no momento da exclusão do pastejo e a duração do período de exclusão, podem afetar a exatidão do método em estimar o AF. O objetivo deste estudo foi descrever e explicar como a exclusão do pastejo durante 14, 21 e 28 dias por meio do uso de gaiolas afeta as características estruturais e morfogênicas, a assimilação de carbono e o microclima do capim Mulato II (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) em dosséis mantidos a 20 e 30 cm de altura sob lotação contínua e quais suas implicações na estimativa do AF. A exclusão do pastejo afetou a taxa de alongamento de folhas (TALF), que foi o determinante dos maiores valores de taxa de crescimento de folhas (TCF), do comprimento final da folha e do índice de área foliar (IAF) dentro das gaiolas em comparação ao pasto (fora das gaiolas). Com maior IAF, a interceptação de luz e a fotossíntese estimada do dossel também foram maiores dentro das gaiolas. Como consequência dos maiores valores de TCF e fotossíntese do dossel, a taxa de acúmulo líquido dentro das gaiolas foi maior que fora delas, resultando em acúmulos superestimados. Além disso, a exclusão do pastejo também afetou a proporção de folhas, massa de folha e de colmos, o peso médio de perfilhos, a taxa de alongamento de colmo e o comprimento médio de colmos, que foram todos maiores nos períodos de exclusão mais longos. O padrão oposto foi observado para a proporção de material morto. Diferenças na arquitetura do dossel dentro da gaiola previamente citadas não afetaram a temperatura e umidade relativa do ar. A estrutura da gaiola reduziu em 4,4% a velocidade média do vento (U média) e em 5% a radiação solar global (Rg); entretanto houve variação na relação na Rg entre dentro e fora da gaiola ao longo de um dia de céu limpo. Os menores valores de Rg e U média resultaram em menor evapotranspiração no interior da gaiola e também reduziram o crescimento das plantas. O acúmulo total de forragem, a proporção de colmos, a massa de material morto, a densidade populacional de perfilhos, a fotossíntese foliar, a taxa de senescência de folhas, a duração de vida da folha e o número de folhas vivas por perfilho não foram afetados pelo período de exclusão. Estimativas inflacionadas de AF pelo método de gaiolas de exclusão aparentemente derivam das alterações morfofisiológicas no dossel protegido do pastejo (e.g., TALF, IAF e fotossíntese estimada do dossel). O AF seria ainda mais superestimado se a estrutura da gaiola não reduzisse a Rg e U média.

Palavras-chave: Arquitetura do dossel, Convert HD 364, Fluxo de tecidos, Microambiente, Morfogênese, Pastagem, Produção de forragem, *Urochloa* spp.

ABSTRACT

Agronomic and microclimatic responses inside exclosure cages and their impacts on forage accumulation estimate on pastures under continuous stocking

Exclosure cages are the most commonly used technique to estimate forage accumulation (FA) on grazing experiments using continuous stocking method. However, differences in morphological, physiological, morphogenic, and microclimate responses between inside and outside of cages, the canopy condition at the time of grazing exclusion, and the exclusion period can affect the accuracy of the method in estimating FA. The aim of this study was to describe and explain how the exclusion of grazing for 14, 21, and 28 days using cages affects the structural and morphogenic characteristics, carbon assimilation, and microclimate on pastures of Mulato II brachiariagrass (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) kept at 20 and 30 cm canopy height under continuous stocking and its implications in the FA estimate. Grazing exclusion affected leaf elongation rate (LER), which was the determinant of the greater leaf growth rate (LGR), expanded leaf length, and leaf area index (LAI) inside the cages compared to the grazed pasture. With greater LAI, light interception and estimated canopy photosynthesis were also greater inside the cages. As a consequence of the greater LGR and canopy photosynthesis, the forage accumulation rate inside the cages was greater than that of the pasture, resulting in overestimated FA. In addition, exclusion from grazing also affected leaf proportion, leaf and stem mass, average tiller weight, stem elongation rate, and mean stem length, that were greater in the longer exclosure periods. The opposite was recorded for dead material proportion. Differences in canopy architecture inside the cage did not affect air temperature and relative humidity. The cage structure reduced wind speed (WS) by 4.4% and global solar radiation (SR) by 5%; however, there was variation in SR between inside and outside the cage over a clear day. Smaller values of SR and WS resulted in less evapotranspiration inside the cage and also reduced plant growth. Total forage accumulation, stem proportion, dead material DM, tillers population density, leaf photosynthesis, leaf senescence rate, leaf lifespan, and the number of live leaves per tiller were not affected by the exclosure period. Overestimates of FA by the exclosure cage method derive from morphological and physiological changes in the ungrazed canopy, including LER, LAI, and canopy photosynthesis. Forage accumulation would be even more overestimated if SR and WS were not reduced by cage structure.

Keywords: Canopy architecture, Convert HD 364, Forage production, Microenvironment, Morphogenesis, Pasture, Tissue flows, *Urochloa* spp.

LISTA DE ABREVIATURAS

AF	Acúmulo de forragem
AIC	Critério de Informação de Akaike
ATF	Acúmulo total de forragem
b	Coeficiente angular
<i>B.</i>	<i>Brachiaria</i>
BOC	Balanço de ondas curtas
BOL	Balanço de ondas longas
CFE	Comprimento final da folha
CFE	Comprimento final das folhas expandidas
CMC	Comprimento médio de colmos
CMC	Comprimento médio de colmos
d	Data considerada
D	Distância média entre a Terra e o Sol
d/D	Relação entre a distância entre a Terra e o Sol na data considerada
DPP	Densidade populacional de perfilhos
DVF	Duração de vida da folha
e_a	Pressão de vapor atual
EPM	Erro padrão da média
e_s	Pressão de saturação de vapor
$e_s - e_a$	Déficit de pressão de vapor do ar
ET	Evapotranspiração
G	Fluxo de calor no solo
h_n	Ângulo horário do nascer do sol
IAF	Índice de área foliar
IL	Interceptação de luz
J_o	Constante solar
k	Coeficiente de extinção luminosa
MCOL	Massa seca de colmo
MF	Massa de forragem
MFOL	Massa seca de folha
MM	Material morto
MMOR	Massa seca de material morto
NDA	Número do dia do ano
NFV	Número de folhas vivas por perfilho
PAR	Radiação fotossinteticamente ativa
PMP	Peso médio de perfilhos
Q_e	Eficiência quântica
Q_g	Radiação solar global

Q_{gcs}	Radiação solar hipotética para um dia de céu claro
Q_o	Radiação solar extraterrestre
R	Albedo
R^2	Coeficiente de determinação
R_g	Radiação solar global
R_n	Saldo de radiação na superfície da cultura
T	Temperatura média do ar
TAF	Taxa média diária de acúmulo de forragem
TAL	Taxa de acúmulo líquido
TALC	Taxa de alongamento de colmo
TALF	Taxa de alongamento de folhas
TAPF	Taxa de aparecimento de folhas
TCC	Taxa de crescimento de colmos
TCF	Taxa de crescimento de folhas
TCT	Taxa de crescimento total
T_{max}	Temperatura máxima
T_{min}	Temperatura mínima
TSF	Taxa de senescência de folhas
$U_{média}$	Velocidade média do vento
u_2	Velocidade do vento a 2 m de altura
UR	Umidade relativa do ar
$V:V_d$	Vermelho:vermelho distante
y	Coeficiente angular
z	Altitude

LISTA DE SÍMBOLOS

σ	Transmissão de luz pelo dossel
Δ	Inclinação da curva da pressão de vapor
γ	Constante psicrométrica
σ	Constante de Stefan-Boltzman
δ	Declinação solar
ϕ	Latitude

1 INTRODUÇÃO

Nos estudos sobre pastagens e plantas forrageiras, estimativas de acúmulo de forragem (AF) são imprescindíveis para comparações entre espécies, cultivares e tratamentos (manejo, adubação, irrigação, etc.). Em pastos pastejados sob lotação rotativa ou qualquer outro método que inclua desfolhação intermitente, cada subunidade da área total (piquete) experimenta períodos alternados de desfolhação e descanso. Isso permite que o acúmulo de forragem seja estimado pela diferença entre a massa de forragem (MF) do pré-pastejo de um determinado ciclo de pastejo e a MF do pós-pastejo do ciclo imediatamente anterior. O mesmo princípio, no entanto, não pode ser adotado quando a lotação contínua é o método de pastejo utilizado, principalmente quando a frequência no ajuste da taxa de lotação é alta, situação de manejo bem refinado por parte do manejador. Isso ocorre porque a condição do dossel – geralmente a altura – se mantém relativamente constante resultado do fato de que a taxa de acúmulo de forragem é semelhante à taxa de desaparecimento de forragem (por pastejo). Nesses casos faz-se necessária a utilização de métodos que possibilitem estimar o acúmulo de forragem em áreas protegidas do pastejo (e.g., gaiolas de exclusão) (CARTER, 1962; PEDREIRA, 2002).

O uso de gaiolas de exclusão consiste em proteger determinadas áreas do pastejo enquanto o restante da área continua a ser pastejada sob o manejo preconizado (JOINT COMMITTEE, 1962). A técnica das gaiolas inclui a rotação delas ao longo dos ciclos de amostragem, de modo que a premissa é a de que um local excluído do pastejo guarda a "memória" da vegetação sob lotação contínua até o momento da exclusão. Embora essa técnica seja amplamente utilizada na pesquisa com pastos sob lotação contínua (HEADY, 1957; BARKER et al., 2010), ela tem recebido críticas (WILLIAMS, 1951) devido ao impacto que a exclusão do pastejo teria sobre o microclima da vegetação dentro das gaiolas (COWLISHAW, 1951; HEADY, 1957). Existem ainda evidências de que alterações estruturais da vegetação quando ela é protegida do pastejo possam resultar em estimativas de AF inexatas (PARSONS; COLLETT; LEWIS, 1984), além de ter sido proposto que o acúmulo pode ser subestimado ou superestimado dependendo da condição do dossel no momento da exclusão (CARVALHO et al., 2000; BORTOLO et al., 2001; CARNEVALLI et al., 2001; PEDREIRA, 2002; BARKER et al., 2010). Argumenta-se ainda, que o efeito da exclusão do pastejo na estrutura do dossel depende também do período de exclusão do pastejo ('t MANNETJE, 1978), no sentido de que quanto maior o período de exclusão, maior seria a diferença entre a estrutura da vegetação de dentro e fora da gaiola.

Embora várias sejam as especulações sobre os possíveis efeitos das gaiolas de exclusão sobre a exatidão da técnica em estimar o acúmulo de forragem em pastos sob lotação contínua, informações sobre a real existência desses efeitos são escassas na literatura. Dessa forma, a

quantificação e racionalização dos efeitos do uso dessa técnica para estimar o acúmulo de forragem em pastos sob lotação contínua pode contribuir para estabelecer o real nível de exatidão da técnica e para a definição do período ótimo de exclusão. Isso deverá permitir uma melhor interpretação dos dados de acúmulo de forragem obtidos em gaiolas de exclusão e estimar com maior nível de exatidão o real impacto do manejo adotado sobre as respostas produtivas das plantas forrageiras manejadas sob lotação contínua.

O objetivo no presente estudo foi descrever e explicar como a exclusão do pastejo durante 14, 21 e 28 dias por meio do uso de gaiolas de exclusão afeta as características estruturais e morfogênicas, a assimilação de carbono, e o microclima do capim Mulato II (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) em dosséis mantidos a 20 e 30 cm sob lotação contínua com taxa de lotação variável, e quais suas implicações na estimativa do acúmulo de forragem.

REFERÊNCIAS

- 't MANNETJE, L. Measuring quantity of grassland vegetation. In: 't MANNETJE, L. (Ed.). **Measurement of grassland vegetation and animal production**. Queensland: CAB International, 1978. p. 63–95.
- BARKER, D. J. et al. Analysis of herbage mass and herbage accumulation rate using gompertz equations. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 3, p. 849–857, 2010.
- BORTOLO, M. et al. Avaliação de uma pastagem de Coastcross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) sob diferentes níveis de matéria seca residual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 627–635, 2001.
- CARNEVALLI, R. A. et al. Desempenho de ovinos e respostas de pastagens de Coastcross submetidas a regimes de desfolha sob lotação contínua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 6, p. 919–927, 2001.
- CARTER, J. F. Herbage sampling for yield: tame pastures. In: AMERICAN SOCIETY AGRONOMY et al. (Ed.). **Pasture and Range: research techniques**. Ithaca: Comstock Publishing Associates, 1962. p. 90–101.
- CARVALHO, C. A. B. et al. Demografia do perfilhamento e taxas de acúmulo de matéria seca em capim “Tifton 85” sob pastejo. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 591–600, 2000.
- COWLISHAW, S. J. The effect of sampling cages on the yields of herbage. **Grass and Forage Science**, v. 6, n. 3, p. 179–182, 1951.
- HEADY, H. F. Effect of cages on yield and composition in the California annual type. **Journal of Range Management**, v. 10, n. 4, p. 175, 1957.

JOINT COMMITTEE OF THE AMERICAN SOCIETY OF RANGE MANAGEMENT AND THE AGRICULTURAL BOARD. Basic problems and techniques in range research. **REPORT...** Joint Committee of The American Society of range management and the agricultural board, Publication 890, Washington, D.C.. National Academy of Sciences-National Research Council, 1962.

PARSONS, A. J.; COLLETT, B.; LEWIS, J. Changes in the structure and physiology of a perennial ryegrass sward when released from a continuous stocking management: continuously stocked swards. **Grass and Forage Science**, v. 39, p. 1–9, 1984.

PEDREIRA, C. G. S. Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. In: XXXIX Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2002. **Anais...** Recife: SBZ, 2002. p. 100-150.

WILLIAMS, S. S. Microenvironment in relation to experimental techniques. **Grass and Forage Science**, v. 6, n. 4, p. 207–217, 1951.

2 CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E FISIOLÓGICAS DO DOSSEL DENTRO DE GAIOLAS DE EXCLUSÃO E SEUS IMPACTOS NA ESTIMATIVA DE ACÚMULO DE FORRAGEM EM EXPERIMENTOS DE PASTEJO SOB LOTAÇÃO CONTÍNUA

Resumo

Embora muitos autores questionem a exatidão do método de gaiolas de exclusão para estimar o acúmulo de forragem (AF) em experimentos de pastejo devido às alterações morfofisiológicas na vegetação protegida do pastejo, poucos estudos avaliaram se essas mudanças realmente ocorrem e se ocorrem, qual a sua extensão. Este estudo descreveu como a exclusão do pastejo por 14, 21 e 28 dias utilizando gaiolas de exclusão em pastos de capim Mulato II (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) mantidos a 20 e 30 cm sob lotação contínua afeta as características morfofisiológicas do dossel e quais suas implicações na estimativa do AF. A proporção de folha, índice de área foliar, massa de folha e de colmo e peso médio de perfilhos foram maiores nos períodos de exclusão mais longos e o padrão oposto ocorreu para a proporção de material morto. A interceptação de luz e a fotossíntese do dossel foram menores na vegetação fora das gaiolas em relação aos dosséis excluídos por 14, 21 e 28 dias que não apresentaram diferenças entre si. O acúmulo total de forragem, proporção de colmo, massa de material morto, densidade populacional de perfilhos e fotossíntese foliar não foram afetados pelo período de exclusão. Acúmulos calculados negativos foram registrados no período de 14 dias e sugerem a necessidade de períodos mais longos de exclusão para diluir os erros da alocação das gaiolas em locais não representativos da massa de forragem média do pasto. O período de 28 dias se mostrou excessivamente longo por apresentar as maiores diferenças estruturais entre o dossel protegido e não protegido pelas gaiolas, sugerindo que o método de gaiolas deve ser utilizado em ciclos de amostragens ao redor de 21 dias. A maior fotossíntese do dossel dentro das gaiolas indica que o AF é superestimado através do uso de gaiolas de exclusão.

Palavras-chave: Arquitetura do dossel; Convert HD 364; Pastagem; Produção de forragem; *Urochloa* spp.

Abstract

Although many authors have disputed the accuracy of the enclosure cage method to estimate forage accumulation (FA) under continuous stocking in grazing experiments due to morphological and physiological changes on the vegetation protected from grazing, few studies have evaluated if these changes actually occur, and if they do, to what extent they occur. This study described how the exclusion from grazing during 14, 21, and 28 days using cages affects canopy morphological and physiological characteristics and their implications for FA estimate on Mulato II brachiariagrass pastures (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) kept at 20 and 30 cm under continuous stocking. Leaf proportion, leaf area index, leaf and stem mass, and mean tiller weight were greater under longer enclosure periods. The opposite trend occurred for dead material proportion. Light interception and estimated canopy photosynthesis were greater outside cages in relation to 14-, 21-, and 28-d enclosure periods which did not differ among them. Total forage accumulation, stem proportion, dead material DM, tiller population density, and leaf photosynthesis were not affected by enclosure period. Estimated negative FA values were recorded for the 14-d enclosure period which suggests the need for

longer enclosure periods to minimize errors due to placing cages at sites that are not representative of the mean pasture forage mass. The 28-d period was excessively long and resulted in the greatest structural differences between the protected and the non-protected canopies, suggesting that the enclosure period should be about 21 days. Greater canopy photosynthesis inside cages indicates that FA is overestimated by the enclosure cage method.

Keywords: Canopy architecture; Convert HD 364; Forage production; Pasture; *Urochloa* spp.

2.1 INTRODUÇÃO

Em sistemas de produção de ruminantes baseados em pastagens, a lotação contínua é o método de pastejo mais empregado globalmente. Idealmente, a taxa de lotação deveria ser ajustada com frequência visando manter condições de vegetação favoráveis ao desempenho de pastos e animais, conforme estabelecido pela pesquisa (HODGSON, 1990). Se a taxa de lotação é ajustada regularmente visando a manutenção de uma condição específica de dossel (e.g., altura) (alta frequência no ajuste da taxa de lotação) e essa condição se mantém relativamente constante ao longo do tempo, para que seja possível estimar o acúmulo de forragem (AF) é necessário utilizar meios que possibilitem sua mensuração em locais excluídos do pastejo. Uma das opções, muito utilizada em experimentação, é o uso de gaiolas de exclusão (CARTER, 1962; PEDREIRA, 2002).

O método de gaiolas de exclusão consiste em selecionar locais representativos da condição média do pasto (normalmente em termos de massa de forragem), excluindo-os do pastejo. Quando isso é feito interrompe-se a desfolhação nessa porção da vegetação e, dessa forma, a massa de forragem (MF) dentro das gaiolas começa a acumular. A diferença entre a MF das áreas excluídas (i.e., dentro das gaiolas) no último dia do período de exclusão e a MF média do pasto (i.e., fora das gaiolas) no dia em que a vegetação foi excluída do pastejo é considerada como sendo o AF para esse período.

Embora o método de gaiolas seja frequentemente usado para estimar o AF em experimentos com pastos sob lotação contínua (HEADY, 1957; BARKER et al., 2010) e que o método seja universalmente aceito como capaz de gerar boas estimativas do AF, as características morfofisiológicas da vegetação podem ser alteradas quando o dossel sob lotação contínua (ou uma porção dele) passa a ser excluído do pastejo (PARSONS; COLLETT; LEWIS, 1984). Ao avaliarem o efeito de gaiolas de exclusão sobre as características estruturais e fisiológicas de dosséis de azevém perene (*Lolium perenne* L.) com índice de área foliar (IAF) próximo de 1, Parsons, Collett e Lewis (1984) reportaram que a exclusão do pastejo resultou em aumento no tamanho dos perfilhos, no IAF, na proporção de folhas e de colmo e na

fotossíntese do dossel e diminuição na proporção de material morto e na densidade populacional de perfilhos (DPP). Aqueles autores, então, argumentaram que essas mudanças na vegetação excluída do pastejo, em relação à vegetação pastejada, podem resultar em estimativas de acúmulo não condizentes com o valor real de AF no pasto. Também tem sido proposto que a condição do dossel no momento da alocação das gaiolas pode subestimar ou superestimar o AF (PARSONS; COLLETT; LEWIS, 1984; CARVALHO et al., 2000; BORTOLO et al., 2001; CARNEVALLI et al., 2001; PEDREIRA, 2002; BARKER et al., 2010). Esses argumentos são por vezes utilizados para explicar a não detecção de diferenças no AF quando o pasto é mantido constante em diferentes alturas ou em diferentes massas de forragem. Bortolo et al. (2001) avaliaram o capim Coastcross [*Cynodon dactylon* (L.) Pers. cv. Coastcross] em pastos com MF mantida em valores constantes de 800, 1500, 2200 e 2900 kg MS ha⁻¹ e não encontraram diferenças no AF entre os tratamentos, atribuindo esse resultado a erros decorrentes do uso de gaiolas de exclusão. Os autores argumentaram que a estimativa de AF é inflacionada quando o pasto apresenta baixa MF, pois a exclusão do pastejo faz com que o IAF que era inicialmente baixo aumente rapidamente para o IAF ótimo, resultando em máxima taxa de acúmulo. Os mesmos autores também alegam que nos pastos mantidos com alta MF, o IAF já estaria próximo do IAF teto e, portanto, a exclusão do pastejo resultaria em subestimativa da taxa de acúmulo devido à alta senescência das folhas localizadas em estratos inferiores causado pelo intenso sombreamento promovido pelas folhas mais jovens. Em estudos avaliando capins *Cynodon* spp. em dosséis mantidos a 5, 10, 15 e 20 cm de altura, Carvalho et al. (2000) e Carnevalli et al. (2001) estimaram o AF do capim Tifton 85 e do capim Coastcross, respectivamente, e reportaram que o uso de gaiolas de exclusão pode ter sido o responsável pela ausência de diferenças na taxa de AF entre as alturas de dossel em ambos os capins. Segundo os autores, o uso dessa técnica em dosséis baixos faz com que durante o período de exclusão os perfilhos protegidos da ação do animal cresçam rapidamente em tamanho sem que haja, em um primeiro momento, o estabelecimento de competição intraespecífica com consequente redução na densidade populacional de perfilhos, podendo resultar em estimativas de AF inflacionadas. Os autores ainda especularam que quando gaiolas de exclusão são usados em dosséis altos, a interceptação de 95% da radiação é atingida rapidamente promovendo redução na taxa de AF, resultando em acúmulos subestimados.

A intensidade das mudanças na vegetação decorrentes da exclusão do pastejo em áreas sob lotação contínua podem também depender do período de exclusão ('t MANNETJE, 1978). A diferença entre a estrutura do dossel de dentro e de fora das gaiolas é provavelmente maior quanto maior for o período em que o dossel está sendo excluído do pastejo. Com mudanças na

estrutura, é provável que o microclima e processos fisiológicos como a fotossíntese foliar e do dossel também sejam afetados.

Fica evidente, portanto, que, embora muitas sejam as especulações sobre como gaiolas de exclusão afetam a vegetação, não há na literatura recente estudos que tenham elucidado se esses efeitos realmente ocorrem, qual a sua magnitude se ocorrerem, e que impacto podem ter na estimativa de acúmulo de forragem. Isso mantém sem resposta a questão apresentada por Heady (1957): “As gaiolas de exclusão afetam significativamente a vegetação contida dentro delas?” O objetivo desse estudo foi descrever e explicar como a exclusão do pastejo por 14, 21 e 28 dias utilizando gaiolas de exclusão em pastos de capim Mulato II (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) mantidos a 20 e 30 cm de altura sob lotação contínua afeta as características estruturais e fisiológicas do dossel e quais suas implicações na estimativa do acúmulo de forragem.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em Piracicaba, SP (22°42’30” S, 47°30’00” W, 580 m alt.). O clima do local é Cwa (mesotérmico úmido subtropical de inverno seco) de acordo com Sistema Köppen-Geiser (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Os dados climáticos do período experimental (Tabela 2.1) foram obtidos num posto meteorológico, situado a 2 km da área experimental.

Tabela 2.1 – Pluviosidade e temperaturas máxima e mínima durante o período experimental e média histórica (1917–2019).

Variável climática	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
<u>2016-2017</u>					
Temperatura Máx. (°C)	31,0	30,2	32,2	30,6	28,3
Temperatura Mín. (°C)	19,4	20,3	20,0	18,4	16,7
Pluviosidade (mm)	148,6	334,5	88,8	137,0	128,5
<u>2017-2018</u>					
Temperatura Máx. (°C)	32,3	30,3	30,2	32,1	29,6
Temperatura Mín. (°C)	18,5	19,4	18,2	19,6	15,9
Pluviosidade (mm)	52,2	225,0	71,6	204,5	35,1
<u>1917–2019[†]</u>					
Média hist. das Temp. Máx. (°C)	29,9	30,0	30,4	30,1	28,5
Média hist. das Temp. Mín. (°C)	18,4	19,1	19,1	18,4	15,7
Pluviosidade hist. (mm)	197,9	229,2	178,0	142,0	66,0

[†]Média de 102 anos.

O solo da área experimental é um Nitossolo Vermelho Eutroférico típico (EMBRAPA, 2006) de alta fertilidade, ou Kandudalfic Eutradox (SOIL SURVEY STAFF, 1990). De acordo com análise de terra (camada 0–20 cm) feita em maio de 2016, o solo apresentou as seguintes características químicas: pH (CaCl₂) = 6,4; matéria orgânica = 42 g cm⁻³; P (resina trocadora de íons) = 57 mg dm⁻³; K = 9,9 mmol_c dm⁻³; Ca = 53 mmol_c dm⁻³; Mg = 22 mmol_c dm⁻³; H + Al = 38 mmol_c dm⁻³; soma de bases = 84,9 mmol_c dm⁻³; capacidade de troca catiônica = 122,9 mmol_c dm⁻³; saturação por bases = 69%. Decidiu-se pela não necessidade de correção da fertilidade no momento do início do experimento.

Os pastos de capim Mulato II foram estabelecidos em janeiro de 2012 conforme descrito por Silva et al. (2016). Em 21 de outubro de 2016 foi realizada uma roçada mecânica de uniformização a ~10 cm de altura e adubação com 50 kg N ha⁻¹, ambas após um pastejo intenso por bovinos para remoção da massa de forragem acumulada. A partir dessa data foi dado início a imposição dos tratamentos com aplicação das metas de altura até o início do período experimental. A coleta de dados foi de 09 Jan. a 05 Abr. 2017 (verão 1) e 03 Jan. a 28 Mar. 2018 (verão 2). Entre o final do verão 1 e o início do verão 2 (i.e., de abril a dezembro de 2017) as condições alvo (altura de dossel nas unidades experimentais) foram mantidas por pastejo.

2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, com tratamentos correspondendo a duas alturas de dossel (20 e 30 cm) em três repetições. Foram estudados quatro períodos de exclusão do pastejo (0, 14, 21 e 28 dias), em seis unidades experimentais (pastos) de 200 m² cada. O período de exclusão de “zero” dias correspondeu ao dia da exclusão do pastejo e, portanto, representou a vegetação não excluída do pastejo (fora das gaiolas). Apenas para a variável resposta acúmulo de forragem os períodos de exclusão corresponderam a ciclos de acúmulo de 14, 21 e 28 dias não havendo o período de “zero” dias.

A imposição dos tratamentos de pastejo seguiu o protocolo experimental do tipo “*mob stocking*”, objetivando mimetizar pastejo sob lotação contínua com taxa de lotação variável, visando a manutenção das alturas de dossel preconizadas, tolerando-se uma amplitude máxima de 10% de variação nos pastos mantidos a 20 (18 a 22) e 30 (27 a 33) cm. Assim, os animais foram conduzidos aos pastos tão logo as metas de altura se aproximaram do limite superior de altura para cada intensidade e o pastejo encerrado quando a altura atingia o limites mínimos da variação permitida. O monitoramento da altura do dossel foi feito três vezes por semana em 50 pontos por unidade experimental durante o período experimental, sendo as leituras realizadas com auxílio de uma transparência de acetato e um bastão graduado.

Para a realização do pastejo foram utilizados vacas e novilhas leiteiras mestiças não lactantes (~450 kg de peso corporal) que, nos momentos em que não estivessem pastejando as parcelas experimentais, permaneceram em área de pastagem adjacente à experimental, também cultivada com o capim Mulato II, onde os animais tiveram livre acesso à água e sal mineral.

Foram aplicadas doses de 187 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e de K₂O fracionadas em três aplicações iguais de 62,4 kg ha⁻¹ em 9 Jan., 4 Fev. e 3 Mar. 2017 no primeiro verão agrostológico. No segundo verão as doses de N e K₂O foram de 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ fracionadas em quatro aplicações de 50 kg ha⁻¹ em 4 Jan., 23 Jan., 27 Fev. e 21 Mar. 2018. A fonte de N foi o NH₄NO₃ e a de K₂O foi o KCl.

2.2.3 Avaliações

2.2.3.1 Acúmulo de forragem e taxa de acúmulo de forragem

Para estimativa do AF foram utilizadas seis gaiolas de exclusão cilíndricas com 0,64 m² cm e 1,2 m de altura em cada unidade experimental (Figura 2.1). A tela utilizada na confecção das gaiolas possui malha de 10 × 10 cm e fios com diâmetro de 5 mm.

No primeiro dia de cada ciclo de acúmulo foram excluídas do pastejo áreas nas quais a MF foi assumida como representativa da média do pasto no momento da exclusão, por

avaliação visual. Nesse mesmo dia foi estimada a MF do pasto (fora das gaiolas) em dois pontos visualmente representativos e ao final de cada ciclo de acúmulo a MF também foi estimada dentro da cada gaiola. Nessas ocasiões, a forragem contida dentro de molduras de $0,75 \times 0,35$ m foi colhido ao nível do solo, pesado fresco e subamostrado. A subamostra também foi pesada fresca e levada à estufa de circulação forçada de ar, seca a 55°C até peso constante e pesada para cálculo da massa seca da amostra. Feita a coleta da forragem, as gaiolas foram movidas e ancoradas em novos locais que foram assumidos como representativos da massa de forragem do pasto naquele momento. O acúmulo de forragem em cada ciclo de amostragem foi estimado pelo método agrônômico da diferença (DAVIES; FOTHERGILL; JONES, 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 pasto no primeiro dia de exclusão. Os ciclos de acúmulo (períodos de exclusão) foram de 14, 21 e 28 dias e foram usadas duas gaiolas para cada período. Quando o cálculo do AF registrou valor negativo, o acúmulo foi considerado como nulo. O acúmulo total de forragem (ATF) foi calculado somando-se os acúmulos de todos os ciclos de amostragem de cada verão. Os valores de taxa média diária de acúmulo de forragem (TAF) foram obtidos dividindo-se o valor do AF pelo seu respectivo período de acúmulo.

Figura 2.1 – Gaiola de exclusão utilizada para estimativa do AF.

2.2.3.2 Composição morfológica, massa de forragem, massa seca dos componentes morfológicos e IAF

A composição morfológica e o IAF do dossel fora e dentro das gaiolas foram avaliados no último dia de cada ciclo de acúmulo. Para tanto, foram retiradas de cada amostra coletada para a estimativa de MF uma subamostra de aproximadamente 300 g que foi separada em colmo (colmo verdadeiro + bainha foliar), material morto (MM) e folhas (lâminas foliares verdes). Cerca de 30 dessas folhas foram escaneadas num integrador de área foliar modelo LI-3100 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA) e após a determinação da área foliar, todas as frações foram secas separadamente em estufa de circulação forçada de ar a 55°C até peso constante e pesadas. Os pesos secos de todos os componentes foram somados para determinar a MF da amostra e o peso seco de cada componente foi utilizado isoladamente para determinar a sua proporção no peso total da amostra. A razão entre a área foliar com seu respectivo peso seco foi usada para cálculo da área foliar específica, que por sua vez permitiu calcular o IAF. A massa seca dos componentes morfológicos foi calculada multiplicando a participação relativa de cada componente pelo peso total da amostra.

2.2.3.3 Densidade populacional de perfilhos e peso médio de perfilhos

A DPP foi determinada fora e dentro das gaiolas no último dia de cada ciclo de acúmulo. No pasto (fora das gaiolas), a DPP foi determinada por meio da contagem do total de perfilhos no interior de duas molduras metálicas posicionadas em pontos representativos da condição média do dossel no momento da avaliação. No primeiro ano experimental as molduras tinham área de $1,33 \times 0,3$ cm e no segundo a área das molduras era de $0,75 \times 0,35$ cm. A DPP foi estimada dentro de cada gaiola utilizando uma moldura de $0,75 \times 0,35$ m. O peso médio de perfilhos (PMP) foi calculado dividindo-se a MF pela DPP.

2.2.3.4 Intercepção de luz pelo dossel e ângulo médio da folhagem

A intercepção de luz (IL) e o ângulo da folhagem foram medidos utilizando um analisador de dossel modelo LAI-2000 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA). As medidas foram realizadas em momentos de predominância de radiação difusa (condição de céu nublado ou baixa elevação solar, no início da manhã e final da tarde) seguindo as recomendações de Welles e Norman (1991), dando-se preferência ao final da tarde.

As avaliações foram feitas fora e dentro das gaiolas no último dia de cada ciclo de acúmulo. Fora das gaiolas as medições foram realizadas em 40 pontos representativos do pasto (locais onde as alturas representavam a condição média do dossel no momento da amostragem)

em cada data de amostragem, na proporção de uma medida acima do dossel para oito leituras realizadas na base do dossel, o mais próximo possível do nível do solo. Dentro das gaiolas as avaliações foram feitas em 10 pontos tomando-se uma medida acima do dossel a cada cinco leituras realizadas na base do dossel.

2.2.3.5 Taxa de fotossíntese de folhas individuais e estimativa da fotossíntese do dossel

As taxas de fotossíntese foliar líquida foram medidas fora e dentro das gaiolas sempre no último dia de cada ciclo de acúmulo. No primeiro verão agrostológico as leituras foram feitas no piquete (fora das gaiolas) e nos períodos de 14 e 28 dias no dia 7 Fev. 2017 e no piquete e nos períodos de 14 e 21 dias no dia 21 Fev. 2017. No segundo verão as medições foram feitas apenas no piquete e nos períodos de 14 e 21 dias em duas repetições de campo no dia 7 Fev. 2018. Para se obter dados mais representativos, essas medições foram repetidas por mais um verão agrostológico (2018-2019), mantendo-se a imposição dos tratamentos. As adubações com N e K foram as mesmas do segundo verão agrostológico e foram aplicadas em 07 Dez. 2018, 08 Jan., 19 Fev. e 12 Mar. 2019. Nesse terceiro verão duas gaiolas de cada período de exclusão (14, 21 e 28 dias) foram alocadas em locais representativos da média do piquete em datas que fizessem com que o último dia do ciclo de acúmulo de cada período ocorresse no mesmo dia (12/03/2019), permitindo que as medições de fotossíntese foliar fossem feitas nas mesmas condições. As medições foram feitas sempre na porção média da folha mais jovem completamente expandida de três perfilhos representativos da condição média do dossel tanto no pasto como dentro das gaiolas, utilizando um sistema portátil medidor de fotossíntese, modelo LI-6400 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA). As leituras foram realizadas entre 9:00h e 12:00h 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 $2000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e a concentração de CO_2 no interior da câmara foi de $400 \mu\text{mol mol}^{-1}$.

A taxa de fotossíntese do dossel foi estimada 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 IAF, o coeficiente de extinção luminosa (k), a reflexão e transmissão de luz pelo dossel (σ), a IL e a fotossíntese foliar potencial ou máxima (taxa de fotossíntese da folha mais jovem completamente expandida). Para obter os dados que permitissem a estimativa de fotossíntese do dossel por mais um verão, na mesma data em que foram feitas as leituras de fotossíntese foliar no terceiro ano experimental foram também feitas avaliações de IL e IAF dentro e fora das gaiolas utilizando as metodologias anteriormente descritas.

Foram adotadas as seguintes constantes: radiação fotossinteticamente ativa (PAR) = 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (PEDREIRA; PEDREIRA, 2007; LARA; PEDREIRA, 2011) e eficiência quântica (Q_e) = 0,054 para plantas C₄ (DIAS-FILHO, 2002). O coeficiente de reflexão e transmissão de luz foi considerado de 20% (DIAS-FILHO, 2002). Os valores de IAF foram obtidos a partir das amostragens destrutivas previamente descritas.

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados utilizando-se o procedimento MIXED do pacote estatístico SAS® (Statistical Analysis System) (LITTEL et al., 2006), com um modelo incluindo os efeitos de altura do dossel, período de exclusão 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). Gráficos de preditor linear e de quantil-quantil dos resíduos foram utilizados para verificação da normalidade e da homogeneidade de variância dos resíduos. 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%.

2.4 RESULTADOS

2.4.1 Acúmulo de forragem e taxa de acúmulo de forragem

O ATF e a TAF não foram afetados nem pelo período de exclusão ($P = 0,6547$ e $P = 0,6721$, respectivamente) nem pela altura do dossel ($P = 0,2023$ e $P = 0,2058$, respectivamente). Os valores médios de ATF e TAF foram de 7350 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹ e 86 kg MS ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente.

2.4.2 Composição morfológica, massa de forragem, massa seca dos componentes morfológicos e IAF

As proporções de folha e de material morto foram afetadas apenas pelo período de exclusão ($P < 0,0001$ para ambas as variáveis), enquanto a proporção de colmo foi afetada apenas pela altura do dossel ($P < 0,0001$). Já o IAF, MF, massa seca de folha (MFOL) e de colmo (MCOL) foram afetados tanto pelo período de exclusão ($P < 0,0001$ para todas as variáveis) quanto pela altura de dossel ($P = 0,0009$, $P = 0,0130$, $P = 0,0013$ e $P < 0,0001$, respectivamente). De maneira geral, períodos de exclusão mais longos resultaram em maiores proporções de

folha, IAF, MF, MFOL e MCOL. O inverso foi observado para a proporção de material morto (Tabela 2.2). Maior altura de dossel correspondeu a maiores proporções de colmo, e maiores IAF, MF, MFOL e MCOL (Tabela 2.3). A massa seca de material morto (MMOR) não foi afetada pelo período de exclusão ($P = 0,3220$), nem pela altura ($P = 0,0707$) com valor médio de 2670 kg MS ha⁻¹.

Tabela 2.2 – Proporções de folha e de material morto, índice de área foliar (IAF), massa de forragem (MF) e massa seca de folha (MFOL) e de colmo (MCOL) do capim Mulato II em resposta a quatro períodos de exclusão (0, 14, 21 e 28 dias) durante dois verões agrostológicos em Piracicaba, SP, Brasil.

Período de exclusão	Prop. Folha	Prop. Material morto	IAF	MF	MFOL	MCOL
dias	----- % -----		cm ² cm ⁻²	----- kg MS ha ⁻¹ -----		
Pasto [†]	30,4 c	40,9 a	4,0 d	6700 d	2020 d	1940 d
14	37,6 b	34,6 b	5,3 c	7500 c	2890 c	2120 c
21	39,6 ab	36,9 bc	5,8 b	8190 b	3190 b	2310 b
28	39,9 a	31,0 c	6,4 a	8920 a	3650 a	2600 a
EPM [‡]	1,43	2,23	0,21	276	106	91

Letras na coluna comparam médias entre períodos de exclusão ($P < 0,05$).

[†]Pasto refere-se ao dia “zero” por se tratar das medições feitas fora das gaiolas no dia da exclusão do pastejo.

[‡]EPM = Erro padrão da média.

Tabela 2.3 – Proporção de colmo, índice de área foliar (IAF), massa de forragem (MF) e massa seca de folha (MFOL) e de colmo (MCOL) do capim Mulato II em resposta a duas alturas do dossel no momento da exclusão do pastejo (20 e 30 cm) durante dois verões agrostológicos em Piracicaba, SP, Brasil.

Altura	Prop. Colmo	IAF	MF	MFOL	MCOL
cm	%	cm ² cm ⁻²	----- kg MS ha ⁻¹ -----		
20	26,4 b	5,0 b	6820 b	2660 b	1830 b
30	29,8 a	5,8 a	8820 a	3220 a	2660 a
EPM [†]	1,35	0,20	274	94	91

Letras na coluna comparam médias entre alturas do dossel ($P < 0,05$).

[†]EPM = Erro padrão da média.

2.4.3 Densidade populacional de perfilhos e peso médio de perfilhos

O período de exclusão afetou o PMP ($P < 0,0001$), mas não a DPP ($P = 0,1428$). A altura do dossel afetou tanto a DPP quanto o PMP ($P = 0,0054$ e $P = 0,0239$, respectivamente). Menor valor de PMP foi observado no pasto, com valores intermediários nos períodos de 14 e 21 dias,

e maiores valores no período de 28 dias (Tabela 2.4). A DPP foi maior na altura de 20 cm, enquanto o PMP foi maior na altura de 30 cm (Tabela 2.5).

Tabela 2.4 – Peso médio de perfilhos (PMP) do capim Mulato II em resposta a quatro períodos de exclusão (0, 14, 21 e 28 dias) durante dois verões agrostológicos em Piracicaba, SP, Brasil.

Período de exclusão	PMP
dias	g perfilho ⁻¹
Pasto [†]	0,61 c
14	0,68 b
21	0,72 b
28	0,78 a
EPM [‡]	0,091

Letras na coluna comparam peso médio de perfilhos entre períodos de exclusão ($P < 0,05$).

[†]Pasto refere-se ao dia “zero” por se tratar das medições feitas fora das gaiolas no dia da exclusão do pastejo.

[‡]EPM = Erro padrão da média.

Tabela 2.5 – Densidade populacional de perfilhos (DPP) e peso médio de perfilhos (PMP) do capim Mulato II em resposta a duas alturas do dossel no momento da exclusão do pastejo (20 e 30 cm) durante dois verões agrostológicos em Piracicaba, SP, Brasil.

Altura	DPP	PMP
cm	perfilhos m ⁻²	g MS perfilho ⁻¹
20	1193 a	0,59 b
30	1083 b	0,81 a
EPM [†]	98,9	0,082

Letras na coluna comparam médias entre alturas do dossel ($P < 0,05$).

[†]EPM = Erro padrão da média.

2.4.4 Intercepção de luz pelo dossel e ângulo médio da folhagem

A IL foi afetada pela interação altura do dossel $\times$ período de exclusão ($P < 0,0001$). Para ambas as alturas, a IL foi menor no pasto e maior dentro das gaiolas independentemente do período de exclusão. No pasto a IL foi maior na altura de 30 cm, enquanto nos períodos de 14, 21 e 28 a altura do dossel não impactou a IL (Tabela 2.6). O ângulo da folhagem não foi afetado pelo período de exclusão ($P = 0,9688$) nem pela altura ($P = 0,6073$) com valor médio de 42,7° em relação à horizontal.

Tabela 2.6 – Interceptação de luz pelo dossel do capim Mulato II em resposta a interação altura do dossel $\times$ período de exclusão durante dois verões agrostológicos em Piracicaba, SP, Brasil.

Altura	Período de exclusão (dias)			
	Pasto	14	21	28
cm	----- % -----			
20	97,9 b	99,4 a	99,4 a	99,5 a
30	98,9 b	99,6 a	99,6 a	99,5 a
$P^{\dagger}$	<0,0001	0,3499	0,4419	0,8781
EPM [§]	0,16	0,15	0,16	0,15

Letras na linha comparam médias entre períodos de exclusão na mesma altura de dossel ($P < 0,05$).

[†]Pasto refere-se ao dia “zero” por se tratar das medições feitas fora das gaiolas no dia da exclusão do pastejo.

[‡] P para efeito da altura de dossel.

[§]EPM = Erro padrão da média.

2.4.5 Taxa de fotossíntese de folhas individuais e estimativa da fotossíntese do dossel

A fotossíntese do dossel foi afetada apenas pelo período de exclusão ($P < 0,0001$). Já a fotossíntese foliar não foi afetada nem pelo período de exclusão ($P = 0,6515$), nem pela altura de dossel ($P = 0,4821$) com valor médio de $29,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A fotossíntese do dossel foi menor no pasto em relação aos períodos de exclusão, que não diferiram entre si para essa resposta (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 – Fotossíntese do dossel do capim Mulato II em resposta a quatro períodos de exclusão (0, 14, 21 e 28 dias) durante três verões agrostológicos em Piracicaba, SP, Brasil.

Período de exclusão	Fotossíntese do dossel
dias	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Pasto [†]	43,9 b
14	54,2 a
21	51,3 a
28	57,9 a
EPM [‡]	1,73

Letras na coluna comparam médias entre períodos de exclusão ($P < 0,05$).

[†]Pasto refere-se ao dia “zero” por se tratar das medições feitas fora das gaiolas no dia da exclusão do pastejo.

[‡]EPM = Erro padrão da média.

2.5 DISCUSSÃO

O uso de gaiolas de exclusão impede o acesso dos animais à forragem e, portanto, as folhas em expansão crescem, aumentando a proporção de folhas na massa de forragem protegida do pastejo (Tabela 2.2). A magnitude do efeito da ausência de pastejo na vegetação dentro das gaiolas parece aumentar com o aumento do período de exclusão, dado que a proporção de folhas foi maior nos períodos de exclusão mais longos e o padrão oposto foi observado para proporção de material morto (Tabela 2.2). Maior proporção de folhas associado a maior MF nas gaiolas resultaram em maiores valores de MFOL e IAF dentro das gaiolas em relação ao pasto, sendo essa diferença maior nos períodos mais longos de exclusão (Tabela 2.2). Sendo as folhas os principais órgãos fotossintetizantes e, portanto, desempenhando papel fundamental do ponto de vista produtivo, os maiores valores de MFOL e de IAF sugerem que o AF provavelmente é superestimado pelo método de gaiolas de exclusão, pelo menos para períodos de exclusão de até 28 dias.

A MCOL seguiu o mesmo padrão da MFOL. No entanto, como o período de exclusão não afetou a proporção de colmo, é possível afirmar que essa resposta resultou apenas do aumento da MF dentro das gaiolas (Tabela 2.2). A maior MF nas gaiolas foi acompanhada pela menor proporção de material morto. Isso explica a ausência de diferenças na MMOR. O aumento na MF dentro das gaiolas parece, portanto, ser resultante do acúmulo de folhas e de colmo, mas não de material morto. Maiores valores de taxa de alongamento de folhas e de colmo nos períodos mais longos de exclusão e a ausência de diferenças na taxa de senescência de folhas entre os períodos de exclusão (Capítulo 3, Tópico 3.4) ratificam essa afirmação. Resultados semelhantes foram encontrados por Parsons, Collett e Lewis (1984) que observaram em pastos de azevém perene que o aumento na MF dentro de gaiolas de exclusão decorre do aumento na MFOL em um primeiro momento e, posteriormente, pelo aumento também na MCOL, mas que o mesmo não ocorre com a MMOR. Dessa forma, os resultados do presente estudo refutam a hipótese de Bortolo et al. (2001), que postularam que a exclusão do pastejo em dosséis altos (os valores de IL acima de 95% fora das gaiolas em ambas as alturas de dossel caracterizam ambos os dosséis de 20 e 30 cm como altos; Tabela 2.6) aumentaria a senescência de folhas nos estratos mais próximos ao solo. Para que isso seja verdadeiro, a exclusão do pastejo deveria aumentar a taxa de senescência foliar (Capítulo 3; Tópico 3.4) e a MMOR, o que não ocorreu.

O colmo é o órgão responsável pela sustentação dos componentes da parte aérea das plantas (DICKISON, 2000; SAJO; CASTRO, 2013). Por essa razão, a proporção de fotoassimilados alocado aos colmos aumenta à medida que a planta cresce (IRVING, 2015). Com isso, maior proporção de colmos na maior altura (Tabela 2.3) já era esperada. O maior

IAF nos dosséis de 30 cm (Tabela 2.3) seguramente resultou em maior competição por luz entre perfilhos, situação que altera a composição espectral da radiação que penetra no dossel, resultando na diminuição da relação vermelho:vermelho distante ($V:V_d$) (GAUTIER; VARLET-GRANCHER; HAZARD, 1999) que, de acordo com Morelli e Ruberti (2000), é o que desencadeia o alongamento do colmo. Isso pode ser uma das explicações para o aumento em 13% na proporção de colmo nos dosséis de 30 cm em relação aos de 20 cm. Com maior proporção de colmo e maior MF na altura de 30 cm (Tabela 2.3), era natural que o padrão de resposta da MCOL seguisse a mesma tendência (Tabela 2.3). A maior MF na altura de 30 cm também resultou em maior MFOL (Tabela 2.3).

A diminuição na relação $V:V_d$ previamente relatada também promove redução na DPP (GAUTIER; VARLET-GRANCHER; HAZARD, 1999). Portanto, menor DPP nos dosséis de 30 cm (Tabela 2.5) era uma resposta esperada. A menor DPP e maior MF resultaram em maior PMP nos dosséis de 30 cm. Com maiores valores de IAF ao final dos períodos mais longos de exclusão, a expectativa também era de que a DPP dentro das gaiolas fosse menor em relação a fora delas. Diferentemente dos resultados de Parsons, Collett e Lewis (1984) que reportaram que o uso de gaiolas de exclusão resulta em diminuição na DPP de azevém perene, o mesmo não foi constatado no presente estudo. Essa divergência pode estar relacionada com a condição do dossel no momento da exclusão. No estudo de Parsons, Collett e Lewis (1984) o pasto era mantido com IAF próximo de 1 e apresentava alta DPP. Naquele experimento, quando as gaiolas foram ancoradas, o IAF e o peso por perfilho aumentaram rapidamente, o que resultou em competição por luz entre os perfilhos e morte dos perfilhos menores, que, segundo os autores, foi causada porque nesse cenário os fotoassimilados são preferencialmente utilizados pelos perfilhos maiores. As DPPs similares entre os períodos de exclusão encontradas no presente estudo podem ser resultado da competição entre perfilhos com consequente prioridade na manutenção dos perfilhos maiores, o que poderia estar ocorrendo mesmo antes da exclusão do pastejo, haja vista os valores de IL no pasto (momento da exclusão) de 97,9 e 98,9% nas alturas de 20 e 30 cm, respectivamente (Tabela 2.6). Outro possível motivo para a diferença nos resultados de DPP entre os dois estudos pode ser o período de exclusão. Os resultados de Parsons, Collett e Lewis (1984) são oriundos de períodos de exclusão de 42 e 50 dias; períodos bem maiores que os aqui avaliados. Estudos com pastagens diferidas também apontam que quando o pasto é vedado do pastejo por períodos mais longos que os do presente estudo há redução na DPP (NIE et al., 1997; SANTOS et al., 2010). Aparentemente, 28 dias não é tempo suficiente para que a morte de perfilhos (resultado da competição por luz) se intensifique, e ocorra diminuição na população de perfilhos. Suposições de que em dosséis mantidos baixos o

AF seria inflacionado devido à manutenção na DPP associada ao rápido aumento no tamanho dos perfilhos protegidos pelas gaiolas foram alguns dos argumentos utilizados por Carvalho et al. (2000) e Carnevalli et al. (2001) para justificar a não detecção de diferenças no acúmulo de forragem em pastos de *Cynodon* spp. mantidos a 5, 10, 15 e 20 cm de altura. Maior PMP ao final dos períodos mais longos de exclusão (Tabela 2.4) e a ausência de diferenças na DPP, ao menos para exclusão de até 28 dias, sugerem que a afirmação daqueles autores também é verdadeira em dosséis mantidos altos. Isso é mais um indício de que o método de gaiolas de exclusão resulta em superestimativa de acúmulo de forragem mesmo quando o dossel é mantido alto.

Em um estande de plantas as folhas são os principais órgãos responsáveis pela captação de luz e, portanto, a relação entre IAF e IL é estreita. Maior IAF no período de 14 dias em relação ao pasto resultou em maior IL (Tabelas 2.2 e 2.6). No entanto, como independentemente da altura do dossel o período de exclusão de 14 dias já estava interceptando quase toda a radiação incidente, mesmo com maiores valores de IAF ao final dos períodos mais longos de exclusão (Tabela 2.2), os valores de IL foram semelhantes entre os períodos de 14, 21 e 28 dias e próximos do valor máximo (Tabela 2.6). Esses resultados são similares aos encontrados por Brougham (1956), que também observou que quando a IL está próxima de 100%, o aumento no IAF não é acompanhado por aumento na IL.

A produtividade das culturas é muito dependente da fotossíntese (BERNARDES, 1987; SHARKEY et al., 2013a). De modo análogo ao que foi observado por Parsons, Collett e Lewis (1984), no presente estudo a fotossíntese estimada do dossel foi maior dentro das gaiolas em relação ao pasto (Tabela 2.7). O modelo de Boote e Jones (1987) leva em consideração a fotossíntese foliar potencial (taxa fotossintética da folha mais jovem completamente expandida), o IAF e a IL. Nesse modelo, aumento na IL para o mesmo valor de IAF e de fotossíntese foliar resulta em diminuição na fotossíntese do dossel. Dessa forma, a similaridade na fotossíntese foliar entre os períodos de exclusão e a IL maior dentro das gaiolas do que fora delas (Tabela 2.6) permite afirmar que os maiores valores de fotossíntese do dossel nos períodos de 14, 21 e 28 dias em relação ao pasto foi decorrente do maior IAF (Tabela 2.2). Isso é consistente com o reportado por Lara e Pedreira (2011) que encontraram forte associação entre IAF e fotossíntese do dossel ($r^2 = 0,79$) para cultivares do gênero *Brachiaria* no verão sob regime de colheita mecânica, e pelos trabalhos de Parsons et al. (1983) e Yasuoka et al. (2018) que avaliaram pastos pastejados de azevém perene e de capim Mulato II, respectivamente, sob lotação contínua e concluíram que o principal determinante da fotossíntese do dossel é a área de tecido fotossintetizante e não a taxa de fotossíntese de folhas individuais. Yasuoka et al.

(2018) observaram ainda que o aumento na fotossíntese do dossel quando o dossel foi mantido mais alto foi acompanhado do aumento no AF. Assim, a maior fotossíntese do dossel dentro das gaiolas em relação a fora delas é mais um indicativo de que o acúmulo é superestimado quando o método de gaiolas de exclusão é utilizado.

Em pastos sob lotação contínua os eventos de desfolhação são potencialmente mais frequentes, na média, do que na lotação rotativa. Durante esses eventos, as folhas mais sujeitas a serem desfolhadas são as mais jovens (folhas em expansão e folhas mais jovens completamente expandidas) localizadas nos estratos superiores do dossel. Parsons et al. (1983) e Yasuoka et al. (2018) mostraram que essas duas categorias de folhas respondem pela maior parte da fotossíntese do dossel. Assim, a remoção completa ou mesmo parcial dessas folhas resulta em prejuízos no desempenho produtivo das plantas forrageiras. Quando gaiolas de exclusão são utilizadas, além de ocorrer aumento no IAF, a área foliar total provavelmente passa a ter maior participação dessas categorias de folhas (em expansão e mais jovem completamente expandida). Com isso, a fotossíntese do dossel de dentro das gaiolas de exclusão passaria a ser ainda maior em relação a fora delas, mais uma evidência de que é alta a probabilidade do AF ser superestimado por meio dessa técnica.

Dada a importância da fotossíntese do dossel na resposta produtiva das plantas e das culturas, a ausência de diferenças no ATF e na TAF entre os períodos de exclusão pode ter ocorrido devido à semelhança na fotossíntese do dossel entre os períodos de 14, 21 e 28 dias (Tabela 2.7). A escolha dos locais de amostragem também pode ser o motivo dessa semelhança nas duas respostas. A alocação das gaiolas em áreas que representem a média da condição da vegetação na unidade experimental é fundamental (CARTER, 1962), o que não é fácil de se conseguir, principalmente em pastos muito heterogêneos. Portanto, a necessidade da frequente realocação das gaiolas – um dos princípios da técnica – pode gerar erros advindos do amostrador (GRELEN, 1967). Em quatro e cinco ciclos de amostragens no primeiro e segundo verão, respectivamente, foram calculados "acúmulos negativos" em pelo menos uma unidade experimental para o período de exclusão de 14 dias (dados não mostrados). Esses "acúmulos negativos" ilustram a dificuldade da escolha de locais representativos da média do pasto, pois resultaram da alocação involuntária e certamente incorreta das gaiolas em pontos em que a MF era menor que a média do pasto e do período de 14 dias não ter sido suficiente para que a MF dentro dessas gaiolas aumentasse o suficiente para superar a MF do pasto no início do ciclo de acúmulo. Em condições de limitações edafoclimáticas (e.g., restrição hídrica, baixa temperatura ou baixa disponibilidade de nutrientes) e/ou quando o material forrageiro avaliado apresenta baixa taxa de acúmulo de forragem, a MF dentro das gaiolas aumentará mais lentamente,

fazendo com que a escolha dos locais de amostragem seja ainda mais crítica, pensando na redução da possibilidade de ocorrerem "acúmulos negativos". Assim, fica evidente que, além das diferenças morfofisiológicas entre a vegetação do pasto e da gaiola, a escolha de locais não representativos do pasto para ancoragem das gaiolas no momento inicial da exclusão também é uma importante fonte de erro. Uma opção para diminuir tais erros é o aumento no número de gaiolas por unidade experimental, uma vez que mais gaiolas diminuem o erro amostral (sendo os "acúmulos negativos a expressão desse erro). Para tanto, é evidente a necessidade de considerar os custos para a confecção de mais gaiolas, o tamanho da unidade experimental que tem que ser grande o suficiente para permitir mais amostragens e o tempo e trabalho adicional para a coleta de mais amostras.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES PRÁTICAS

Gaiolas de exclusão afetam várias características estruturais do dossel forrageiro, tais como composição morfológica, massa seca dos componentes morfológicos, IAF, IL e PMP. O efeito da exclusão do pastejo em muitas dessas respostas é maior quanto maior é o período de exclusão. Dessa forma, o mais indicado seria a utilização método de gaiolas em ciclos de amostragens de 14 dias. Entretanto, 14 dias pode ser pouco tempo para diluir os possíveis erros amostrais, fazendo com que tão importante quanto (ou talvez mais importante que) a definição do período do ciclo de acúmulo é a escolha dos locais para alocação das gaiolas. Em contrapartida, o período de 28 dias se mostrou excessivamente longo por propiciar as maiores diferenças na estrutura do dossel de dentro das gaiolas em relação a fora delas. Assim, tudo indica ser mais prudente a recomendação do uso de gaiolas de exclusão em ciclos de amostragens de 21 dias, combinando vantagens dos outros dois períodos. No entanto, em situação em que a taxa de acúmulo de forragem é alterada esse período deve ser reajustado, sendo o período de exclusão maior quanto mais lento for esse acúmulo (FRAME, 1981).

Os resultados do presente estudo indicam que o acúmulo de forragem estimado pelo método de gaiolas de exclusão não representa o real acúmulo de forragem no pasto. O efeito da exclusão do pastejo afeta as respostas fisiológicas da vegetação com aumento da fotossíntese do dossel dentro das gaiolas de exclusão, sugerindo que o acúmulo é superestimado quando esse método é utilizado. Esses resultados também permitem compreender as limitações do método de gaiolas de exclusão possibilitando melhor interpretação de dados de acúmulo de forragem em pastos sob lotação contínua gerados com o uso dessa técnica.

REFERÊNCIAS

- 't MANNETJE, L. Measuring quantity of grassland vegetation. In: 't MANNETJE, L. (Ed.). **Measurement of grassland vegetation and animal production**. Queensland: CAB International, 1978. p. 63–95.
- BARKER, D. J. et al. Analysis of herbage mass and herbage accumulation rate using gompertz equations. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 3, p. 849–857, 2010.
- 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.
- 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 Nijhoff Publ., 1987. v. 4, p. 415–418.
- BORTOLO, M. et al. Avaliação de uma pastagem de Coastcross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) sob diferentes níveis de matéria seca residual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 627–635, 2001.
- BROUGHAM, R. W. Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. **Australian Journal Agriculture Research**, v. 7, p. 377–387, 1956.
- CARNEVALLI, R. A. et al. Desempenho de ovinos e respostas de pastagens de Coastcross submetidas a regimes de desfolha sob lotação contínua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 6, p. 919–927, 2001.
- CARTER, J. F. Herbage sampling for yield: tame pastures. In: AMERICAN SOCIETY AGRONOMY et al. (Ed.). **Pasture and Range: research techniques**. Ithaca: Comstock Publishing Associates, 1962. p. 90–101.
- CARVALHO, C. A. B. et al. Demografia do perfilhamento e taxas de acúmulo de matéria seca em capim “Tifton 85” sob pastejo. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 591–600, 2000.
- DAVIES, D. A.; FOTHERGILL, M.; JONES, C. T. Assessment of contrasting perennial ryegrasses with and white clover, under continuous stocking in the uplands. 5 –Herbage production, quality and intake in years 4–6. **Grass and Forage Science**, v. 48, n. 3, p. 213–222, 1993.
- DIAS-FILHO, M. B. Photosynthetic light response of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Scientia Agricola**, v.59, n.1, p.65-68, 2002.
- DICKISON, W. C. **Integrative plant anatomy**. Orlando, USA: Academic Press, 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.
- FRAME, J. Hebage Mass. In: HODGSON, J. et al. (Ed.). **Sward Measurement Handbook**. Berkshire: The British Grassland Society, 1981. p. 39–70.
- GAUTIER, H.; VARLET-GRANCHER, C.; HAZARD, L. Tillering responses to the light environment and to defoliation in populations of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) selected for contrasting leaf length. **Annals of Botany**, v. 83, p. 423–429, 1999.

- GRELEN, H. E. Comparison of cage methods for determining utilization on Pine-Bluestem range. **Journal of Range Management**, v. 20, n. 2, p. 94–96, 1967.
- HEADY, H. F. Effect of cages on yield and composition in the California annual type. **Journal of Range Management**, v. 10, n. 4, p. 175, 1957.
- HODGSON, J. **Grazing management: Science into practice**. London: Longman Group, 1990.
- IRVING, L. Carbon assimilation, biomass partitioning and productivity in grasses. **Agriculture**, v. 5, n. 4, p. 1116–1134, 2015.
- LARA, M. A. S.; PEDREIRA, C. G. S. Estimativa da assimilação potencial de carbono em dosséis de espécies de braquiária. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 46, n. 7, p. 743–750, 2011.
- LITTEL, R. C. et al. **SAS for Mixed Models**. 2nd. ed. Cary: SAS Institute, 2006, 813p.
- MORELLI, G.; RUBERTI, I. Update on light signaling shade avoidance responses. driving auxin along lateral routes. **Plant Physiology**, v. 122, p. 621–626, 2000.
- NIE, Z. N. et al. Changes in plant population density, composition and sward structure of a hill pasture during a pastoral fallow. **Grass and Forage Science**, v. 52, n. 2, p. 190–198, 1997.
- PARSONS, A. J. et al. The physiology of grass production under grazing. II. Photosynthesis, crop growth and animal intake of continuously-grazed swards. **Journal of Applied Ecology**, v. 20, p. 127–139, 1983.
- PARSONS, A. J.; COLLETT, B.; LEWIS, J. Changes in the structure and physiology of a perennial ryegrass sward when released from a continuous stocking management: continuously stocked swards. **Grass and Forage Science**, v. 39, p. 1–9, 1984.
- PEDREIRA, C. G. S. Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: XXXIX Reunião Anual da SBZ, 2002. p. 100–150.
- 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.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633–1644, 2007.
- SAJO, M. G.; CASTRO, N. M. Caule. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (Org.). **Anatomia Vegetal**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2013. p. 263–280.
- SANTOS, M. E. R. et al. Estrutura do capim-braquiária durante o diferimento da pastagem. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 32, n. 2, p. 139–145, 2010.
- SHARKEY, T. et al. Fotossíntese: reações de carboxilação. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Ed.). **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. p. 243–269.
- SILVA, V. J. et al. Canopy height and nitrogen affect herbage accumulation, nutritive value, and grazing efficiency of ‘Mulato II’ brachiariagrass. **Crop Science**, v. 56, n. 4, p. 2054–2061, 2016.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 4. ed. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute State University Press, 1990.

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

WOLFINGER, R. Covariance structure selection in general mixed models. **Communications in Statistics-Simulation and Computation**, v. 22, n. 4, p. 1079–1106, 1993.

YASUOKA, J. I. et al. Canopy height and N affect herbage accumulation and the relative contribution of leaf categories to photosynthesis of grazed brachiariagrass pastures. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 1, p. 183–192, 2018.

3 USO DE GAIOLAS EM EXPERIMENTOS DE PASTEJO SOB LOTAÇÃO CONTÍNUA: IMPACTO DA EXCLUSÃO DO PASTEJO SOBRE AS RESPOSTAS MORFOGÊNICAS DA VEGETAÇÃO E SOBRE A ESTIMATIVA DE ACÚMULO DE FORRAGEM

Resumo

As características morfogênicas e estruturais em dosséis excluídos do pastejo possibilitam compreender como gaiolas de exclusão afetam a dinâmica de acúmulo de forragem (AF) dentro de gaiolas de exclusão em experimentos de pastejo sob lotação contínua. O objetivo deste estudo foi descrever e explicar como a exclusão do pastejo durante 14, 21 e 28 dias usando gaiolas de exclusão afetam as características morfogênicas e estruturais do dossel e quais suas implicações na dinâmica e na estimativa do AF em pastos de capim Mulato II (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) mantidos a 20 e 30 cm de altura sob lotação contínua. A exclusão do pastejo não afetou a duração de vida das folhas (DVF), a densidade populacional de perfilhos (DPP), o número de folhas vivas por perfilho (NFV) e a taxa de senescência de folhas (TSF), mas afetou principalmente as taxas de alongamento de folhas (TALF) e de colmo (TALC). A TALF foi o determinante dos maiores valores do comprimento final das folhas (CFF), do índice de área foliar (IAF) e da taxa de crescimento de folhas (TCF) nos períodos mais longos de exclusão (21 e 28 dias). Consequentemente, a taxa de acúmulo líquido (TAL) dentro das gaiolas foi maior que fora delas, resultando em superestimativas nos valores de AF em 14, 26 e 24% nos períodos de exclusão de 14, 21 e 28 dias, respectivamente. A altura do dossel não afetou a TAL, pois as maiores TALF e TALC em dosséis de 30 cm foram compensadas pela maior TSF.

Palavras-chave: Convert HD 364; Fluxo de tecidos; Morfogênese; Pastagem; Produção de forragem; *Urochloa* spp.

Abstract

The study of morphogenic and structural characteristics in canopies excluded from grazing helps understand how exclosure cages affect forage accumulation (FA) dynamics in grazing experiments with continuously stocked pastures. The objective of this study was to describe and explain how exclusion from grazing during 14, 21, and 28 days using cages on Mulato II brachiariagrass (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) affects canopy morphogenetic and structural characteristics, and its implications on dynamics and estimation of FA in continuously stocked pastures kept at 20 and 30 cm. Exclusion from grazing did not affect leaf lifespan, tiller population density, number of live leaves per tiller, and leaf senescence (LSR), but mainly affected leaf elongation (LER) and stem elongation rates (SER). The greater LER determined higher values of expanded leaf length, leaf area index, and leaf growth rate in longer exclusion periods (21 and 28 days). Consequently, forage accumulation rate inside cages was greater than outside, resulting in overestimated FA values of 14, 26, and 24% for 14, 21, and 28-d exclusion periods, respectively. Canopy height did not affect FAR, because greater LER and SER values at 30 cm were compensated by greater LSR.

Keywords: Convert HD 364; Forage production; Morphogenesis; Pasture; Tissue flows; *Urochloa* spp.

3.1 INTRODUÇÃO

Em estudos com plantas forrageiras, o acúmulo de forragem (AF) é frequentemente uma das respostas de maior interesse e, portanto, estimativas acuradas de acúmulo são necessárias para comparar tratamentos (DEVANTIER et al., 1998). Quando o pasto está sob lotação intermitente, onde cada piquete experimenta períodos alternados e controlados de pastejo e descanso, o AF é estimado pela simples diferença entre a massa de forragem (MF) do pré-pastejo de um determinado ciclo de pastejo e a MF do pós-pastejo do ciclo imediatamente anterior. No entanto, em pastos sob lotação contínua – método de pastejo mais adotado globalmente – em que a frequência no ajuste na taxa de lotação é alta, uma meta de manejo (e.g., altura do dossel) é mantida relativamente constante. A inexistência, por definição, de eventos pré- e pós-pastejo faz com que seja necessário identificar alternativas para as estimativas de acúmulo de forragem. Uma opção que tem sido muito usada na pesquisa em pastagens é estimar o AF de pastos sob lotação contínua em áreas excluídas do pastejo utilizando gaiolas de exclusão (CARTER, 1962; PEDREIRA, 2002).

O método de gaiolas de exclusão restringe o acesso dos animais a locais selecionados do pasto (COWLISHAW, 1951) e, portanto, a vegetação dentro das gaiolas acumula e a MF aumenta. Dessa forma, o acúmulo de forragem é estimado pela diferença entre a MF dentro das gaiolas no último dia do ciclo de acúmulo e a MF média do pasto (fora das gaiolas) no dia em que as gaiolas foram ancoradas. No entanto, embora o uso de gaiolas de exclusão seja uma técnica consagrada na pesquisa e amplamente utilizada para estimar o AF em pastos sob lotação contínua (HEADY, 1957; BARKER et al., 2010), ela está sujeita a críticas (WILLIAMS, 1951), pois tem sido argumentado que a estrutura da vegetação dentro das gaiolas seja diferente da encontrada fora delas (CARVALHO et al., 2000; BORTOLO et al., 2001; CARNEVALLI et al., 2001), a ponto de fazer com que o AF em áreas em que a vegetação foi excluída do pastejo não represente o valor real do AF do pasto (PARSONS; COLLETT; LEWIS, 1984).

Existem ainda suposições de que o AF medido dentro da gaiola possa ser maior ou menor em relação à área não excluída do pastejo dependendo da condição do dossel no momento da exclusão (HEADY, 1957; PEDREIRA, 2002). Molan (2004) não encontrou diferenças no AF quando o capim Marandu [*Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu; syn. *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R. D. Webster] sob lotação contínua foi manejado em alturas constantes variando entre 10 e 30 cm, e comentou que o uso de gaiolas de exclusão pode ter levado a erros na estimativa do AF. Bortolo et al. (2001) argumentaram que quando dosséis mantidos baixos são protegidos (excluídos) do pastejo, a área dentro da gaiola atinge rapidamente o índice de área foliar (IAF) ótimo, valor em que ocorre máxima taxa de AF. Os

mesmos autores sugerem que quando o dossel é mantido alto, o IAF dentro das gaiolas no momento da exclusão já estaria próximo do IAF teto, condição em que a taxa de acúmulo começa a diminuir em função do autossombreamento que resulta na senescência das folhas mais velhas. A magnitude dessas possíveis alterações também depende do período de tempo em que a vegetação fica excluída do pastejo ('t MANNETJE, 1978). Supõe-se que quanto maior for o período em que as plantas crescem dentro das gaiolas, maior deverá ser a diferença entre a estrutura do dossel de dentro e fora da gaiola. Assim, o período de exclusão também pode ser um fator determinante na estimativa do AF em pastos sob lotação contínua através do uso de gaiolas de exclusão.

Para melhor entender os efeitos da exclusão do pastejo nas características estruturais de perfilhos e da vegetação, uma valiosa ferramenta que pode ser utilizada é o estudo da morfogênese. Morfogênese é definida por Chapman e Lemaire (1993) como a dinâmica de geração e expansão da forma da planta no espaço ao longo do tempo. Por meio da morfogênese é possível estudar a dinâmica do desenvolvimento de folhas e perfilhos, que constituem a produção primária da planta forrageira (NASCIMENTO JÚNIOR et al., 2002). Adicionalmente, as respostas morfogênicas determinam o tamanho das folhas, a densidade populacional de perfilhos e o número de folhas vivas por perfilho, que são as principais características estruturais do dossel e que, juntas, determinam o IAF da vegetação (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996). Estabelecendo-se um fator de conversão, as taxas de alongamento de folhas e de colmo e a taxa de senescência foliar podem ser convertidas de unidade de comprimento para unidade de massa (MAZZANTI; LEMAIRES, 1994). Esses valores, em conjunto com dados de densidade populacional de perfilhos, possibilitam estimar o acúmulo líquido de forragem.

Não há registro na literatura de estudos que avaliaram o efeito de gaiolas de exclusão sobre as respostas morfogênicas da vegetação excluída do pastejo. Estudos dessa natureza podem elucidar como as gaiolas de exclusão afetam as características morfogênicas e estruturais e a dinâmica de acúmulo de forragem e, assim, compreender as limitações impostas por essa técnica, o que auxiliaria na interpretação dos dados de acúmulo de pastos manejados sob lotação contínua. O objetivo deste estudo foi descrever e explicar como a exclusão do pastejo durante 14, 21 e 28 dias por meio do uso de gaiolas de exclusão e a altura do dossel (20 e 30 cm) no momento da exclusão afeta as características morfogênicas e estruturais de dosséis de capim Mulato II (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) manejado sob lotação contínua com taxa de lotação variável e quais suas implicações na dinâmica e na estimativa do acúmulo de forragem.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em Piracicaba, SP (22°42’30” S, 47°30’00” W, 580 m alt.) O clima do local é Cwa (mesotérmico úmido subtropical de inverno seco) de acordo com Sistema Köppen-Geiser (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Os dados climáticos do período experimental (Tabela 3.1) foram obtidos num posto meteorológico, situado a 2 km da área experimental.

Tabela 3.1 - Pluviosidade e temperaturas máxima e mínima durante o período experimental e média histórica (1917–2019).

Variável climática	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr
<u>2016-2017</u>					
Temperatura Máx. (°C)	31,0	30,2	32,2	30,6	28,3
Temperatura Mín. (°C)	19,4	20,3	20,0	18,4	16,7
Pluviosidade (mm)	148,6	334,5	88,8	137,0	128,5
<u>2017-2018</u>					
Temperatura Máx. (°C)	32,3	30,3	30,2	32,1	29,6
Temperatura Mín. (°C)	18,5	19,4	18,2	19,6	15,9
Pluviosidade (mm)	52,2	225,0	71,6	204,5	35,1
<u>1917–2019[†]</u>					
Média hist. das Temp. Máx. (°C)	29,9	30,0	30,4	30,1	28,5
Média hist. das Temp. Mín. (°C)	18,4	19,1	19,1	18,4	15,7
Pluviosidade hist. (mm)	197,9	229,2	178,0	142,0	66,0

[†]Média de 102 anos.

O solo da área experimental é um Nitossolo Vermelho Eutroférico típico (EMBRAPA, 2006) de alta fertilidade, ou Kandiudalfic Eutradox (SOIL SURVEY STAFF, 1990). De acordo com análise de terra (camada 0–20 cm) feita em maio de 2016, o solo apresentou as seguintes características químicas: pH (CaCl₂) = 6,4; matéria orgânica = 42 g cm⁻³; P (resina trocadora de íons) = 57 mg dm⁻³; K = 9,9 mmol_c dm⁻³; Ca = 53 mmol_c dm⁻³; Mg = 22 mmol_c dm⁻³; H + Al = 38 mmol_c dm⁻³; soma de bases = 84,9 mmol_c dm⁻³; capacidade de troca catiônica = 122,9

$\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; saturação por bases = 69%. Decidiu-se pela não necessidade de correção no momento do início do experimento.

Os pastos de capim Mulato II foram estabelecidos em janeiro de 2012 conforme descrito por Silva et al. (2016). Em 21 de outubro de 2016 foi realizada uma roçada mecânica de uniformização a ~10 cm de altura e adubação com 50 kg N ha^{-1} , ambas após um pastejo intenso por bovinos para remoção da massa de forragem acumulada. A partir dessa data foi dado início a imposição dos tratamentos com aplicação das metas de altura até o início do período experimental. A coleta de dados foi de 09 Jan. a 05 Abr. 2017 (verão 1) e 03 Jan. a 28 Mar. 2018 (verão 2). Entre o final do verão 1 e o início do verão 2 (i.e., de abril a dezembro de 2017) as condições alvo (altura de dossel nas unidades experimentais) foram mantidas por pastejo.

3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, com tratamentos correspondendo a duas alturas de dossel (20 e 30 cm) em três repetições. Foram estudados quatro períodos de exclusão do pastejo (0, 14, 21 e 28 dias), em seis unidades experimentais (pastos) de 200 m^2 cada. O período de exclusão de “zero” dias correspondeu ao dia da exclusão do pastejo e, portanto, representou a vegetação não excluída do pastejo (fora das gaiolas).

A imposição dos tratamentos de pastejo seguiu o protocolo experimental do tipo “*mob stocking*”, objetivando mimetizar pastejo sob lotação contínua com taxa de lotação variável, visando a manutenção das alturas de dossel preconizadas, tolerando-se uma amplitude máxima de 10% de variação nos pastos mantidos a 20 (18 a 22) e 30 (27 a 33) cm. Assim, os animais foram conduzidos aos pastos tão logo as metas de altura se aproximaram do limite superior de altura para cada intensidade e o pastejo encerrado quando a altura atingia o limites mínimos da variação permitida. O monitoramento da altura do dossel foi feito três vezes por semana em 50 pontos por unidade experimental durante o período experimental, sendo as leituras realizadas com auxílio de uma transparência de acetato e um bastão graduado.

Para a realização do pastejo foram utilizados vacas e novilhas leiteiras mestiças não lactantes (~450 kg de peso corporal) que, nos momentos em que não estavam pastejando as parcelas experimentais, permaneceram em área de pastagem adjacente à experimental, também cultivada com o capim Mulato II, onde os animais tiveram livre acesso a água e sal mineral.

Foram aplicadas doses de $187 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N e de K_2O fracionadas em três aplicações iguais de $62,4 \text{ kg ha}^{-1}$ em 9 Jan., 4 Fev. e 3 Mar. 2017 no primeiro verão agrostológico. No segundo verão as doses de N e K_2O foram de $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ fracionadas em quatro aplicações

de 50 kg ha⁻¹ em 4 Jan., 23 Jan., 27 Fev. e 21 Mar. 2018. A fonte de N foi o NH₄NO₃ e a de K₂O foi o KCl.

3.2.3 Avaliações

Para a avaliação das características morfogênicas, em cada pasto (fora das gaiolas) foram marcados sete perfilhos basais ao longo de três transectos localizados em pontos representativos da média da vegetação, com 20 cm de distância entre perfilhos, perfazendo um total de 21 perfilhos por unidade experimental. Também foram marcados cinco perfilhos basais dentro de cada gaiola de exclusão, totalizando 10 perfilhos por período de exclusão em cada unidade experimental. O ciclo de avaliação nos pastos foi de 28 dias e das gaiolas foi correspondente ao respectivo período de exclusão. Ao final de cada ciclo de avaliação um novo grupo de perfilhos foi selecionado para avaliação. Durante cada ciclo, os perfilhos marcados foram identificados com braçadeiras plásticas e avaliados duas vezes por semana.

Em cada folha desses perfilhos foi avaliado o comprimento da lâmina foliar e a folha classificada como folha em expansão, expandida, senescente e morta e ainda como desfolhada ou intacta. As folhas foram classificadas como em expansão (enquanto suas lígulas não estivessem expostas), expandidas (quando a lígula estivesse visível e/ou seu crescimento cessasse), senescentes (quando a lâmina foliar apresentasse sinais de senescência – necrose e/ou amarelecimento – em até 50% de sua área), e mortas (quando mais de 50% da lâmina foliar apresentasse sinais de senescência). As folhas foram consideradas desfolhadas quando houvesse qualquer sinal de remoção de tecido por ação dos animais.

O comprimento das folhas foi medido de acordo com o seu respectivo estágio de desenvolvimento. Nas folhas expandidas o comprimento foi medido da ponta da folha até a lígula. Nas folhas em expansão, procedimento semelhante foi adotado, porém, considerando-se a lígula da última folha completamente expandida como referencial de medida. Nas folhas senescentes foi considerada, por avaliação visual, a porcentagem da lâmina foliar que apresentasse sinais de senescência. Também foi medido o comprimento do colmo (colmo verdadeiro + bainha) que foi considerado como a distância do solo até a lígula da folha mais jovem completamente expandida.

Foram calculadas as seguintes variáveis: taxa de aparecimento de folhas (TAPF) pela divisão do número médio de folhas surgidas por perfilho pelo número de dias do intervalo de avaliação; número de folhas vivas por perfilho (NFV) obtido a partir do número de folhas em expansão, expandidas e em senescência por perfilho, excluindo-se as folhas que apresentassem mais de 50% do limbo foliar em processo de senescência, que foram consideradas mortas; taxa

de alongamento de folhas (TALF) pela divisão da variação do comprimento das lâminas foliares em expansão por perfilho pelo número de dias do intervalo de avaliação; taxa de alongamento de colmos (TALC) pela divisão da variação média em comprimento de colmo por perfilho pelo número de dias do período de avaliação; duração de vida das folhas (DVF) obtido pela multiplicação do NFV pelo inverso da TAPF; taxa de senescência de folhas (TSF) pela divisão da variação média em comprimento da porção senescente da lâmina foliar por perfilho pelo número de dias do intervalo de avaliação; comprimento final das folhas expandidas (CFF) obtido através da média do comprimento das folhas expandidas não desfolhadas; comprimento médio de colmos (CMC) obtido a partir da média do comprimento final dos colmos dos perfilhos avaliados.

Com o objetivo de permitir a expressão dos valores das taxas de alongamento de folhas e de colmos e a taxa de senescência de folhas em $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, ao final de cada período de avaliação todos os perfilhos marcados foram coletados e levados ao laboratório para separação em folhas em expansão, folhas expandidas e colmos. Os componentes separados foram então levados à estufa de circulação forçada de ar a 55°C até peso constante e pesados. O peso de cada componente foi dividida pelo comprimento total do respectivo componente correspondente a cada transecto, gerando-se, assim, fatores de conversão (g cm^{-1}) que foram utilizados para converter os dados obtidos em $\text{cm.perfilho}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ em $\text{g.perfilho}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. O fator de conversão de folhas em expansão foi usado para o cálculo da taxa de crescimento de folhas (TCF), o fator de conversão de folhas expandidas usado para o cálculo da taxa de senescência de folhas e o fator de colmos usado para cálculo da taxa de crescimento de colmos (TCC). A multiplicação dos valores obtidos pela densidade populacional de perfilhos (DPP) permitiu a transformação desses valores para $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. As avaliações de DPP foram feitas fora e dentro das gaiolas no último dia de cada ciclo de acúmulo. No pasto (fora das gaiolas), a DPP foi determinada pela contagem do número de perfilhos no interior de duas molduras metálicas posicionadas em pontos representativos da condição média da vegetação no momento da avaliação. No primeiro ano experimental as molduras mediam $1,33 \times 0,3 \text{ cm}$ e no segundo ano $0,75 \times 0,35 \text{ cm}$. Dentro de cada gaiola a DPP foi estimada utilizando uma moldura de $0,75 \times 0,35 \text{ m}$. O acúmulo líquido foi calculado pela soma da taxa de crescimento de folhas e de colmos subtraída da taxa de senescência de folhas, seguindo a proposta de Bircham e Hodgson (1983).

O índice de área foliar (IAF) fora e dentro das gaiolas foi estimado no último dia de cada ciclo de acúmulo. Em cada amostragem, dois locais visualmente representativos da média do pasto foram selecionados. Nesses pontos e dentro de cada gaiola, todo o material dentro de molduras de $0,75 \times 0,35 \text{ m}$ foi colhido ao nível do solo, pesado fresco e uma subamostra

(~300g) foi coletada e pesada fresca. As folhas (lâminas foliares verdes) da subamostra foram separadas dos outros componentes (colmo, bainha foliar e material morto) e cerca de 30 dessas folhas foram escaneadas num integrador de área foliar modelo LI-3100 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA). Após a determinação da área, todas as frações foram secas separadamente em estufa de circulação forçada de ar a 55°C até peso constante e pesadas. A divisão da área total das folhas escaneadas pelo seu respectivo peso seco permitiu a determinação da área foliar específica que foi utilizada para estimar a área foliar total da amostra, que por sua vez foi utilizada para o cálculo do IAF.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados utilizando-se o procedimento MIXED do pacote estatístico SAS® (Statistical Analysis System) (LITTEL et al., 2006), com um modelo incluindo os efeitos de altura do dossel, período de exclusão 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). Gráficos de preditor linear e de quantil-quantil dos resíduos foram utilizados para verificação da normalidade e da homogeneidade de variância dos resíduos. 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%.

3.4 RESULTADOS

A TAPF, TALF e TALC foram afetadas pelo período de exclusão ($P = 0,0002$, $P < 0,0001$ e $P = 0,0009$, respectivamente) e pela altura ($P = 0,0207$, $P < 0,0001$ e $P = 0,0078$, respectivamente). Já a taxa de senescência de folhas foi afetada apenas pela altura do dossel ($P = 0,0004$), mas não pelo período de exclusão ($P > 0,05$). A TAPF foi maior no período de 14 dias em relação a todos os outros períodos de exclusão que não diferiram entre si. Para TALF e TALC, de forma geral, o padrão de resposta foi a de menores valores no pasto comparado com o interior da gaiola e maiores valores quanto maior foi o período de exclusão (Tabela 3.2). A TAPF foi maior nos dosséis de 20 cm, enquanto que a TALF, TALC e TSF foram maiores nos de 30 cm (Tabela 3.3).

Tabela 3.2 – Taxa de aparecimento de folhas (TAPF) e taxas de alongamento de folhas (TALF) e de colmo (TALC) do capim Mulato II em resposta a quatro períodos de exclusão (0, 14, 21 e 28 dias) durante dois verões agrostológicos em Piracicaba, SP, Brasil.

Período de exclusão	TAPF	TALF	TALC
dias	folhas perfilho ⁻¹ dia ⁻¹	- - - - - cm perfilho ⁻¹ dia ⁻¹ - - - - -	
Pasto [†]	0,084 b	1,37 c	0,07 c
14	0,094 a	1,57 b	0,14 b
21	0,087 b	1,62 ab	0,15 b
28	0,085 b	1,68 a	0,18 a
EPM [‡]	0,0035	0,199	0,029

Letras na coluna comparam médias entre períodos de exclusão ($P < 0,05$).

[†]Pasto refere-se ao dia zero por se tratar das medições feitas fora das gaiolas no dia da exclusão do pastejo.

[‡]EPM = Erro padrão da média.

Tabela 3.3 – Taxa de aparecimento de folhas (TAPF), taxas de alongamento de folhas (TALF) e de colmo (TALC) e taxa de senescência de folhas (TSF) do capim Mulato II em resposta a duas alturas do dossel no momento da exclusão (20 e 30 cm) durante dois verões agrostológicos em Piracicaba, SP, Brasil.

Altura	TAPF	TALF	TALC	TSF
cm	folhas perfilho ⁻¹ dia ⁻¹	- - - - - cm perfilho ⁻¹ dia ⁻¹ - - - - -		
20	0,091 a	1,46 b	0,10 b	0,12 b
30	0,084 b	1,66 a	0,17 a	0,16 a
EPM [†]	0,0033	0,198	0,028	0,001

Letras na coluna comparam médias entre alturas do dossel ($P < 0,05$).

[†]EPM = Erro padrão da média.

O CFF, o CMC e o IAF foram afetados pelo período de exclusão ($P < 0,0001$, $P = 0,0120$ e $P < 0,0001$, respectivamente) e pela altura do dossel ($P = 0,0013$, $P = 0,0003$ e $P = 0,0059$, respectivamente). A DVF e a DPP foram afetadas pela altura ($P = 0,0019$ e $P = 0,0054$, respectivamente), mas não pelo período de exclusão ($P > 0,05$ para ambas as variáveis). De forma similar ao relatado para as TALF e TALC, o CFF e o CMC foram menores no pasto e, de forma geral, foram maiores quanto maior foi o período de exclusão. Maiores valores com o aumento no período de exclusão também foram observados para o IAF (Tabela 3.4). O CFF, CMC, DVF e IAF foram maiores na altura de 30 cm e a DDP foi maior na altura de 20 cm (Tabela 3.5). O NFV não foi afetado nem pelo período de exclusão ($P = 0,2689$), nem pela altura do dossel ($P = 0,1620$) com média de 4,5.

Tabela 3.4 – Comprimento final de folhas expandidas (CFF), comprimento médio de colmos (CMC) e índice de área foliar (IAF) do capim Mulato II em resposta a quatro períodos de exclusão (0, 14, 21 e 28 dias) durante dois verões agrostológicos em Piracicaba, SP, Brasil.

Período de exclusão	CFF	CMC	IAF
dias	----- cm -----		cm ² cm ⁻²
Pasto [†]	9,6 c	14,9 b	4,0 d
14	13,7 b	15,7 ab	5,3 c
21	13,0 b	16,4 a	5,8 b
28	15,7 a	16,2 a	6,4 a
EPM [‡]	1,15	0,73	0,21

Letras na coluna comparam médias entre períodos de exclusão ($P < 0,05$).

[†]Pasto refere-se ao dia zero por se tratar das medições feitas fora das gaiolas no dia da exclusão do pastejo.

[‡]EPM = Erro padrão da média.

Tabela 3.5 – Comprimento final de folhas expandidas (CFF), comprimento médio de colmos (CMC), duração de vida das folhas (DVF), densidade populacional de perfilhos (DPP) e índice de área foliar (IAF) do capim Mulato II em resposta a duas alturas do dossel no momento da exclusão (20 e 30 cm) durante dois verões agrostológicos em Piracicaba, SP, Brasil.

Altura	CFF	CMC	DVF	DPP	IAF
cm	----- cm -----		dias	perfilhos m ⁻²	cm ² cm ⁻²
20	11,5 b	12,5 b	53,7 b	1193 a	5,0 b
30	14,5 a	19,0 a	57,5 a	1083 b	5,8 a
EPM [†]	1,09	0,73	3,94	98,9	0,20

Letras na coluna comparam médias entre alturas do dossel ($P < 0,05$).

[†]EPM = Erro padrão da média.

A TCF, a TCC e a taxa de crescimento total (TCT) foram afetados pelo período de exclusão ($P = 0,0011$, $P < 0,0001$ e $P = 0,0006$, respectivamente) e pela altura do dossel ($P = 0,0337$, $P < 0,0001$ e $P = 0,0155$, respectivamente). A TSF foi afetada apenas pela altura ($P = 0,0117$) e a TAL apenas pelo período de exclusão ($P = 0,0003$). Em geral TAL, TCF, TCC e TCT foram menores no pasto do que dentro das gaiolas (Tabela 3.6). Dosséis de 30 cm tiveram maiores TCF, TCC, TCT e TSF (Tabela 3.7).

Tabela 3.6 – Taxa de acúmulo líquido (TAL), taxa de crescimento de folhas (TCF) e de colmo (TCC) e taxa de crescimento total (TCT) do capim Mulato II em resposta a quatro períodos de exclusão (0, 14, 21 e 28 dias) durante dois verões agrostológicos em Piracicaba, SP, Brasil.

Período de exclusão	TAL	TCF	TCC	TCT
dias	----- kg MS ha ⁻¹ dia ⁻¹ -----			
Pasto [†]	76,9 c	86,3 c	1,8 c	88,1 c
14	87,3 b	93,7 bc	3,1 b	96,8 bc
21	97,2 a	105,5 a	3,3 b	108,8 a
28	95,7 ab	103,1 ab	3,9 a	107,1 ab
EPM [‡]	4,97	3,96	0,45	3,91

Letras na coluna comparam médias entre períodos de exclusão ($P < 0,05$).

[†]Pasto refere-se ao dia zero por se tratar das medições feitas fora das gaiolas no dia da exclusão do pastejo.

[‡]EPM = Erro padrão da média.

Tabela 3.7 – Taxa de crescimento de folhas (TCF) e de colmo (TCC), taxa de crescimento total (TCT) e taxa de senescência de folhas (TSF) do capim Mulato II em resposta a duas alturas do dossel no momento da exclusão (20 e 30 cm) durante dois verões agrostológicos em Piracicaba, SP, Brasil.

Altura	TCF	TCC	TCT	TSF
cm	----- kg MS ha ⁻¹ dia ⁻¹ -----			
20	93,4 b	2,3 b	96,0 b	9,6 b
30	101,0 a	3,7 a	105,1 a	13,0 a
EPM [†]	3,11	0,48	3,45	2,25

Letras na coluna comparam médias entre alturas do dossel ($P < 0,05$).

[†]EPM = Erro padrão da média.

3.5 DISCUSSÃO

A TAPF é uma característica morfogênica chave por afetar diretamente o CFF, a DPP e NFV, que são as principais características estruturais do dossel (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996). A relação da TAPF com a DPP está no fato de que a produção de um novo primórdio foliar também forma uma nova gema axilar que pode dar início ao desenvolvimento de um novo perfilho (LEMAIRE; AGNUSDEI, 2000; NABINGER; PONTES, 2001) e, por essa razão, a expectativa é de que quanto maior a TAPF, maior também seja a DPP. Esse padrão foi observado quando são avaliados as alturas de dossel, uma vez que a magnitude de aumento na TAPF e DPP na altura de 20 cm em relação à altura de 30 foi semelhante (8 e 10% para TAPF e DPP, respectivamente) (Tabelas 3.3 e 3.5). No entanto, olhando isoladamente para a maior TAPF no período de exclusão de 14 dias e a não correspondência de maior DPP para esse

tratamento, uma possível explicação é o fato da vegetação no momento da exclusão do pastejo nos pastos mantidos a 20 cm já estar interceptando mais que 95% da radiação solar (Capítulo 2; Tabela 2.6), o que ilustra a alta competição por luz entre perfilhos, o que pode ter inibido o desenvolvimento das gemas. Essa inibição é decorrente da modificação na composição espectral da luz que penetra no dossel com diminuição da razão vermelho:vermelho distante (V:Vd) (GAUTIER; VARLET-GRANCHER; HAZARD, 1999).

O NFV é o produto da TAPF pela DVF (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996). Assim, a semelhança na DVF entre os períodos de exclusão e a TAPF maior apenas no período de 14 dias (Tabela 3.2), mas com valores semelhantes aos dos demais períodos, resultaram em semelhanças no NFV entre os períodos de exclusão. Já a similaridade no NFV também entre as alturas do dossel ocorreu devido aos maiores valores da DVF em dosséis de 30 cm (Tabela 3.5) terem sido compensadas pelos menores valores na TAPF nessa altura (Tabela 3.3). A semelhança no NFV entre os tratamentos é uma resposta esperada, pois o NFV é determinado geneticamente (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996) e, conseqüentemente, é um valor relativamente constante para um dado genótipo (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996; MATTHEW et al., 2000; NABINGER; PONTES, 2001; ZANINI; SANTOS; SBRISIA, 2012).

A razão entre a TALF e a TAPF determina o tamanho final da folha (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996). Assim, o tamanho final médio das folhas será maior quanto maior for a TALF e/ou menor for a TAPF. Os maiores valores de CFF observados no período de 28 dias (Tabela 3.4) foram, portanto, essencialmente o resultado da maior TALF (Tabela 3.2), uma vez que, com exceção do período de 14 dias (com TAPF superior às dos demais períodos), não houve diferença na TAPF entre os períodos de exclusão (Tabela 3.2). Duru e Ducrocq (2000) também afirmaram que o comprimento da lâmina foliar apresenta correlação positiva com sua taxa de alongamento, e também com o comprimento do colmo. Isso é consistente com os resultados do presente estudo, uma vez que as três variáveis apresentaram padrão de resposta semelhantes, sendo que os menores valores foram observados fora da gaiola e em dosséis de 20 cm, e os maiores valores nos períodos mais longos de exclusão e em dosséis de 30 cm (Tabelas 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5). Aqueles autores comentaram que a produção de células de uma determinada folha em desenvolvimento cessa quando o ápice dessa folha é exposta do pseudocolmo e, dessa forma, quanto maior o comprimento do pseudocolmo, maior será o percurso da folha em expansão até sua exposição e, portanto, maior também será o período de produção celular e maior número de células produzidas, resultando em maior comprimento final da folha.

O IAF de um dossel forrageiro é determinado pelo produto entre o tamanho médio de folhas, a DPP e o NFV (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996; MATTHEW et al., 2000). Assumindo

que para um determinado genótipo a relação área foliar:comprimento foliar é constante (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996; NABINGER; PONTES, 2001), as diferenças encontradas no IAF entre os períodos de exclusão (Tabela 3.4) certamente foram resultado de diferenças no CFF, dado que não foram detectadas diferenças na DPP e no NFV entre os períodos de exclusão. A ausência de diferenças no NFV entre as alturas e a menor DPP a 20 cm (Tabela 3.5) sugere que o maior IAF em dosséis de 30 cm (Tabela 3.5) também foi resultado do maior CFF para essa altura. Matthew et al. (2000) salientaram que em gramíneas o comprimento da folha é o principal determinante da área foliar da vegetação. Como a TALF foi a variável determinante do CFF, a TALF foi a característica morfogênica determinante do IAF.

Em espécies forrageiras de clima tropical, o alongamento de colmos é importante por afetar significativamente a estrutura do dossel e as relações luminosas (SBRISSIA; DA SILVA, 2001). A TALC e o CMC apresentaram padrões de resposta semelhantes onde, de forma geral, quanto mais longo o período de exclusão e maior a altura do dossel, maior também foi a TALC e o CMC (Tabelas 3.2 e 3.4). Diferentemente do que ocorre nas espécies forrageiras de clima temperado onde o alongamento do colmo ocorre apenas na transição do estágio vegetativo para o reprodutivo (MOORE; MOSER, 2010), em muitas gramíneas tropicais o alongamento de colmo ocorre também no estágio vegetativo quando a interceptação de luz pelo dossel ultrapassa 95%, situação que caracteriza competição intraespecífica por luz (DA SILVA; SBRISSIA; PEREIRA, 2015). Esse tipo de competição certamente ocorre quando pastos sob lotação contínua são manejados mais altos e em pastos não pastejados, principalmente quando a exclusão do pastejo é longa. Isso é corroborado pelos maiores valores de IAF, que é o principal determinante da interceptação de luz, medidos nos dosséis de 30 cm (Tabela 3.5) e nos períodos de exclusão mais longos (Tabela 3.4). Nessas situações, ocorre diminuição da relação $V:V_d$ na radiação no interior do dossel desencadeando o alongamento do colmo (MORELLI; RUBERTI, 2000). O alongamento do colmo em situação de alta competição por luz entre perfilhos tem sido amplamente relatada em gramíneas forrageiras tropicais (PEDREIRA; PEDREIRA; DA SILVA, 2009; SANTOS et al., 2011; ZANINI; SANTOS; SBRISSIA, 2012; PEREIRA et al., 2018).

Mesmo com a maior DPP nos dosséis de 20 cm (Tabela 3.5), maiores valores de TCF e TCC foram observados a 30 cm (Tabela 3.7), reflexo das maiores taxas de alongamento desses componentes (Tabela 3.3), resultando em maior TCT nos dosséis de 30 cm (Tabela 3.7). No entanto, a TSF também foi maior para nos dosséis de 30 cm (Tabela 3.7) e, por essa razão, não houve diferença na TAL entre as alturas. Quanto aos períodos de exclusão, a TCF e a TCC seguiram o mesmo padrão das taxas de alongamento desses componentes e foram maiores nos

períodos de exclusão mais longos e menor fora das gaiolas (pasto) (Tabelas 3.2 e 3.6). Como a participação relativa da TCC na TCT foi baixa (2% no pasto e 3,3% em média nos períodos de 14, 21 e 28 dias dentro das gaiolas), a TCT seguiu o padrão da TCF e, devido à semelhança na TSF entre os períodos, o mesmo foi observado também para a TAL (Tabela 3.6). Isso permite afirmar que a TALF foi a característica morfogênica determinante da TAL quando a vegetação foi excluída do pastejo é consistente com o reportado por Durand, Schäufele e Gastal (1999) e Pompeu et al. (2013) que escreveram que o alongamento foliar é uma variável morfogênica decisiva da produtividade de pastagens. Isso está associado ao fato da TALF promover aumento na área foliar fotossinteticamente ativa resultando em maior acúmulo de forragem (POMPEU et al., 2013). A dimensão do aparato fotossintético do dossel é representado pelo IAF e determina a capacidade de fixar carbono para o crescimento (BARKER et al., 2010). De fato, Yasuoka et al. (2018) mostraram que maiores valores de IAF estão associados a maiores valores de fotossíntese do dossel e de AF em dosséis de capim Mulato II mantidos a 40 cm de altura em comparação aos mantidos a 10 e 25 cm, o que enfatiza a importância da área foliar no desempenho produtivo desse capim. Esses relatos são condizentes com os resultados do presente estudo, pois o mesmo padrão de resposta de TALF foi observado para o CFF, o IAF e a TAL. Horst, Nelson e Asay (1978) também encontraram alta correlação entre TALF e desempenho produtivo em 14 genótipos de festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.) e sugeriram que essa característica fosse um critério para estimar o potencial produtivo de genótipos em programas de melhoramento genético.

A menor TAL no pasto em comparação com a vegetação sob exclusão (Tabela 3.6) mostra que quando a vegetação é isolada do pastejo pela gaiola, as alterações morfogênicas e estruturais resultam em AF inflacionado. Essa superestimativa parece ser maior ainda quando a exclusão do pastejo é mais longa, visto que nos períodos de 21 e 28 dias as taxas de acúmulo líquido foram 26 e 24% maiores comparadas àquela do pasto, enquanto que no período de exclusão de 14 dias esse valor foi 14% maior. Uma das justificativas de Carvalho et al. (2000) e Carnevali et al. (2001) para a ausência de diferenças no AF entre as alturas de dossel em cultivares de *Cynodon* spp. manejados sob lotação contínua foi a de que o método de gaiolas teria subestimado o AF nos pastos manejados com dosséis mais altos, uma vez que nessas condições a interceptação de luz de 95% é atingida rapidamente após a exclusão, resultando em erros na estimativa do acúmulo devido à redução na taxa de acúmulo de forragem. Os resultados do presente estudo não dão suporte a esse argumento, pois independentemente da altura do dossel no momento da exclusão, a interceptação de luz pelo dossel já ultrapassava 95% (Capítulo 2; Tabela 2.6). Isso caracteriza dosséis altos, e ainda assim o AF foi superestimado.

Bortolo et al. (2001) especularam que a utilização de gaiolas em dosséis altos subestimaria o AF porque a exclusão do pastejo nessa condição aumentaria o autossombreamento diminuindo a taxa de AF. Os resultados do presente estudo também não suportam essa hipótese, pois as taxas de crescimento (principalmente de folhas) foram maiores nas gaiolas do que no pasto, resultando em AFs superestimados. Outra possível razão para a menor TAL no pasto em relação às gaiolas é o efeito de pisoteio dos animais que, segundo Drewry, Cameron e Buchan (2008), causa danos físicos às plantas, quebra dos agregados do solo, e compactação do solo, efeitos esses ausentes na vegetação protegida do pastejo, resultando em redução da capacidade produtiva do pasto.

3.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em pastos de capim Mulato II manejados sob lotação contínua com taxa de lotação variável, a TALF e a TALC são as variáveis morfogênicas mais afetadas pela exclusão do pastejo por meio do uso de gaiolas de exclusão, sendo a TALF o determinante dos maiores valores de CFF, IAF, TCF e TCT nos períodos mais longos de exclusão. Como resultado, a TAL dentro das gaiolas é maior que fora delas, resultando em acúmulos superestimados em 14, 26 e 24% quando os períodos de exclusão foram de 14, 21 e 28 dias, respectivamente. Dosséis de 30 cm em capim Mulato II tiveram maior IAF, mesmo com a DPP sendo maior na altura de 20 cm, consequência dos valores maiores de TALF e menores de TAPF, resultando em maior CFF. A altura de dossel de 30 cm registrou também maiores TCF e TCC, resultado dos maiores valores de TALF e TALC, mas foram compensadas pelos maiores valores de TSF resultando na ausência de diferenças na TAL entre as alturas.

REFERÊNCIAS

- 't MANNETJE, L. Measuring quantity of grassland vegetation. In: 't MANNETJE, L. (Ed.). **Measurement of grassland vegetation and animal production**. Queensland: CAB International, 1978. p. 63–95.
- BARKER, D. J. et al. Analysis of herbage mass and herbage accumulation rate using gompertz equations. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 3, p. 849–857, 2010.
- BIRCHAM, J. S.; HODGSON, J. The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. **Grass and Forage Science**, v. 38, n. 4, p. 323–331, 1983.
- BORTOLO, M. et al. Avaliação de uma pastagem de Coastcross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) sob diferentes níveis de matéria seca residual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 627–635, 2001.

- CARNEVALLI, R. A. et al. Desempenho de ovinos e respostas de pastagens de Coastcross submetidas a regimes de desfolha sob lotação contínua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 6, p. 919–927, 2001.
- CARTER, J. F. Herbage sampling for yield: tame pastures. In: AMERICAN SOCIETY AGRONOMY et al. (Ed.). **Pasture and Range: research techniques**. Ithaca: Comstock Publishing Associates, 1962. p. 90–101.
- CARVALHO, C. A. B. et al. Demografia do perfilhamento e taxas de acúmulo de matéria seca em capim “Tifton 85” sob pastejo. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 591–600, 2000.
- CHAPMAN, D. F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: BARKER, M. J. (Ed.). **Grassland for our world**. Wellington: SIR Publishing, 1993. p. 55–64.
- COWLISHAW, S. J. The effect of sampling cages on the yields of herbage. **Grass and Forage Science**, v. 6, n. 3, p. 179–182, 1951.
- DA SILVA, S.; SBRISSIA, A. F.; PEREIRA, L. E. T. Ecophysiology of C4 forage grasses - understanding plant growth for optimising their use and management. **Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 598–625, 2015.
- DEVANTIER, B. P. et al. Measuring production of continuously grazed hill pastures. **Proceedings of the New Zealand Grasslands Association**, v. 60, p. 157–160, 1998.
- DREWRY, J. J.; CAMERON, K. C.; BUCHAN, G. D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing - A review. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, n. 3, p. 237–256, 2008.
- DURAND, J. L.; SCHÄUFELE, R.; GASTAL, F. Grass leaf elongation rate as a function of developmental stage and temperature: morphological analysis and modelling. **Annals of Botany**, v. 83, n. 1, p. 577–588, 1999.
- DURU, M.; DUCROCQ, H. Growth and senescence of the successive grass leaves on a tiller. Ontogenic development and effect of temperature. **Annals of Botany**, v. 85, n. 5, p. 635–643, 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.
- GAUTIER, H.; VARLET-GRANCHER, C.; HAZARD, L. Tillering responses to the light environment and to defoliation in populations of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) selected for contrasting leaf length. **Annals of Botany**, v. 83, p. 423–429, 1999.
- HEADY, H. F. Effect of cages on yield and composition in the California annual type. **Journal of Range Management**, v. 10, n. 4, p. 175, 1957.
- HORST, G. L.; NELSON, C. J.; ASAY, K. H. Relationship of leaf elongation to forage yield of tall fescue genotype. **Crop Science**, v. 18, n. 5, p. 715, 1978.
- LEMAIRE, G.; AGNUSDEI, M. Leaf tissue turnover and efficiency of herbage utilization. In: LEMAIRE, G. et al. (Ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CABI Publishing, 2000. p. 264–288.

- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A. W. (Ed.). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford: CABI International, 1996. p. 3–36.
- LITTEL, R. C. et al. **SAS for Mixed Models**. 2nd. ed. Cary: SAS Institute, 2006, 813p.
- MATTHEW, C. et al. Tiller dynamics of grazed swards. In: LEMAIRES, G. et al. (Ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CABI Publishing, 2000. p. 127–150.
- MAZZANTI, A.; LEMAIRES, G. The effect of nitrogen fertilisation upon the herbage production of tall fescue swards continuously grazed with sheep. 2. Consumption and efficiency of herbage utilisation. **Grass and Forage Science**, v. 49, p. 352–359, 1994.
- 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, SP.
- MOORE, K. J.; MOSER, L. E. Quantifying developmental morphology of perennial grasses. **Crop Science**, v. 35, n. 1, p. 37, 2010.
- MORELLI, G.; RUBERTI, I. Update on light signaling shade avoidance responses. driving auxin along lateral routes. **Plant Physiology**, v. 122, p. 621–626, 2000.
- NABINGER, C.; PONTES, L. S. . Morfogênese de plantas forrageiras e estrutura do pasto. In: MATTOS, W. R. S. (Org.). **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba, SP: FEALQ, 2001, p. 755-771.
- NASCIMENTO JÚNIOR, D. et al. Fundamentos para o manejo de pastagens: evolução e atualidade. In: OBEID, J. A. et al. (Ed.). **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM**, 1., 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2002. p.149-196.
- PARSONS, A. J.; COLLETT, B.; LEWIS, J. Changes in the structure and physiology of a perennial ryegrass sward when released from a continuous stocking management: continuously stocked swards. **Grass and Forage Science**, v. 39, p. 1–9, 1984.
- PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C. G. S.; DA SILVA, S. C. Acúmulo de forragem durante a rebrotação de capim-xaraés submetido a três estratégias de desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 4, p. 618–625, 2009.
- PEDREIRA, C. G. S. Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: XXXIX Reunião Anual da SBZ, 2002. p. 100–150.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633–1644, 2007.
- PEREIRA, L. E. T. et al. Contribution of basal and aerial tillers to sward growth in intermittently stocked elephant grass. **Grassland Science**, v. 64, n. 2, p. 108–117, 2018.
- POMPEU, R. C. F. F. et al. Fluxo de biomassa em capim-massai durante o estabelecimento e rebrotação com e sem adubação nitrogenada. **Revista Ceres**, v. 60, n. 3, p. 363–371, 2013.
- SANTOS, M. E. R. et al. Características morfogênicas e estruturais de perfilhos de capim-braquiária em locais do pasto com alturas variáveis. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 3, p. 535–542, 2011.

SBRISSIA, A. F.; DA SILVA, S. C. O ecossistema de pastagens e a produção animal. In: Sociedade Brasileira de Zootecnia. (Org.). **A produção animal na visão dos brasileiros**. Piracicaba, SP: FEALQ, 2001, p. 731-754.

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

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 4. ed. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute State University Press, 1990.

WILLIAMS, S. S. Microenvironment in relation to experimental techniques. **Grass and Forage Science**, v. 6, n. 4, p. 207–217, 1951.

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.

YASUOKA, J. I. et al. Canopy height and N affect herbage accumulation and the relative contribution of leaf categories to photosynthesis of grazed brachiariagrass pastures. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 1, p. 183–192, 2018.

ZANINI, G. D.; SANTOS, G. T.; SBRISSIA, A. F. Frequencies and intensities of defoliation in Aruana guineagrass swards: Morphogenetic and structural characteristics. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 8, p. 1848–1857, 2012.

4 MICROCLIMA DENTRO DE GAIOLAS DE EXCLUSÃO E SEUS IMPACTOS NO ACÚMULO DE FORRAGEM EM EXPERIMENTOS DE PASTEJO SOB LOTAÇÃO CONTÍNUA

Resumo

No uso de gaiolas de exclusão em experimentos de pastejo sob lotação contínua, a barreira física imposta pela gaiola e as diferenças morfofisiológicas entre dossel excluído e o não excluído do pastejo podem afetar o microclima dentro da gaiola. Essas alterações, por sua vez, podem afetar o crescimento da vegetação prejudicando a exatidão do método em estimar o acúmulo de forragem (AF). Neste estudo avaliou-se como a exclusão do pastejo por 21 dias utilizando gaiolas afeta a temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR) em pastos de capim Mulato II (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) mantidos a 20 e 30 cm sob lotação contínua. Avaliou-se também o efeito da presença física da gaiola na velocidade média do vento (U média) e na radiação solar global (Rg) e como esses efeitos impactam a evapotranspiração (ET) e a estimativa de AF. Independentemente da altura do dossel (20 ou 30 cm), diferenças na arquitetura do dossel de dentro da gaiola em relação àquela fora dela não afetaram a T e UR. A presença física da gaiola reduziu em 5% a Rg embora tenha havido variação na magnitude da diferença entre a Rg dentro e fora da gaiola ao longo de um dia de céu limpo, o que não ocorreu em dias nublados. A estrutura da gaiola também reduziu em 4,4% a U média. Os menores valores de Rg e U média resultaram em menor ET no interior da gaiola e também reduziram o crescimento das plantas dentro das gaiolas compensando em certo grau o acúmulo superestimado pelo método.

Palavras-chave: Convert HD 364; Microambiente; Pastagem; Produção de forragem; *Urochloa* spp.

Abstract

When using enclosure cages in continuously stocked grazing experiments a physical barrier imposed by the cage and the morphological and physiological contrasts in canopy attributes between the vegetation that is excluded and non-excluded from grazing can affect the microclimate inside the cage. These contrasts, in turn, can affect plant growth, reducing the accuracy of the method to estimate forage accumulation (FA). In this study we evaluated how the exclusion from grazing for 21 days using enclosure cages in Mulato II brachiariagrass (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) pastures affected air temperature (T) and relative humidity (RH). We also evaluated the effect of the cage on wind speed (WS), and global solar radiation (SR) and how these effects impact evapotranspiration (ET) and FA estimates on pastures kept at 20 and 30 cm under continuous stocking. Regardless of canopy height, differences in canopy architecture between inside and outside the cage did not affect T and RH. The cage structure reduced SR by 5%, although there was variation in the magnitude of the difference in Rg between inside and outside the cage over a clear day, which does not happen on overcast days. The cage structure also reduced WS by 4.4%. Smaller SR and WS values resulted in less ET and reduced plant growth inside the cages, compensating to some extent the overestimated FA.

Keywords: Convert HD 364; Forage production; Microenvironment; Pasture; *Urochloa* spp.

4.1 INTRODUÇÃO

Gaiolas de exclusão são frequentemente utilizadas para estimar o acúmulo de forragem (AF) em experimentos de pastejo que utilizam lotação contínua (COWLISHAW, 1951; HEADY, 1957; BARKER et al., 2010). No entanto, essa técnica tem sido alvo de críticas (WILLIAMS, 1951; HEADY, 1957), pois há evidências da falta de exatidão nas estimativas de AF decorrentes do uso da técnica devido ao impacto que as gaiolas teriam sobre o microclima nas áreas excluídas do pastejo (COWLISHAW, 1951) as quais podem afetar a relação planta-ambiente com consequente alteração na velocidade de crescimento das plantas dentro das gaiolas. Isso ocorre porque a gaiola representa uma barreira física que pode diminuir a circulação de ar e a radiação solar que atinge a vegetação excluída do pastejo (COWLISHAW, 1951; WILLIAMS, 1951; HEADY, 1957), além de diminuir a perda de calor latente, fatores que em conjunto podem afetar a temperatura dentro das gaiolas (HEADY, 1957). Williams (1951) observou que em pastos de azevém perene (*Lolium perenne* L.) consorciado com trevo branco (*Trifolium repens* L.) os valores de velocidade do vento e radiação solar dentro de gaiolas foram equivalentes a 74% e 89%, respectivamente, do medido em campo aberto.

Diferenças microclimáticas entre o interior da gaiola e o ambiente externo a ela também podem ocorrer porque o uso de gaiolas de exclusão permite que a vegetação que estava antes sendo frequentemente pastejada cresça, modificando significativamente a estrutura do dossel dentro das gaiolas. Parsons, Collett e Lewis (1984) observaram aumento na proporção de folhas, no índice de área foliar (IAF) e na fotossíntese do dossel ao avaliarem o efeito da exclusão do pastejo por meio de gaiolas de exclusão em pastos de azevém perene (*Lolium perenne* L.) mantidos com IAF próximo de 1. Levando em consideração que no processo de fotossíntese a água é perdida da folha para a atmosfera (SHARKEY et al., 2013) e que a água possui alto calor específico, a exclusão do pastejo pode alterar variáveis microclimáticas como umidade relativa (UR) e temperatura do ar (T) dentro das gaiolas.

Existem ainda suposições de que erros na estimativa de AF pelo método de gaiolas de exclusão estejam associados à condição do dossel no momento da exclusão do pastejo (e.g., altura do dossel), pois durante o período de exclusão do pastejo alterações morfofisiológicas no dossel ocorreriam de forma distinta dependendo da condição da vegetação no momento da alocação das gaiolas (PARSONS; COLLETT; LEWIS, 1984; CARVALHO et al., 2000; BORTOLO et al., 2001; CARNEVALLI et al., 2001; PEDREIRA, 2002; BARKER et al., 2010). No entanto, não há estudos que avaliaram se esses possíveis erros podem também estar associados às mudanças microclimáticas dentro das gaiolas de exclusão dependendo da condição do dossel no momento da exclusão do pastejo.

Embora pequenas diferenças no microambiente entre áreas protegidas e não protegidas do pastejo já sejam suficientes para causar erros na estimativa do AF (WILLIAMS, 1951), esses efeitos geralmente são frequentemente desconsiderados (HEADY, 1957). Esta pode ser uma das razões para a escassez de estudos avaliando se de fato alterações microclimáticas ocorrem dentro das gaiolas. Estudos publicados não consideraram de forma isolada as alterações microclimáticas causadas pela própria estrutura da gaiola e aquelas pela vegetação de dentro da gaiola que se torna cada vez mais diferente com o de fora dela ao longo do tempo. Nenhuma tentativa parece também ter sido feita para estimar o impacto dessas alterações microclimáticas na evapotranspiração (ET) e no AF dentro das gaiolas. A elucidação dessas questões poderia auxiliar na identificação e no entendimento de prováveis limitações do método de gaiolas de exclusão e na interpretação dos dados de AF estimado por essa técnica.

Os objetivos deste trabalho foram: I. Descrever e explicar como a exclusão do pastejo com o uso de gaiolas de exclusão durante 21 dias em pastos de capim Mulato II (*Brachiaria brizantha* × *B. decumbens* × *B. ruziziensis*) manejados sob lotação contínua a 20 e 30 cm de altura afetam a temperatura e umidade relativa do ar no microambiente da vegetação; e II. Avaliar o efeito das gaiolas de exclusão na circulação do ar e na radiação solar global incidindo sobre a vegetação excluída do pastejo e estimar a magnitude desse efeito sobre a estimativa de acúmulo de forragem através do modelo CROPGRO – *Perennial Forage* e na evapotranspiração em pastos de capim Mulato II manejados sob lotação contínua a 20 e 30 cm de altura.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram desenvolvidos dois experimentos (Experimentos 1 e 2) na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em Piracicaba, SP (22°42’30” S, 47°30’00” W, 580 m alt.). O clima do local é classificado como Cwa (mesotérmico úmido subtropical de inverno seco) de acordo com Sistema Köppen-Geiser de classificação (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Os dados climáticos do período experimental (Tabela 4.1) foram obtidos no posto meteorológico, adjacente ao local onde foi conduzido o Experimento 2 e situado a 2 km da área onde foi conduzido o Experimento 1.

Tabela 4.1 – Pluviosidade e temperaturas máxima e mínima durante o período experimental e média histórica (1917–2019).

Variável climática	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<u>2017</u>												
Temperatura Máx. (°C)	30,2	32,2	30,6	28,3	25,2	25,1	25,3	26,3	32,1	30,3	29,6	31,0
Temperatura Mín. (°C)	20,3	20,0	18,4	16,7	13,8	11,8	9,5	12,3	14,0	17,3	16,9	19,4
Pluviosidade (mm)	334,5	88,8	137,0	128,5	105,7	17,8	0,0	50,6	46,7	80,5	235,7	148,6
<u>2018</u>												
Temperatura Máx. (°C)	30,3	30,2	32,1	29,6	26,2	27,5	25,4	25,7	28,7	28,9	29,3	32,3
Temperatura Mín. (°C)	19,4	18,2	19,6	15,9	14,8	12,9	9,8	11,3	13,9	16,9	17,6	18,5
Pluviosidade (mm)	225,0	71,6	204,5	35,1	161,6	8,9	2,4	105,7	54,0	154,4	241,2	52,2
<u>2019</u>												
Temperatura Máx. (°C)	33,4	30,2	30,5	29,8	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura Mín. (°C)	20,4	19,4	19,5	17,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Pluviosidade (mm)	145,8	152,9	73,4	162,4	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>1917-2018[†]</u>												
Média hist. das Temp. Máx. (°C)	30,0	30,4	30,1	28,5	26,1	25,1	25,4	27,4	28,3	29,2	29,7	29,9
Média hist. das Temp. Mín. (°C)	19,1	19,1	18,4	15,7	12,3	10,6	9,8	11,2	3,6	15,9	16,9	18,4
Pluviosidade hist. (mm)	229,2	178,3	142,0	66,5	55,1	44,3	28,3	30,0	31,9	109,9	134,6	197,9

[†]Média de 102 anos.

4.2.1 Experimento 1

Com o objetivo de avaliar apenas o efeito da exclusão do pastejo sobre a vegetação em comparação à vegetação fora das gaiolas (pastejada) sem considerar o efeito da presença física da gaiola de exclusão, foi conduzido um experimento em uma área de pastagem de capim Mulato II estabelecida em janeiro de 2012 conforme descrito por Silva et al. (2016) que foi dividida em seis unidades experimentais (pastos) de 200 m². O solo da área é um Nitossolo Vermelho Eutroférico típico (EMBRAPA, 2006) de alta fertilidade, ou Kandiudalfic Eutrudox (SOIL SURVEY STAFF, 1990). De acordo com análise de terra (camada 0–20 cm) feita em maio de 2016, o solo da área experimental apresentou as seguintes características químicas: pH (CaCl₂) = 6,4; matéria orgânica = 42 g cm³; P (resina trocadora de íons) = 57 mg dm³; K = 9,9 mmol_c dm³; Ca = 53 mmol_c dm³; Mg = 22 mmol_c dm³; H + Al = 38 mmol_c dm³; soma de bases = 84,9 mmol_c dm³; capacidade de troca catiônica = 122,9 mmol_c dm³; saturação por bases = 69%. Decidiu-se que, com esses valores, não havia necessidade de correção da fertilidade.

Os tratamentos consistiram de duas intensidades de desfolhação que corresponderam às alturas de dossel de 20 e 30 cm mantidas constantes ao longo do período experimental. A imposição dos tratamentos de desfolhação seguiu o protocolo experimental do tipo “*mob stocking*”, objetivando mimetizar pastejo sob lotação contínua com taxa de lotação variável, visando a manutenção das “condições-alvo”, tolerando-se uma amplitude máxima de 10% de variação para as alturas estabelecidas para os pastos mantidos a 20 (18 a 22) e 30 (27 a 33) cm. Assim, os animais foram conduzidos aos pastos tão logo as metas de altura se aproximaram do limite superior de altura para cada intensidade e o pastejo encerrado quando a altura atingia o limites mínimos da variação permitida. O monitoramento da altura do dossel foi feito três vezes por semana em 50 pontos por unidade experimental durante o período experimental, sendo as leituras realizadas com auxílio de uma transparência de acetato e um bastão graduado.

Para a realização do pastejo foram utilizados vacas e novilhas leiteiras mestiças não lactantes (~450 kg de peso corporal) que, nos momentos em que não estivessem pastejando as parcelas experimentais, permaneceram em área de pastagem adjacente à experimental, também cultivada com o capim Mulato II, onde os animais tiveram livre acesso à água e sal mineral.

Em 21 Out. 2016 foi realizada uma roçada mecânica de uniformização a ~10 cm de altura e adubação com 50 kg N ha⁻¹, ambas após um pastejo intenso por bovinos para remoção da massa de forragem acumulada. A partir dessa data foi dado início a imposição dos tratamentos com aplicação das metas de altura até o início do período experimental, que foi de 15 Fev. a 11 Mai. 2017, de 13 Dez. 2017 a 3 Abr. 2018, e de 30 Nov. 2018 a 5 Abr. 2019. Entre o final de

um verão e o seguinte (de maio a dezembro de 2017 e abril a novembro de 2018) as condições alvo (altura de dossel nas unidades experimentais) foram mantidas por pastejo.

Para medir a T e UR, foram instalados dentro de gaiolas de exclusão dois termohigrômetros modelo HMP35 (Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA) (Figuras 4.1a e 4.1b) em dois dos pastos (um mantido a 20 cm e o outro a 30 cm de altura) pertencentes à mesma repetição. As gaiolas eram cilíndricas com 0,64 m² cm, 1,2 m de altura e abertas nas duas extremidades. A tela utilizada na confecção das gaiolas tinha malha de 10 × 10 cm e fios com diâmetro de 5 mm pintados na cor branca. Cada termohigrômetro foi instalado dentro de uma gaiola de exclusão a 30 cm da superfície do solo em locais que representavam a condição média do dossel, sendo a instalação desses sensores alternada entre os dois pastos a cada 21 dias. Durante os eventos de pastejo ao longo de cada ciclo de 21 dias, a gaiola de exclusão que cercundava o sensor que serviu como referência foi retirada permitindo que o dossel daquele local fosse pastejado de forma similar ao restante do pasto. A vegetação dentro da gaiola em que o outro sensor estava instalado permaneceu excluída do pastejo, conforme preconiza a técnica, para medições de acúmulo de forragem. Os sensores foram protegidos por abrigos multiplacas e foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados modelo CR1000 (Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA), que coletou informações a cada segundo e armazenou as médias das leituras a cada 15 minutos, bem como as médias diárias. A expectativa era a de que houvesse um progressivo aumento nas diferenças morfofisiológicas entre a vegetação protegida e não protegida do pastejo com o decorrer do período de exclusão fazendo com que diferenças nas variáveis microclimáticas entre o ambiente interno e externo da gaiola também aumentassem com o tempo. Por isso, os dados do período total de exclusão (21 dias) foram agrupados em três subperíodos: 1 a 7 dias, 8 a 14 dias e 15 a 21 dias.

Figura 4.1 – (a) Abrigo multiplacas utilizado para proteger o sensor de temperatura e umidade relativa do ar dentro da gaiola de exclusão e (b) detalhe do abrigo multiplacas.

Foram aplicadas doses de $187 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N e de K_2O fracionadas em três aplicações iguais de $62,4 \text{ kg ha}^{-1}$ em 9 Jan., 4 Fev. e 3 Mar. 2017 no primeiro verão agrostológico. No segundo e terceiro verões agrostológicos as doses de N e K_2O foram de $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ fracionadas em quatro aplicações de 50 kg ha^{-1} , sendo as aplicações feitas em 4 Jan., 23 Jan., 27 Fev. e 21 Mar. 2018 (verão 2) e 7 Dez. 2018, 8 Jan., 19 Fev. e 12 Mar. 2019 (verão 3). A fonte de N foi o NH_4NO_3 e a de K_2O foi o KCl.

4.2.2 Experimento 2

Para quantificar apenas o efeito da presença física das gaiolas sobre o ambiente em seu interior (sem o efeito da vegetação), foram instalados no posto meteorológico da ESALQ um sensor de radiação solar global (Rg) modelo LP02 (Hukseflux, Delft, Holanda) (Figura 4.2a e 4.2b) e um anemômetro de canecas 3101-L (R. M. Young Wind Company, Traverse City, Michigan, EUA) (Figura 4.3b), ambos no centro de gaiolas de exclusão idênticas às utilizadas no experimento 1. Fora das gaiolas foi instalado um anemômetro de canecas modelo 3002-L (R. M. Young Wind Company, Traverse City, Michigan, EUA) (Figura 4.3a). Todos os sensores foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados modelo CR1000 (Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA) que coletou informações a cada segundo e armazenou as médias das leituras a cada 15 minutos, bem como médias diárias.

Para que os sensores fossem instalados a uma altura em que a vegetação local não interferisse nas medições, o sensor de radiação solar global foi instalado a 40 cm do solo e os de velocidade do vento a 60 cm do solo. Os sensores de radiação solar global e de velocidade do vento circundados pelas gaiolas de exclusão mediram isoladamente o efeito das gaiolas sobre as variáveis microclimáticas sem considerar o efeito da vegetação. Como referência foram usados o sensor de velocidade do vento sem a gaiola e o sensor de radiação solar global do posto meteorológico. As avaliações foram feitas de 15 Fev. 2016 a 11 Dez. 2018. Todos os sensores (incluindo os utilizados no Experimento 1) foram previamente testados e calibrados antes de sua instalação.

Figura 4.2 – (a) Sensor de radiação solar global dentro da gaiola de exclusão e (b) detalhe do sensor de radiação solar global.

Figura 4.3 – (a) Anemômetro de canecas fora e (b) dentro da gaiola de exclusão.

Utilizando as leituras de R_g e velocidade média do vento (U média) feitas dentro e fora da gaiola de exclusão também foi quantificado como a estrutura da gaiola afeta na evapotranspiração (ET). O modelo utilizado foi o de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (Eq. 1) (ALLEN et al., 1998):

$$ET = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: Δ = inclinação da curva da pressão de vapor (kPa); R_n = saldo de radiação na superfície da cultura ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); T = temperatura média diária do ar a 2 m de altura ($^\circ\text{C}$); u_2 = velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s = pressão de saturação de vapor (kPa); e_a = pressão de vapor atual (kPa); e $(e_s - e_a)$ = déficit de pressão de vapor do ar (kPa). Para T foram utilizados os valores obtidos do posto meteorológico da ESALQ e para u_2 foram utilizados os valores obtidos pelos sensores instalados fora (referência) e dentro da gaiola de exclusão. Além disso, foram adotados os seguintes valores: $G = 0 \text{ MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$; e $\gamma = 0,063 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$.

A Δ foi calculada utilizando a Equação 2:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot e_s}{(T + 273,3)^2} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde T é a temperatura em $^\circ\text{C}$.

O e_s foi calculado segundo a Equação 3:

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot T}{237,3 + T}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: T = temperatura do sistema (°C).

Para a determinação de e_a foi utilizada a Equação 4:

$$e_a = \frac{(UR \cdot e_s)}{100} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde: UR = umidade relativa do ar (%), sendo esse valor obtido do posto meteorológico da ESALQ. Foi assumido que a estrutura da gaiola não afetou a velocidade média do vento a ponto de alterar a UR e T no ambiente no interior da gaiola e, portanto, os mesmos valores foram utilizados para estimar a ET dentro e fora das gaiolas para ambas as variáveis.

O R_n foi calculado de acordo com a Equação 5:

$$R_n = BOC + BOL \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde: BOC = balanço de ondas curtas ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); e BOL = balanço de ondas longas ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

O BOC foi calculado segundo a Equação 6:

$$BOC = Q_g \cdot (1 - r) \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde: Q_g = radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); e r = albedo. O valor de 0,23 foi assumido para r e para Q_g foram utilizadas as leituras obtidas pelo sensor do posto meteorológico (referência) e pelo sensor instalado dentro da gaiola de exclusão.

O BOL é dada pela Equação 7:

$$BOL = - \left[\sigma \cdot \left(\frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right) \cdot (0,56 - 0,25 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \cdot \frac{Q_g}{Q_{\text{gcs}}} - 0,35 \right) \right] \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde: σ = constante de Stefan-Boltzman ($4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{d}^{-1} \text{K}^{-4}$); $T_{\max}$ = temperatura máxima (K); $T_{\min}$ = temperatura mínima (K); e_a = pressão parcial de vapor d'água da atmosfera (kPa); Q_g = radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); e Q_{gcs} = radiação solar hipotética para um dia de céu claro ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$). Os valores de $T_{\max}$ e $T_{\min}$ foram obtidos do posto meteorológico da ESALQ.

A Q_{gcs} foi obtida pela Equação 8:

$$Q_{\text{gcs}} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z) \cdot Q_o \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde: z = altitude (m); e Q_o = radiação solar extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), que foi calculada de acordo com a Equação 9:

$$Q_o = \frac{J_o}{\pi} \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot h_n \cdot \sin\phi \cdot \sin\delta + \cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \sin h_n\right] \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde: J_o = constante solar ($118,11 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); $\frac{d}{D}$ = relação entre a distância entre a Terra e o Sol na data considerada (d) e a distância média (D) entre a Terra e o Sol; δ = declinação solar (graus); e h_n = ângulo horário do nascer do sol (graus).

O cálculo de $\left(\frac{d}{D}\right)^2$ é dada pela Equação 10:

$$\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot \text{NDA}}{365}\right) \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde: NDA = número do dia do ano, que é contado continuamente do primeiro ao último dia do ano (i.e., varia de 1 a 365 e de 1 a 366 em anos bissextos).

Para calcular a δ foi utilizada a Equação 11:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left[360 \cdot \left(\frac{\text{NDA} - 80}{365}\right)\right] \quad (\text{Eq. 11})$$

O h_n é dado pela Equação 12:

$$h_n = \arccos(-\text{tg}\phi \cdot \text{tg}\delta) \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde: ϕ = latitude (graus e décimos).

Para avaliar o impacto das alterações na Rg e na U média promovidas pelas gaiolas na estimativa de acúmulo de forragem na mesma área onde foi conduzido o experimento 1, foi estimado o acúmulo de forragem por fluxo de tecidos durante os períodos de 9 Jan. a 5 Abr. 2017 e 3 Jan. a 28 Mar. 2018 para comparar o acúmulo dentro da gaiola com o real acúmulo do pasto (AF do pasto). Para tanto, em cada pasto (fora das gaiolas) foram marcados sete perfilhos basais ao longo de três transectos localizados em pontos representativos da média, com 20 cm de distância entre perfilhos, perfazendo um total de 21 perfilhos por unidade experimental. Em cada pasto foram alocadas duas gaiolas de exclusão de mesma configuração das utilizadas no experimento 1 em pontos representativos da condição média da vegetação. Dentro de cada gaiola foram marcados cinco perfilhos basais, totalizando 10 perfilhos dentro de gaiolas de exclusão em cada unidade experimental. O ciclo de avaliação foi de 21 e 28 dias para as gaiolas e o pasto, respectivamente. Ao final de cada ciclo as gaiolas foram realocadas e novos grupos de perfilhos dentro das gaiolas e no pasto (fora das gaiolas) foram selecionados para avaliação. Durante cada ciclo, os perfilhos marcados foram identificados com braçadeiras plásticas e avaliados duas vezes por semana durante o período experimental. Cada folha desses perfilhos foi avaliada com relação às seguintes características: comprimento da lâmina foliar e

classificada como folha em expansão, expandida, senescente e morta. As folhas foram classificadas como em expansão enquanto suas lígulas não estivessem expostas; expandidas quando a lígula estivesse visível e/ou seu crescimento cessasse; senescentes quando a lâmina foliar apresentasse sinais de senescência (necrose e/ou amarelecimento) em até 50% de sua área; e mortas quando mais de 50% da lâmina foliar apresentasse sinais de senescência.

O comprimento das folhas foi medido de acordo com o seu respectivo estágio de desenvolvimento. Nas folhas expandidas o comprimento foi medido da ponta da folha até a lígula. Nas folhas em expansão, procedimento semelhante foi adotado, porém, considerando-se a lígula da última folha completamente expandida como referencial de medida. Nas folhas senescentes foi considerada, por avaliação visual, a porcentagem da lâmina foliar que apresentasse sinais de senescência. Também foi medido o comprimento do colmo (colmo verdadeiro + bainha) que foi considerado como a distância do solo até a lígula da folha mais jovem completamente expandida.

Com esses dados, foram calculadas a taxa de alongamento de folhas pela divisão da variação do comprimento das lâminas foliares em expansão por perfilho pelo número de dias do intervalo de avaliação; a taxa de alongamento de colmos pela divisão da variação média em comprimento de colmo por perfilho pelo número de dias do período de avaliação; e a taxa de senescência de folhas pela divisão da variação média em comprimento da porção senescente da lâmina foliar por perfilho pelo número de dias do intervalo de avaliação.

Com o objetivo de permitir a expressão dos valores das taxas de alongamento de folhas e de colmos e a taxa de senescência de folhas em $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, ao final de cada período de avaliação todos os perfilhos marcados foram coletados e levados ao laboratório para separação em folhas em expansão, folhas expandidas e colmos. Os componentes separados foram então levados à estufa de circulação forçada de ar a 55°C até peso constante e pesados. O peso de cada componente foi dividida pelo comprimento total do respectivo componente correspondente a cada transecto, gerando-se, assim, fatores de conversão (g cm^{-1}) que foram utilizados para converter os dados obtidos em $\text{cm.perfilho}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ em $\text{g.perfilho}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. O fator de conversão de folhas em expansão foi usado para o cálculo da taxa de crescimento de folhas (TCF), o fator de conversão de folhas expandidas usado para o cálculo da taxa de senescência de folhas e o fator de colmos usado para cálculo da taxa de crescimento de colmos (TCC). A multiplicação dos valores obtidos pela densidade populacional de perfilhos (DPP) permitiu a transformação desses valores para $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. As avaliações de DPP foram feitas fora e dentro das gaiolas no último dia de cada ciclo de acúmulo. No pasto (fora das gaiolas), a DPP foi determinada pela contagem do número de perfilhos no interior de duas molduras metálicas

posicionadas em pontos representativos da condição média da vegetação no momento da avaliação. No primeiro ano experimental as molduras mediam $1,33 \times 0,3$ m e no segundo ano $0,75 \times 0,35$ m. Dentro de cada gaiola a DPP foi estimada utilizando uma moldura de $0,75 \times 0,35$ m. O acúmulo líquido foi calculado pela soma da taxa de crescimento de folhas e de colmos subtraída da taxa de senescência de folhas, seguindo a proposta de Bircham e Hodgson (1983).

De posse dos dados foi possível comparar o acúmulo dentro e fora das gaiolas e, assim, quantificar o nível de exatidão do método de gaiolas de exclusão. No entanto, além dessa exatidão ser afetada pelas alterações morfofisiológicas na vegetação excluída do pastejo (capítulos 2 e 3), a presença da gaiola, que pode reduzir a radiação solar e a velocidade do vento, também pode afetar o desenvolvimento das plantas em seu interior (vale ressaltar que o AF no pasto foi estimado usando-se medições feitas em perfilhos fora das gaiolas). Por essa razão, foi utilizado o modelo CROPGRO – *Perennial Forage* para simular o impacto das alterações na Rg e U média geradas pelas gaiolas de exclusão (Experimento 1) no acúmulo de forragem.

Os dados de precipitação pluviométrica utilizados na simulação foram os obtidos do posto meteorológico da ESALQ (Tabela 4.1). Foi assumido que alteração na U média exercida pela estrutura da gaiola não foi suficiente para afetar a temperatura no interior da gaiola e, portanto, os dados de temperaturas máxima e mínima do ar utilizados também foram os obtidos no posto meteorológico da ESALQ. Como dados de Rg e U média foram utilizados as leituras realizadas dentro e fora da gaiola de exclusão. Todos os parâmetros para espécie, cultivar e ecótipo utilizados no modelo foram os apresentados por Pequeno et al. (2018) para o capim Mulato II. Feitas as simulações, foi calculada a porcentagem de variação no AF gerada pela presença da gaiola e essa porcentagem foi aplicada ao acúmulo de forragem estimado por fluxo de tecidos na vegetação dentro das gaiolas.

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados utilizando-se o procedimento MIXED do pacote estatístico SAS® (Statistical Analysis System) (LITTEL et al., 2006). No experimento 1, para T e UR o modelo incluiu os efeitos da gaiola de exclusão (presença ou não da gaiola), altura do dossel (20 e 30 cm), subperíodo de exclusão (1-7, 8-14 e 15-21 dias de exclusão) e suas interações. No experimento 2, para Rg e ET o modelo incluiu os efeitos da gaiola de exclusão, ano, estação do ano e suas interações. Para a U média, ainda no experimento 2, o modelo incluiu os efeitos da gaiola de exclusão, estação do ano e suas interações. Com o objetivo de reduzir a variabilidade dos dados, para a U média o valor médio de cinco dias subsequentes de avaliação foi considerado como uma repetição. Para todas as demais avaliações tanto do experimento 1

quanto do experimento 2, cada dia avaliado foi considerado como uma repetição. Na escolha da matriz de variância e covariância foi utilizada o Critério de Informação de Akaike (AIC) (WOLFINGER, 1993). Gráficos de preditor linear e de quantil-quantil dos resíduos foram utilizados para verificação da normalidade e da homogeneidade de variância dos resíduos. 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%.

Além das análises estatísticas previamente descritas, para comparar os dados de Rg, U, T e UR de dentro e fora das gaiolas foram feitas regressões lineares, sendo a linha de tendência forçada a passar pela origem. No gráfico de regressão para Rg são apresentados o coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) dos dois anos experimentais (2017 e 2018) separadamente e dos dados dos dois anos agrupados. Ainda para Rg, esses mesmos coeficientes para as diferentes estações do ano são apresentados. Também foi gerado um gráfico com a variação da Rg a cada 15 min em dois dias característicos, sendo um de céu limpo (23/09/2018) e outro de céu nublado (14/09/2018). Para U média o gráfico de regressão apresenta o b e R^2 das estações do ano separadamente e de todos os dados agrupados e para T e UR são apresentados o b e R^2 dos subperíodos (1-7, 8-14 e 15-21 dias de exclusão) e de todos os dados agrupados.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Experimento 1

A UR não foi afetada pela presença da gaiola, pela altura de dossel, nem pelo subperíodo de exclusão ($P > 0,05$ para todos os fatores) apresentando valor médio de 88,7%. A temperatura média do ar foi afetada pela interação altura $\times$ subperíodo de exclusão ($P = 0,0120$), mas não pela gaiola de exclusão ($P > 0,05$). Em dosséis de 20 cm a T foi maior no subperíodo 16-21 dias em comparação com os subperíodos 1-7 e 8-14 dias que não apresentaram diferenças entre si. Na altura de 30 cm a T foi maior no subperíodo 8-14 dias e menor no 7-14 dias, sendo o subperíodo 15-21 dias não apresentando diferença dos demais subperíodos. Maior T foi observada em dosséis de 30 cm comparado aos de 20 cm no subperíodo 8-14 dias, sendo que nos demais subperíodos não houve diferença na T entre as alturas (Tabela 4.5). Como a vegetação ao redor do sensor que representava o pasto (fora das gaiolas) estava frequentemente sendo desfolhada e, portanto, permaneceu em uma condição relativamente constante – diferente da vegetação presente no interior das gaiolas –, a ausência de interação gaiola $\times$ subperíodo de exclusão ($P > 0,05$) sugere que a magnitude da diferença na estrutura da vegetação de dentro e

fora das gaiolas com o avanço do período de exclusão (Capítulo 2; Item 2.4) não foi suficientemente grande em promover mudanças na T, pelo menos para períodos de exclusão de até 21 dias.

A exclusão do pastejo gerou maiores valores de IAF e de fotossíntese do dossel dentro das gaiolas (Capítulo; Tabelas 2.2 e 2.7), o que certamente resultou em aumento na transpiração. No entanto, os valores de coeficiente angular muito próximos de 1 para todos os subperíodos tanto para dosséis de 20 quanto de 30 cm (Figuras 4.4a e 4.4b) sugere que isso não causou aumento na UR e redução na T. Isso mostra que as mudanças na arquitetura do dossel não limitaram a circulação de ar dentro da vegetação dentro das gaiolas e que trocas de massa de ar entre os ambientes interno e externo da gaiola ocorreram sem impedimento, resultando na similaridade na T e UR entre os dois ambientes. Além disso, a ausência de interação gaiola $\times$ altura ($P > 0,05$) revela que a T e a UR não são afetadas pela exclusão do pastejo independentemente da altura do dossel no momento da exclusão (20 ou 30 cm). Os valores de coeficiente angular muito próximos de 1 (Geral) tanto para T quanto para UR para ambas as alturas ratificam essa afirmação (Figuras 4.4 e 4.5). Assim, erros na estimativa de AF pelo método de gaiolas de exclusão estão provavelmente associados às alterações na arquitetura do dossel e nas respostas morfogênicas em função da exclusão do pastejo (Capítulos 2 e 3) e à redução na Rg e U média causada pela estrutura física da gaiola (Experimento 2), mas não às alterações em T e UR resultantes do desenvolvimento contrastante da vegetação dentro e fora das gaiolas.

Figura 4.4 – Relação entre a temperatura média (T) de dentro e de fora da gaiola (pasto) durante 21 dias de exclusão de dosséis mantidos a 20 cm (a) e 30 cm (b) de altura durante três verões agrostológicos (2017, 2017–2018 e 2018–2019). A linha de tendência foi forçada a passar pela origem e gerada a partir dos dados agrupados dos três verões agrostológicos. A linha tracejada representa a reta 1:1.

Tabela 4.5 – Temperatura média do ar em resposta a interação altura de dossel × subperíodo de exclusão do pastejo em pastos de capim Mulato II durante três verões agrostológicos em Piracicaba, SP, Brasil.

Altura	Subperíodo de exclusão [†]		
	1-7	8-14	15-21
cm	----- °C -----		
20	24,0 b	23,8 b	24,8 a
30	23,7 b	25,0 a	24,3 ab
<i>P</i> [‡]	0,4669	0,0149	0,2897
EPM [§]	0,33	0,34	0,32

Letras na coluna comparam médias entre subperíodos de exclusão ($P < 0,05$).

[†]Primeiros sete dias de exclusão, 1-7; oitavo ao 14º dia de exclusão, 8-14; e 15º ao 21º dia de exclusão, 15-21.

[‡]Valor de P para efeito de altura de dossel.

[§]EPM = Erro padrão da média.

Figura 4.5 – Relação entre a umidade relativa média (UR) de dentro e de fora da gaiola (Pasto) durante 21 dias de exclusão de dosséis mantidos a 20 cm (a) e 30 cm (b) de altura durante três verões agrostológicos (2017, 2017–2018 e 2018–2019). A linha de tendência foi forçada a passar pela origem e gerada a partir dos dados agrupados dos três verões agrostológicos. A linha tracejada representa a reta 1:1.

4.4.2 Experimento 2

A Rg foi afetada pela gaiola ($P = 0,0135$) e pela interação ano $\times$ estação ($P < 0,0001$). Em 2017 a Rg foi maior no verão e na primavera e menor no outono, com o inverno apresentando valor intermediário. Em 2018 a Rg foi menor no inverno em comparação a todas as outras estações que não apresentaram diferenças de Rg entre si. A Rg foi maior em 2018 em relação a 2017 no outono e o padrão inverso ocorreu no inverno. No verão e na primavera a Rg

não foi afetada pelo ano (Tabela 4.2). A Rg foi menor dentro da gaiola em relação a fora dela com valores de 17,3 e 18,3 MJ m⁻² dia⁻¹, respectivamente (EPM = 0,34). Esse resultado, em conjunto com o valor do coeficiente angular da Figura 4.6, que é na realidade o valor de transmitância, mostra que a Rg dentro da gaiola de exclusão foi aproximadamente 5% menor que o ambiente externo a ela.

Quando água ou nutrientes não limitam o crescimento das plantas, a produção de biomassa é determinada pela quantidade de energia radiante disponível (MONTEITH; ONG; CORLETT, 1991). Isso se deve à importância da radiação solar na fotossíntese e da importância desta no desempenho produtivo das plantas. Assim, a redução na Rg promovida pela gaiola pode resultar em redução na taxa de crescimento das plantas dentro da gaiola em relação a fora dela, resultando em erros na estimativa do AF devido à presença física das gaiolas. O uso de gaiolas com malhas mais abertas foi apresentada por 't Mannetje (1978) como alternativa para reduzir os efeitos da gaiola na radiação solar. Também como alternativa para reduzir os efeitos das gaiolas de exclusão no microclima, Frame (1981) comentou que a estrutura da gaiola deve possuir a malha mais aberta possível composta por fios tão finos quanto possível e, ao mesmo tempo, ser capaz de proteger a vegetação dos animais. Frame (1981) ainda citou a importância da malha ser capaz de evitar o acesso de herbívoros de pequeno porte (e.g., coelhos e lebres) à vegetação protegida. Prendergast e Brady (1955) apresentaram um modelo de gaiola eletrificada eficaz em proteger a vegetação de ovinos e bovinos mesmo possuindo menor quantidade de fios em sua estrutura, com impacto significativamente menor sobre o microambiente dentro das gaiolas. Por ser eletrificada, os fios utilizados também podem ser mais finos, afetando ainda menos o microclima.

Os valores do coeficiente angular semelhantes de 2017 e 2018 sugerem que a intensidade da atenuação da Rg pela gaiola independe do ano. Em relação às estações, no inverno o coeficiente angular foi ligeiramente menor comparado aos das demais estações (Tabela 4.3), sugerindo que a variação na declinação solar ao longo do ano apresenta certo grau de interferência, mesmo que pequena, na Rg dentro de gaiolas de exclusão, embora não tenha sido detectado efeito da interação gaiola × estação.

Figura 4.6 – Relação entre a radiação solar global média (Rg) de dentro e fora da gaiola de exclusão em 2017 e 2018. A linha de tendência foi forçada a passar pela origem e gerada a partir dos dados agrupados dos dois anos de avaliação. A linha tracejada representa a reta 1:1.

Tabela 4.2 – Radiação solar global média em resposta à interação ano $\times$ estação em Piracicaba, SP, Brasil.

Ano	Verão	Outono	Inverno	Primavera
----- MJ m ⁻² dia ⁻¹ -----				
2017	19,7 a	14,4 c	16,9 b	20,1 a
2018	20,0 a	17,8 a	14,3 b	19,4 a
<i>P</i> [†]	0,7491	0,0028	<0,0001	0,3550
EPM [‡]	0,70	0,73	0,48	0,5200

Letras na linha comparam médias entre estações do ano ($P < 0,05$).

[†]Valor de *P* para efeito de ano.

[‡]EPM = Erro padrão da média.

Tabela 4.3 – Coeficiente angular (b) e coeficiente de determinação (R^2) das equações de regressão da relação entre a radiação solar global média dentro e fora da gaiola de exclusão em função da estação do ano nos anos de 2017 e 2018 em Piracicaba, SP, Brasil.

Estação do ano	b	R^2
Verão	0,9491	0,9883
Outono	0,9599	0,9865
Inverno	0,9328	0,9889
Primavera	0,9520	0,9937

Os valores de b e R^2 foram gerados com a linha de tendência sendo forçada a passar pela origem.

Os dados instantâneos (registrados a cada 15 minutos) de um dia típico de céu limpo revelaram que em determinados períodos do dia (e.g., entre 10:00 e 11:15 e entre 13:45 e 14:45), a R_g dentro da gaiola de exclusão é substancialmente menor que fora dela e que há também períodos (e.g., entre 6:45 e 7:00, entre 7:30 e 8:00 e entre 8:30 e 8:45) em que a R_g dentro da gaiola é ligeiramente maior que a do ambiente externo (Figuras 4.7a e 4.7b). A variação na relação entre a R_g dentro e fora da gaiola ao longo de um dia de céu limpo evidencia que essa relação é dependente do ângulo de incidência dos raios solares, que varia com o movimento aparente do Sol, confirmando que a mudança na declinação solar nas diferentes estações do ano é um fator que pode afetar a R_g que atinge o interior da gaiola.

Caso a extremidade superior da gaiola fosse fechada com mesma malha utilizada em sua confecção, nos horários próximos do meio-dia solar em dias de céu limpo, R_g seria significativamente menor dentro da gaiola em relação a fora dela. Isso afetaria tanto a radiação média diária quanto a magnitude da diferença entre a radiação dentro e fora da gaiola ao longo do dia. Assim, além dos materiais utilizados na confecção da gaiola, o formato e construção da gaiola também podem afetar o ambiente dentro dela.

Existe considerável variação na relação entre os ambientes dentro e fora das gaiolas, embora o padrão na redução da R_g dentro da gaiola em comparação a fora dela tenha se mostrado semelhante entre os dados diários e instantâneos (i.e., valores próximos de coeficiente angular) (Figuras 4.6 e 4.7b), ao longo de um dia de céu limpo. Isso decorre da interferência física da estrutura da gaiola na interceptação e reflexão da radiação solar incidente. Nos períodos do dia em que a R_g dentro da gaiola foi menor que fora dela, fica evidente que parte da R_g que atingiria o interior da gaiola foi interceptada pela estrutura da gaiola e/ou refletida para fora dela, lembrando que as gaiolas eram brancas. A reflexão da radiação solar pela estrutura da gaiola também pode ter feito com que parte da radiação que antes chegaria fora da

gaiola alterasse sua direção e, assim, passasse a atingir o interior da mesma. Assim, essa fração da R_g somada a radiação que atinge o interior da gaiola sem alteração da sua direção original explica a maior R_g dentro da gaiola em relação a fora dela em momentos específicos do dia. Dessa forma, a cor da gaiola é um fator que deve ser considerado, uma vez que diferentes cores absorvem e refletem distintos comprimentos de onda e, portanto, pode afetar a quantidade e a composição espectral da radiação que atinge o interior da gaiola.

Alterações na qualidade da luz podem afetar características morfofisiológicas das plantas com consequências na sua dinâmica de crescimento. Os comprimentos de onda correspondentes ao vermelho e ao azul são os mais absorvidos pela clorofila (BLANKENSHIP, 2013) e, portanto, a redução na quantidade de luz referente a essas porções do espectro diminui a fotossíntese. Isso acontece particularmente nos cloroplastos das células-guarda, onde durante a fotossíntese são normalmente produzidos precursores da sacarose, composto que reduz o potencial osmótico dessas células com consequente abertura estomática (ZEIGER, 2013). Ainda nas células-guarda, a luz azul ativa as bombas ATPases presentes na membrana plasmática que bombeiam prótons para o apoplasto, o que gera um gradiente eletroquímico que é a força motriz para a entrada de K^+ e Cl^- nas células-guarda. Isso reduz seu potencial osmótico, promovendo entrada de água nessas células e resultando na abertura estomática (ZEIGER, 2013). O alongamento de colmo e a inibição das gemas, com consequente diminuição na DPP, em função da redução da relação dos comprimentos de onda do vermelho:vermelho distante são respostas bem documentadas em plantas forrageiras (GAUTIER; VARLET-GRANCHER; HAZARD, 1999; MORELLI; RUBERTI, 2000). Todas essas respostas dependentes de espectros específicos da luz sugerem que a cor da gaiola de exclusão pode afetar a dinâmica de crescimento das plantas dentro dela – embora esses efeitos não tenham sido medidos no presente estudo – e, portanto, é um fator que deve ser considerado no uso da técnica.

Em um dia de céu nublado, não há momentos específicos em que existe grande discrepância na R_g entre dentro e fora da gaiola (Figuras 4.8a e 4.8b). Assim, a diferença na R_g dentro e fora da gaiola é menos pronunciada. O aumento na proporção de radiação difusa na radiação solar global pode ter reduzido as diferenças de R_g entre os dois ambientes. Em condição de céu nublado, grande parte dos raios solares são dispersos pelas nuvens e, portanto, atinge o interior da gaiola de forma multidirecional, reduzindo o efeito observado em um dia de céu limpo onde em momentos específicos do dia a R_g foi menor dentro da gaiola comparada ao ambiente externo.

Figura 4.7 – Radiação solar global média (R_g) dentro e fora da gaiola de exclusão a cada 15 minutos ao longo de um dia (a) e relação entre a R_g de dentro e fora da gaiola de exclusão a cada 15 minutos (b). A linha tracejada na figura b representa a reta 1:1. Ambos os gráficos representam um dia característico de céu limpo (23/09/2018).

Figura 4.8 – Radiação solar global média (R_g) dentro e fora da gaiola de exclusão a cada 15 minutos ao longo de um dia (a) e relação entre a R_g de dentro e fora da gaiola de exclusão a cada 15 minutos (b). A linha tracejada na figura b representa a reta 1:1. Ambos os gráficos foram gerados com dados de um dia de céu nublado (14/09/2018).

A U média foi afetada pela estação ($P < 0,0001$) e pela gaiola ($P = 0,0070$). A U média foi maior na primavera em comparação a todas as outras estações do ano que não apresentaram diferenças entre si (Tabela 4.4). Dentro da gaiola a U média foi menor que fora dela; no entanto, com valores absolutos próximos (0,86 e 0,90 m s^{-1} dentro e fora da gaiola, respectivamente; EPM = 0,02). Esses resultados, em conjunto com o valor do coeficiente angular próximo de 1 referente à relação entre a U média dentro e fora da gaiola de exclusão (Fig. 4.9), indicam que a estrutura da gaiola representou pouca resistência física ao vento. Williams (1951) encontrou

efeito mais pronunciado da gaiola sobre a U média comparado ao do presente estudo, com valores 26% menores dentro das gaiolas em comparação ao campo aberto. A utilização de gaiolas com malha mais fechada no experimento de Williams (1951) ($4,5 \times 4,5$ cm) em comparação às utilizadas no presente estudo (10×10 cm) pode ser uma das causas dessa diferença, sugerindo que a escolha da tela a ser utilizado na confecção das gaiolas deve procurar minimizar o efeito da gaiola no microclima em seu interior. O calibre do fio da malha da gaiola também pode afetar a velocidade do vento e, portanto, também deve ser considerado. Assim, exceto pela cor, os mesmos fatores relacionados aos materiais que compõem a estrutura da gaiola que afetam a R_g também podem afetar a U média e, portanto, o modelo de gaiola apresentado por Prendergast e Brady (1955) também é uma opção para reduzir os efeitos da gaiola na velocidade do vento.

Williams (1951) ainda observou que, de maneira geral, a UR foi maior dentro da gaiola e que em dias de intensa insolação a T em campo aberto foi maior que no interior da gaiola. Os resultados encontrados por Williams (1951) são compatíveis com a afirmação de 't Mannetje (2000) de que a gaiola pode diminuir a U média, aumentar a UR e reduzir a T dentro das gaiolas. A relação entre U média, UR e T ocorre porque UR e T são variáveis inversamente proporcionais e o vento promove transporte de calor sensível e vapor d'água. Portanto, os valores médios de velocidade do vento do ambiente interno e externo semelhantes (Figura 4.9) sugerem que a circulação de ar e a troca de calor sensível e latente entre os dois ambientes foi pouco afetada pela gaiola, o que pode ter anulado a possível redução na T e aumento na UR dentro da gaiola resultado da menor R_g (Figura 4.6 e Tabela 4.3).

Figura 4.9 – Relação entre a velocidade média do vento (U média) de dentro e fora da gaiola de exclusão de 2017 e 2018. A linha de tendência foi forçada a passar pela origem e gerada a partir dos dados agrupados dos dois anos de avaliação. A linha tracejada representa a reta 1:1.

Tabela 4.4 – Velocidade média do vento (U média) em resposta à estação em 2017 e 2018 em Piracicaba, SP, Brasil.

Estação	U média
	m s^{-1}
Verão	0,77 b
Outono	0,76 b
Inverno	0,86 b
Primavera	1,12 a
EPM [‡]	0,036

Letras na coluna comparam médias entre estações ($P < 0,05$).

[‡]EPM = Erro padrão da média.

A ET foi afetada pela gaiola ($P = 0,0494$) e pela interação ano $\times$ estação ($P < 0,0001$). Em 2017 a ET foi maior no verão e primavera e menor no outono, com o inverno apresentando valores intermediários. Em 2018 a ET foi maior no verão, seguido de primavera e outono, com o inverno apresentado a menor ET (Tabela 4.6). A ET foi menor dentro da gaiola do que fora dela com valores de 2,9 e 3 mm d^{-1} , respectivamente (EPM = 0,047).

A camada de ar limítrofe exerce resistência à difusão de vapor d'água da cavidade subestomática até o ar turbulento da atmosfera. A espessura dessa camada de ar – que possui alta concentração de vapor d'água – é inversamente proporcional à velocidade do vento e, portanto, quanto menor a velocidade do vento, maior será a resistência aerodinâmica à difusão de vapor d'água e menor será a transpiração foliar (COSGROVE; HOLBROOK, 2013). Assim, a redução na U média causada pela gaiola de exclusão é uma das razões da menor ET medida dentro da gaiola. Além disso, quanto maior a Rg, maior será o balanço de ondas curtas e o balanço de radiação. Com isso, maior quantidade de energia estará disponível para mudança da fase da água do estado líquido para o gasoso. Menor ET no interior da gaiola resulta em economia de água do sistema, fazendo com que existam diferenças na disponibilidade de água no solo dentro e fora da gaiola. Isso pode favorecer o desenvolvimento das plantas dentro das gaiolas principalmente em condições de baixa disponibilidade hídrica, embora no presente estudo a diferença na ET entre os dois ambientes tenha sido muito pequena.

Maior taxa de acúmulo de forragem foi registrada dentro da gaiola em relação ao pasto para ambas as alturas de dossel (Tabela 4.7). A simulação pelo modelo CROPGRO – *Perennial Forage* revelou que caso as alterações na Rg e U causadas pela gaiola (Tabela 4.7) fossem eliminadas, o acúmulo dentro das gaiolas seria 5,8 e 9,7% maior do que foi efetivamente medido para as alturas de dossel de 20 e 30 cm, respectivamente. Dessa forma, a estimativa de acúmulo seria ainda mais inflacionada, reiterando que erros na estimativa de AF ocorrem também devido à barreira física que a gaiola impõe à radiação solar e velocidade do vento. Tais resultados derivam da atenuação em 5% da Rg (Item 4.4.1) com consequente redução da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) que chega ao interior da gaiola. Com menos PAR o processo de fotossíntese é comedido, limitando o crescimento das plantas.

Tabela 4.6 – Evapotranspiração em resposta à interação ano × estação do ano em Piracicaba, SP, Brasil.

Ano	Verão	Outono	Inverno	Primavera
----- mm d ⁻¹ -----				
2017	3,56 a	2,07 c	2,46 b	3,58 a
2018	3,64 a	2,65 c	1,87 d	3,39 b
<i>P</i>	0,5454	<0,0001	<0,0001	0,0611
EPM	0,097	0,107	0,070	0,076

Letras na coluna comparam médias entre estações do ano ($P < 0,05$).

‡EPM = Erro padrão da média.

Tabela 4.7 – Taxa de acúmulo de forragem (TAF) fora (piquete) e dentro da gaiola de exclusão e estimativa de TAF da vegetação excluída do pastejo excluindo o efeito da presença da gaiola em pastos de capim Mulato II manejados sob lotação contínua a 20 e 30 cm de altura de dossel dos anos de 2017 e 2018 em Piracicaba, SP, Brasil.

Altura	Taxa de acúmulo de forragem [†]		
	Piquete	Com gaiola [‡]	Sem gaiola [§]
cm	----- kg MS ha ⁻¹ dia ⁻¹ -----		
20	65,6	98,9	104,7
30	83,6	95,5	104,7

[†]Os valores de TAF apresentados são dados médios dos dois anos avaliados sem comparações estatísticas.

[‡]Taxa de acúmulo de forragem da vegetação excluída do pastejo e circundada pela gaiola de exclusão.

[§]Estimativa da TAF da vegetação excluída do pastejo excluindo o efeito da gaiola de exclusão na radiação solar global e na velocidade do vento.

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mudanças na arquitetura do dossel com o decorrer do período de exclusão até 21 dias não afetam a T e UR do ar dentro da gaiola de exclusão em pastos de capim Mulato II mantidos a 20 e 30 cm de altura.

A estrutura da gaiola reduz a U média e a Rg, sendo que em dias de céu limpo há períodos em que a Rg é menor dentro da gaiola e momentos em que a Rg é ligeiramente maior fora dela; o que não ocorre em dias nublados.

O acúmulo de forragem é superestimado pelo método de gaiolas de exclusão. Essa superestimativa, no entanto, seria ainda maior se a estrutura da gaiola não reduzisse a Rg e U média.

REFERÊNCIAS

- 'T MANNETJE, L. Measuring quantity of grassland vegetation. In: 'T MANNETJE, L. (Ed.). **Measurement of grassland vegetation and animal production**. Queensland: CAB International, 1978. p. 63–95.
- 'T MANNETJE, L. Measuring biomass of grassland vegetation. In: 'T MANNETJE, L.; JONES, R. M. (Ed.). **Field and laboratory methods for grassland and animal production research**. Wallingford: CABI Publishing, 2000. p. 151–177.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements - FAO irrigation and drainage paper 56**. Roma: FAO, 1998.
- BARKER, D. J. et al. Analysis of herbage mass and herbage accumulation rate using gompertz equations. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 3, p. 849–857, 2010.
- BIRCHAM, J. S.; HODGSON, J. The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. **Grass and Forage Science**, v. 38, n. 4, p. 323–331, 1983.

- BLANKENSHIP, R. E. Fotossíntese: relações luminosas. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Ed.). **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. São Paulo: Artmed, 2013. p. 161–197.
- BORTOLO, M. et al. Avaliação de uma pastagem de Coastcross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) sob diferentes níveis de matéria seca residual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 627–635, 2001.
- CARNEVALLI, R. A. et al. Desempenho de ovinos e respostas de pastagens de Coastcross submetidas a regimes de desfolha sob lotação contínua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 6, p. 919–927, 2001.
- CARVALHO, C. A. B. et al. Demografia do perfilhamento e taxas de acúmulo de matéria seca em capim “Tifton 85” sob pastejo. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 591–600, 2000.
- COSGROVE, D.; HOLBROOK, A. Balanço hídrico das plantas. In: TAIZ, E.; ZEIGER, E. (Ed.). **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. p. 85–105.
- COWLISHAW, S. J. The effect of sampling cages on the yields of herbage. **Grass and Forage Science**, v. 6, n. 3, p. 179–182, 1951.
- 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.
- FRAME, J. Hebage Mass. In: HODGSON, J. et al. (Ed.). **Sward Measurement Handbook**. Berkshire: The British Grassland Society, 1981. p. 39–70.
- GAUTIER, H.; VARLET-GRANCHER, C.; HAZARD, L. Tillering responses to the light environment and to defoliation in populations of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) selected for contrasting leaf length. **Annals of Botany**, v. 83, p. 423–429, 1999.
- HEADY, H. F. Effect of cages on yield and composition in the California annual type. **Journal of Range Management**, v. 10, n. 4, p. 175, 1957.
- LITTEL, R. C. et al. **SAS for Mixed Models**. 2nd. ed. Cary: SAS Institute, 2006, 813p.
- MONTEITH, J. L.; ONG, C. K.; CORLETT, J. E. Microclimatic interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, v. 45, p. 31–44, 1991.
- MORELLI, G.; RUBERTI, I. Update on light signaling shade avoidance responses. driving auxin along lateral routes. **Plant Physiology**, v. 122, p. 621–626, 2000.
- PARSONS, A. J.; COLLETT, B.; LEWIS, J. Changes in the structure and physiology of a perennial ryrgrass sward when released from a continuous stocking management: continuously stocked swards. **Grass and Forage Science**, v. 39, p. 1–9, 1984.
- PEDREIRA, C. G. S. Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39., 2002, Recife. **Anais...** Recife: XXXIX Reunião Anual da SBZ, 2002. p. 100–150.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633–1644, 2007.
- PEQUENO, D. N. L. et al. Species-genotypic parameters of the CROPGRO Perennial Forage Model: Implications for comparison of three tropical pasture grasses. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 2, p. 440–455, 2018.

PRENDERGAST, J. J.; BRADY, J. J. Improved movable cage for use in grassland research. **Grass and Forage Science**, v. 10, n. 2, p. 189–190, 1955.

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

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 4. ed. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute State University Press, 1990.

WILLIAMS, S. S. Microenvironment in relation to experimental techniques. **Grass and Forage Science**, v. 6, n. 4, p. 207–217, 1951.

WOLFINGER, R. Covariance structure selection in general mixed models. **Communications in Statistics-Simulation and Computation**, v. 22, n. 4, p. 1079–1106, 1993.

ZEIGER, E. Respostas à luz azul: morfogênese e movimentos estomáticos. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Ed.). **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. São Paulo: Artmed, 2013. p. 521–542.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas se tem especulado, mas pouco tem sido elucidado sobre como gaiolas de exclusão afetam o microclima e as respostas agronômicas das plantas em seu interior e como esses efeitos impactam a exatidão do método em estimar o AF em pastos manejados sob lotação contínua em experimentos de pastejo. Estudos como o aqui reportado têm o potencial de aumentar a compreensão do efeito das gaiolas de exclusão nas plantas presentes dentro delas, compreender as limitações da técnica, interpretar criticamente os resultados de AF obtidos e, assim, atestar se as suposições existentes acerca dessa técnica são genuínas.

Os resultados do presente estudo sugerem que o AF em dosséis mantidos altos (i.e., dossel com mais de 95% de interceptação de luz) é superestimado pelo método de gaiolas de exclusão. Assim, as suposições de Carvalho et al. (2000), Bortolo et al. (2001) e Carnevalli et al. (2001) de que em dosséis altos o AF seria subestimado pelo método divergem dos resultados do presente estudo. O argumento utilizado por Bortolo et al. (2001) para sustentar tal hipótese é a de que a exclusão do pastejo de dosséis altos aumentaria a taxa de senescência de folhas localizadas nos estratos mais próximas ao solo. No presente estudo, todavia, não houve diferença na TSF e na MMOR entre dentro e fora das gaiolas.

Outra alteração no dossel excluído do pastejo é o aumento na TALF, resultando em aumento no CFF. Esse fato resulta em maior IAF dentro das gaiolas, dada a ausência de desfolhação da vegetação dentro das gaiolas, que resulta em aumento na proporção de folhas e na MFOL associado à manutenção da DPP. Como as folhas são os principais tecidos fotossintetizantes, os maiores IAFs resultaram em maior fotossíntese do dossel e, sendo esse processo fisiológico determinante da resposta produtiva das plantas, acúmulos superestimados são registrados quando o método de gaiolas de exclusão é utilizado.

As alterações no dossel no interior da gaiola previamente citadas (aumento na MFOL e no IAF), além do aumento na TALC e CMC, resultam em aumento no PMP sem a correspondente redução na DPP. Esses resultados sugerem que as suposições de Carvalho et al. (2000) e Carnevalli et al. (2001) de que o acúmulo seria superestimado em dosséis baixos devido ao rápido aumento no peso dos perfilhos protegidos pelas gaiolas com a manutenção da DPP ocorre em dosséis altos. Isso ajuda também a explicar os acúmulos superestimados quando gaiolas de exclusão são utilizados em dosséis mantidos altos.

Os valores negativos calculados para o AF no período de exclusão de 14 dias evidenciam a importância da seleção de locais representativos da média da unidade experimental para alocação das gaiolas e para estimativa de MF do piquete, o que não é uma tarefa simples. Isso é tão ou mais importante do que os efeitos das alterações nas respostas estruturais, fisiológicas

e microclimáticas dentro das gaiolas de exclusão na exatidão da técnica em estimar o AF. A amostragem em locais que não representam a média do pasto pode levar a estimativas de acúmulo muito diferentes do valor real de AF. Esta pode ter sido uma das razões para a discrepância observada nos resultados de acúmulo entre o método de gaiolas de exclusão e o calculado por fluxo de tecidos. Nas estimativas de AF por fluxo de tecidos os valores diferiram entre os períodos de exclusão, com AF maior para o período de 28 dias em relação ao de 14 dias, com o AF de 21 dias não diferindo de nenhum dos outros dois. Em contrapartida, nas estimativas de AF com gaiolas não foram detectadas diferenças entre períodos de exclusão.

O presente estudo também possibilitou estudar de forma isolada os efeitos da arquitetura do dossel, a qual fica progressivamente mais diferente da de fora dela ao longo do tempo de exclusão (efeito de mudanças na vegetação em si), e da presença física da gaiola no microclima, além de quantificar como esses efeitos impactaram o crescimento das plantas. Foi possível elucidar que diferenças entre o microclima dentro e fora das gaiolas não decorrem das diferenças na arquitetura de dossel, que aumenta ao longo do tempo. Isso porque a UR e a T não diferiram entre os ambientes interno e externo à gaiola. No entanto, a presença física da gaiola afeta o microambiente dentro das gaiolas com redução na Rg e U média, afetando o crescimento das plantas, o que condiz com os resultados de Williams (1951) que mediu menor radiação e velocidade do vento dentro de gaiolas em relação ao campo aberto. O presente estudo, todavia, parece ter sido o primeiro a avaliar como a Rg varia ao longo do dia e a constatar que em um dia de céu limpo há períodos em que a Rg no interior da gaiola é até mesmo maior que fora dela, resultado da reflexão de parte da radiação solar pela estrutura da gaiola. Esse resultado sugere que o efeito da cor da gaiola na Rg seja avaliado em estudos futuros. Evidentemente os resultados referentes ao efeito da gaiola de exclusão na Rg e U média ficam restritos ao modelo de gaiola avaliado, mas ao mesmo tempo sugerem que as alterações na arquitetura do dossel resultam em erros na estimativa de AF muito maiores do que as alterações no microambiente dentro das gaiolas. Para o período de exclusão de 21 dias as diferenças estruturais entre o dossel excluído do pastejo e o não excluído resultaram em AF superestimado em 26% pelo método de gaiolas, considerando a média entre as alturas de dossel de 20 e 30 cm. Em contrapartida, caso a gaiola não estivesse presente o AF seria ainda mais superestimado em 5,8 e 9,7% – valores bem menores que o de 26% citado previamente – para as alturas de 20 e 30 cm, respectivamente.

Embora os resultados aqui encontrados tenham elucidado muitos dos efeitos das gaiolas de exclusão nas características morfofisiológicas e nas respostas morfogênicas do dossel e no microclima em que ele se insere, avaliações sobre as limitações desse método devem ser

realizados. No presente estudo, as alturas do dossel no momento da exclusão (20 e 30 cm) já interceptavam mais que 95% da radiação solar incidente, caracterizando dosséis altos. Existe a necessidade de avaliar esse método em pastos manejados mais baixos, pois especula-se que em dosséis baixos os AFs registrados por meio dessa técnica são superestimados (CARVALHO et al., 2000; BORTOLO et al., 2001; CARNEVALLI et al., 2001).

Poucos estudos foram realizados para elucidar como a deposição de N, P e K via excreta animal (CARTER, 1962) e o pisoteio – ambos efeitos ausentes dentro das gaiolas – podem resultar em diferenças no crescimento das plantas entre as áreas excluídas e não excluídas pelas gaiolas. Segundo Drewry, Cameron e Buchan (2008), o pisoteio pelos animais em pastejo pode prejudicar o desempenho produtivo das plantas devido aos danos causados pelo casco do animal às plantas e aos agregados do solo, pelo enterrio das plantas quando o solo está encharcado e pela compactação do solo. Dessa forma, além dos efeitos diretos (e.g., alterações na estrutura da vegetação devido ao pastejo), a presença do animal também promove efeitos indiretos que podem impactar a dinâmica de crescimento das plantas dentro e fora das gaiolas.

Considerações sobre outros possíveis efeitos da gaiola de exclusão no ambiente em seu interior além dos avaliados no presente estudo são apresentados por diversos autores. Heady (1957) declara que a interceptação das chuvas e de materiais transportados pelo vento pela estrutura das gaiolas de exclusão pode afetar o ambiente dentro das gaiolas. Cowlshaw (1951) argumentou que as diferenças na UR entre dentro e fora das gaiolas em seu estudo podem ter ocorrido porque grande parte da chuva que atingiu a gaiola escoou por sua estrutura aumentando a UR no interior da gaiola. Em contrapartida, Williams (1951) propôs que esse efeito faria com que a água ficasse na região periférica da gaiola e não dentro dela, reduzindo a UR no interior da gaiola. Ainda de acordo com Williams (1951), há indícios de menor formação de orvalho na vegetação dentro das gaiolas, além da gaiola proteger, em algum grau, a vegetação de geadas.

Há ainda pouca informação sobre o tamanho e número ideal de gaiolas por unidade experimental que forneça uma estimativa exata do AF (CARTER, 1962). Segundo ‘t Mannetje (1978), espécie ou cultivar forrageiro, espécie animal e dimensão da moldura para amostragem de MF são fatores a serem considerados na definição do tamanho da gaiola. A gaiola deve ser maior que a área a ser amostrada para estimativa de MF (JOINT COMMITTEE, 1962). Além desses aspectos, Frame (1981) propôs que a facilidade no transporte e no manuseio também devem ser considerados na definição da configuração da gaiola.

A forma e os materiais utilizados na confecção das gaiolas também podem variar (podem ser abertas ou fechadas, portáteis ou fixas, e eletrificadas ou não) (FRAME, 1981), dificultando ainda mais a compreensão de como as gaiolas de exclusão afetam o microclima dentro delas e,

consequentemente, a estimativa de AF. Frame (1981) sugeriu que se o efeito de uma determinada gaiola no crescimento do dossel em seu interior for profundamente conhecido, esse modelo de gaiola poderia ser utilizado como padrão nos experimentos que objetivam estimar o AF por meio desse método. Alguns dos impactos de um modelo específico de gaiola no microclima foram esclarecidos no presente estudo e o modelo de gaiola aqui utilizado poderia servir de padrão em estudos destinados a estimar o acúmulo de forragem em pastos sob lotação contínua.

Além disso, não há ainda – e dificilmente haverá – uma definição sobre o período ideal da exclusão do pastejo para máxima exatidão na estimativa de AF. Dentro os períodos de exclusão avaliados no presente estudo (14, 21 e 28 dias), o período de 21 dias parece ser o mais adequado nas condições em que o experimento foi conduzido. Entretanto, o intervalo entre amostragens deve ser ajustado de acordo com a velocidade de crescimento das plantas, que varia com a estação do ano (FRAME, 1981) e condições edafoclimáticas.

Da mesma forma que Parsons (1984) expressou em seu trabalho avaliando as alterações morfofisiológicas no dossel dentro de gaiolas em pastos de azevém perene, o objetivo do presente estudo não foi criticar a técnica, mas contribuir para o melhor entendimento dos fatores que afetam a exatidão do método e, assim, interpretar melhor os dados gerados a partir da técnica.

REFERÊNCIAS

- 't MANNETJE, L. Measuring quantity of grassland vegetation. In: 't MANNETJE, L. (Ed.). **Measurement of grassland vegetation and animal production**. Queensland: CAB International, 1978. p. 63–95.
- BORTOLO, M. et al. Avaliação de uma pastagem de Coastcross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) sob diferentes níveis de matéria seca residual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 3, p. 627–635, 2001.
- CARNEVALLI, R. A. et al. Desempenho de ovinos e respostas de pastagens de Coastcross submetidas a regimes de desfolha sob lotação contínua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 6, p. 919–927, 2001.
- CARTER, J. F. Herbage sampling for yield: tame pastures. In: AGRONOMY, A. S. et al. (Ed.). **Pasture and Range: research techniques**. Ithaca: Comstock Publishing Associates, 1962. p. 90–101.
- CARVALHO, C. A. B. et al. Demografia do perfilhamento e taxas de acúmulo de matéria seca em capim “Tifton 85” sob pastejo. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 591–600, 2000.
- COWLISHAW, S. J. The effect of sampling cages on the yields of herbage. **Grass and Forage Science**, v. 6, n. 3, p. 179–182, 1951.

DREWRY, J. J.; CAMERON, K. C.; BUCHAN, G. D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing - a review. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, n. 3, p. 237–256, 2008.

FRAME, J. Hebage Mass. In: HODGSON, J. et al. (Ed.). **Sward Measurement Handbook**. Berkshire: The British Grassland Society, 1981. p. 39–70.

HEADY, H. F. Effect of cages on yield and composition in the California annual type. **Journal of Range Management**, v. 10, n. 4, p. 175, 1957.

JOINT COMMITTEE OF THE AMERICAN SOCIETY OF RANGE MANAGEMENT AND THE AGRICULTURAL BOARD. Basic problems and techniques in range research. **REPORT...** Joint Committee of The American Society of range management and the agricultural board, Publication 890, Washington, D.C. National Academy of Sciences-National Research Council, 1962.

PARSONS, A. J.; COLLETT, B.; LEWIS, J. Changes in the structure and physiology of a perennial ryegrass sward when released from a continuous stocking management: continuously stocked swards. **Grass and Forage Science**, v. 39, p. 1–9, 1984.

WILLIAMS, S. S. Microenvironment in relation to experimental techniques. **Grass and Forage Science**, v. 6, n. 4, p. 207–217, 1951.