



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

JEFTE ARNON DE ALMEIDA CONRADO

MORFOFISIOLOGIA E MÉTODOS DE PREDIÇÃO DE VARIÁVEIS PRODUTIVAS
DO CAPIM-BRAQUIÁRIA PASTEJADO POR OVINOS

FORTALEZA

2021

JEFTE ARNON DE ALMEIDA CONRADO

MORFOFISIOLOGIA E MÉTODOS DE PREDIÇÃO DE VARIÁVEIS PRODUTIVAS DO
CAPIM-BRAQUIÁRIA PASTEJADO POR OVINOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ) da Universidade Federal do Ceará e Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para à obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Área de concentração: Forragicultura e pastagens

Orientador: Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido.

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Neves Lopes

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- C764m Conrado, Jefte Arnon de Almeida.
Morfofisiologia e métodos de predição de variáveis produtivas do capim-braquiária pastejado por ovinos / Jefte Arnon de Almeida Conrado. – 2021.
115 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido.
Coorientação: Prof. Dr. Marcos Neves Lopes.
1. Biomassa de forragem. 2. Ecofisiologia vegetal. 3. Metodologia de predição. 4. Modelagem empírica.
I. Título.

CDD 636.08

JEFTE ARNON DE ALMEIDA CONRADO

MORFOFISIOLOGIA E MÉTODOS DE PREDIÇÃO DE VARIÁVEIS PRODUTIVAS DO
CAPIM-BRAQUIÁRIA PASTEJADO POR OVINOS

Tese apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará e Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para à obtenção do título de Doutor em Zootecnia.
Área de concentração: Forragicultura e pastagens

Aprovada em: 19/04/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Deodato do Nascimento Aquino
Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA)

Prof. Dr. Gherman Garcia Leal de Araújo
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semiárido)

Prof. Dr. José Antônio Alves Cutrim Júnior
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA)

Prof. Dr. Valdson José da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Aos meus pais, Antônio Gomes Conrado e Vanderlene Rodrigues de Almeida, por todo amor, carinho, compreensão em todas as minhas escolhas e incentivo aos meus estudos, esta conquista é nossa. Ao meu irmão, Ramon de Almeida Conrado, por sempre acreditar em mim e por depositar toda a sua energia positiva nos meus passos.

Dedico este trabalho!

Ao professor Dr. Marcos Neves Lopes, pelo exemplo de profissional, pela amizade, companheirismo, compreensão e ensinamentos, e em especial pela sua confiança.

Ofereço este trabalho!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pai todo poderoso, por ter me dado o dom da vida e as oportunidades para que eu pudesse crescer como pessoa e profissional, e por me dar forças para superar os desafios, principalmente aqueles que pareciam impossíveis.

Aos meus pais, Antônio Gomes Conrado e Vanderlene Rodrigues de Almeida, por terem me dado todas as condições, ensinamentos e valores da vida, mostrando-me sempre o melhor caminho. Ao meu irmão, Ramon de Almeida Conrado, por todo incentivo, amor, compreensão, carinho e estímulo em toda essa caminhada.

À toda a minha família (Almeida Conrado), tias, tios, primas, primos, vô (José e Victor), vó (Margarida e Teresa), por estarem sempre me apoiando e se alegrando com esta conquista. À família “Fernandes Torres” que me acolheu em Tauá, apoiando e estando comigo nessa conquista.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ) e à secretaria da pós-graduação, por oportunizar a realização do curso e me auxiliar sempre para que este sonho fosse realizado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, que foi fundamental na condução da pesquisa, na formação acadêmica e para a residência em Fortaleza/CE.

Ao Núcleo de Ensino e Estudos em Forragicultura (NEEF), por toda a disponibilidade de local e pessoal, dando-me suporte e condições para que a pesquisa pudesse ser conduzida e concluída com êxito.

Ao Prof. Dr. Magno José Duarte Cândido (UFC), que sempre me propôs um “novo desafio” (desde a época do mestrado), incentivando-me a “encará-lo” com organização, paciência e sabedoria, contribuindo, assim, para o meu crescimento profissional e pessoal. Muito obrigado, professor, pela paciência, confiança, “puxões de orelha”, ensinamentos e atenção.

Ao prof. Dr. Marcos Neves Lopes (IFPI), que me encorajou a trabalhar com fisiologia de plantas forrageiras e me possibilitou, através de sua experiência, a buscar novas ideias e novos caminhos para que esta conquista fosse concretizada. Obrigado pela amizade, atenção, paciência, ensinamentos e conselhos, você é um exemplo de pessoa e pesquisador.

Ao Dr. Roberto Cláudio Fernandes Franco Pompeu (Embrapa Caprinos e Ovinos), por acreditar no meu potencial, por sempre me dar conselhos, mostrar caminhos e estar sempre buscando contribuir para com meu crescimento profissional e pessoal. Obrigado

pela serenidade e ensinamentos.

À profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita (UFC), pelas valiosas contribuições já em sua disciplina (Fisiologia da produção vegetal e do estresse em plantas), bem como no exame de qualificação. Obrigado pela atenção, ensinamentos e amizade.

Ao prof. Dr. Gherman Garcial Leal de Araújo (Embrapa Semiárido), pela disponibilidade e pelas valiosas contribuições na defesa de tese.

À profa. Dra. Maria Socorro de Souza Carneiro (UFC), por todo incentivo, sugestões, amizade e carinho desde o primeiro semestre de mestrado, muito obrigado pela colaboração neste trabalho e na minha vida acadêmica.

Ao prof. Dr. Valdson José da Silva (UFRPE), pela educação, empenho, amizade e parceria, sempre estando disponível para que dúvidas fossem sanadas e o sonho fosse realizado.

Ao professor Dr. Cosme Damião Cruz (UFV), pelos ensinamentos, paciência e dedicação, principalmente no uso do programa GENES.

À profa. Dra. Lilian Elgalise Techio Pereira, pelos ensinamentos, paciência e dedicação, principalmente sobre a disponibilidade para discutirmos sobre o assunto do gênero *Brachiaria*.

Ao professor Dr. Deodato do Nascimento Aquino, pelos ensinamentos, amizade e valiosas contribuições com esta tese.

Ao professor Dr. José Antônio Alves Cutrim Júnior, pelos ensinamentos e valiosas considerações com o desenvolvimento desta tese.

Aos professores dos Departamentos de Zootecnia (DZ), Fitotectina (DF), Ciências do solo (DCS), Engenharia agrícola (DENA), Bioquímica e biologia molecular (DBBM), que contribuíram repassando-me seus valiosos conhecimentos.

Aos meus amigos (as) de pós-graduação e residência: Clemente Fernandes, Samuel Maranhão, Leonardo Fiúsa, Bruno Bizerra, Eulália Josefina, Brito Neto, Ingrid Souza, Hozano Neto, Thays Martins, Wenner Vinicius, Emanoella Saraiva, Leila Tavares, Flávia Torres, Vitor Maués, Clésio Costa e Anderson Pereira. Obrigado pela valiosa amizade, companheirismo e ensinamentos, levo todos em meu coração.

Aos amigos de NEEF, que estiveram comigo vivenciando e solucionando os desafios diários, sem nunca perder a esperança e o sorriso no rosto. Obrigado ao Breno Felipe, Dayanne Ribeiro, José Breno, Josias Wéricles, Larissa Oliveira, Luiz Solano, Vitória Gomes, Raynara Cardonha, Iuri Moraes, Iran Águila (Médico Veterinário), Franciely Costa (Pós-doc), Elayne Gadelha, Rafael Furtado (Pós-doc), Francisco Gleyson, Milena Alves,

Leydiane Oliveira, Ellen Gomes, Francisco (Chico Caucaia), Francisco, Gleiciano, Rogério, Lindomar, Vanderlei, Bárbara Leandro, Amanda Rocha e Abner Girão, Ribamar (vigilante) e Mauro (vigilante).

A prefeitura municipal de Quixeramobim/CE, junto a secretaria de desenvolvimento agropecuário, recursos hídricos e meio ambiente, por compreender e me liberar para que fosse possível realizar essa tão importante capacitação.

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente fizeram parte dessa jornada.

Meus mais sinceros agradecimentos!

Por isso mesmo, empenhem-se para acrescentar à sua fé a virtude; à virtude o conhecimento; ao conhecimento o domínio próprio; ao domínio próprio a perseverança; à perseverança a piedade; à piedade a fraternidade; e à fraternidade o amor.

(Pedro, 1: 5-7)

RESUMO

O pasto é o principal meio de alimentação dos rebanhos que ofertam carne e leite à população mundial. No entanto, o processo de monitoramento desta biomassa não tem sido eficiente, não havendo metodologias que consigam diagnosticar com precisão a condição do dossel, refletindo, assim, nas baixas produtividades dos rebanhos criados e perenidade da espécie forrageira utilizada. Diante disso, objetivou-se avaliar as características fisiológicas, estruturais e fisiológicas da espécie *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, manejada sob duas frequências e duas intensidades de desfolhação, e diante desses manejos, aplicar distintas metodologias de monitoramento da condição do pasto, gerando e validando modelos que contemplassem as características descritas, sendo capazes de serem aplicadas a nível de propriedade, contribuindo no processo de gerenciamento dos sistemas de produção. No primeiro capítulo, caracterizou-se as respostas fisiológicas, estruturais e produtivas do capim-braquiária em reflexo de quatro distintos manejos, com base na interceptação luminosa (IL) de 85% e 95% e do índice de área foliar residual de 1,3 e 1,8 (IAFr). Observou-se maior produção de biomassa de forragem total (BFT) quando o dossel foi manejado na menor frequência de desfolha (95% IL), o que se refletiu no maior índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do dossel. No entanto, as variáveis fisiológicas (principalmente taxa de fotossíntese) foram afetadas de forma negativa pela maior frequência de desfolha (85% IL). No segundo capítulo, diferentes formas de quantificar a altura do dossel foram utilizadas, sendo para isso realizadas análises de correlação de Pearson (associação) e trilha (causa/efeito), com variáveis fisiológicas, estruturais e produtivas nas distintas condições (residual e pré-pastejo) do dossel. Os métodos da Altura do dossel (AD), índice de área foliar (IAF), altura ponderada 1 (AP₁) e altura ponderada 8 (AP₈), foram os mais eficientes em predizer a BFT e a taxa de fotossíntese foliar, porém observou-se diferentes coeficientes angulares e interceptos provenientes dos modelos lineares de calibração encontrados. No terceiro capítulo, foram desenvolvidos modelos não lineares simples e múltiplos, calibrados e validados, utilizando a relação existencial proveniente da correlação de Spearman e análise de trilha, entre AD, IAF e NDVI, de forma a predizer a BFT e a biomassa de lâmina foliar verde (BLV). Entre os modelos estudados para predição da BFT e BLV, os exponenciais utilizando o NDVI, e potência utilizando IAF e altura, foram os que apresentaram melhor ajuste. Na etapa de validação, os modelos relacionados com a altura apresentaram as maiores performances: índice-d de 0,9531 (BFT) e 0,9638 (BLV); viés de -2,3 (BFT) e -7,20 (BLV); e R² de 0,8532 (BFT) e 0,8932 (BLV). Quando o sistema de produção objetivar um maior ganho por animal, o capim-braquiária deve ser manejado com frequência de 85% de IL

com IAFr de 1,8, ou NDVI de 0,49 e 0,85, respectivamente, caso contrário, se a meta for ganho por área, a frequência de desfolhação deve ser de 95% IL associado a 1,3 de IAFr, ou NDVI de 0,44 e 0,88, respectivamente. Os métodos AD e NDVI apresentam boa eficiência na predição da BFT e BLV. O método AD é recomendado para menores áreas, enquanto o NDVI, para áreas maiores.

Palavras-chave: Biomassa de forragem. Ecofisiologia vegetal. Metodologia de predição. Modelagem empírica.

ABSTRACT

Pasture is the main way of feeding herds that offer meat and milk to the world population. However, processes of monitoring this biomass have not been effective as there are no methodologies that can precisely diagnose the condition of the canopy. Because of this, there has been a lack of productivity in domestic herds and a perennality of the utilized forage species. For that reason, this thesis aims to evaluate the physiological and structural characteristics of the species *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk managed under two frequencies and two defoliation intensities. The study also applies different methodologies of pasture condition monitoring which generates and validates models that provide the described characteristics. This effort aims to achieve an application at a property level that contributes to the management process of production systems. In the first chapter of this research, physiological, structural, and productive responses of the signal grass species were characterized in four different procedures based on rates of 85% and 95% of Light Interception (LI), as well as on the rates of 1.3 and 1.8 of Residual Leaf Area Index (RLAI). A larger production of Total Forage Biomass (TFB) was observed when the canopy was managed in the lowest defoliation frequency (95% of LI), which indicated a larger Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of the canopy. Nevertheless, physiological variables (especially photosynthesis index) were negatively affected by the greater defoliation frequency (85% of LI). In the second chapter, different forms of quantifying the height of the canopy were used. Hence Pearson correlation analysis (association) and trail (cause/effect) with physiological, structural, and productive variables were analyzed in different (residual and pre-grazing) conditions of the canopy. Canopy height (CHeigh) methods such as Leaf Area Index (LAI), weighted height 1 (WH₁), and weighted height 8 (WH₈) were the most efficient in predicting TFB and leaf photosynthetic rates. Nonetheless, distinct angular coefficients and intercepts from the calibration linear models were found. In the third chapter, some calibrated, validated, simple, and multiple non-linear models were developed regarding the existential relation from the Spearman correlation and trail analysis among CH, LAI, and NDVI to predict TFB and Green Leaf Lamina Biomass (GLLB). Among the models that were used for predicting TFB and GLLB, the exponential one using NDVI as well as the potential model using LAI and height were the ones that better fitted. In the validation phase, models related to height demonstrated the greater performances: d-index of 0.9531 (TFB) and 0.9638 (GLLB); bias of -2.3 (TFB) and -7.20 (GLLB); R² of 0.8532 (TFB) and 0.8932 (GLLB). When the product system aims for a larger gain per animal, signal grass must be managed with a frequency of 85% of LI with an

RLAI rate of 1.8 or NDVI rates of 0.49 and 0.85, respectively. On the other hand, if the system aims for a gain per area, the defoliation frequency must be 95% of LI associated with an RLAI rate of 1.3 or NDVI rates of 0.44 and 0.88, respectively. The CH and NDVI methods offered good efficiency in predicting TFB and GLLB. CH is recommended to smaller areas while NDVI is efficient in larger ones.

Keywords: Forage biomass. Plant Ecophysiology. Prediction methodology. Empirical modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Localização geográfica do estado do Ceará (A), da cidade de Fortaleza (B) e do Núcleo de Ensino e Estudos em Forragicultura (NEEF/DZ/CCA/UFC) (C)..... 38
- Figura 2 - Precipitação atual (mm), temperaturas máxima e mínima atuais (Temp.máx e min atual, °C) do período experimental (2018, 2019 e 2020) e histórico (1989-2017) (Prec.hist, mm; Temp.max.hist e min.hist, °C), respectivamente da área experimental..... 39
- Figura 3 - Balanço hídrico do período experimental, sendo descrito o déficit hídrico (DEFIC) e o excesso (EXC)..... 40
- Figura 4 - Condição pré-pastejo do capim-*brachiaria decumbens* cv. Basilisk ao atingir 85% (A) e 95% (B) de interceptação luminosa (IL, %) e seus posteriores momentos de desfolha (C e D), respectivamente, por ovinos da raça Morada Nova, durante 584 dias de período experimental..... 41
- Figura 5 - Número de novas de produzidas ($N^{\circ}NFP$, folha perfilho⁻¹) (A), Densidade populacional (B), corte da biomassa (C) e fracionamento (D) da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk manejado sob duas frequências de interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8)..... 43
- Figura 6 - Detalhes do ponto quadrado inclinado na condição pré-pastejo (A) e residual (B), utilizado na avaliação vertical dos componentes morfológicos do dossel, folha (C), colmo (D), material morto (E) e outras espécies vegetais caracterizadas como planta invasora (F) e a superfície do solo (G) em pasto de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, manejado sob duas frequências (85% e 95% IL) e duas intensidades de desfolhação (1,3 e 1,8 IAFr)..... 45
- Figura 7 - Avaliação do IAF e da IL em pasto de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk manejado sob a frequência de 85% (A e B) e 95% (C e D) de interceptação luminosa e duas intensidades de desfolhação do índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) durante o período experimental..... 46
- Figura 8 - Avaliação fisiológica (A) de trocas gasosas com IRGA (B), índice SPAD (C) e NDVI (D) em pasto de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk manejado sob duas frequências de interceptação luminosa (IL, 85 e

	95%) e duas intensidades de desfolhação do índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) durante o período experimental.....	48
Figura 9 -	Distribuição vertical dos componentes botânicos/morfológicos em estratos de 10 cm da superfície do solo da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk submetido aos manejos de: 85% IL x 1,3 IAFr (A), 85% IL x 1,8 IAFr (B), 95% IL x 1,3 IAFr (C) e 95% IL x 1,8 IAFr (D), condição residual.....	57
Figura 10 -	Distribuição vertical dos componentes botânicos/morfológicos em estratos de 10 cm da superfície do solo da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk submetido aos manejos de: 85% IL x 1,3 IAFr (A), 85% IL x 1,8 IAFr (B), 95% IL x 1,3 IAFr (C) e 95% IL x 1,8 IAFr (D), condição pré-pastejo.....	58
Figura 11 -	Altura do dossel (A), altura comprimida (B), altura inferior (C) e relação da altura do dossel com altura inferior para quantificar a altura ponderada (D) do capim- <i>brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk, manejado sob duas frequências de interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8).....	66
Figura 12 -	Valores médios do intercepto (BFT, kg MS.ha ⁻¹) e coeficiente angular (BFT, kg MS.cm ⁻¹) das equações de calibração (análise de regressão) da espécie <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk, submetida a distintos manejos, durante o período experimental.....	84
Figura 13 -	Avaliações do NDVI (A e B) por meio de sensor óptico ativo, altura do dossel (C) e coleta de biomassa (D) do capim <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk manejado sob diferentes condições de manejo.....	92
Figura 14 -	Diagrama de análise de trilha para predição da BFT (A) e BLV (B) em resposta as diferentes metodologias (NDVI, IAF e Altura) propostas para quantificar suas variações em pasto de <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk, manejado durante 584 dias sob pastejo.....	95
Figura 15 -	Geração de modelos não lineares para quantificação de BFT e BLV, utilizando NDVI (A e D, respectivamente), IAF (B e E, respectivamente) e altura (C e F, respectivamente), de diferentes	

	manejos da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk, pastejada por ovinos e manejada sob lotação rotativa.....	98
Figura 16 -	Validação de modelos não lineares utilizados para determinação da BFT e BLV, proveniente da associação com NDVI (A e D, respectivamente), IAF (B e E, respectivamente) e altura (C e F, respectivamente), de diferentes manejos da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk, pastejada por ovinos e manejada sob lotação rotativa.....	99
Figura 17 -	Validação de modelos múltiplos (tabela 2), BFT-M1 (A), BFT-M2 (B), BFT-M3 (C), BFT-M4 (D), BFT-M5 (E), BFT-M6 (F), para quantificação de BFT (kg MS.ha ⁻¹), proveniente da associação com IAF, altura e NDVI de diferentes manejos da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk, pastejada por ovinos e manejada sob lotação rotativa.....	101
Figura 18 -	Validação de modelos múltiplos (tabela 2), BLV-M1 (A), BLV-M2 (B), BLV-M3 (C), BLV-M4 (D), BLV-M5 (E), BLV-M6 (F), para quantificação de BLV (kg MS.ha ⁻¹), proveniente da associação com IAF, altura e NDVI de diferentes manejos da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk, pastejada por ovinos e manejada sob lotação rotativa.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Atributos químicos do solo da área experimental na profundidade de 0-20 cm do nível do solo, dos anos de 2018 e 2019.....	41
Tabela 2 -	Variáveis fisiológicas da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação (IAFr, 1,3 e 1,8) na condição pré-pastejo.....	51
Tabela 3 -	Biomassa de forragem total, suas frações, características estruturais e espectral da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk submetido a duas frequências de interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação (IAFr 1,3 e 1,8) na condição residual.....	53
Tabela 4 -	Biomassa de forragem total, suas frações, características estruturais e espectral da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação (IAFr, 1,3 e 1,8) na condição pré-pastejo...	55
Tabela 5 -	Correlação linear de Pearson da produção de biomassa e suas frações com diferentes métodos de mensurar a altura da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) na condição residual.....	69
Tabela 6 -	Correlação linear de Pearson da produção de biomassa e suas frações, com diferentes métodos de mensurar a altura da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) na condição pré-pastejo.....	74
Tabela 7 -	Correlação linear de Pearson de variáveis fisiológicas, com diferentes métodos de mensurar a altura do pasto de capim- <i>brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) na condição pré-pastejo.....	77
Tabela 8 -	Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias AD, AC, AP ₁ e AP ₈ , sobre a variável principal IAF, realizadas com os dados dos valores obtidos da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk submetido a	

	duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) sob pastejo.....	80
Tabela 9 -	Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias AD, AC, AP ₁ , AP ₈ e IAF, sobre a variável principal taxa de fotossíntese (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) realizadas com os dados dos valores obtidos da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) da condição pré-pastejo.....	81
Tabela 10 -	Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias AD, AC, AP ₁ , AP ₈ , IAF e A, sobre a variável principal BFT (kg MS.ha^{-1}), realizadas com os dados dos valores obtidos da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) sob pastejo.....	82
Tabela 11 -	Coeficiente de correlação de Spearman (r_s) entre as variáveis BFT, BLV, NDVI, IAF e altura da espécie <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk, manejada durante 584 dias.....	94
Tabela 12 -	Geração de modelos lineares múltiplos utilizados na determinação da BFT e BLV, proveniente da associação com IAF, altura e NDVI, de diferentes manejos da <i>Brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk, pastejada por ovinos e manejada sob lotação rotativa.....	100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1	O gênero <i>Brachiaria</i>	23
2.2	Aspectos fisiológicos e seus reflexos sobre a estrutura e produção de biomassa do dossel em plantas forrageiras de via metabólica C ₄	24
2.3	Características morfofisiológicas de gramíneas forrageiras submetidas a desfolhação.....	26
2.4	A altura como metodologia utilizada no processo de monitoramento das pastagens.....	29
2.5	O uso do sensoriamento remoto para o manejo de plantas forrageiras.....	31
2.6	A modelagem e sua importância no aprimoramento das ferramentas que auxiliam no processo de planejamento da produção de forragem.....	33
3	CARACTERIZAÇÃO DO PASTO DE CAPIM-BRAQUIÁRIA SUBMETIDO À FLEXIBILIZAÇÃO DO PASTEJO POR OVINOS.....	35
3.1	Introdução.....	36
3.2	Material e métodos.....	38
3.2.1	<i>Caracterização da área experimental e do período de estudo</i>	38
3.2.2	<i>Tratamentos e delineamento experimental</i>	43
3.2.3	<i>Variáveis resposta</i>	42
3.2.4	<i>Análise estatística</i>	48
3.3	Resultados e discussão.....	49
3.4	Conclusão.....	58
4	MÉTODOS PARA PREDIÇÃO DE VARIÁVEIS MORFOFISIOLÓGICAS EM CAPIM-BRAQUIÁRIA.....	60
4.1	Introdução.....	61
4.2	Material e métodos.....	62
4.2.1	<i>Caracterização da área experimental e do período de estudo</i>	62
4.2.2	<i>Tratamentos e delineamento experimental</i>	63
4.2.3	<i>Variáveis resposta</i>	64

4.2.4	<i>Análise estatística</i>	66
4.3	Resultados e discussão	67
4.4	Conclusão	85
5	AVALIAÇÃO DE MODELOS PARA PREDIÇÃO DE VARIÁVEIS PRODUTIVAS E ESTRUTURAIS DO CAPIM-BRAQUIÁRIA	86
5.1	Introdução	87
5.2	Material e métodos	89
5.2.1	<i>Caracterização da área experimental e do período de estudo</i>	89
5.2.2	<i>Tratamentos e delineamento experimental</i>	90
5.2.3	<i>Variáveis resposta</i>	90
5.2.4	<i>Análise estatística</i>	92
5.3	Resultados e discussão	93
5.4	Conclusão	103
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES	104
	REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

O uso de pastagens na alimentação de ruminantes constitui uma forma economicamente viável nos sistemas de produção. Isso se dá, além de outros fatores, devido ao uso da radiação solar que impulsiona o processo fotossintético, favorecendo a produção eficiente de biomassa, garantindo a perenidade do pasto e a sustentabilidade do sistema. Sendo que grande parte do crescimento da pecuária brasileira em pastejo deveu-se à presença de espécies do gênero *Brachiaria*.

No entanto, as metodologias existentes de monitoramento do dossel não levam em consideração os principais fatores que impulsionam o crescimento da gramínea, como o índice de área foliar e a taxa de fotossíntese, não contribuindo para o equilíbrio da interface planta/animal, uma vez que, de acordo com Savian et al (2018), o principal problema a ser solucionado ainda em tempos atuais é encontrar métodos de avaliação da condição do dossel que possam auxiliar no gerenciamento das plantas forrageiras, possibilitando, ainda, contribuir no aumento do consumo e desempenho dos animais.

O uso da altura tem sido a forma mais difundida no mundo, sendo bastante usual nos países de clima tropical. Alguns autores (MICHELL & LARGE., 1983; GONZALEZ et al., 1990), já descreviam diferentes formas de avaliar as plantas por este método, além de citarem algumas vantagens, como a sua praticidade e rapidez na colheita (EARLE & MCGOWAN, 1979). Porém, este método por si só pode não ser tão preciso no momento de predizer a condição real do pasto, uma vez que apenas a verticalidade do dossel é levada em consideração neste caso (STOBBS 1973a; STOBBS 1973b).

As gramíneas tropicais apresentam características importantes que devem ser compreendidas. Stobbs (1973a e 1973b) já relatava sobre as mesmas apresentarem elevada heterogeneidade ao longo do dossel, o que sugere, muitas vezes, uma imprecisão no seu monitoramento, reduzindo, assim, a eficiência da altura como técnica de predição.

Por outro lado, um outro método tem se correlacionado de forma significativa com a biomassa. Este, utiliza-se de um objeto com área defendida, que exerce uma compressão sobre o dossel, reduzindo o efeito da heterogeneidade presente (SANDERSON et al., 2001). Todavia, é um método que apresenta restrições ao se trabalhar com gramíneas cespitosas (PEDREIRA, 2002).

Neste contexto, alguns trabalhos (SILVA & NASCIMENTO JÚNIOR, 2007; PARSONS & PENNING, 1988c) já descreviam a importância de se desenvolver um método prático de monitoramento da condição do pasto, que houvesse correlação das características

fisiológicas e estruturais, de modo a potencializar a produção de forragem e aumentar a eficiência de uso da mesma.

Visando solucionar esse problema, acredita-se que promover uma relação entre os estratos da planta, por meio da mensuração de uma altura superior e inferior do dossel, possa ser uma alternativa importante a ser investigada, principalmente por levarem em consideração os aspectos fisiológicos da planta e o horizonte de pastejo simulado (CARVALHO et al.,2012).

Com isso, torna-se fundamental a busca por métodos que possam se correlacionar de forma positiva com as principais características fisiológicas, estruturais e produtivas do capim-braquiária, de acordo com o manejo adotado e que, além disso, seja prático e de fácil adoção, ao ponto de poder contribuir no processo de gerenciamento e planejamento do sistema de produção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O gênero *Brachiaria*

A expansão das áreas utilizadas para a formação de pastagens no Brasil iniciou a partir da década de 1970. Esse crescimento deveu-se principalmente ao crescimento da pecuária nas regiões do Cerrado e Amazônia. A partir disso, o que era aproximadamente 25 milhões de hectares de áreas com pastagens cultivadas, aumentou para quase 90 milhões de hectares nos anos 2000. Atualmente essas áreas representam grande parte do território brasileiro, chegando a ocupar aproximadamente 196 milhões de hectares (YASUOKA et al., 2017).

Esse crescimento deveu-se, principalmente, à presença das espécies forrageiras de origem africana, grande parte do gênero *Brachiaria*, que já na década de 1990 representava 90% da área cultivada no Brasil. As gramíneas deste gênero estão distribuídas em todo o território nacional, pois são consideradas boas alternativas alimentares. Estas plantas possuem características que facilitam sua escolha, podendo-se destacar as seguintes: adaptam-se a qualquer tipo de solo (mesmo os que possuem baixa fertilidade), boa produção de biomassa de forragem (com crescimento vigoroso em grande parte do ano), bom valor nutritivo e baixos problemas fitopatológicos (COSTA et al., 2005).

Dentre as cultivares de *Brachiaria*, uma das mais utilizadas é o capim-*brachiaria brizanheta* (A. Rich) Stapf cv. Marandu, conhecido por possuir um hábito de crescimento prostrado, porém, de maior exigência em fertilidade e mais suscetível ao encharcamento do solo. No entanto, a espécie *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk ganhou destaque mundial devido a sua maior resistência aos diferentes manejos encontrados no globo (MILES et al., 2004).

A cultivar Basilisk é uma das gramíneas forrageiras mais difundidas em toda a região tropical. Proveniente de Uganda (Continente Africano), suas sementes foram trazidas até a Austrália, onde recebeu um registro denominado CPI 1694 no ano de 1930 (KELLER-GREIN et al., 1996), só chegando ao Brasil em meados da década de 1960.

É caracterizada por ser uma planta semi-ereta, com altura que varia entre 0,3 a 1 m; presença de colmos geniculados, ramificados e radicantes nos nós. Seus rizomas são pequenos e duros. Suas folhas variam entre 10 a 25 cm de comprimento por 1,5 cm de largura papilhosa-pilosa em ambas as faces. É uma planta de dias longos, ocorrendo seu florescimento, neste período, com época de colheita das sementes logo após o verão (SENDULSKY, 1978).

Além disso, outro segmento de mercado que vem ganhando expansão é a comercialização de sementes de espécies forrageiras. O mercado de venda nacional é

considerado o maior do mundo. O volume estimado de sementes comercializadas anualmente já em 2013 girava em torno de 90 mil toneladas, equivalente a 250 milhões de dólares, sendo que 88% dessas são de cultivares do gênero *brachiaria* (VERZIGNASSI, 2013).

Porém, apesar de ter sido descrito a importância das pastagens, as mesmas não têm sido eficientemente utilizadas, refletindo no baixo desempenho animal e no surgimento de novas áreas degradadas (MARTHA et al., 2012). Deste modo, compreender como ocorre o seu crescimento e acúmulo de biomassa, interligando aspectos fisiológicos e estruturais, torna-se fundamental para direcionar o manejo dos animais nas áreas de pasto a serem desfolhadas.

2.2 Aspectos fisiológicos e seus reflexos sobre a estrutura e produção de biomassa do dossel em plantas forrageiras de via metabólica C₄

A fotossíntese é o processo pelo qual as plantas captam a luz do sol (com os cloroplastos) e transformam a energia luminosa em energia química, processando o CO₂, a água (H₂O) e os minerais em compostos orgânicos, formando matéria orgânica e liberando O₂ (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Em regiões tropicais, a produção animal é desenvolvida principalmente com o uso plantas forrageiras de rota fotossintética C₄. Nesta via, o dióxido de carbono (CO₂) atmosférico é fixado em composto de 3 carbonos (3C), que ao se unir com sua enzima receptora (fosfenolpiruvato, PEP) carboxilase, na região do mesófilo, produz um composto de ácidos de 4 carbonos (4C). Os ácidos 4C se deslocam para a bainha perivascular (descarboxilando-se), para liberar CO₂, e um ácido de 3C retorna à região do mesófilo para sua regeneração.

Logo, na via C₄ a produção de carboidratos não ocorre, essa rota servirá apenas para favorecer a concentração de CO₂ na bainha perivascular, favorecendo a captação e carboxilação da enzima rubisco (PEISKER & HENDERSON, 1992).

O início da via C₄, dar-se pela fixação do CO₂ no PEP, gerando o ácido oxaloacetato (OXA), por intermédio da enzima fosfenolpiruvato carboxilase (PEP-case). O OXA produzido pode ser modificado para ácido málico (MAL), perdendo 1 NADPH, ou ácido aspártico (ASP). Ambas as reações existem, no entanto, uma das duas prevalece com maior intensidade, levando a uma pré-classificação das plantas C₄, como sendo plantas a malato ou aspartato. Esses ácidos de 4C (MAL ou ASP), deslocam-se para a bainha perivascular, onde serão descarboxiladas, liberando CO₂ para ser incorporado à RuBP, no ciclo de Calvin-Benson (O'LEARY, 1982).

Logo, de acordo com Pereira et al. (2010), a estrutura do dossel é um reflexo da soma das modificações morfológicas e fisiológicas que ocorrem instantaneamente em perfilhos

individuais, tendo a radiação solar como a principal fornecedora de energia usada nos processos fotossintéticos das plantas, sendo que essa energia sofre variação ao longo do dia e do ano.

Em estudo, Braga et al. (2009), demonstraram que a taxa fotossintética variava de acordo com: os dias de rebrotação, a idade da folha e a localização (sendo que o ápice fotossintético pode ser encontrado na região intermediária até o a ponta da folha). Ainda de acordo com o autor, imediatamente após a desfolha, as folhas remanescentes apresentam reduzida fotossíntese, isso decorre do sombreamento que existia das folhas antes do pastejo ter sido realizado. Outro fator é a ordem de crescimento das folhas. De acordo com Loomis e Amthor (1999), as folhas recém-expandidas possuem um maior potencial fotossintético, tendo os fotoassimilados produzidos pela mesma uma grande importância para a perenidade de todo o dossel, pois além de ser usado para a folha, atende o meristema apical, o sistema radicular e as novas folhas em formação.

Com o acontecimento de todos esses fatores fisiológicos, nota-se modificações na estrutura do dossel que, por sua vez, refletem nos processos de acúmulo de biomassa.

Dentre as variáveis estruturais possíveis de se coletar para a avaliação do dossel, a altura e o índice de área foliar (IAF) apresentam uma maior consistência sobre a produção de biomassa de forragem (HODGSON, 1979). As folhas que compõem o IAF são diferentes em tamanho e idade, tendo, ao longo da sua distribuição no perfil do dossel, potenciais fotossintéticos distintos. Esses fatores são decorrentes devido a interação de fatores como: radiação incidente, temperatura, água e senescência da folha (ZELITCH, 1982).

As gramíneas forrageiras alcançam sua máxima produção de biomassa de forragem quando o IAF atinge o que se chama de IAF ótimo. Este fato ocorre quando a radiação incidente no topo do dossel é interceptada, promovendo um mínimo de sombreamento, proporcionando o máximo de crescimento da cultura (TCC, peso de matéria seca acumulada por unidade de área por unidade de tempo) (WATSON, 1958; BROWN & BLASER, 1968; RHODES, 1973).

Uma figura simulando o crescimento foi ajustada e discutida para nortear o comportamento de plantas forrageiras, dividindo-a em três fases distintas (BROUGHAM & GLENDAY, 1967). Na primeira fase, as taxas de acúmulo de biomassa aumentam de forma exponencial, pois o crescimento é decorrente das reservas das sementes. A segunda fase é linear, tendo nesse momento um maior acúmulo de biomassa, devido a presença de novas folhas que, junto com as raízes, elevam essa produção. Na terceira fase, a taxa de acúmulo é decrescente.

A interceptação de luz é, portanto, regulada por inúmeros fatores, dentre esses fatores, podemos destacar a composição morfológica do pasto, o hábito de crescimento da

espécie, a estrutura da pastagem, a angulação do componente folha e sua disposição no dossel, fazendo com que todos estes fatores determinem o grau do coeficiente de atenuação da luz (k), ao atravessar todo o dossel da planta (SHEEHY & COOPER, 1973).

Com isso, Brown e Blaser (1968), concluíram em sua pesquisa que o IAF, quando relacionado à extinção de luz, torna-se uma ferramenta útil de entender todo o processo de produção fotossintético e, conseqüentemente, de acúmulo de forragem do dossel, sendo ainda mais uma forma de entender como ocorre o desenvolvimento estrutural da planta, já que o crescimento do IAF de forma linear não representa o mesmo comportamento do processo fotossintético ou na taxa bruta de acúmulo de forragem (PARSONS et al., 1983a).

Isto ocorre porque, em dosséis mais velhos, o número de folhas cuja capacidade de realizar fotossíntese é menor, ou seja, as principais folhas responsáveis pela fotossíntese são as recém-expandidas e as em expansão, com 57 e 36% da produção de fotoassimilados (PARSONS et al., 1983b). Teixeira et al. (2005), avaliando a distribuição de fotoassimilados em capim-mombaça, notaram que 56% dos fotoassimilados produzidos encontravam-se nas folhas do topo, enquanto nas folhas base, 53,2%. As folhas do topo localizam-se mais próximas do meristema apical, ao passo que as da base estão mais próximas das raízes. Gomide et al. (2002), por sua vez, visando confirmar isso, observaram que o capim-mombaça apresentou taxas fotossintéticas máximas de 19,5; 22; 21 e 19,8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente, para a folha expandida e folhas 3,2 e 1, sem diferença estatística.

Avaliando o efeito do nitrogênio sobre o crescimento de gramíneas, Lopes et al. (2020), observaram que houve um efeito linear com o aumento da disponibilidade do nutriente para a planta, sendo que esse efeito é decorrente do estímulo para atuação da enzima ribulose-1,5 bifosfato-carboxilase-oxigenase (RUBISCO), que promove uma maior fixação de nitrogênio.

Essas informações são importantes, pois auxiliam no entendimento sobre o processo de interação existente entre a arquitetura do dossel e a interceptação de luz, resultando na produção de biomassa.

2.3 Características morfofisiológicas de gramíneas forrageiras submetidas a desfolhação

Mesmo com o surgimento linear de novas espécies forrageiras no mercado, o processo produtivo ainda tem se tornado limitado. Essa limitação em ecossistemas pastoris está atrelada, principalmente, com a impossibilidade do dossel em interceptar luz solar e converter essa energia em carboidratos (PARSONS et al., 1983b).

Vários aspectos estão envolvidos no comportamento morfofisiológico das plantas nestes ecossistemas, uns correspondem à distribuição espacial das folhas, variando ainda sobre aspectos de distribuição horizontal ou vertical e seus respectivos ângulos. Outros fatores são aqueles de cunho funcional, ou seja, dependem da genética da planta e de sua interação com o ambiente, podendo-se destacar o tipo de folha e sua idade, a saturação de luz e suas flutuações na intensidade e qualidade desta luz (BROWN, 1968).

Além de outros fatores, a desfolhação também influencia no comportamento morfofisiológico das plantas forrageiras, sendo esses (comportamentos) variando a curto ou a longo prazo. Segundo Nelson (2000), a curto prazo, após o processo de desfolha, as plantas buscam realocar de forma emergencial fotoassimilados para as folhas, de modo a garantir o rápido reestabelecimento da área fotossinteticamente ativa. Algumas espécies podem apresentar, ainda, uma atividade de “*pool*” de fotossíntese, denominado de fotossíntese compensatória das folhas remanescentes do dossel (RICHARDS, 1993).

Porém, a longo prazo podem apresentar algumas modificações nas taxas de aparecimento de folhas e perfilhos, tamanho da folha e a orientação espacial, de modo a reduzir a probabilidade de desfolha. Segundo Nelson (2000), as plantas podem ter um crescimento mais horizontal quando submetidas a regimes de desfolhações a depender da intensidade de desfolha. Além disso, as espécies respondem de diferentes formas a uma determinada frequência de pastejo. Plantas cujo hábito de crescimento é cespitoso toleram maior frequência, porém reduzem o acúmulo de biomassa produzida. Papel inverso ocorre em plantas de crescimento prostrado.

Ao sentir a modificação do ambiente, as plantas forrageiras buscam meios para se adaptarem aos diferentes manejos, causando maior heterogeneidade no pasto como um todo, inviabilizando as ferramentas utilizadas no controle. De acordo com Pereira et al. (2010), os compostos produzidos na fotossíntese seguem um padrão de distribuição, sendo priorizados órgãos essenciais na seguinte hierarquia: folhas, hastes, ramificações e raízes. No entanto, quando o dossel sofre alguma limitação (por motivo de manejo, água, luz, temperatura etc.) que determina a redução no aporte de carbono (C), esse fluxo é alterado, passando a ser as raízes o local prioritário.

O uso de uma determinada frequência e intensidade de desfolha pode promover modificações na estrutura do perfilho (unidade básica do pasto), sendo essas principalmente no tamanho, peso e na densidade. Uma menor frequência de colheita favorece uma redução do número de perfilhos na área, porém tornam-se mais pesado, enquanto pastos colhidos com maior frequência tendem a ter um número maior e peso menor.

Em situações de intervalos de pastejo Mattew et al. (1995), demonstraram existência entre tamanho/densidade de perfilhos ao longo do crescimento da planta, distribuindo-se em quatro fases. A fase 1 é decorrente da baixa produção de biomassa e os perfilhos são pequenos, sendo que o surgimento de novos perfilhos não é suficiente para a reta alcançar o nível de $-3/2$, ou seja, inicia-se o crescimento do IAF através do aumento do peso do perfilho e de sua densidade; na fase 2, a área foliar é variável, decorrente da rebrotação, tendo uma inclinação da reta na ordem de $-5/2$. Nesta fase o crescimento do IAF ocorre apenas pelo peso do perfilho, reduzindo sua densidade; na fase 3, o índice de área foliar (IAF) estabiliza, e a compensação tamanho/densidade inicia (competição intraespecífica por luz), mantendo-se em $-3/2$ de inclinação; e fase 4, quando inicia-se a morte de perfilhos, decorrente de pequenos aumentos no tamanho dos mesmos, chegando a -1 de inclinação da reta. Esta última fase é caracterizada como clímax, reflexo do aumento de perfilhos juntamente com mortalidade.

Deste modo, a produção e o acúmulo de biomassa de forragem em uma área dependem, além do comportamento espacial dos perfilhos, da sua área foliar, que é resultado de uma determinada frequência de desfolha. Estudos têm demonstrado que o maior acúmulo de biomassa tem sido alcançado quando intervalos de desfolha são maiores. No entanto, esse fator tem refletido na redução do valor nutritivo do material ofertado (HOLT & CONRAD, 1986; BURNS & FISHER, 2007).

Além disso, há uma estreita relação entre os carboidratos de reserva e a área foliar durante toda a rebrotação. Alguns estudos, como por exemplo com o capim-bermuda cv. 'Florakirk' avaliando três momentos de descanso (7; 21 e 35 dias), com três alturas de resíduo (8; 16 e 24 cm), demonstrou que o acúmulo de carboidratos não-estruturais do colmo e rizoma reduziu a medida que a altura do resíduo aumentou, demonstrando um efeito de diluição desses carboidratos com a flexibilização da altura (PEDREIRA et al., 2000).

Com isso, a frequência de desfolha influencia diretamente no acúmulo de fibra no valor nutritivo da biomassa. Em regiões tropicais, o crescimento das plantas forrageiras, principalmente as do ciclo C_4 , é muito acelerado devido as altas radiações e temperaturas existentes, o que faz com que o ponto de colheita seja "perdido", desencadeando, muitas vezes, um manejo inadequado, refletindo diretamente na redução da maximização da produção animal (GOMIDE et al., 2001).

Logo, o desempenho dos ruminantes manejados em pastejo está diretamente relacionado à escolha do melhor momento de colheita da forragem (NAVE et al., 2010), sendo importante identificar o momento ideal por meio de metodologias práticas que consigam identificar aspectos morfofisiológicos das plantas forrageiras, de modo a maximizar o consumo

de MS pelo animal, além de propiciar aumento das taxas de fotossíntese, garantindo, assim, sustentabilidade dos sistemas de produção.

Um estudo manejando capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.), utilizando duas intercepções de luz (95 ou 100%), bem como dois resíduos pós-pastejo (30 ou 50 cm), observaram que as maiores taxas de acúmulo de forragem foram alcançadas quando o dossel atingiu 95% de IL, sendo encontrado uma alta relação entre IL e altura, demonstrando que essas duas variáveis estão interligadas e que podem ser melhor utilizadas como metodologias, pois as mesmas apresentam alta confiabilidade e correlação (CARNEVALLI et al., 2006).

2.4 A altura como metodologia utilizada no processo de monitoramento das pastagens

No manejo das pastagens cultivadas, a altura do dossel constantemente tem sido relacionada com as respostas do sistema de produção, seja ela na parte animal e/ou vegetal (YASUOKA et al., 2017). As constantes mudanças de manejo podem resultar na modificação da estrutura das plantas, que conseqüentemente afetam o índice de área foliar (IAF), a relação lâmina foliar/colmo e a densidade aparente do dossel e da folha, o que reflete na modificação espacial da planta e dos seus componentes de suporte (SILVA et al. 2016).

A avaliação do dossel por meio da altura é uma importante metodologia (por ser acessível e simples) que vem sendo utilizada no manejo do pasto (PELLEGRINI et al., 2010), sendo que essa avaliação periódica é uma das formas mais fáceis e efetivas de fornecer subsídios para diversos processos de gerenciamento na propriedade, auxiliando na tomada de decisão (T'MANNETJE, 2000).

A forma de maior confiabilidade é a estimação por meio de cortes da massa vegetal do pasto acima do nível solo. Porém, esse método do corte torna-se mais trabalhoso e demorado, uma vez que a quantidade de amostras coletadas deve ser representativa de toda a área. No Brasil, o uso dessas técnicas ainda é incipiente e de baixa confiabilidade, dada a alta quantidade de espécies cultivadas e pela carência de informações sobre sua ecofisiologia (PELLEGRINI et al., 2010).

Porém, vale ressaltar que o uso da altura é bastante utilizado como forma de assegurar a manutenção dentro de um equilíbrio estrutural das gramíneas forrageiras (SANTOS et al., 2014).

Entre os métodos indiretos existentes, os mais usuais são o bastão graduado retrátil (BG), o disco medidor de forragem (DS) e o sensor de capacitância (SC).

O BG é constituído de uma haste metálica ou de cano (este mais artesanal) e possui em seu interior uma janela para que sejam realizadas as leituras de altura da planta por meio de um dispositivo (marcador), o qual percorre toda a haste metálica, sendo mensurado em centímetros. Suas leituras consistem em deslizar sobre a haste este marcador móvel e, ao primeiro toque na planta, realiza-se a leitura da escala graduada.

Diferente do BG, o DS consiste em um objeto (quadrado ou redondo) de metal de um peso conhecido, o qual desliza ao longo do eixo principal, exercendo um peso sobre o dossel. A altura da forragem acima do solo é mensurada pelo eixo central. Todavia, é um método mais dependioso, apresentando restrições de uso principalmente ao se trabalhar com gramíneas cespitosas (CAUDURO et al., 2006).

O sensor de capacitância (SC) consiste em uma liberação de sinais produzidos por um oscilador de circuito elétrico, sendo que esses sinais são captados pelo próprio sensor, e os dados, por sua vez, armazenados automaticamente em um computador e calibrados em uma equação gerada (CAUDURO et al., 2006).

Acredita-se que promover uma relação levando em consideração a diferença no estrato da planta, ou seja, uma altura superior e inferior do dossel, possa ser uma alternativa importante para ser investigada, uma vez que a análise de crescimento é uma importante ferramenta capaz de auxiliar no entendimento dos processos morfofisiológicos das plantas (CARVALHO et al., 2012), visando entender sobre a interação entre a estrutura do pasto e a qualidade da forragem, torna-se um passo fundamental para que o manejo do pasto possa ser conduzido próximo aos eventos fisiológicos da planta, propiciando que tomadas de decisões sejam amparadas por critérios científicos baseados na forma e na função das plantas forrageiras.

Carvalho et al. (2009) citaram que a estrutura verticalizada das gramíneas contém diferentes percentuais dos componentes morfológicos, que impulsionam até um determinado momento a ingestão de matéria seca. Os autores demonstraram que a escolha da frequência de pastejo interfere não somente nas touceiras, mas na estrutura vertical do perfilho. Os mesmos verificaram haver uma correlação positiva entre altura das touceiras e altura inferior do estrato do tratamento mais alto (10 cm), sendo que na maior altura inferior, os animais pastejaram 80% das touceiras, enquanto a de estrato inferior de tratamento mais baixo (5 cm), apenas 50%, ou seja, em outras palavras, para potencializar consumo, o ideal seria manejar pasto quando 40% da altura inicial não ultrapassasse 40%.

Com isso, o manejo do pasto através da altura do dossel é uma técnica de fácil utilização no campo, apresentando estreita relação com a massa da forragem e a estrutura do pasto (CARVALHO et al., 2010). Porém, essa avaliação por si só não apresenta boa correlação

com a fisiologia do pasto, sua qualidade e, conseqüentemente, com o desempenho animal no que concerne a pastos tropicais, pois estes apresentam distribuição heterogênea da folhagem ao longo do perfil do dossel (FORBES, 1988), que aliado ao processo de alongamento de colmos, pode gerar resultados contraditórios quando se utiliza apenas a altura do dossel como ferramenta de manejo do pasto.

Parsons et al. (1983a), já alertavam que os manejos adotados não levavam em consideração a condição fisiológica da planta. Uma forma de tentar minimizar isso seria o uso de uma “altura ponderada”, capaz de tentar identificar o momento da idade fisiológica do pasto por meio da altura, considerando a altura superior do dossel com uma altura inferior (sendo esta última aquela que a lígula mais baixa ainda permanecesse com a folha em uma proporção de 50% verde, capaz de realizar alguma atividade fotossintética), pois de acordo com Parsons et al (1983b), a medida que a intensidade do pastejo é aumentada, ocorre uma redução na fotossíntese do dossel, uma vez que as folhas mais jovens recém-expandidas representam 57% do total de fotoassimilados produzidos pelo dossel, enquanto as mais velhas, apenas 5%.

Outras ferramentas como o uso do sensoriamento remoto têm ganhado cada vez mais destaque e espaço na agropecuária, tendo sido relacionado com fatores produtivos e fisiológicos.

2.5 O uso do sensoriamento remoto para o manejo de plantas forrageiras

Atualmente o sensoriamento remoto tem sido utilizado para detectar locais que de alguma forma sofreram ou sofrem por mudanças no manejo. De acordo com Aquino et al (2018), os dados gerados através do sensoriamento remoto podem ser importantes ferramentas que, quando usadas corretamente, oferecem elementos que auxiliam no planejamento das atividades desenvolvidas, além de detectarem locais que sofram alguma modificação mais severa ao longo do tempo.

O monitoramento das diferentes condições do pasto é uma importante medida que direciona as tomadas de decisões de uma propriedade, seja ela pequena, média e/ou grande, sendo, assim, primordial para a chamada ‘pecuária de precisão’, melhorando sua eficiência. O uso dessa técnica já é uma realidade na agricultura, principalmente em áreas de pastagens naturais, tendo um grande potencial ainda inexplorado para a pecuária (FONTANA et al., 2018).

Atualmente, as tecnologias utilizadas para a quantificação, principalmente de biomassa, são: as régua, os sensores que usam luz, placas de elevação e os sensores de

capacitância ou sensores verticais de altura e textura, porém, a maioria dessas ferramentas foi desenvolvida visando a indústria de laticínios com pastagens homogêneas. Muitos sensores são usados, mas de forma limitante devido as diferentes variações que o clima pode causar nos mesmos.

Os sensores ópticos ativos (SOA), por sua vez, utilizam sua própria fonte de luz de modo a quantificar a variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), não sendo afetados pelas condições climáticas. O índice foi proposto por Rouse et al. (1974), visando de maneira acurada se determinar a produção de biomassa acumulada em uma área, além de qualificá-la sob a óptica de vitalidade (teor de clorofila e absorção de energia).

Essa variável pode ser correlacionada principalmente com a biomassa de forragem, sendo possível ser usada com outras variáveis como o Índice de Área Foliar (ANDERSSON et al., 2017). O NDVI varia entre -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, a vegetação apresenta maior vigor, cobertura mais adensada e, conseqüentemente, maior atividade fotossintética (LIRA et al., 2011).

A reflectância das plantas que é promovida para gerar o NDVI, é resultado da diferença de energia que toca o topo de um objeto e é refletido. Essa reflectância espectral difere de forma significativa de acordo com a região do infravermelho próximo ($\lambda = 700-1300$ nm) e na faixa do vermelho visível ($\lambda = 550-700$ nm) do espectro eletromagnético (KUMAR & SILVA, 1973). Alguns outros índices, como o Índice de vegetação por diferença normalizada verde (GNDVI) e vermelho (RNDVI), têm sido utilizados de forma frequente, uma vez que levam em consideração a banda do vermelho, que tem se mostrado mais promissor, evidenciando inclinações menores na curva de relação com a biomassa de forragem (MOGES et al., 2006), porém, são mais caros.

Por serem seres clorofilados, as plantas têm uma baixa reflectância nas faixas do azul e vermelho, porém maior no verde. A energia radiante proveniente do infravermelho próximo é constantemente refletida de toda a superfície da planta, sendo que a quantidade dessa reflectância é oriunda das seguintes propriedades dos tecidos foliares: sua estrutura celular e as interfaces do protoplasma da parede celular (KUMAR & SILVA, 1973). Todas as características anatômicas são afetadas por diversos fatores ambientais, entre eles, a umidade e salinidade do solo, estado nutricional da planta e seu estágio foliar (MA et al., 2001).

Por conta disso, o contraste existente entre a pastagem avaliada e o solo é maximizado na região do infravermelho próximo. Portanto, esses dados de reflectância podem ser utilizados de modo a se calcular uma variedade de índices vegetativos, que podem ser correlacionados com variáveis biofísicos e agrônômicos das plantas, bem como com as

atividades fotossintéticas e de produtividade (MA et al.,2001). Diante disso, o NDVI é bem-sucedido na previsão da atividade fotossintética que é precedido do conteúdo de clorofila.

No entanto, esses sensores têm sido utilizados (pelo menos nos últimos 10 anos) principalmente em culturas de grande porte, como as árvores, deixando uma lacuna para o uso em espécies de forrageiras. Quase não existem trabalhos (TROTTER et al., 2010) que correlacionem os valores desses sensores com a produção de biomassa de forragem, dificultando a geração de modelos que possam ser usados na pecuária.

Atualmente, surgiu no Brasil o GreenSeeker[®], que foi desenvolvido na década de 90 pela Universidade de Oklahoma nos Estados Unidos (GROHS et al., 2009). O mesmo, ao ser ligado, emite pulsos de luz vermelha e infravermelha em um espaço curto de tempo, logo após, quantifica a reflectância de cada um. O sensor indica, através da luz relativa detectada, a densidade da folha.

O uso de atributos que busquem associar aspectos fisiológicos da planta e estruturais do dossel são fundamentais para potencializar o desempenho animal sem, contudo, comprometer a perenidade do pasto, permitindo, assim, a geração de modelos com acurácia e flexibilidade, promovendo a criação de ferramentas práticas que auxiliam na decisão da escolha do manejo mais adequado.

2.6 A Modelagem e sua importância no aprimoramento das ferramentas que auxiliam no processo de planejamento da produção de forragem

A modelagem matemática, de acordo com Lara et al. (2012), pode ser caracterizada como uma descrição simples de sistemas a partir da integração de parâmetros que visam a partir disso, gerar, calibrar e validar um determinado modelo aplicado. Porém, antes de descrever isso, Checkland (1989) já havia chamado a atenção para o fato de que, enquanto um sistema é identificado muitas vezes por sua complexidade, o modelo em si aplicado tem como objetivo retirar características importantes para o entendimento do seu comportamento, ou mesmo para encontrar soluções de problemas que possam estar envolvidos em tal sistema.

Essa caracterização matemática com ênfase agrônômica consegue auxiliar com precisão em qual “condição” o pasto encontra-se, pois essas equações geradas são reflexos de uma interação entre o fator planta (fisiológicos e estruturais), fatores abióticos (luz, temperatura, água e nutrientes) e fatores bióticos (pastejo pelo animal ou corte manual) que influenciam diretamente no processo de produção e acúmulo de biomassa de forragem. Pedreira et al. (2011), descreveram que, além dos aspectos citados, o processo de geração de modelos a partir de novas tecnologias tem como outras funções a de reduzir os custos de

produção adotados na propriedade, uma vez que com esses modelos gerados, é possível se determinar medidas mais específicas, de acordo com uma determinada realidade específica, seja ela a nível local ou regional.

Logo, a geração desses modelos é importante e útil no processo de planejamento de atividades. Um modelo que seja capaz de identificar respostas agrônômicas das espécies forrageiras, como as do gênero *Brachiaria*, pode ser utilizado no aprimoramento das estratégias de plantio e produção da maioria dos sistemas de produção no Brasil (SANTOS et al., 2014), uma vez que esse gênero é um dos mais utilizados, de modo a melhorar as tomadas de decisões na propriedade, norteadas o momento “ótimo” para a colheita da forragem a ser ofertada ao animal, seja via manual (corte) ou pastejo direto. Com isso, para que se alcance o aumento nos índices de produção animal e melhora na eficiência dos sistemas, principalmente nos baseados em pastagens, o uso de ferramentas que permitam explorar os distintos manejos que ocorrem, com base na dinâmica de crescimento vegetal, são fundamentais.

Alguns estudos (LARA et al., 2012; PEDREIRA et al., 2011), através da integração de variáveis produtivas, estruturais e fisiológicas, vem buscando desenvolver modelos que possam prever o comportamento produtivo do dossel. Por outro lado, outros têm buscado atuar de forma mais específica, principalmente para uma determinada cultura, propondo-se, assim, descrever os processos ligados à produção potencial, desde a absorção de água no solo até os reguladores hormonais de crescimento, simulando o crescimento vegetal.

No entanto, apesar da sua alta funcionalidade e importância, conforme descrito acima, de acordo com Marin e Jones (2014), os modelos agrícolas, mesmo nos dias atuais, têm sido pouco explorados, principalmente em regiões tropicais, onde o número de trabalhos científicos desenvolvidos com espécies forrageiras tropicais perenes tem sido muito baixo. Dentre os principais fatores para esse baixo uso dos modelos, estão a reduzida compreensão dos seus atributos e funcionalidade, além da escassa base de dados coletados de forma padronizada, que serão utilizados nos processos de geração, calibração, validação e utilização de forma adequada desses modelos a nível de propriedade.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar os aspectos fisiológicos, estruturais e produtivos do dossel forrageiro e, a partir disso, desenvolver um método prático e que fosse capaz de monitorar a condição do pasto, levando em consideração todos os seus aspectos descritos, utilizando-se para isso, a espécie forrageira *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk.

3 CARACTERIZAÇÃO DO PASTO DE CAPIM-BRAQUIÁRIA SUBMETIDO À FLEXIBILIZAÇÃO DO PASTEJO POR OVINOS

Resumo

A sustentabilidade da produção animal à pasto tem sua fundamentação no aprimoramento do manejo das espécies forrageiras utilizadas, o que garante o aumento nos índices de produtividade animal, perenidade das pastagens e redução de custos. Objetivou-se caracterizar as respostas produtivas, estruturais, fisiológicas e do NDVI da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, em função da flexibilização do manejo do pastejo adotado. Foram avaliadas 4 combinações de desfolhação, que consistiram no arranjo de duas (85% e 95%) intercepções luminosas (IL) e dois (1,3 e 1,8) índices de área foliar residual (IAFr), como parâmetros de entrada e saída dos animais da pastagem, respectivamente. Observou-se maior Biomassa de forragem total (BFT kg MS ha⁻¹) de 18,82%, quando o dossel foi manejado nas menores frequências de desfolhação (95% IL), porém com maior composição morfológica do componente colmo e material morto. A interceptação luminosa de 95%, promoveu uma camada a mais de folhas do que quando o dossel foi manejado aos 85% IL. As variáveis fisiológicas foram afetadas pela maior frequência de desfolhação (85% IL), com menores taxas fotossintéticas. O NDVI foi superior no dossel manejado na condição pré-pastejo aos 95% IL (0,88) e condição residual de 1,8 IAFr (0,49), quando comparado ao 85% IL (0,86) e 1,3 IAFr (0,44). Para o ganho por animal, recomenda-se para uma frequência de pastejo com 85% de IL com 1,8 IAFr ou NDVI pré-pastejo de 0,85 e NDVI residual de 0,49, enquanto para um ganho por área, a frequência de desfolhação de 95% IL com 1,3 IAFr ou NDVI de 0,88 ou 0,44, respectivamente, é o mais indicado.

Palavras-chave: Estrutura do pasto. Fotossíntese. Índice de área foliar. Lotação rotativa. NDVI. Produção de forragem.

Abstract

Pasture animal production sustainability has its validity in the management enhancement of the utilized forage species, which ensures animal productivity index growth, perenniality of pastures, and cost reduction. This chapter aimed to characterize productive, structural, and physiological responses, as well as NDVI responses from *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, considering the adopted pasture management flexibilization. 4 defoliation combinations were evaluated. They consisted of two (85% and 95%) Light Interceptions (LI) and two (1.3 and 1.8) Residual Leaf Area Index (RLAI) used as pasture animals input and output parameters,

respectively. A bigger amount of 18.82% of Total Forage Biomass (TFB kg MS ha⁻¹) was observed when the canopy was managed under lower defoliation frequencies (95% of LI), but with a larger morphological composition of stem components and dead material. Light Interception of 95% provided one additional leaf layer compared to when the canopy was managed with 85% of LI. Physiological variables were affected by a larger defoliation frequency (85% of LI) with lower photosynthetic rates. NDVI produced a better result in the pre-grazing canopy with 95% of LI (0.88) and residual condition of 1.8 RLAI (0.49) when compared to 85% of LI (0.86) and 1.3 RLAI (0.44). For animal gain, a pasture frequency with 85% of LI with 1.8 of RLAI or NDVI pre-grazing of 0.85 and residual NDVI of 0.49 is recommended. By contrast, for area gain, a defoliation frequency of 95% LI with 1.3 RLAI or NDVI of 0.88 or 0.44, respectively, is recommended.

Keywords: Pasture structure. Photosynthesis. Leaf area index. Rotational stocking. NDVI. Forage production.

3.1 Introdução

Em regiões tropicais, a produção animal a pasto é a forma mais econômica e lucrativa, além destas áreas prestarem outros serviços de ordem ambiental global, como: a captação de carbono (C) no solo, e servir de habitat para a vida selvagem (SOLLENBERGER et al., 2019), contribuindo, assim, com a produção de alimento no planeta e a conservação do meio ambiente.

No Brasil, a intensificação dessas áreas iniciou-se a partir da década de 70, quando o gênero *Brachiaria* impulsionou a pecuária (SANTOS et al., 2014). Atualmente, as espécies desse gênero ocupam mais de 80 milhões de hectares no Brasil (LARA et al., 2021). De todas as espécies desse gênero, uma das mais cultivadas em todo o território nacional é a Basilisk, conhecida popularmente como braquiarinha. Sua rápida difusão e aceitabilidade se deram principalmente por sua alta adaptabilidade a solos ácidos, resistência ao pastejo, bom rendimento de matéria seca (kg ha⁻¹) (PEREIRA et al., 2018) e devido ao seu hábito de crescimento (decumbente) que garante boa cobertura do solo (SANTOS et al., 2011a).

Dos sistemas de produção adotados no Brasil, o método de lotação rotativo merece destaque, pois apresenta maior possibilidade de controle local (vegetal e animal). De acordo com Pedreira et al. (2017), o primeiro critério utilizado para se determinar o período de descanso das gramíneas foi o de dias fixos, sendo classificado posteriormente como ineficiente,

uma vez que a taxa de acúmulo de forragem é irregular durante o ano, devido a estacionalidade de produção das pastagens (MARANHÃO et al., 2021).

Visando melhorar a eficiência de utilização das espécies forrageiras tropicais no mundo, pesquisas sinalizaram na última década que, ao atingir a interceptação luminosa (IL) de 95% (ZANINI et al., 2012; SILVA et al., 2015b; ECHEVERRIA et al., 2016; PEDREIRA et al., 2017;) e manejos com um índice de área foliar residual (IAFr) de 1,0 (SILVA et al., 2007; POMPEU et al., 2008), seriam os momentos ideais para se iniciar e encerrar, respectivamente, o pastejo.

Por sua vez, Miqueloto et al. (2019) descreveram haver a possibilidade de flexibilização nas metas de manejo adotadas, principalmente em regiões tropicais, por haver épocas mais favoráveis à produção de forragem, sendo que o encerramento do pastejo seria resultante tanto da biomassa residual, quanto da sua estrutura (composição morfológica) (ZANINI et al., 2012; SILVA et al., 2015b). Gomide et al. (2007) já indicavam que um IAFr superior a 1,0 e inferior a 2,0, seria o ideal, pois essa meta residual seria capaz de impulsionar a rápida recuperação do dossel, devido a produção de fotoassimilados, sem comprometer sua perenidade e qualidade. Contudo, Carvalho (2013) propôs a redução da frequência de 95% IL a valores próximo a 85% e 90%, o que impulsionaria e potencializaria a velocidade de ingestão permitida de forma constante, mitigando perdas por senescência, alongamento de colmo do dossel, além de favorecer uma maior densidade de nutrientes consumida pelo animal (MARTINS et al., 2020) e o maior acúmulo de forragem.

Há de se considerar, então, haver necessidade de caracterizar as respostas produtivas, estrutural e fisiológica dessa espécie, sendo desfolhada por animais de pequeno porte como os ovinos, haja vista os poucos trabalhos desenvolvidos (PORTELA et al., 2011; SANTOS et al., 2014; PEDREIRA et al., 2017), e sua importância em ambientes tropicais, uma vez que a maioria foi desenvolvido sob corte (parcelas). Além dos aspectos morfofisiológicos, não há respostas de uso do sensoriamento remoto como uma ferramenta de manejo em áreas de pastagem cultivada, tendo o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1974), uma importante relação com esses parâmetros, sendo uma importante metodologia a ser testada, haja vista sua praticidade e rapidez de uso, favorecendo o processo de gerenciamento do sistema de produção.

Diante do exposto, hipotetiza-se que a espécie *Brachiaria decumbens* 'Basilisk', possua alta plasticidade fenotípica, modificando, além da arquitetura, seus aspectos fisiológicos. Isso é reflexo do propósito (ganhos por animal ou área) da atividade, tendo o intervalo de frequências de desfolhação de 85% a 95% IL associado a um IAFr acima de 1,0

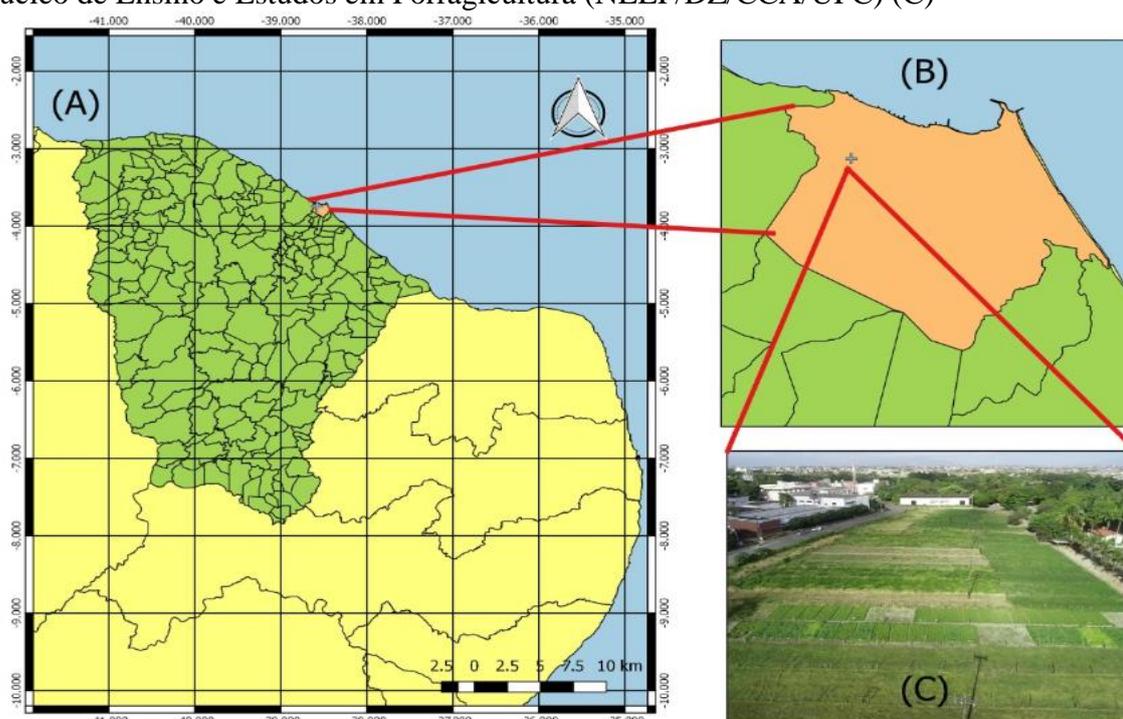
(intervalo entre 1,3 a 1,8), a faixa de manejo que garantirá maior sustentabilidade e produtividade ao sistema de produção, de acordo com seu objetivo. Logo, objetivou-se quantificar e caracterizar os aspectos produtivos, fisiológicos, NDVI, e estruturais da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, a partir da flexibilização das metas de manejo do pastejo com ovinos, tanto na condição residual quanto pré-pastejo, sob lotação rotativa, de modo a direcionar o manejo mais adequado de acordo com o objetivo de cada sistema de produção.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Caracterização da área experimental e do período de estudo

O experimento foi conduzido no Núcleo de Ensino e Estudos em Forragicultura do Departamento de Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias, pertencente à Universidade Federal do Ceará (NEEF/DZ/CCA/UFC), localizado em Fortaleza/CE, Brasil (Figura 1), seguindo os padrões éticos e aprovados pelo Comitê de Ética do Uso de animais (Protocolo N° 80/17).

Figura 1: Localização geográfica do estado do Ceará (A), da cidade de Fortaleza (B) e do Núcleo de Ensino e Estudos em Forragicultura (NEEF/DZ/CCA/UFC) (C)



A pesquisa durou aproximadamente 584 dias, (agosto de 2018 a abril de 2020), tendo passado por duas épocas seca e chuvosa. Fortaleza localiza-se a uma altitude de 21 metros, nas seguintes coordenadas geográficas: 03°45'47" S, 38°31'23" W, sendo caracterizada como de clima tropical chuvoso Aw', segundo Köppen-Geiger (PEEL et al., 2007). Os dados

de precipitação, temperatura atual (máxima e mínima) do período experimental e histórico, foram coletados na estação meteorológica da UFC, localizada a 0,5 km da área experimental (Figura 2). O balanço hídrico do período experimental pode ser visualizado na figura 3, o mesmo foi calculado conforme o método de Thornthwaite e Mather (1955).

Figura 2: Precipitação atual (mm), temperaturas máxima e mínima atuais (Temp.máx e min atual, °C) do período experimental (2018, 2019 e 2020) e histórico (1989-2017) (Prec.hist, mm; Temp.max.hist e min.hist, °C), respectivamente da área experimental

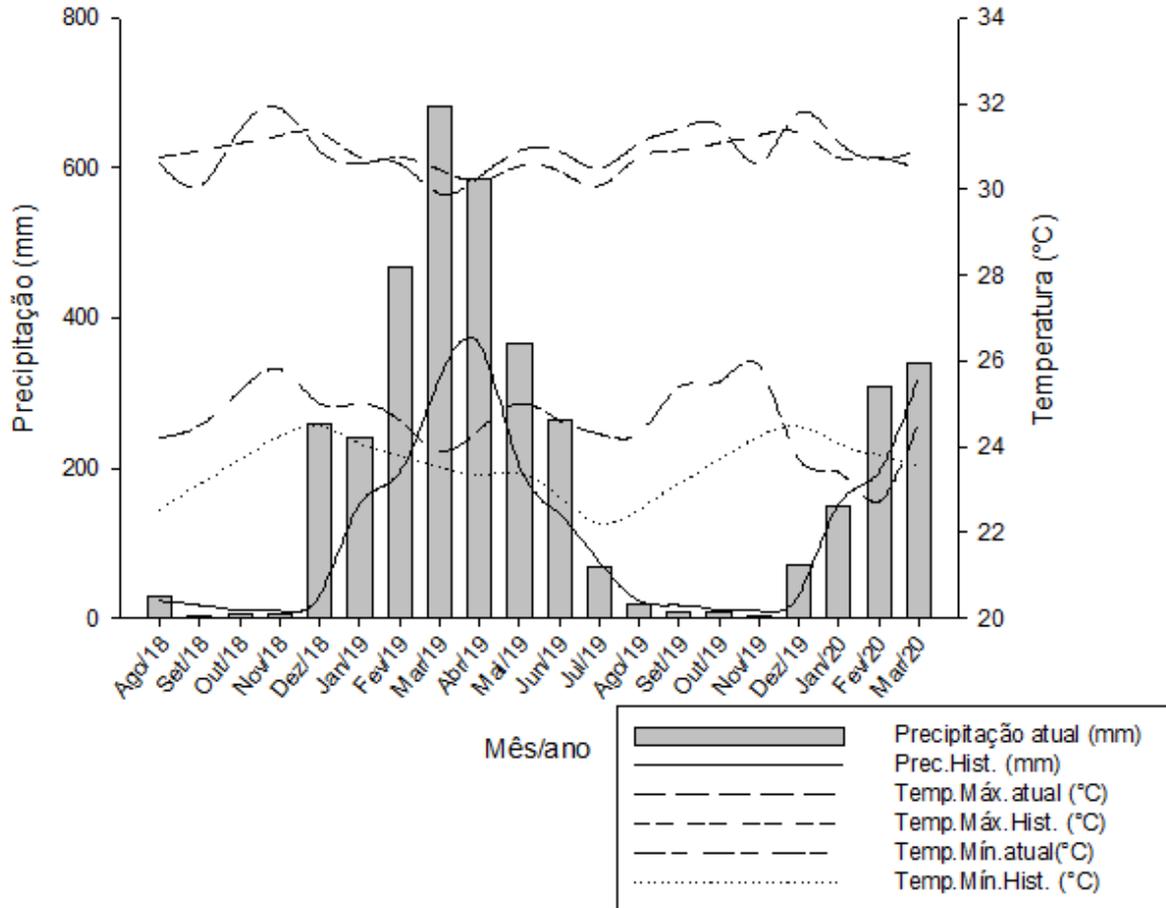
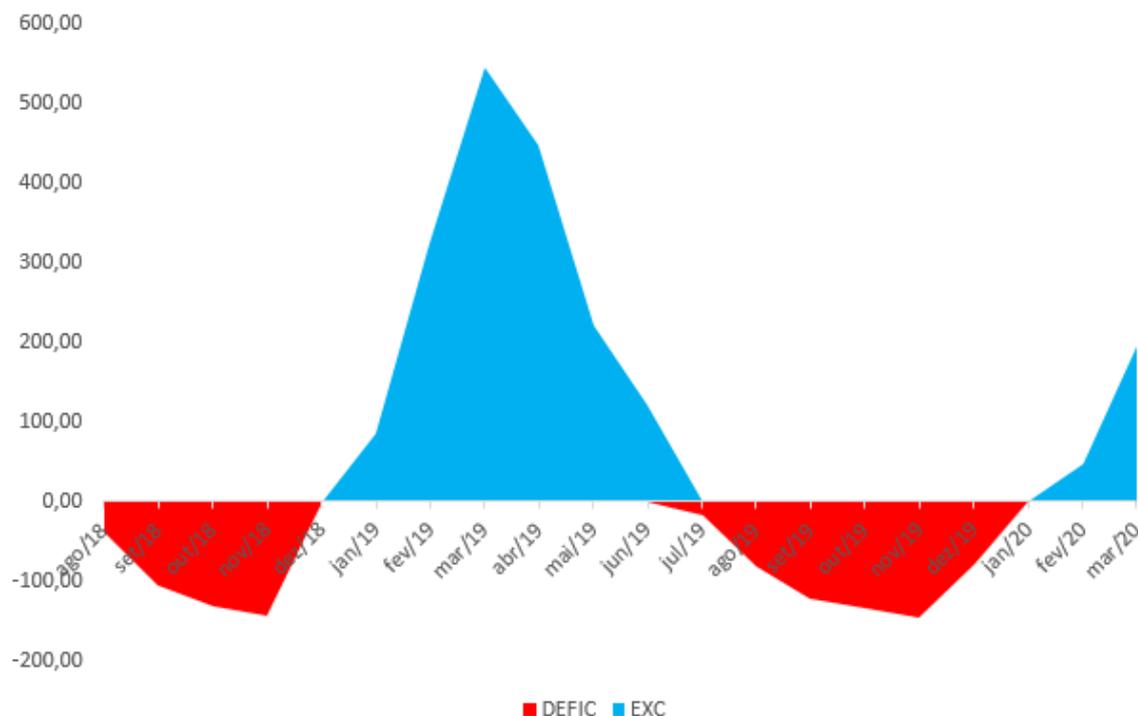


Figura 3: Balanço hídrico do período experimental sendo descrito o déficit hídrico (DEFIC) e o excesso de água (EXC)



A espécie utilizada foi a *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk (syn. *Urochloa decumbens* cv. Basilisk) (Figura 4A e 4B). A mesma foi semeada em Argissolo Amarelo de textura arenosa (SANTOS et al., 2018), em uma área total de 1.400 m², dividida em 16 piquetes de 12,5 x 7,0 m (87,5 m²). A área experimental possuiu sistema de irrigação por aspersão fixa com baixa pressão (equivalente a pressão de serviço de < 2,0 kgf/cm², vazão de 0,8 m³ h⁻¹), por uma quantidade diária fixa de água de 7 mm h⁻¹, tendo na época seca um tempo de irrigação de 40 min, enquanto na época chuvosa a irrigação foi complementar, sempre aplicada ao final da tarde. A área foi pastejada por 30 ovinos da raça Morada Nova (35 kg ± 4,0) (Figura 4C e 4D) em um período que compreendeu de 10 a 12 horas, visando um pastejo rápido e intenso, caracterizando-se como *mob-grazing* (GILDERSLEEVE et al., 1987).

Figura 4: Condição pré-pastejo do capim-*brachiaria decumbens* cv. Basilisk ao atingir 85% (A) e 95% (B) de interceptação luminosa (IL, %) e seus posteriores momentos de desfolha (C e D), respectivamente, por ovinos da raça Morada Nova, durante 584 dias de período experimental



(A)



(B)



(C)



(D)

Foto: Conrado (2019)

Duas coletas de solo (17 de janeiro de 2018 e 15 de janeiro de 2019) foram realizadas visando monitorar sua fertilidade durante o período experimental. As mesmas foram colhidas na profundidade de 0 a 20 cm do nível do solo, e enviadas ao Laboratório de Ciência do Solo da UFC, tendo os resultados apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Atributos químicos do solo da área experimental, na profundidade de 0-20 cm do nível do solo, dos anos de 2018 e 2019

Área manejada com capim- <i>brachiaria decumbens</i> cv. Basilisk										
Ano	pH	M.O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SB	CTC	V
		g kg ⁻¹	----mg dm ⁻³ ---		-----cmolc dm ⁻³ -----					%
2018	6,80	11,17	285,00	136,85	1,60	1,00	0,20	3,10	3,60	86,00
2019	7,70	5,90	26,00	35,19	1,20	0,80	0,00	2,70	3,00	89,00

Potencial hidrogeniônico (pH, H₂O); Matéria orgânica (M.O); Fósforo (P, Mehlich-1); Potássio (k); Cálcio (Ca²⁺); Magnésio (Mg²⁺); Alumínio (Al³⁺); Soma de bases (SB); Capacidade de troca catiônica (CTC); Saturação por base (V).

Após isso, foi realizada a fertilização, conforme Alvarez et al. (1999), sendo aplicados 20 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e 200 kg.ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se os adubos superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, favorecendo a recomposição dos nutrientes extraídos do ano de 2018 a 2019. Foram aplicados também 30 e 40 kg.ha⁻¹ de uma fonte comercial FTE BR 12, de modo a suprir a demanda de micronutrientes para os anos de 2018 e 2019, respectivamente. Foi mantida, ainda, uma adubação nitrogenada (N) equivalente a 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹, aplicados durante o ciclo de crescimento das plantas. Para isso, utilizamos a ureia (CH₄N₂O, com 45% de N) como fonte do nutriente.

3.2.2 *Tratamentos e delineamento experimental*

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado num esquema experimental organizado em arranjo fatorial (2 x 2), nos quais os tratamentos consistiram na combinação de duas frequências e duas intensidades de desfolhação, resultando em quatro tratamentos. Os mesmos foram estudados tanto na condição residual, quanto no pré-pastejo. As frequências foram baseadas na interceptação luminosa (IL) de 85% e 95% da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e as intensidades, nos índices de área foliar residual (IAFr) de 1,3 e 1,8 do dossel.

3.2.3 *Variáveis resposta*

As variáveis de produção foram avaliadas na condição residual e pré-pastejo, sendo: biomassa de forragem total (BFTr e BFT, kg MS.ha⁻¹, respectivamente) e suas frações, lâmina foliar verde (BLVr e BLV, kg MS.ha⁻¹, respectivamente), colmo verde (BCVr e BCV, kg MS.ha⁻¹, respectivamente) e forragem morta (BFMr e BFM, kg MS.ha⁻¹, respectivamente).

As de ordem estrutural, avaliadas na condição residual e pré-pastejo, foram: altura do dossel (ADr e AD, cm), e a relação lâmina foliar/colmo (LF/Cr e LF/C), sendo apenas a densidade populacional de perfilhos (DPP, perfilho.m⁻²) e o número de novas folhas produzidas (N^oNFP, folha.perfilho⁻¹), na condição pré-pastejo. Foi avaliado, ainda, a estrutura verticalizada do dossel, por meio da distribuição dos componentes morfológicos da biomassa de forragem. Para isso, utilizou-se a metodologia do “ponto quadrado inclinado” (“*inclined point quadrat*”) (WILSON, 1960), tanto na condição residual quanto pré-pastejo.

Para determinação da DPP, uma moldura (42 x 30 cm) (Figura 5B), foi colocada de forma aleatória por unidade experimental, tendo todos os perfilhos de dentro contabilizados. Para a variável N^oNFP, 15 perfilhos (Figura 5A) por unidade experimental foram utilizados de modo que fossem contabilizadas todas as folhas expandidas acima da última pastejada, sendo

quantificado a média aritmética. Em auxílio para o corte da biomassa, foi utilizada uma moldura de área conhecida (42 x 30 cm), sendo todo o material coletado rente ao nível do solo, usando-se uma tesoura tipo poda (Figura 5C). Após isso, a biomassa foi fracionada de forma manual em folha, colmo e material morto (Figura 5D), pesada e levada à estufa de ventilação com circulação de ar forçada a 55 °C até atingir peso constante, e pesada novamente para se obter o peso seco. O momento que a folha mais alta promovia uma curvatura, foi contabilizado, para promover a AD, sendo usado para isso um bastão graduado retrátil tipo *Sward Stick* em centímetros (cm) (BARTHAM, 1986).

Figura 5: Número de novas folhas produzidas ($N^{\circ}NFP$, folha perfilho⁻¹) (A), Densidade populacional (B), corte da biomassa (C) e fracionamento (D) da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk manejado sob duas frequências de interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8)

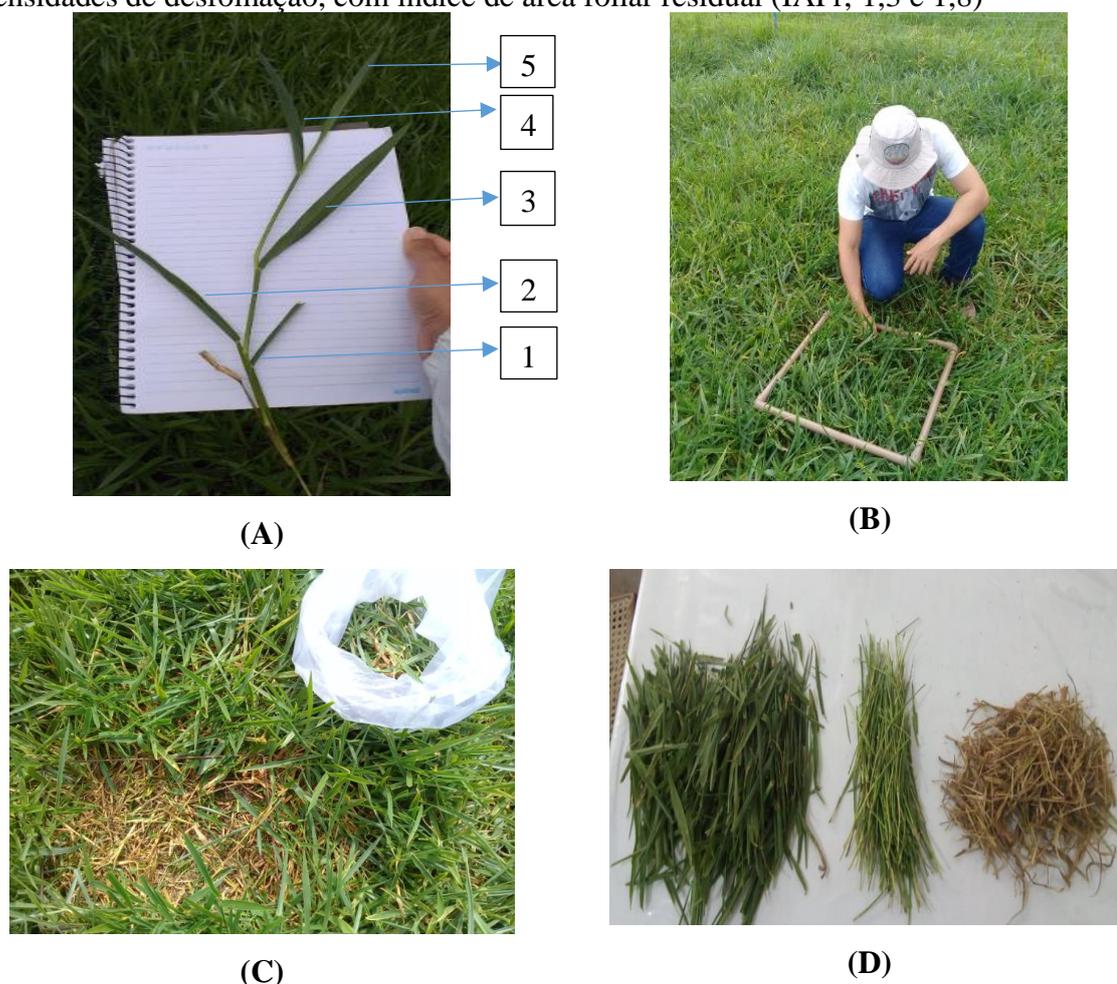


Figura (A): Folha pastejada (1); Primeira nova folha produzida (2); Segunda nova folha produzida (3); Terceira nova folha produzida (4); Folha emergente (5). Foto: Conrado (2019)

Para avaliar a estrutura verticalizada do dossel (*inclined point quadrat*) (WILSON, 1960), o equipamento era constituído de uma haste de metal e foi montada com uma inclinação de 32,5° entre os planos de penetração no interior do dossel e o do nível da superfície

do solo. Para as avaliações, o equipamento foi posicionado em locais que representassem a condição média de cada tratamento, permitindo a descrição *in loco* da influência do tratamento sobre o dossel, de modo que fosse possível acompanhar a descida gradual da haste até que a sua ponta tocasse os seguintes componentes morfológicos: folha (lâmina foliar), colmo (colmo+bainha), material morto e plantas invasoras (toda planta, exceto *Bracharia decumbens*) (Figura 6).

Cada componente ao ser tocado, foi identificado, sendo ainda a altura registrada a partir do toque. Após cada toque, o componente era cuidadosamente deslocado ao lado, para que a haste continuasse sua descida e tocasse os demais componentes até atingir a superfície do solo. Um mínimo de 100 toques foi realizado por unidade experimental.

Os dados foram organizados e tabulados e em uma planilha processados, onde o número de toques de cada componente em específico foi transformado em percentual do total de toques ocorridos em cada estrato, tendo, com base nisso, os gráficos das condições residual e pré-pastejo.

Figura 6: Detalhes do ponto quadrado inclinado na condição pré-pastejo (A) e residual (B), utilizado na avaliação vertical dos componentes morfológicos do dossel, folha (C), colmo (D), material morto (E) e outras espécies vegetais caracterizadas como planta invasora (F) e a superfície do solo (G) em pasto de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, manejado sob duas frequências (85% e 95% IL) e duas intensidades de desfolhação (1,3 e 1,8 IAFr)

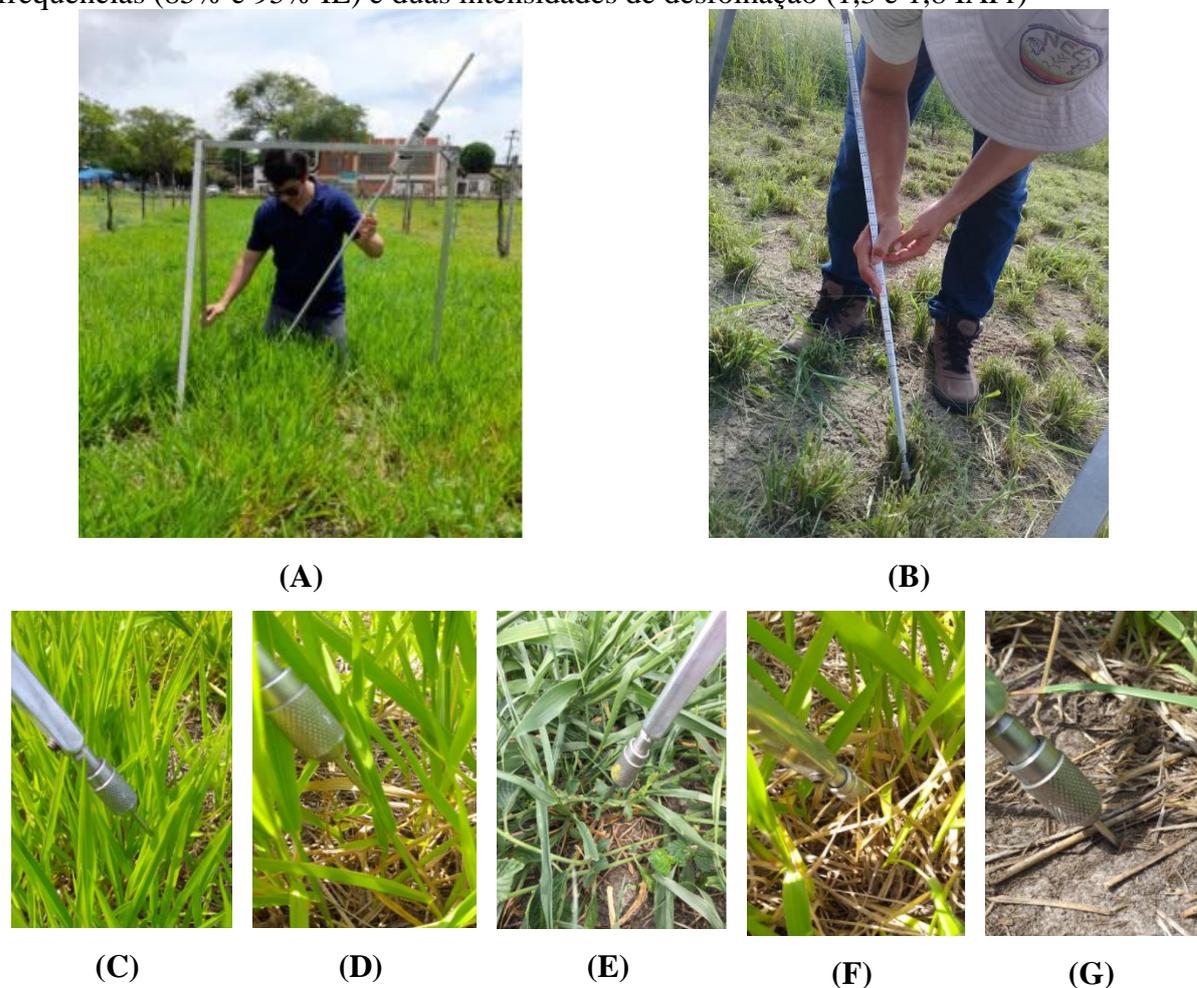


Foto: Conrado (2020)

Para se determinar o IAF e a IL (Fórmulas 1 e 2, respectivamente), foi usado um analisador PAR-LAI em agricultura modelo Accupar LP-80 (Decagon Devices, Pullman, Washington, USA). As leituras foram tomadas em um número mínimo de 15 vezes por unidade experimental nas partes superiores e inferiores do dossel, entre os horários de 10:00 às 12:00 horas (Figura 7), sendo as avaliações realizadas semanalmente para a condição pré-pastejo e horária para a determinação da condição residual, de forma a detectar as metas de manejo preconizadas.

Fórmula 1: $IAF = \frac{\left[\left(1 - \frac{1}{2k}\right) - 1\right] \ln t}{A(1 - 0,047fb)}$, onde IAF = Índice de área foliar; k = coeficiente de extinção luminosa; ln T = logaritmo da Tau (coeficiente de transmissão do dossel); Fb = fração da

radiação direta; $A = 0,283 + 0,785a - 0,159a^2$ (Accupar assume $a = 0,9$ absorvidade da folha na faixa RFA).

$$\text{Fórmula 2: Interceptação de luz (\%)} = \left(1 - \frac{\text{transmitida PAR}}{\text{incidente PAR}}\right) * 100$$

Figura 7: Avaliação do IAF e da IL em pasto de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk manejado sob a frequência de 85% (A e B) e 95% (C e D) de interceptação luminosa e duas intensidades de desfolhação do índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) durante o período experimental



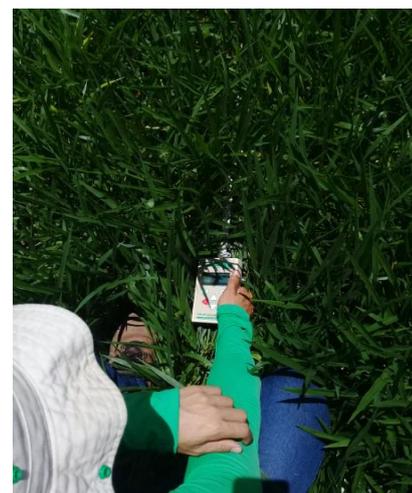
(A)



(B)



(C)



(D)

Foto: Nascimento (2019)

As variáveis fisiológicas coletadas foram colhidas apenas na condição pré-pastejo, sendo as taxas: fotossintética (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e condutância estomática (Gs, $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), além da concentração interna de dióxido de carbono (Ci , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), temperatura interna da folha (T_{Fol} , $^{\circ}\text{C}$), e o índice relativo de clorofila (IRC).

Para isso, foram utilizados dois equipamentos: Analisador de trocas gasosas por infravermelho (Infra Red Gas Analyzer-IRGA LC-Pro-SD, marca ADC, Bioscientific Ltda.

Hoddesdon, Hertfordshire, UK) (Figura 8A e 8B) sob intensidade de luz constante ($2.000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e o clorofil\u00f4metro (Chlorophyll Meter SPAD-502, Minolta, Jap\u00e3o) (Figura 8C). As medidas foram tomadas na \u00faltima folha rec\u00e9m-expandida, em um n\u00famero m\u00ednimo de 5 vezes por unidade experimental, no hor\u00e1rio de 10:00 \u00e0 12:00 horas.

O \u00edndice de vegeta\u00e7\u00e3o por diferen\u00e7a normalizada foi medido tanto na condi\u00e7\u00e3o residual, quanto pr\u00e9-pastejo (NDVIr e NDVI), sendo para isso utilizado um sensor \u00f3ptico ativo (SOA) GreenSeeker^{\u2122} Handheld Crop Sensor (Figura 8D). O sensor realiza leituras entre 0,60 a 1,20 m da altura do "alvo", com campo de vis\u00e3o variando de 25 a 50 cm (10 a 20"), com capacidade de 1.000 leituras por segundo, eliminando-se o efeito do ambiente, uma vez que ele possui diodos de emiss\u00e3o da sua pr\u00f3pria radia\u00e7\u00e3o nas faixas do vermelho (650 nm) e infravermelho pr\u00f3ximo (770 nm) (TRIMBLE, 2020).

O NDVI foi proposto por Rouse et al. (1974) para se analisar caracter\u00edsticas biof\u00edsicas de vegeta\u00e7\u00f5es (F\u00f3rmula 3), baseado na resposta espectral do dossel em duas bandas: infravermelho (Rnir, comprimentos de onda entre 700 a 1300 nm) e do vermelho (Rred, comprimentos de onda entre 550 a 700 nm) (KUMAR & SILVA, 1973).

$$\text{F\u00f3rmula 3: } NDVI = \frac{R_{nir} - R_{red}}{R_{nir} + R_{red}}$$

Figura 8: Avaliação fisiológica (A) de trocas gasosas com IRGA (B), índice SPAD (C) e NDVI (D) em pasto de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk manejado sob duas frequências de interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação do índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) durante o período experimental



(A)



(B)



(C)



(D)

Foto: Nascimento (2019)

3.2.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos a avaliação da normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($P < 0,05$) e para homocedasticidade, verificados por meio de visualização gráfica dos resíduos. Quando os pressupostos foram atendidos, o seguinte modelo foi adotado: $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \epsilon_m + \hat{A}_n + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\beta\epsilon)_{ijm} + \epsilon_{ijkmn}$. Onde Y_{ijk} é a variável dependente; μ é a média geral; α_i é o efeito fixo da frequência; β_j é o efeito fixo da intensidade;

δ_k é o efeito aleatório do ciclo; \bar{A}_m é o efeito fixo da época; \hat{A}_n é o efeito aleatório do ano; $(\alpha\beta)_{ij}$ é o efeito da interação frequência*intensidade; $(\alpha\beta\bar{A})_{ijm}$ é a interação frequência*intensidade*época; e ε_{ijkmn} é o efeito do erro aleatório, assumindo, assim, uma distribuição normal independente. Para isso foi utilizado o procedimento PROC MIXED, tendo o LSMEANS a forma de realizar as comparações múltiplas dos efeitos dos testes por meio do teste de Tukey-Kramer a 5% de probabilidade, do programa computacional SAS University Edition.

3.3 Resultados e discussão

As variáveis fisiológicas, taxa de fotossíntese (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (G_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e o índice relativo de clorofila (IRC) apresentaram diferença para frequência ($P < 0,05$), sendo A e IRC maiores no manejo de 95% IL, tendo sido ainda observado interação para IRC. Esse crescimento se deve ao maior IAF pré-pastejo (Tabela 2), que foi superior ao do dossel manejado a 85% IL. Esse comportamento, segundo Gomide et al. (2007) se deve principalmente ao maior acúmulo de amido nas folhas, o que acaba por inibir a fotossíntese.

Em trabalho realizado com *Brachiaria decumbens*, Santos et al (2014) identificaram redução das taxas fotossintéticas com o aumento da frequência de desfolha, o que impactou nas menores taxas de alongamento foliar (TAIF) e colmo (TAIC). Além disso, é possível observa que os dosséis manejados aos 85% de IL possuíam menor IAF e folhas mais jovens, quando comparados ao manejo de 95% IL. Esse fato, de acordo com Parsons et al (1988a), Parsons et al. (1988b), Yasuoka et al. (2017), favorece a menor taxa de fotossíntese líquida por mais que o manejo de 85% possa ter maior taxa fotossintética por folha superior ao manejo de 95%, o mesmo tem uma área de folha inferior, não tendo essa fotossíntese produzida por folha, impacto no IAF final, não favorecendo a produção de biomassa de forragem.

Respostas semelhantes ao da taxa fotossintética foram encontradas na variável G_s ($P < 0,05$). Observou-se que o maior IAF pré-pastejo (95% IL) apresenta, por consequência, uma maior densidade de enzimas fotossintetizantes como a RUBISCO (Ribulose-1,5-bifosfato-carboxilase-oxigenase), responsável pela fixação do CO_2 através de um substrato energizante, Rubp. O processo de abertura estomática é decorrente dos estímulos do dia (radiação, temperatura etc.) e das alterações morfológicas (como tamanho, forma e mobilidade) de uma determinada espécie (LOPES et al., 2011; FRANKLIN, 2016; HUSSAIN et al., 2019; SHAFIQ et al., 2021).

Observou-se efeito de frequência ($P = 0,038$) e intensidade ($P = 0,0323$) para E, tendo a condição pré-pastejo do manejo de 95% IL, apresentado o menor valor, quando comparado ao pastejo menos leniente (Tabela 2). Possivelmente, ao elevar a idade fisiológica, a planta torna-se mais eficiente no uso da água, reduzindo suas perdas por transpiração, enquanto que em desfolhações mais frequentes há uma concentração de N, resultando em uma atuação mais intensa da RUBISCO. Em seu trabalho, Pezzopane et al. (2015), identificaram que quando o pasto é intensamente pastejado, sua rebrotação torna-se mais dependente das reservas orgânicas, sendo direcionado às folhas, restringindo principalmente a respiração de manutenção, inviabilizando a transpiração. Kroth et al. (2015) confirmaram que quando ocorre algum tipo de estresses (biótico ou abiótico) as plantas tendem a ter uma maior concentração de açúcares redutores (ARs) nas folhas, reduzindo a translocação via floema para as raízes, onde seriam fundamentais na manutenção da via glicolítica em total funcionamento.

Houve interação F*I ($P < .0001$) para IRC, sendo o manejo 95% IL x 1,8 IAFr superior em 11,42% quando comparado ao manejo 85% IL x 1,8 IAFr. Este fato se deve ao maior IAF pré-pastejo do manejo 95% IL quando comparado ao 85% IL, favorecendo a maior concentração de pigmentos de clorofila que contribuíram no aumento da taxa fotossintética da folha. As clorofilas são fundamentais no processo fotossintético que, por sua vez, é dividido em duas etapas. Santos et al (2014) caracterizaram o gênero *Brachiaria* como de alta plasticidade fenotípica, sendo capaz de modificar sua estrutura, conforme o tipo de manejo adotado. Essas modificações ocorrem principalmente nas taxas morfogênicas de aparecimento foliar (TApF) e senescência foliar (TSF), refletindo, assim, nos pigmentos fotossintéticos.

Na T_{folha} observou-se interação F*I ($P = 0,0092$), tendo o manejo 95% IL x 1,8 IAFr, apresentado a maior temperatura (34,14 °C) em comparação aos demais manejos (95% IL x 1,3 IAFr, 85% IL x 1,3 IAFr e 85% IL x 1,8 IAFr). Esse comportamento pode estar atrelado à menor concentração de amido na folha, fazendo com que a folha avaliada atue de forma mais intensa nos processos fotossintéticos.

No entanto, vale destacar o aspecto pontual da leitura, tendo o fator ambiental específico do dia papel importante no comportamento das variáveis fisiológicas. A qualidade da luz interceptada pelas folhas sofre variação da atmosfera, principalmente devido a inclinação dos raios solares; absorção e o espalhamento de parte deles; reflexão e absorção pelas nuvens e inclinação da superfície de recepção destes raios solares, interferindo, principalmente, no fitocromo. Pezzopane et al. (2015), observaram que as plantas, em resposta a estresses ambientais e manejos intensos, desencadeiam alterações de ordem gênica e metabólica, refletindo principalmente na distribuição dos fotoassimilados produzidos.

Os fatores frequência e intensidade não interferiram significativamente ($P>0,05$) na variável C_i , ou seja, os manejos impostos não foram capazes de influenciar na magnitude de uso das moléculas de CO_2 na região do mesófilo, dando continuidade ao processo bioquímico da fotossíntese.

Tabela 2: Variáveis fisiológicas da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação (IAFr, 1,3 e 1,8) na condição pré-pastejo

IAFr	Taxa de fotossíntese líquida foliar (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)						
	IL (%)		Média	EPM	P-Valor		
	85	95			F	I	F*I
1,3	22,38	23,56	22,97A				
1,8	22,19	24,11	23,15A	0,3870	<.0001	0,4857	0,1684
Média	22,29b	23,84a					
Taxa de transpiração foliar (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
1,3	3,38	3,43	3,40A				
1,8	3,40	3,31	3,35B	0,2058	0,0038	0,0323	0,2058
Média	3,39a	3,29b					
Condutância estomática (G_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
1,3	0,29Aa	0,31Ba	0,30				
1,8	0,33Ab	0,42Aa	0,38	0,0203	<.0001	<.0001	0,0044
Média	0,31	0,37					
Concentração interna de CO_2 foliar (C_i , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)							
1,3	185,25	184,70	184,98A				
1,8	186,72	191,66	189,19A	6,7733	0,3968	0,1040	0,2878
Média	185,99a	188,18a					
Temperatura interna da folha (T_{Folha} , $^{\circ}\text{C}$)							
1,3	33,52Aa	33,24Ba	33,38				
1,8	33,45Ab	34,14Aa	33,79	0,6947	0,2617	0,0268	0,0092
Média	33,48	33,69					
Índice relativo de clorofila (IRC)							
1,3	41,22Aa	39,06Bb	40,14				
1,8	38,33Bb	42,71Aa	40,52	1,7610	0,0131	0,3891	<.0001
Média	39,78	40,88					

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey ($P<0,05$) de probabilidade. Frequência (F), intensidade (I), época do ano (E). Interação F*I. Erro padrão da média (EPM) da interação (F*I).

Houve efeito da frequência e da intensidade de pastejo sobre a BFTr ($P<0,05$), tendo a menor frequência (95% IL) aquela com maior produção. Esse aumento deve-se, dentre outros fatores, ao maior IAF médio residual (1,51) encontrado para essa frequência. Esse aspecto pode ser compreendido ao se observar os componentes da biomassa colhida, que na intensidade de 1,8 (independente da frequência de pastejo), promoveram aumentos na ordem de 64,34%, 11,18% e 27,68% para BCVR, BFMr e BLVR, respectivamente, quando comparado a maior intensidade (1,3 IAFr) de desfolha. Com o alongamento do período de descanso, há aumento no IAF, podendo promover estiolamento da fração colmo, devido o auto-sombreamento,

acumulando, assim, mais BFMr e BCVr. Apesar de favorecer o desempenho animal a curto prazo, devido ao acúmulo de biomassa disponível, essas frações a médio e longo prazo podem comprometer a estrutura, reduzindo a perenidade da espécie (Tabela 3).

Observou-se diferença para Frequência (F) ($P = 0,031$) e Intensidade (I) ($P < 0,05$) na relação LF/Cr, sendo 28% maior no IAFr 1,3 (0,83) quando comparado ao IAFr 1,8 (0,65) independente da frequência de desfolhação. Ao avaliar a frequência, identificou-se que quando o dossel foi manejado visando interceptar 95% da luz solar, a relação foi 3% menor do que a 85% IL (0,76; 0,74, respectivamente). Possivelmente, esse fato está associado ao maior acúmulo de colmo que ocorre antes da planta atingir os 95% de IL. De acordo com Pereira et al. (2018) a braquiária decumbens com 12 dias de descanso já começa a direcionar os carboidratos produzidos, para os órgãos de sustentação como o colmo. Além disso, segundo Silva et al. (2015b), ao contrário das plantas de hábito de crescimento cespitoso que apresentam o crescimento das folhas mais adensados na parte superior do dossel, estando as mais velhas, localizadas inicialmente acima de 5 cm do nível do solo, a de crescimento decumbente, tem uma maior plasticidade fenotípica, como é o caso da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk (SANTOS et al, 2014; GASTAL & LEMAIRE, 2015).

Há maior tendência de rebrotações mais rápidas e vigorosas quando o pasto é manejado com maior IAFr, como foi o caso do proposto neste experimento (de IAFr 1,8), que alcançou a meta de 1,73. Associa-se a esse desempenho a baixa mobilização de reservas orgânicas devido o alto IAF (BROUGHAM, 1956), uma vez que as lâminas foliares são os tecidos de maior potencial fotossintético do dossel (MARTUSCELLO et al., 2011). Pastejos lenientes que não ultrapassem a margem de 40 a 50% de remoção do material pré-pastejo, tendem a maximizar a velocidade de ingestão da forragem ofertada (FONSECA et al., 2012) sem causar redução na capacidade de suporte do pasto (ZANINI et al., 2012).

Observou-se interação F*I ($P = 0,0153$) para a variável ADr, tendo o dossel manejado a IAFr 1,3 e 1,8, as alturas 10,98 e 14,90 cm, respectivamente. Essa diferença refletiu no resultado do NDVI, onde o dossel manejado de forma mais intensa (IAFr 1,3) independentemente da frequência, apresentou um menor valor (11,36%) do que o IAFr de 1,8. Essa variável foi proposta por Rouse et al. (1974), e atualmente vem destacando-se em todo o mundo, devido a eficiência de monitoramento da condição instantânea da vegetação, e por possuir estreita relação com as variáveis morfofisiológicas (ANDERSSON et al., 2017).

Os manejos 85% ILx1,3 IAFr; 85% ILx1,8 IAFr; 95% ILx1,3 IAFr e 95% ILx1,8 IAFr, apresentaram alturas residuais de 43%, 59%, 35% e 45%, respectivamente, das alturas pré-pastejo, o que representou intensidades de remoção distintas da biomassa pré-pastejo, na

ordem de 57%, 41%, 65% e 55%, respectivamente. Esses valores se aproximam dos preconizados por Zanini et al. (2012) e Silva et al. (2015b), que descreveram que a altura residual deveria permanecer entre 40 a 60% da altura de entrada, o que permite uma maior biomassa da fração folha, favorecendo a remoção pelo animal.

Tabela 3: Biomassa de forragem total, suas frações, características estruturais e espectral da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk submetido a duas frequências de interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação (IAFr 1,3 e 1,8) na condição residual

Biomassa de forragem total residual (BFTr, kg MS ha⁻¹)							
IAFr	IL (%)		Média	EPM	P-Valor		
	85	95			F	I	F*I
1,3	1.886,62	2.057,35	1.961,99B				
1,8	2.631,69	2.713,33	2.672,51A	126,88	<.0001	<.0001	0,0707
Média	2.249,16b	2.385,34a					
Biomassa de lâmina foliar verde residual (BLVr, kg MS ha⁻¹)							
1,3	613,83	610,29	612,06B				
1,8	795,05	767,97	781,51A	123,33	0,3723	<.0001	0,4923
Média	704,44a	689,13a					
Biomassa de colmo verde residual (BCVr, kg MS ha⁻¹)							
1,3	741,71	724,50	733,10B				
1,8	1.194,90	1.214,77	1.204,83A	47,12	0,9537	<.0001	0,4116
Média	968,30a	969,63a					
Biomassa de forragem morta residual (BFTr, kg MS ha⁻¹)							
1,3	514,16Bb	725,64Aa	619,90				
1,8	644,81Ab	733,67Aa	689,24	47,29	<.0001	0,0002	0,0009
Média	579,48	729,65					
Relação lâmina foliar/colmo residual (LF/Cr)							
1,3	0,83	0,84	0,83A				
1,8	0,68	0,64	0,65B	0,1488	0,0311	<.0001	0,5862
Média	0,76a	0,74b					
Índice de área foliar residual (IAFr)							
1,3	1,25	1,28	1,26B				
1,8	1,71	1,75	1,73A	0,1488	0,0004	<.0001	0,5871
Média	1,48b	1,51a					
Altura do dossel residual (ADr, cm)							
1,3	10,49Bb	11,46Ba	10,98				
1,8	14,69Ab	15,12Aa	14,90	0,2409	<.0001	<.0001	0,0153
Média	12,59	13,29					
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada residual (NDVr)							
1,3	0,43	0,45	0,44B				
1,8	0,49	0,49	0,49A	0,0067	0,0003	<.0001	0,0942
Média	0,46b	0,47a					

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05) de probabilidade. Frequência (F) e intensidade (I). Interação F*I;. Erro padrão da média (EPM) da interação (F*I).

Observou-se diferença (P<0,05) para BFT, refletindo em um aumento de 18,82% quando o dossel foi desfolhado aos 95% IL, quando comparado ao 85% IL. Observou-se apenas efeito de frequência (P<0,05) para a variável BLV, o que refletiu no aumento de 16,34% desta

fração e 22,20% e 19,79% das frações BCV e BFM ($P < 0,05$), respectivamente, quando comparado ao manejo de 85% IL.

O acúmulo dessas frações decorre tanto do maior tempo de crescimento livre (sem pastejo), quanto do acúmulo de radiação térmica que o dossel recebe ao longo de todo o período de descanso. Segundo Sollenberger et al. (2019), gramíneas C_4 quando submetidas mais intensamente a radiação solar e sem a presença de qualquer fator (biótico e abiótico) que a impeça de ter melhor performance, utilizam de forma mais eficiente os fótons de luz pelas folhas até próximo o IAF crítico, quando a partir daí as frações colmo e material morto tornam-se maiores que a fração folha, retendo um maior aporte de carbono no sistema de produção.

As diferenças entre os manejos residuais e pré-pastejo resultaram em acúmulos de biomassa ($\text{kg MS}\cdot\text{ha}^{-1}$) ao longo do ciclo de crescimento, distintos, sendo: 1.160; 1.613; 1.703; 2.189, nos manejos 85% IL x 1,8 IAFr, 85% IL x 1,3 IAFr, 95% IL x 1,8 IAFr e 95% IL x 1,3 IAFr, respectivamente. Essa diferença impacta diretamente na taxa de lotação máxima da área, sendo importante sua determinação para um correto planejamento do sistema de produção.

A relação LF/C na condição pré-pastejo apresentou efeito para intensidade ($P = 0,0259$), tendo a frequência de desfolhação 95% IL, apresentando redução de 6% quando comparado ao 85% IL. Com o aumento da idade de rebrotação, as plantas tendem a diminuir a relação LF/C, refletindo na razão peso foliar (RPF), que tende a seguir o mesmo comportamento. Alguns trabalhos (SANTOS et al., 2014; PEREIRA et al., 2018) mostraram que ao se aproximar do IAF crítico, os perfilhos da espécie *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, direcionam parte dos carboidratos produzidos na fração folha aos órgãos de sustentação (como o colmo), resultando em uma maior produção.

Houve interação F*I ($P = 0,0385$) para DPP, tendo sido observado que o manejo com uma frequência 85% IL x 1,3 IAFr produziu 10,30% mais perfilhos que a de 95% ILx1,3 IAFr. Essa resposta é reflexo da lei de compensação tamanho/densidade que, de acordo com Fialho et al. (2012), é originada pela baixa radiação solar incidente nas camadas inferiores do dossel, reduzindo a germinação das gemas basais, o que impacta na densidade dos perfilhos, o que pode se observar no manejo de 95% IL. Outro ponto a se destacar foi a redução da DPP na frequência de 95% IL com IAFr de 1,3, quando comparado ao IAFr de 1,8, o que pode sinalizar o maior desgaste da planta ao se utilizar suas reservas em um período mais longo de crescimento.

Um efeito significativo em frequência ($P < 0,05$) e intensidade ($P < 0,05$) foi observado para as variáveis altura e IAF (Tabela 4). O dossel atingiu os 95% IL com 33,56 cm de altura e IAF pré-pastejo de 5,01 (independente do IAFr), enquanto os 85% IL foram

alcançado aos 24,35 cm e IAF de 3,72. Observa-se, com isso, que o dossel modifica sua estrutura de acordo com o manejo adotado. De acordo com Santos et al. (2011b) a dinâmica no crescimento das plantas forrageiras é atribuída às magnitudes das taxas de desfolhação, potencial genético da espécie, e segundo Silva et al. (2015a), pela época do ano, que em determinado momento favorece o crescimento e o desenvolvimento de perfilhos mais jovens ou mais velhos, sendo regulados pela disponibilidade dos fatores abióticos.

O NDVI na condição pré-pastejo foi influenciado pelos fatores de manejo, havendo efeito de frequência ($P < 0,05$) e intensidade ($P < 0,05$). O dossel, ao atingir 95% IL, apresentou um NDVI superior em 4,76% (0,88) ao 85% IL (0,84). A intensidade de reflectância é decorrente da energia refletida do topo do dossel que, por sua vez, é determinada por inúmeras propriedades da planta, dentre elas a estrutura celular e do estágio de desenvolvimento da planta (características anatômicas), que são potencializados por fatores ambientais e de manejo (KUMAR & SILVA, 1973). Essa tecnologia possibilita um monitoramento rápido em uma área maior, facilitando as tomadas de decisões no sistema de produção, principalmente por possuir uma correlação com IAF e altura do dossel (ANDERSSON et al., 2017).

Tabela 4: Biomassa de forragem total, suas frações, características estruturais e espectral da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação (IAFr, 1,3 e 1,8) na condição pré-pastejo

Biomassa de forragem total (BFT, kg MS ha⁻¹)							
IAFr	IL (%)		Média	EPM	P-Valor		
	85	95			F	I	F*I
1,3	3.499,12	4.246,68	3.873,00B				
1,8	3.791,92	4.416,36	4.104,14A	163,74	<.0001	<.0001	0,1226
Média	3.645,52b	4.331,62a					
Biomassa de lâmina foliar verde (BLV, kg MS ha⁻¹)							
1,3	1.826,54	2.154,06	1.990,30A				
1,8	1.901,91	2.183,94	2.042,92A	76,27	<.0001	0,0652	0,4240
Média	1.864,22b	2.169,00a					
Biomassa de colmo verde (BCV, kg MS ha⁻¹)							
1,3	1.153,72	1.455,87	1.304,80B				
1,8	1.262,21	1.496,33	1.379,27A	133,04	<.0001	0,0019	0,1521
Média	1,207,97b	1.476,10a					
Biomassa de forragem morta (BFT, kg MS ha⁻¹)							
1,3	517,50	635,60	576,55B				
1,8	626,45	734,73	680,59A	44,64	<.0001	<.0001	0,6630
Média	571,97b	685,17a					
Relação lâmina foliar/colmo (LF/C)							
1,3	1,58	1,47	1,57A				
1,8	1,52	1,45	1,52A	0,1060	0,0259	0,0779	0,4394
Média	1,55a	1,46b					
Índice de área foliar (IAF)							
1,3	3,67	4,90	4,29B				
1,8	3,77	5,12	4,45A	0,1628	<.0001	<0,0027	0,2324
Média	3,72b	5,01a					

Continuação da tabela 4

Altura do dossel (AD, cm)							
1,3	24,28	33,16	28,88B				
1,8	24,50	33,96	29,51A	0,2301	<.0001	0,0002	0,6362
Média	24,35b	33,56a					
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)							
1,3	0,84	0,88	0,86B				
1,8	0,85	0,89	0,87A	0,0031	<.0001	0,0041	0,2771
Média	0,84b	0,88a					
Densidade populacional de perfilhos (DPP, perfilho m ⁻²)							
1,3	977,61Aa	886,29Ab	931,95				
1,8	937,25Aa	909,60Aa	923,42	29,50	0,0001	0,5776	0,0385
Média	957,43	897,94					
Número de novas folhas produzidas (N ^o NFP, folha perfilho ⁻¹)							
1,3	3,17	4,08	3,63A				
1,8	3,10	4,01	3,55A	0,0733	<.0001	0,1197	0,9352
Média	3,14b	4,05a					

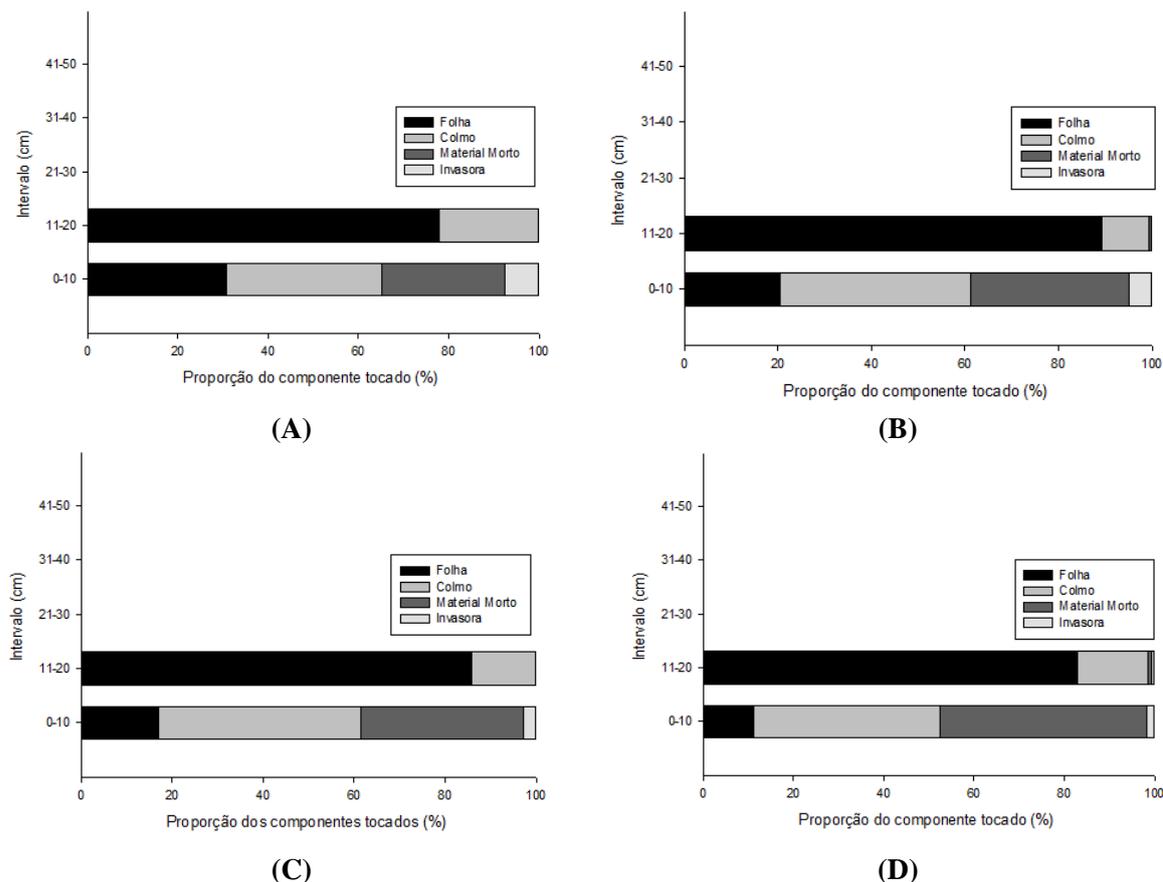
Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05) de probabilidade. Frequência (F) e intensidade (I). Interação F*I;. Erro padrão da média (EPM) da interação (F*I).

De modo geral, todos os manejos adotados (condição residual e pré-pastejo), apresentaram grande produção de folhas nos estratos superiores, até a metade da altura do dossel, momento a partir do qual iniciou-se o processo de acúmulo de colmo e material morto.

Na condição residual observou-se que os dosséis dos tratamentos 85% IL x 1,3 IAFr, 85% IL x 1,8 IAFr, 95% IL x 1,3 IAFr e 95% IL x 1,8 IAFr, no estrato superior (11 a 20 cm), foram compostos basicamente da fração folha, nas ordens de 77,75%, 89,24%, 85,85% e 83,00%, respectivamente, enquanto no estrato inferior (0 a 10 cm) da fração colmo, tendo os tratamentos 85% IL x 1,8 IAFr, 95% x 1,3 IAFr e 95% IL x 1,8 IAFr, apresentado as proporções de: 40,61%, 44,42% e 42,00%, respectivamente. Observou-se, ainda, maior proporção (45,63%) da fração material morto no tratamento 95% x 1,8 IAFr (Figura 9).

Os altos acúmulos de BFM e BCV nos estratos inferiores (próximo à superfície do solo), caracterizam-se como de baixa digestibilidade, o que limita seu consumo, reduzindo, assim, a produção animal ao longo do tempo e comprometendo a perenidade da pastagem. Silva et al (2018) identificaram na espécie *Arachis pintoi* cv. Belmonte, alta relação da taxa de bocado com a variável altura, tendo sido identificado um consumo positivo até os 13 cm e, a partir deste momento, uma resposta linear negativa do consumo.

Figura 9: Distribuição vertical dos componentes botânicos/morfológicos em estratos de 10 cm da superfície do solo em *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk submetido aos manejos de: 85% IL x 1,3 IAFr (A), 85% IL x 1,8 IAFr (B), 95% IL x 1,3 IAFr (C) e 95% IL x 1,8 IAFr (D), condição residual



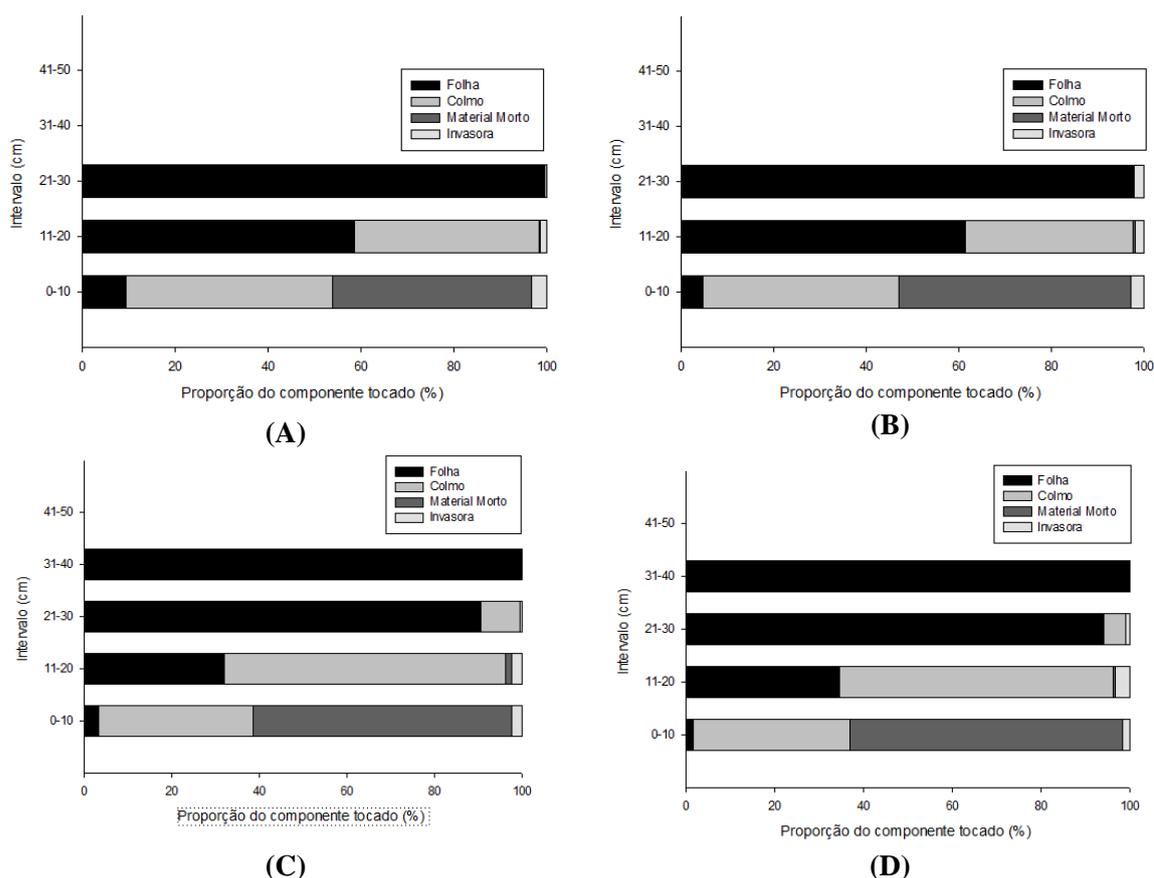
Na condição pré-pastejo, os tratamentos 95% IL x 1,3 IAFr e 95% IL x 1,8 IAFr, apresentaram maior altura quando comparado ao 85% IL x 1,3 IAFr e 85% IL x 1,8 IAFr, refletindo em uma camada a mais de biomassa de folha, localizada a partir dos 31 aos 40 cm (Figura 10C e 10D).

Os manejos 85% IL x 1,3 IAFr e 85% IL x 1,8 IAFr, apenas alcançaram a altura superior de 21 a 30 cm, sendo constituído de 99,00% e 97,00%, respectivamente da fração folha. No entanto, observou-se maior presença da fração colmo no estrato inferior (11 a 20 cm), na ordem de 64,00% e 61,00%, nos tratamentos 95% IL x 1,3 IAFr e 95% IL x 1,8 IAFr, respectivamente, enquanto os manejos 85% IL x 1,3 IAFr e 85% IL x 1,8 IAFr, apresentaram (39,72% e 36,37%, respectivamente). Com o aumento do período de descanso, o dossel tende a incrementar em sua base materiais de sustentação (ricos em lignina). De acordo com Pereira et al. (2018), o capim-braquiária tende a iniciar sua deposição de colmo bem antes ao

IAF crítico, sendo encontrado início da taxa de alongamento de colmo e deposição desta fração já a partir do 15º dia do período de descanso.

Os manejos 85% IL x 1,3 IAFr e 85% IL x 1,8 IAFr na camada inferior (0 a 10 cm), apresentaram maior produção de folhas (com maior distribuição ao longo do dossel) quando comparados aos manejos 95% IL x 1,3 IAFr e 95% IL x 1,8 IAFr, tendo sido identificados os valores de 9,30% e 4,68%, respectivamente.

Figura 10: Distribuição vertical dos componentes botânicos/morfológicos em estratos de 10 cm da superfície do solo em *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk submetido aos manejos de: 85% IL x 1,3 IAFr (A), 85% IL x 1,8 IAFr (B), 95% IL x 1,3 IAFr (C) e 95% IL x 1,8 IAFr (D), condição pré-pastejo



3.4 Conclusão

A produção de biomassa de forragem é afetada pelo manejo, sendo a fração folha, colmo e material morto superior naqueles pastos com maior tempo de período de descanso, observado pela variação na composição morfológica verticalizada. A maior frequência de desfolhação reduziu a atividade fotossintética da planta, tendo a *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk alta plasticidade fenotípica.

Para o ganho por animal, recomenda-se para o capim-braquiária uma frequência de pastejo com 85% de IL com 1,8 de IAFr ou NDVI pré-pastejo de 0,85 e NDVI residual de 0,49. Para o ganho por área, a frequência de desfolhação de 95% IL associado a 1,3 de IAFr, ou NDVI de 0,88 ou 0,44, respectivamente, é o mais indicado.

4 MÉTODOS PARA PREDIÇÃO DE VARIÁVEIS MORFOFISIOLÓGICAS EM CAPIM-BRAQUIÁRIA

Resumo

Objetivou-se avaliar diferentes metodologias usadas no campo, de modo a observar aquela que pudesse ser relacionada de forma mais eficaz com a condição morfofisiológica da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. Utilizou-se duas frequências de interceptação luminosa (85 e 95% IL) e duas intensidades de desfolha como meta para o índice de área foliar residual (IAFr 1,3 e 1,8). Os tratamentos consistiram em se avaliar distintos métodos de quantificar a altura do dossel, por meio da sua capacidade de correlação com variáveis morfofisiológicas da espécie *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. Observaram-se altas correlações dos métodos de altura do dossel (AD), altura comprimida (AC), altura ponderada (AP₁) e altura ponderada 8 (AP₈), principalmente com as variáveis biomassa de forragem total (BFT) e índice de área foliar (IAF), tanto na condição residual quanto pré-pastejo. A análise de trilha apresentou graus de multicolinearidade, o que fez usarmos constantes de “k” de modo a reduzir os efeitos sobre a matriz de diagonal X’X. A análise de trilha forneceu os índices de causa/efeito direto sobre BFT utilizando-se IAF = 0,1435, fotossíntese (A) = -0,1061, AD = 0,1616, AC = 0,0913, AP₁ = 0,1386 e AP₈ = 0,0575; sobre IAF, AD = 0,2404, AC = 0,2164, AP₁ = 0,2307 e AP₈ = 0,2183; sobre taxa de fotossíntese (A), IAF = 0,2895, AD = 0,0203, AC = -0,1170, AP₁ = 0,0352 e AP₈ = 0,0937. Observou-se semelhança entre os interceptos e coeficientes angulares para predição da BFT, utilizando-se AD, AC, AP₁ e AP₈, fornecendo-se os valores médios de 1.069,57 e 204,06, respectivamente. Os métodos AD e AP₁ apresentam correlação significativa com a maioria das variáveis morfofisiológicas, e podem ser utilizadas para quantificar BFT e IAF, enquanto que AC e AP₈, apenas com BFT.

Palavras-chave: Altura do dossel. Biomassa de forragem. Fotossíntese. Índice de área foliar. Metodologias

Abstract

This chapter aimed to evaluate different methodologies that were used in the field so it could be possible to select the one that is more efficient to the morphophysiological condition of *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. Two Light Interceptions frequencies (85% and 95%) were used, as well as two defoliation frequencies to achieve the goal of the Residual Leaf Area Index (RLAI of 1.3 and 1.8). Treatments consisted of evaluating different methods to quantify the canopy height through its correlation capacity with morphophysiological variables of the species *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. High correlations of canopy height (CHeigh) methods, compression height (CH), weighted height 1 (WH1), and weighted height 8 (WH8), especially with total forage biomass (TFB) variables and with leaf area index (LAI) both in

residual and pre-grazing conditions. Trail analysis provides multicollinearity degrees, which required a “k” constant to reduce the effects over the $X'X$ diagonal matrix. Moreover, the analysis provided direct cause/effect indexes on TBF using LAI = 0.1435, photosynthesis (A) = -0.1061, CHeigh = 0.1616, CH = 0.0913, WH1 = 0.1386 and WH8 = 0.0575; regarding LAI, CHeigh = 0.2404, CH = 0.2164, WH1 = 0.2307 and WH8 = 0.2183; regarding the photosynthesis (A) rate, LAI = 0.2895, CHeigh = 0.0203, CH = -0.1170, WH1 = 0.0352 and WH8 = 0.0937. Similarities between the intercepts and the angular coefficients were observed in the prediction of BTF, using CHeigh, CH, WH1, and WH8 with the average values of 1,069.57 and 204.06, respectively. CHeigh and WH1 methods demonstrated significant correlation with most of the morphophysiological variables and can be used to quantify TBF and LAI, while CH and WH8 can only be used with TBF.

Keywords: Canopy height. Forage biomass. Photosynthesis. Leaf area index. Methodologies.

4.1 Introdução

A maioria dos sistemas de produção adotados nas regiões tropicais não tem alcançado, de fato, a otimização da produção de forragem visando a maximização do desempenho animal. Stobbs (1973a) e (1973b) já alertava para o fato de que isso decorre da elevada heterogeneidade ao longo do perfil do dossel que as gramíneas tropicais utilizadas nesses sistemas têm. De acordo com Silveira et al. (2016), essa estrutura é resultante do processo de alocação e partição de fotoassimilados das diferentes folhas, potencializado pelo processo de “*grazing down*” nas plantas.

Por conta disso, tem sido sugerido mudanças nos estudos de avaliação de pastagens, visando-se identificar métodos que melhor se correlacionem com os aspectos morfofisiológicos das espécies forrageiras, refletindo no aumento do consumo animal (FONSECA et al., 2012). Savian et al. (2018) relataram que o principal limitante para se alcançar a sustentabilidade dos sistemas de produção em áreas de pastagens é a ausência de método (s) que seja capaz de prever com precisão e acurácia, os comportamentos estruturais e fisiológicos das espécies. Alguns estudos (HOGLIND et al., 2016; WOODWARD et al., 2020) têm sinalizado a criação de modelos que possam simular o real comportamento do dossel forrageiro.

De modo geral, o principal método utilizado no mundo para avaliar a condição instantânea do pasto (devido sua praticidade), tem sido a altura, que por sua vez, pode ser

mensurada de distintas formas, dentre elas as principais são: régua graduada e disco descendente (relação peso/altura) (EARLE & MCGOWAN, 1979).

No entanto, o que tem sido relatado é que a utilização desses dois métodos pode causar avaliações imprecisas, uma vez que não levam em consideração a estrutura vertical ao longo do dossel (heterogeneidade) e nem o hábito de crescimento da espécie forrageira cultivada (STOBBS 1973a; STOBBS 1973b). Com isso, acredita-se que gerar novos métodos capazes de prever a condição do pasto de forma mais precisa deva ser investigado. Uma delas é a ponderação da altura da planta, que poderia ser quantificada por meio da relação existencial entre os diferentes estratos do dossel, considerando-se as variações fisiológicas e estruturais da espécie. Zanini et al. (2012); e Silva et al. (2015b) mostraram a importância de se conhecer a composição morfológica do dossel ao longo do seu perfil vertical, uma vez que, sendo possível identificar todos os processos morfofisiológicos da planta, consegue-se gerenciar de forma eficiente o manejo do pastejo.

Por conta disso, estudar o desempenho desses métodos por meio da sua capacidade em se correlacionar seja, por meio da correlação de Pearson (TOEBE et al., 2019) e ou análise de trilha (WRIGHT, 1921), tem ganhado espaço nos estudos das relações associativas e de causa/efeito, uma vez que estas têm sido aplicadas apenas em grandes culturas, e assim reduzir erros nos manejos adotados. Além disso, algumas variáveis morfofisiológicas como índice de área foliar (IAF), e a relação lâmina foliar/colmo (SILVA et al., 2016), podem sinalizar com eficiência se está havendo perda na “persistência” da pastagem (PARSONS et al., 2011).

Ante o exposto, objetivou-se analisar métodos de avaliação da pastagem que melhor se correlacione com características morfofisiológicas da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, manejada sob pastejo.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Caracterização da área experimental e do período de estudo

O experimento foi conduzido no Núcleo de Ensino e Estudos em Forragicultura do Departamento de Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias, pertencente à Universidade Federal do Ceará (NEEF/DZ/CCA/UFC), localizado em Fortaleza/CE, Brasil, seguindo os padrões éticos e aprovados pelo Comitê de Ética do Uso de animais (Protocolo N° 80/17). A pesquisa durou aproximadamente 584 dias, (de agosto de 2018 a abril de 2020, tendo passado por duas épocas secas e duas chuvosas. Fortaleza localiza-se em altitude de 21 metros, entre as seguintes coordenadas geográficas: 03°45'47" S e 38°31'23" W, sendo caracterizada como de

clima tropical chuvoso Aw', segundo Köppen-Geiger (PEEL et al., 2007). Os dados de precipitação e temperatura (máxima e mínima) do período experimental, bem como seus comportamentos históricos, foram coletados na estação meteorológica da UFC, localizada a 0,5 km da área experimental.

A espécie forrageira utilizada foi a *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk (syn. *Urochloa decumbens* cv. Basilisk). A mesma foi semeada em Argissolo Amarelo de textura arenosa (SANTOS et al., 2018), em uma área total de 1.400 m², tendo cada unidade experimental 87,5 m² (12,5 x 7 m). A área é dotada de irrigação por aspersão fixa com baixa pressão (equivalente a pressão de serviço de < 2,0 kgf/cm², vazão de 0,8 m³ h⁻¹ com lâmina média de aplicação de 7 mm h⁻¹), sendo utilizada desde 2001 com pastejo de ovinos da raça Morada Nova.

Duas coletas (17.01.2018 e 15.01.2019) de solo foram realizadas, visando monitorar sua fertilidade durante o período experimental. As mesmas foram colhidas na profundidade de 0 a 20 cm do nível do solo, e enviadas ao Laboratório de Ciência do Solo da UFC. Os resultados revelaram: ano de 2018, pH (6,80), M.O (11,17 g kg⁻¹), P (285,0 mg dm⁻³), K (136,85 mg dm⁻³), Ca²⁺ (1,60 cmolc dm⁻³), Mg²⁺ (1,0 cmolc dm⁻³), Al³⁺ (0,20 cmolc dm⁻³), SB (3,10 cmolc dm⁻³), CTC (3,60 cmolc dm⁻³) e V (86%); e ano de 2019 pH (7,70), M.O (5,90 g kg⁻¹), P (26,0 mg dm⁻³), K (35,19 mg dm⁻³), Ca²⁺ (1,20 cmolc dm⁻³), Mg²⁺ (0,80 cmolc dm⁻³), Al³⁺ (0,0 cmolc dm⁻³), SB (2,70 cmolc dm⁻³), CTC (3,0 cmolc dm⁻³) e V (89%).

Após isso, foi realizada a fertilização, conforme Alvarez et al. (1999), sendo aplicados 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 200 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se os adubos superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Foram aplicados também 30 e 40 kg ha⁻¹ de FTE BR 12, de modo a suprir a demanda de micronutrientes para os anos de 2018 e 2019, respectivamente. Foi mantida, ainda, uma adubação nitrogenada (N) equivalente a 600 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, aplicados durante o ciclo de crescimento das plantas, e foi utilizada a ureia (CH₄N₂O, com 45% de N) como fonte do nutriente.

4.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos consistiram da avaliação de distintos métodos (Altura comprimida = AC; Altura do dossel = AD; Altura ponderada 1 = AP₁; Altura ponderada 2 = AP₂; Altura ponderada 3 = AP₃; Altura ponderada 4 = AP₄; Altura ponderada 5 = AP₅; Altura ponderada 6 = AP₆; Altura ponderada 7 = AP₇; e Altura ponderada 8 = AP₈) por meio da correlação associativa (Pearson) e de causa/efeito (trilha) de oito manejos da espécie forrageira já

mencionada anteriormente. Os manejos consistiram na combinação da interceptação luminosa (IL) de 85% e 95% com os índices de área foliar residual (IAFr) de 1,3 e 1,8, totalizando oito distintas condições de manejos do dossel. Visando-se promover distintas condições do pasto, oito diferentes manejos foram identificados, sendo os dados dos mesmos agrupados na seguinte ordem: residual de 85% IL x 1,8 IAFr; residual de 85% IL x 1,3 IAFr; residual de 95% IL x 1,8 IAFr; residual de 95% IL x 1,3 IAFr; pré-pastejo de 85% IL x 1,8 IAFr; pré-pastejo de 85% IL x 1,3 IAFr; pré-pastejo de 95% IL x 1,8 IAFr; pré-pastejo de 95% IL x 1,3 IAFr. A partir disso, os dados foram avaliados exclusivamente tanto na condição residual, quanto pré-pastejo, além de terem sido avaliados também de forma conjunta, de modo que fosse possível se obter equações de regressão. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado.

4.2.3 Variáveis resposta

Foram observadas as relações entre variáveis de ordem produtiva, estrutural e fisiológica entre si e com os distintos métodos de avaliação da altura do dossel.

As variáveis de ordem produtiva foram: biomassa de forragem total residual e pré-pastejo (BFTr e BFT, kg MS.ha⁻¹, respectivamente) e suas frações: lâmina foliar verde (BLVr e BLV, kg MS.ha⁻¹, respectivamente), colmo verde (BCVr e BCV, kg MS.ha⁻¹, respectivamente) e forragem morta (BFMr e BFM, kg MS.ha⁻¹, respectivamente).

As de ordem estrutural, coletadas nas condições residuais e pré-pastejo, foi a relação lâmina foliar/colmo (LF/Cr e LF/C, respectivamente), enquanto que a densidade populacional de perfilhos (DPP, perfilho.m⁻²) e o número de novas folhas produzidas (N^oNFP, folha.perfilho⁻¹), apenas na condição pré-pastejo.

Em auxílio para a coleta da biomassa e quantificação da DPP, foi utilizada uma moldura de área conhecida (0,42 x 0,30 m) e todos os perfilhos de dentro da moldura foram contabilizados, depois disso, o material rente ao nível do solo foi colhido com o uso de uma tesoura tipo poda. Logo após, o material foi pesado e levado à estufa de ventilação com circulação forçada de ar a 55 °C até atingir peso constante, sendo pesado novamente para se obter o peso seco.

Para se determinar o IAF e a IL, foi usado um analisador PAR-LAI em agricultura modelo Accupar LP-80, tanto na condição residual quanto pré-pastejo. As leituras foram tomadas em um número mínimo de 15 vezes por unidade experimental nas partes superiores e inferiores do dossel, entre os horários de 10 às 12 horas.

As variáveis fisiológicas coletadas foram colhidas apenas na condição pré-pastejo, sendo as taxas: fotossintética (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e condutância estomática (G_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), além da concentração interna de dióxido de carbono (C_i , ppm), da temperatura interna da folha (T_{Fol} , °C), e o índice relativo de clorofila (IRC). Foram usados dois equipamentos: analisador de trocas gasosas por infravermelho (Infra Red Gas Analyzer-IRGA LC-Pro-SD, marca ADC) sob intensidade de luz constante ($2.000 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e o clorofilômetro (Chlorophyll Meter SPAD-502). As medidas foram tomadas na última folha recém-expandida, em um número mínimo de 5 vezes na unidade experimental, sempre entre 10 e 12 horas.

Foi calculada, ainda, a taxa de crescimento relativo da cultura (Fórmula 1). Fórmula 1: $TCR = \frac{\log_{\text{peso2}} - \log_{\text{peso1}}}{T_2 - T_1}$, onde TCR = taxa de crescimento relativo; \log_{peso2} e \log_{peso1} = logaritmo do peso 2 (biomassa da condição pré-pastejo) e 1 (biomassa da condição residual), respectivamente; T2 (dias após a coleta do resíduo) e T1 (dia 0, referente à coleta do resíduo), tempo 2 e 1, respectivamente.

Para caracterizar a altura do dossel (AD), o momento que a folha mais alta promovia uma curvatura foi contabilizado, sendo usado para isso um bastão graduado retrátil tipo *Sward Stick* em centímetros (cm) (BARTHAM, 1986), enquanto que para a altura inferior (AI) (altura da lígula mais baixa de fuma folha ainda no mínimo 50% verde), o bastão permanecia na mesma posição e a régua descia até ser possível identificar essa lígula mais baixa (com pelo menos 50% de área foliar verde) de folhas do dossel (Figura 11D). Foi contabilizado a altura comprimida (AC), para isso, um bastão com peso (410,8 g) e área conhecida (0,42 x 0,30 m), feito de plástico compensado, foi utilizado; Para se quantificar as alturas ponderadas (APs), as relações entre AD, AI e AC, foram realizadas conforme as fórmulas abaixo:

$$\text{Fórmula 6: } AP1 = AD - AI;$$

$$\text{Fórmula 10: } AP5 = \frac{(1)}{(AD)^2} - \frac{(1)}{(AI)^2}$$

$$\text{Fórmula 7: } AP2 = \frac{AI}{AD} * 100;$$

$$\text{Fórmula 11: } AP6 = \frac{AD}{AC} - \frac{AI}{AC};$$

$$\text{Fórmula 8: } AP3 = \frac{AD - AI}{AC};$$

$$\text{Fórmula 12: } AP7 = \log AD - \log AI;$$

$$\text{Fórmula 9: } AP4 = \frac{\log AD}{\log AI};$$

$$\text{Fórmula 13: } AP8 = \text{raizPi}(AD) - \text{raizPi}(AI);$$

Figura 11: Altura do dossel (A), altura comprimida (B), altura inferior (C) e relação da altura do dossel com altura inferior para quantificar a altura ponderada (D) do capim-*brachiaria decumbens* cv. Basilisk, manejado sob duas frequências de interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8)



(A)



(B)



(C)



(D)

Relações:

Altura do
dossel
com
Altura
inferior

Foto: Nascimento (2019)

4.2.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos a avaliação da normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($P < 0,05$) e a homocedasticidade foi verificada por meio de visualização gráfica dos resíduos. Foi realizada análise de correlação de Pearson (associativa), entre as variáveis

produtivas, estrutural e fisiológica dos manejos com AD, AC e alturas ponderadas (APs), de acordo com a seguinte fórmula:

$$r(xy) = \frac{Cov(X,Y)}{\sqrt{V(X) \times V(Y)}} = \frac{\sigma(X,Y)}{\sigma(X) \times \sigma(Y)},$$

onde $r(xy)$, é o coeficiente de correlação de Pearson; $\sigma(X,Y)$ é a covariância entre todas as variáveis X e todas as variáveis resposta Y; $\sigma(X)$ é o desvio-padrão de todas as variáveis; e $\sigma(Y)$ é o desvio-padrão de todas as variáveis resposta. Foram geradas, ainda, equações de calibração entre a BFT dos manejos com os métodos da AD, AC e APs, por meio de análise de regressão, sendo, após isso, os interceptos e coeficiente angulares avaliados por meio dos procedimentos PROC CORR, PROC REG e PROC MIXED, respectivamente, com o auxílio do programa computacional SAS University Edition. Foi realizada, ainda, uma análise de trilha (causa/efeito), utilizando-se o aplicativo estatístico-computacional Genes (CRUZ, 2013).

4.3 Resultados e discussão

As correlações associativas (Pearson) e de causa/efeito (trilha) de forma geral, permitiram compreender os impactos do manejo e interligar os padrões de comportamento estrutural, produtivos e fisiológicos da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk com os métodos.

Observou-se que dos métodos propostos (AD, AC, AP₁, AP₂, AP₃, AP₄, AP₅, AP₆, AP₇ e AP₈), apenas 50% destes (AD, AC, AP₁, AP₇ e AP₈), apresentaram os maiores coeficientes de correlação (r) de Pearson e com efeito significativo (P<0,05), para com as variáveis BFT, BLV, BCV, BFM e LF/C, na condição residual (Tabela 5). Esse comportamento demonstra a semelhança entre os distintos métodos, porém, com diferentes magnitudes de resposta.

No método AD as variáveis BFT e BLV (condição residual), apresentaram um $r = 0,71$ e $0,39$, respectivamente. Essa resposta é muito semelhante a apresentada pelo método ponderado AP₁, cujos valores foram de $0,68$ e $0,38$. O uso da altura ponderada (AP₁), pode propiciar um maior conhecimento da variação estrutural (a nível vertical) do dossel, uma vez que se utiliza a relação de folhas ainda fotossinteticamente ativas superiores com as inferiores. Além disso, quanto maior for o grau de correlação com essa fração do dossel, é possível inferir com maior certeza que o método utilizado tem maior relação com os aspectos qualitativos da biomassa. Rocha et al. (2017) já sinalizavam que comparações deste tipo podem demonstrar alternativas que direcionem formas práticas instantâneas de determinar a qualidade da biomassa ofertada aos animais.

Correlações de Pearson na categoria “forte” foram detectadas nos métodos AP₁, AD, AC e AP₈, com a variável IAF, nas seguintes proporções: 0,84; 0,86; 0,80 e 0,78, respectivamente. As demais alturas ponderadas AP₂, AP₃, AP₄, AP₅ e AP₆, apresentaram os menores valores para a condição residual (Tabela 5), demonstrando que as fórmulas propostas (secção materiais e métodos), não apresentaram qualquer comportamento associativo com a variável resposta, sendo possível classificá-las na categoria “baixa”. De acordo com Cohen (1988), a magnitude do coeficiente de correlação pode ser dividida em três categorias: 0,10 a 0,29 (baixo), 0,30 a 0,49 (intermediário) e 0,50 a 1,0 (forte).

Tabela 5: Correlação linear de Pearson da produção de biomassa e suas frações com diferentes métodos de mensurar a altura da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) na condição residual

Var.	BFT	BLV	BCV	BFM	IAF	LF/C	AD	AC	AP ₁	AP ₂	AP ₃	AP ₄	AP ₅	AP ₆	AP ₇	AP ₈
BFT	----	0,65*	0,76*	0,57*	0,70*	-0,08	0,71*	0,68*	0,68*	-0,43*	0,16*	-0,05	0,31*	0,16*	0,41*	0,63*
BLV		----	0,16	0,21*	0,37*	0,61*	0,39*	0,41*	0,38*	-0,26*	0,04	0,02	0,09	0,04	0,24*	0,35*
BCV			----	0,10	0,69*	-0,57*	0,65*	0,60*	0,62*	-0,35*	0,16*	-0,12	0,36*	0,16*	0,33*	0,56*
BFM				----	0,19*	0,003	0,27*	0,24*	0,27*	-0,22*	0,08	0,02	0,08	0,08	0,21*	0,27*
IAF					----	-0,27*	0,86*	0,80*	0,84*	-0,53*	0,27*	-0,02	0,34*	0,27*	0,52*	0,78*
LF/C						----	-0,24*	-0,17	-0,22*	0,06	-0,11	0,16*	-0,26*	-0,11	-0,06	-0,18*
AD							----	0,80*	0,98*	-0,65*	0,47*	0,02	0,35*	0,47*	0,62*	0,92*
AC								----	0,79*	-0,55*	-0,09	0,02	0,27*	-0,09	0,54*	0,75*
AP ₁									----	-0,77*	0,51*	0,18*	0,19*	0,51*	0,77*	0,97*
AP ₂										----	-0,51*	-0,73*	0,43*	-0,51*	-0,99*	-0,89*
AP ₃											----	0,29*	-0,10	1,00*	0,51*	0,54*
AP ₄												----	-0,92*	0,29*	0,75*	0,39*
AP ₅													----	-0,10*	-0,45*	-0,01
AP ₆														----	0,51*	0,54*
AP ₇															----	0,89*
AP ₈																----

Variável (Var.); Biomassa de forragem total (BFT); Biomassa de lâmina foliar verde (BLV); Biomassa de colmo verde (BCV); Biomassa de forragem morta (BFM); Relação lâmina foliar/colmo (LF/C); Índice de área foliar (IAF); Altura do dossel (AD); Altura comprimida (AC); Altura ponderada₁ (AP₁); Altura ponderada₂ (AP₂); Altura ponderada₃ (AP₃); Altura ponderada₄ (AP₄); Altura ponderada₅ (AP₅); Altura ponderada₆ (AP₆); Altura ponderada₇ (AP₇); Altura ponderada₈ (AP₈). Correlação linear de Pearson de uma população com 240 observações. Teste t para efeito de comparação de média, * (P<0,05).

De modo geral, observou-se na condição pré-pastejo que a redução da frequência de desfolhação (95% IL), elevou a altura da lígula (da folha com 50% de área verde, considerada no cálculo para AP). Essa característica demonstra que há uma busca do dossel por luz, refletindo no crescimento do colmo, o que ocasiona a elevação do meristema apical. De acordo com Cutrim Junior et al. (2011), o alongamento de colmo é o fator que mais influencia a altura do dossel forrageiro, e isso se intensifica à medida que o período de descanso é prolongado.

O aumento da amplitude da desfolhação (pastejos mais severos), promove maior horizonte de pastejo. No entanto, a presença dessa maior amplitude do horizonte de pastejo, nessas áreas com manejo de 95% da IL, pode gerar um maior acúmulo de BCV que, por sua vez, reflete na redução da apreensão, ingestão e digestão da biomassa ofertada. Alguns trabalhos (ZANINI et al., 2012; SILVA et al., 2015b) já demonstravam que ao se aproximar do IAF crítico (95% IL), de 30 a 45% da BFT produzida era da fração colmo, fazendo com que o peso do perfilho, tenha alta correlação com esse componente da biomassa, o que torna essa espécie diferente (em escala de manejo) das demais espécies forrageiras utilizadas no mundo. Pereira et al. (2018), observaram que a *Brachira decumbens* cv. Basilisk, do 1º ao 15º dia de rebrota, aumentou a densidade populacional de perfilhos em 18%. Após esse período, a planta passou a investir apenas em peso de perfilho (massa), sendo identificado as maiores taxas de acúmulo de colmo e material morto, com as menores taxas de aparecimento e alongamento de folhas, mesmo que o tratamento adotado fosse quando o dossel interceptasse 95% da luz solar. De acordo com Pedreira et al. (2017) essa espécie apresenta elevada plasticidade fenotípica, favorecendo a utilização de alturas pré-pastejo e residuais distintas, sem causar efeito negativo sobre a produção de biomassa. Porém, essa alta flexibilidade pode comprometer a eficiência do método de predição de forragem.

Denota-se da análise de correlação que na condição pré-pastejo as alturas ponderadas: AP₃, AP₄ e AP₆, não apresentaram comportamento associativo (Pearson) com a maioria das variáveis estruturais e fisiológicas avaliadas, expressando coeficientes (r) baixos e não significâncias (P>0,05). Já os métodos AP₂, AP₇ e AP₅, apresentaram baixa correlação de Pearson, porém significativos (P<0,05), com valores na ordem da metade dos outros métodos mais utilizados no mundo (AD e AC) e dos métodos que se destacaram quanto às correlações (AP₁ e AP₈).

No entanto, avaliando o uso dos demais métodos ponderados, vale destacar as alturas ponderadas: AP₁ e AP₈ como aquelas que apresentaram os maiores valores de

correlação com todas as variáveis colhidas, chegando próximo e às vezes superior, com os mais usais no mundo (AD e AC), tendo destaque com as variáveis resposta BFT e BLV (Tabela 6). Observou-se, ainda, que os métodos AP₁ e AP₈, produziram resultados semelhantes a AD, quando se correlacionaram com a BFT e a taxa de fotossíntese (A) (Tabela 7), demonstrando não discordância com o método AD.

Relacionar aspectos produtivos (BFT) e fisiológicos (A) com o método de avaliação possibilita entender de forma mais precisa o comportamento produtivo da gramínea. De acordo com Silveira et al. (2016), o aprimoramento da variável altura do dossel adotado no campo torna-se importante, pois além de ser prática e fácil de manusear, a mesma pode ser relacionada a variáveis fisiológicas e estruturais, gerando um método mais acurado. Além disso, a integração da composição morfológica do pasto, hábito de crescimento da espécie, estrutura da pastagem, a angulação da folha e sua disposição no dossel, são fatores que determinam o grau do coeficiente de atenuação da luz (k), gerando modelos mais precisos a serem usados.

Nota-se na Tabela 6, que os métodos AD, AC, AP₁ e AP₈, correlacionaram-se de forma negativa com a LF/C da condição pré-pastejo. Possivelmente este comportamento esteja associado à idade do dossel. À medida que a planta avança sua idade, a relação LF/C aumenta até próximo ao dossel interceptar 95% da luz, quando a partir daí a relação reduz (ZANINI et al., 2012), sendo comum na maioria das espécies forrageiras, diferente da braquiária, que a mesma já inicia o processo de deposição de colmo reduzindo a relação LF/C, antes de atingir o IAF crítico (PEREIRA et al., 2018).

Esse fato decorre da deposição (em largo volume) de carboidratos estruturais (CE) e não estruturais (CNE) nas bases do colmo, promovendo maior peso e resistência a esta fração. Soares Filho et al. (2013) em seu trabalho, demonstraram que maiores concentrações de CNE no colmo de pastos de capim-tanzânia foram observados, independente da dose de adubação nitrogenada (0; 50; 100 ou 150 kg N.ha⁻¹) adotada, além das correlações existentes entre a espessura da parede celular com a fibra. Esses resultados apontam que o colmo é uma importante estrutura para o fornecimento de carboidratos após a desfolha, tendo a fração folha uma maior capacidade de oscilação de peso ao longo do período de crescimento.

Observou-se menor correlação do IAF com o N^oNFP (0,47), quando comparado com a correlação do IAF com AD (0,77), esperava-se comportamento contrário a estes descritos. Porém, imagina-se desses valores que, pelo fato de o período experimental ter sido marcado por longas intensidades de chuva, com valores

superiores em: 789%; 58,43%; 141,24%; 113,43%; 60,11%; 80,16% e 88,95% aos meses/ano de dezembro/2018, janeiro/2019, fevereiro/2019, março/2019, abril/2019, maio/2019, junho/2019, respectivamente, quando comparados às médias históricas, além do fator fotoperíodo menor (7,74 horas.dia⁻¹), quando comparado ao ano de 2018 (9,61 horas.dia⁻¹), e o longo período experimental (584 dias), podem ter impulsionado esse comportamento da espécie.

Essa intensidade de atuação e variação dos fatores abióticos faz com que o aparato fotossintético torne-se mais eficiente e modifique-se ao longo do tempo, aumentando os incrementos da fração colmo devido a baixa radiação e ao encharcamento de água no solo. O excesso de água, associado ao tipo de solo do local experimental (Argissolo amarelo), podem ter contribuído nas respostas das plantas. Esse tipo de solo apresenta profundidade reduzida, com resistência ao desenvolvimento radicular a partir dos 20 cm abaixo da superfície do solo, fato que, em épocas com altas precipitações, compromete o acúmulo de biomassa aérea, modificando o comportamento de crescimento natural do dossel, devido a redução da resistência a penetração das raízes (LIMA et al., 2010). Além disso, Ramos et al. (2011) enfatizaram que o alagamento induz ao aumento na concentração de açúcares redutores (ARs) nas folhas do dossel, que é reflexo (redução da translocação desses ARs) de solo encharcado e com baixa oxigenação para as raízes, não direcionados para as raízes (via floema), onde seriam necessários para manter a via glicolítica em total funcionamento.

Outros fatores relacionados ao material genético da planta também contribuem na modificação do IAF com suas relações. De acordo com Galzerano et al. (2012), à medida em que o perfilho cresce, o número total de folhas produzidos no dossel aumenta, no entanto, ao atingir o número máximo de folhas vivas por perfilho, (que é determinado geneticamente), a mais velha morre, gerando, assim, um ciclo de produção denominado de fitocrono. Logo, essa menor correlação descrita do IAF com N^oNFP, quando comparada à correlação da AD com IAF, pode ser explicada, pois a variável utilizada foi o N^oNFP e não o N^o de folhas totais (N^oFT), o que impacta na produção final de folhas. Além disso, Yasuoka et al. (2017), descreveram que a magnitude (tamanho) do IAF (maior proporção de folhas mais velhas), contribui muito mais para o aumento da taxa fotossintética do que um dossel com menor IAF (maior proporção de folhas jovens), pois com esse maior IAF, o dossel consegue interceptar até 98% da radiação incidente, o que não se consegue com dosséis com folhas mais jovens, refletindo

no maior incremento nas taxas de acúmulo de forragem. Logo, a menor correlação encontrada nesses parâmetros pode ser explicada por esses fatores.

No caso do método AC, o mesmo exerce uma pressão verticalizada sobre o dossel, refletindo no comportamento negativo da análise de correlação. Nos métodos AP₁ e AP₈, essa correlação negativa é decorrente da diferença entre altura superior e inferior (fórmula) utilizadas no cálculo, que cria um coeficiente negativo, principalmente à medida que se aproxima dos 95% de IL e ou IAFr mais altos, como o 1,8 utilizado neste experimento.

O método AC apresentou uma correlação intermediária (menor que os métodos AD e AP₁). Segundo Arruda et al. (2011), a correlação existente entre AC e biomassa de forragem é dependente da relação consistente entre a densidade populacional de perfilhos (DPP), a resistência a compressão vertical (resiliência) e a altura do dossel, sendo que as diferenças entre esses fatores pode comprometer a acurácia de predição da biomassa.

Tabela 6: Correlação linear de Pearson da produção de biomassa e suas frações, com diferentes métodos de mensurar a altura da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) na condição pré-pastejo

Var.	BFT	BLV	BCV	BFM	DPP	IAF	LF/C	TCR	NNFP	AD	AC	AP ₁	AP ₂	AP ₃	AP ₄	AP ₅	AP ₆	AP ₇	AP ₈
BFT	----	0,88*	0,83*	0,51*	0,05	0,50*	-0,20*	0,89*	0,14*	0,57*	0,46*	0,56*	-0,26*	0,05	-0,08	0,27*	0,05	0,28*	0,52*
BLV		----	0,55*	0,35*	0,03	0,40*	0,20*	0,79*	0,11	0,46*	0,38*	0,46*	-0,24*	0,01	-0,04	0,21*	0,01	0,25*	0,43*
BCV			----	0,19*	0,05	0,43*	-0,67*	0,74*	0,10	0,49*	0,40*	0,49*	-0,23*	0,06	-0,02	0,19*	0,06	0,26*	0,45*
BFM				----	0,05	0,23*	0,06	0,44*	0,13*	0,37*	0,26*	0,35*	-0,08	0,04	-0,18*	0,29*	0,04	0,07	0,29*
DPP					----	-0,07	-0,02	-0,02	-0,24*	-0,20*	-0,14*	-0,19*	0,04	-0,03	0,02	-0,09	-0,03	-0,06	-0,17*
IAF						----	-0,18*	0,65*	0,47*	0,77*	0,67*	0,76*	-0,33*	0,01	-0,07	0,32*	0,01	0,36*	0,69*
LF/C							----	-0,18*	-0,02	-0,18*	-0,13*	-0,17*	0,05	-0,06	-0,008	-0,04	-0,06	-0,08	-0,15*
TCR								----	0,38*	0,76*	0,62*	0,76*	-0,37*	0,06	-0,03	0,29*	0,06	0,40*	0,71*
NNFP									----	0,66*	0,57*	0,67*	-0,48*	0,03	0,17*	0,04	0,03	0,50*	0,67*
AD										----	0,76*	0,99*	-0,52*	0,19*	0,03	0,28*	0,19*	0,56*	0,93*
AC											----	0,76*	-0,45*	-0,41*	0,06	0,19*	-0,41*	0,48*	0,73*
AP ₁												----	-0,61*	0,19*	0,14*	0,18*	0,19*	0,65*	0,97*
AP ₂													----	-0,16*	-0,79*	0,57*	-0,16*	-0,98*	-0,78*
AP ₃														----	0,09	-0,04	1,00*	0,16*	0,20*
AP ₄															----	-0,94*	0,09	0,80*	0,35*
AP ₅																----	-0,04	-0,58*	-0,03
AP ₆																	----	0,16*	0,20*
AP ₇																		----	0,81*
AP ₈																			----

Variável (Var.); Biomassa de forragem total (BFT); Biomassa de lâmina foliar verde (BLV); Biomassa de colmo verde (BCV); Biomassa de forragem morta (BFM); Relação lâmina foliar/colmo (LF/C); Índice de área foliar (IAF); Altura do dossel (AD); Altura comprimida (AC); Altura ponderada₁ (AP₁); Altura ponderada₂ (AP₂); Altura ponderada₃ (AP₃); Altura ponderada₄ (AP₄); Altura ponderada₅ (AP₅); Altura ponderada₆ (AP₆); Altura ponderada₇ (AP₇); Altura ponderada₈ (AP₈). Correlação linear de Pearson de uma população com 240 observações. Teste t para efeito de comparação de média, * (P<0,05).

No desempenho dos métodos (AD, AC, AP₁, AP₇ e AP₈) sobre o comportamento associativo (Pearson) com as variáveis fisiológicas, destacam-se por terem apresentado baixos valores (Tabela 7). Este comportamento possivelmente é decorrente do aspecto pontual das avaliações que são realizadas por meio do equipamento (IRGA), possibilitando maior interferência ambiental no comportamento fisiológico do dossel, além de que, ao se realizar avaliações desse porte, busca-se a última folha recém-expandida (por apresentar alta performance fotossintética), não havendo tanta diferença em grande escala que possa ser detectado pelo método, devido a padronização de folha.

Além do mais, com longos períodos experimentais, como foi este experimento (584 dias), fatores como esses são comuns, o que nos sugere que avaliações desse aspecto possam ser feitas em curtos períodos e repetidas vezes durante a estação de crescimento. Por outro lado, de acordo com Kozak et al., (2012), coeficientes de correlação baixos (próximos a 0) podem ser estatisticamente significativos, principalmente quando a amostra é extensa, como foi o caso deste experimento, além de que a significância sugere apenas a presença de uma população distinta de zero e não de fato uma distinção entre os parâmetros.

Observa-se na Tabela 7 que a taxa de fotossíntese (A) correlacionou-se de forma positiva com os métodos AP₁ ($r = 0,25$) e AP₈ ($r = 0,24$) com significância ($P < 0,05$), sendo superiores ao método AC ($r = 0,15$) e igual ao método AD ($r = 0,25$).

Esse fato é decorrente do menor intervalo (85% IL) de pastejo e das áreas foliares residuais remanescentes (IAFr 1,3; 1,8), proporcionando uma redução na competição por luz das folhas superiores com as inferiores do dossel. Além disso, quanto menor for o dossel (cm) menor será o “k”. Este fato decorre da facilidade com que a luz solar percorre o interior do dossel, sendo absorvida em todas as camadas. Pedreira et al. (2015), observaram comportamento semelhante e que a taxa de acúmulo líquido de forragem é impulsionada pela arquitetura do dossel e pelo coeficiente de extinção luminosa (intensidade de radiação fotossinteticamente ativa) ($k = - [\log_e (I/I_0)]/IAF$, sendo I e I₀ os valores de irradiação acima e abaixo da folhagem, respectivamente). A espécie *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, possui uma arquitetura de dossel caracterizada como de colmos glabros, com entre nós curtos e variando entre 1 a 2 cm, sendo mais longos em direção ao seu ápice. Esses fatos refletem no comportamento apresentado pela planta à medida que os manejos foram adotados, sendo classificado como resiliente aos diferentes tipos de manejo (VALLE et al., 2010).

Dos 10 métodos (AD, AC, AP₁, AP₂, AP₃, AP₄, AP₅, AP₆, AP₇ e AP₈) avaliados neste experimento, apenas 40% destes (AD, AC, AP₁ e AP₈) apresentaram as maiores correlações com variáveis produtivas e fisiológicas até o presente momento, tanto na condição residual, quanto pré-pastejo, sendo, por isso, avaliadas as suas relações de causa/efeito mais detalhadamente por meio da análise de trilha. De acordo com Congio et al. (2018), a altura do dossel (AD) é uma importante ferramenta de manejo que traduz de maneira confiável todas as respostas ecofisiológicas da planta forrageira tropical ao produtor rural, e que devem ser usadas de forma ininterrupta, favorecendo as tomadas de decisões e aumentando a produtividade dos sistemas de produção. Ainda segundo os autores, o acompanhamento da altura favorece a redução das taxas de alongamento de colmo, otimizando os processos inerentes ao crescimento da planta (ex: acúmulo de forragem, acúmulo de folhas e valor nutritivo do dossel), a interface planta/animal (ex: consumo de MS e eficiência de pastejo), e animal (intensidade de emissão de CH₄ e rendimento de CH₄), melhorando a produtividade do rebanho.

Tabela 7: Correlação linear de Pearson de variáveis fisiológicas, com diferentes métodos de mensurar a altura do pasto de capim-*brachiaria decumbens* cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) na condição pré-pastejo

Var.	A	E	Gs	Ci	T°Fol	AD	AC	AP ₁	AP ₂	AP ₃	AP ₄	AP ₅	AP ₆	AP ₇	AP ₈
A	----	-0,04	0,21*	0,04	0,001	0,25*	0,15*	0,25*	-0,16*	0,09	0,01	0,06	0,09	0,15*	0,24*
E		----	0,21*	-0,11*	0,62*	-0,14*	-0,03	-0,16*	0,18*	-0,12	-0,18*	0,13*	-0,12	-0,20*	-0,18*
Gs			----	0,49*	-0,02	0,27*	0,22*	0,26*	-0,10	0,06	-0,06	0,15*	0,06	0,10	0,23*
Ci				----	-0,45*	0,04	-0,006	0,03	0,01	0,04	-0,04	0,04	0,04	-0,01	0,02
T°Fol					----	0,07	0,12	0,08	-0,06	-0,03	0,01	0,01	-0,03	0,07	0,08
AD						----	0,76*	0,99*	-0,52*	0,19*	0,03	0,28*	0,19*	0,56*	0,93*
AC							----	0,76*	-0,45*	-0,41*	0,06	0,19*	-0,41*	0,48*	0,73*
AP ₁								----	-0,61*	0,19*	0,14*	0,18*	0,19*	0,65*	0,97*
AP ₂									----	-0,16*	-0,79*	0,57*	-0,16*	-0,98*	-0,78*
AP ₃										----	0,09	-0,04	1,00*	0,16*	0,20*
AP ₄											----	-0,94*	0,09	0,80*	0,35*
AP ₅												----	-0,04	-0,58*	-0,03
AP ₆													----	0,16*	0,20*
AP ₇														----	0,81*
AP ₈															----

Taxa de fotossíntese (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); Taxa de transpiração (E, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); Condutância estomática (Gs, $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); Concentração interna de dióxido de carbono (Ci, ppm); Temperatura interna da folha (T°Fol, °C); Índice relativo de clorofila (IRC); Altura do dossel (AD); Altura comprimida (AC); Altura ponderada₁ (AP₁); Altura ponderada₂ (AP₂); Altura ponderada₃ (AP₃); Altura ponderada₄ (AP₄); Altura ponderada₅ (AP₅); Altura ponderada₆ (AP₆); Altura ponderada₇ (AP₇); Altura ponderada₈ (AP₈). Correlação linear de Pearson de uma população com 240 observações. Teste t para efeito de comparação de média, * (P<0,05).

Com a análise de trilha (*path analysis*) proposta por Wright (1921), permite-se avaliar a inter-relação (causa e efeito) das variáveis dependentes com as explicativas de forma multivariada. Logo, aplicou-se essa comparação nas três principais variáveis relacionadas ao desempenho produtivo (BFT), estrutural (IAF) e fisiológico (taxa de fotossíntese) do dossel, com as variáveis AD, AC, IAF, A, AP₁ e AP₈. Esta análise desdobra (em efeitos diretos e indiretos de cada fator com uma determinada variável básica) as correlações estimadas, sendo esses efeitos estabelecidos pelo conhecimento prévio do comportamento experimental da variável.

Testou-se a colinearidade das variáveis explicativas e notou-se a presença de multicolinearidade entre AD, AC, AP₁ e AP₈ para causa/efeito sobre a variável dependente IAF, com um valor encontrado de 5.426,20. Já em AD, AC, AP₁, AP₈ e IAF, sobre a variável dependente taxa de fotossíntese (A), encontrou-se colinearidade classificada como severa de 4.325,34. Enquanto que para AD, AC AP₁, AP₈, IAF e fotossíntese, sobre a variável dependente BFT, o valor do teste de colinearidade foi de 4.433,81. Esse diagnóstico visa testar a matriz de correlação apenas das variáveis explicativas, buscando-se identificar a presença de multicolinearidade, tendo como premissa o número da condição (NC) da matriz de correlação. Essa classificação é dividida em três escalas: fraca (NC<100), moderada (100<NC<1.000) e severa (NC>1.000) (MONTGOMERY & PECK, 1981).

A multicolinearidade nessas análises (causa/efeito), ocorre segundo Entringer et al. (2014), quando os valores quantificados das variáveis explicativas (ou as suas combinações de ordem linear) estão altamente correlacionadas e ou interligadas. Foi o que se observou por meio do presente teste, no qual se detectou alta relação entre os métodos AD e AP₁.

Observando isso, utilizaram-se os valores das constantes “k” nas variáveis dependentes IAF, taxa de fotossíntese e BFT, nos valores de: 0,27558183; 0,13071829 e 0,27558183, respectivamente, de modo a atenuar os efeitos das altas variações existentes, por meio da modificação dos sistemas de equações normais (HOERL & KENNARD, 1970), sendo esse valor escolhido a partir do momento de estabilização da maioria dos coeficientes de trilha, reduzindo a inflação das variâncias dos estimadores dos mínimos quadrados ordinários do teste.

Logo, com a utilização das constantes “k” apresentados na análise de trilha, permitiram-se corrigir as distorções dos elementos da diagonal da matriz de correlação X'X, podendo ser comprovado pelos valores inferiores a 10 deste experimento, dos fatores de inflação da variância (FIV), garantindo, assim, maior confiabilidade nas interpretações de causa e efeito entre todos os parâmetros estudados. De acordo com Neter (1974), a existência de FIVs

superiores a 10 evidencia que os coeficientes de regressão da análise, associados a esses parâmetros tenham valores influenciados pela colinearidade. Logo, o que se pode observar nos dados desta pesquisa é a ausência desse tipo de problema.

A variável IAF apresentou as maiores relações de causa/efeito via direta com o método AD (0,24045828) e AP₁ (0,23077741), quando comparado aos métodos AC (0,21648911) e AP₈ (0,21837353) (Tabela 8). Essa proximidade entre os métodos AP₁ e AD, possivelmente se deve aos parâmetros de quantificação (AD-AI) utilizados para determinar AP₁, trazendo uma similaridade a nível de resposta entre os mesmos. Com isso, pode-se inferir que ao se manejar o pasto com alturas superiores àquelas preconizadas, ocorrerá uma elevação do meristema e um estiolamento do colmo, fazendo com que a altura ponderada 1 reduza ao longo do tempo, já que a diferença entre a AD e AI tornar-se menor. No entanto, observa-se que as variáveis explicativas apresentaram um valor inferior ao da variável residual (0,36689580), explicando o pouco efeito sobre a variável dependente (IAF).

Ao se observar o comportamento de causa/efeito entre as variáveis explicativas sobre a taxa de fotossíntese (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), verificou-se valores via direta baixos em AD (0,02031603), AC (-0,1170371), AP₁ (0,03526794) e AP₈ (0,09378560). Contrário da variável IAF (0,28955778) que apresentou o maior valor (Tabela 9). Nota-se, também, a presença de valores negativos de ordem indireta, o que denota uma baixa funcionalidade da variável explicativa regular à resposta da variável dependente. A análise de trilha se utiliza de coeficientes de regressão de ordem infinita, podendo variar de forma positiva a negativa. Esses valores negativos, de acordo com Rodrigues et al. (2010) são possíveis, uma vez que os constituintes da correlação podem promover valores maiores que a unidade avaliada, bem como menores que -1, foi o caso encontrado neste estudo. Com o valor da variável residual de 0,93848478, observa-se também o pouco efeito explicativo das variáveis independentes com a variável dependente (A).

Analisando os efeitos diretos, observou-se proximidade entre os métodos AD (0,16164915) e AP₁ (0,13864668), com baixos FIV (2,34535467 e 4,31655435, respectivamente) sobre BFT. Os métodos AC (0,0,09132946) e AP₈ (0,0,05755104), apresentaram as menores relações. O IAF apresentou valor intermediário (0,14354927) com a variável indepenente “A” o valor negativo de -0,10617278, sobre via direta para BFT. Logo, notou-se que o baixo poder explicativo das variáveis dependentes sobre a variável dependente deve-se aos menores valores do efeito do resíduo (0,83191249) (Tabela 10).

Com as análises de trilha, foi possível observar que o maior coeficiente de determinação (R^2), foi em IAF ($R^2 = 0,79347694$), seguido da BFT ($R^2 = 0,30732160$) e IAF

($R^2 = 0,11924631$), porém baixo na taxa de fotossíntese ($R^2 = 0,06430688$). Com essa escala de R^2 , pode-se inferir que grande parte da variabilidade (%) verificada nas variáveis dependentes BFT e IAF, podem ser explicadas pelas variáveis AD, AC, AP₁ e AP₈, diferente da variável taxa de fotossíntese ($A, \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Possivelmente esse baixo R^2 da variável fisiológica esteja associado ao caráter pontual (tanto a nível de folha, dia e horário) da mensuração, o que leva, muitas vezes, a não representação da variação de trocas gasosas do dossel.

Tabela 8: Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias AD, AC, AP₁ e AP₈, sobre a variável principal IAF, realizadas com os dados dos valores obtidos da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) sob pastejo

Variável	Efeito	Estimativa	FIV
AD	Direto sobre IAF	0,24045828	4,35230327
	Indireto via AC	0,209923	2,26794570
	Indireto via AP ₁	0,23029301	2,71086903
	Indireto via AP ₈	0,21515077	2,52671446
	Total	0,962091	
AC	Direto sobre IAF	0,21648911	3,92465411
	Indireto via AD	0,23316518	2,51507195
	Indireto via AP ₁	0,22389540	2,56234357
	Indireto via AP ₈	0,20998384	2,40681150
	Total	0,943194	
AP ₁	Direto sobre IAF	0,23077741	4,42945482
	Indireto via AD	0,23995356	2,66365154
	Indireto via AC	0,21003319	2,27032731
	Indireto via AP ₈	0,21675477	2,56476601
	Total	0,961127	
AP ₈	Direto sobre IAF	0,21837353	4,23532739
	Indireto via AD	0,23690960	2,59650001
	Indireto via AC	0,20817182	2,23026505
	Indireto via AP ₁	0,22907728	2,68232279
	Total	0,952712	
Coeficiente de determinação (R^2)			0,86538746
Valor de k usado na análise			0,27558183
Efeito da variável residual			0,36689580
Determinante da matriz de correlação entre as variáveis explicativas			0,10865228

Índice de área foliar (IAF), altura do dossel (AD), altura comprimida (AC), altura ponderada 1 (AP₁), altura ponderada 8 (AP₈). Fator de inflação da variância (FIV).

Tabela 9: Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias AD, AC, AP₁, AP₈ e IAF, sobre a variável principal taxa de fotossíntese (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) realizadas com os dados dos valores obtidos da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) da condição pré-pastejo

Variável	Efeito	Estimativa	FIV
IAF	Direto sobre A	0,28955778	2,34587678
	Indireto via AD	0,01594189	2,85745417
	Indireto via AC	-0,0827878	1,19633459
	Indireto via AP ₁	0,02716401	3,15989181
	Indireto via AP ₈	0,06569672	1,80025238
	Total	0,353423	
AD	Direto sobre A	0,02031603	5,93316385
	Indireto via IAF	0,22721454	1,12979105
	Indireto via AC	-0,0994577	1,72661742
	Indireto via AP ₁	0,03499698	5,2450031
	Indireto via AP ₈	0,08702275	3,15906878
	Total	0,272753	
AC	Direto sobre A	-0,1170371	3,05686031
	Indireto via IAF	0,20482275	0,91808367
	Indireto via AD	0,01726448	3,35125031
	Indireto via AP ₁	0,03017740	3,89985412
	Indireto via AP ₈	0,07759440	2,51135087
	Total	0,197523	
AP ₁	Direto sobre A	0,03526794	6,81010371
	Indireto via IAF	0,22302262	1,08848810
	Indireto via AD	0,02015994	4,56960189
	Indireto via AC	-0,10014416	1,75053270
	Indireto via AP ₈	0,09045049	3,41246245
	Total	0,273367	
AP ₈	Direto via A	0,09378560	4,69058697
	Indireto via IAF	0,20283494	0,90035006
	Indireto via AD	0,01885220	3,99593330
	Indireto via AC	-0,09683189	1,63664992
	Indireto via AP ₁	0,03401378	4,95443819
	Total	0,264914	
Coeficiente de determinação (R ²)			0,11924631
Valor de k usado na análise			0,13071829
Efeito da variável residual			0,93848478
Determinante da matriz de correlação entre as variáveis explicativas			0,01945101

Taxa de fotossíntese (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), altura do dossel (AD), altura comprimida (AC), altura ponderada 1 (AP₁), altura ponderada 8 (AP₈), índice de área foliar (IAF). Fator de inflação da variância (FIV).

Tabela 10: Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis primárias AD, AC, AP₁, AP₈, IAF e A, sobre a variável principal BFT (kg MS.ha⁻¹), realizadas com os dados dos valores obtidos da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk submetido a duas frequências da interceptação luminosa (IL, 85 e 95%) e duas intensidades de desfolhação, com índice de área foliar residual (IAFr, 1,3 e 1,8) sob pastejo

Variável	Efeito	Estimativa	FIV
IAF	Direto sobre BFT	0,14354927	2,34535467
	Indireto via A	-0,0375239	0,10690215
	Indireto via AD	0,12684528	1,52891332
	Indireto via AC	0,06460317	0,84984965
	Indireto via AP ₁	0,10678816	1,57379400
	Indireto via AP ₈	0,04031445	1,06540509
	Total	0,484136	
A (Fotossíntese)	Direto sobre BFT	-0,10617278	1,39255862
	Indireto via IAF	0,05073361	0,18004518
	Indireto via AD	0,04409029	0,18472266
	Indireto via AC	0,01803967	0,06626612
	Indireto via AP ₁	0,03790143	0,19824979
	Indireto via AP ₈	0,01524608	0,15237354
	Total	0,030579	
AD	Direto sobre BFT	0,16164915	4,04015242
	Indireto via IAF	0,11264239	0,88755166
	Indireto via A	-0,02895895	0,06367015
	Indireto via AC	0,07761141	1,22655085
	Indireto via AP ₁	0,13758145	2,61229020
	Indireto via AP ₈	0,05340397	1,86956451
	Total	0,558477	
AC	Direto sobre BFT	0,09132946	2,76358514
	Indireto via IAF	0,10154159	0,72123664
	Indireto via A	-0,0297157	0,03339121
	Indireto via AD	0,1373688	1,79312456
	Indireto via AP ₁	0,11863455	1,94233455
	Indireto via AP ₈	0,04761543	1,48623939
	Total	0,500687	
AP ₁	Direto sobre BFT	0,13864668	4,31655435
	Indireto via IAF	0,11056423	0,85510452
	Indireto via A	-0,02902414	0,06395714
	Indireto AD	0,1604072	2,44501742
	Indireto AC	0,07814706	1,24353974
	Indireto AP ₈	0,05550447	2,01952510
	Total	0,552454	
AP ₈	Direto sobre BFT	0,05755104	3,53277828
	Indireto via IAF	0,10055120	0,70730530
	Indireto via A	-0,02812666	0,06006295
	Indireto via AD	0,15000087	2,13806952
	Indireto via AC	0,07556234	1,16263993
	Indireto via AP ₁	0,13371626	2,46757344
	Total	0,50512	
Coeficiente de determinação (R ²)			0,30792160
Valor de k usado na análise			0,27558183
Efeito da variável residual			0,83191249
Determinante da matriz de correlação entre as variáveis explicativas			0,15781038

Biomassa de forragem total (BFT, kg MS.ha⁻¹), altura do dossel (AD), altura comprimida (AC), altura ponderada 1 (AP₁), altura ponderada 8 (AP₈), índice de área foliar (IAF), taxa de fotossíntese (A). Fator de inflação da variância (FIV).

Observa-se que de todos os métodos de avaliação estudados, apenas AD, AC, AP₁ e AP₈ foram os que apresentaram os maiores coeficientes de correlação de Pearson e melhor desempenho na análise de trilha, sendo importantes destacá-los apresentando uma discussão mais detalhada, visando gerar modelos lineares na determinação da BFT.

Houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre os interceptos e os coeficientes angulares provenientes das equações de calibração das regressões geradas entre todos os manejos testados com o tipo de método (AD; AC; AP₁ e AP₈). A variação existente entre essa característica estrutural (altura) pode ser utilizada para explicar a variação entre o método proposto e a espécie testada, observando-se as diferenças entre o intercepto e o coeficiente angular.

Os coeficientes de variação baixos demonstram que houve pouca participação do erro experimental na geração dos modelos, garantindo maior confiabilidade aos resultados apresentados (Figura 12). Por apresentarem diferença tanto no intercepto, quanto no coeficiente angular (principalmente os métodos AD, AC e AP₁ para com o método AP₈), esse fato indica que a geração de curvas de calibração em comum a todos os métodos descritos não é recomendável (a exceção dos métodos AP₁, AC e AD), que pode subestimar ou superestimar o comportamento da variável resposta.

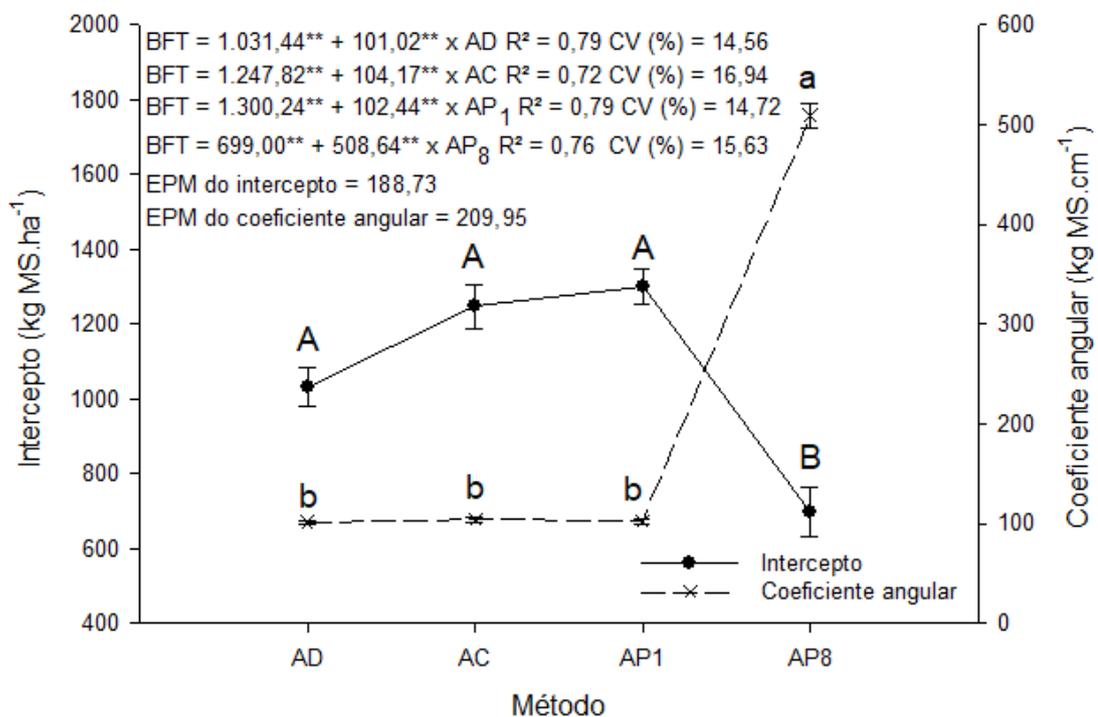
Infere-se, com isso, que a geração de modelos considerando poucos dados, sem considerar possíveis variações climáticas e de de cada espécie, não seria recomendável, uma vez que cada método possuiu uma escala e tipo de calibração e validação específica, assim os modelos gerados podem não predizer de forma precisa e acurada a variável dependente, o que foi possível identificar nos modelos gerados neste experimento, uma vez que a pesquisa foi longa (584 dias), passando por diferentes manejos e condições climáticas. Os métodos AP₁ e AD, apresentaram o menor CV (%), com AP₁ apresentando CV (%) inferior (4%) ao método AD. O menor valor (CV, %) implica diretamente em distintos volumes de biomassa produzidos na área, impactando diretamente no planejamento estratégico de disponibilidade de forragem na propriedade.

Além disso, as diferenças entre interceptos e coeficientes angulares pode ser explicada devido a modificação na estrutura do dossel. Essas, são ocasionadas pelos processos de desfolhação irregulares, gerando locais com intensidades diferentes no pastejo. Esse fato reflete no crescimento do dossel, que evidencia a sua plasticidade fenotípica.

Arruda et al. (2011) trabalhando com capim-estrela, descreveram que diferenças alométricas, entre as estruturas dos dosséis, reduzem os valores de predição confiável da biomassa, comprometendo a geração de modelos de calibração.

Logo, a variabilidade da produção pode ser influenciada pelo método, de acordo com o desvio padrão do modelo de calibração. Os modelos apresentaram as médias seguidas dos desvios para os interceptos dos métodos AD de $1.031,44 \pm 386,48$; AC de $1.247,82 \pm 488,20$; AP₁ de $1.300,24 \pm 341,26$ e AP₈ de $699,00 \pm 468,89$, enquanto para os coeficientes angulares os valores para AD foi $101,02 \pm 22,17$; AC de $104,17 \pm 32,45$; AP₁ de $102,44 \pm 22,24$ e AP₈ de $508,64 \pm 117,43$. De acordo com Shuwirth et al. (2019), dois aspectos são fundamentais para que o modelo escolhido possa predizer com garantia as variáveis respostas, são eles: sensibilidade do modelo para o caso de gerenciamento específico e transferibilidade (também chamado de universabilidade), tornando-o mais aplicável em uma maior gama de variação de condição.

Figura 12: Valores médios do intercepto (BFT, kg MS.ha⁻¹) e coeficiente angular (BFT, kg MS.cm⁻¹) das equações de calibração (análise de regressão) da espécie *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, submetida a distintos manejos durante o período experimental



Biomassa de forragem total (BFT, kg MS.ha⁻¹); Altura do dossel (AD); Altura comprimida (AC); Altura ponderada 1 (AP₁); Altura ponderada 8 (AP₈). Coeficiente de determinação (R²), da análise de regressão (PROC REG). Erro padrão da média (EPM) do teste de comparação de médias dos interceptos e coeficiente angular (PROC MIXED). Médias maiúsculas comparam o intercepto, enquanto letras minúsculas comparam o coeficiente angular. Letras distintas na linha de cada comparação diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Estes resultados possibilitam inferir que a seleção do método de avaliação correto é de suma importância no processo de predição de determinada variável, visando-se a eficácia

nas etapas de crescimento e desenvolvimento da planta, atingindo maior eficiência no sistema de produção. Além disso, o sucesso do método deve abranger o maior número de variáveis e ser aplicável.

4.4 Conclusão

Os métodos AD e AP₁ podem ser utilizados para quantificar a BFT e IAF, além de apresentarem as maiores correlações de Pearson e relação causa efeito (trilha), com a maioria das variáveis produtivas e estruturais, enquanto os métodos AC e AP₈, apenas para quantificar BFT.

A variável IAF apresenta maior relação causa/efeito com a taxa fotossintética foliar do capim-braquiária, e pode ser utilizada para determinar a “condição fisiológica” do dossel, além de ser uma variável chave na geração de novos modelos de predição da biomassa produzida.

5 AVALIAÇÃO DE MODELOS PARA PREDIÇÃO DE VARIÁVEIS PRODUTIVAS E ESTRUTURAIS DO CAPIM-BRAQUIÁRIA

Resumo

Objetivou-se analisar a relação entre a biomassa de forragem com variáveis estruturais e gerar modelos para predição da biomassa de forragem total (BFT) e de lâmina foliar verde (BLV). Pastos de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk irrigados foram mantidos sob lotação rotativa com o uso de ovinos (*Ovis áries* L.). Foram avaliadas a BFT, BLV, índice de área foliar (IAF), altura (cm) e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). A BFT e BLV foram obtidas por corte rente à superfície do solo em área conhecida; o IAF estimado com AccuPAR LP-80; a altura registrada com bastão graduado retrátil *sward stick* e o NDVI por sensor óptico ativo (SOA) GreenSeeker. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo 10 e 5 ciclos de manejo de desfolha, utilizados nas etapas de geração e validação, respectivamente, dos modelos. Os melhores ajustes foram obtidos para os modelos não lineares, tanto para BFT quanto BLV, o que pode ser comprovado pelas altas correlações e significância ($P < 0,0001$) de Spearman. A análise de trilha apresentou baixa colinearidade (42,60) entre NDVI, IAF e altura e altos coeficiente de determinação (R^2) com valores de 0,8421 e 0,7767, demonstrando suas associações com BFT e BLV, respectivamente. Entre os modelos estudados para predição da BFT e BLV, os exponenciais utilizando o NDVI, e potência utilizando IAF e altura, foram os que apresentaram melhor ajuste. Na etapa de validação, os modelos relacionados com a altura apresentaram as maiores performances: índice-d de 0,9531 (BFT) e 0,9638 (BLV); viés de -2,3 (BFT) e -7,20 (BLV); e R^2 de 0,8532 (BFT) e 0,8932 (BLV). Os modelos não lineares para predição da BFT e BLV utilizando a altura (cm), são os que apresentam melhor potencial de aplicação de ordem prática, garantindo eficiência na coleta do dado.

Palavras-chave: Índice de área foliar. *Brachiaria decumbens* cv Basilisk. Altura. NDVI

Abstract:

This chapter aimed to analyze the relationship between forage biomass with structural variables to generate predicting models of total forage biomass (TFB) and green leaf lamina (GLLB). Irrigated pastures containing *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk were kept under rotational stocking with the use of sheep animals (*Ovis áries* L.). The TFB, GLLB, leaf area index (LAI),

height (cm), and normalized difference vegetation index (NDVI) were evaluated. TFB and GLLB were obtained by cutting the plant close to the soil surface in a known area; LAI was evaluated with AccuPAR LP-80; height was recorded with a retractable graduated stick (sward stick) and the NDVI was measured with a GreenSeeker active optical sensor (AOS). The adopted experimental design was completely randomized, with four repetitions, consisting of 10 cycles to generate mathematical models and 5 validation cycles of defoliation management, used in the generation and validation stages of the models, respectively. Better adjustments were obtained to non-linear models for both TFB and GLLB, which can be proved by high correlations and significance ($P < 0.0001$) of Spearman. Trail analysis provided low colinearity (42.60) between NDVI, LAI, and height. Moreover, it provided a high determination coefficient (R^2) with values of 0.8421 and 0.7767, demonstrating their associations with TFB and GLLB, respectively. Among the models that were used for predicting TFB and GLLB, the exponential one using NDVI as well as the potential model using LAI and height were the ones that better fitted. In the validation phase, models related to height demonstrated the greater performances: d-index of 0.9531 (TFB) and 0.9638 (GLLB); bias of -2.3 (TFB) and -7.20 (GLLB); R^2 of 0.8532 (TFB) and 0.8932 (GLLB). Non-linear models related to Height (cm) use for predicting TFB and GLLB are the ones that offered the greater practical application potential, which ensured the data collection efficiency.

Keywords: Leaf area index. *Brachiaria decumbens* cv Basilisk. Height. NDVI.

5.1 Introdução

Grande parte da produção de carne e de leite consumidos no mundo são oriundos de animais criados em áreas exclusivamente a pasto (SILVEIRA et al., 2018), tendo o correto gerenciamento dessas espécies como principal medida para impulsionar o crescimento da produção e a qualidade desses produtos, uma vez que o acompanhamento da pastagem de forma correta e através de medidas e metodologias práticas e eficientes, direcionam ao manejo mais adequado, reduzindo as chances de degradação dos pastos e garantindo a sustentabilidade dos sistemas de produção (TRACY et al., 2015).

De todas as espécies forrageiras cultivadas no Brasil, o gênero *Brachiaria*, representa 40% destas, sendo a cv. Basilisk, devido a sua alta aceitabilidade pelos animais e boa produção de matéria seca ($MS\ kg\ ha^{-1}$) e resistência ao pastejo constante, aquela de maior difusão (SANTOS et al., 2011a).

Atualmente, as tecnologias empregadas para o monitoramento da BFT e BLV são medidas indiretas, tais quais: réguas, placas e alguns sensores de elevação, porém, essas ferramentas foram desenvolvidas para atender pastagens homogêneas, desconsiderando sua heterogeneidade, seja vertical ou horizontal do dossel (TROTTER et al., 2010), além de apresentarem limitação de ordem climática e morfofisiológicas da planta (LIM et al., 2015). Pedreira et al. (2015) indicaram que é importante o uso de variáveis estruturais e fisiológicas em conjunto ou em separadas, que fossem eficazes para predição BFT e BLV, uma vez que Stobbs (1973a) destacou haver efeito negativo da heterogeneidade do dossel sobre o desempenho animal, reduzindo os índices produtivos dos sistemas de produção. Souza et al. (2014) já demonstraram maior desempenho animal quando houve maior oferta de forragem aos animais.

Devido a complexidade em ter ferramentas eficientes e que possam quantificar de forma prática a BFT e BLV, uma vez que o conhecimento desses materiais são fundamentais no cálculo de taxa de lotação, o sensoriamento remoto (SR) tem ganhado cada vez mais espaço na pecuária, pois caracteriza em tempo real a biomassa presente no nível solo, fornecendo valores que auxiliam os produtores nas tomadas de decisões diárias (ANDERSSON et al., 2017).

Os sensores ópticos ativos (SOA) são exemplos de SR. Por utilizarem sua própria fonte de luz, não são afetados pelas condições atmosféricas, além disso fornecem o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que pode ser relacionado com variáveis estruturais e fisiológicas presentes na área (ANDERSSON et al., 2017). O NDVI se baseia na reflectância espectral que difere de forma significativa de acordo com a região do infravermelho próximo ($\lambda = 700-1300$ nm) e na faixa do vermelho visível ($\lambda = 550-700$ nm) do espectro eletromagnético (KUMAR & SILVA, 1973).

Nos últimos 10 anos, esses sensores têm sido utilizados principalmente em grandes culturas (como as árvores), existindo poucos trabalhos (FLYN et al., 2008; TROTTER et al., 2010) associando-os a espécies de potencial forrageiro, dificultando a obtenção de dados que possam gerar modelos precisos, práticos e aplicáveis, utilizados no manejo diário dos sistemas de produção. Além disso, tem sido relatado haver saturação desta variável (NDVI) sob condição de moderada a alta produção de biomassa (LIM et al., 2015) sem, contudo, haver identificação e caracterização desse momento de saturação.

Diante do exposto, objetivou-se analisar a relação existente entre a BFT e a BLV com a altura, IAF e NDVI, e posteriormente gerar modelos de predição da biomassa de

ferragem da espécie ferrageira *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, utilizando o NDVI, altura e o IAF como variáveis independentes.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Caracterização da área experimental e do período de estudo

O experimento foi conduzido no Núcleo de Ensino e Estudos em Forragicultura do Departamento de Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Ceará, NEEF/DZ/CCA/UFC, em Fortaleza/CE, Brasil, no período de agosto de 2018 a abril de 2020 (aproximadamente 584 dias), caracterizando dois anos de coleta de dados, seguindo os padrões éticos e aprovados pelo Comitê de Ética do Uso de animais (Protocolo N° 80/17). Fortaleza localiza-se em altitude de 21 metros, entre as coordenadas geográficas 03°45'47" S e 38°31'23" W, com clima tropical chuvoso Aw', segundo Köppen (PEEL et al., 2007). Os dados de precipitação, temperatura (máxima e mínima) durante o período experimental e histórico da área, foram coletados na estação meteorológica da UFC, localizada a 0,5 km da área experimental.

A espécie utilizada para a condução do experimento foi a *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk (syn. *Urochloa decumbens* cv. Basilisk). A mesma foi semeada em um Argissolo Amarelo de textura arenosa (SANTOS et al., 2018), em uma área total de 1.400 m², dividida em 16 piquetes de 12,5 x 7 m (87,5 m²) e dotada de irrigação por aspersão fixa com baixa pressão (equivalente a pressão de serviço de < 2,0 kgf/cm²). A área vem sendo pastejada por ovinos da raça Morada Nova desde o ano de 2001.

Duas coletas (17.01.2018 e 15.01.2019) de solo foram realizadas, visando monitorar sua fertilidade durante o período experimental. As mesmas foram colhidas na profundidade de 0 a 20 cm do nível do solo, e enviadas ao Laboratório de Ciência do Solo da UFC. Os resultados revelaram: ano de 2018, pH (6,80), M.O (11,17 g kg⁻¹), P (285,0 mg dm⁻³), K (136,85 mg dm⁻³), Ca²⁺ (1,60 cmolc dm⁻³), Mg²⁺ (1,0 cmolc dm⁻³), Al³⁺ (0,20 cmolc dm⁻³), SB (3,10 cmolc dm⁻³), CTC (3,60 cmolc dm⁻³) e V (86%); e ano de 2019 pH (7,70), M.O (5,90 g kg⁻¹), P (26,0 mg dm⁻³), K (35,19 mg dm⁻³), Ca²⁺ (1,20 cmolc dm⁻³), Mg²⁺ (0,80 cmolc dm⁻³), Al³⁺ (0,0 cmolc dm⁻³), SB (2,70 cmolc dm⁻³), CTC (3,0 cmolc dm⁻³) e V (89%).

Após a avaliação dos dados da análise de solo, foi realizada a fertilização, conforme Alvarez V. et al. (1999), sendo aplicados 20 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e 200 kg.ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se os adubos superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Foram aplicados

também 30 e 40 kg.ha⁻¹ de uma fórmula comercial de micronutrientes (FTE BR 12), nos anos de 2018 e 2019, respectivamente. Foi mantida, ainda, uma adubação nitrogenada (N) equivalente a 600 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, fracionada em duas aplicações (1° após saída dos animais e 2° no meio do ciclo de crescimento das plantas), para isso, a ureia (CH₄N₂O, com 45% de N) como fonte do nutriente foi usada.

5.2.2 *Tratamentos e delineamento experimental*

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com oito diferentes manejos (tratamentos) e quatro piquetes (repetições) por manejo. Os pastos foram manejados com base na interceptação luminosa (IL) de 85% e 95% para uma condição pré-pastejo e no índice de área foliar residual (IAFr) de 1,3 e 1,8, para uma condição residual. A partir disso, os dados foram agrupados na seguinte ordem: residual de 85% IL x 1,8 IAFr; residual de 85% IL x 1,3 IAFr; residual de 95% IL x 1,8 IAFr; residual de 95% IL x 1,3 IAFr; pré-pastejo de 85% IL x 1,8 IAFr; pré-pastejo de 85% IL x 1,3 IAFr; pré-pastejo de 95% IL x 1,8 IAFr; pré-pastejo de 95% IL x 1,3 IAFr, de modo que fosse possível se obter equações de regressão das diferentes condições de manejo.

5.2.3 *Variáveis resposta*

5.2.3.1 *Avaliação do NDVI, IAF e altura na condição residual e pré-pastejo*

Os valores do NDVI foram mensurados com o uso de um sensor óptico ativo (SOA) GreenSeeker[®] Handheld Crop. O mesmo foi desenvolvido para realizar leituras entre 0,60 a 1,20 m da distância do alvo, com campo de visão variando de 25 a 50 cm (10” a 20”), com capacidade de 1.000 leituras por segundo (Figura 13A e 13B). O equipamento não é impactado pelas condições climáticas, uma vez que ele possui diodos de emissão da sua própria radiação nas faixas do vermelho (650 nm) e infravermelho próximo (770 nm) (TRIMBLE, 2020). Esse índice (Fórmula 1) foi proposto por Rouse et al. (1974) objetivando-se acompanhar o crescimento vegetal, tendo como base a resposta espectral do dossel em duas bandas: infravermelho (R_{nir}, comprimentos de onda entre 700 a 1300 nm) e do vermelho (R_{red}, comprimentos de onda entre 550 a 700 nm) (KUMAR & SILVA, 1973).

$$\text{Fórmula (1) NDVI} = \frac{R_{nir} - R_{red}}{R_{nir} + R_{red}}$$

A altura foi mensurada com o uso de um bastão graduado retrátil, em centímetros, feito de cano PVC de 25 mm de diâmetro, tipo *sward stick* (BARTHAM, 1986), sendo a medida realizada na curvatura da folha mais alta (Figura 13C).

Para a variável IAF, o analisador de dossel AccuPAR LP-80 modelo PAR-LAI, foi utilizado para medir a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e estimar o IAF de forma não destrutiva. Foram tomados 15 pontos acima e 15 pontos na base do dossel, entre 10:00 e 12:00 horas, por unidade experimental.

5.2.3.2 Determinação da BFT e BLV nas condições residual e pré-pastejo

Foi realizada a colheita (mais próximo ao nível da superfície do solo) de amostras de biomassa tanto na condição residual quanto pré-pastejo, utilizando-se uma moldura de 42 x 30 cm (1.260 cm²) (Figura 13D). Após a coleta, o material total foi pesado (g) e fracionado, retirando-se a fração lâmina foliar, para registro de seu peso (g), sendo ambas as pesagens registradas em balança de precisão. Logo após, o material foi encaminhado à estufa de ventilação forçada de ar a 55 °C, até atingir peso (g) constante, de modo que fosse possível quantificar a biomassa seca total e da fração lâmina foliar.

Figura 13: Avaliações do NDVI (A e B) por meio de sensor óptico ativo, altura do dossel (C) e coleta de biomassa (D) do capim-*brachiaria decumbens* cv. Basilisk manejado sob diferentes condições de manejo



(A)



(B)



(C)



(D)

Foto: Nascimento (2019)

5.2.4 Análise estatística

A aplicação dos diferentes manejos causa uma heterogeneidade na estrutura do dossel e na distribuição dos dados das variáveis respostas necessárias para a geração dos modelos. Devido a falta de normalidade nos dados e falta de linearidade na relação entre as variáveis, foi realizada uma análise de correlação não paramétrica de Spearman para verificar a associação entre as variáveis. Para verificar as relações de causa e efeito entre as variáveis, foi realizada a análise de trilha a partir da correlação de Spearman.

No total, houve 15 ciclos pastejo/rebrota que ocorreram durante o período experimental. Destes, 70% (10 primeiros ciclos) foram utilizados nas análises de correlação e geração dos modelos e os 30% restantes (5 ciclos finais), para a validação dos modelos.

Os modelos simples entre a BFT e BLV, obtidos com a relação com o NDVI, IAF e altura, foram ajustados a equações polinomiais do primeiro grau, segundo grau, equação exponencial e potência. Para cada relação foi escolhido o modelo com maior coeficiente de determinação (R^2) para o processo de validação. Além dos modelos simples, foram ajustados modelos lineares múltiplos considerando as três variáveis preditoras (NDVI, IAF e altura). Os valores de NDVI apresentam uma relação curvilínea em relação a produção de biomassa entre as culturas (GU, et al., 2013), além de ser considerada uma variável intermediária entre o IAF e a produção de biomassa, já que o NDVI também é influenciado pelo IAF. Por isso, os modelos múltiplos foram estudados considerando a inclusão ou não do NDVI, e a inclusão do NDVI quadrático, com ou sem efeitos de interação entre as variáveis.

A performance dos modelos foi avaliada por meio do d-index, que varia de zero a um, valor de 1 indica uma acurácia perfeita, e 0 indica não haver qualquer exatidão (WILLMOTT, 1981). A porcentagem de viés (PV), que possui valor ótimo igual a zero, com valores de baixa magnitude indicando boa acurácia, valores positivos indicam superestimação do modelo, enquanto que valores negativos indicam subestimação do modelo. Foi realizada a análise de regressão entre os valores observados e simulados com o objetivo de verificar a precisão do modelo por meio do cálculo do coeficiente de determinação e a acurácia do modelo por meio da verificação dos intervalos de confiança dos coeficientes angulares e lineares da equação linear de regressão.

As análises de correlação, os ajustes dos modelos lineares e não lineares foram realizados com auxílio dos procedimentos CORR, GLM e NLIM, respectivamente, do software SAS. A análise de trilha foi realizada por meio do software estatístico GENES (CRUZ, 2013).

5.3 Resultados e discussão

A análise de correlação de Spearman (r_s), indicou elevado grau de correlação entre as medidas de manejo e as variáveis resposta (Tabela 11).

Observou-se altas correlações das variáveis BFT, com os métodos de estimativa, como NDVI (0,8843), IAF (0,8758) e altura (0,8931), todos com um grau de significância de $P < 0,0001$.

Comportamento semelhante observou-se também da BLV com os métodos NDVI (0,9380), IAF (0,9095) e altura (0,8998), com grau de significância de $P < 0,0001$.

Tabela 11: Coeficiente de correlação de Spearman (r_s) entre as variáveis BFT, BLV, NDVI, IAF e altura da espécie *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, manejada durante 584 dias

Variável	BFT	BLV	NDVI	IAF	Altura
BFT	-----	0,9450**	0,8843**	0,8758**	0,8931**
BLV		-----	0,9380**	0,9095**	0,8998**
NDVI			-----	0,9515**	0,9277**
IAF				-----	0,9539**
Altura					-----

Biomassa de forragem total (BFT, kg MS.ha⁻¹); Biomassa de lâmina foliar verde (BLV, kg MS.ha⁻¹); índice de área foliar (IAF); altura (altura, cm) e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). (n = 321 observações). ** coeficiente de correlação significativo ($P < 0,0001$).

Com a análise de trilha (*path analysis*) proposta por Wright (1921), foi possível avaliar (por diagramas estabelecidos) de forma mais detalhada as inter-relações (causa e efeito) entre as variáveis (Figura 14).

Avaliando a presença e o grau de multicolinearidade, a análise forneceu o valor de 42,60 com um determinante da matriz de 0,19 entre as variáveis explicativas. Este valor (42,60) é considerado como grau fraco de colinearidade, conforme classificação de Montgomery e Peck. (1981). A avaliação é determinada por indicadores que se baseiam na variação do determinante e do número de condição (NC = razão entre o maior e o menor autovalor) das matrizes testadas, ou seja, à medida que o determinante da matriz (correlação) entre as variáveis analisadas se aproxima de 0, a classificação dos valores (NC < 100, fraca; Se 100 < NC < 1.000, moderada a forte; NC > 1.000, severa) torna-se mais ajustada. Rodrigues et al. (2010), descreveram que na presença de multicolinearidade, as variâncias ligadas aos fatores que estimam o coeficiente de trilha geram valores pouco confiáveis. Com isso, os parâmetros estimados assumem valores incoerentes com o fator biológico em estudo, o que não foi observado neste trabalho.

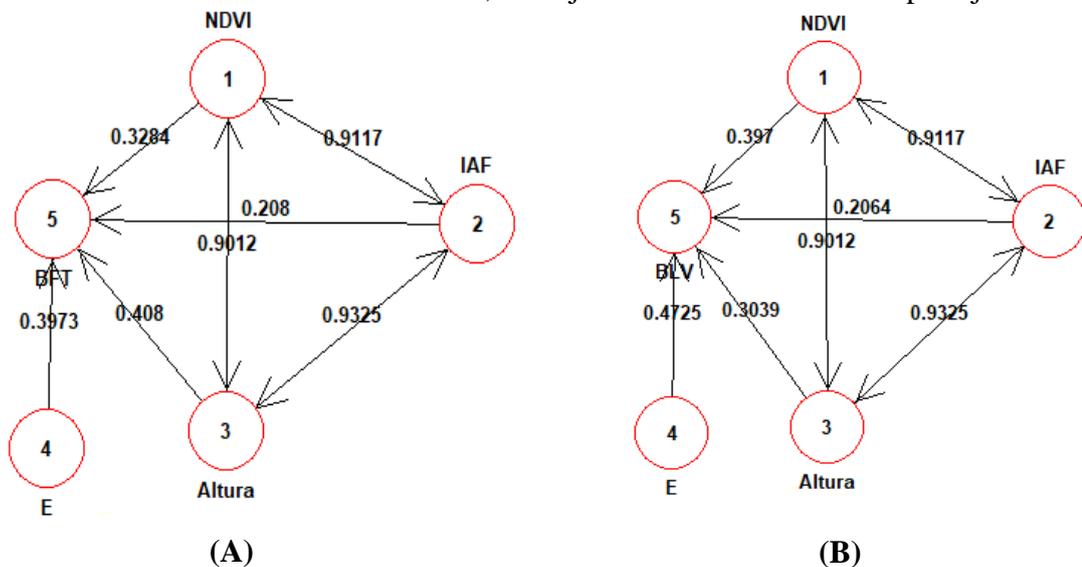
As análises de trilha dos 10 ciclos utilizados na geração dos modelos apresentaram os efeitos residuais (E) para BFT e BLV, de: 0,3973 e 0,4725, respectivamente, enquanto os coeficientes de determinação (R^2) foram de: 0,8421 e 0,7767, respectivamente.

Observou-se maiores relações da BFT e BLV com os métodos NDVI e Altura, tendo como valores para NDVI, 0,3284 e 0,3970, respectivamente, enquanto para altura 0,4080 e 0,3039, respectivamente. O IAF apresentou valores menores quando comparado ao NDVI e altura, sendo encontrado 0,2080 para BFT e 0,2064 para BLV. No entanto, observou-se forte relação entre IAF e altura em BFT (0,9325) e BLV (0,9325) (Figura 14A e 14B). Valores

menores são possíveis, uma vez que os constituintes da correlação podem promover valores em escala maior que a unidade avaliada, bem como menores que -1 (RODRIGUES et al., 2010). Isso pode estar associado ao rápido desenvolvimento da fração colmo e redução da área de folha dos pastos ao atingir o IAF crítico, contribuindo para a redução da qualidade da luz que atinge o interior do dossel (SHAFIQ et al. 2021).

De acordo com Cruz e Carneiro (2012), quando um parâmetro se correlaciona em diferentes escalas com outros parâmetros que podem compor o modelo, é necessário (caso opte pelo uso múltiplo) um cuidado adicional, uma vez que seu incremento pode causar problemas adicionais ao modelo final, tais como: complexidade de colheita da variável sem tanto incremento em confiabilidade no resultado (variável resposta).

Figura 14: Diagrama de análise de trilha para predição da BFT (A) e BLV (B) em resposta às diferentes metodologias (NDVI, IAF e Altura) propostas para quantificar suas variações em pasto de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, manejado durante 584 dias sob pastejo



Os modelos simples escolhidos com base nos maiores valores de R^2 foram aqueles gerados a partir dos métodos de regressão não linear. Para a relação tanto da BFT, quanto da BLV, com o NDVI, o modelo exponencial foi o de melhor ajuste (Figura 15 – A, D). Enquanto que para o IAF e altura foi o modelo potência (Figura 15 – B, C, E, F). Para a BFT, o modelo envolvendo a altura, além de ter o melhor ajuste, também apresentou os maiores índices de performance no processo de validação, com d-index de 0,9531, porcentagem de viés de -2,3 e coeficiente de determinação de 0,8532 (Figura 16 - C). Já para a BLV, o modelo de altura apresentou o maior valor do índice-d (0,9638) e menor porcentagem de viés (-7,20), porém com um dos menores valores do coeficiente de determinação (0,8932) (Figura 16 - F).

Estudos (JOHNSON et al., 2010; GU et al., 2013; XIA et al., 2016; WU et al., 2020) já sinalizavam para o fato de haver possibilidade de saturação nas funções dos modelos gerados, principalmente em resposta às variáveis biofísicas e fisiológicas do dossel, como no caso do NDVI. Assim, estabeleceram funções não lineares, como as de melhor ajuste. As principais vantagens desses modelos em comparação aos lineares são: parcimônia, interpretabilidade, previsão e robustez (principalmente fora da faixa dos dados observados), uma vez que são capazes de agrupar grande variedade de funções média, diferentes dos modelos polinomiais (lineares) que requerem mais parâmetros (ARCHONTOULIS & MIGUEZ, 2015).

A variável altura vem sendo utilizada como principal metodologia, principalmente pela sua praticidade de coleta e por possuir correlação a BFT, principalmente em pastagens mais homogêneas (MOREIRA et al., 2009; MEZZALIRA et al., 2014). Outra variável é o IAF, que Watson (1947) definiu como a área unilateral das lâminas foliares por unidade de solo, tendo como principal função produzir fotoassimilados. Portanto, essas duas variáveis apresentam potencial para serem utilizadas em conjunto como medidas que compõem o modelo, visando melhorar o manejo do pasto, uma vez que possuem estreita relação com o crescimento vegetal Sbrissia e Silva (2008), no entanto, deve-se avaliar a praticidade disso.

Porém, vale destacar que os eventos de desfolhação pelos animais não acontecem de forma uniforme, contribuindo para modificações de ordem estrutural no dossel, principalmente em gramíneas de clima tropical. De acordo com Santos et al. (2011b) a heterogeneidade do dossel causada pelo pastejo, reflete diretamente na acurácia do método escolhido para estimativa da BFT, causando distintos coeficientes de variação (CV) entre eles, o que pode dificultar a estimativa da produção de biomassa em uma área onde há heterogeneidade de altura no dossel. Medições do NDVI com os SOAs, para estimar a produção de biomassa podem ser uma alternativa a esse problema.

Pela relação do NDVI com a biomassa (Figura 15 – A, D), pode-se inferir que há presença de saturação do NDVI. É possível notar também uma padronização no comportamento (saturação) quando o IAF atinge o valor 4 (Figura 15 E). Essa limitação decorre do distanciamento da reflexão dos comprimentos de onda, proveniente do crescimento vegetal, aumentando, assim, a luz refletida no infravermelho próximo (HINZMAN et al., 1986), tornando a normalização da reflectância do NDVI menos sensível a variações nesta região, quando esta é superior ao vermelho (GITELSON, 2004). Segundo Gitelson et al. (2002) a vegetação verde possui grande absorção na região do espectro do vermelho (por volta de 670 nm), sendo sua reflectância baixa (3 a 5%), já na região do infravermelho os níveis são maiores (40 a 60%), ou seja, o processo de produção de biomassa favorece a diferenciação espectral,

tendo a mudança de características estruturais (como o aumento do IAF), o potencial de alterar a qualidade da luz refletida, mostrando suas estreitas relações com o NDVI (LIU et al., 2012).

Uma das vantagens da obtenção dos valores de NDVI a partir do uso de sensores ópticos ativos (SOA), quando comparados aos passivos, é a sua eficiência em quantificar a variável (NDVI) em condições ambientais desfavoráveis, como: nebulosidade (RAHETLAH et al., 2014). O princípio de funcionamento destes SOA *GreenSeeker* é que o mesmo calcula o índice NDVI por meio da reflectância de um microprocessador interno adaptado ao sensor, impedindo as ações do ambiente. Outros trabalhos (RAUN et al., 2002; GROHS et al., 2009) indicaram o potencial desse equipamento na validação e geração de algoritmos capazes de determinar o estado nutricional, o rendimento de grãos e a produtividade de culturas agrícolas, como trigo, cevada e milho.

Além disso, Aquino et al (2018) demonstraram que o sensoriamento remoto tem sido uma importante ferramenta usada no mundo para identificar locais com algum tipo de manipulação, sendo fundamental no planejamento da atividade desenvolvida. Logo, o uso do NDVI no processo de gestão do manejo de pastagens torna-se uma ferramenta importante.

Figura 15: Geração de modelos não lineares para quantificação de BFT e BLV, utilizando NDVI (A e D, respectivamente), IAF (B e E, respectivamente) e altura (C e F, respectivamente), de diferentes manejos da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, pastejada por ovinos e manejada sob lotação rotativa

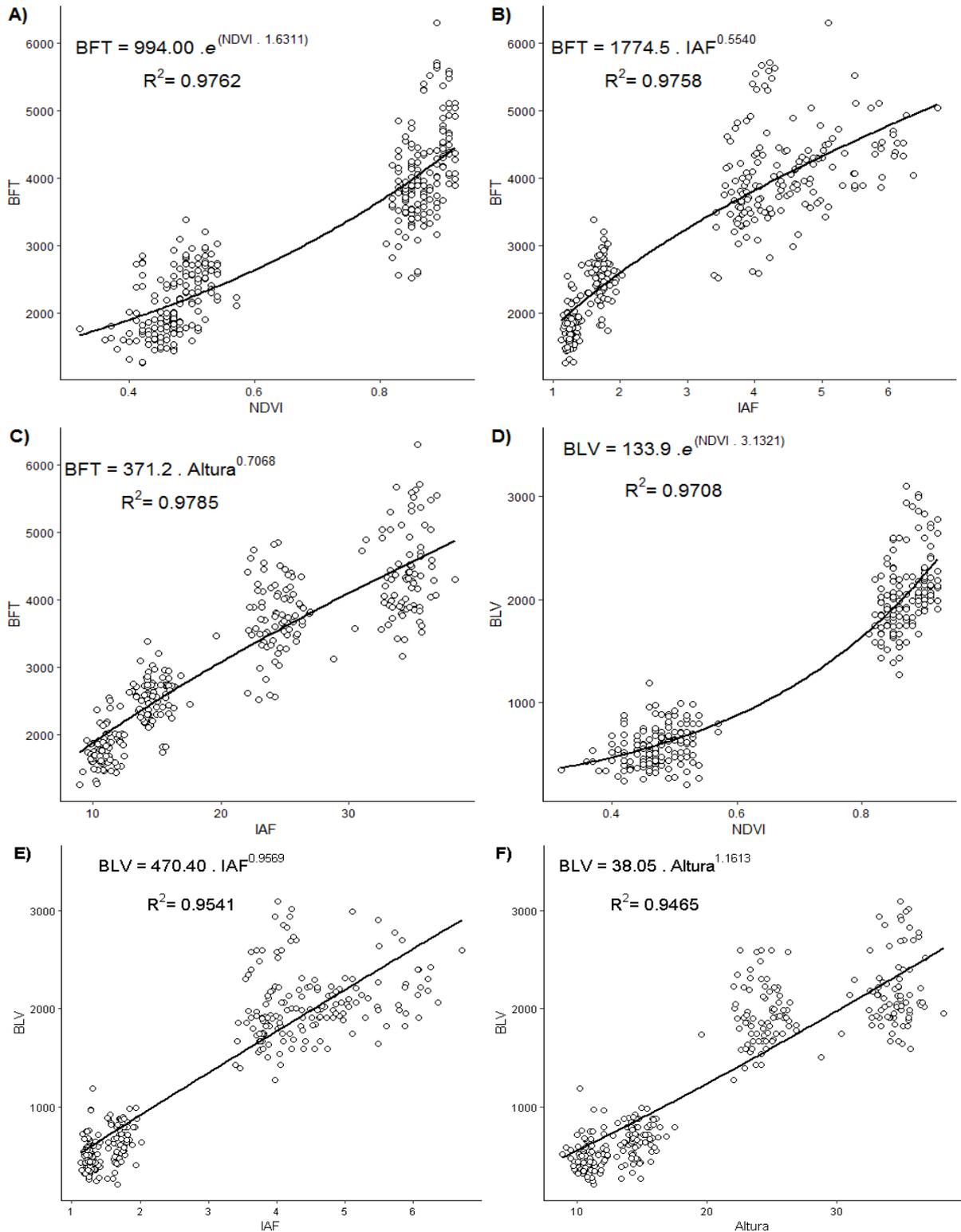
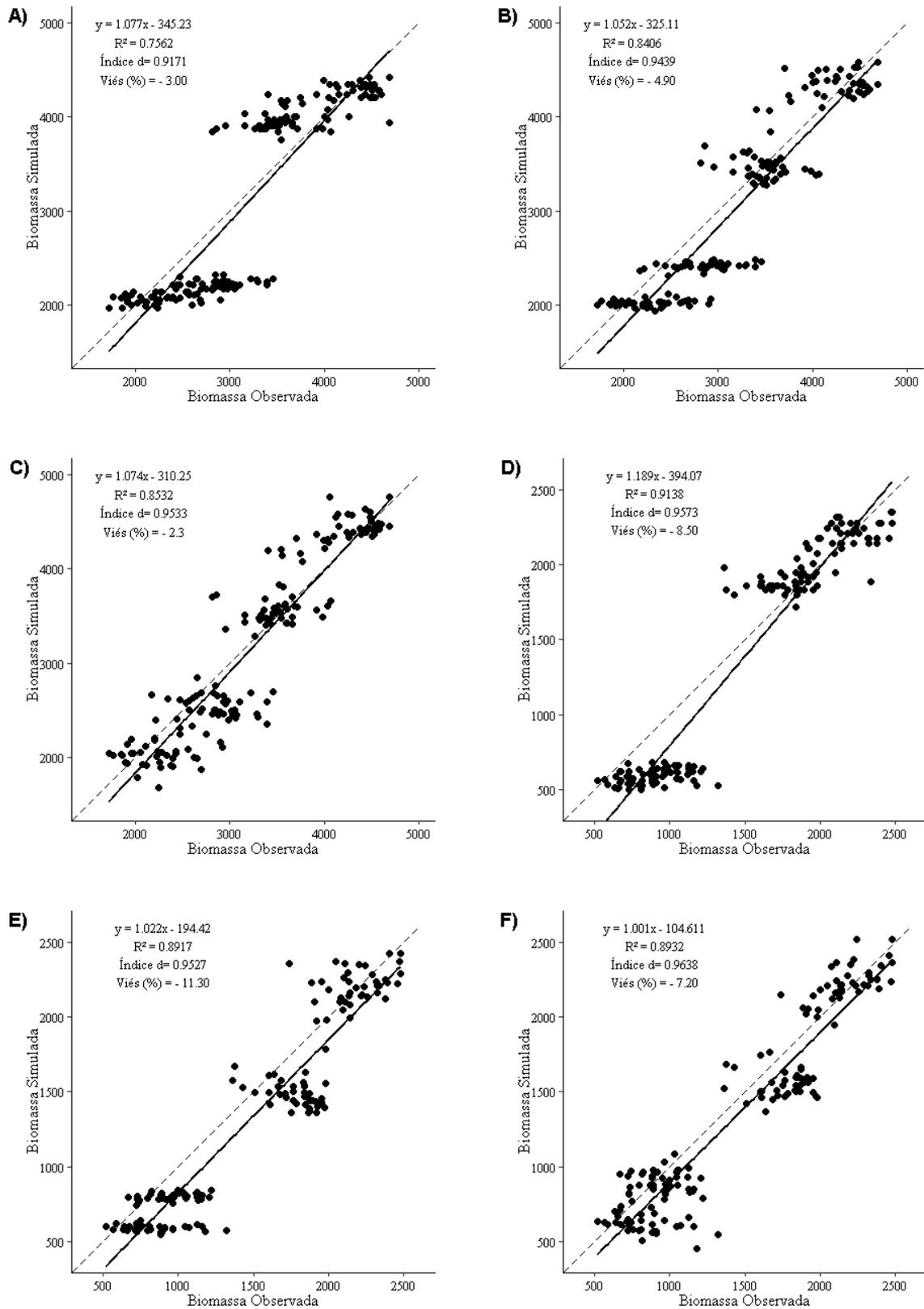


Figura 16: Validação de modelos não lineares utilizados para determinação da BFT e BLV, proveniente da associação com NDVI (A e D, respectivamente), IAF (B e E, respectivamente) e altura (C e F, respectivamente), de diferentes manejos da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, pastejada por ovinos e manejada sob lotação rotativa



Lyu et al. (2021), descreveram a importância da geração de modelos múltiplos que pudessem ser comparados, visando desenvolver medidas de avaliação precisas que pudessem contribuir nos aspectos ecológicos e de desenvolvimento econômico sustentável das áreas de pastagens. Cargnelutti Filho e Toebe (2020), destacaram que, quando variáveis apresentam grandes correlações (como foi o caso desta pesquisa, tabela 11), modelos múltiplos podem gerar indicadores de precisão adequados, reduzindo seu coeficiente de incerteza.

Dentre os modelos lineares múltiplos, o que apresentou melhor performance para predição da BFT foi o modelo BFT-M1. Esse modelo é o mais simples, ele apresenta apenas o IAF e a altura como variáveis preditivas sem o efeito de interação (Tabela 12), apesar de não ter um dos maiores ajustes ($r^2 = 0,8039$) e porcentagem de viés, ele teve os maiores valores de índice-d (0,9475) e coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8471$), no processo de validação dentre os modelos múltiplos (Figura 17 - A). Para a predição da BLV, o modelo BLV-M3 foi o de melhor performance dentre os modelos lineares múltiplos (Figura 18 - C). Esse modelo também não apresenta efeito de interação, mas possui as três variáveis preditivas na sua formação (NDVI, IAF, altura) (Tabela 12).

Tabela 12: Geração de modelos lineares múltiplos utilizados na determinação da BFT e BLV, proveniente da associação com IAF, altura e NDVI, de diferentes manejos da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, pastejada por ovinos e manejada sob lotação rotativa

Nome	Equação	R ²
Biomassa de forragem Total (BFT, kg MS.ha⁻¹)		
BFT-M1	$BFT = 937,85 + 185,26*IAF + 77,958*ALT$	0,8039
BFT-M2	$BFT = -55,41 + 553,11*IAF + 135,22*ALT - 17,00*IAF*ALT$	0,8269
BFT-M3	$BFT = 250,35 - 33,15*IAF + 66,46*ALT + 2361,52*NDVI$	0,8200
BFT-M4	$BFT = 977,30 - 33,97*IAF + 65,45*ALT + 1794,88*NDVI^2$	0,8182
BFT-M5	$BFT = -4694,37 + 3952,05*IAF + 346,89*ALT - 192,83*IAF*ALT + 5611,01*NDVI - 3874,47*IAF*NDVI - 234,7*ALT*NDVI + 196,03*IAF*ALT*NDVI$	0,8455
BFT-M6	$BFT = -2692,93 + 2589,06*IAF + 243,94*ALT - 113,96*IAF*ALT + 3892,51*NDVI^2 - 2682,05*IAF*NDVI^2 - 136,10*ALT*NDVI^2 + 121,99*IAF*ALT*NDVI^2$	0,8456
Biomassa de lâmina foliar verde (BLV, kg MS.ha⁻¹)		
BLV-M1	$BLV = -161,89 + 279,45*IAF + 30,61*ALT$	0,8386
BLV-M2	$BLV = -1011,17 + 593,98*IAF + 79,57*ALT - 14,54*IAF*ALT$	0,8726
BLV-M3	$BLV = -991,79 - 15,81*IAF + 16,74*ALT + 285,64*NDVI$	0,8862
BLV-M4	$BLV = -109,32 - 12,67*IAF + 13,96*ALT + 2391,73*NDVI^2$	0,8901
BLV-M5	$BLV = 107,76 + 395,95*IAF + 24,59*ALT - 38,15*IAF*ALT - 1344,49*NDVI - 319,84*IAF*NDVI + 91,07*ALT*NDVI + 18,37*IAF*ALT*NDVI$	0,8948
BLV-M6	$BLV = -241,77 + 412,32*IAF + 36,81*ALT - 22,06*IAF*ALT - 593,14*NDVI^2 + 235,16*IAF*NDVI^2 + 72,33*ALT*NDVI^2 + 3,47*IAF*ALT*NDVI^2$	0,8945

Biomassa de forragem total (BFT, kg MS.ha⁻¹); Biomassa de lâmina foliar verde (BLV, kg MS.ha⁻¹); Índice de área foliar (IAF); Altura (cm); Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

Figura 17: Validação de modelos múltiplos (tabela 2), BFT-M1 (A), BFT-M2 (B), BFT-M3 (C), BFT-M4 (D), BFT-M5 (E), BFT-M6 (F), para quantificação de BFT (kg MS.ha⁻¹), proveniente da associação com IAF, altura e NDVI de diferentes manejos da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, pastejada por ovinos e manejada sob lotação rotativa

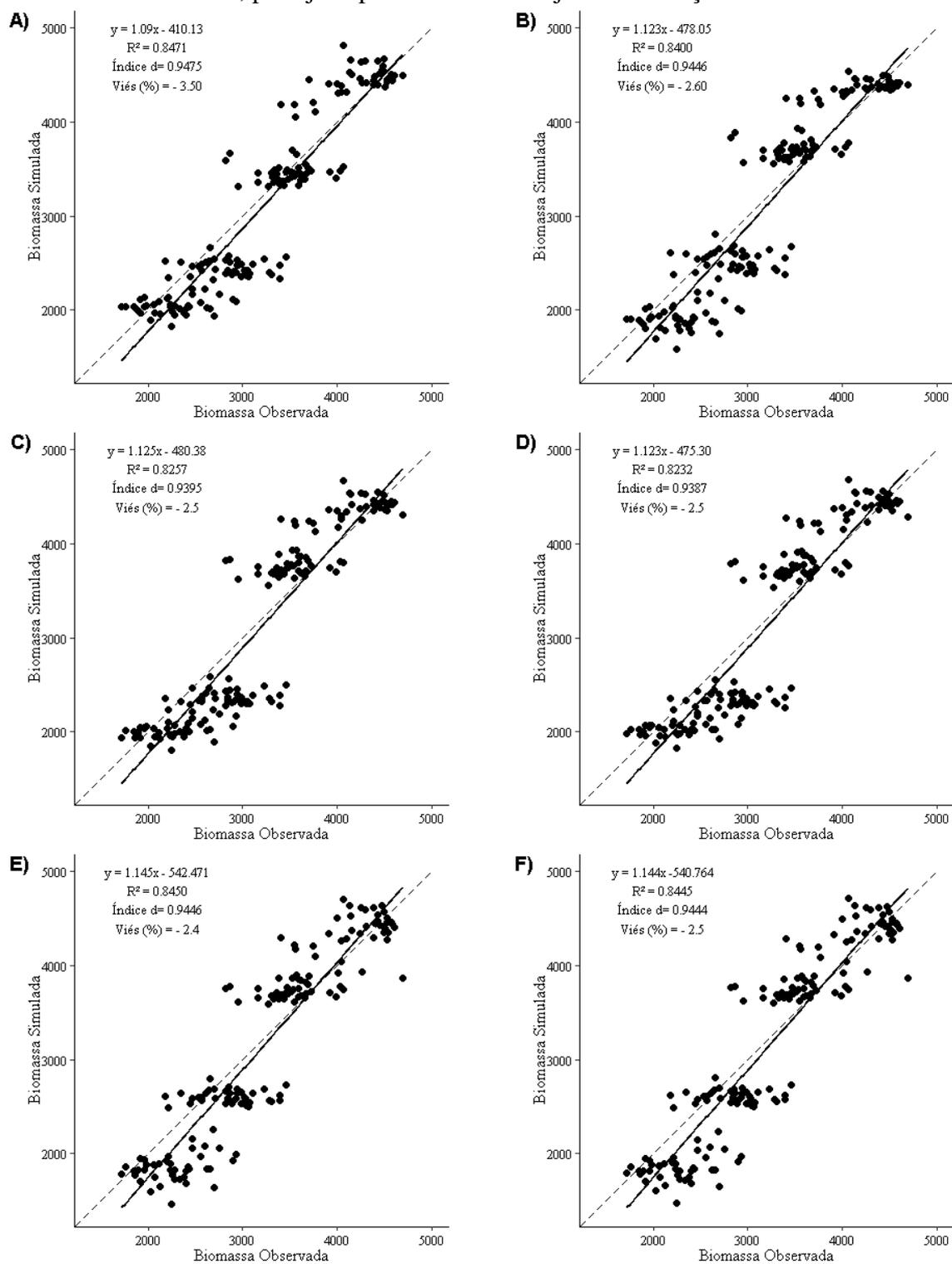
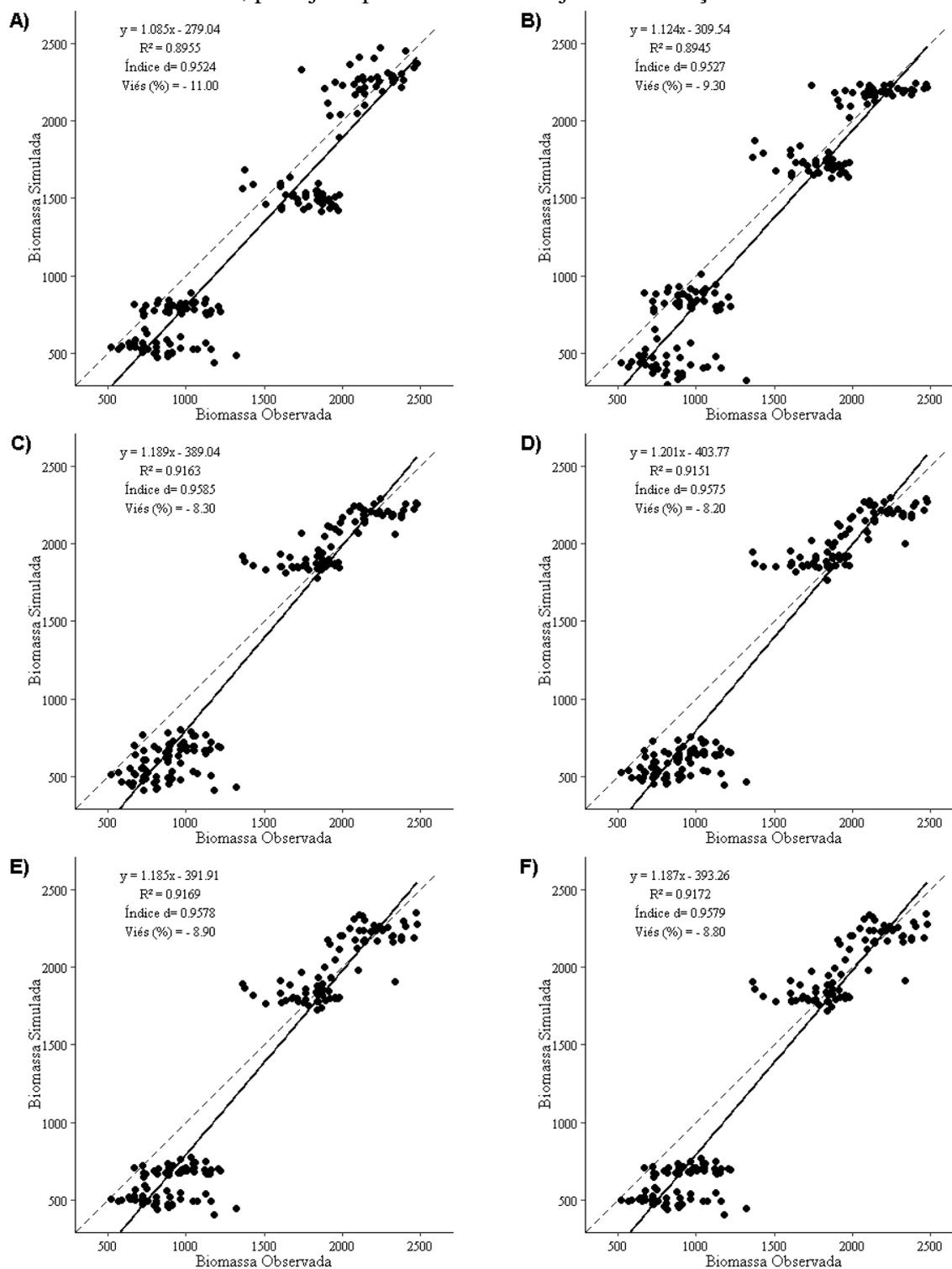


Figura 18: Validação de modelos múltiplos (tabela 2), BLV-M1 (A), BLV-M2 (B), BLV-M3 (C), BLV-M4 (D), BLV-M5 (E), BLV-M6 (F), para quantificação de BLV (kg MS.ha⁻¹), proveniente da associação com IAF, altura e NDVI de diferentes manejos da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, pastejada por ovinos e manejada sob lotação rotativa



No geral, os modelos de predição da BLV apresentaram maiores valores de índice-d e coeficiente de determinação, e menores valores de porcentagem de viés em relação aos modelos de predição da BFT. Em todos os modelos a porcentagem de viés foi negativa, o que significa que todos os modelos subestimaram os valores de produção de biomassa.

Os modelos simples baseados na altura foram os que tiveram melhor desempenho tanto para BFT, quanto para BLV. Porém, grande parte dos modelos lineares múltiplos, tanto para BFT, quanto para BLV apresentaram melhores desempenhos que os modelos simples baseados no IAF e NDVI, o que significa que escolher apenas uma variável de estimativa indireta da biomassa (exemplo: altura ou IAF) para se estabelecer a capacidade de suporte (CS) da área, pode não ser suficiente para se ter predições mais precisas. Apesar disso, as diferenças entre todos os modelos não foram tão grandes, os ajustes com base no R^2 variaram 0,8039 a 0,9785, o índice-d de 0,9170 a 0,9638, a %viés de -11,2 a -2,3 e o coeficiente de determinação da validação de 0,7562 a 0,9172. Todos esses valores indicam boa performance para todos os modelos. Dessa forma, o que pode determinar a sua escolha para aplicação, além da sua performance, é também as características do local onde serão utilizados e a disponibilidade de ferramentas para as mensurações.

5.4 Conclusão

O modelo não-linear simples entre a BFT e BLV com a altura teve melhor performance entre os modelos, porém modelos lineares múltiplos também podem ser usados para predizer com eficiência a produção de biomassa na espécie *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk manejado sob pastejo.

O NDVI (*GreenSeeker*), pode ser utilizado como metodologia principalmente em dosséis de plantas forrageiras com IAF inferior a 4,0, após isso, nota-se o processo de saturação.

O IAF apresenta potencial para aprimorar os modelos lineares múltiplos, porém, incrementa em complexidade e o torna menos aplicável em nível de propriedade, principalmente para manejadores com baixa experiência e capacitação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES

Dentre os mais variados gêneros e espécies forrageiras utilizadas nos sistemas de produção brasileira, o gênero Braquiária e a espécie *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk é uma das mais difundidas, não só por suas características de adaptação a solos ácidos e com baixa fertilidade, mas também por sua alta plasticidade fenotípica, o que a torna diferenciada em comparação as outras, em flexibilidade de manejo.

Vale destacar que todo e qualquer manejo que venha a ser adotado deverá vir após o período de planejamento, visando usufruir da espécie forrageira de maneira sustentável, possibilitando, assim, com que os animais alcancem seu potencial genético.

Quando o sistema de produção utilizar a *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, visando atingir o maior ganho por animal, a mesma deverá ser manejada com uma frequência de pastejo de 85% de IL com 1,8 de IAFr ou NDVI 0,49 e 0,85, respectivamente. Por outro lado, se o objetivo do sistema de produção for ganho área⁻¹, a frequência de desfolhação de 95% IL associado a 1,3 de IAFr, ou NDVI de 0,44 e 0,88, respectivamente, é o mais indicado.

O NDVI mostra-se como uma importante ferramenta prática de manejo, podendo ser utilizada em áreas maiores, nas quais o produtor possa ganhar tempo no momento das mensurações dos valores. No entanto, essa variável sendo utilizada em áreas cuja biomassa ultrapasse um IAF de 4,0, ou altura de 35 cm, inicia seu processo de saturação, devido a redução da reflectância do vermelho quando comparado ao infravermelho próximo.

A saturação do NDVI possibilita o uso e o desenvolvimento futuramente de novos espectralradiômetros portáteis que utilizem bandas espectrais que reduzam ou eliminem o problema da saturação, gerando índices confiáveis e práticos que podem ser adotados no cotidiano do sistema de produção.

O método de acompanhamento do pasto por meio da altura do dossel (AD), mostra-se ser também uma importante ferramenta de monitoramento da condição do pasto, além de ser de fácil aquisição pelo produtor e uso. Porém, para áreas maiores, essa ferramenta impacta em maior tempo gasto no momento das mensurações, o que pode reduzir sua eficiência de predição em áreas com maior grau de heterogeneidade.

Por fim, este trabalho poderá contribuir no direcionamento de futuras pesquisas visando o desenvolvimento de tecnologias e modelos calibrados e validados para o processo de predição da biomassa de forragem de forma instantânea, sendo capaz, assim, de melhorar e aprimorar ao processo de ajuste da capacidade de suporte do pasto.

REFERÊNCIAS

- ARRUDA, D.S.R.; CANTO, M.W.; JOBIM, C.C.; CARVALHO, P.C.F. Métodos de avaliação de massa de forragem em pastagens de capim-estrela submetidas a intensidade de pastejo. **Ciência Rural**, v. 41, n. 11, p. 2004-2009, 2011.
- AQUINO, D.N.; ROCHA NETO, O.C.; MOREIRA, M.A.; TEIXEIRA, A.S.; ANDRADE, E.M. Use of remote sensing to identify áreas at risk of degradation in the semi-arid region. **Revista Ciência agrônômica**, v.49, n.3, p.420-429, 2018
- ANDERSSON, K.; TROTTER, M.; ROBSON, A.; SCHNEIDER, D.; FRIZELL, L.; SAINT, A.D.; BLORE, C. Estimating pasture biomass with active optical sensors. **Revista Advances in Animal Biosciences**, v. 8, n.2, p. 754-757, 2017.
- ALVAREZ, V.V.H.; NOVAIS, R.F. DE.; BARROS, N.F. DE.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p.25-32, 1999.
- ARCHONTOULIS, S.V.; MIGUEZ, F.E. Nonlinear regression models and applications in agricultural research. **Agronomy Journal**, v.107, n.2, p.786-798, 2015.
- BARTHAM, G.T. **Experimental techniques – the HFRO sward stick**. Biennial Report of the Hill Farming Research Organisation 1984–85 (ed. M.M. Alcock), pp. 29–30. Hill Farming Research Organisation, Penicuik, Midlothian, UK, 1986.
- BURNS, J.C.; FISHER, D.S. Dry matter intake and digestibility of “coastal”, tifton 44, and “Tifton 85” bermudagrass hays grow in the U.S. upper South. **Crop Science**, Madison, v.47, n.2, p.795-808, 2007.
- BROWN, R. H.; BLASER, R. E. Leaf area index in pasture growth. **Herbage Abstracts**, Wallingford, v. 38, n. 1, p. 1- 9, 1968.
- BROUGHAM, R.W.; GLENDAY, A.C. Grass growth in midsummer: a reinterpretation of published data. **Journal of British Grassland Society**, v.22, n. 02, p. 100-107, 1967.
- BROUGHAM, R,W. Effect of intensity of defoliation on regrowth of pasture. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 7, n.5, p.377-387, 1956.
- BRAGA, G.J.; MELLO, A,C.L.; PEDREIRA, C.G.S.; MEDEIROS, H.R. Fotossíntese e taxa diária de produção de forragem em pastagens de capim-tanzânia sob lotação intermitente. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, n.1, p.84-91, 2009.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M. Reference sample size for multiple regression corn. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.55, n.e01400, 2020.
- CARVALHO, P.C.F.; TRINDADE, J.K.; MEZALLIRA, J.C.; POLI, C.H.E.; NABINGER, C.; GENRO, T.C.M.; GONDA, H.L. Do bocado ao pastoreio de precisão: compreendendo a

interface planta-animal para explorar a multi-funcionalidade das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.5E, p.109-122, 2009.

CARVALHO, P.C.D.F.; ROCHA, L.M.D.; BAGGIO, C.; MACARI, S.; KUNRATH, T.R.; MORAES, A.D. Característica produtiva e estrutural de pastos mistos de aveia e azevém manejados em quatro alturas sob lotação contínua. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 39, n. 9, p. 1857-1865, 2010.

CARVALHO, M.S.; PEDREIRA, C.G.S.; TONATO, F. Análise de crescimento de capins do gênero *Cynodon* submetidos a frequências de colheita. **Boletim de Indústria Animal**, v. 69, p. 41-49, 2012.

CARVALHO, P.C.F. Harry Stobbs Memorial Lecture: Can grazing behaviour support innovations in grassland management? **Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales** 1:137-155, 2013.

CARNEVALLI, R.A.; DA SILVA, S.C.; BUENO, A.A.O.; UEBELE, M.C.; BUENO, F.O.; HODGSON, J.; SILVA, G.N.; MORAIS, J.P.G. Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça under four grazing managements. **Tropical Grasslands**, v.40, n.3, p.165-176, 2006.

CAUDURO, G.F.; CARVALHO, P.C.F.; BARBOSA, C.M.P.; PILAU, R.L.A.; FREITAS, F.K.; SILVA, J.L.S. Comparação de métodos de medida indireta de massa de forragem em pasto de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.). **Ciência Rural**, v. 36, n. 5, p. 1617-1623, 2006.

COSTA, K.A.P.; ROSA, B.; OLIVEIRA, I.P.; CUSTÓDIO, D.P.; SILVA, D.C. Efeito da estacionalidade na produção de matéria seca e composição bromatológica de *brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Ciência Animal Brasileira**, v.6, n.3, p.187-193, 2005.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences** (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1988.

CONGIO, G.F.S.; BATALHA, C.D.A.; CHIAVEGATO, M.B.; BERNDT, A.; OLIVEIRA, P.P.A.; FRIGHETTO, R.T.S.; MAXWELL T.M.R.; GREGORINI, P. SILVA, S.C. Strategic grazing management towards sustainable intensification at tropical pasture-based dairy systems. **Science of the Total Environment**, v.636, p.872-880, 2018.

CUTRIM JUNIOR, J.A.A.; CÂNDIDO, M.J.D.; VALENTE, B.S.M.; CARNEIRO, M.S.S.; CARNEIRO, H.A.V. Características estruturais do dossel de capim-tanzânia submetido a três frequências de desfolhação e dois resíduos pós-pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.3, p.489-497, 2011.

CHECKLAND, P. Systems thinking, systems practice. **Chichester: John Wiley e Sons**, 1989. 330 p.

CRUZ, C.D. A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v.35, n.3, p.271-276, 2013.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: Editora UFV, v.2, 514p. 2012.

EARLE, D.F.; MCGOWAN, A.A. Evaluation and calibration of an automatic rising plate meter for estimating dry matter yield of pasture. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v. 19, n. 98, p. 337-343, 1979.

ECHEVERRIA, J.R.; EUCLIDES, V.P.B.; SBRISSIA, A.F.; MONTAGNER, D.P.; BARBOSA, R.A., NANTES, N.N. Acúmulo de forragem e valor nutritivo do híbrido de *Urochloa* 'BRS RB331 Ipyporã' sob pastejo intermitente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n. 7, p.880-889, 2016.

ENTRINGER, G.C.; DINIZ SANTOS, P.H.A.; VETTORAZZI, J.C.F.; CUNHA, K.S.; PEREIRA, M.G. Correlação e análise de trilha para componentes de produção de milho superdoce. **Revista Ceres**, v.61, n.3, p.356-361, 2014.

FRANKLIN, K.A. Photomorphogenesis: plants feel blue in the shade. **Current Biology**, v. 26, p.R1275-R1276, 2016.

FORBES, T.D.A. Researching the plant-animal interface: the investigation of ingestive behavior in grazing animals. **Journal of Animal Science**, v. 66, n. 9, p. 2369-2379, 1988.

FONTANA, D.C.; JUNGES, A.H.; BREMM, C.; SCHAPARINI, L.P.; MENGUE, V.P.; WAGNER, A.P.L.; CARVALHO. NDVI and meteorological data as indicators of the Pampa biome natural grasslands growth. **Revista Bragantia**, v. 77, n. 2, p. 404-414, 2018.

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

FIALHO, C.A.; SILVA, S.C.; GIMENES, F.M.A.; GOMES, M.B.; BERNDT, A.; GERDES, L. Tiller population density and tillering dynamics in marandu palisade grass subjected to strategies of rotational stocking management and nitrogen fertilization. **Acta Scientiarum**, v.34, n. 3, p.245-251, 2012.

FLYN, E.S.; DOUGHERTY, C.T. WENDROTH, O. Assessment of pasture biomass with the normalized difference vegetation index from active ground-based sensors. **Agronomy Journal**, v.100, n.1, p.114-121, 2008.

GASTAL, F.;LEMAIRE, G. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: review of the underlying ecophysiological process. **Agriculture**, v.5, p.1146-1176, 2015.

GALZERANO, L.; MALHEIROS, E.B.; MORGADO, E.S.; RUGGIERI, A.C. Interceptação de luz e índice de área foliar em relação a altura do dossel de gramíneas forrageiras. **Nucleus Animalium**, v.4, n.2, p.11-18, 2012.

GONZALEZ, M.A.; HUSSEY, M.A.; CONRAD, B.E. Plant height, disk, and capacitance meters used to estimate bermudagrass herbage mass. **Agronomy Journal**, v. 82, n.5, p. 861-864, 1990.

GOMIDE, J.A.; WENDLING, I.J.; BRAS, S.P.; QUADROS, H.B. Consumo e produção de leite de vacas mestiças em pastagem de *Brachiaria decumbens* manejada sob duas ofertas diárias de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 4, p. 1194-1199, 2001.

GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A.; HUAMAN, C.A.M.; PACIULLO, D.S.C. Fotossíntese, reservas orgânicas e rebrota do capim-Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) sob diferentes intensidades de desfolha do perfilho principal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.6, p.2165-2175, 2002.

GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A.; ALEXANDRINO, E. Características estruturais e produção de forragem em pastos de capim-mombaça submetidos a períodos de descanso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n. 10, p. 1487-1494, 2007.

GROHS, D.S.; BREDEMIER, C. MUNDSTOCK, C.M.; POLETTI, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor greenseeker. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.1, p.101-112, 2009.

GILDERSLEEVE, R.R.; OCUMPAUGH, W.R.; QUESENBERRY, K.H.; MOORE, J.E. Mob-grazing of morphologically diferente *Aeschynomene* species. **Tropical Grasslands**, v.21, p.123-132, 1987.

GILTELSO, A.A. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. **Journal of plant physiology**, v.161, n.2, p.165-173, 2004.

GITELSON, A.A.; KAUFMAN, Y.J.; STARK, R.; ROUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote sensing of Environment**, v.80, n.1, p.76-87, 2002.

GU, Y.; WYLIE, B.; HOWARD, D.M PHUYAL, K.P.; JI, L. NDVI saturation adjustment: A new approach for improving cropland performance estimates in the Greater Platte River Basin, USA. **Ecological Indicators**, v.30, p. 1-6, 2013.

HINZMAN, L.D.; BAUER, M.E.; DAUGHTRY, C.S.T. Effects of nitrogen fertilization on growth and reflectance characteristics of winter wheat. **Remote Sensing of Environment**, v.19, n.1, p.47-61, 1986.

HODGSON, J. Nomenclature and definitions in grazing studies. **Grass and Forage Science**, v. 34, n. 1, p. 11-17, 1979.

HOERL, A.E.; KENNARD, R.W. Ridge regression: applications to nonorthogonal problems. **Technometrics**, v.12, n.1, p.69-82, 1970.

HOLT, E.C.; CONRAD, B.E. Influence of harvest frequency and season on bermudagrass cultivar yield and forage quality. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, n.3, p.433-436, 1986.

HOGLIND, M.; VAN OIJEN, M.; CAMERON, D.; PERSSON, T. Process-based simulation of growth and overwintering of grassland using the BASGRA model. **Ecological Modelling**, v.335, p.1-15, 2016.

HUSSAIN, S.; IQBAL, N.; BRESTIC, M.; RAZA, M, A.; PANG, T.; LANGHAM, D.R.; SAFDAR, M.E.; AHMED, S.; WEN, B.; GAO, Y.; LIU, W.; YANG, W. Changes in morphology, chlorophyll fluorescence performance and Rubisco activity of soybean in response to foliar application of ionic titanium under normal light and shade environment. **Science of the Environment**, v. 658, p 626-637, 2019.

JOHNSON, I.R.; THORNLEY, J.H.M.; FRANTZ, J.M.; BUGBEE, B. Model of canopy photosynthesis incorporating protein distribution through the canopy and its acclimation to light, temperature and CO₂. **Annals of Botany**, v.106, n. 5, p.735-749, 2010.

KELLER-GREIN, G.; MAASS, B. L.; HANSON, J. Natural variation in *Brachiaria* and existing germoplasma collections. In: MILES, J.W.; MAASS, B.L.; VALLE C.B., ed. **Brachiaria: Biology, Agronomy, and Improvement**. Cali: CIAT/Brasília: EMBRAPA-CNPQC, 1996.p. 16-42.

KOZAK, M.; KRZANOWSKI, W.; TARTANUS, M. Use of the correlation coefficient in agricultural sciences: problems, pitfalls and how to deal with them. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.84, p.1147-1156, 2012.

KUMAR. R.; L. SILVA. Light ray tracing through a leaf cross- section. **Applied Optics**, v. 12, n. 12, p. 2950-2954, 1973.

KROTH, B.E.; SILVA, E.M.B.; SILVA, T.J.A.; KOETZ, M.; SCHLICHTING, A.F. Cultivares de *Brachiaria brizantha* sob diferentes disponibilidades hídricas em Neossolo Flúvico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 464-469, 2015.

LARA, M.A.S.; PEDREIRA, C.G.S.; BOOTE, K. J.; PEDREIRA, B. C. ; MORENO, L.S.B.; ALDERMAN, P. D. Predicting growth of *Panicum maximum*: an adaptation of the CROPGRO - Perennial Forage Model. **Agronomy Journal**, v. 104, p. 600-611, 2012.

LARA, M.A.S.; SILVA, V.J.; SOLLENBERGER, L.E.; PEDREIRA, C.G. Seasonal Herbage Accumulation and Canopy Characteristics of Novel and Standard *Brachiariagrasses* under N Fertilization and Irrigation in Southeastern Brazil. **Crop Science**, v.61, n.2, p.1468-1477, 2021.

LIRA, V.; SILVA, B.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C.; FRANCO, E.S. Variação sazonal da cobertura vegetal em áreas do submédio São Francisco a partir de dados NDVI e imagens TM-LANDSAT 5. **Revista Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.12, p.1-9, 2011.

LIMA, C.L.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S. Produtividade de culturas resistentes à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.1, p.89-98, 2010.

LIU, F.Q.Q.; ZHIMING, Z. A novel dynamics stretching solution to eliminate saturation effect in NDVI and its application in drought monitoring. **Chinese Geographical Science**, v.22, n.6, p.683-694, 2012.

LIM, J.; KAWAMURA, K.; LEE, H.J.; YOSHITOSHI, R.; KUROKAWA, Y.; TSUMIYAMA, Y. WATANABE, N. Evaluating a hand-help crop-measuring device for estimating the herbage biomass, leaf area index and crude protein content in Italian ryegrass field. **Grassland Science**, v.61, n.2, p.101-108, 2015.

LYU, X.; LI, X.; GONG, J.; LI, S.; DOU, H.; DANG, D.; XUAN, X.; WANG, H. Remote-sensing inversion method for aboveground biomass of typical steppe in Inner Mongolia, China. **Ecological Indicators**, v.120, p.106883, 2021.

LOOMIS, R.S.; AMTHOR, J. S.; Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies. **Crop Science**, v.39, n.6, p.1584-1596, 1999.

LOPES, M.N.; CÂNDIDO, M.J.D.; POMPEU, R.C.F.F.; SILVA, R.G.; LACERDA, C.F.; BEZERRA, M.A.; MORAIS NETO, L.B.; CARNEIRO, M.S.S. Gas exchange in massai grass fertilized with nitrogen and grazed by sheep. **Bioscience Journal**, v.36, n.1, p.152-160, 2020.

LOPES, M.N.; POMPEU, R.C.F.F.; CÂNDIDO, M.J.D.; LACERDA, C.F.; SILVA, R.G.; FERNANDES, F.R.B. Growth index in massai grass under different levels of nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n. 12, p. 2666-2672, 2011.

MATTHEW, C.; LEMAIRE, G.; SACKVILLE HAMILTON, N.R.; HERNANDEZ-GARAY, A. A modified sel-thinning equation to describe size/density relationship for defoliated swards. **Annals of botany**, v.76, n.6, p.579-587, 1995.

MARTINS, C.D.M.; SCHIMITT, D.; DUCHINI, P.G.; MIQUELOTO, T.; SBRISSIA, A.F. Defoliation intensity and leaf area index recovery in defoliated swards: implications for forage accumulation. **Scientia agrícola**, v.78, n.2 p.e20190095, 2020.

MARTUSCELLO, J.A.; OLIVEIRA, A.B.; CUNHA, D, N, F,V.; AMORIM, P, L.; DANTAS, P, A,L.; LIMA, D, A. Produção de biomassa e morfogênese do capim-braquiária cultivado sob doses de nitrogênio ou consorciado com leguminosas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 12, n.4, p.923-934, 2011.

MARANHÃO, S.R.; POMPEU, R.C.F.F.; ARAÚJO, R.A.; LOPES, M.N.; CÂNDIDO, M.J.D.; SOUZA, H.A.; CAVALCANTE, A.C.R.; FONTINELE, R.G.; ROGÉRIO, M.C.P. Morphophysiology of tropical grasses under different water supply in two growing seasons: II. BRS Massai and BRS Tamani grasses. **Semina Ciências agrárias**, v. 42, n.1, p.301-318, 2021.

MA, B.L.; DWYER, L.M.; COSTA, C.; COBER, E.R.; MORRISON, M.J. Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements. **Agronomy Journal** v. 93, n. 6, p. 1227-1234, 2001.

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

MARIN, F.R.; JONES, J.W. Process-based simple model for simulation sugarcane growth and production. **Scientia Agrícola**, v.71, n.1, p.1-16, 2014.

MICHELL, P.; LARGE, R.V. The estimation of herbage mass of perennial ryegrass swards: a comparative evaluation of a rising-plate meter and a single-probe capacitance meter calibrated at and above ground level. **Grass and Forage Science**, v. 38, n.4, p. 295-299, 1983.

MILES, J.W.; DO VALLE, C.B.; RAO, I.M.; EUCLIDES, V.P.B.; Braciariagrasses, IN: MOSER, L.E; BURSON, B.L; SOLLENBERGER, L.E (Ed). **Warm-Season (C4), Grasses**. Madinson: ASA/CSSA/SSA, 2004, cap. 22, p.745-783.

MEZZALIRA, J.C.; CARVALHO, P.C.F.; FONSECA, L. BREMM, C.; CANGIANO, C.; GONDA, H.L.; LARA, E.A. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting strutures. **Applied Animal Behaviour Science**, v.153, p.1-9, 2014.

MOGES, S. M.; RAUN, W. R.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K. W.; JOHNSON, G. V.; SOLIE, J. B. Evaluation of green, red, and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. **Journal of plant nutrition**, n. 27, v.8, p.1431-1441, 2006.

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

MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 504p, 1981.

MIQUELOTO, T.; MEDEIROS NETO, C.; MARTINS, C.D.M.; BARBOSA, R.A.; SILVA, S.C.; SBRISSIA, A.F. Herbage utilisation efficiency of continuously stocked pasture during periods of restricted pasture growth. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science**, v. 70, n.3, p.208-214, 2019.

NAVE, R.L.G; PEDREIRA, C.G.S; PEDREIRA, B.C. Nutritive value and physical characteristics of Xaraes palisadegrass as affected by grazing strategy. **South African Journal of Animal Science**, v. 40, n. 4, p. 285-293, 2010.

NELSON, C.J. Shoot morphological plasticity of grasses: leaf growth vs. tillering. In: LEMAIRE, G; HODGSON, J.; MORAES, A.; CARVALHO, P.C.F.; NABINGER, C. (Ed) **Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology**. Oxford: CABI pub., 2000. p.101-127.

NETER, J. **Applied linear statistical models**. Homewood: Richard D. Irwin, 842p, 1974.

O'LEARY, M. H. Phosphoenolpyruvate carboxylase: an enzymologist's view. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 33, n.1, p. 291-315, 1982.

PARSONS, A. J.; EDWARDS, G. R.; NEWTON, P. C. D.; CHAPMAN, D. F.; CARADUS, J. R., RASMUSSEN, S., ROWARTH, J. S. Past lessons and future prospects: Plant breeding for yield and persistence in cool-temperate pastures. **Grass and Forage Science**, v.66, n.2, p. 153–172, 2011.

PARSONS, A. J.; JOHNSON, I. R.; HARVEY, A. Use of a model to optimize the interaction between frequency and severity of intermittent defoliation and to provide a fundamental

comparison of the continuous and intermittent defoliation of grass. **Grass and Forage Science**, v. 43, p.49–59, 1988a.

PARSONS, A. J.; JOHNSON, I. R.; WILLIAMS, J. H. H. Leaf age structure and canopy photosynthesis in rotationally and continuously grazed swards. **Grass and Forage Science**, v. 43, p.1–14, 1988b

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

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

PARSONS, A.J.; PENNING, P.D. The effect of duration of regrowth on photosynthesis, leaf death and average rate of growth in a rotational grazed sward. **Grass and Forage Science**, v. 43, n. 1, p.15-27, 1988c.

PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. Updated world map of the koppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions: European Geosciences Union**, v. 11, n. 5, p.1633-1644, 2007.

PEDREIRA, C.G.S. Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Recife, 2002. **Anais...** Recife: SBZ, v. 39, p. 100-150, 2002.

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

PEDREIRA, C.G.S.; BRAGA, G.J.; PORTELA, J.N. Herbage accumulation, plant-part composition and nutritive value on grazed signal grass (*Brachiaria decumbens*) pastures in response to stubble height and rest period based on canopy light interception. **Crop and Pasture Science**, v. 68, n.1, p.62-73, 2017.

PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C.G.S.; BOOTE, K. J.; LARA, M.A.S.; ALDERMAN, P. D. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. **Field Crops Research**, v. 120, p. 370-379, 2011.

PEDREIRA, C.G.S.; SOLLENBERGER, L.E.; MISLEVY, P. Botanical composition, light interception, and carbohydrate reserve status of grazed ‘Florakirk’ bermudagrass. **Agronomy Journal**, v.92, n.2, p.194-199, 2000.

PEREIRA, L.E.T.; PAIVA, A.J.; DA SILVA, S.C. et al. Sward structure of marandu palisadegrass subjected to continuous stocking and nitrogen-induced rhythms of growth. **Scientia Agricola**, v. 67, n.5, p. 531-539, 2010.

PEREIRA, L.E.T.; HERLING, V.R.; AVANZI, J.C.; SILVA, S.C. Morphogenetic and structural characteristics of signal grass in response to liming and defoliation severity. **Pesquisa agropecuária tropical**, v.48, n. 1, p.1-11, 2018.

PELLEGRINI, C.B.; MOOJEN, E.L.; SILVA, J.H.S.; ROCHA, M.G.; BRUM, M.S.; GRAVINA, F.S. Precisão da estimativa da massa de forragem com discos medidores em pastagem nativa. **Revista Ciência Rural**, v. 40, n. 1, p.163-169, 2010.

PEISKER, M.; HENDERSON, S. A. Carbon: terrestrial plants. **Plant, Cell Environment**, v.15, n.9, p. 987-1004, 1992.

PEZZOPANE, C.G.; MENEZES SANTOS, P.; CRUZ, P.G.; ALTOÉ, J.; RIBEIRO, F.A.; VALLE, C.B. Estresse por deficiência hídrica em genótipos de *Brachiaria brizantha*. **Ciência Rural**, v. 45, n.5, p. 871-876, 2015.

POMPEU, R.C.F.F.; CÂNDIDO, M.J.D.; NEIVA, J.N.M.; ROGÉRIO, M.C.P.; FACÓ, O. Componentes da biomassa pré-pastejo e pós-pastejo de capim-tanzânia sob lotação rotativa com quatro níveis de suplementação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.3, p.383-393, 2008.

PORTELA, J.N.; PEDREIRA, C.G.S.; BRAGA, G.J. Demografia e densidade de perfilhos de capim-braquiária sob pastejo em lotação intermitente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.3, p. 315-322, 2011.

RAMOS, T.D.J.N.; ARAÚJO, C.M.S.; CARVALHO, C.J.R.; VIEIRA, I.M.S. Respostas fisiológicas e metabólicas de gramíneas ao alagamento. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Science**, v.54, n.1, p.78-84, 2011.

RAUN, W.R.; SOLIE, J.B.; JOHNSON, G.G.; STONE, M.L.; MULLEN, R.W.; FREEMAN, K.W.; THOMASON, W.E.; LUKINA, E.V. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. **Agronomy Journal**, v.94, n.4, p.815-820, 2002.

RAHETLAH, B.V.; SALGADO, P. ANDRIANARISOA, B.; TILLARD, E.; RAZAFINDRAZAKA, H.; MEZO, L.Le.; RAMALANJAONA. Relationship between normalized difference vegetation index (NDVI) and forage biomass yield in the Vakinankaratra region, Madagascar. **Livestock research for rural development**, v.26, n.5, p.1-11, 2014.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERIN, D.W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. **Remote Sensing Center Greenbelt, MD**, v.371, 1974.

RODRIGUES, G.B.; MARIN, B.G.; SILVA, D.J.H.; MATTEDI, A.P.; ALMEIDA, V.S. Análise de trilha de componentes de produção primários e secundários em tomateiro do grupo salada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n. 2, p.155-162, 2010.

ROCHA, J.R.A.S.C., MACHADO, J.C., CARNEIRO, P.C.S., CARNEIRO, J.C., RESENDE, M.D.V., PEREIRA, A.V., E CARNEIRO, J.E.S. Elephant grass ecotypes for bioenergy

production via direct combustion of biomass. **Industrial Crops and Products**, v.95, p.27-32, 2017.

RICHARDS, J.H. Physiology of plants recovering from defoliation. In: BAKER, M.J. (Ed). **Grasslands for our world**. Wellington, N.Z.:SIR Pub, 1993.p.45-54.

RHODES, I. Relationship between canopy structure and productivity in herbage grasses and its implication for plant breeding. **Herbage Abstracts**, Wallingford, v. 43, p. 129- 133, 1973.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. da (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018. 306p

SANTOS, M.E.R; FONSECA, D.M.; BRAZ, T.G.S.; SILVA, S.P.; GOMES, V.M.; SILVA, G.P. 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, 2011a.

SANTOS, M.E.R; FONSECA, D.M.; GOMES, V.M.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; GOMIDE, C.A.M.; SBRISSIA, A.F. Capim-braquiária sob lotação contínua e com altura única ou variável durante as estações do ano: dinâmica do perfilhamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n. 11, p.2332-2339, 2011b.

SANTOS, M.E.R; GOMES, V.M.; FONSECA, D.M. Fatores causadores de variabilidade espacial do pasto de capim-braquiária: manejo do pastejo, estação do ano e topografia do terreno. **Bioscience Journal**, v.30, n.1, p. 210-218, 2014.

SANDERSON, M.A.; ROTZ, C.A.; FULTZ, S.W.; RAYBURN, E.B. Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter, and pasture ruler. **Agronomy Journal**. v. 93, n. 6, p. 1281-1286, 2001.

SAVIAN, J.V.; SCHONS, R.M.T.; MARCHI, D.E.; FREITAS, T.S.; SILVA NETO, G.F; MEZZALIRA, J.C.; BERNDT, A.; BAYER, C.; CARVALHO, P.C.F. Rotatinuous stocking: A grazing management innovation that has high potencial to mitigate methane emissions by sheep. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 602-608, 2018.

SHAFIQ, I.; HUSSAIN, S.; RAZA, M.A.; IQBAL, N.; ASGHAR, M. A.; RAZA, A.; FAN, Y.F.; MUMTAZ, M.; SHOAIB, M.; ANSAR, M.; MANAF, A.; YANG, W.Y.; YANG, F. Crop photosynthetic response to light quality and light intensity. **Journal of interative Agriculture**, v. 20, p 4-23, 2021.

SENDULSKY, T. *Brachiaria*: taxonomy of cultivated and native species in Brazil. **Hoehnea**, v.7, n.99, p.139, 1978.

SHEEHY, J. E.; COOPER, J. P. Light interception, photosynthetic activity, and crop growth rate in canopies of six temperate forage grasses. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 10, n. 1, p. 239-250, 1973.

SILVA, S.C.; NASCIMENTO JUNIOR, D. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e majeno do pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. SPE, p. 121-138, 2007.

SILVA, R.G.; CÂNDIDO, M.J.D.; NEIVA, J.N.M.; LÔBO, R.N.B.; SILVA, D.S. Características estruturais do dossel de pastagens de capim-tanzânia mantidas sob três períodos de descanso com ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n.5, p.1255-1265, 2007.

SILVA, V.J; PEDREIRA, C.G.S; SOLLENBERG, L.E.; SILVA, L.S; YASUOKA, J.I; ALMEIDA, I.C.L. Canopy, height and N affect herbage accumulation, nutritive value, and grazing efficiency of “Mulato II” brachiariagrass. **Crop Science**, v.56, n.4, p. 2054-2061, 2016.

SILVA, S.C.; 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, 2015a.

SILVA, L.V.; CÂNDIDO, M.J.D.; PESSOA, J.P.M.; CAVALCANTE, A.C.R.; CARNEIRO, M.S.S.; SILVA, A.N. Componentes da biomassa e características estruturais em capim-aruaana sob diferentes frequências e intensidades de desfolhação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n. p.1192-1200, 2015b.

SILVA, G.P.; FIALHO, C.A.; CARVALHO, L.R.; FONSECA, L.; CARVALHO, P.C.F.; BREMM, C.; DA SILVA, S.C. Sward structure and short-term herbage intake in *Arachis pintoi* cv. Belmonte subjected to varying intensities of grazing. **The Journal of Agricultural Science**, v.156, p.92-99, 2018.

SILVEIRA, R.M.F.; VASCONCELOS, A.M.; RAÚJO, J.M.; FERREIRA, J.B.; OLIVEIRA, P.G.A.; BRITO, T.M. Influência dos índices reprodutivos na produção de leite de vacas mestiças criadas no litoral Cearense. **Revista Agropecuária Científica do Semiárido**, v.14, n.2, p.117-122, 2018.

SILVEIRA, M.C.T., D.; NASCIMENTO JÚNIOR, C.S.; RODRIGUES, K.S.; PENA, S.J.; SOUZA JÚNIOR, L.M.; BARBERO, V.A.; LIMÃO, V.A.; EUCLIDES, V.P.B.; SILVA, S.C. Forage sward structure of Mulato grass (*Brachiaria hybrid* ssp.) subjected to rotational stocking strategies. **Australian Journal of Crop Science**, v.10, n.6, p.864-873, 2016.

STOBBS, T.H. The effect of plant structure on the intake of tropical pastures. I. Variation in the bite size of grazing cattle. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 24, n. 6, p. 809-819, 1973a.

STOBBS, T.H. The effect of plant structure on the intake of tropical pastures. II. Differences in sward structure, nutritive value, and bite size of animals grazing *Setaria anceps* and *Chloris gayana* at various stages of growth. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 24, n. 6, p. 821-829, 1973b.

SOLLENBERGER, L.E.; KOHMANN, M.M.; DUBEUX JR, J.C.B.; SILVEIRA, M. Grassland Management Affects Delivery of Regulating and Supporting Ecosystem Service. **Crop Science**, v. 59, n.2, p. 441-459, 2019.

SOUZA, J.; BATISTEL, F.; TICIANI, E.; SANDRI, E.C.; PEDREIRA, C.G.S.; OLIVEIRA, D.E. Green leaf allowance and dairy ewe performance grazing on tropical pasture. **Journal of animal Science**, v.92, n.6, p.2708-2715, 2014.

SOARES FILHO, C.V.; CECATO, U.; RIBEIRO, O.L.; CRUZ ROMA, C.F.; JOBIM, C.C.; BELONI, T.; VENTUROLI PERRI, S.H. Root system and root and stem base organic reserves of pasture Tanzania grass fertilizer with nitrogen under grazing. **Revista Semina**, p.2415-2426, 2013.

SCHUWIRTH, N.; BORGWARDT, F.; DOMISCH, S.; FRIEDRICH, M.; KATTWINKEL, M.; KNEIS, D.; KUEMMERLEN, M.; LANGHANS, S.D.; MARTÍNEZ-LOPES, J.; VERMEIREN, P. 2019. How to make ecological models useful for environmental management. **Ecological Modelling**, v.411, n.1, p.108784, 2019.

SBRISIA, A.F.; SILVA, S.C. Comparação de três métodos para estimativa do índice de área foliar em pasto de capim-marandu sob lotação contínua. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.2, p.212-220, 2008.

TRACY, B.F.; SCHLUETER, D.H.; FLORES, J.P. Conditions that favor clover establishment in permanent grass swards. **Grassland Science**, v.61, n.1, p.34-40, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 4th ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc. Publishers, 2009. 848p.

TEIXEIRA, A.C.B.; GOMIDE, J.A.; OLIVEIRA, J.A.D.; ALEXANDRINO, E.; LANZA, D.C.F. Distribuição de fotoassimilados de folhas do topo e da base do capim mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) em dois estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.2, p.479-488, 2005.

TROTTER, M.G.; LAMB, D.W.; DONALD, G.E.; SCHNEIDER, D.A. Evaluating an active optical sensor for quantifying and mapping green herbage mass and growth in a perennial grass pasture. **Crop and Pasture Science**, v. 61, n. 5, p. 389–398, 2010.

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/CAB International, 2000. Cap. 7, p. 151-177.

TRIMBLE. **GreenSeeker® Handheld Crop Sensor Quick Reference Card**. Disponível em <<https://agriculture.trimble.com/product/sistema-de-sensoriamento-de-culturas-greenseeker/?lang=pt-br>>, acesso em 10 de outubro de 2020.

TOEBE, M.; MACHADO, L.N.; TARTAGLIA, F.D.L.; CARVALHO, J.O.D.; BANDEIRA, C.T.; CARGNELUTTI FILHO, A. Tamanho de amostra para estimar coeficientes de correlação linear de Pearson em espécies de crotalária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.54, 2019.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, R.J. **The water balance**. Centerdon, N.J: Laboratory of climatology, v.8, p.104, 1995.

VALLE, C.B.; MACEDO, M.C.M.; EUCLIDES, V.P.B.; JANK, L.; RESENDE, R.M.S. Gênero *Brachiaria*. In: Fonseca, D.M.; Martuscello, J.A. **Plantas forrageiras**. 1.ed. UFV, 2010. cap. 2. 537p.

VERZIGNASSI, J.R. A pesquisa em sementes de espécies forrageiras de clima tropical no Brasil. **Informativo ABRATES**, Florianópolis, v.23, n.2, p.1-2, 2013.

WATSON, D. J. The dependence of net assimilation rate on leaf area index. **Annals of Botany**, London, v. 22, n. 85, p. 37-54, 1958.

WATSON, D.J. Comparative physiological studies in the growth of field crops.I.Variation in net assimilation rate and leaf área between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v.11, n.41, p.41-76, 1947.

WILSON, J.W. Inclined point quadrats. **New Phytologist**, v.59, p.1-7, 1960.

WILLMOTT, C.J. On the Validation of Models. **Physical Geography**, v.2, n.2, p.184-194, 1981.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v.20, p.557-585, 1921.

WOODWARD, S.J.; VAN OIJEN, M.; GRIFFITHS, W.M.; BEUKES, P.C.; CHAPMAN, D.F. Identifying causes of low persistence of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) dairy pasture using the Basic Grassland model (BASGRA). **Grass and Forage Science**, v.75, n.1, p. 45-63, 2020.

WU, T.; FENG, F.; LIN, Q.; BAI, H. A new temporal prediction method of grazing pressure based on normalized difference vegetation index and precipitation using nonlinear autoregressive with exogenous input networks. **Grassland Science**, v.66, n.2, p.116-123, 2020.

XIA, T.; MIAO, Y.; WU, D.; SHAO, H.; KHOSLA, R.; MI, G. Active Optical Sensing of Spring Maize for In-Season Diagnosis of Nitrogen Status Based on Nitrogen Nutrition Index. **Remote Sensing**, v.8, n.7, p.605, 2016.

YASUOKA, J.I.; PEDREIRA, C.G.S.; SILVA, V.J.; ALONSO, M.P.; SILVA, L.S. 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, 2017.

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

ZANINI, G.D., SANTOS, G.T., SCHMITT, D., PADILHA, D.S., E SBRISSIA, A.F. Distribuição de colmo na estrutura vertical de pastos de capim-Aruana e azevém anual submetidos a pastejo intermitente por ovinos. **Ciência Rural**, v.42, n.5, p. 882-887, 2012.