



SÉRGIO DOMINGOS SIMÃO

**SISTEMAS DE CULTIVO DOS CAPINS MARANDU E MOMBAÇA
BASEADO EM ADUBAÇÃO NITROGENADA E IRRIGAÇÃO E
MODELAGEM DE CARBOIDRATOS DE RESERVA DO CAPIM
MARANDU USANDO O CROPGRO-PFM**

**LAVRAS – MG
2021**

SÉRGIO DOMINGOS SIMÃO

**SISTEMAS DE CULTIVO DOS CAPINS MARANDU E MOMBAÇA BASEADO EM
ADUBAÇÃO NITROGENADA E IRRIGAÇÃO E MODELAGEM DE CARBOIDRATOS
DE RESERVA DO CAPIM MARANDU USANDO O CROPGRO-PFM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Ruminantes, para obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Márcio André Stefanelli Lara

**LAVRAS - MG
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Simão, Sérgio Domingos.

Sistemas de cultivo dos capins Marandu e Mombaça baseado em adubação nitrogenada e irrigação e modelagem de carboidratos de reserva do capim Marandu usando o CROPGRO-PFM / Sérgio Domingos Simão. - 2021.

154 p. : il.

Orientador(a): Márcio André Stefanelli Lara.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2021.
Bibliografia.

1. Produção de forragem. 2. Eficiência de uso da água. 3. Eficiência de uso do nitrogênio. I. Stefanelli Lara, Marcio André. II. Título.

SÉRGIO DOMINGOS SIMÃO

**SISTEMAS DE CULTIVO DOS CAPINS MARANDU E MOMBAÇA BASEADO EM
ADUBAÇÃO NITROGENADA E IRRIGAÇÃO E MODELAGEM DE CARBOIDRATOS
DE RESERVA DO CAPIM MARANDU USANDO O CROPGRO-PFM**

**MARANDU AND MOMBASA GRASS CULTIVATION SYSTEMS BASED ON
NITROGEN FERTILIZATION AND IRRIGATION AND MODELING OF RESERVE
CARBOHYDRATES OF MARANDU GRASS USING CROPGRO-PFM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Produção e Nutrição de Ruminantes, para obtenção do título de Doutor.

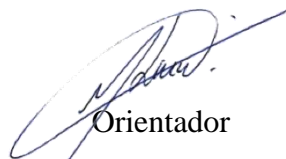
Aprovado em 30 de setembro de 2021.

Dr. Daniel Rume Casagrande UFLA

Dra. Heloísa Oliveira dos Santos UFLA

Dr. Leonardo Simões de Barros Moreno EMBRAPA

Dr. Leandro Martins Barbero UFU



Orientador
Dr. Márcio André Stefanelli Lara
Márcio André Stefanelli Lara
Agrônomo - Mec - Dec
Prof. Adjunto - Depto. Zootecnia - UFLA
Forragicultura e Pastagens

**LAVRAS - MG
2021**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade de fazer o Doutorado na área de Zootecnia. À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade.

Ao pessoal do setor de Forragicultura e do laboratório de Pesquisa Animal.

Ao CNPq e Capes, pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao professor Márcio André Stefanelli Lara, pela orientação, paciência e disposição para ajudar.

Aos professores Thiago Fernandes Bernardes, Daniel Rume Casagrande e a Carla Luiza Silva Ávila pelos ensinamentos ao longo do doutorado.

Aos professores Leonardo Simões de Barros Moreno, Leandro Martins Barbero, Leandro Araújo e Heloísa Oliveira Santos por participarem da defesa da tese.

À Taís Alvarenga, pelo companheirismo, amor, apoio em todos os momentos e singular torcida.

Aos funcionários (Márcio Nogueira, Flávio Almeida, Stefânia Souza e Vânia Miranda) do laboratório de Pesquisa Animal.

A todos funcionários do DZO como o senhor Delson, Binho, Borginho, Juninho, Bambuzinho, José Antônio, Marli, Maria, Dulce.

A todos os colegas do setor de Forragicultura, pois muitos se tornaram amigos!

Quero agradecer aos amigos e companheiros que fizeram parte dessa caminhada: Lucas Ferreira Penteadó, Ana Léa Armond Carvalho, Daniel Cunha, David Resende, Davi Filipe Fonseca Borges, Rodrigo Júnior Prezotti Paiva, Saulo Teixeira, Leonardo Faleiros, Bruno Homem, Ítalo Lima, Paola Spasiani, Priscila Cruz, Denise Silva, Lucas Dino, Bianca Guimaraes, João Freitas, Marcus Cardoso, Jéssica Gusmão, Elizanne Moura, Diana Oliveira, Gustavo Birigui, Karolina Nascimento, Tatiane de Carvalho Alvarenga, Carlos Pereira da Silva, Henrique José de Paula Alves, Ernandes Guedes de Moura, Marcos Antônio Isaac Júnior, Talita Alvarenga, Leonardo Augusto (Pichincha), Alyce Melo Faria.

Aos meus pais, José Domingos Simão Neto e Maria de Fátima de Sousa Simão pelo amor e apoio incondicional, em todas as minhas decisões nas diferentes etapas da minha vida e ao meu irmão Sinval Aparecido Simão e a minha cunhada Bruna Moreira e aos meus sobrinhos João Lucas e Maria Júlia.

Aos meus sogros Vander Mendes de Alvarenga e Sônia Maria Carvalho pelo amor e carinho.

RESUMO

Com a adubação nitrogenada nas gramíneas tropicais, ocorre aumento na produtividade, desde que outros fatores ambientais e nutricionais não sejam limitantes. Objetivou-se avaliar os efeitos de duas doses de nitrogênio (N) e o uso ou não de irrigação (I) em *Urochloa brizantha* (Hoschst. Ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu e *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & Jacobs cv. Mombaça sobre as características agronômicas, bromatológicas e estruturais em duas estações (chuvosa e seca) e o uso de medidas indiretas e a mobilização de carboidratos de reserva nas raízes no cultivar Marandu. O delineamento foi em blocos ao acaso em esquema fatorial (sistemas de produção: Sequeiro - S e Irrigado \times adubação nitrogenada: 0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) com três repetições, com 12 parcelas de 7 \times 4 m para cada cultivar. O experimento teve início em outubro de 2017 e término em março de 2019, foram avaliados 16 ciclos de rebrotação (28 dias no verão e 42 dias no inverno agrostológico) na cidade de Lavras, Minas Gerais, Brasil. Em cada ciclo foram mensurados o acúmulo de forragem (AF), colhendo a forragem delimitada em molduras metálicas retangulares (0,5 \times 1,0 m) a 15 cm do nível do solo para o cultivar Marandu e a 40 cm do nível do solo para o cultivar Mombaça (dois pontos por parcela). As análises bromatológicas foram de PB (% MS), FDN (% MS) e a DIVMS (% MS). As medidas de altura (cm), interceptação luminosa (IL - %), índice de área foliar (IAF), ângulos foliares (°) e área foliar específica (AFE – cm² g⁻¹) foram realizadas a cada 14 dias no verão agrostológico e 21 dias no inverno agrostológico. Utilizou-se modelos lineares mistos com a adubação com N, sistemas de produção e as interações dos tratamentos como efeitos fixos, e os blocos como efeitos aleatórios. As estações do ano foram: verão agrostológico 1 (outubro de 2017 a abril de 2018), inverno agrostológico 1 (maio a setembro de 2018) e o verão agrostológico 2 (outubro de 2018 a março de 2019). O efeito de estação foi incluído como medida repetida no tempo. Para o cultivar Marandu em dois ciclos de rebrotação no auge do verão foram mensurados os teores SPAD e os teores de clorofila ($\mu\text{g cm}^{-2}$) nos dias: 4, 9, 17 e 28 e o AF. A estimativa da concentração de clorofila foi com o *atLEAF CHL PLUS* (10 folhas no retângulo de amostragem). As medidas de Prato, Altura, IL e IAF foram realizadas nos dias: 0, 4, 9, 17 e 28 de cada ciclo. Dois ciclos de rebrotação foram considerados como representativos do verão e dois do inverno agrostológico, mensurou-se a massa de forragem (MF) no resíduo, abaixo de 15 cm. Durante os dois ciclos de rebrotação característicos de verão as parcelas foram acompanhadas por avaliações nos dias 0, 4, 9, 17 e 28 e nos dois de inverno nos dias 0, 4, 9, 17, 28 e 42. No CSM-CROPGRO-PFM utilizou-se a média geral das três repetições das unidades experimentais. A adubação nitrogenada promoveu aumento nas características produtivas e estruturais, composição bromatológica dos cultivares Marandu e Mombaça. O uso da adubação nitrogenada associado a irrigação no período seco do ano (inverno) foi efetivo nas características produtivas e estruturais, composição bromatológica dos cultivares Marandu. As medidas indiretas (leitura do Prato ascendente e valor SPAD) podem ser utilizadas na estimação de características agronômicas e bromatológicas do cultivar Marandu. Sendo que no verão o reestabelecimento dos teores de carboidratos não estruturais ocorre por volta dos 9 dias e no inverno é aos 17 dias de rebrotação com ou sem adubação nitrogenada nas condições de sequeiro e irrigado. O modelo CSM-CROPGRO-PFM funciona bem para as condições de sequeiro com ou sem adubação nitrogenada ao longo do ano e para a condição de irrigação necessita de mudança nos parâmetros referentes as características agronômicas.

Palavras-chave: Produção de forragem; Eficiência de uso da água; Eficiência de uso do nitrogênio; valor SPAD.

ABSTRACT

With nitrogen (N) fertilization in tropical grasses, there is an increase in productivity, as long as other environmental and nutritional factors are not limiting. The objective of this study was to evaluate the effects of two doses of N and the use or not of irrigation (I) in *Urochloa brizantha* (Hoschst. Ex A. Rich.) R.D. Webster (Marandu palisadegrass) and *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & Jacobs (Mombasa grass) on agronomic, bromatological and structural characteristics in two seasons (rainy and dry) and the use of indirect measures and the mobilization of non-structural carbohydrates (NSC - % DM) in roots in the Marandu palisadegrass. The design was in randomized blocks in a factorial scheme (production systems - PS: Rainfed - R and I \times N fertilization: 0 and 550 kg of N ha⁻¹ year⁻¹) with three replications, with 12 plots of 7 \times 4 m for each grass. The experiment started in October 2017 and ended in March 2019, 16 regrowth cycles were taken (28 days in summer and 42 days in agrostological winter) in the city of Lavras, Minas Gerais, Brazil. Herbage accumulation (HA - kg DM ha⁻¹) was measured in each cycle, harvesting the forage enclosed in rectangular metal frames (0.5 \times 1.0 m) at 15 cm from ground level for the Marandu palisadegrass and 40 cm from ground level for the Mombasa grass (two points per plot). The bromatological analyzes were of crude protein (CP - % DM), neutral detergent a fiber (NDF - % DM) and in vitro dry matter digestibility (IVDMD - % DM). Measurements of canopy height (CH - cm), light interception (LI -%), leaf area index (LAI), leaf angles ($^{\circ}$) and specific leaf area (SLA - cm² g⁻¹) were taken every 14 days in the summer and 21 days in the winter. Mixed linear models were used with N fertilization, PS and treatment interactions as fixed effects, and blocks as random effects. The seasons were: agrostological summer 1 (October 2017 to April 2018), agrostological winter 1 (May to September 2018) and agrostological summer 2 (October 2018 to March 2019). The season effect was included an repeated measure. For the Marandu palisadegrass in two cycle, the SPAD values and the chlorophyll contents ($\mu\text{g cm}^{-2}$) were measured on days: 4, 9, 17 and 28 and the HA. The chlorophyll concentration was estimated with atLEAF CHL PLUS (10 leaves in the sampling rectangle). The measurements of Rising Plate Meter (RPM), CH, LI and LAI were performed on days: 0, 4, 9, 17 and 28 of each cycle. Two regrowth cycles were considered as representative of the summer and two of the agrostological winter, measuring the herbage mass (HM) in the residue, below 15 cm. During the two characteristic summer regrowth cycles, the plots were accompanied by evaluations on days 0, 4, 9, 17 and 28 and on the two winter on days 0, 4, 9, 17, 28 and 42. In the CSM-CROPGRO-PFM the general average of the three replicates of the experimental units was used. The contents of NSC, aboveground biomass (AGB - kg DM ha⁻¹), HA, leaf production (LP - kg DM ha⁻¹), stem (SP - kg DM ha⁻¹), leaf (% AGB) were evaluated. N fertilization promoted an increase in the productive and structural characteristics, chemical composition of the Marandu palisadegrass and Mombasa grass. The use of N fertilization associated with I in the R period of the year (winter) was effective in the productive and structural characteristics, chemical composition and indirect measurements (RPM and SPAD value) can be used to estimate the agronomic and chemical characteristics of the Marandu palisadegrass. In summer, the reestablishment of NSC contents occurs around 9 days and in winter it occurs at 17 days of regrowth, with or without N fertilization, under R and I conditions. The CSM-CROPGRO-PFM model works well for R conditions with or without N fertilization throughout the year and for the I condition it is necessary to change the parameters related to agronomic characteristics.

Keywords: Forage production; Water use efficiency; Nitrogen use efficiency; SPAD value.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	10
1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu e <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaça.....	13
2.3 Irrigação	14
2.4 Nitrogênio	15
2.5 Medidas indiretas de produção de forragem	16
2.6 Modelagem no CSM-CROPGRO - <i>Perennial Forage Model</i>	18
2.7 Carboidratos de reserva.....	20
3 CONSIDERAÇÕES GERAIS	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	30
ARTIGO 1 - RESPOSTAS AGRONÔMICAS DE <i>Urochloa brizantha</i> CV. MARANDU E <i>Megathyrsus maximus</i> CV. MOMBAÇA EM FUNÇÃO DO SUPRIMENTO DE NITROGÊNIO E ÁGUA	31
1 INTRODUÇÃO	33
2 MATERIAL E MÉTODOS	34
2.1 Descrição do experimento, delineamento experimental e tratamentos	34
2.2 Acúmulo de forragem (AF) e composição morfológica.....	36
2.3 Eficiência de utilização da água	37
2.4 Eficiência de utilização do nitrogênio	37
2.5 Análise estatística.....	38
3 RESULTADOS	38
3.1 <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu.....	38
3.2 <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaça.....	47
3.3 Eficiência de utilização do nitrogênio	53
4 DISCUSSÃO	55
4.1 <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu.....	55
4.2 <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaça.....	57
5 CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ARTIGO 2 - COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA E CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DE <i>Urochloa brizantha</i> CV. MARANDU E <i>Megathyrsus maximus</i> CV. MOMBAÇA EM FUNÇÃO DO SUPRIMENTO DE NITROGÊNIO E ÁGUA	63
1 INTRODUÇÃO	65
2 MATERIAL E MÉTODOS	66
2.1 Descrição do experimento, delineamento experimental e tratamentos	66
2.2 Análises bromatológicas.....	67
2.3 Altura do dossel	68
2.4 Índice de área foliar (IAF), interceptação luminosa (IL) e área foliar específica (AFE)	68
2.5 Análise estatística.....	69
3 RESULTADOS	70
3.1 <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu.....	70
3.2 <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaça.....	75

4 DISCUSSÃO	80
4.1 <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu	80
4.2 <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaça	81
5 CONCLUSÕES	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ARTIGO 3 - USO DE MÉTODOS INDIRETOS NA ESTIMATIVA DE CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E BROMATOLÓGICAS DA <i>Urochloa brizantha</i> (HOCHST EX A. RICH.) R.D. WEBSTER CV. MARANDU	86
1 INTRODUÇÃO	87
2 MATERIAL E MÉTODOS	89
2.1 Descrição do experimento, delineamento experimental e tratamentos	89
2.2 Acúmulo de forragem (AF)	91
2.3 Intercepção Luminosa (IL) e Índice de área foliar (IAF)	92
2.4 Altura do dossel e massa de forragem pelo método do Prato Ascendente	92
2.5 Medidas com o clorofilômetro	92
2.6 Análises bromatológicas	93
2.7 Análise estatística	93
3 RESULTADOS	94
4 DISCUSSÃO	102
5 CONCLUSÕES	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ARTIGO 4 - PARAMETRIZAÇÃO DO BALANÇO DE CARBONO USANDO O MODELO CSM -CROPGRO - FORRAGEM PARA SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO DE <i>Urochloa brizantha</i> CV. MARANDU	110
1 INTRODUÇÃO	111
2 MATERIAL E MÉTODOS	114
2.1 Coleta de dados e análise de crescimento de <i>u. Brizantha</i> cv. Marandu	114
2.2 Coleta de raízes e análise de carboidratos não estruturais	116
2.3 Adaptação do modelo	117
2.4 Avaliação estatística de desempenho dos modelos	120
3 RESULTADOS	121
3.1 Adaptação do modelo com base no conjunto de dados de <i>U. brizantha</i> cv. Marandu ..	121
3.2 Carboidratos de raízes e variáveis agronômicas	124
4 DISCUSSÃO	132
5 CONCLUSÕES	134
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
TERCEIRA PARTE	139
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	140
ANEXO A - COMPONENTES MORFOLÓGICOS	141
ANEXO B - FOTOS	148

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Na produção das forrageiras de clima tropical a decisão pelo nível e pela proporção de se intensificar ou realizar a adubação na propriedade ainda depende das metas de lucro almejadas pelo produtor, ou do lucro necessário para custear as despesas com a adubação, do tamanho da propriedade e do preço da terra em cada região. Propriedades menores precisam operar com maior lucro/hectare do que fazendas de grande porte para obter um dado lucro anual. Propriedades localizadas em regiões de maior valor da terra precisam operar com maior lucro por unidade de área, a fim de se manterem competitivas em relação às alternativas de uso da terra.

A amplitude observada na produção de forragem em resposta ao uso de fertilizantes depende: da espécie forrageira, dos níveis de adubação com outros nutrientes, do histórico da área (que inclui o efeito residual das adubações); do manejo da pastagem, da estratégia de manejo do fertilizante (dose, fonte e forma de parcelamento) e das características de clima e de solo da região, que interferem tanto na capacidade da planta em responder ao fertilizante como na recuperação e ou perda do fertilizante aplicado.

O uso da irrigação é outro ponto a se destacar na produção de forragens, pois quando intensificamos o sistema de produção busca-se aumentar a produção e a eficiência de utilização dos recursos naturais, e o fator água é muito importante nos processos fisiológicos da planta. Avaliar a eficiência de utilização da água (EUA) advinda da precipitação e ou quando realiza a irrigação no sistema é importante para compreensão do processo de produção de matéria seca (MS).

No manejo das plantas forrageiras devemos ficar atentos as características agronômicas (acúmulo de forragem – AF, produção de folha, colmo, colmo reprodutivo e material morto; kg MS ha⁻¹), estruturais (altura do dossel, índice de área foliar - IAF, interceptação luminosa - IL) e composição bromatológica (proteína bruta – PB, fibra em detergente neutro - FDN e digestibilidade *in vitro* da matéria seca – DIVMS).

Outro ponto a se destacar é que precisamos avaliar o nosso sistema de produção forrageiro e a utilização de medidas indiretas na produção de forragem se torna necessário. Medidas indiretas é a avaliação de determinadas características (variáveis independentes) como altura do dossel, leitura do prato ascendente e a partir do uso da modelagem possa chegar de forma indireta na produção de MS. O uso da modelagem é outro ponto importante a ser destacado, nos modelos podem ser incluídos diversos fatores abióticos como condições

de clima, chuva, temperatura, pH, luminosidade, compostos orgânicos e inorgânicos, sendo que esses fatores interferem diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas forrageiras. O modelo CSM–CROPGRO-*Perennial Forage Model* (CSM–CROPGRO-PFM) é um modelo mecanicista baseado em processos que prediz produção de matéria seca e composição de culturas baseado nas informações das plantas, solo e manejo, na qual simula o balanço hídrico e de nitrogênio, matéria orgânica e a dinâmica de resíduos no solo. A mobilização de reservas de carboidratos e proteínas são importantes no processo de rebrotação e persistência das forrageiras, sendo que os carboidratos não estruturais são a principal fonte de reservas e que as proteínas são uma importante forma de armazenamento de nitrogênio (N).

Objetivou-se com o presente estudo avaliar os efeitos duas doses de N e o uso ou não de irrigação em *Urochloa brizantha* (Hoschst. Ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu e *Megathyrus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & Jacobs cv. Mombaça sobre as características agronômicas, estruturais e composição bromatológica, além do uso de medidas indiretas na produção de forragem e a modelagem de carboidratos do cv. Marandu em diferentes estações do ano na cidade de Lavras, MG.

A presente tese está dividida nas seguintes seções: no capítulo II temos o referencial teórico sobre os cultivares forrageiros Marandu e Mombaça, irrigação, N, medidas indiretas de produção de forragem, modelagem no CSM–CROPGRO-PFM e carboidratos de reserva. Apresentaremos um artigo sobre características agronômicas (ARTIGO 1), um artigo sobre composição bromatológica e as características estruturais (ARTIGO 2) dos cultivares Marandu e Mombaça em função da adubação nitrogenada e irrigação em diferentes estações do ano. Depois apresentaremos em outro artigo (ARTIGO 3) sobre o uso de métodos indiretos na estimativa de características agronômicas e bromatológicas do cv. Marandu quanto a combinações de duas doses de N e o uso ou não de irrigação durante o verão agrostológico. No próximo capítulo (ARTIGO 4) apresentamos o modelo CSM-CROPGRO-*Perennial Forage Model* incluindo em seus parâmetros o balanço de carbono utilizados na rebrotação de plantas de *U. brizantha* cv. Marandu em função da adubação nitrogenada em dois sistemas de produção (irrigado e sequeiro). E para finalizar as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça

Os últimos Censos Agropecuários realizados pelo IBGE, mostram que as áreas rurais ocupadas por pastagens no Brasil reduziram de um total de 177,93 milhões de hectares, em 1996, para 149,67 milhões de ha, em 2017. De acordo com a ABIEC (2020) no Brasil as áreas de pastagens constituem cerca de 148,6 milhões de hectares – 17,45% do território nacional (134,7 milhões de ha em uso exclusivo e bom estado, 9,7 milhões de ha precisando de recuperação e 4,2 milhões em estágio avançado de degradação biológica) e cerca de 13,9 milhões em uso integrado (2,2 milhões de ha de outras culturas em integração com pecuária e 11,7 milhões de ha de grãos em integração com pecuária).

De acordo com Landau et al. (2020) a intensificação da produção pecuária brasileira, aliada à substituição de áreas de pastagens por áreas de culturas agrícolas, explicam essa redução da área total de pastagens. Levando em conta que a pastagem é o principal alimento para o rebanho bovino brasileiro, principalmente para bovinos de corte nas fases de cria e recria, a produtividade pecuária está diretamente relacionada à qualidade e a produtividade das forrageiras.

No Brasil, estima-se que 80-90% das pastagens são cultivadas com gramíneas dos gêneros *Urochloa* e *Megathyrsus maximus*, isso é devido à sua grande produtividade, adaptabilidade e resiliência (SILVA; SBRISSIA; PEREIRA, 2015; MARTUSCELLO et al., 2009). De acordo com Castro et al. (2014) o gênero *Urochloa* [sin. *Brachiaria*] têm-se destacado nas condições de clima e solo tropicais, isso tudo associado ao manejo do pastejo, buscando a persistência da forrageira na propriedade rural. O *U. brizantha* cv. Marandu foi lançado em 1984 pela Embrapa Gado de Corte, teve sua origem advinda do Zimbábue, África (NUNES et al., 1984). O cultivar Marandu pode produzir de 4 a 28 toneladas de matéria seca $ha^{-1} ano^{-1}$ (YASUOKA et al., 2018; CASAGRANDE et al., 2011; MESQUITA et al., 2010; VALLE et al., 2010; BRAGA et al., 2009).

O cultivar *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & Jacobs cv. Mombaça é originário da África, sendo uma das forrageiras de clima tropical úmido mais produtivos (BUAMOOD; PHAKAMAS 2018; HARE et al., 2015; JANK et al., 2010). O cultivar Mombaça pode produzir mais de 30 toneladas de matéria seca $ha^{-1} ano^{-1}$ e é altamente responsivo a altos níveis de fertilização com nitrogênio - N (HARE et al., 2015; PEREIRA et al., 2011; JANK et al., 1994).

Segundo Galindo et al. (2017) as forrageiras da espécie *Megathyrsus* [sin. *Panicum*] destaca-se pela alta produtividade quando submetido a manejos com boa fertilidade do solo. Diversas cultivares da espécie *Megathyrsus* foram lançadas no mercado nos últimos anos, mas poucas informações foram geradas sobre a otimização do uso dessas forrageiras. O cultivar Mombaça se destaca entre as forrageiras por apresentar alto valor nutritivo associado a alta produtividade, com crescente utilização em sistemas intensivos de produção, principalmente nas condições de solo dos Cerrados.

A produção das espécies forrageiras depende do manejo adotado e dos níveis de tecnologias utilizados, buscando uma maior utilização dos recursos naturais, normalmente em áreas menores, para uma possível expansão para maiores áreas, uma dessas tecnologias é a irrigação.

2.3 Irrigação

De todos os recursos de que as plantas necessitam para crescer e funcionar, a água é o mais abundante e ainda, frequentemente o mais limitante. A prática da irrigação de culturas reflete o fato de que a água é um recurso-chave que limita a produtividade agrícola. A disponibilidade de água, da mesma forma, limita a produtividade de ecossistemas naturais, levando a diferenças marcantes no tipo de vegetação que se desenvolve ao longo de gradientes de precipitação.

A conquista do ambiente terrestre pelas plantas foi devido a adaptações como: desenvolvimento de raízes, sistema vascular, epiderme mais cutícula e estômatos (TAIZ et al., 2017). A quantidade de água absorvida e transportada tem relação direta com a quantidade de energia solar interceptada. Além de ser considerada um recurso para o crescimento das plantas, a água representa um meio de dissipar tanto o excesso de energia solar recebida pelas folhas quanto o excesso de temperatura (LEMAIRE, 2001), bem como importante via de absorção (fluxo de massa e difusão) e transporte de nutrientes do solo. A água também influencia diretamente a absorção de carbono (C) e nas trocas gasosas. Por fim, os nutrientes, em se tratando do nitrogênio, atuam como principal limitante ao crescimento das plantas, o qual em condições de déficit limita a resposta fotossintética por limitação na concentração da clorofila (LEMAIRE, 2001) e conseqüentemente, definem a produção e a persistência de espécies forrageiras.

De acordo com Antoniel et al. (2016a) quando se têm diminuição de 50% na aplicação de água reduz-se em cerca de 12% na produção de matéria seca da pastagem no

período de maio a dezembro de 2014. A irrigação promoveu aumento na produtividade de *U. brizantha* cv. BRS Piatã e *M. maximus* cv. Mombaça.

Ribeiro et al. (2008), constataram entre os níveis de irrigação (irrigado e sequeiro) no *M. maximus* cv. Mombaça e *Pennisetum purpureum* Schum cv. Elefante aumento da digestibilidade *in vivo* da matéria seca (DIVMS), 54,2% no sistema irrigado e 52,7% no sistema sequeiro, da FDN (55,5% no irrigado e 52,4% no sequeiro) e da matéria orgânica (MO), 60,6% no irrigado e 58,5% no sequeiro. Porém não houve diferença na digestibilidade *in vivo* da proteína bruta entre os níveis de irrigação (irrigado e sequeiro) dos cultivares Mombaça e Elefante.

A diminuição na produção de forragem durante o período da seca (inverno agrostológico) tem sido um tópico enfatizado nas pesquisas com espécies de gramíneas utilizadas na área de Forragicultura e que o incremento produtivo de MS das pastagens, proporcionada pela irrigação bem manejada em regiões com déficit hídrico, frente ao cultivo de sequeiro, é inquestionável (ANTONIEL et al., 2016b). De acordo com Ribeiro et al. (2009), a sazonalidade da produção de forragem no período seco está relacionada com fertilidade do solo, temperatura, luminosidade e a quantidade de água. Nesse contexto, a irrigação associada com uso da adubação nitrogenada, por exemplo, é uma alternativa para minimizar a diminuição da produção de forragem que são causadas por períodos de secas prolongadas e a própria sazonalidade. Também, o teor de proteína bruta (PB) nas pastagens pode aumentar com a interação entre irrigação e as doses de nitrogênio (ALVES et al., 2008).

2.4 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é parte constituinte de proteínas, ácidos nucléicos e outros componentes e membranas celulares e de vários hormônios vegetais (CANTARELLA, 2007). O N é o nutriente que resulta em maior efeito na produtividade das plantas forrageiras, desde que os outros nutrientes e fatores de produção não sejam os limitantes. Segundo Lemaire e Chapman (1996), a produção da planta forrageira ocorre em função de características morfogênicas (como aparecimento de folhas e alongamento foliar) e estruturais (como densidade de perfilhos, número de folhas por perfilho e tamanho da folha), com dependência do genótipo da planta e de fatores ambientais, entre as quais está a disponibilidade de N.

De acordo com Martha Júnior, Vilela e Sousa Júnior (2007), o aumento na disponibilidade de N no meio interfere positivamente sobre fatores morfofisiológicos da

planta forrageira, estimulando seu crescimento e, conseqüentemente, concorrendo para o aumento da produtividade da pastagem. Dentre esses fatores, destaca-se o aumento: (1) na atividade fotossintética; (2) na mobilização de reservas (carbono e N) após a desfolha; (3) no ritmo de expansão da área foliar e (4) no peso e número de perfilhos. Tais efeitos estabelecem, ainda a oportunidade para elevar o desempenho dos animais, via manejo do pastejo, em razão da possibilidade de aumentar o consumo de folhas e perfilhos de maior valor nutricional.

A aplicação de N influencia o potencial fotossintético das folhas (EVANS, 1989), a dinâmica do fluxo de tecido no dossel (LEMAIRE et al., 2009) e crescimento de plantas (DURU; DUCROCQ, 2000), contribuindo para o aumento da produção de forragem. O N também promove mudanças nas características estruturais do dossel, incluindo o aumento na densidade aparente de folhas e índice de área foliar (SILVA et al., 2016). Assim, taxas contrastantes de adubação nitrogenada promoveriam diferentes dinâmicas de crescimento das pastagens.

2.5 Medidas indiretas de produção de forragem

Na produção de forragens, existem técnicas relacionadas com a medição da produção da pastagem principalmente devido ao fato de que muitos fatores como, uniformidade da pastagem, hábito de crescimento e perfilhamento da planta, densidade da forragem, altura da pastagem e a composição botânica da pastagem interagem entre si e podem exigir diferentes técnicas de mensuração da massa de forragem (MF) (AMARAL, 2001).

De acordo com Hodgson et al. (2000) as técnicas de medição da produção da pastagem são divididas em “Técnicas Diretas” e “Técnicas Indiretas”. Sendo que a técnica “Direta” é a que fornece os dados mais confiáveis sobre a produção da pastagem, mas pelo fato de ser mais trabalhosa e onerosa, têm sido deixadas de lado pelos fazendeiros na Nova Zelândia e a preferência tem sido sobre as “Técnicas Indiretas”.

De acordo com Pedreira (2002) a identificação de importantes características da vegetação que estejam altamente correlacionadas com a MF e que possam ser medidas de forma rápida e de fácil realização devem ser preferidos. De acordo com Arruda (2009), os métodos indiretos têm como vantagens redução do trabalho, utilização de equipamentos mais simples, maior rapidez e redução de custos do processo de amostragem. A precisão da estimativa da produção da forragem depende de uma série de fatores, como a técnica usada, a espécie, a idade, a altura do dossel, a época do ano, se o cultivo extreme ou consórcio. Por

isso, é necessário avaliar e calibrar o método para as condições da pastagem em que o método será aplicado.

Outro método de estimação de forma indireta é o da altura do dossel, que consiste na medição da altura da pastagem com régua graduada em centímetros, procurando a altura média das folhas da pastagem conforme descrito por Frame (1981). O uso da altura do dossel como medida indireta é, portanto, mais bem correlacionado com a MF se a densidade do dossel for uniforme e constante ao longo de todo o perfil. Como isso é improvável, mesmo nos dosséis forrageiros mais homogêneos, a MF será superestimada quanto mais alta for a altura do dossel, pois as maiores densidades são frequentemente encontradas nos estratos inferiores, próximo à base da vegetação (SILVA et al., 2016).

Outro método de medição de forragem de forma indireta é por meio do Disco Medidor de pastagem ou Prato Ascendente: *Rising Plate Meter*, que foi desenvolvido por Bransby e Tainton (1977) e envolve a relação entre a altura e a densidade da forragem. Geralmente o Prato é construído em alumínio ou plástico com 900 cm² de área e 480,2 g de peso em uma haste graduada.

A medida é feita com a compressão da forragem pelo Prato quando este é inserido em específico do pasto, deslizando sobre a haste que toca o chão. A medição é rápida e fácil, mas precisa ser feita no mínimo em 50 pontos dentro da área para que se tenha resultados confiáveis. Os métodos indiretos têm por base a técnica de dupla amostragem, simultaneamente com o método direto, de maneira a gerar uma calibração. É muito importante que a calibração seja feita de forma a abranger a amplitude de condições da pastagem e de massa de forragem onde o método indireto será realizado, normalmente em um número pequeno de locais (FRAME, 1981; MANNETJE, 2000; PEDREIRA, 2002).

Segundo Pedreira (2002) esta é uma técnica atraente já que é baseada no princípio segundo o qual as leituras do instrumento são influenciadas por combinações de altura e densidade da cobertura vegetal e têm a vantagem de combinar duas características do dossel forrageiro (altura e densidade), que em conjunto, estão mais fortemente associadas com MF do que a altura do dossel.

A leitura do prato ascendente é uma técnica mais eficiente para medir a MF de dosséis de porte médio à baixo, de espécies folhosas e de colmos macios. Em dosséis com colmos muito grandes e rígidos a leitura pode não levar em conta a densidade, mas responder apenas a altura, resultando em correlações fracas entre altura do prato e MF, por isso não é uma técnica indicada para este tipo de situação e onde grande parte da vegetação está acamada.

Costa et al. (2009) relataram que é possível estimar a produção de forragem de *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster [sin. *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk] usando medidas de altura com dupla amostragem. Sendo que é necessário realizar o processo de calibração para cada espécie, região e estação, se aplicável, para estimar a produção de MF da pastagem.

Outra maneira indireta que pode ser utilizada para auxiliar no manejo das pastagens seria a determinação da quantidade de clorofila presente na planta, associada aos teores de N presentes na mesma, o que pode ser usado como indicador do valor de PB presente nessa forragem (MARANHÃO et al., 2009). O clorofilômetro *atLeaf Handheld Chlorophyll Meters* possui diodos que emitem radiação em 650 nm (luz vermelha) e 940 nm (radiação infravermelha), esses sinais passam por um microprocessador que calcula valores proporcionais aos de teor de clorofila presente na folha (MINOLTA, 1989).

A absorvância das clorofilas é muito eficiente em 650 nm, mas é desprezível em 940 nm (MINOLTA, 1989; MARENCO; LOPES, 2007). Desse modo, o sinal derivado da emissão em 650 nm serve de base para o cálculo do teor relativo de clorofila, enquanto o sinal originado da emissão em 940 nm serve como um fator de correção para compensar a absorção de fótons em 650 nm por moléculas do tecido foliar desprovidas de clorofila, sua medida é realizada com a inserção da folha na abertura do instrumento e o acionamento de um único botão, em folhas com até três mm de espessura.

A partir desses resultados podemos observar que os métodos podem ser utilizados em conjunto, tornando-se necessário a realização de sua calibração para que resulte em maior precisão entre os valores reais de campo e os valores estimados.

2.6 Modelagem no CSM-CROPGRO - *Perennial Forage Model*

A modelagem seja de sistemas agrícolas ou de pastagens iniciou-se por volta do fim da década de 1960 e início da década de 1970, na qual tinha como objetivo simular a dinâmica produção das pastagens nativas, os primeiros trabalhos avaliaram o crescimento das plantas, a remoção de forragem pelos animais e como era a decomposição da matéria orgânica no solo (MORENO; PEQUENO, 2018).

A modelagem nos sistemas agropecuários é importante para simulação da produção em resposta as variações climáticas, de solos e do manejo. Nas fazendas ou propriedades agrícolas os modelos são utilizados para estimar a produção, além de auxiliar no planejamento e cronograma das atividades (BARIONI et al., 2003).

O modelo CSM - CROPGRO (BOOTE; JONES; HOOGENBOOM, 1998) é um modelo mecanicista na plataforma DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) que simula os processos de crescimento das culturas agrícolas na qual inclui-se a fenologia, fotossíntese, demanda de nitrogênio e carbono das plantas, partição do crescimento, balanço hídrico do solo e danos causados por pragas e doenças. Também leva-se em consideração informações climáticas, do manejo e a caracterização do solo (BOOTE; MINGUEZ; SAU, 2002; JONES et al., 2003).

O modelo CSM - CROPGRO usa uma estrutura modular, que permite a introdução de uma nova cultura modificando valores em um arquivo de espécies sem alterar nenhum código fonte do computador ou do programa (BOOTE; JONES; HOOGENBOOM, 1998; JONES et al., 2003). O modelo CSM – CROPGRO - PFM para forrageiras perenes (CSM - CROPGRO – *Perennial Forage Model*) foi desenvolvido por Rymph (2004), na qual pode-se avaliar aspectos fenológicos das plantas, armazenamento e uso de reservas de carbono e nitrogênio, além da partição de nutrientes e simulações do processo de desfolhação.

O modelo CSM - CROPGRO para forrageiras perenes foi adaptado para simular respostas agronômicas de vários genótipos de pastagens, como *Paspalum notatum* Fl. Ugge cv. Pensacola (RYMPH et al., 2004), *Urochloa brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) RD Webster sin. (*Brachiaria brizantha* Stapf.) cv. Xaraés (PEDREIRA et al., 2011) e cv. Marandu (PEQUENO; PEDREIRA; BOOTE, 2014) e *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B. K. Simon & Jacobs sin. (*Panicum maximum* Jacq.) cv. Tanzânia (LARA et al., 2012).

De acordo com Adhikari et al. (2017) quando utiliza-se dados experimentais de campo, o modelo DSSAT quando bem calibrado pode ser utilizado com sucesso para simular a resposta da cultura sob várias condições ambientais, e isso pode acelerar na tomada de decisão, reduzir o tempo e os recursos necessários para realizar a experimentação.

Apesar da utilidade do modelo CSM-CROPGRO-PFM na tomada de decisões agronômicas, existem oportunidades para melhoria do modelo para aplicações em pastagens tropicais, como a simulação de pastejo e seus impactos no perfilhamento, aparecimento de folhas, crescimento e senescência. O modelo simula as condições de desfolha e pós-colheita na função *MOW*, que permite a definição da massa de forragem do resíduo e do índice de área foliar.

A plataforma DSSAT é composta por seis modelos para simulação de 42 culturas agrícolas de importância econômica, sendo que o tipo de modelo utilizado nessa plataforma são os modelos de predição baseados em processos, o tipo de modelo dessa plataforma é o

mecanicista na qual leva em consideração informações de clima, solo, manejo, questões sobre o crescimento e morfologia das plantas (HOOGENBOOM et al., 2015; LARA; RAKOCEVIC, 2013; BOOTE et al., 1998; RYMPH, 2004).

Com o avanço no conhecimento científico, dos recursos matemáticos e computacionais houve uma contribuição para o aumento do desenvolvimento de modelos de crescimento de culturas, principalmente para as forrageiras tropicais, e sua aplicação é promissora tanto em pesquisa quanto no gerenciamento dos sistemas de produção. Deve-se levar em conta que modelo nenhum pode ser considerado perfeito, mas pode ser adaptado ou adequado aos objetivos do usuário e da disponibilidade de informações (ANDRADE et al., 2015).

2.7 Carboidratos de reserva

Conhecer sobre os aspectos da fenologia, armazenamento e uso de compostos de reserva e partição dos nutrientes nas plantas forrageiras é de extrema importância para os sistemas de produção de forragens (RYMPH, 2004). No processo de desfolhação seja por meio dos animais e ou por meio de corte mecânico (fenação ou pré-secado) ocorre mudança do ambiente luminoso e a competição por luz, afetando as plantas do dossel forrageiro (LEMAIRE, 2001). Um dos processos fisiológicos que ocorre após a desfolha é a alocação de carbono para os meristemas apicais e para as zonas de expansão foliar, buscando-se maximizar o aparecimento e alongamento de novas folhas (COSTA; DESCHAMPS; MORAES, 2012; CARVALHO, 2002).

Buscando ajustar seu balanço energético após o processo de desfolha, ocorre a diminuição do sistema radicular (RICHARDS, 1993). De acordo com Davidson e Milthorpe (1965), no processo de desfolha em geral, ocorre uma queda brusca na concentração dos carboidratos de reserva e com o passar dos dias há uma restauração gradual desses compostos. Além disso, devem-se considerar os processos relacionados a fotossíntese, respiração e a recuperação da planta durante a rebrotação (relações entre a parte aérea e as raízes).

Vários estudos destacam a importância dos carboidratos de reservas em gramíneas durante a fase de rebrotação após a desfolha (HUME, 1991; DONAGHY; FULKERSON, 1997). Para algumas espécies de gramíneas, os carboidratos não estruturais no resíduo constituem a principal fonte de rebrotação (STEEN; LARSSON, 1986). Em contraste, outros estudos destacam que as reservas de carboidratos nos rizomas desempenham um papel

crítico na rebrotação de gramíneas rizomatosas após a desfolhação (WANG, 2007). Para plantas submetidas a desfolhação, os carboidratos não estruturais (CNE) são geralmente afetados pela altura do resíduo (FULKERSON; SLACK, 2003; LEE et al., 2009; JONES et al., 2017) e o intervalo entre as desfolhações (SINGH; SALE, 1997; DONAGHY; FULKERSON, 2002).

Além dos carboidratos, as reservas de nitrogênio também desempenham um papel importante no crescimento das plantas (OURRY; KIM; BOUCAUD, 1994; VOLENEC; OURRY; JOERN, 1996). Nas plantas forrageiras, a proteína é uma importante forma de armazenamento de nitrogênio (STASWICK, 1994). Thornton et al. (1993) relataram que, em apoio ao crescimento de novas folhas após a desfolhação, a remobilização de reservas proteicas e a absorção de N varia entre espécies de gramíneas. A relação raiz: parte aérea da planta pode funcionar como um equilíbrio em termos de aquisição e alocação de reservas (AGREN; INGESTAD, 1987).

A desfolhação geralmente causa desequilíbrio na relação da parte aérea da planta: raízes, devido à perda de componentes foliares. Devido a perda de biomassa após a desfolhação, as plantas apresentam uma taxa relativa de crescimento maior na parte aérea. Tais fenômenos foram extensivamente observados (MEYER, 1998; ZHAO; CHEN; LIN, 2008), no entanto, a taxa na qual as espécies de plantas ajustam suas alocações de biomassa entre os órgãos acima e abaixo do solo após a desfolha continua incerta. Além disso, o papel dos carboidratos e proteínas no processo de rebrotação de forrageiras raramente tem sido abordado.

Os frutanos são os principais carboidratos de armazenamento em gramíneas de clima temperado. No resíduo de azevém, 64% dos frutanos estão localizados em bainhas foliares e 36% em bases foliares alongadas (MORVAN et al., 1997) e, assim, as bases foliares crescentes contêm grandes quantidades de frutanos. Os frutanos se acumulam preferencialmente na zona de alongamento (SCHNYDER; NELSON, 1987). Suas concentrações diminuem após cessar o alongamento celular e durante a formação da parede celular (ALLARD; NELSON, 1991). Nas gramíneas tropicais os principais polissacarídeos não estruturais encontrados nas plantas é o amido (PEREIRA, 2013).

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com a adubação nitrogenada nas gramíneas tropicais, ocorre um aumento na produtividade, desde que outros fatores ambientais e nutricionais não sejam limitantes. A adubação nitrogenada é a mais usada, pois esse nutriente melhora a eficiência de uso da água e da fotossíntese pelas forrageiras, além de estimular o aparecimento de novos perfis e aumentar a longevidade das folhas.

A água é outro fator primordial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, ela atua em todas as partes das células vegetais. De todos os recursos de que as plantas necessitam para crescer e funcionar, a água é o mais abundante e ainda, frequentemente o mais limitante. A prática da irrigação de culturas reflete o fato de que a água é um recurso-chave que limita a produtividade agrícola.

A utilização de medidas indiretas pode ser mais explorada pelos produtores para mensuração da MF por meio do Prato Ascendente, por exemplo, ou para avaliar a correlação dos teores de clorofila com a PB, FDN e a digestibilidade das forrageiras.

O modelo CSM–CROPGRO-PFM é um modelo mecanicista baseado em processos que prediz produção de matéria seca e composição de culturas utilizando fatores abióticos, danos por pragas e/ou doenças, que são aspectos que aumentam a utilidade do modelo CSM-CROPGRO -PFM em diversos locais, sendo que essa pode ser uma ferramenta de auxílio do planejamento orçamentação forrageira.

Por meio da mobilização de reservas de carboidratos e proteínas, sendo que os carboidratos não estruturais são a principal fonte de reservas e que as proteínas são uma importante forma de armazenamento de N. Os principais carboidratos de reserva nas gramíneas de clima temperado são os frutanos (colmos e folhas) e das gramíneas tropicais é o amido, o qual pode ser encontrado na forma de amilose e amilopectina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC. **Perfil da pecuária no Brasil**. 2020. 50p. Beef Report. Disponível em: < <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/>>. Acesso em: 15 de maio de 2021.

ADHIKARI, P.; GOWDA, P.H.; MAREK, G.W.; BRAUER, D.K.; KISEKKA, I.; NORTHUP, B.; ROCATELI, A. Calibration and Validation of CSM-CROPGRO-Cotton Model Using Lysimeter Data in the Texas High Plains. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, v.162, p.61 – 78, 2017.

AGREN, G.I.; INGESTAD, T. Root: shoot ratio as a balance between nitrogen productivity and photosynthesis. **Plant, Cell & Environment**, v. 10, p. 579-586, 1987.

ALLARD, G.; NELSON, C.J. Photosynthate partitioning in basal zones of tall fescue leaf blades. **Plant Physiology**, v. 95, p. 663–668, 1991.

ALVES, J. S.; PIRES, A. J. V.; MATSUMOTO, S. N.; FIGUEIREDO, M. P.; RIBEIRO, G. S. Características morfológicas e estruturais da *Brachiaria decumbens* Stapf. submetida a diferentes doses de nitrogênio e volumes de água. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 2, n. 1, p. 1-10, 2008.

AMARAL, G. C. do. **Metodologias para avaliação de produção das pastagens para bovinos em pastejo rotacionado**. Seminário apresentado como parte das exigências do Curso de Zootecnia – Faculdade de Agronomia e Zootecnia de Uberaba, 2001. 25 p.

ANDRADE, A.S.; SANTOS, P.M.; PEZZOPANE, J.R.M.; DE ARAÚJO, L.C.; PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S.; MARIN, F.R.; LARA, M.A.S. Simulating tropical forage growth and biomass accumulation: an overview of model development and application. **Grass and Forage Science**, v. 71, n. 1, p. 54-65, 2015.

ANTONIEL, L. S.; PRADO, G.; ROCHA, T.; BOMBARDELLI, W. W. A.; BELTRAME, G. A.; BUENO, J. I. Irrigação no teor de proteína bruta de duas espécies de pastagens. **Revista Irriga**, v.1, n.1, p. 248-259, 2016b. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p248-259>.

ANTONIEL, L. S.; PRADO, G.; TINOS, A. C.; BELTRAME, G. A.; DE ALMEIDA, J. V.; CUCO, G. P. Pasture production under diferente irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 539-544, 2016a. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p539-544>

ARRUDA, D.S.R. **Comparação de métodos para avaliação da massa de forragem em pastos de capim-estrela submetidos a intensidades de pastejo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Zootecnia, Área de Concentração Pastagens e Forragicultura) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2009.

BARIONI, L.G.; MARTHA JR., G.B.; RAMOS, A.K.B.; VELOSO, R.F.; RODRIGUES, D.C.; VILELA, L. Planejamento e gestão do uso de recursos forrageiros na produção de bovinos em pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20., 2003. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2003. p. 105-153.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. Simulation of crop growth: CROPGRO Model. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: Marcel Dekker, 1998. p. 651-692.

BOOTE, K.J.; MINGUEZ, M.I.; SAU, F. Adapting the CROPGRO legume model to simulate growth of faba bean. **Agronomy Journal**, v.94, p.743-756, 2002.

BRAGA, G.J.; PEDREIRA, C.G.S.; HERLING, V.R., LUZ, P.H.D.; MARCHESIN, W.A.; MACEDO, F.B. Quantifying herbage mass on rotationally stocked palisadegrass pastures using indirect methods. **Scientia Agricola**, v. 66, p.127–131, 2009.

BRANSBY, D. I; TANTON, N. M. **The disc pasture meter: possible applications in grazing management**. Proceedings of the Grassland Society of Southern Africa, 12, 115-118, 1977.

BUAMOO, P.; PHAKAMAS, N. Effects of different forms nitrogen fertilizer on growth and yield of four tropical pasture grasses. **International Journal of Agricultural Technology**, v.14, p.1065-1076, 2018.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p.375-470.

CARVALHO, D.D. **Leaf morphogenesis and tillering behaviour in single plants and simulated swards of Guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) cultivars**. 186 f. Thesis (Ph.D in Plant Science), Massey University: Palmerston North, 2002.

CASAGRANDE, D.R.; AZENHA, M.V.; VALENTE, A.L.S.; VIEIRA, B.R.; MORETTI, M.H.; RUGGIERI, A.C.; BERCHIELLI, T.T.; REIS, R.A. Canopy characteristics and behavior of nellore heifers in *Brachiaria brizantha* pastures under different grazing heights at a continuous stocking rate. **Brazilian Journal of Animal Science**, v.40, p.2294–2301, 2011.

CASTRO, W.J.R.; MOUSQUER, C.J; CASTRO, M.C.R.; BORGES, V.T.O.; ZANINE, A.M.; FONSECA, A.A.; SOCREPPA, L.M.; FERREIRA, V.B. Características morfofisiológicas do gênero *Brachiaria*. **PUBVET**, v. 8, n. 15, p. 175-170, 2014.

COSTA, N. L.; DESCHAMPS, C.; MORAES, A. Estrutura da pastagem, fotossíntese e produtividade de gramíneas forrageiras. **PUBVET**, v. 6, n. 21, 2012.

COSTA, B.M.; LEDO, C.A.S.; SILVA, M.C.; TEIXEIRA, V.I. Estimativa de produção de forragem em pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Archivos de Zootecnia**, vol. 58, n. 221, p. 141-144. 2009.

DAVIDSON J.L.; MILTHORPE F.L. Carbohydrate reserves in the regrowth of cocksfoot (*Dactylis glomerata*). **Journal of the British Grassland Society**, v. 20, p.15–18, 1965.

DONAGHY, D. J.; FULKERSON, W. J. The impact of defoliation frequency and nitrogen fertilizer application in spring on summer survival of perennial ryegrass under grazing in subtropical Australia. **Grass Forage Science**, v. 57, p. 351–359, 2002.

DONAGHY, D. J.; FULKERSON, W. J. The importance of water-soluble carbohydrate reserves on regrowth and root growth of *Lolium perenne* (L.). **Grass Forage Science**, v. 52, p. 401–407, 1997.

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

EVANS, J. R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. **Oecologia**, v. 78, p. 9-19. 1989.

FRAME, J. Herbage mass. In : HODGSON, J.; BAKER, R.D.; DAVIES, A. et al. (Ed.) **Sward measurement handbook**. Berkshire: Bristh Grassland Society, 1981. cap.3, p.39-67.

FULKERSON, W. J.; SLACK, K. Effect of defoliation height and redefoliation interval on regrowth and survival of perennial ryegrass (*Lolium perenne*) in subtropical dairy pastures. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.43, p.121–125, 2003.

GALINDO, S.G.; BUZETTI, S.; FILHO, M.C.M.T.; DUPAS, E.; LUDKIEWICZ, M.G.Z. Application of different nitrogen doses to increase nitrogen efficiency in Mombasa guineagrass (*Panicum maximum* cv. mombasa) at dry and rainy seasons. **Australian Journal of Crop Science**, v.11, p.1657-1664, 2017.

HARE, M.D.; PHENGPHET, S.; SONGSIRI, T.; SUTIN, N. Effect of nitrogen on yield and quality of *Panicum maximum* cv. Mombasa and Tanzania in Northeast Thailand. **Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales**, v.3, p.27–33, 2015.

HODGSON, J.; MATTHEWS, P.N P.; MATTHEW, C.; HARRINGTON, K. C. Pasture measurement. In: HODGSON, J. e WHITE, J. **New Zeland: pasture and crop science**. Auckland, New Zeland: Oxford, 2000. 163 p.59-66.

HOOGENBOOM, G.; JONES, J.W.; WILKENS, P.W.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; HUNT, L.A.; SINGH, U.; LIZASO, J.I.; WHITE, J.W.; URYASEV, O.; OGOSHI, R.; KOO, J.; SHELIA, V.; TSUJI, G.Y. **Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT)**, version 4.6 (<http://dssat.net>). Prosser, WA: DSSAT Foundation, 2015.

HUME, D.E. Effect of cutting on production and tillering in prairie grass (*Bromus willdenowii* Kunth) compared to two ryegrass (*Lolium*) species. 1. Vegetative plants. **Annals of Botany**, v. 67, p. 533–541, 1991.

JANK, L.; MARTUSCELLO, J.A.; EUCLIDES, V.B.P.; VALLE, C.B. do; RESENDE, R.M.S. *Panicum maximum*. In: FONSECA, D.M. da; MARTUSCELLO, J.A. (Ed.). **Plantas forrageiras**. Viçosa: UFV, 2010. p.166-196.

JANK, L.; SAVIDAN, Y.; SOUZA, M.T.; COSTA, J.C.G. Avaliação de germoplasma de *Panicum maximum* introduzido da África. 1. Produção forrageira. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.23, p.433-440, 1994.

JONES, G.B. ALPUERTO, J. B.; TRACY, B; FUKAO, T. Physiological effect of cutting height and high temperature on regrowth vigor in orchardgrass. **Frontiers Plant Science**, v.8, n. 805, p. 1-10, 2017.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RITCHIE, J.T. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v.18, p.235–265, 2003.

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, n.3, p.600–611, 2012.

LARA, M. A. S.; RAKOCEVIC, M. Uso de modelos matemáticos no estudo das pastagens. In: REIS, R.A.; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R. (Eds.). **Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros**, 2013, p.333-346.

LANDAU, E. C.; RESENDE, R. M. S.; MATOS NETO, F. da C. Evolução da área ocupada por pastagens. In: LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. P. (Ed.). **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: produtos de origem animal e da silvicultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 3, cap. 46, p. 1555-1578. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1122718>.

LEE, J.M.; DONAGHY, D.J.; SATHISH, P.; ROCHE, J.R. Interaction between water soluble carbohydrate reserves and defoliation severity on the regrowth of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) - dominant swards. **Grass Forage Science**, v. 64, p. 266–275, 2009.

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

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

LEMAIRE, G.; DA SILVA, S.C.; AGNUSDEI, M.; WADE, M.; HODGSON, J. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. **Grass and Forage Science**, v.64, p.341–353, 2009. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2009.00707.x>

MANNETJET'T, L. **Measuring of biomass of grassland vegetation**. In: MANNETJET'T, L.; JONES, R.M. (Ed.) **Field and laboratory methods for grassland and animals production research**. Wallingford: CAB international. cap. 7, p. 151-177. 2000.

MARANHÃO, C. M. A.; SILVA, C. C. F.; BONOMO, P.; PIRES, A. J. V. Produção e composição químico-bromatológico de duas cultivares de braquiária adubadas com nitrogênio e sua relação com índice SPAD. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.31, n.2, p.117-122, 2009.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição animal**. 2 ed. Editora UFV, Viçosa-MG, p.469, 2007.

MARTHA JÚNIOR, G.B.; VILELA, L.; SOUSA, D.M.G. Adubação nitrogenada. In: _____. **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. p.117-144.

MARTUSCELLO, J. A.; JANK, L.; GONTIJO NETO, M. M.; LAURA, V. A.; CUNHA, D. N. F. V. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 7, p. 1183-1190, 2009. doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000700004>.

MESQUITA, P. de; DA SILVA, S.C.; PAIVA, A.J.; CAMINHA, F.O.; PEREIRA, L.E.T.; GUARDA, V.D.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do. Structural characteristics of marandu palisade grass swards subjected to continuous stocking and contrasting rhythms of growth. **Scientia Agricola**, v.67, p.23-30, 2010. doi: 10.1590/S0103-90162010000100004.

MEYER, G. Mechanisms promoting recovery from defoliation in goldenrod (*Solidago altissima*). **Canadian Journal of Botany**, v.76, p.450–459, 1998.

MINOLTA. **Chlorophyll meter SPAD-502**. Instruction manual. Minolta Co., Ltd., Radiometric Instruments Operations, Osaka, Japan, 1989.

MORENO, L. S. B.; PEQUENO, D. N. L. Uso de modelos matemáticos na simulação do crescimento de pastagens: contexto histórico e aplicações em estudos sobre mudanças climáticas. In: PEDREIRA, C.G.S.; SILVA, S.L.; SANTOS, P.M.; MOURA, J.C (Eds.) **Anais do 28º Simpósio sobre Manejo da Pastagem: as mudanças climáticas e as pastagens: desafios e oportunidades**, 2018, p. 249-286.

MORVAN, A.; CHALLE G.; PRUD'HOMME, M.P.; LE SAOS, J.; BOUCAUD, J. Rise of fructan exohydrolase activity in stubble of *Lolium perenne* after defoliation is decreased by uniconazole, an inhibitor of the biosynthesis of gibberellins. **New Phytologist**, v. 136, p. 81–88, 1997.

NUNES, S.F.; BOOK, A.; PENTEADO, M.I. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Campo Grande: EMBRAPA Gado de Corte, 1984. 31p. (**EMBRAPA Gado de Corte. Documentos, 21**).

OURRY, A.; KIM, T. H.; BOUCAUD, J. Nitrogen reserve mobilization during regrowth of *Medicago sativa* L. (Relationships between availability and regrowth yield). **Plant Physiology**, v.105, p.831–837, 1994.

PEDREIRA, C. G. S. Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. In: SIMPOSIO DE FORRAGICULTURA NA REUNIAO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE

ZOOTECNIA. 39. Recife, 29 de julho a 01 de agosto, 2002. **Anais ...** BATISTA et al., (Ed.). Recife: SBZ, 2002. 566 p. p. 100-150.

PEDREIRA, B. P.; 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, 2011, p. 370-379, 2011.

PEQUENO, D. N. L.; PEDREIRA, C. G. S.; BOOTE, K. J. Simulating forage production of Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) with the CROPGRO-Perennial Forage model. **Crop and Pasture Science**, v.65, n.12, p.1335–1348, 2014.

PEREIRA, M. N. Carboidratos e Valor Nutricional de Plantas Forrageiras. In: REIS, R.A.; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R. (Eds.). **Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros**, 2013, p.383-394.

PEREIRA, V.V.; FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A.; BRAZ, T.G.S.; SANTOS, M.V.; CECON, P.R. Características morfológicas e estruturais de capim-mombaça em três densidades de cultivo adubado com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.2681-2689, 2011.

RIBEIRO, E. G.; FONTES, C. C. A.; PALIERAQUI, J. G. B.; CÓSER, A.C; MARTINS, C.E.; SILVA, R. C. Influência da irrigação, nas épocas seca e chuvosa, na produção e composição química dos capins napier e mombaça em sistema de lotação intermitente. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.1432-1442, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009000800006>

RIBEIRO, E. G.; FONTES, C. C. A.; PALIERAQUI, J. G. B.; MARTINS, C.E.; CÓSER, A.C; SANT'ANA, N.F.R. Influência da irrigação durante as épocas seca e chuvosa na taxa de lotação, no consumo e no desempenho de novilhos em pastagens de capim-elefante e capim-mombaça. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.9, p.1546-1554, 2008.

RICHARDS, J.H. Physiology of plants recovering from defoliation. In: BAKER, M.J. (Ed.) **Grassland for our world**. Wellington: SIR Publishing, 1993. p.46-54.

RYMPH, S.J. **Modeling growth and composition of perennial tropical forage grass**. 2004. 316p. Thesis (PhD in agronomy) – University of Florida, Gainesville, 2004.

RYMPH, S.J.; BOOTE, K.J.; IRMAK, A.; MISLEVY, P.; EVERS, G.W. Adapting the CROPGRO model to predict growth and composition of tropical grasses: developing physiological parameters. **Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings**, v.63, p.37-51, 2004.

SCHNYDER, H.; NELSON, C.J. Growth rates and carbohydrate fluxes within the elongation zone of tall fescue leaf blades. **Plant Physiology**, v.85, p.548–553, 1987.

SILVA, G. M.; SILVA, F. F.; VIANA, P. T.; RODRIGUES, E. S. O.; MOREIRA, C. N.; MENESES, M. A.; ABREU JÚNIOR, J. S.; RUFINO, C. A.; BARRETO, L. S. Avaliação de forrageiras tropicais: Revisão. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia (PUBVET)**, v.10, n.3, p.190–196, 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, p.598-625, 2015. doi: 10.3390/agriculture5030598

SILVA, V. J.; PEDREIRA, C. G. S.; SOLLENBERGER, 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, p.2054–2061, 2016.

SINGH, D. K.; SALE, P. W. G. Defoliation frequency and the response by white clover to increasing phosphorus supply. 2. Non-structural carbohydrate concentrations in plant parts. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.48, p.119–124, 1997.

STASWICK, P. E. Storage proteins of vegetative plant-tissue. **Annual Reviews**, v. 45, p. 303–322, 1994.

STEEN, E.; LARSSON, K. Carbohydrates in roots and rhizomes of perennial grasses. **New Phytologist**, v. 104, p. 339–346, 1986.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª Ed. Artmed Edit, 516 p., 2017.

THORNTON, B.; MILLARD, P.; DUFF, E. I.; BUCKLAND, S. T. The relative contribution of remobilization and root uptake in supplying nitrogen after defoliation for regrowth of laminae in four grass species. **New Phytologist**, v.124, p. 689–694, 1993.

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

VOLENEC, J. J.; OURRY, A.; JOERN, B. C. A role for nitrogen reserves in forage regrowth and stress tolerance. **Physiologia Plantarum**, v. 97, p. 185–193, 1996.

WANG, Z. Temporal variation of water-soluble WSC in the rhizome clonal grass *Leymus chinensis* in response to defoliation. **Journal of Plant Ecology**, v.31, p.673–679, 2007.

WARD, C.Y.; BLASER, R.E. Carbohydrates food reserves and leaf area in regrowth of orchardgrass. **Crop Science**, v.1, n.5, p.366-370, 1961.

YASUOKA, J. I.; PEDREIRA, C. G. S.; DA SILVA, V. J.; ALONSO, M. P.; DA SILVA, L. S.; GOMES, F. J. 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, p.183–192, 2018. doi: <https://doi.org/10.1111/gfs.12302>

ZHAO, W.; CHEN, S. P.; LIN, G. H. Compensatory growth responses to clipping defoliation in *Leymus chinensis* (*Poaceae*) under nutrient addition and water deficiency conditions. **Plant Ecology**, v.196, p.85–99, 2008.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 - Respostas agronômicas de *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça em função do suprimento de nitrogênio e água

RESUMO

Com a adubação nitrogenada nas gramíneas tropicais, ocorre aumento na produtividade, desde que outros fatores ambientais e nutricionais não sejam limitantes. Objetivou-se avaliar os efeitos de duas doses de nitrogênio (N) e o uso ou não de irrigação (I) em *Urochloa brizantha* (Hoschst. Ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu e *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & Jacobs cv. Mombaça sobre as características agronômicas em duas estações (chuvosa e seca). O delineamento foi em blocos ao acaso em esquema fatorial (sistemas de produção - SP: Sequeiro - S e Irrigado \times adubação nitrogenada: 0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) com três repetições, com 12 parcelas de 7 \times 4 m para cada cultivar. O experimento teve início em outubro de 2017 e término em março de 2019, foram avaliados 16 ciclos de rebrotação (28 dias no verão e 42 dias no inverno agrostológico) na cidade de Lavras, Minas Gerais, Brasil. Em cada ciclo foram mensurados o acúmulo de forragem (AF), colhendo a forragem delimitada em molduras metálicas retangulares (0,5 \times 1,0 m) a 15 cm do nível do solo para o cultivar Marandu e a 40 cm do nível do solo para o cultivar Mombaça (dois pontos por parcela). Avaliou-se o AF (kg MS ha⁻¹), taxa de acúmulo de forragem (TAF - kg MS ha⁻¹ dia⁻¹), produção de folha (PF - kg MS ha⁻¹), colmo (PC - kg MS ha⁻¹), colmo reprodutivo (PCR - kg MS ha⁻¹), material morto (PMM - kg MS ha⁻¹), teor de matéria seca (%), a eficiência do uso da água (EUA - kg MS ha⁻¹ mm⁻¹) e para planta inteira foram o acúmulo de N (AN - kg), recuperação do N aplicado (RNA - %), eficiência agronômica (EA - kg MS kg N⁻¹) e eficiência fisiológica (EF - kg MS kg N⁻¹). Utilizou-se modelos lineares mistos com a adubação com N, SP e as interações dos tratamentos como efeitos fixos, e os blocos como efeitos aleatórios. As estações do ano foram: verão agrostológico 1 (outubro de 2017 a abril de 2018), inverno agrostológico 1 (maio a setembro de 2018) e o verão agrostológico 2 (outubro de 2018 a março de 2019). O efeito de estação foi incluído como medida repetida no tempo. Para o cultivar Marandu a adubação com N aumentou o AF, PF e a EUA no verão (2018), inverno (2018) e verão (2019). A dose de 550 aumentou a TAF, PC e AN nos dois verões e no inverno não houve resposta à adubação com N. No inverno o sistema (I) aumentou o AF, PF, teor de MS e EUA e nos dois verões não houve diferença significativa. A RNA, EA do N foram maiores nos dois verões em relação ao inverno. No sistema irrigado a dose 550 aumentou o AF e TAF cerca de 3,7 vezes mais, 4 vezes mais a PF, 4,8 vezes mais AN e 3,6 vezes mais a EUA do que a não adubada e no sistema (S) a dose de N aumentou o AF e TAF cerca de 2,2 vezes mais, 2,5 vezes mais a PF, 2,7 vezes menos a PCR, 2,8 vezes mais AN e 2,1 vezes mais EUA do que a não adubada. Quando não realiza a adubação com N os valores de AF, TAF, PF, AN e EUA são semelhantes nos sistemas (I e R). Quando se compara a RNA, EA e EF da dose 550 no cultivar Marandu têm-se 34, 40 e 10% a mais no sistema I \times S. Para o cultivar Marandu a adubação com N aumentou o AF, TAF, PF e AN no sistema I \times S. Para o cultivar Mombaça a dose de 550 kg de N aumentou o AF, TAF, PF, PC, AN e EUA nos dois verões e no inverno não houve diferença significativa das doses de N. No inverno o sistema (S) aumentou o teor de MS e nos dois verões não houve diferença significativa entre o I \times S. O sistema de produção não afetou o AF, TAF, PF, PC, PCR, PMM, relação folha: colmo, AN e EUA para o cultivar Mombaça. A adubação com N aumentou em três vezes o AF, TAF e a PF, além disso a adubação com N também aumentou a PC e PMM, relação folha: colmo, AN e EUA e diminuiu o teor de MS. A RNA, EA e EF da dose 550 foi 70,9, 31,9 e 45 para o cultivar Mombaça.

Palavras-chave: *Brachiaria*, *Panicum*, Forrageiras; Produção de forragem; Eficiência de uso da água; Eficiência de uso do nitrogênio.

ARTICLE 1 - Agronomic responses of *Urochloa brizantha* Marandu palisadegrass and *Megathyrsus maximus* Mombasa grass as a function on nitrogen and water

ABSTRACT

With nitrogen (N) fertilization in tropical grasses, there is an increase in productivity, as long as other environmental and nutritional factors are not limiting. The aim of this study was to evaluate the effects of two doses of N and the use or not of irrigation (I) in *Urochloa brizantha* (Hoschst. Ex A. Rich.) R.D. Webster (Marandu palisadegrass) and *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & Jacobs (Mombasa grass) on agronomic characteristics in two seasons (rainy and dry). The design was in randomized blocks in a factorial scheme (production systems - PS: Rainfed - R and Irrigated \times N fertilization: 0 and 550 kg of N ha⁻¹ year⁻¹) with three replications, with 12 plots of 7 \times 4 m for each grass. The experiment started in October 2017 and ended in March 2019, 16 regrowth cycles were taken (28 days in summer and 42 days in agrostological winter) in the city of Lavras, Minas Gerais, Brazil. Herbage accumulation (HA) was measured in each cycle, harvesting the forage enclosed in rectangular metal frames (0.5 \times 1.0 m) at 15 cm from ground level for the Marandu palisadegrass and 40 cm from ground level for the Mombasa grass. Test the HA (kg DM ha⁻¹), herbage accumulation rate (HAR - kg DM ha⁻¹ day⁻¹) leaf production (LP - kg DM ha⁻¹), stem (SP - kg DM ha⁻¹), reproductive stem (RSP - kg DM ha⁻¹), dead material (DMP - kg DM ha⁻¹), dry matter content (DM - %), water use efficiency (USA - kg DM ha⁻¹ mm⁻¹) and for whole plant were N accumulation (NA - kg), applied N recovery (ANR - %), agronomic efficiency (AE - kg DM kg N⁻¹) and physiological efficiency (PE - kg DM kg N⁻¹). Mixed linear models were used with N fertilization, PS and treatment interactions as fixed effects, and blocks as random effects. The seasons were: agrostological summer 1 (October 2017 to April 2018), agrostological winter 1 (May to September 2018) and agrostological summer 2 (October 2018 to March 2019). The season effect was included an repeated measure. For the Marandu palisadegrass, N fertilization increased HA, LP and USA in summer (2018), winter (2018) and summer (2019). The dose of 550 increased the HAR, SP and NA in the two summers and in the winter there was not response to N fertilization. In the winter the system (I) increased the HA, LP, DM and USA and in the two summers there was not difference significant. ANR, AE of N were higher in both summers compared to winter. In the I system, the dose 550 increased the HA and HAR about 3.7 times more, 4 times more the LP, 4.8 times more NA and 3.6 times more the USA than the unfertilized and in the system (R) N fertilization increased HA and HAR about 2.2 times more, 2.5 times more LP, 2.7 times less RSP, 2.8 times more NA and 2.1 times more USA than the unfertilized. When N fertilization is not performed, the HA, HAR, LP, NA and USA values are similar in the PS. When comparing the ANR, AE and PE of the dose 550 in the Marandu palisadegrass, 34, 40 and 10% more are found in the I \times R. For the Marandu palisadegrass, the N fertilization increased the HA, HAR, LP and NA in the I \times R. For the Mombasa grass, the dose of 550 kg of N increased the HA, HAR, LP, SP, NA and USA in both summers and winter, there was not significant between the doses of N. In winter the R increased the DM and in the two summers there was not significant difference between the I \times R system. The PS did not affect the HA, HAR, LP, SP, RSP, DMP, leaf: stem ratio, NA and USA for the Mombasa grass. The N increased the HA, HAR and the LP three times, besides the N fertilization also increased the SP and DMP, leaf: stem, NA and USA ratio and decreased the DM. The ANR, AE and PE of the dose 550 was 70.9, 31.9 and 45.0 for the Mombasa grass.

Keywords: *Brachiaria*, *Panicum*, Forage; Forage production; Water use efficiency; Nitrogen use efficiency.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, estima-se que 80-90% das pastagens são cultivadas com gramíneas dos gêneros *Urochloa brizantha* sin. (*Brachiaria brizantha*) e *Megathyrsus maximus* sin. (*Panicum maximum*), devido à sua grande produtividade, adaptabilidade e resiliência (SILVA; SBRISSIA; PEREIRA, 2015; MARTUSCELLO et al., 2009).

A água é fator primordial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, ela atua em todas as partes das células vegetais. De todos os recursos de que as plantas necessitam para crescer e funcionar, a água é o mais abundante e ainda, frequentemente o mais limitante. Sabe-se que a absorção dos nutrientes depende, entre outros fatores, da disponibilidade de água no solo e que para o nitrogênio (N), o transporte até as raízes é essencialmente efetuado por fluxo de massa. A água forma o ambiente onde ocorre a maioria das reações bioquímicas celulares, e ela participa diretamente em muitas reações químicas essenciais (TAIZ et al., 2017).

Com a adubação nitrogenada nas gramíneas tropicais, ocorre aumento na produtividade, desde que outros fatores ambientais e nutricionais não sejam limitantes. A adubação nitrogenada é a mais usada, pois esse nutriente melhora a eficiência de uso da água (EUA) e da fotossíntese pelas forrageiras, além de estimular o aparecimento de novos perfilhos e aumentar a longevidade das folhas (LEMAIRE et al., 2009). De acordo com Monteiro (2013) a aplicação N tem sido mais praticada quando há maior disponibilidade de água (chuvas ou irrigação) e temperaturas favoráveis ao crescimento dos capins. Dependendo do manejo adotado para o período de menor crescimento das gramíneas, a adubação nitrogenada (pelo menos em parte) pode ser utilizada no final do período com disponibilidade de água e ainda com temperaturas favoráveis ao crescimento das gramíneas forrageiras, como parte de atenuar a defasagem da produção de forragem durante o ano na pastagem.

Algumas vantagens na aplicação de N e água foram mostrados por Silva et al. (2020) trabalhando com doses de adubação nitrogenada (150 a 450 kg ha⁻¹ ano⁻¹) em *M. maximus* cv. Mombaça permitiu maiores ganhos por área nas doses de 300 e 450 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e essas doses estão associados ao aumento nos teores de matéria seca (MS) da forragem e de limbo foliar, mantendo alta a relação folha: colmo. Outro resultado importante para os gêneros de *Brachiaria* e *Panicum*, está na concentração de N em duas folhas completamente expandidas que variam de 14,5 e 23,2 g kg⁻¹ (MONTEIRO, 2010). O resultado direto da aplicação de N

está na eficiência de conversão do N em massa de forragem (MARTHA JÚNIOR et al., 2004). A adubação com N para forragens bem manejadas é uma estratégia importante no sistema de produção animal em pastagens, pois aumenta o acúmulo de forragem (AF), em resposta ao aumento da taxa de alongamento foliar, o índice de área foliar (IAF) e a densidade populacional de perfilhos (PACIULLO et al., 2017; SILVA et al., 2016; YASUOKA et al., 2018).

Objetivou-se com o presente estudo avaliar os efeitos duas doses de N e o uso ou não de irrigação em *Urochloa brizantha* (Hoschst. Ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu e *Megathyrus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & Jacobs cv. Mombaça sobre as características agronômicas em diferentes estações do ano na cidade de Lavras, MG.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição do experimento, delineamento experimental e tratamentos

O Experimento foi conduzido no campo experimental do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras em Lavras, Minas Gerais, Brasil (21° 14' 45" Sul, 44° 59' 59" Oeste, 919 m de altitude).

Foram utilizados dois cultivares forrageiros sendo um de *Urochloa brizantha* (Hoschst. Ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu e um de *Megathyrus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & Jacobs cv. Mombaça. Também foram testadas duas doses de aplicação de N (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) e dois sistemas de produção (sequeiro e irrigado), totalizando quatro tratamentos distribuídos em 12 unidades experimentais para cada cultivar. Cada unidade experimental (parcela) possuía 28 m² (4 × 7 metros). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC) com três repetições num esquema fatorial 2×2, sendo que a análise de variância foi para cada cultivar, sendo dois experimentos.

O solo da área experimental foi amostrado para análise no dia 05/08/2014 e as recomendações de calagem e adubação para semeadura foram realizados de acordo com o Boletim 100 do Instituto Agronômico de Campinas - IAC (RAIJ et al., 1997). As características químicas do solo para a profundidade de 0-20 cm, no início do experimento foram: pH = 5,2, P = 0,8 mg dm⁻³ (método de Melich-1), matéria orgânica (MO) = 2,9 g dm⁻³, K = 1,9 mmol_c dm⁻³, Ca = 10,0 mmol_c dm⁻³, Mg = 4,0 mmol_c dm⁻³, H+Al = 40,0 mmol_c dm⁻³, soma de bases (SB) = 16,0 mmol_c dm⁻³, saturação por bases = 28,8%. Utilizou-se como meta atingir uma saturação de bases de 70% e foi aplicado superficialmente 2307 kg ha⁻¹ de

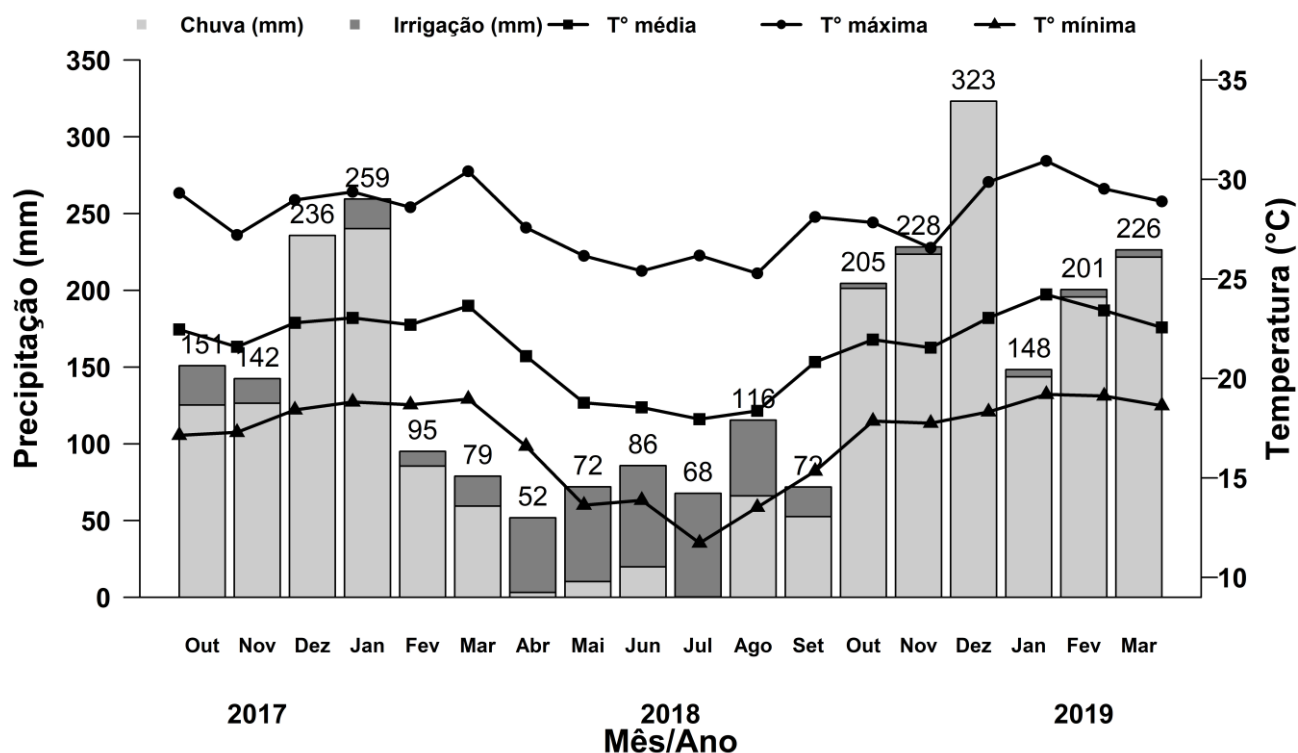
calcário dolomítico (36-38% de óxido de Cálcio – CaO e 12 a 14% de óxido de magnésio - MgO) utilizando uma espalhadora de calcário. O calcário foi então incorporado ao solo por meio de uma aração e duas gradagens.

A semeadura (2 e 5 kg ha⁻¹ de sementes puras para os cultivares Marandu e Mombaça, respectivamente) e adubação fosfatada (100 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato simples - 18% de P₂O₅ e 20% de Ca) ocorreram no dia 01/11/2015. A adubação com fósforo se repetiu no mês de outubro de cada ano e foi aplicada à lanço. As adubações de N e K₂O ocorreram ao longo de cada ano logo após a colheita da forragem, cada parcela recebeu 50 kg de N e K₂O ha⁻¹ divididos em 11 adubações em função dos ciclos de rebrotação. Foram utilizados como fonte de N e K₂O sulfato de amônio (20% N e 22% S) e cloreto de potássio (58% de K₂O).

Quanto ao suprimento de água, as parcelas que receberam irrigação foram separadas espacialmente por um corredor de 7 metros daquelas parcelas que não receberam irrigação. Para proceder a irrigação, foi instalado um sistema de irrigação por aspersão. A lâmina de irrigação foi controlada com base na evapotranspiração de referência conforme Allen et al. (1998).

O período experimental foi de 18 meses iniciando-se no dia 25 de outubro de 2017 e se estendendo até 24 de março de 2019, ocorrendo 16 ciclos de rebrotação (a cada 28 dias no verão agrostológico e 42 dias no inverno agrostológico) em que as parcelas foram submetidas aos tratamentos. Os dados de precipitação diária (mm) e de temperatura mínima, média e máxima (°C) do verão e do inverno agrostológico de cada ano foram coletados da estação meteorológica da Universidade distante 1 km da área experimental (FIGURA 1).

Figura 1 – Precipitação (mm) + Irrigação (mm) e médias mensais de temperatura, máximas, médias e mínimas (° C) em Lavras, MG de outubro de 2017 a março de 2019.



Fonte: Do autor (2021).

2.2 Acúmulo de forragem (AF) e composição morfológica

As parcelas foram mantidas sob frequências de corte de 28 dias durante o verão agrostológico (outubro a abril) e 42 dias durante o inverno agrostológico (maio a setembro) totalizando 11 ciclos de rebrotação por ano. No final de cada ciclo de rebrotação mensurou-se o acúmulo de forragem (AF) em dois pontos médios da parcela, colhendo-se a forragem delimitada o interior de molduras metálicas retangulares (0,5 × 1,0 m) a 15 cm do nível do solo para o cultivar Marandu (GIACOMINI et al., 2009) e a 40 cm do nível do solo para o cultivar Mombaça (CARNEVALLI et al., 2006), para tanto utilizou-se um aparador de cerca viva. As amostras frescas foram acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e levadas ao Laboratório de Forragicultura. As amostras de forragem fresca foram pesadas e divididas em duas subamostras com peso de aproximadamente 400 g, uma subamostra foi acondicionada em saco de papel, pesada e logo em seguida levada para a estufa de circulação de ar forçada a 55 °C para determinação do teor de matéria seca (MS). A outra subamostra foi submetida a separação dos componentes morfológicos (lâmina foliar, colmo+ bainha, inflorescência (colmo reprodutivo) e material morto). Estas amostras também foram acondicionadas em

sacos de papel, pesadas e levadas para a estufa de circulação de ar forçada a 55 °C para determinação da composição morfológica do dossel.

O AF (kg MS ha⁻¹), a produção de folha (kg MS ha⁻¹), colmo (kg MS ha⁻¹), colmo reprodutivo - kg MS ha⁻¹) e material morto (kg MS ha⁻¹) foram calculadas usando a média das massas secas de cada amostra da parcela acima do resíduo para cada cultivar. Calculou-se também a relação folha: colmo. Realizou também o cálculo da taxa de acúmulo de forragem (kg MS ha⁻¹ dia⁻¹) e o teor de matéria seca (%).

2.3 Eficiência de utilização da água

As parcelas foram irrigadas quando a precipitação pluviométrica não era suficiente para manter a condição de umidade do solo, acionando-se o sistema de irrigação cuja lâmina d'água era de 6,4 mm h⁻¹ e a intensidade de aplicação (IA – mm hora⁻¹) foi em função da Irrigação Total Necessária (ITN) pelo tempo de irrigação (horas).

A determinação da precipitação efetiva, foi calculada por meio do coeficiente de escoamento superficial de 70% (MILLAR, 1978) e 30% da precipitação foi perdida por escoamento superficial. Para chegar na lâmina total (mm) realizou a soma da precipitação pluviométrica acumulada (mm) e a lâmina de irrigação acumulada (mm). A partir disso calculou-se a eficiência de utilização da água (EUA – kg MS ha⁻¹ mm⁻¹):

- Eficiência de Utilização da Água (EUA) = Acúmulo de Forragem (kg MS ha⁻¹) / Lâmina total (mm); em kg MS ha⁻¹ mm⁻¹.

2.4 Eficiência de utilização do nitrogênio

Amostras de AF dos cultivares Marandu e Mombaça foram coletadas em duplicata, e essas foram levadas à estufa de ventilação forçada a 55°C por 72h para determinação da MS (AOAC, 1990) e, posteriormente moídos em moinho do tipo Willey com peneira de crivo de 1 mm para determinação do teor de N, conforme AOAC (1990). De acordo com Silva et al. (2011) os valores de acúmulo de N foram obtidos pelo teor de N na planta. Com os dados de AF e acúmulo de N (AN), foram calculados os seguintes índices:

- Recuperação do Nitrogênio Aplicado (RNA) = Acúmulo de N (kg) na dose 550 - Acúmulo de N (kg) na dose 0 / Dose de N aplicada (kg) × 100; em % (FAGERIA, 1998);

- Eficiência Agronômica do N Aplicado (EA) = AF na dose 550 (kg de MS) – AF na dose 0 (kg de MS) / Dose de N (kg N aplicado) (FAGERIA, 1998);

• Eficiência Fisiológica (EF) = AF na dose 550 (kg de MS) – AF na dose 0 (kg de MS) / AN na dose 550 (kg) – AN na dose 0 (kg) (FAGERIA, 1998).

Os valores de RNA, EA e EF foram calculados com base nas variáveis AF e AN.

2.5 Análise estatística

Os dados foram analisados utilizando modelos lineares mistos utilizando a função *lmerTest* do pacote *lmerTest* do programa estatístico R (R CORE TEAM, 2021) com a dose de N, sistema de produção e as interações dos tratamentos como efeitos fixos, e os blocos como efeitos aleatórios. As estações do ano foram o verão agrostológico 1 (outubro de 2017 a abril de 2018), inverno agrostológico 1 (maio a setembro de 2018) e o verão agrostológico 2 (outubro de 2018 a março de 2019) e seu efeito foi incluído como medida repetida no tempo. O modelo estatístico do esquema fatorial em DBC em esquema de medidas repetidas no tempo é definido por (HINKELMANN; KEMPTHORNE, 2008):

$$y_{ijkl} = \mu + \delta_l + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \gamma_{(ijl)} + \tau_k + \alpha\tau_{ik} + \beta\tau_{jk} + \alpha\beta\tau_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

em que,

y_{ijkl} é o valor observado para a variável resposta; μ é uma constante inerente a todas as observações; δ_l é o efeito l -ésimo bloco, $l = 1, 2, 3$; α_i é o efeito da i -ésima dose de N, $i = 1, 2$; β_j é o efeito do j -ésimo sistema de produção, $j = 1, 2$; $\alpha\beta_{ij}$ é o efeito da interação entre a dose de N \times sistema de produção; $\gamma_{(ijl)}$ é erro experimental a nível de parcela; τ_k é o efeito da k -ésima estação do ano, $k = 1, 2, 3$; $\alpha\tau_{ik}$ é o efeito da interação dose de N \times estação do ano; $\beta\tau_{jk}$ é o efeito da interação sistema de produção \times estação do ano; $\alpha\beta\tau_{ijk}$ é o efeito da interação dose de N \times sistema de produção \times estação do ano; ε_{ijkl} é o erro experimental a nível de subparcelas. Utilizou-se o teste de médias de *t-Student* a 5% de significância para comparação das médias da dose de N e do sistema de produção, para o efeito da estação do ano utilizou o teste de médias de Tukey ($P < 0,05$).

3 RESULTADOS

3.1 *Urochloa brizantha* cv. Marandu

Houve interação entre dose de N \times estação para o AF ($P < 0,0001$), TAF ($P < 0,0001$), produção de folha ($P < 0,0001$), produção de colmo ($P = 0,0012$), AN ($P < 0,0001$) e EUA ($P = 0,0049$; TABELA 1) para o cultivar Marandu. O AF no verão (2018), inverno (2018) e verão (2019) foram 72, 62 e 58% maiores na dose 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ em relação a dose

0. O AF na dose 0 foi 73% maior no verão (2018) em relação ao inverno (2018). Na dose 550 os dois verões (2018 e 2019) foram 80 e 82% maiores do que no inverno (2018). A TAF nos dois verões (2018 e 2019) foram 72 e 57% maiores na dose 550 × dose 0 e no inverno (2018) não houve diferença significativa ($P = 0,0583$) entre as doses de adubação nitrogenada. A TAF na dose 0 nos dois verões (2018 e 2019) foram 67 e 77% maiores do que no inverno (2018) e na dose 550 os dois verões (2018 e 2019) foram 72 e 57% maiores do que no inverno (2018).

A produção de folha no verão (2018), inverno (2018) e verão (2019) foram 73, 70 e 63% maiores na dose 550 × dose 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. A produção de folha na dose 0 foram 77 e 86% maiores nos dois verões (2018 e 2019) em relação ao inverno (2018). Na dose 550 os dois verões (2018 e 2019) foram 82 e 83% maiores do que no inverno (2018). A produção de colmo nos dois verões (2018 e 2019) foram 85 e 66% maiores na dose 550 × dose 0 e no inverno (2018) não houve diferença significativa ($P = 0,6446$) entre as doses de adubação nitrogenada. Para a produção de colmo na dose 0 não houve diferença significativa para a estação do ano ($P = 0,0609$) e na dose 550 os dois verões (2018 e 2019) foram 91% maiores do que no inverno (2018).

O AN nos dois verões (2018 e 2019) foram 77 e 67% maiores na dose 550 × dose 0 e no inverno (2018) não houve diferença significativa ($P = 0,0879$) entre as doses de N. O AN na dose 0 nos dois verões (2018 e 2019) foram 79 e 85% maiores do que no inverno (2018) e na dose 550 os dois verões (2018 e 2019) foram 82 e 81% maiores do que no inverno (2018). A EUA no verão (2018), inverno (2018) e verão (2019) foram 66, 58 e 60% maiores na dose 550 × dose 0. A EUA na dose 0 não houve diferença significativa ($P = 0,2535$) da estação e na dose 550 o verão (2018) foi 60 e 49% maiores do que no inverno (2018) e verão (2019).

Não houve interação entre a dose de N × estação para o teor de matéria seca ($P = 0,8362$), colmo reprodutivo ($P = 0,7356$), material morto ($P = 0,4857$) e relação folha: colmo ($P = 0,7420$; TABELA 1) para o cultivar Marandu. Houve diferença significativa das estações para o teor de matéria seca ($P < 0,0001$), colmo reprodutivo ($P = 0,0022$), material morto ($P = 0,0296$) e relação folha: colmo ($P = 0,0318$). Para o teor de MS (%) os dois verões (2018 e 2019) foram 37 e 38% menores em relação ao inverno (2018). Para o colmo reprodutivo obteve-se 60% a mais no verão (2018) em relação ao verão (2019). A produção de material morto no verão (2019) foi 49% maior do que no verão (2018) e 70% maior do que no inverno (2018). A relação folha: colmo no verão (2018) foi 63% maior do que no

inverno (2018). Houve diferença significativa da dose de N no teor de matéria seca ($P = 0,0062$) com 31% a mais de MS na dose 0 (33,9%) em comparação a de 550 kg de N ha^{-1} ano^{-1} (23,6%). Não houve diferença da dose de N na produção de colmo reprodutivo ($P = 0,1085$), produção de material morto ($P = 0,2048$) e na relação folha: colmo ($P = 0,7365$).

Tabela 1 - Efeito da adubação nitrogenada (kg N ha⁻¹ ano⁻¹) nas características agrônômicas do cultivar Marandu nas diferentes estações do ano.

Variáveis agrônômicas		Estação			Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p*
		Verão (2018)	Inverno (2018)	Verão (2019)				
Acúmulo de forragem (kg MS ha ⁻¹)	0	3353b	893c	5367a	3204	673	<0,0001	
	550	12081a	2370b	12934a	9128	673	<0,0001	
	Média	7717	1631	9350				<0,0001
	EPM	784	639	784				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0236	<0,0001				
Taxa de acúmulo de forragem (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹)	0	20,0a	6,6b	29,5a	18,7	4,62	<0,0001	
	550	71,8a	16,7b	68,6a	52,3	4,62	<0,0001	
	Média	45,9	11,6	49,1				<0,0001
	EPM	4,30	5,27	4,30				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0583	<0,0001				
Matéria seca (%)	0	28,3	45,0	28,5	33,9	2,8	0,0003	
	550	19,8	32,3	18,9	23,6			
	Média	24,1 b	38,6 a	23,7 b				0,8362
	EPM		3,4					
	Valor-p [¶]		<0,0001					
Folha (kg MS ha ⁻¹)	0	2730a	555b	4111a	2465	773	<0,0001	
	550	10245a	1844b	11020a	7703	773	<0,0001	
	Média	6488	1199	7565				<0,0001
	EPM	548	447	548				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0044	<0,0001				
Colmo (kg MS ha ⁻¹)	0	151a	38a	362a	184	169	0,0609	
	550	1024a	92b	1070a	729	169	<0,0001	
	Média	587	65	716				0,0012
	EPM	146	117	146				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,6446	<0,0001				
Colmo reprodutivo (kg MS ha ⁻¹)	0	283	132	129	181	99	0,1085	
	550	215	133	68	148			
	Média	249a	133ab	98b				0,7356
	EPM		70					
	Valor-p [¶]		0,0022					
Material morto (kg MS ha ⁻¹)	0	185	164	760	370	300	0,2106	
	550	597	297	774	556			
	Média	391b	231b	767a				0,4857
	EPM		158					
	Valor-p [¶]		0,0296					
Relação folha: colmo	0	23,8	10,1	20,6	18,1	6,2	0,7365	
	550	31,0	10,1	19,3	20,1			
	Média	27,4a	10,1b	19,9ab				0,7420
	EPM		6,3					
	Valor-p [¶]		0,0318					
Acúmulo de N (kg)	0	60,5a	12,6 b	83,4a	52,2	18,5	<0,0001	
	550	267,6a	47,5 b	255,5a	190,2	18,5	<0,0001	
	Média	164,0	60,1	169,4				<0,0001
	EPM	18,5	17,2	19,9				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0859	<0,0001				
Eficiência do uso da água (kg MS ha ⁻¹ mm ⁻¹)	0	38,5a	19,1a	23,2a	26,9	9,0	0,2535	
	550	114,4a	45,2b	58,4b	72,6	9,0	<0,0001	
	Média	76,5	32,1	40,8				0,0049
	EPM	9,8	9,8	9,8				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0476	0,0005				

* Valor-p da análise de variância da estação × doses de N; §Valor-p do desdobramento da interação da estação × doses de N (P < 0,05) e valor-p para as doses de N; †Valor-p do contraste da interação doses de N × estação; ¶Valor-p da análise de variância das estações; EPM: Erro-padrão da média. Letras distintas minúsculas nas linhas são estatisticamente significativas ao teste de Tukey (P < 0,05).

Fonte: Do autor (2021).

Houve interação entre os sistemas de produção × estação para o AF (P = 0,0257), teor de matéria seca (P = 0,0022), produção de folha (P < 0,0001), produção de colmo (P =

0,0297) e EUA ($P = 0,0419$; TABELA 2) para o cultivar Marandu. O AF nos dois verões (2018 e 2019) foram semelhantes nos sistemas de produção ($P = 0,4741$ e $P = 0,3121$) e no inverno (2018) foi 69% maior no irrigado \times sequeiro. O AF no sistema irrigado nos dois verões (2018 e 2019) foram 69 e 71% maiores do que no inverno (2018) e no sistema sequeiro o AF no verão (2019) foram 92 e 25% maiores do que no inverno (2018) e verão (2018). O teor de MS nos dois verões (2018 e 2019) foram semelhantes nos sistemas de produção ($P = 0,8032$ e $P = 0,8388$) e no inverno (2018) foi 37% menor no irrigado \times sequeiro. O teor de MS no sistema irrigado e sequeiro não foram significativos na estação ($P = 0,5620$ e $P = 0,1386$).

A produção de folha nos dois verões (2018 e 2019) foram semelhantes nos sistemas de produção ($P = 0,7761$ e $P = 0,4013$) e no inverno (2018) foi 72% maior no irrigado \times sequeiro. A produção de folha no sistema irrigado os dois verões (2018 e 2019) foram 72 e 75% maiores do que no inverno (2018) e no sistema sequeiro os dois verões (2018 e 2019) foram 92 e 93% maiores do que no inverno (2018). A produção de colmo no verão (2018), inverno (2018) e verão (2019) foram semelhantes nos sistemas de produção ($P = 0,1735$, $P = 0,4671$ e $P = 0,0548$). A produção de colmo no sistema irrigado os dois verões (2018 e 2019) foram 84 e 81% maiores do que no inverno (2018) e no sistema sequeiro o verão (2019) foi 97 e 44% maiores do que no inverno (2018) e verão (2018).

A EUA nos dois verões (2018 e 2019) foram semelhantes nos sistemas de produção ($P = 0,2083$ e $P = 0,6309$) e no inverno (2018) foi 80% maior no irrigado \times sequeiro. A EUA no sistema irrigado no verão (2018) foi 49 e 45% maior do que no inverno (2018) e verão (2019) e no sistema sequeiro o verão (2018) foi 91 e 48% maiores do que no inverno (2018) e verão (2019).

Não houve interação do sistema de produção \times estação para a TAF ($P = 0,0844$), colmo reprodutivo ($P = 0,2842$), material morto ($P = 0,6564$), relação folha: colmo ($P = 0,9848$) e AN ($P = 0,1170$; TABELA 2) para o cultivar Marandu. Houve diferença da estação para a TAF ($P < 0,0001$), colmo reprodutivo ($P = 0,0022$), material morto ($P = 0,0296$), relação folha: colmo ($P = 0,0318$) e AN ($P < 0,0001$). A TAF nos dois verões (2018 e 2019) foram 75 e 76% maiores do que no inverno (2018). O AN nos dois verões (2018 e 2019) foram 82 e 85% maiores do que no inverno (2018). Houve diferença significativa do sistema de produção no colmo reprodutivo ($P = 0,0296$) com 33% a mais no sistema irrigado (192 kg MS ha⁻¹) em comparação ao sequeiro (128 kg MS ha⁻¹). Não houve diferença do sistema

de produção na TAF ($P = 0,3149$), produção de material morto ($P = 0,5441$), relação folha: colmo ($P = 0,8169$) e AN ($P = 0,3269$).

Tabela 2 - Efeito do sistema de produção (Irrigado e Sequeiro) nas características agronômicas do cultivar Marandu nas diferentes estações do ano.

Variáveis agronômicas		Estação			Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p*
		Verão (2018)	Inverno (2018)	Verão (2019)				
Acúmulo de forragem (kg MS ha ⁻¹)	Irrigado	8001 a	2488 b	8749 a	6413	673	< 0,0001	0,0257
	Sequeiro	7434 b	775 c	9952 a	6054	673	< 0,0001	
	Média	7717	1631	9350				
	EPM	784	639	784				
	Valor-p [†]	0,4741	0,0091	0,3121				
Taxa de acúmulo de forragem (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹)	Irrigado	47,5	17,6	47,4	37,5	2,7	0,3149	0,0844
	Sequeiro	44,3	5,6	50,8	33,0			
	Média	45,9 a	11,6 b	49,1 a				
	EPM		3,3					
	Valor-p [¶]		< 0,0001					
Matéria seca (%)	Irrigado	24,6 a	29,9 a	23,3 a	25,9	23,0	0,5620	0,0222
	Sequeiro	23,5 a	47,4 a	24,2 a	31,7	23,0	0,1386	
	Média	24,1	38,6	23,7				
	EPM	4,48	5,49	4,48				
	Valor-p [†]	0,8032	0,0017	0,8388				
Folha (kg MS ha ⁻¹)	Irrigado	6565 a	1869 b	7335 a	5256	773	< 0,0001	< 0,0001
	Sequeiro	6409 a	530 b	7796 a	4912	773	< 0,0001	
	Média	6487	1199	7565				
	EPM	548	447	548				
	Valor-p [†]	0,7761	0,0031	0,4013				
Colmo (kg MS ha ⁻¹)	Irrigado	689 a	108 b	570 a	456	169	< 0,0001	0,0297
	Sequeiro	485 b	22 c	862 a	456	169	< 0,0001	
	Média	587	55	716				
	EPM	146	117	146				
	Valor-p [†]	0,1735	0,4671	0,0548				
Colmo reprodutivo (kg MS ha ⁻¹)	Irrigado	291	184	101	192	99	0,0296	0,2842
	Sequeiro	206	82	96	128			
	Média	249 a	133 a	98 b				
	EPM		70					
	Valor-p [¶]		0,0022					
Material morto (kg MS ha ⁻¹)	Irrigado	452	324	739	505	300	0,5441	0,6564
	Sequeiro	329	138	795	421			
	Média	391 b	231 b	767 a				
	EPM		158					
	Valor-p [¶]		0,0296					
Relação folha: colmo	Irrigado	28,1	11,5	20,2	19,9	6,2	0,8199	0,9848
	Sequeiro	26,7	8,7	19,7	18,4			
	Média	27,4 a	10,1 b	19,9 ab				
	EPM		6,3					
	Valor-p [¶]		0,0318					
Acúmulo de N (kg)	Irrigado	170,1	41,7	180,2	130,6	19,1	0,3269	0,1170
	Sequeiro	157,0	14,5	193,2	121,6			
	Média	163,5 a	28,1 b	186,7 a				
	EPM		17,4					
	Valor-p [¶]		< 0,0001					
Eficiência do uso da água (kg MS ha ⁻¹ mm ⁻¹)	Irrigado	70,2 a	35,5 b	38,4 b	48,0	9,0	0,0008	0,0419
	Sequeiro	82,7 a	7,1 c	43,2 b	44,3	9,0	< 0,0001	
	Média	76,5	21,3	40,8				
	EPM	9,8	9,8	9,8				
	Valor-p [†]	0,2083	0,0319	0,6309				

*Valor-p da análise de variância da estação × sistema de produção; §Valor-p do desdobramento da interação das estação × sistema de produção ($P < 0,05$) e valor-p para o sistema de produção; †Valor-p do contraste da interação sistema de produção × estação; ¶Valor-p da análise de variância das estações; EPM: Erro-padrão da média. Letras distintas minúsculas nas linhas são estatisticamente significativas ao teste de Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: Do autor (2021).

Houve interação entre a dose de N \times sistema de produção para o AF ($P = 0,0128$), TAF ($P = 0,0130$), produção de folha ($P = 0,0099$), produção de colmo reprodutivo ($P = 0,0161$), AN ($P = 0,0438$) e EUA ($P = 0,0429$; TABELA 3) para o cultivar Marandu.

O AF no sistema irrigado foi 73% maior na dose 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ em relação a dose 0 e o AF no sistema sequeiro foi 54% maior na dose 550 \times dose 0. Não houve diferença significativa quando compara o AF ($P = 0,2337$) na dose 0 no sistema de produção e quando realiza a adubação de 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ houve diferença no AF ($P = 0,0107$), com 19% a mais no sistema irrigado \times sequeiro. A TAF no sistema irrigado foi 73% maior na dose 550 \times dose 0 e a TAF no sistema sequeiro foi 54% maior na dose 550 \times dose 0. Não houve diferença significativa quando compara o TAF ($P = 0,2224$) na dose 0 e quando realiza a adubação de 550 houve diferença na TAF ($P = 0,0130$), com 19% a mais no sistema irrigado \times sequeiro. A produção de folha no sistema irrigado foi 75% maior na dose 550 \times dose 0 e no sistema sequeiro foi 60% maior na dose 550 \times dose 0. Não houve diferença significativa quando compara o TAF ($P = 0,2224$) na dose 0 e quando realiza a adubação de 550 houve diferença na TAF ($P = 0,0130$), com 19% a mais no sistema irrigado \times sequeiro.

Para o colmo reprodutivo (kg MS ha^{-1}) no sistema irrigado não houve diferença significativa ($P = 0,4232$) entre as doses de N e no sistema sequeiro houve diferença significativa ($P = 0,0166$), com 63% a mais de colmo reprodutivo na dose 0 (560 kg MS ha^{-1}) em comparação a de 550 (207 kg MS ha^{-1}). Não houve diferença significativa no colmo reprodutivo ($P = 0,9505$) dentro da dose 0 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ e na dose 550 houve diferença significativa ($P = 0,0019$), sendo 67% maior no sistema irrigado \times sequeiro.

O AN no sistema irrigado foi 79% maior na dose 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ em relação a dose 0 e o AN no sistema sequeiro foi 65% maior na dose 550 \times dose 0. Não houve diferença significativa quando compara o AN ($P = 0,3986$) na dose 0 e quando realiza a adubação de 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ houve diferença significativa no AN ($P = 0,0497$), com 19% a mais no sistema irrigado \times sequeiro. A EUA no sistema irrigado foi 72% maior na dose 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ em relação a dose 0 e a EUA no sistema sequeiro foi 53% maior na dose 550 \times dose 0. Não houve diferença significativa quando compara a EUA na dose 0 ($P = 0,3546$) e dose 550 ($P = 0,0519$) do sistema irrigado \times sequeiro.

Não houve interação entre as doses de N \times sistema de produção para o teor de matéria seca ($P = 0,9202$), colmo ($P = 0,3566$), material morto ($P = 0,0832$) e relação folha: colmo ($P = 0,9812$; TABELA 3) para o cultivar Marandu. Não houve diferença significativa do sistema de produção para o teor de matéria seca ($P = 0,1244$), colmo ($P = 0,8949$), material

morto ($P = 0,5441$) e relação folha: colmo ($P = 0,8199$) e também não houve diferença significativa das doses de N para a produção de material morto ($P = 0,2048$) e relação folha: colmo ($P = 0,7365$) e houve diferença significativa das doses de N para o teor de matéria seca ($P = 0,0062$) e a produção de colmo ($P = 0,0011$), sendo 31% maior a MS da dose 0 (32.6%) \times 22.6% da dose 550. A produção de colmo foi 75% maior na dose 550 \times 0.

Tabela 3 - Efeito da adubação nitrogenada (kg N ha⁻¹ ano⁻¹) nas características agrônômicas do cultivar Marandu nos sistemas de produção (Irrigado e Sequeiro).

Variáveis agrônômicas		Sistemas de produção		Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p [*]
		Irrigado	Sequeiro				
Acúmulo de forragem (kg MS ha ⁻¹)	0	8094	11134	9614	1856	0,2337	0,0128
	550	30384	24389	27386			
	Média	19239	17761				
	EPM	1856					
	Valor-p [†]	< 0,0001	< 0,0001				
Taxa de acúmulo de forragem (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹)	0	17,0	23,4	20,2	3,8	0,2224	0,0130
	550	62,9	50,8	56,8			
	Média	39,9	37,1				
	EPM	3,8					
	Valor-p [†]	< 0,0001	0,0005				
Matéria seca (%)	0	30,3	34,8	32,6	2,8	0,0062	0,9202
	550	20,6	24,6	22,6			
	Média	25,4	29,7				
	EPM	2,8					
	Valor-p [¶]	0,1244					
Folha (kg MS ha ⁻¹)	0	6302	8488	7395	1288	0,1758	0,0099
	550	25237	20983	23110			
	Média	15769	14735				
	EPM	1288					
	Valor-p [†]	< 0,0001	< 0,0001				
Colmo (kg MS ha ⁻¹)	0	421	680	550	261	0,0011	0,3566
	550	2312	2058	2185			
	Média	1366	1369				
	EPM	261					
	Valor-p [¶]	0,8949					
Colmo reprodutivo (kg MS ha ⁻¹)	0	528	560	544	140	0,9505	0,0161
	550	625	207	416			
	Média	576	384				
	EPM	140					
	Valor-p [†]	0,4232	0,0166				
Material morto (kg MS ha ⁻¹)	0	827	1390	1108	300	0,2048	0,0832
	550	2202	1133	1667			
	Média	1514	1261				
	EPM	300					
	Valor-p [¶]	0,5441					
Relação folha: colmo	0	19,9	18,6	19,3	6,2	0,7365	0,9812
	550	22,1	20,6	21,4			
	Média	21,0	19,6				
	EPM	6,2					
	Valor-p [¶]	0,8199					
Acúmulo de N (kg)	0	128,1	177,2	152,6	54,3	0,3986	0,0438
	550	623,0	505,9	564,4			
	Média	375,5	341,5				
	EPM	54,3					
	Valor-p [†]	0,0001	0,0012				
Eficiência do uso da água (kg MS ha ⁻¹ mm ⁻¹)	0	62,2	85,0	73,6	23,2	0,3546	0,0429
	550	226,2	180,9	203,5			
	Média	114,2	132,9				
	EPM	23,2					
	Valor-p [†]	0,0001	0,0018				

* Valor-p da análise de variância dos sistema de produção × doses de N; §Valor-p do desdobramento da interação dos sistema de produção × dose de N (P < 0,05) e valor-p para as doses de N; †Valor-p do contraste da interação doses de N × sistema de produção; ¶Valor-p da análise de variância do sistema de produção; EPM: Erro-padrão da média.

Fonte: Do autor (2021).

3.2 *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça

Houve interação entre a dose de N \times estação para o AF ($P < 0,0001$), TAF ($P < 0,0001$), produção de folha ($P < 0,0001$), produção de colmo ($P = 0,0008$), AN ($P < 0,0001$) e EUA ($P = 0,0011$; TABELA 4) para o cultivar Mombaça. O AF no verão (2018) e verão (2019) foram 74 e 69% maiores na dose 550 \times dose 0 e no inverno (2018) não houve diferença significativa ($P = 0,3451$). O AF na dose 0 o verão (2019) foi 36 e 88% maior do que no verão (2018) e inverno (2018). Na dose 550 o verão (2019) foi 26 e 96% maior do que no verão (2018) e inverno (2018). A TAF no verão (2018) e verão (2019) foram 74 e 69% maiores na dose 550 \times dose 0 e no inverno (2018) não houve diferença significativa ($P = 0,4432$). A TAF na dose 0 os dois verões (2018 e 2019) foram 78 e 85% maiores do que no inverno (2018). Na dose 550 o verão (2019) foi 17 e 90% maior do que no verão (2018) e inverno (2018).

A produção de folha no verão (2018) e verão (2019) foram 73 e 68% maiores na dose 550 \times dose 0 e no inverno (2018) não houve diferença significativa ($P = 0,3272$). A produção de folha na dose 0 o verão (2019) foi 37 e 90% maior do que no verão (2018) e inverno (2018). Na dose 550 o verão (2019) foi 25 e 93% maior do que no verão (2018) e inverno (2018). A produção de colmo no verão (2018) e verão (2019) foram 98 e 96% maiores na dose 550 \times dose 0 e no inverno (2018) não houve diferença significativa ($P = 0,9099$). A produção de colmo na dose 0 a estação do ano não foi significativa ($P = 0,9769$). Na dose 550 o verão (2019) foi 44 e 97% maior do que no verão (2018) e inverno (2018).

O AN no verão (2018) e verão (2019) foram 78 e 70% maiores na dose 550 \times dose 0 e no inverno (2018) não houve diferença significativa ($P = 0,4273$). O AN na dose 0 os dois verões (2018 e 2019) foram 80 e 88% maior do que no inverno (2018). O AN na dose 550 o verão (2019) foi 19 e 90% maior do que no verão (2018) e inverno (2018). A EUA nos dois verões (2018 e 2019) foram 73 e 69% maiores na dose 550 \times dose 0 e no inverno (2018) não houve diferença significativa ($P = 0,1653$). A EUA na dose 0 não houve diferença significativa ($P = 0,3529$) da estação e na dose 550 o verão (2018) foi 81 e 36% maiores do que no inverno (2018) e verão (2019).

Não houve interação entre a dose de N \times estação para o teor de matéria seca ($P = 0,7292$), colmo reprodutivo ($P = 0,3282$), material morto ($P = 0,4437$) e relação folha: colmo ($P = 0,1442$; TABELA 4) para o *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça.

Houve diferença significativa da estação para o teor de matéria seca ($P < 0,0001$), colmo reprodutivo ($P < 0,0001$), material morto ($P = 0,0090$) e relação folha: colmo ($P =$

0,0043). Houve maior MS (23%) no inverno (2018) em relação aos dois verões (2018 e 2019) e menor relação folha: colmo (61 e 72%) no inverno (2018) × dois verões (2018 e 2019). Para o colmo reprodutivo obteve-se 100% a menos no verão (2019) em comparação ao inverno (2018) e material morto 52% a mais, no verão (2019) × inverno (2018). Houve diferença significativa da dose de N no teor de matéria seca ($P = 0,0021$), sendo 19% a mais de MS na dose 0 (31,2%) × 550 (25,2%). Também houve diferença significativa da dose de N na produção de material morto ($P = 0,0066$) e na relação folha: colmo (0,0015), sendo 53 e 74% maiores na dose 550 × 0. Não houve diferença da dose de N na produção de colmo reprodutivo ($P = 0,3074$).

Tabela 4 - Efeito da adubação nitrogenada (kg N ha⁻¹ ano⁻¹) nas características agrônômicas do cultivar Mombaça nas diferentes estações do ano.

Variáveis agrônômicas		Estação			Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p*
		Verão (2018)	Inverno (2018)	Verão (2019)				
Acúmulo de forragem (kg MS ha ⁻¹)	0	3974 b	724 c	6245 a	3647	852	< 0,0001	< 0,0001
	550	15110 b	1554 c	20422 a	12362	852	< 0,0001	
	Média	9542	1139	13333				
	EPM	1102	870	1102				
	Valor-p [†]	< 0,0001	0,3451	< 0,0001				
Taxa de acúmulo de forragem (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹)	0	23,8 a	5,1 b	33,9 a	20,9	5,83	< 0,0001	< 0,0001
	550	90,2 b	10,6 c	108,2 a	69,7	5,83	< 0,0001	
	Média	57,0	7,8	71,0				
	EPM	6,1	7,1	6,1				
	Valor-p [†]	< 0,0001	0,4432	< 0,0001				
Matéria seca (%)	0	29,1	35,6	28,9	31,2	1,2	0,0021	0,7292
	550	22,4	31,2	22,1	25,2			
	Média	25,7 b	33,4 a	25,5 b				
	EPM		1,3					
	Valor-p [¶]		< 0,0001					
Folha (kg MS ha ⁻¹)	0	3889 b	618 c	6155 a	3554	799	< 0,0001	< 0,0001
	550	14615 b	1410 c	19576 a	11867	799	< 0,0001	
	Média	9252	1014	12865				
	EPM	1006	800	1006				
	Valor-p [†]	< 0,0001	0,3272	< 0,0001				
Colmo (kg MS ha ⁻¹)	0	7 a	4 a	26 a	12	97	0,9769	0,0008
	550	407 b	15 c	725 a	382	97	< 0,0001	
	Média	207	9	375				
	EPM	126	99	126				
	Valor-p [†]	0,0045	0,9099	< 0,0001				
Colmo reprodutivo (kg MS ha ⁻¹)	0	52	67	0	39	49	0,3074	0,3282
	550	0	74	0	24			
	Média	26 ab	70 a	0 b				
	EPM		30					
	Valor-p [¶]		< 0,0001					
Material morto (kg MS ha ⁻¹)	0	26	34	62	41	18	0,0066	0,4437
	550	87	54	121	87			
	Média	57 ab	44 b	91 a				
	EPM		35					
	Valor-p [¶]		0,0090					
Relação folha: colmo	0	4,0	3,1	24,4	10,5	6,4	0,0015	0,1442
	550	50,4	18,3	51,8	40,2			
	Média	27,2 a	10,7 b	38,1 a				
	EPM		7,8					
	Valor-p [¶]		0,0043					
Acúmulo de N (kg)	0	69,8 a	14,0 b	120,2 a	68,0	29,5	< 0,0001	< 0,0001
	550	323,7 b	37,8 c	399,3 a	253,6	29,5	< 0,0001	
	Média	196,8	25,9	259,8				
	EPM	23,5	27,8	37,2				
	Valor-p [†]	< 0,0001	0,4273	< 0,0001				
Eficiência de uso da água (kg MS ha ⁻¹ mm ⁻¹)	0	39,8 a	12,8 a	28,7 a	27,1	11,0	0,3529	0,0011
	550	146,6 a	27,6 c	94,1 b	89,4	11,0	< 0,0001	
	Média	93,2	20,2	61,4				
	EPM	12,3	12,3	12,3				
	Valor-p [†]	< 0,0001	0,1653	< 0,0001				

* Valor-p da análise de variância da estação × dose de N; [§]Valor-p do desdobramento da interação da estação × dose de N (P < 0,05) e valor-p para as doses de N; [†]Valor-p do contraste da interação doses de N × estação; [¶]Valor-p da análise de variância da estação; EPM: Erro-padrão da média. Letras distintas minúsculas nas linhas são estatisticamente significativas ao teste de Tukey (P < 0,05).

Fonte: Do autor (2021).

Houve interação entre o sistema de produção × estação para o teor de matéria seca ($P = 0,0012$; TABELA 5) para o cultivar Mombaça. A MS (%) nos dois verões (2018 e 2019) foram semelhantes no sistema irrigado ($P = 0,6393$) e no sistema sequeiro ($P = 0,5323$). A MS no inverno (2018) foi 27% maior no sistema sequeiro em relação ao irrigado. A MS no sistema irrigado não foi significativa ($P = 0,9665$) e no sequeiro houve diferença significativa ($P = 0,0003$) sendo 32% maior no inverno (2018) em comparação ao dois verões (2018 e 2019).

Não houve interação do sistema de produção × estação para o AF ($P = 0,1501$), TAF ($P = 0,1825$), produção de folha ($P = 0,1734$), produção de colmo ($P = 0,1564$), colmo reprodutivo ($P = 0,8987$), material morto ($P = 0,1313$), relação folha: colmo ($P = 0,8037$), AN ($P = 0,6393$) e EUA ($P = 0,4452$; TABELA 5) para o cultivar Mombaça.

Houve diferença da estação para o AF ($p < 0,0001$), TAF ($P < 0,0001$), produção de folha ($P < 0,0001$), colmo ($P = 0,0003$), colmo reprodutivo ($P < 0,0001$), material morto ($P = 0,0090$), relação folha: colmo ($P = 0,0043$), AN ($P < 0,0001$) e EUA ($P < 0,0001$). Houve maiores AF (88 e 91%), TAF (86 e 89%), produção de folha (89 e 92%) e AN (89 e 93%) nos dois verões (2018 e 2019) em comparação ao inverno (2018) e do verão (2019) × verão (2018) foram 28% (AF), 20% (TAF), 28% (folha – kg MS ha⁻¹) e 36% (AN). No colmo no verão (2019) obteve-se 97% a mais do que no inverno (2018). Para a EUA o verão (2018) foi 85 e 35% maior em comparação ao inverno (2018) e do verão (2019).

Não houve diferença significativa do sistema de produção no AF ($P = 0,4811$), TAF ($P = 0,4770$), produção de folha ($P = 0,6106$), colmo ($P = 0,0976$), colmo reprodutivo ($P = 0,5176$), material morto ($P = 0,1311$), relação folha: colmo ($P = 0,2337$), AN ($P = 0,9503$) e EUA ($P = 0,1842$).

Tabela 5 - Efeito do sistema de produção (Irrigado e Sequeiro) nas características agrônômicas do cultivar Mombaça nas diferentes estações do ano.

Variáveis agrônômicas		Estação			Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p*
		Verão (2018)	Inverno (2018)	Verão (2019)				
Acúmulo de forragem (kg MS ha ⁻¹)	Irrigado	9335	1518	12383	7745	2096	0,4811	0,1501
	Sequeiro	9749	760	14284	8264			
	Média	9542 b	1139 c	13333 a				
	EPM		1856					
	Valor-p [¶]		< 0,0001					
Taxa de acúmulo de forragem (kg ha ⁻¹ dia ⁻¹)	Irrigado	55,7	10,5	66,0	44,1	4,5	0,4770	0,1825
	Sequeiro	58,2	5,3	76,1	46,5			
	Média	57,0 b	7,8 c	71,0 a				
	EPM		4,0					
	Valor-p [¶]		< 0,0001					
Matéria seca (%)	Irrigado	25,3 a	28,3 a	24,9 a	26,2	1,96	0,9665	0,0012
	Sequeiro	26,2 b	38,6 a	26,1 b	30,3			
	Média	25,7	33,4	25,5				
	EPM	1,84	2,22	1,84				
	Valor-p [†]	0,6393	< 0,0001	0,5323				
Folha (kg MS ha ⁻¹)	Irrigado	9129	1415	12094	7546	1856	0,6106	0,1734
	Sequeiro	9376	612	13637	7875			
	Média	9252 b	1014 c	12865 a				
	EPM		1801					
	Valor-p [¶]		< 0,0001					
Colmo (kg MS ha ⁻¹)	Irrigado	134	10	208	117	243	0,0936	0,1564
	Sequeiro	280	9	542	277			
	Média	207 ab	9 b	375 a				
	EPM		114					
	Valor-p [¶]		0,0003					
Colmo reprodutivo (kg MS ha ⁻¹)	Irrigado	16	66	0	27	49	0,5176	0,8987
	Sequeiro	35	75	0	37			
	Média	26 ab	70 a	0 b				
	EPM		30					
	Valor-p [¶]		< 0,0001					
Material morto (kg MS ha ⁻¹)	Irrigado	57	26	79	54	35	0,1311	0,1313
	Sequeiro	57	62	104	74			
	Média	57 ab	44 b	91 a				
	EPM		35					
	Valor-p [¶]		0,0090					
Relação folha: colmo	Irrigado	30,1	18,1	40,4	29,5	6,4	0,2337	0,8037
	Sequeiro	24,3	3,3	35,8	21,1			
	Média	27,2 a	10,7 b	38,1 a				
	EPM		7,8					
	Valor-p [¶]		0,0043					
Acúmulo de N (kg)	Irrigado	200,7	30,4	257,7	162,9	54,0	0,9503	0,6393
	Sequeiro	192,8	13,4	354,4	186,8			
	Média	196,7 b	21,9 c	306,0 a				
	EPM		45,4					
	Valor-p [¶]		< 0,0001					
Eficiência de uso da água (kg MS ha ⁻¹ mm ⁻¹)	Irrigado	80,8	20,5	55,4	52,2	12,9	0,1842	0,4452
	Sequeiro	105,6	9,3	67,5	60,8			
	Média	93,2 a	14,9 c	61,5 b				
	EPM		11,2					
	Valor-p [¶]		< 0,0001					

*Valor-p da análise de variância da estação × sistema de produção; §Valor-p do desdobramento da interação das estação × sistema de produção (P < 0,05) e valor-p para o sistema de produção; †Valor-p do contraste da interação sistema de produção × estação; ¶Valor-p da análise de variância das estação; EPM: Erro-padrão da média. Letras distintas minúsculas nas linhas são estatisticamente significativas ao teste de Tukey (P < 0,05).

Fonte: Do autor (2021).

Não houve interação entre a dose de N \times sistema de produção para o AF ($P = 0,3602$), TAF ($P = 0,3661$), teor de matéria seca ($P = 0,8097$), produção de folha ($P = 0,4327$), colmo ($P = 0,1036$), colmo reprodutivo ($P = 0,6527$), material morto ($P = 0,1131$), relação folha: colmo ($P = 0,1857$), AN ($P = 0,3238$) e EUA ($P = 0,2451$; TABELA 6) para o cultivar Mombaça.

Houve diferença significativa do sistema de produção para o teor de matéria seca ($P = 0,0333$) com 11% a menos no sistema irrigado (25,9%) \times sequeiro (29,2%). Não houve diferença significativa do sistema de produção para o AF ($P = 0,4811$), TAF ($P = 0,4770$), produção de folha ($P = 0,6106$), colmo ($P = 0,0936$), colmo reprodutivo ($P = 0,5176$), material morto ($P = 0,1311$), relação folha: colmo ($P = 0,2337$), AN ($P = 0,9503$) e EUA ($P = 0,1842$).

Houve diferença significativa da dose de N para o AF ($P < 0,0001$), TAF ($P < 0,0001$), teor de matéria seca ($P = 0,0021$), produção de folha ($P < 0,0001$), colmo ($P = 0,0037$), material morto ($P = 0,0066$), relação folha: colmo ($P = 0,0015$), AN ($P < 0,0001$) e EUA ($P < 0,0001$), com 70% a mais de AF e TAF na dose 550 em comparação a dose 0 e no AN e EUA foi 75 e 70% maior na dose 550 \times 0. A MS foi 21% menor na dose 550 \times 0. A produção de folha, colmo, material morto e relação folha: colmo foram 70, 97, 53 e 73% maiores na dose 550 em comparação a dose 0. Não houve diferença da dose de N para a produção de colmo reprodutivo ($P = 0,3074$).

Tabela 6 - Efeito da adubação nitrogenada ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) nas características agrônômicas do cultivar Mombaça nos sistemas de produção (Irrigado e Sequeiro).

Variáveis agrônômicas		Sistemas de produção		Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p*
		Irrigado	Sequeiro				
Acúmulo de forragem (kg MS ha^{-1})	0	11192	10696	10944	2096	< 0,0001	0,3602
	550	35281	37664	36472			
	Média	23236	24180				
	EPM	2096					
	Valor-p [¶]	0,4811					
Taxa de acúmulo de forragem (kg $\text{ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)	0	23,4	22,4	22,9	4,5	< 0,0001	0,3661
	550	73,2	80,9	77,1			
	Média	48,3	51,6				
	EPM	4,5					
	Valor-p [¶]	0,4770					
Matéria seca (%)	0	28,9	32,5	30,7	1,2	0,0021	0,8097
	550	22,9	25,9	24,4			
	Média	25,9	29,2				
	EPM	1,2					
	Valor-p [¶]	0,0333					
Folha (kg MS ha^{-1})	0	10940	10382	10661	1856	< 0,0001	0,4327
	550	34336	35770	35053			
	Média	22638	23076				
	EPM	1856					
	Valor-p [¶]	0,6106					
Colmo (kg MS ha^{-1})	0	28	45	36	243	0,0037	0,1036
	550	674	1497	1085			
	Média	351	771				
	EPM	243					
	Valor-p [¶]	0,0936					
Colmo reprodutivo (kg MS ha^{-1})	0	96	143	119	49	0,3074	0,6527
	550	70	78	74			
	Média	83	110				
	EPM	49					
	Valor-p [¶]	0,5176					
Material morto (kg MS ha^{-1})	0	124	120	122	35	0,0066	0,1131
	550	200	315	257			
	Média	162	217				
	EPM	35					
	Valor-p [¶]	0,1311					
Relação folha: colmo	0	10,9	11,9	11,4	6,4	0,0015	0,1857
	550	50,9	34,8	42,8			
	Média	30,9	23,3				
	EPM	6,4					
	Valor-p [¶]	0,2337					
Acúmulo de N (kg)	0	215,6	166,6	191,1	54,0	< 0,0001	0,3238
	550	712,0	805,0	758,5			
	Média	463,8	485,8				
	EPM	54,0					
	Valor-p [¶]	0,9503					
Eficiência de uso da água (kg MS $\text{ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)	0	76,3	78,2	77,3	11,0	< 0,0001	0,2451
	550	237,1	286,6	261,8			
	Média	156,7	182,4				
	EPM	12,9					
	Valor-p [¶]	0,1842					

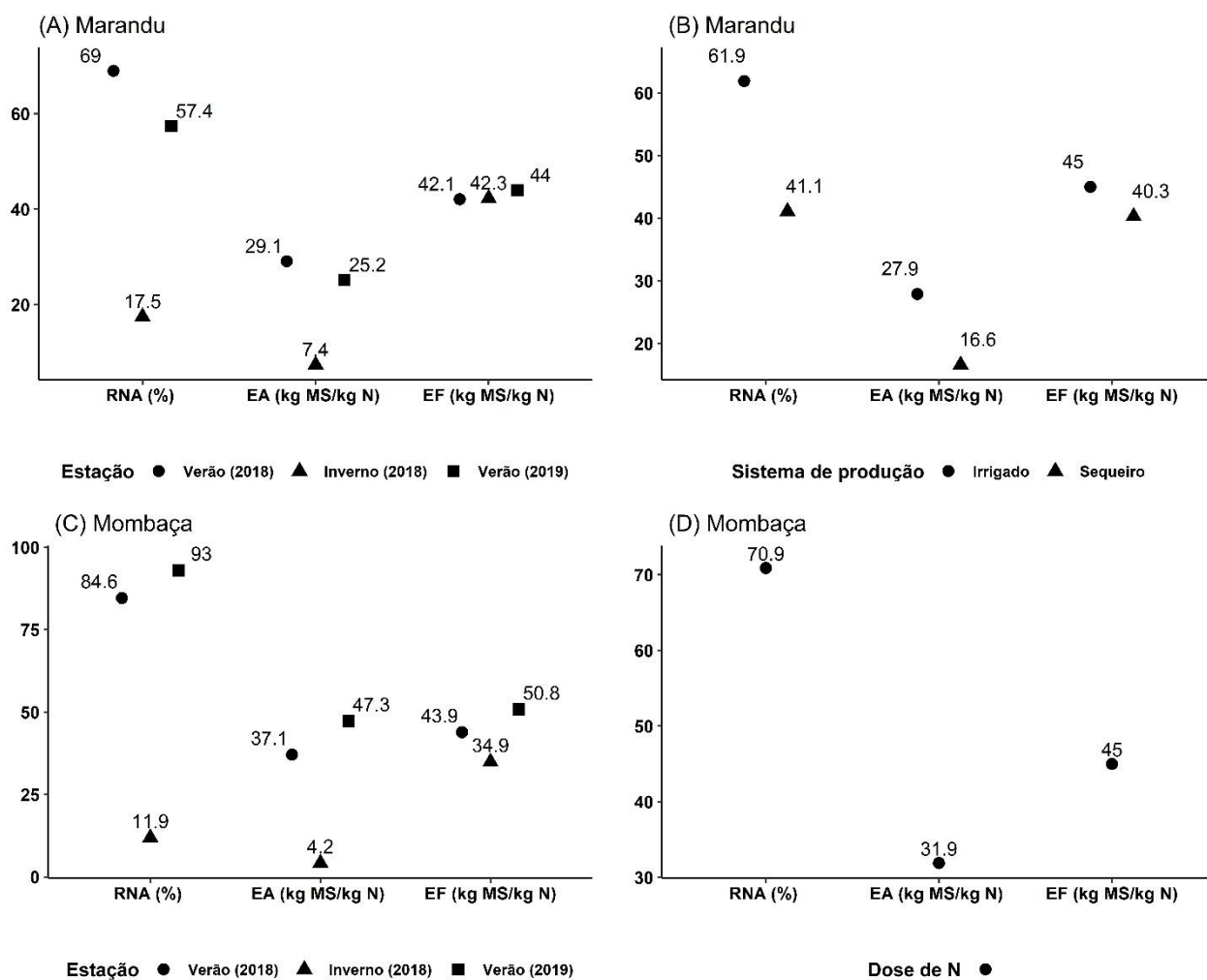
* Valor-p da análise de variância do sistema de produção \times dose de N; [§]Valor-p da análise de variância das doses de N; [¶]Valor-p da análise de variância do sistema de produção; EPM: Erro-padrão da média.

Fonte: Do autor (2021).

3.3 Eficiência de utilização do nitrogênio

Na Figura 2 têm-se os valores médios de recuperação do nitrogênio aplicado (RNA), eficiência agrônômica (EA) e eficiência fisiológica (EF) do N na interação dose de N × estação (FIGURA 2 - A), nos sistemas de produção (sequeiro e irrigado) × adubação nitrogenada (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) para o cultivar Marandu (FIGURA 2 - B), na interação dose de N × estação (FIGURA 2 - C) e dose de N (FIGURA 2 - D) para o cultivar Mombaça.

Figura 2 – Valores médios de recuperação do nitrogênio aplicado (RNA - %), eficiência agrônômica (EA – kg de MS kg N⁻¹) e eficiência fisiológica (EF - kg de MS kg N⁻¹) do N na interação dose de N × estação (A), nos sistemas de produção (sequeiro e irrigado) × adubação nitrogenada (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ – B) para o cultivar Marandu, na interação dose de N × estação (C) e dose de N (D) para o cultivar Mombaça.



Fonte: Do autor (2021).

Para o cultivar Marandu a variável RNA na dose 550 o verão (2018) foi 17 e 75% maior do que no verão (2019) e inverno (2018). A RNA na dose 550 no verão (2019) foi 70% maior do que no inverno (2018). A EA do N na dose 550 o verão (2018) foi 14 e 75% maior do que no verão (2019) e inverno (2018). A EA na dose no verão (2019) foi 70% maior do que o inverno (2018). A EF no verão (2018), inverno (2018) e verão (2019) foram 42,1, 42,3 e 44,0 kg de MS kg de N⁻¹ (FIGURA 2 - A). Quando se compara a RNA, EA e EF da dose 550 na cultivar Marandu têm-se 34, 40 e 10% a mais no sistema irrigado × sequeiro (FIGURA 2 - B).

Para o cultivar Mombaça (FIGURA 2 - C) a RNA na dose 550 os dois verões (2018 e 2019) foram 86 e 87% maiores que no inverno (2018). A EA na dose 550 os dois verões (2018 e 2019) foram 88 e 91% maiores que no inverno (2018). A EF na dose 550 o verão (2019) foi 14 e 31% maior do que no verão (2018) e inverno (2018). A EF na dose 550 no verão (2018) foi 21% maior do que no inverno (2018). A RNA, EA e EF da dose 550 foi 70,9%, 31,9 kg MS kg N⁻¹ e 45 kg MS kg N⁻¹ (FIGURA 2 - D).

4 DISCUSSÃO

4.1 *Urochloa brizantha* cv. Marandu

A adubação nitrogenada aumentou o AF, produção de folhas e a EUA nas estações estudadas. No entanto, a TAF, produção de colmos e AN, a dose de 550 kg de N promoveu mudanças apenas nos verões (TABELA 1). Independente da dose de N aplicada, o AF, TAF, produção de folha e AN é de 70 a 80% maior no verão agrostológico. Sem aplicação de N, a velocidade de crescimento das plantas diminui e não há mudanças na produção de colmo e EUA entre as estações do ano. Proporcionalmente a adubação afeta mais a produção de colmo chegando à um diferença de cerca de 90% mais colmo no verão em relação ao inverno agrostológico. Outro índice afetado diretamente pela maior quantidade de N é a EUA cuja variação entre estações passa de 40%. Em regiões tropicais, ocorre maior AF, TAF, produção de folha e colmo no verão agrostológico em função da sazonalidade das chuvas e das variações na temperatura e fotoperíodo (EUCLIDES et al., 2016). Como os resultados de AF e AN afetam diretamente a RNA, EA do N com maiores valores nos dois verões (2018 e 2019) em relação ao inverno agrostológico (FIGURA 2 - A).

O aumento na disponibilidade de N afeta características agrônômicas contribuindo para o aumento da produção de folha e colmo, o que, por sua vez, contribui para maior AF

(SILVA et al., 2016) e Costa et al. (2016) constataram que a adubação com N em cobertura no cultivar Marandu aumentou a produção de matéria seca e o acúmulo de N nos tecidos vegetais. De acordo com Santos et al. (2010) a adubação nitrogenada é a estratégia mais eficiente para acelerar o desenvolvimento das forrageiras e favorecer a produção de forragem. O teor de matéria seca do verão é menor do que no inverno, pois a disponibilidade de água é menor no inverno quando comparado ao verão (FIGURA 1). A produção de material morto e a relação folha: colmo é maior no verão do que no inverno. De acordo com Moreira et al. (2009) no fim do período das chuvas, a tendência de acúmulo de material morto é maior, já que a capacidade de renovação de folhas e perfilhos passa a ser limitada pela condição ambiental, não somente chuva, mas também pela radiação. A adubação nitrogenada diminui o teor de MS e não afeta a produção de colmo reprodutivo, material morto e a relação folha: colmo (TABELA 1).

No inverno agrostológico o sistema irrigado aumentou o AF, produção de folha, teor de MS e EUA e nos dois verões agrostológicos não houve diferença significativa (TABELA 2). Para a produção de colmo não houve diferença dos sistemas de produção na estação. No sistema irrigado os dois verões (2018 e 2019) foram de 70 a 80% maiores do que no inverno agrostológico para o AF, produção de folha e produção de colmo. A EUA no sistema irrigado e sequeiro foi maior no verão (2018) quando comparado ao inverno (2018) e verão (2019), isso se deve a maior precipitação (FIGURA 1), a EUA é afetada pela produção de forragem e a quantidade de água no sistema de produção. No sistema irrigado o AF foi semelhante nos dois verões e maiores quando comparados ao inverno agrostológico e no sistema sequeiro o AF foi maior no verão (2019) em comparação ao verão (2018). O teor de MS não mudou ao longo da estação nos sistemas irrigado e sequeiro. De acordo com Dupas (2010) a irrigação pode ser empregada no período de seca nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (CORSI, 1998).

A TAF e AN é cerca de 70 a 80% maior nos dois verões agrostológicos quando comparados ao inverno. A produção de colmo reprodutivo é cerca de 30% maior no sistema irrigado (TABELA 2). De acordo com Lopes et al. (2005) a adubação e a irrigação aceleram o desenvolvimento fisiológico das plantas, com o florescimento sendo favorecido em períodos de menor luminosidade devido a presença da água e nitrogênio. Para o colmo reprodutivo no sistema irrigado as doses de N são semelhantes e no sistema sequeiro a adubação nitrogenada diminui a produção de colmo reprodutivo, na dose 0 os sistemas são

semelhantes e na dose 550 o sistema irrigado é 3 vezes quando comparado ao sistema sequeiro (TABELA 3).

Para o cultivar Marandu no sistema irrigado a adubação nitrogenada aumentou o AF e TAF em cerca de 3,7 vezes, 4,0 vezes a produção de folha, 4,8 vezes AN e 3,6 vezes EUA do que a não adubada com N (TABELA 3) e no sistema sequeiro a adubação nitrogenada aumentou o AF e TAF cerca de 2,2 vezes mais, 2,5 vezes mais a produção de folha, 2,7 vezes menos a produção de colmo reprodutivo, 2,8 vezes mais AN e 2,1 vezes mais EUA do que a não adubada com N. Quando não realiza a adubação nitrogenada os valores de AF, TAF, produção de folha, AN e EUA são semelhantes no sistema de produção (irrigado e sequeiro). A adubação nitrogenada aumentou o AF, TAF, produção de folha e AN no sistema irrigado quando comparado ao sistema sequeiro.

Segundo Dordas e Sioulas (2008), o N influencia a quantidade de água a ser utilizada pela plantas forrageiras e melhorando a eficiência de uso da água, na qual gastou-se menos água para produzir 1 kg de MS. A relação entre N e fotossíntese aumenta a eficiência do uso da água pela planta (TAIZ et al., 2017). A irrigação de pastagens, além de diminuir a estacionalidade da produção no ano, pode aumentar a eficiência de uso da água e consequentemente reduzir tamanho de área.

A RNA, EA e EF do N foi maior no sistema irrigado quando comparado ao sequeiro (FIGURA 2 - B), isso foi devido ao maior AF e AN na dose 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e ao efeito da própria irrigação. Como o transporte do N pode ocorrer por: fluxo de massa, difusão no solo e pela translocação de N nos tecidos da planta. Os processos de fluxo de massa e de difusão são dependentes da disponibilidade de água no solo (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

4.2 *Megathyrus maximus* cv. Mombaça

Para o cultivar Mombaça a adubação com a dose de 550 kg de N aumentou o AF, TAF, produção de folha, produção de colmo, AN e EUA nos dois verões (2018 e 2019) e no inverno (2018) não houve diferença significativa entre as doses de N (TABELA 4). Para o AF, TAF, produção de folha e AN o verão agrostológico produz cerca de 78 a 97% mais do que no inverno agrostológico quando realiza ou não a adubação nitrogenada. Quando se compara o verão (2019) com o verão (2018) houve maiores valores de AF, produção de folha e AN quando realiza ou não a adubação nitrogenada. A RNA, EA e EF do N aumentou nos

dois verões (2018 e 2019) em relação ao inverno agrostológico (FIGURA 2 - C). De acordo com Pause et al. (2021) a adubação nitrogenada aumentou a produção de forragem do cultivar Mombaça e para a eficiência de conversão aparente do N e RNA ocorrem maiores valores nas menores doses de N. Padrão de resposta inverso ocorre para o AN.

Para o cultivar Mombaça a produção de colmo e EUA na dose 0 não têm efeito na estação do ano e para a dose 550 a produção de colmo aumentou no verão (2019) quando comparados ao inverno (2018) e verão (2018), como trabalhou com período fixo de descanso o AF foi maior no verão (2019). A EUA foi maior no verão (2018) quando comparados ao inverno (2018) e verão (2019), devido a menor precipitação (FIGURA 1) no verão (2018).

O teor de MS do cultivar Mombaça é maior no inverno quando comparado ao verão, e também no inverno têm-se menor relação folha: colmo quando comparado ao verão. O teor de MS aumentou na dose 0 quando comparados a dose 550 kg de N e com a adubação nitrogenada aumentou a produção de material morto e a relação folha: colmo, devido ao maior AF.

Para o cultivar Mombaça no inverno (2018) o sistema sequeiro aumentou o teor de MS, devido não haver precipitação no inverno e não haver irrigação nos dois verões (2018 e 2019) não houve diferença significativa entre o sistema irrigado × sequeiro (Tabela 5). Para a MS (%) no sistema irrigado não houve diferença significativa da estação do ano e no sistema sequeiro a MS (%) aumentou no inverno quando comparado aos dois verões (TABELA 5). As diferenças nos teores de MS submetidas às diferentes doses de adubação nitrogenada sugerem que ocorreu diferenças anatômica e histológica da planta forrageira, em função da disponibilidade de água.

O AF, TAF, produção de folha, produção de colmo, AN e EUA no verão agrostológico é maior do que no inverno agrostológico. As variáveis climáticas, temperatura e luz têm efeito no desenvolvimento de gramíneas tropicais, mesmo quando suas necessidades de nutrientes e água são atendidas (MOTA et al., 2020).

O sistema de produção não afetou o AF, TAF, produção de folha, colmo, colmo reprodutivo, material morto, relação folha: colmo, AN e EUA para o cultivar Mombaça (TABELAS 5 e 6). De acordo com Jesus et al. (2021) o fator irrigação no cultivar Mombaça, apesar de diminuir o efeitos da sazonalidade forrageira, não afetou a produção de forragem na estação do ano. O teor de MS no sistema irrigado diminuiu quando comparado ao sequeiro (TABELA 6). A adubação nitrogenada aumentou três vezes mais o AF, TAF e a produção de folha, além disso a adubação nitrogenada também aumentou a produção colmo e material

morto, relação folha: colmo, AN e EUA e diminuiu o teor de MS para o cultivar Mombaça (TABELA 6). A RNA na dose 550 foi 70,9% (FIGURA 2 - D), de acordo com Whitehead (1995) a RNA está por volta de 50% a 80%, destacando que os valores de RNA para os cultivares Mombaça e Marandu ficaram nesse intervalo (FIGURA 2 - B e FIGURA 2 - C). O estudo da eficiência de uso e recuperação de N é, portanto, importante para qualquer sistema de cultivo, uma vez que afeta a sustentabilidade do sistema (SARTOR, 2011).

5 CONCLUSÕES

O uso da adubação nitrogenada para o cultivar Marandu para os dois períodos do ano (chuvas e seca) promoveu o aumento da produção de forragem, acúmulo de N, recuperação do nitrogênio aplicado e na eficiência agrônômica do uso do N. No período seco do ano o sistema irrigado foi efetivo no aumento do acúmulo de forragem, produção de folha, teor de MS e na eficiência do uso da água.

O uso da adubação nitrogenada para o cultivar Mombaça no período chuvoso foi efetivo no aumento da produção de forragem, acúmulo de N e na eficiência do uso da água. No período seco do ano o sistema sequeiro aumentou o teor de MS. O sistema de produção não afetou a produção de forragem, acúmulo de N e a eficiência do uso da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. FAO. Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, 300p. 1998.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 12.ed. Washington: AOAC International, p.1098, 1990.

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

CORSI, M. Dica de especialista: melhor resposta no verão. **DBO Rural**, v.17, n.218, p.62, 1998.

COSTA, C.H.M.; CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; NETO, J.F.; MORO, E. Nitrogen fertilization on palisadegrass: phytomass decomposition and nutrients release. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46 n.2, p.159-168, 2016. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4639297>.

DORDAS, C. A.; SIOULAS, C. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 27, n. 1, p. 75-85, 2008.

DUPAS E.; BUZETTI, S.; SARTO, A.L.; HERNANDEZ, F.B.T.; BERGAMASCHINE, A.F. Matéria seca yield and nutritional value of Marandu grass under nitrogen fertilization and irrigation in cerrado in São Paulo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.2598-2603, 2010.

EUCLIDES, V.P.B.; MONTAGNER, D.B.; BARBOSA, R.A.; VALLE, C.B.; NANTES, N.N. Animal performance and sward characteristics of two cultivars of *Brachiaria brizantha* (BRS paiaguás and BRS Piatã). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.45, p.85- 92, 2016. <https://doi.org/10.1590/s1806-92902016000300001>.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.2, p.6-16, 1998.

GIACOMINI, A.A.; DA SILVA, S.C.; SARMENTO, D.O. de L.; ZEFERINO, C.V.; SOUZA JÚNIOR, S.J.; TRINDADE, J.K. da; GUARDA, V. del'A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do. Growth of marandu palisadegrass subjected to strategies of intermittent stocking. **Scientia Agricola**, v.66, p.733-741, 2009. doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000600003>

HINKELMANN, K.; KEMPTHORNE, O. **Design and analysis of experiments: introduction to experimental design**. 2 ed. New Jersey: John Wiley, 2008. 631 p.

JESUS, F. L. F.; SANCHES, A.C.; MENDONÇA, F.C.; PACHECO, A.B.; SOUZA, D.B.; SILVA, J. L. B. Production and water-use efficiency of *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça “Guinea grass” under nitrogen and boron doses. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 4, p. 2217-2232, 2021. doi: 10.5433/1679-0359.2021v42n4p2217.

LEMAIRE, G.; DA SILVA, S.C.; AGNUSDEI, M.; WADE, M.; HODGSON, J. Interactions between Folha lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. **Grass and Forage Science**, v.64, p.341–353, 2009. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2009.00707.x>

LOPES, R.S.; FONSECA, D.M.; OLIVEIRA, R.A.; ANDRADE, A.C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; MASCARENHAS, A.G. Efeito da irrigação e adubação na disponibilidade e composição bromatológica da massa seca de lâminas foliares de capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.1, p.20-29, 2005. doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000100003>

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; CORSI, M.; BARIONI, L.G.; VILELA, L. Intensidade de desfolha e produção de forragem do capim-tanzânia irrigado na primavera e no verão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n. 9, p. 927-936, 2004.

MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, LTDA, p. 276, 1978.

MONTEIRO, F.A. Uso de corretivos agrícolas e fertilizantes. In: REIS, R.A.; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R. (Eds.). **Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros**, 2013, p.275-290.

MOREIRA, L. D. M.; MARTUSCELLO, J. A.; FONSECA, D. M. D.; MISTURA, C.; MORAIS, R. V. D.; RIBEIRO, J. I., JR. Perfilamento, acúmulo de forragem e composição bromatológica do capim-braquiária adubado com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.9, p.1675-1684. doi: 10.1590/S1516-359820090009 00006.

MOTA, V. J. G.; CARVALHO, A.B.J.; OLIVEIRA, F.G.; GOMES, V. G.; MONÇÃO, F.P.; MOTA FILHO, V. J. G. Determinação do coeficiente de cultura do capim-mombaça manejado em diferentes estações do ano no Semiárido mineiro. **Irriga**, v. 25, n. 1, p.170-183, 2020. doi: 10.15809/irriga.2020v25n1p170-183.

PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T.; MAURÍCIO, R. M.; FERNANDES, P. B.; MORENZ, M. J. F. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. **Grass and Forage Science**, v. 72, p. 590-600, 2017. doi: <https://doi.org/10.1111/gfs.12264>

PAUSE, A.G.S.; FRANÇA, A.F.S.; OKADA, E.S.M.; GANDRA, J.R.; DUPAS, E.; OLIVEIRA, E.R.; FERREIRA, J.L.; MARQUES, O.F.C. Nitrogen dynamics and production of mombaça grass under nitrogen fertilization and cutting heights. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.4, n.1, p. 875-885, 2021.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. 2021. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed., Campinas: IAC, 1996. 285 p. (**Boletim técnico 100**).

SANTOS, P.M.; PRIMAVESI, O.M.; BERNARDI, A.C.C. Adubação de pastagens. In: PIRES, A.V. **Bovinocultura de corte**, Volume I. Editora Fealq, Piracicaba, SP. p. 459-472, 2010.

SARTOR, L.R.; ASSMANN, T.S.; SOARES, A.B.; ADAMI, P.F.; ASSMANN, A.L.; PITTA, C.S.R. Nitrogen fertilizer use efficiency, recovery and leaching of an Alexander grass pasture. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.35, p.899-906, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000300024>

SILVA, R.O.; MIOTTO, F.R.C.; NEIVA, J.N.M.; SILVA, L.F.F.M.; FREITAS, I.B.; ARAÚJO, V.L.; RESTLE, J. Effects of increasing nitrogen levels in Mombasa grass on pasture characteristics, chemical composition, and beef cattle performance in the humid

tropics of the Amazon. **Tropical Animal Health Production**, v.52, p. 3293–3300, 2020. doi: <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02360-0>

SILVA, S.C., SBRISSIA, A.F., PEREIRA, L.E.T. Ecophysiology of C4 forage grasses- understanding plant growth for optimizing their use and management. **Agriculture**, v.5, p.598-625, 2015. doi: 10.3390/agriculture5030598

SILVA, V. J.; PEDREIRA, C. G. S.; SOLLENBERGER, L. E.; SILVA, L. S.; YASUOKA, J. I.; ALMEIDA, I. C. L. Carbon assimilation, herbage plant-part accumulation, and organic reserves of grazed “Mulato II” Brachiariagrass pastures. **Crop Science**, v. 56, p.2853–2860, 2016. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.03.0148>.

SILVA, D.R.G.; COSTA, K.A.P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I.P.; SOUZA, M.R.F.; SOUZA, M.A.S. Nutritional efficiency and nitrogen uptake by capim-marandu at pasture in moderate stage of degradation under doses and sources of nitrogen. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.2, p.242-249, 2011. doi: 10.1590/S1413-70542011000200003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª Ed. Artmed Editora. 516 p., 2017.

WHITEHEAD, D.C. Volatilization of ammonia. In: WHITEHEAD, D.C. (Ed.). **Grassland nitrogen**. Wallingford: CAB International, 1995. p. 152-179.

YASUOKA, J. I.; PEDREIRA, C. G. S.; DA SILVA, V. J.; ALONSO, M. P.; DA SILVA, L. S.; GOMES, F. J. Canopy height and N affect Acúmulo de forragem and the relative contribution of Folha categories to photosynthesis of grazed brachiariagrass pastures. **Grass and Forage Science**, v.73, p.183–192, 2018. doi: <https://doi.org/10.1111/gfs.12302>

ARTIGO 2 - Composição bromatológica e características estruturais de *Urochloa brizantha* cv. Marandu e *Megathyrsus maximus* cv. Mombaça em função do suprimento de nitrogênio e água

RESUMO

Com a adubação nitrogenada nas gramíneas tropicais, desde que outros fatores como água e temperatura não sejam limitantes na produção, busca-se um aumento nos teores de proteína bruta (PB), diminuição da fibra em detergente neutro (FDN) e melhora na digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS). Objetivou-se avaliar os efeitos de duas doses de nitrogênio (N) e o uso ou não de irrigação (I) em *Urochloa brizantha* (Hoschst. Ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu e *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & Jacobs cv. Mombaça sobre a composição bromatológica e as características estruturais em diferentes estações (chuvas e seca). O delineamento foi em blocos ao acaso em esquema fatorial (sistemas de produção - SP: Sequeiro - S e Irrigado \times adubação nitrogenada: 0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) com três repetições, com 12 parcelas de 7 \times 4 m para cada cultivar. O experimento teve início em outubro de 2017 e teve o término em março de 2019, foram avaliados 16 ciclos de rebrotação (28 dias no verão e 42 dias no inverno agrostológico) na cidade de Lavras, Minas Gerais, Brasil. As análises bromatológicas foram de PB (% MS), FDN (% MS) e a DIVMS (% MS). As medidas de altura (cm), interceptação luminosa (IL - %), índice de área foliar (IAF), ângulos foliares (°) e área foliar específica (AFE – cm² g⁻¹) foram realizadas a cada 14 dias no verão agrostológico e 21 dias no inverno agrostológico. Utilizou-se modelos lineares mistos com a adubação com N, sistemas de produção e as interações dos tratamentos como efeitos fixos, e os blocos como efeitos aleatórios. A estação do ano foram o verão agrostológico 1 (outubro de 2017 a abril de 2018), inverno agrostológico 1 (maio a setembro de 2018) e o verão agrostológico 2 (outubro de 2018 a março de 2019) e seu efeito foi incluído como medida repetida no tempo. Para o cultivar Marandu a adubação com N aumentou a PB e diminuiu a FDN no verão (2018), inverno (2018) e verão (2019). A dose de 550 (58,4%) aumentou a DIVMS em 5% quando comparado a dose sem nitrogênio (55,3%). A altura, IL, IAF e AFE foram maiores na dose 550 \times dose 0 nos dois verões agrostológicos. A DIVMS nos dois verões (2018 e 2019) foram semelhantes no SP (P = 0,2760 e P = 0,4245), e no inverno (2018) a DIVMS foi 6% maior no sistema I \times S. Houve interação entre a dose de N \times SP para a AFE (P = 0,0309). A AFE no I foi 32% maior na dose 550 \times 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e no S foi 22% maior na dose 550 \times 0. A AFE nas doses (0 e 550), não houve diferença significativa do sistema de produção (P = 0,2219 e P = 0,2040). Para o cultivar Mombaça a dose de 550 aumentou a PB, altura, IL, IAF e diminuiu FDN no verão (2018), inverno (2018) e verão (2019). A FDN nos dois verões (2018 e 2019) foram 3% maiores no I \times S e no inverno (2018) foi 3% menor no I \times S. Houve diferença do sistema de produção para a DIVMS (P = 0,0096) e ângulos foliares (P = 0,0166), com 4% a mais na DIVMS no sistema I \times S e nos ângulos foliares com 4% a mais no I (46.7°) \times S (44.8°). No cultivar Marandu o N aumentou a PB e DIVMS, diminuiu FDN, com expressivos aumentos na altura do dossel, IL, IAF e AFE. O uso da I no inverno aumentou a DIVMS e diminuiu a FDN, além de maior IL e AFE. Para o cultivar Mombaça o uso do N promoveu o aumento dos teores de PB e diminuição nos teores de FDN, com expressivos aumentos na altura do dossel, IL, IAF e AFE. O uso da I no inverno diminuiu teores de FDN. O uso da I aumentou a DIVMS e os ângulos foliares das plantas.

Palavras-chave: Estação do ano; proteína bruta, digestibilidade *in vitro* da matéria seca, valor nutricional.

ARTICLE 2 - Chemical composition and structural characteristics of *Urochloa brizantha* Marandu palisadegrass and *Megathyrsus maximus* Mombasa grass as a function on nitrogen and water

ABSTRACT

With nitrogen fertilization in tropical grasses, as long as other factors such as water and temperature are not limiting on production, an increase in crude protein (CP) contents, a decrease in neutral detergent fiber (NDF) and an improvement in vitro dry matter digestibility (IVDMD). The aim of this study was to evaluate the effects of two doses of nitrogen (N) and the use or not of irrigation (I) in *Urochloa brizantha* (Hoschst. Ex A. Rich.) R.D. Webster (Marandu palisadegrass) and *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & Jacobs (Mombasa grass) on chemical composition and structural characteristics in two seasons (rainy and dry). The design was in randomized blocks in a factorial scheme (production systems - PS: Rainfed - R and Irrigated \times nitrogen fertilization: 0 and 550 kg of N ha⁻¹ year⁻¹) with three replications, with 12 plots of 7 \times 4 m for each grass. The experiment started in October 2017 and ended in March 2019, 16 regrowth cycles were taken (28 days in summer and 42 days in agrostological winter) in the city of Lavras, Minas Gerais, Brazil. The bromatological analyzes were of CP (% DM), NDF (% DM) and IVDMD (% DM). Measurements of canopy height (cm), light interception (LI -%), leaf area index (LAI), leaf angles ($^{\circ}$) and specific leaf area (SLA - cm² g⁻¹) were taken every 14 days in the agrostological summer and 21 days in the agrostological winter. Mixed linear models were used with N fertilization, production systems and treatment interactions as fixed effects, and blocks as random effects. The seasons were: agrostological summer 1 (October 2017 to April 2018), agrostological winter 1 (May to September 2018) and agrostological summer 2 (October 2018 to March 2019). The season effect was included as a repeated measure. For the Marandu palisadegrass, fertilization with N increased CP and decreased NDF in summer (2018), winter (2018) and summer (2019). The dose of 550 (58.4%) increased the IVDMD by 5% when compared to the dose without nitrogen (55.3%). Canopy height, LI, LAI and SLA were higher at dose 550 \times dose 0 in the two agrostological summers. The IVDMD in the two summers (2018 and 2019) were similar in PS ($P = 0.2760$ and $P = 0.4245$), and in the winter (2018) the IVDMD was 6% higher in the I \times R system. N \times PS dose for SLA ($P = 0.0309$). SLA in I was 32% higher at dose 550 \times 0 kg N ha⁻¹ year⁻¹ and in R it was 22% higher at dose 550 \times 0. SLA at doses (0 and 550), there was no significant difference between PS ($P = 0.2219$ and $P = 0.2040$). For the Mombasa grass, the dose of 550 increased CP, canopy height, LI, LAI and decreased NDF in summer (2018), winter (2018) and summer (2019). The NDF in the two summers (2018 and 2019) was 3% higher in the I \times R and in the winter (2018) it was 3% lower in the I \times R. There was a difference in the production system for the IVDMD ($P = 0.0096$) and leaf angles ($P = 0.0166$), with 4% more in IVDMD in the I \times R system and in leaf angles with 4% more in I (46.7 $^{\circ}$) \times R (44.8 $^{\circ}$). In the Marandu palisadegrass, N increased CP and IVDMD, decreased NDF, with expressive increases in canopy height, LI, LAI and SLA. The use of I in winter increased IVDMD and decreased NDF, in addition to higher LI and SLA. For the Mombasa grass, the use of N promoted an increase in CP contents and a decrease in NDF contents, with expressive increases in canopy height, LI, LAI and SLA. The use of I in winter decreased NDF contents. The use of I increased the IVDMD and the leaf angles of the plants.

Keywords: Seasons; crude protein; in vitro dry matter digestibility; nutritional value.

1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior proporção nas plantas, principalmente plantas do gênero C₄ as quais tem alto potencial de produção de matéria seca (TAIZ et al., 2017). Porém, para as gramíneas produzirem bem necessita-se de outros fatores como água, luz e temperatura. No Brasil, sendo um país de clima tropical, têm-se como principal limitante à produção a precipitação pluviométrica no inverno agrostológico.

O suprimento de água para as pastagens é interessante no momento que se usa um nível tecnológico mais elevado e se pretende ter bons resultados de produção de matéria seca (MS). Com base nesses fatores a utilização dos gêneros *Urochloa brizantha* sin. (*Brachiaria brizantha*) e *Megathyrsus maximus* sin. (*Panicum maximum*) são as que mais se destacam no Brasil. Então quantificar o potencial de crescimento desses cultivares é de suma importância, utilizando bem os recursos de adubação, irrigação e manejo. Os cultivares que mais se adaptam e tem maior abrangência no Brasil para aptidão são o Marandu e Mombaça (SILVA; SBRISSIA; PEREIRA, 2015).

A aplicação de N influencia o potencial fotossintético das folhas (EVANS, 1989), a dinâmica do fluxo de tecido no dossel (LEMAIRE et al., 2009) e crescimento de plantas (DURU; DUCROCQ, 2000), contribuindo para o aumento da produção de forragem. O N também promove mudanças nas características estruturais do dossel, incluindo o aumento na densidade aparente de folhas e índice de área foliar (SILVA et al., 2016). Assim, taxas contrastantes de fertilização nitrogenada promoveriam diferentes dinâmicas de crescimento das pastagens e no seu valor nutritivo.

De acordo com Allen et al. (2011) o valor nutritivo da forragem é referente a sua composição química como a proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e pela sua digestibilidade *in vitro* ou *in vivo*. Com a adubação nitrogenada têm-se o aumento da produção de forragem, dos teores de PB e diminuição dos teores de FDN, contribuindo para a melhoria do valor nutritivo das forrageiras (DUPAS et al., 2010; DELEVATTI et al., 2019, HOMEM et al., 2021).

Objetivou-se com o presente estudo avaliar os efeitos duas doses de N e o uso ou não de irrigação em *Urochloa brizantha* (Hoschst. Ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu e *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & Jacobs cv. Mombaça sobre composição bromatológica e as características estruturais em diferentes estações do ano na cidade de Lavras, MG.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição do experimento, delineamento experimental e tratamentos

O Experimento foi conduzido no campo experimental do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras em Lavras, Minas Gerais, Brasil (21° 14' 45" Sul, 44° 59' 59" Oeste, 919 m de altitude).

Foram utilizados dois cultivares forrageiros sendo um de *Urochloa brizantha* (Hoschst. Ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu e um de *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & Jacobs cv. Mombaça. Também foram testadas duas taxas de aplicação de N (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) e dois sistemas de produção (sequeiro e irrigado), totalizando quatro tratamentos distribuídos em 12 unidades experimentais para cada cultivar. Cada unidade experimental (parcela) possuía 28 m² (4 × 7 metros). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC) com três repetições num esquema fatorial 2×2, sendo que a análise de variância foi para cada cultivar, sendo dois experimentos.

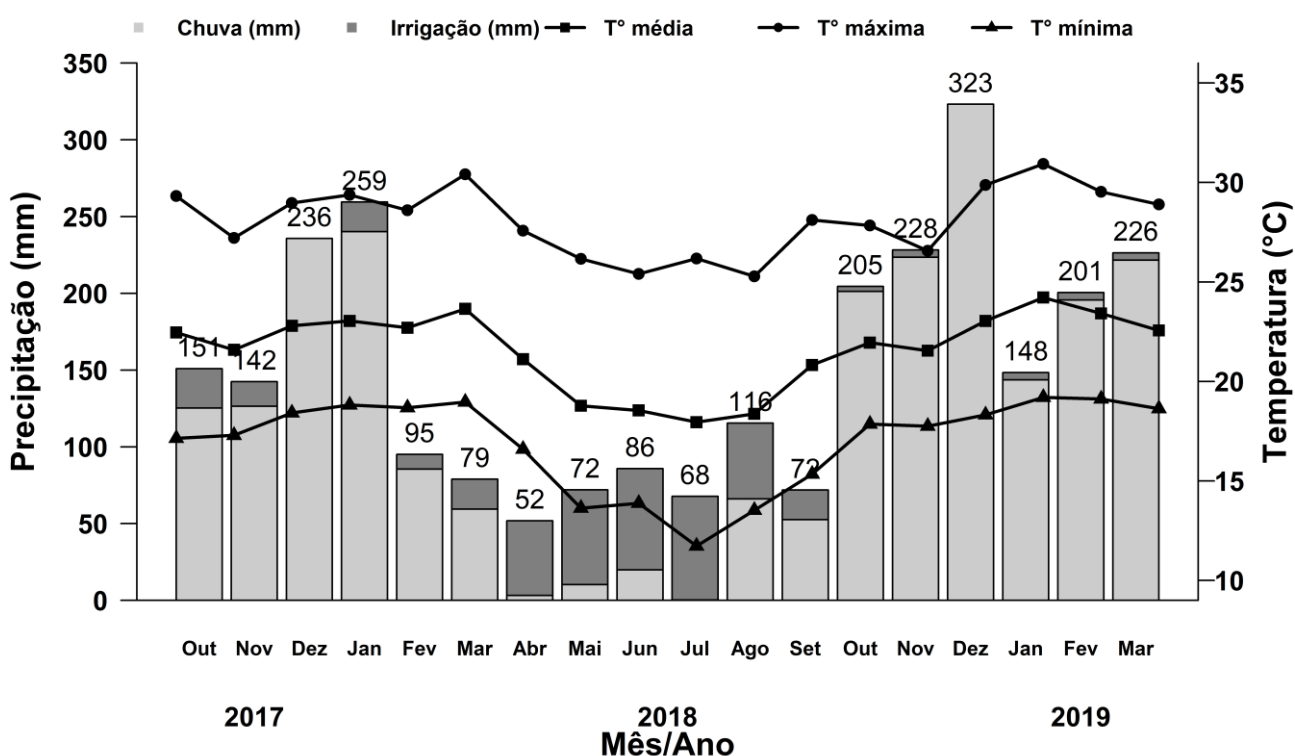
O solo da área experimental foi amostrado para análise no dia 05/08/2014 e as recomendações de calagem e adubação para semeadura foram realizados de acordo com o Boletim 100 do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC (RAIJ et al., 1997). As características químicas do solo para a profundidade de 0-20 cm, no início do experimento foram: pH = 5,2, P = 0,8 mg dm⁻³ (método de Melich-1), matéria orgânica (MO) = 2,9 g dm⁻³, K = 1,9 mmolc dm⁻³, Ca = 10,0 mmolc dm⁻³, Mg = 4,0 mmolc dm⁻³, H+Al = 40,0 mmolc dm⁻³, soma de bases (SB) = 16,0 mmolc dm⁻³, saturação por bases = 28,8%. Utilizou-se como meta atingir uma saturação de bases de 70% e foi aplicado superficialmente 2307 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (36-38% de óxido de Cálcio – CaO e 12 a 14% de óxido de magnésio - MgO) utilizando uma espalhadora de calcário. O calcário foi então incorporado ao solo por meio de uma aração e duas gradagens.

A semeadura (2 e 5 kg ha⁻¹ de sementes puras para os cultivares Marandu e Mombaça, respectivamente) e adubação fosfatada (100 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato simples - 18% de P₂O₅ e 20% de Ca) ocorreram no dia 01/11/2015. A adubação com fósforo se repetiu no mês de outubro de cada ano e foi aplicada à lanço. As adubações de N e K₂O ocorreram ao longo de cada ano logo após a colheita da forragem, cada parcela recebeu 50 kg de N e K₂O ha⁻¹ divididos em 11 adubações em função dos ciclos de rebrotação. Foram utilizados como fonte de N e K₂O sulfato de amônio (20% N e 22% S) e cloreto de potássio (58% de K₂O).

Quanto ao suprimento de água, as parcelas que receberam irrigação foram separadas espacialmente por um corredor de 7 metros daquelas parcelas que não receberam irrigação. Para proceder a irrigação, foi instalado um sistema de irrigação por aspersão. A lâmina de irrigação foi controlada com base na evapotranspiração de referência conforme Allen et al. (1998).

O período experimental foi de 18 meses iniciando-se no dia 25 de outubro de 2017 e se estendendo até 24 de março de 2019, ocorrendo 16 ciclos de rebrotação (a cada 28 dias no verão agrostológico e 42 dias no inverno agrostológico) em que as parcelas foram submetidas aos tratamentos. Os dados de precipitação diária (mm) e de temperatura mínima, média e máxima (°C) do verão e do inverno agrostológico de cada ano foram coletados da estação meteorológica da Universidade distante 1 km da área experimental (FIGURA 1).

Figura 1 – Precipitação (mm) + irrigação (mm) e médias mensais de temperaturas máximas, médias e mínimas (° C) em Lavras, MG de outubro de 2017 a março de 2019.



Fonte: Do autor (2021).

2.2 Análises bromatológicas

Amostras de forragem dos cultivares Marandu e Mombaça foram coletadas em duplicata, e essas foram levadas à estufa de ventilação forçada a 55°C por 72h para determinação da MS (AOAC, 1990) e, posteriormente moídos em moinho do tipo Willey

com peneira de crivo de 1 mm para determinação da proteína bruta (PB - % MS), conforme a AOAC (1990), quantificação da fibra em detergente neutro (FDN - % MS) conforme Van Soest, Robertson e Lewis (1991).

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS - % MS) foi determinada pelo método proposto por Holden (1999), por meio do equipamento DAISY II (ANKOM TECHNOLOGY CORP, FAIRPORT, NY, EUA). O fluido ruminal foi coletado via cânula de dois animais mantidos em pastejo. A coleta realizada sempre no período da manhã (10:00 h).

2.3 Altura do dossel

As medições de altura foram a cada 14 dias no verão agrostológico e a cada 21 dias no inverno agrostológico foram mensuradas em 20 pontos por parcela. As medidas de altura para o cultivar Marandu foram realizadas com medidor adaptado a partir de bastão de madeira graduado e uma folha de radiografia recortada com 35 cm de diâmetro num formato circular (FRAME, 1981; PEQUENO, 2010). A altura do dossel, que consiste na medição da altura da pastagem com régua graduada em centímetros, procurando a altura média das folhas da pastagem com base no deslocamento da radiografia na régua.

Para medição da altura do cultivar Mombaça, foi utilizado uma régua confeccionada de cano policloreto de vinila - PVC (1,8 m) graduada de dois em dois centímetros, a leitura era realizada visualmente contrastando a altura média do dossel com a altura da régua. Para ambos os cultivares foram calculadas as médias aritméticas desses dados para obtenção da altura média do dossel de cada tratamento durante o período experimental.

2.4 Índice de área foliar (IAF), interceptação luminosa (IL) e área foliar específica (AFE)

Para as medições de índice de área foliar (IAF), interceptação luminosa (IL) e ângulos foliares (ANG), utilizou-se o aparelho LAI-2200 (LI-COR, LINCOLN, NEBRASKA, USA). Essas variáveis foram mensuradas a cada 14 dias no verão agrostológico e a cada 21 dias no inverno agrostológico com duas medidas de referência acima do dossel e 25 medidas abaixo do dossel em cada parcela, sempre utilizando um padrão visual de leitura entre touceiras que estavam visualmente dentro de um padrão médio e densidade de folhas. As medições foram feitas em horários de predominância de radiação difusa, sendo no final da tarde ou início da manhã (WELLES; NORMAN, 1991).

Determinou-se também o IAF e a AFE de forma destrutiva selecionando-se folhas de cinco perfilhos médios de cada parcela. As folhas foram separadas dos perfilhos no setor de Forragicultura e escaneadas em um LI-3100 *leaf area meter* (LI-COR, LINCOLN, NEBRASKA, USA) após o escaneamento, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para a estufa de circulação de ar forçada a 55 °C para determinação do teor de matéria seca (MS). Calculou-se a relação da área foliar e o peso das folhas obtendo-se a área foliar específica (cm² g⁻¹). Com a área foliar específica foi possível quantificar o IAF de cada cultivar por meio da relação de área e o peso das folhas obtidos na amostragem de AF.

2.5 Análise estatística

Os dados foram analisados utilizando modelos lineares mistos utilizando a função *lmerTest* do pacote *lmerTest* do programa estatístico R (R CORE TEAM, 2021) com a dose de N, sistema de produção e as interações dos tratamentos como efeitos fixos, e os blocos como efeitos aleatórios. As estações do ano foram o verão agrostológico 1 (outubro de 2017 a abril de 2018), inverno agrostológico 1 (maio a setembro de 2018) e o verão agrostológico 2 (outubro de 2018 a março de 2019) e seu efeito foi incluído como medida repetida no tempo. O modelo estatístico do esquema fatorial em DBC em esquema de medidas repetidas no tempo é definido por (HINKELMANN; KEMPTHORNE, 2008):

$$y_{ijkl} = \mu + \delta_l + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \gamma_{(ijl)} + \tau_k + \alpha\tau_{ik} + \beta\tau_{jk} + \alpha\beta\tau_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

em que,

y_{ijkl} é o valor observado para a variável resposta; μ é uma constante inerente a todas as observações; δ_l é o efeito l -ésimo bloco, $l= 1,2,3$; α_i é o efeito da i -ésima dose de N, $i= 1,2$; β_j é o efeito do j -ésimo sistema de produção, $j= 1,2$; $\alpha\beta_{ij}$ é o efeito da interação entre a dose de N \times sistema de produção; $\gamma_{(ijl)}$ é erro experimental a nível de parcela; τ_k é o efeito da k -ésima estação do ano, $k= 1,2,3$; $\alpha\tau_{ik}$ é o efeito da interação dose de N \times estação do ano; $\beta\tau_{jk}$ é o efeito da interação sistema de produção \times estação do ano; $\alpha\beta\tau_{ijk}$ é o efeito da interação dose de N \times sistema de produção \times estação do ano; ε_{ijkl} é o erro experimental a nível de subparcelas. Utilizou-se o teste de médias de *t-Student* a 5% de probabilidade para comparação das médias da dose de N e do sistema de produção, para o efeito da estação do ano utilizou o teste de médias de Tukey ($P < 0,05$).

3 RESULTADOS

3.1 *Urochloa brizantha* cv. Marandu

Houve interação entre a dose de N \times estação para a PB ($P = 0,0428$), FDN ($P < 0,0001$), altura ($P < 0,0001$), IAF ($P = 0,0002$), IL ($P = 0,0001$) e AFE ($P = 0,0170$; TABELA 1) para o cultivar Marandu. A PB nos dois verões (2018 e 2019) e no inverno (2018) foram 22, 17 e 12% maiores na dose 550×0 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. A PB na dose 0 no verão (2018) foi 14% maior do que no inverno (2018). Na dose 550 a PB nos dois verões (2018 e 2019) foram 23 e 12% maiores do que no inverno (2018). A FDN nos dois verões (2018 e 2019) e no inverno (2018) foram 5, 4 e 17% menores na dose 550×0 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. A FDN na dose 0 no inverno (2018) foi 7 e 10% maior do que nos dois verões (2018 e 2019). Na dose 550 a FDN no verão (2018) foi 6% maior do que no inverno (2018).

A altura nos dois verões (2018 e 2019) foram 37 e 31% maiores na dose 550×0 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ e no inverno (2018) não houve diferença significativa ($P = 0,0525$). A altura na dose 0 no verão (2018) foi 10% maior do que no inverno (2018) e verão (2019). Na dose 550 a altura no verão (2018) foi 11 e 32% maiores do que no verão (2019) e inverno (2018). O IAF nos dois verões (2018 e 2019) foram 22 e 30% maiores na dose 550×0 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ e no inverno (2018) não houve diferença significativa ($P = 0,0878$). O IAF na dose 0 no verão (2018) foi 12% maior do que no inverno (2018) e verão (2019). Na dose 550 o IAF nos dois verões (2018 e 2019) foi 24% maior do que no inverno (2018). A IL nos dois verões (2018 e 2019) e no inverno (2018) foram 7, 10 e 3% maiores na dose 550×0 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. A IL na dose 0 no verão (2018) foi 3% maior do que no inverno (2018) e verão (2019). Na dose 550 a IL nos dois verões (2018 e 2019) foi 7% maior do que no inverno (2018). A AFE verão (2018), inverno (2018) e verão (2019) foram 32, 13 e 32% maiores na dose 550×0 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. A AFE na dose 0 no inverno (2018) foi 19% maior do que no verão (2019) e na dose 550 no verão (2018) foi 10% maior do que no inverno (2018).

Não houve interação entre a dose de N \times estação para a DIVMS ($P = 0,1410$) e os ângulos foliares ($P = 0,3810$; TABELA 1) para o cultivar Marandu. Houve diferença significativa da estação para a DIVMS ($P < 0,0001$) e ângulos foliares ($P < 0,0001$). No inverno a DIVMS foi 14 e 11% menores quando comparado aos dois verões (2018 e 2019). Para o ângulo foliar obteve-se 13 e 10% a mais no verão (2018) e inverno (2018) em comparação ao verão (2019). Houve diferença da dose de N na DIVMS ($P = 0,0005$), com

5% a mais de DIVMS na dose 550×0 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. Não houve diferença da dose de N nos ângulos foliares ($P = 0,3810$).

Tabela 1 - Efeito da adubação nitrogenada ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) na composição bromatológica e nas características estruturais do cultivar Marandu nas diferentes estações do ano.

Variáveis		Estação			Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p*
		Verão (2018)	Inverno (2018)	Verão (2019)				
Proteína bruta (PB - % MS)	0	11,0 a	9,5 b	10,2 ab	10,2	0,51	0,0142	0,0428
	550	14,1 a	10,8 c	12,3 b	12,4	0,51	<0,0001	
	Média	12,5	10,1	11,2				
	EPM	0,44	0,61	0,48				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0379	0,0001				
Fibra em detergente neutro (FDN - % MS)	0	61,1 b	65,7 a	59,1 b	61,9	1,07	<0,0001	<0,0001
	550	58,3 a	54,6 b	56,7 ab	56,5	1,07	0,0248	
	Média	59,7	60,1	57,9				
	EPM	0,99	1,23	0,99				
	Valor-p [†]	0,0052	<0,0001	0,0146				
Digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS - % MS)	0	59,0	49,7	57,3	55,3	0,98	0,0005	0,1410
	550	62,5	54,4	58,2	58,4			
	Média	60,7 a	52,0 c	57,7 b				
	EPM		0,78					
	Valor-p [¶]		<0,0001					
Altura do dossel (cm)	0	20,1 a	18,0 b	19,6 ab	19,2	0,79	<0,0001	<0,0001
	550	31,8 a	19,8 c	28,4 b	26,7	0,79	<0,0001	
	Média	25,9	18,9	24,0				
	EPM	0,81	0,95	0,81				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0525	<0,0001				
Índice de área foliar (IAF)	0	2,5 a	2,2 b	2,3 b	2,3	0,12	<0,0001	0,0002
	550	3,2 a	2,5 b	3,3 a	3,0	0,12	<0,0001	
	Média	2,8	2,3	2,8				
	EPM	0,11	0,14	0,11				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0878	<0,0001				
Interceptação de luz (IL - %)	0	85,4 a	82,5 b	82,5 b	83,5	1,03	<0,0001	0,0001
	550	91,5 a	85,3 b	91,6 a	89,5	1,03	<0,0001	
	Média	88,5	83,9	87,0				
	EPM	0,93	1,14	0,93				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0149	<0,0001				
Ângulos foliares (°)	0	43,0	40,8	38,6	40,8	1,09	0,3853	0,3810
	550	43,2	41,7	36,1	40,3			
	Média	43,1 a	41,2 a	37,3 b				
	EPM		1,33					
	Valor-p [¶]		<0,0001					
Área foliar específica (AFE - $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	0	98,6 ab	114,2 a	92,1 b	101,6	7,61	0,0041	0,0170
	550	145,2 a	131,1 b	135,3 ab	137,2	7,61	<0,0001	
	Média	121,9	122,6	113,7				
	EPM	6,80	8,33	6,80				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0435	<0,0001				

* Valor-p da análise de variância da estação \times doses de N; § Valor-p do desdobramento da interação da estação \times doses de N ($P < 0,05$) e valor-p para as doses de N; † Valor-p do contraste da interação doses de N \times estação; ¶ Valor-p da análise de variância das estações; EPM: Erro-padrão da média. Letras distintas minúsculas nas linhas são estatisticamente significativas ao teste de Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: Do autor (2021).

Houve interação do sistema de produção \times estação para a FDN ($P = 0,0091$), DIVMS ($P = 0,0400$), IL ($P = 0,0182$) e AFE ($P = 0,0132$; TABELA 2) para o cultivar Marandu. A FDN (% MS) no verão (2018) foi semelhante nos sistemas de produção ($P = 0,1552$), no inverno (2018) foi 5% menor no irrigado \times sequeiro e no verão (2019) foi 4% maior no

irrigado × sequeiro. A FDN no sistema irrigado foram semelhantes na estação ($P = 0,3833$) e no sistema sequeiro a FDN no inverno (2018) foram 4 e 8% maiores do que nos dois verões (2018 e 2019). A DIVMS nos dois verões (2018 e 2019) foram semelhantes nos sistemas de produção ($P = 0,2760$ e $P = 0,4245$), respectivamente, e no inverno (2018) a DIVMS foi 6% maior no sistema irrigado × sequeiro. A DIVMS no sistema irrigado os dois verões (2018 e 2019) foram 10 e 8% maiores do que o inverno (2018) e no sequeiro os dois verões (2018 e 2019) foram 18 e 12% maiores do que no inverno (2018).

A IL nos dois verões (2018 e 2019) foram semelhantes nos sistemas de produção ($P = 0,3016$ e $P = 0,9247$), respectivamente, e no inverno (2018) a IL foi 4% maior no sistema irrigado × sequeiro. No sistema irrigado o verão (2018) foi 3% maior na IL (88.0 *versus* 85.5%) em comparação ao inverno (2018). E no sequeiro os dois verões (2018 e 2019) foram 7 e 5% maiores na IL do que o inverno (2018). A AFE nos dois verões (2018 e 2019) foram semelhantes nas doses ($P = 0,2211$ e $P = 0,1208$) e no inverno a AFE foi 15% maior no sistema irrigado × sequeiro. A AFE no sistema de produção irrigado os dois verões (2018 e 2019) foram 11 e 18% menores do que o inverno (2018) e no sistema sequeiro, a AFE foi 10% maior no verão (2018) × inverno (2018).

Não houve interação dos sistema de produção × estação para a PB ($P = 0,7379$), altura (0,1192), IAF ($P = 0,0741$) e os ângulos foliares ($P = 0,2182$; TABELA 2) para o cultivar Marandu.

Houve diferença significativa da estação para a PB ($P < 0,0001$), altura ($P < 0,0001$), IAF ($P < 0,0001$) e ângulos foliares ($P < 0,0001$). A PB nos dois verões (2018 e 2019) foram 18 e 10% maiores do que no inverno (2018). A altura nos dois verões (2018 e 2019) foram 27 e 21% maiores do que no inverno (2018). O IAF nos dois verões (2018 e 2019) foram 19 e 18% maiores que no inverno (2018). Não houve diferença do sistema de produção para a PB ($P = 0,3143$), altura (0,9520), IAF ($P = 0,9307$) e os ângulos foliares ($P = 0,7422$; TABELA 2).

Tabela 2 - Efeito do sistema de produção (Irigado e Sequeiro) na composição bromatológica e nas características estruturais do cultivar Marandu nas diferentes estações do ano.

Variáveis		Estação			Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p [*]
		Verão (2018)	Inverno (2018)	Verão (2019)				
Proteína bruta (PB - % MS)	Irigado	12,5	9,9	11,2	11,2	0,30	0,3143	0,7379
	Sequeiro	12,5	10,5	11,5	11,5			
	Média	12,5 a	10,2 c	11,3 b				
	EPM		0,36					
	Valor-p ^º		<0,0001					
Fibra em detergente neutro (FDN - % MS)	Irigado	60,4 a	58,9 a	59,0 a	59,4	1,07	0,3833	0,0091
	Sequeiro	59,0 b	61,7 a	56,8 b	59,2			
	Média	59,7	60,3	57,9				
	EPM	0,99	1,23	0,99				
	Valor-p [†]	0,1552	0,0404	0,0304				
Digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS- % MS)	Irigado	60,0 a	53,8 b	58,3 a	57,4	1,05	<0,0001	0,0400
	Sequeiro	61,5 a	50,6 c	57,2 b	56,4			
	Média	60,7	52,2	57,7				
	EPM	1,39	1,90	1,39				
	Valor-p [†]	0,2760	0,0352	0,4245				
Altura do dossel (cm)	Irigado	25,9	19,7	23,6	23,1	0,59	0,9520	0,1192
	Sequeiro	26,0	18,1	24,4	22,8			
	Média	25,9 a	18,9 c	24,0 b				
	EPM		0,53					
	Valor-p ^º		<0,0001					
Índice de área foliar (IAF)	Irigado	2,8	2,5	2,7	2,7	0,07	0,9307	0,0741
	Sequeiro	2,9	2,2	2,8	2,6			
	Média	2,8 a	2,3 b	2,8 a				
	EPM		0,08					
	Valor-p ^º		<0,0001					
Interceptação de luz (IL - %)	Irigado	88,0 a	85,5 b	87,0 ab	86,8	1,03	<0,0001	0,0182
	Sequeiro	88,9 a	82,4 b	87,1 a	86,1			
	Média	88,5	83,9	87,0				
	EPM	0,93	1,14	0,93				
	Valor-p [†]	0,3016	0,0062	0,9247				
Ângulos foliares (°)	Irigado	44,2	40,8	36,2	40,4	1,09	0,7422	0,2182
	Sequeiro	42,0	41,6	38,5	40,7			
	Média	43,1 a	41,2 a	37,3 b				
	EPM		1,33					
	Valor-p ^º		<0,0001					
Área foliar específica (AFE - cm ² g ⁻¹)	Irigado	117,7 b	132,4 a	108,4 b	119,5	6,80	0,0001	0,0132
	Sequeiro	126,1 a	112,9 b	119,0 ab	119,3			
	Média	121,9	122,6	113,7				
	EPM	6,80	8,33	6,80				
	Valor-p [†]	0,2211	0,0210	0,1208				

*Valor-p da análise de variância da estação × sistema de produção; [§]Valor-p do desdobramento da interação das estação × sistema de produção (P < 0,05) e valor-p para o sistema de produção; [†]Valor-p do contraste da interação sistema de produção × estação; ^ºValor-p da análise de variância das estação; EPM: Erro-padrão da média. Letras distintas minúsculas nas linhas são estatisticamente significativas ao teste de Tukey (P < 0,05).

Fonte: Do autor (2021).

Houve interação entre a dose de N × sistema de produção para a AFE (P = 0,0309; TABELA 3). A AFE no sistema irrigado foi 32% maior na dose 550 × 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e no sistema sequeiro foi 22% maior na dose 550 × 0. A AFE nas doses (0 e 550), não houve diferença significativa do sistema de produção (P = 0,2219 e P = 0,2040). Não houve interação entre a dose de N × sistema de produção para a PB (P = 0,8559), FDN (P = 0,8939),

DIVMS ($P = 0,8255$), altura ($P = 0,0770$), IAF ($P = 0,7396$), IL ($P = 0,2977$) e ângulos foliares ($P = 0,2101$; TABELA 3) para o cultivar Marandu.

Não houve diferença significativa do sistema de produção para a PB ($P = 0,3143$), FDN ($P = 0,5763$), DIVMS ($P = 0,1857$), altura ($P = 0,9520$), IAF ($P = 0,9307$), IL ($P = 0,4379$) e ângulos foliares ($P = 0,7400$) e não houve diferença significativa das doses de N para os ângulos foliares ($P = 0,3853$). Houve diferença significativa da dose de N para a PB ($P = 0,0002$), FDN ($P < 0,0001$), DIVMS ($P = 0,0005$), altura ($P < 0,0001$), IAF ($P < 0,0001$) e IL ($P < 0,0001$), sendo que os valores de PB, DIVMS, altura, IAF e IL foram 22, 4, 29, 23 e 7% maiores na dose $550 \times 0 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Para a FDN foi 8% menor na dose 550.

Tabela 3 - Efeito da adubação nitrogenada ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) na composição bromatológica e nas características estruturais do cultivar Marandu nos sistemas Irrigado e Sequeiro.

Variáveis	Sistemas de produção		Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p*
	Irrigado	Sequeiro				
Proteína bruta (PB - % MS)	0	10,3	10,5	10,4	0,30	0,0002
	550	12,6	12,9	12,7		
	Média	11,5	11,7			
	EPM	0,30				
	Valor-p ^φ	0,3143				
Fibra em detergente neutro (FDN - % MS)	0	61,8	61,2	61,5	0,62	<0,0001
	550	57,2	56,3	56,7		
	Média	59,5	58,7			
	EPM	0,62				
	Valor-p ^φ	0,5763				
Digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS - % MS)	0	56,5	56,5	56,5	0,98	0,0005
	550	59,2	58,5	58,8		
	Média	57,8	57,5			
	EPM	0,98				
	Valor-p ^φ	0,1857				
Altura do dossel (cm)	0	18,8	20,0	19,4	0,59	<0,0001
	550	28,2	26,9	27,5		
	Média	23,5	23,5			
	EPM	0,59				
	Valor-p ^φ	0,9520				
Índice de área foliar (IAF)	0	2,3	2,4	2,3	0,07	<0,0001
	550	3,1	3,0	3,0		
	Média	2,7	2,7			
	EPM	0,07				
	Valor-p ^φ	0,9307				
Interceptação de luz (IL - %)	0	83,5	83,7	83,6	0,58	<0,0001
	550	90,5	89,5	90,0		
	Média	87,0	86,6			
	EPM	0,58				
	Valor-p ^φ	0,4379				
Ângulos foliares (°)	0	40,2	41,3	40,7	1,09	0,3853
	550	40,5	39,8	40,1		
	Média	40,3	40,5			
	EPM	1,09				
	Valor-p ^φ	0,7422				
Área foliar específica (AFE - $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$)	0	95,4	104,8	100,1	6,00	0,2219
	550	140,4	135,5	137,9		
	Média	117,9	120,1			
	EPM	6,00				
	Valor-p [†]	<0,0001	<0,0001			

* Valor-p da análise de variância do sistema de produção \times dose de N; § Valor-p da análise de variância das doses de N; φ Valor-p da análise de variância do sistema de produção; EPM: Erro-padrão da média. Fonte: Do autor (2021).

3.2 *Megathyrus maximus* cv. Mombaça

Houve interação entre a dose de N \times estação para a PB ($P = 0,0221$), FDN ($P = 0,0008$), altura ($P < 0,0001$), IAF ($P < 0,0001$) e IL ($P < 0,0001$; TABELA 4) para o cultivar Mombaça. A PB nos dois verões (2018 e 2019) e no inverno (2018) foram 20, 21 e 18% maiores na dose 550×0 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. A PB na dose 0 não houve diferença significativa ($P = 0,2273$) e a PB na dose 550 foram 11 e 12% maiores nos dois verões (2018 e 2019) \times inverno (2018). A FDN nos dois verões (2018 e 2019) e no inverno (2018) foram 4% menores na dose 550×0 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. A FDN na dose 0 foram 2 e 3% maiores nos dois verões (2018 e 2019) \times inverno (2018) e a FDN na dose 550 foram 3% maiores nos dois verões (2018 e 2019) \times inverno (2018).

A altura no verão (2018), inverno (2018) e verão (2018) foram 29, 14 e 32% maiores na dose 550×0 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. A altura na dose 0 nos dois verões (2018 e 2019) foram 32 e 34% maiores do que no inverno (2018). A altura na dose 550 no verão (2019) foi 44 e 48% maior do que no inverno (2018) e verão (2018). O IAF no verão (2018), inverno (2018) e verão (2018) foram 35, 13 e 34% maiores na dose 550×0 . O IAF na dose 0 nos dois verões (2018 e 2019) foram 13 e 13% maiores do que no inverno (2018). O IAF na dose 550 nos dois verões (2018 e 2019) foram 35% maiores do que no inverno (2018). A IL no verão (2018), inverno (2018) e verão (2018) foram 11, 4 e 10% maiores na dose 550×0 . A IL na dose 0 nos dois verões (2018 e 2019) foram 3 e 4% maiores do que no inverno (2018). A IL na dose 550 nos dois verões (2018 e 2019) foram 10% maiores do que no inverno (2018).

Não houve interação entre a dose de N \times estação para a DIVMS ($P = 0,2102$), ângulos foliares ($P = 0,0916$) e AFE ($P = 0,6094$; TABELA 4) para o cultivar Mombaça. Houve diferença significativa da estação para a DIVMS ($P < 0,0001$) e AFE ($P = 0,0123$). Para a DIVMS os dois verões (2018 e 2019) foram 11 e 6% maiores em comparação ao inverno (2018). Para o ângulo foliar obteve-se 12 e 7% a mais no verão (2018) e inverno (2018) em comparação ao verão (2019) e AFE foi 11 e 10% maior no inverno (2018) quando comparado aos dois verões (2018 e 2019).

Houve diferença significativa da dose de N nos ângulos foliares ($P = 0,0057$) com 4% a mais na dose 0 ($46,8^\circ$) em comparação a de 550 ($44,7^\circ$) e para o AFE foi 11% maior na dose 550×0 . Não houve diferença da dose de N na DIVMS ($P = 0,0706$).

Tabela 4 - Efeito da adubação nitrogenada (kg N ha⁻¹ ano⁻¹) na composição bromatológica e nas características estruturais do cultivar Mombaça nas diferentes estações do ano.

Variáveis		Estação			Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p [*]
		Verão (2018)	Inverno (2018)	Verão (2019)				
Proteína bruta (PB - % MS)	0	10,7 a	9,8 a	10,7 a	10,4	0,75	0,2273	
	550	13,3 a	11,9 b	13,5 a	12,9	0,75	<0,0001	
	Média	12,0	10,8	12,1			0,0221	
	EPM	0,73	0,41	0,73				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0052	<0,0001				
Fibra em detergente neutro (FDN - % MS)	0	63,2 a	61,5 b	63,0 a	62,5	0,64	<0,0001	
	550	60,9 a	59,3 b	60,8 a	60,3	0,64	0,0118	
	Média	62,1	60,5	61,9			0,0008	
	EPM	0,74	0,90	0,74				
	Valor-p [†]	0,0278	0,0106	0,0224				
Digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS - % MS)	0	57,2	49,3	54,5	53,7	0,75	0,0706	
	550	57,2	52,7	55,4	55,1			
	Média	57,2 a	51,0 c	54,9 b			0,2102	
	EPM		1,04					
	Valor-p ^φ		<0,0001					
Altura do dossel (cm)	0	71,7 a	48,9 b	74,6 a	65,1	2,25	<0,0001	
	550	100,8 b	56,9 c	110,3 a	89,3	2,25	<0,0001	
	Média	86,3	52,9	92,5			<0,0001	
	EPM	2,74	3,08	2,74				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0170	<0,0001				
Índice de área foliar (IAF)	0	2,4 a	2,1 b	2,4 a	2,3	0,11	<0,0001	
	550	3,7 a	2,4 b	3,6 a	3,2	0,11	<0,0001	
	Média	3,0	2,2	3,0			<0,0001	
	EPM	0,11	0,12	0,11				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0177	<0,0001				
Interceptação de luz (IL - %)	0	83,2 a	80,7 b	84,6 a	82,8	0,93	<0,0001	
	550	93,7 a	84,3 b	93,8 a	90,6	0,93	<0,0001	
	Média	88,5	82,5	89,2			<0,0001	
	EPM	0,97	1,15	0,97				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,0027	<0,0001				
Ângulos foliares (°)	0	50,9	46,4	43,2	46,8	0,69	0,0057	
	550	46,5	45,7	42,0	44,7			
	Média	48,7 a	46,0 b	42,6 c			0,0916	
	EPM		0,84					
	Valor-p ^φ		<0,0001					
Área foliar específica (AFE - cm ² g ⁻¹)	0	75,8	88,9	79,8	81,5	2,82	0,0040	
	550	90,2	97,3	88,5	92,0			
	Média	83,0 b	93,1 a	84,1 b			0,6094	
	EPM		3,44					
	Valor-p ^φ		0,0123					

* Valor-p da análise de variância da estação × dose de N; §Valor-p do desdobramento da interação da estação × dose de N (P < 0,05) e valor-p para as doses de N; †Valor-p do contraste da interação doses de N × estação; φValor-p da análise de variância da estação; EPM: Erro-padrão da média. Letras distintas minúsculas nas linhas são estatisticamente significativas ao teste de Tukey (P < 0,05).

Fonte: Do autor (2021).

Houve interação entre o sistema de produção × estação para a FDN (P = 0,0019), altura (P = 0,0013) e IAF (P = 0,0448; TABELA 5) para o cultivar Mombaça. A FDN nos dois verões (2018 e 2019) foram 3% maiores no irrigado × sequeiro e no inverno (2018) foi 3% menor no irrigado × sequeiro.

A altura na estação (verão - 2018, inverno - 2018 e verão - 2019) foram semelhantes nos sistemas de cultivo (P = 0,2194, P = 0,0591 e P = 0,0846). A altura no sistema irrigado

o verão (2019) e o verão (2018) foram 38 e 34% maiores em comparação ao inverno (2018) e no sistema sequeiro o verão (2019) e o verão (2018) foram 37 e 43% maiores em comparação ao inverno (2018). O IAF no verão (2018) e inverno (2018) foram semelhantes no sistema irrigado ($P = 0,7232$) e sequeiro ($P = 0,4485$) e no verão (2019) foi 9% menor no sistema irrigado \times sequeiro. O IAF no sistema irrigado os dois verões (2018 e 2019) foram 23% maiores em comparação ao inverno (2018) e no sistema sequeiro os dois verões (2018 e 2019) foram 31% maiores em comparação ao inverno (2018).

Não houve interação do sistema de produção \times estação para a PB ($P = 0,3836$), DIVMS ($P = 0,1054$), IL ($P = 0,1057$), ângulos foliares ($P = 0,4839$) e AFE ($P = 0,0918$; TABELA 5) para o cultivar Mombaça. Houve diferença significativa da estação para a PB ($P = 0,0011$), DIVMS ($P < 0,0001$), IL ($P < 0,0001$), ângulos foliares ($P < 0,0001$) e AFE ($P = 0,0123$), para a PB os dois verões (2018 e 2019) foram 10% maiores que no inverno (2018), a DIVMS nos dois verões (2018 e 2019) foram 12 e 7% maiores que no inverno (2018) e para a IL (%) os dois verões (2018 e 2019) foram 7% maiores que no inverno (2018).

Não houve diferença do sistema de produção para a PB ($P = 0,3219$) e IL ($P = 0,7215$) e AFE ($P = 0,4076$; TABELA 5). Houve diferença do sistema de produção para a DIVMS ($P = 0,0096$) e ângulos foliares ($P = 0,0166$), com 4% a mais na DIVMS no sistema irrigado \times sequeiro e nos ângulos foliares com 4% a mais no irrigado (46.7°) em comparação ao sequeiro (44.8°).

Tabela 5 - Efeito do sistema de produção (Irrigado e Sequeiro) na composição bromatológica e nas características estruturais do cultivar Mombaça nas diferentes estações do ano.

Variáveis		Estação			Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p [*]
		Verão (2018)	Inverno (2018)	Verão (2019)				
Proteína bruta (PB - % MS)	Irrigado	12,5	10,9	13,2	12,2	0,65	0,3219	0,3836
	Sequeiro	11,6	10,6	11,0	11,1			
	Média	12,0 a	10,8 b	12,1 a				
	EPM		0,42					
	Valor-p ^º		0,0011					
Fibra em detergente neutro (FDN - % MS)	Irrigado	62,3 a	59,4 b	63,9 a	61,9	0,64	<0,0001	0,0019
	Sequeiro	60,7 b	61,5 ab	62,3 a	61,5			
	Média	61,5	60,5	63,1				
	EPM	0,74	0,90	0,74				
	Valor-p [†]	0,0215	< 0,0001	0,0209				
Digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS - % MS)	Irrigado	57,4	53,7	55,6	55,6	0,75	0,0096	0,1054
	Sequeiro	57,0	48,3	54,3	53,2			
	Média	57,2 a	51,0 c	54,9 b				
	EPM		1,04					
	Valor-p ^º		<0,0001					
Altura do dossel (cm)	Irrigado	84,5 b	55,9 c	89,9 a	76,7	2,25	<0,0001	0,0013
	Sequeiro	88,0 b	49,8 c	95,0 a	77,6			
	Média	86,3	52,9	92,5				
	EPM	2,74	3,08	2,74				
	Valor-p [†]	0,2194	0,0591	0,0846				
Índice de área foliar (IAF)	Irrigado	3,0 a	2,3 b	2,9 a	2,7	0,10	<0,0001	0,0448
	Sequeiro	3,0 a	2,2 b	3,2 a	2,8			
	Média	3,0	2,2	3,1				
	EPM	0,11	0,13	0,11				
	Valor-p [†]	0,7232	0,4485	0,0143				
Interceptação de luz (IL - %)	Irrigado	88,2	83,3	88,5	86,7	0,69	0,7215	0,1057
	Sequeiro	88,7	81,7	89,8	86,7			
	Média	88,5 a	82,5 b	89,1 a				
	EPM		0,66					
	Valor-p [†]		<0,0001					
Ângulos foliares (°)	Irrigado	49,9	47,2	42,9	46,7	0,69	0,0166	0,4839
	Sequeiro	47,4	44,9	42,2	44,8			
	Média	48,6 a	46,0 a	42,6 b				
	EPM		0,84					
	Valor-p ^º		<0,0001					
Área foliar específica (AFE - cm ² g ⁻¹)	Irrigado	81,0	97,3	80,7	86,3	2,82	0,4076	0,0918
	Sequeiro	85,0	89,0	87,7	87,2			
	Média	83,0 b	93,1 a	84,2 b				
	EPM		3,44					
	Valor-p ^º		0,0123					

*Valor-p da análise de variância da estação × sistema de produção; §Valor-p do desdobramento da interação das estação × sistema de produção (P < 0,05) e valor-p para o sistema de produção; †Valor-p do contraste da interação sistema de produção × estação; ºValor-p da análise de variância das estação; EPM: Erro-padrão da média. Letras distintas minúsculas nas linhas são estatisticamente significativas ao teste de Tukey (P < 0,05).

Fonte: Do autor (2021).

Não houve interação entre a dose de N × sistema de produção para a PB (P = 0,8691), FDN (P = 0,3656), DIVMS (P = 0,4447), altura (P = 0,9286), IAF (P = 0,2774), IL (P = 0,9812), ângulos foliares (P = 0,4785) e AFE (P = 0,7610; TABELA 6) para o cultivar Mombaça.

Houve diferença do sistema de produção para a DIVMS (P = 0,0096) e ângulos foliares (P = 0,0166), a DIVMS foi 4% maior no sistema irrigado × sequeiro, em que os

ângulos foliares foram 4% maiores no sistema irrigado × sequeiro. Não houve diferença do sistema de produção para a PB (P = 0,3219), FDN (P = 0,8175), altura (P = 0,4756), IAF (P = 0,2399), IL (P = 0,7215) e AFE (P = 0,4076). Houve diferença da dose de N para a PB (P < 0,0001), altura (P < 0,0001), IAF (P < 0,0001), IL (P < 0,0001), ângulos foliares (P = 0,0057) e AFE (P = 0,0040). Os valores de PB altura, IAF e IL foram 19, 85, 28, 30 e 9 % maiores na dose 550 × 0 e nos ângulos foliares 4% a menos na dose 550 × 0. A AFE foi 11% maior na dose 550 (91.3 cm² g⁻¹) × 0 (80.6 cm² g⁻¹). Não houve diferença significativa da dose de N para a FDN (P = 0,4696) e DIVMS (P = 0,0706).

Tabela 6 - Efeito da adubação nitrogenada (kg N ha⁻¹ ano⁻¹) na composição bromatológica e nas características estruturais do cultivar Mombaça nos sistemas Irrigado e Sequeiro.

Variáveis	Sistemas de produção		Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p [*]
	Irrigado	Sequeiro				
Proteína bruta (PB - % MS)	0	10,7	10,3	10,5	0,65	<0,0001
	550	13,7	12,0	12,9		
	Média	12,2	11,1			
	EPM	0,65				
	Valor-p ^φ	0,3219				
Fibra em detergente neutro (FDN - % MS)	0	62,9	62,1	62,5	0,64	0,4696
	550	60,9	60,8	60,8		
	Média	61,9	61,5			
	EPM	0,64				
	Valor-p ^φ	0,8175				
Digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS - % MS)	0	55,3	53,7	54,5	0,75	0,0706
	550	55,9	53,9	54,9		
	Média	55,6	53,8			
	EPM	0,75				
	Valor-p ^φ	0,0096				
Altura do dossel (cm)	0	66,2	68,0	67,1	2,24	<0,0001
	550	92,7	94,2	93,5		
	Média	79,5	81,1			
	EPM	2,24				
	Valor-p ^φ	0,4756				
Índice de área foliar (IAF)	0	2,3	2,3	2,3	0,07	<0,0001
	550	3,3	3,4	3,3		
	Média	2,8	2,9			
	EPM	0,07				
	Valor-p ^φ	0,2399				
Interceptação de luz (IL - %)	0	83,0	83,2	83,1	0,69	<0,0001
	550	91,3	91,5	91,4		
	Média	87,1	87,3			
	EPM	0,69				
	Valor-p ^φ	0,7215				
Ângulos foliares (°)	0	47,6	46,2	46,9	0,69	0,0057
	550	45,7	43,5	44,6		
	Média	46,6	44,8			
	EPM	0,69				
	Valor-p ^φ	0,7215				
Área foliar específica (AFE - cm ² g ⁻¹)	0	79,9	81,3	80,6	2,82	0,0040
	550	89,9	92,8	91,3		
	Média	84,9	87,0			
	EPM	2,82				
	Valor-p ^φ	0,4076				

* Valor-p da análise de variância do sistema de produção × dose de N; §Valor-p da análise de variância das doses de N; φValor-p da análise de variância do sistema de produção; EPM: Erro-padrão da média.

Fonte: Do autor (2021).

4 DISCUSSÃO

4.1 *Urochloa brizantha* cv. Marandu

Os teores de PB do capim Marandu foram afetados pelas doses de N (TABELA 1) ao longo da estação do ano, com maiores valores na dose 550 × 0 nos dois verões (2018 e 2019) e no inverno. A dose de N aplicada em cada corte ou no sistema de lotação rotativa afeta diretamente o teor médio de PB (SANTOS et al., 2013). E a PB para o efeito da dose de N foi maiores na dose 550 (12,7%) do que na dose 0 (10,4% - TABELA 3). Segundo Gomide (1989), não se deve esperar alteração substancial na composição química da forragem pela adubação nitrogenada, em virtude do efeito mais pronunciado na produção de forragem em comparação aos efeitos nos teores de proteína bruta. O teor médio de PB do capim Marandu na estação do ano não houve diferença significativa no sistema de produção (irrigado ou sequeiro - TABELA 2).

Os teores médios de FDN na estação do ano na dose 0 foi maior no inverno em comparação ao verão agrostológico (nos dois verões) e na dose 550 ocorreu maiores valores de FDN nos dois verões em comparação ao inverno (TABELA 1). A adubação nitrogenada aumentou os teores de PB e diminuiu os teores de FDN (DELEVATTI et al., 2019). De acordo com Santos et al. (2017) no outono-inverno, ocorre menor produção de forragem, IAF e relação folha: colmo, com isso obteve-se maiores teores de PB e menor FDN em ambos os anos de estudo.

Para a FDN na estação do ano no sistema irrigado não houve diferença significativa e no sistema sequeiro foi maior no inverno (61,7%) em comparação ao verão agrostológico (nos dois verões – 59,0% e 56,8%). Quando realiza a comparação do sistema de produção dentro de cada estação no verão (2018) não houve diferença significativa, no inverno a FDN foi menor no irrigado (58,9%) do que no sistema sequeiro (61,7% - TABELA 2) e no verão (2019) a FDN foi maior no irrigado × sequeiro (59,0 × 56,8%). E a FDN para a dose de N foi menor na dose 550 (56,7%) do que na dose 0 (61,5% - TABELA 3). De acordo com Dupas et al. (2010) a FDN foi maior na estação seca (65,4%) do que na estação chuvosa (63,8%) devido a maior produção de forragem, que resultou em maior PB e menores valores de FDN.

A DIVMS do capim Marandu é maior na dose 550 (58,4%) quando comparado a dose 0 (55,3% - TABELA 1). A DIVMS no verão é maior do que no inverno. A DIVMS na estação do ano no sistema irrigado e no sequeiro foi maior no verão agrostológico em

comparação ao inverno. Quando realiza a comparação do sistema de produção dentro de cada estação nos dois verões não houve diferença significativa e no inverno a DIVMS foi maior no irrigado (53,8%) do que no sistema sequeiro (50,6% - TABELA 2). Quando realiza a adubação nitrogenada têm-se maiores valores de PB e DIVMS e menores teores de FDN quando comparados a sistemas que não realizam adubação com N (CECATO et al., 2001; HOMEM et al., 2021; SILVA et al., 2020).

A dose de 550 kg de N aumentou a altura do dossel e IAF nos dois verões (2018 e 2019) e no inverno (2018) não houve diferença significativa entre as doses de adubação nitrogenada (TABELA 1). A adubação nitrogenada aumentou a IL e a AFE no verão (2018), inverno (2018) e verão (2019) para o cultivar Marandu. Quando não se realiza a adubação nitrogenada não têm diferença na altura, IAF e IL do inverno com o verão (2019), e na dose 550 para as mesmas variáveis os dois verões (2018 e 2019) foram maiores do que no inverno (2018), como a adubação nitrogenada promove aumento no crescimento no verão agrostológico têm-se maiores índices de temperatura, luminosidade e chuva (FIGURA 1). A adubação nitrogenada não afetou nos ângulos foliares. Para os ângulos foliares na estação do ano foi maiores no verão (2018) e inverno (2018) quando comparados ao verão (2019). De acordo com Pedreira et al. (2007) a IL está relacionada positivamente a altura e ao IAF ao longo da rebrotação quanto a todas as estratégias de pastejo avaliadas.

No inverno agrostológico o sistema irrigado aumentou a IL e AFE e nos dois verões agrostológicos não houve diferença significativa (TABELA 2). Para a altura e IAF não houve diferença significativa do sistema de produção, houve diferença da estação ano com maior altura e IAF no verão agrostológico em relação ao inverno (TABELA 2). A adubação nitrogenada (dose 550) aumentou a altura do dossel, IAF e IL quando comparado a dose 0 (TABELA 3). Para a AFE no sistema irrigado e sequeiro a dose 550 foi 32 e 22% maiores do que a dose 0. De acordo com Gomide (1997), a AFE contribui indiretamente, via interceptação de luz, para o crescimento da planta.

4.2 *Megathyrus maximus* cv. Mombaça

A PB e a FDN foi afetada pela adubação nitrogenada para o cultivar Mombaça ao longo da estação do ano (TABELA 4), com maiores teores de PB e menores teores de FDN na dose 550 × 0 nos dois verões (2018 e 2019) e no inverno. A PB no cultivar Mombaça quando não realiza a adubação nitrogenada não foi afetada pela estação do ano e na dose 550 foi maior nos dois verões em comparação ao inverno. Para a FDN nas doses 0 e 550 houve

maiores valores nos dois verões \times inverno. Quando realiza a adubação nitrogenada têm-se aumento nos teores de PB e redução da FDN (HOMEM et al., 2021; SILVA et al., 2020; DELEVATTI et al., 2019).

A DIVMS não foi afetada pela adubação nitrogenada e sim pela estação do ano com maiores valores nos dois verões \times inverno, isso se deve ao fato de que no verão têm-se maiores valores de PB e menores de FDN quando realiza a adubação nitrogenada (TABELA 4).

O teor médio de PB do cultivar Mombaça na estação do ano não houve diferença significativa no sistema de produção (irrigado ou sequeiro - TABELA 5). E a PB para o efeito da adubação nitrogenada foi maior na dose 550 (12,9%) \times dose 0 (10,5% - TABELA 6). A FDN no sistema irrigado ao longo da estação foi menor no inverno quando comparados aos dois verões e no sistema sequeiro a diferença foi nos dois verões (2018 e 2019). Quando realiza-se a comparação dentro do sistema de produção nos dois verões a FDN foi maior no sistema irrigado e no inverno ocorre o inverso, com menor FDN no irrigado (TABELA 5). O sistema irrigado (55,6%) aumentou a DIVMS quando comparado ao sistema sequeiro (53,2% - TABELA 5).

Para o cultivar Mombaça a adubação nitrogenada aumentou a altura do dossel, IAF e IL nos dois verões (2018 e 2019) e no inverno (TABELA 4). Para a altura, IAF e IL quando não se realiza a adubação nitrogenada os dois verões (2018 e 2019) foram maiores do que no inverno (2018) e o mesmo acontece quando realiza a adubação nitrogenada (TABELA 4). A adubação nitrogenada diminuiu os ângulos foliares e aumentou a AFE, contribuindo para maior IL do dossel (PEDREIRA et al., 2007). Para os ângulos foliares na estação do ano foi maiores no verão (2018) e inverno (2018) quando comparados ao verão (2019) e para a AFE no inverno foi maior quando comparado aos dois verões.

Para a altura e IAF houve diferença significativa do sistema de produção, com maior altura e IAF dos dois verões em relação ao inverno (TABELA 5). A adubação nitrogenada (dose 550) aumentou a altura do dossel, IAF, IL e AFE quando comparado a dose 0 (TABELA 6). Para os ângulos foliares no sistema irrigado foi maior do que no sequeiro. De acordo com Lemaire e Chapman (1996) a eficiência de absorção da luz pelo dossel forrageiro é influenciado pela características estruturais como o IAF e os ângulos foliares.

A relação entre altura do dossel e IL no sistema de produção forrageira é afetada pela adubação nitrogenada e a presença da água, sendo a relação altura \times IL é utilizada como meta de manejo de pastagens (EUCLIDES et al., 2014).

5 CONCLUSÕES

No cultivar Marandu a adubação nitrogenada na dose 550 kg ha⁻¹ano⁻¹ promoveu efeito positivo na composição bromatológica (PB, FDN e DIVMS), com melhoria nas características estruturais do dossel forrageiro (altura, IL, IAF e AFE). O uso da irrigação no período seco do ano afetou de forma positiva na composição bromatológica (FDN e DIVMS), além de maior interceptação de luz e área foliar específica. O cultivar Marandu é uma boa opção para locais sem irrigação e com locais de seca pouco pronunciada e que a adubação nitrogenada ajuda independente do efeito da espécie forrageira e do sistema de produção.

Para o cultivar Mombaça a adubação nitrogenada na dose 550 kg ha⁻¹ano⁻¹ promoveu efeito positivo na composição bromatológica (PB e FDN), com melhoria nas características estruturais do dossel forrageiro (altura, IL, IAF e AFE). O uso da irrigação no inverno diminuiu teores de fibra em detergente neutro. O uso da irrigação aumentou a digestibilidade *in vitro* da matéria seca e os ângulos foliares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, V.G.; BATELLO, C.; BERRETTA, E.J.; HODGSON, J.; KOTHMANN, M.; LI, X.; MCLVOR, J.; MILNE, J.; MORRIS, C.; PEETERS, A.; SANDERSON, M. Na international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, v. 66, p. 2–28, 2011.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. FAO. Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, 300p. 1998.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 12.ed. Washington: AOAC International, p.1098, 1990.

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

DELEVATTI, L.M.; CARDOSO, A.S.; BARBERO, R.P.; LEITE, R. G.; ROMANZINI, E. P.; RUGGIERI, A. C.; REIS, R.A. Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. **Scientific Reports**, v.9, n.7596. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44138-x>

DUPAS E.; BUZETTI, S.; SARTO, A.L.; HERNANDEZ, F.B.T.; BERGAMASCHINE, A.F. Dry matter yield and nutritional value of Marandu grass under nitrogen fertilization and irrigation in cerrado in São Paulo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.2598-2603, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001200006>

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

EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D.B.; BARBOSA, R.A.; NANTES, N.N. Manejo do pastejo de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf e de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Ceres**, v. 61, p. 808-818, 2014. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000006>

EVANS, J. R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. **Oecologia**. v. 78, p. 9-19. 1989.

GOMIDE, J.A. Morfogênese e análise de crescimento de gramíneas tropicais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. p.411-430.

GOMIDE, J.A. Aspectos biológicos e econômicos da adubação de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DE PASTAGENS, 1., 1989, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1989. p. 237-270. 1989.

HINKELMANN, K.; KEMPTHORNE, O. **Design and analysis of experiments: introduction to experimental design**. 2 ed. New Jersey: John Wiley, 2008. 631 p.

HOLDEN, L. A. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for tem feeds. **Journal of Dairy Science**, v.82, p.1791-1794, 1999.

HOMEM, B. G. C.; LIMA, I. B. G.; SPASIANI, P. P.; FERREIRA, I. M.; BODDEY, R. M.; BERNARDES, T. F.; DUBEUX, J. C. B.; CASAGRANDE, D. R. Palisadegrass pastures with or without nitrogen or mixed with forage peanut grazed to a similar target canopy height. 1. Effects on herbage mass, canopy structure and forage nutritive value. **Grass and Forage Science**, v. 1, p. 1-13, 2021. doi: <https://doi.org/10.1111/gfs.12532>.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D.F. Tissue flows in grazed communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Eds.). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford: CAB International, 1996. p.3-37.

LEMAIRE, G.; DA SILVA, S.C.; AGNUSDEI, M.; WADE, M.; HODGSON, J. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. **Grass and Forage Science**, v.64, p.341-353, 2009.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S.; SILVA, S.C. da. Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés em resposta a estratégias de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.281-287, 2007. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/7565>.

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

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. 2021. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed., Campinas: IAC, 1996. 285 p. (**Boletim técnico 100**).

SANTOS, F.A.S.; DÓREA, J.R.R.; GOUVÊA, V.N. **Compostos nitrogenados em plantas forrageiras.** In: REIS, R.A; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R. editors. *Forragicultura: Ciência, Tecnologia e Gestão de Recursos Forrageiros.* 1st ed. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel – ME; 2013. p. 395-407.

SANTOS, G.O.; FARIA, R.T.D; RODRIGUÊS, G.A.; DANTAS, G.D.F.; DALRI, A.B.; PALARETTI, L.F. Forage yield and quality of marandugrass fertigated with treated sewage wastewater and mineral fertilizer. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.39, n.4, p.515-523. 2017.

SILVA, R.O.; MIOTTO, F.R.C.; NEIVA, J.N.M.; SILVA, L.F.F.M.; FREITAS, I.B.; ARAÚJO, V.L.; RESTLE, J. Effects of increasing nitrogen levels in Mombasa grass on pasture characteristics, chemical composition, and beef cattle performance in the humid tropics of the Amazon. **Tropical Animal Health Production**, v.52, p. 3293–3300, 2020. doi: <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02360-0>.

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, p.598-625, 2015. doi: [10.3390/agriculture5030598](https://doi.org/10.3390/agriculture5030598).

SILVA, V. J.; PEDREIRA, C. G. S.; SOLLENBERGER, L. E.; SILVA, L. S.; YASUOKA, J. I.; ALMEIDA, I. C. L. Carbon assimilation, herbage plant-part accumulation, and organic reserves of grazed “Mulato II” Brachiariagrass pastures. **Crop Science**, v. 56, p.2853–2860, 2016. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.03.0148>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6ª Ed. Artmed Edit, 516 p., 2017.

VAN SOEST, P. J.; ROVERTSON, J. B; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.

WELLES, J. M.; NORMAN, J. M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. **Agronomy Journal**, v.83, p. 818–825, 1991. doi: <https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300050009x>.

ARTIGO 3 - Uso de métodos indiretos na estimativa de características agronômicas e bromatológicas da *Urochloa brizantha* (Hochst ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu

RESUMO

Medidas indiretas podem ser utilizadas para mensuração de respostas agronômicas e bromatológicas da *Urochloa brizantha* (Hochst ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu e sua relação com o uso de nitrogênio (N) e água. Objetivou-se utilizar o clorofilômetro portátil *atLEAF CHL PLUS* para avaliar a correlação dos teores de clorofila (valor SPAD) versus dados bromatológicos (Proteína Bruta – PB, Fibra em Detergente Neutro - FDN e Digestibilidade *In Vitro* da MS - DIVMS) e relacionar os resultados agronômicos (Acúmulo de Forragem – AF, Interceptação Luminosa – IL e Índice de Área Foliar - IAF) × leitura do Prato Ascendente (Prato) e Altura do cultivar Marandu quanto a combinações de duas doses de N e o uso ou não de irrigação. O delineamento foi em blocos ao acaso em esquema fatorial (sistemas de produção: Sequeiro e Irrigado × adubação nitrogenada: 0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) com três repetições, com 12 parcelas de 7 × 4 m cada. Foram avaliados dois ciclos de rebrotação de 28 dias no verão (26/11/2018 a 23/01/2019) na cidade de Lavras, Minas Gerais, Brasil. Em cada ciclo foram mensurados os teores SPAD e os teores de clorofila (µg cm⁻²) nos dias: 4, 9, 17 e 28 e foi mensurado o AF, colhendo a forragem delimitada em molduras metálicas retangulares a 15 cm do nível do solo (dois pontos por parcela). A estimativa da concentração de clorofila foi com o *atLEAF CHL PLUS* (10 folhas no retângulo de amostragem). As medidas de Prato, Altura, IL e IAF foram realizadas nos dias: 0, 4, 9, 17 e 28 de cada ciclo. As análises bromatológicas foram de PB (% MS), FDN (% MS) e a DIVMS (% MS). A análise de correlação de Pearson e regressão (linear e não linear) foram utilizadas para verificar a relação linear das variáveis: AF, IL e IAF versus Prato e Altura, e a relação da PB, FDN e DIVMS × valor SPAD. Houve correlação linear positiva entre o AF × Prato no sistema irrigado nas doses 0 e 550 e no sistema sequeiro na dose 550. Houve correlação linear positiva entre o AF × Altura no sistema sequeiro na dose 550 e no sistema irrigado na dose 550. Não houve correlação linear nos sistemas na dose 0. Houve correlação linear positiva da IL e IAF × Prato Ascendente e Altura nos sistemas nas doses 0 e 550. Houve correlação linear positiva da variável PB × valor SPAD no sistema sequeiro nas doses 0 e 550. Não houve correlação linear da FDN × valor SPAD nos dois sistemas na dose 0. Houve correlação linear negativa da FDN × valor SPAD no sistema sequeiro na dose 550 e correlação linear positiva no sistema irrigado na dose 550. Houve correlação linear positiva da DIVMS × valor SPAD no sistema sequeiro nas doses 0 e 550. E não houve correlação linear da DIVMS × valor SPAD no sistema irrigado na dose 0 e houve correlação linear positiva na dose 550. Não foi possível estimar AF, PB, FDN e DIVMS com um único método de medição de forma indireta. Mas correlacionando a leitura do prato com o AF e o valor SPAD com as variáveis bromatológicas é possível obter resultados interessantes e aplicados no manejo das pastagens. O *atLEAF* é de fácil utilização e fornece de forma indireta a estimativa da clorofila nas folhas. Ambos são métodos indiretos e não-destrutivos, sendo indicados para os fazendeiros realizarem o manejo de pastagens.

Palavras-chave: valor SPAD; Acúmulo de forragem; Correlações.

ARTICLE 3 - Use of indirect methods to estimate agronomic and bromatological characteristics of *Urochloa brizantha* Marandu palisadegrass

ABSTRACT

Indirect measurements can be used to measure the agronomic and bromatological responses of *Urochloa brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) R.D. Webster (Marandu palisadegrass) and its relationship with the use of nitrogen (N) and water. The objective was to use the portable chlorophyllometer atLEAF CHL PLUS to evaluate the correlation of chlorophyll levels (SPAD value) × bromatological data (Crude Protein - CP, Neutral Detergent Fiber - NDF and In Vitro Dry Matter of Digestibility - IVDMD) and relate the results agronomic (Herbage Accumulation – HA, Light Interception – LI and Leaf Area Index – LAI) × Reading of the Rising Plate Meter (RPM) and Canopy Height of the Marandu palisadegrass regarding combinations of two doses of N and the use or not of irrigation. The design was in randomized blocks in a factorial scheme (production systems - PS: Rainfed - R and Irrigated × nitrogen fertilization: 0 and 550 kg of N ha⁻¹ year⁻¹) with three replications, with 12 plots of 7 × 4 m for each. Two 28-day regrowth cycles were evaluated in the summer (26/11/2018 to 23/01/2019) in the city of Lavras, Minas Gerais, Brazil. In each cycle, the SPAD values and the chlorophyll contents (µg cm⁻²) were measured on days: 4, 9, 17 and 28 and the HA was measured, harvesting the forage enclosed in rectangular metallic frames at 15 cm from the ground level (two points per plot). The chlorophyll concentration was estimated with atLEAF CHL PLUS (10 leaves in the sampling rectangle). The measurements of RPM, Canopy Height, LI and LAI were performed on days: 0, 4, 9, 17 and 28 of each cycle. The bromatological analyzes were of CP (% DM), NDF (% DM) and IVDMD (% DM). Pearson's correlation analysis and regression (linear and non-linear) were used to verify the linear relationship of the variables: HA, LI and LAI versus RPM and Canopy Height, and the relationship of CP, NDF and IVDMD × SPAD value. There was a positive linear correlation between the HA × RPM in the I at doses 0 and 550 and in the R at dose 550. There was a positive linear correlation between the HA × Canopy Height in the R at dose 550 and in the I at dose 550. Linear correlation in the production systems at dose 0. There was a positive linear correlation of LI and LAI × RPM and Canopy Height in the PS at doses 0 and 550. There was a positive linear correlation of the variable CP × SPAD value in the R at doses 0 and 550. Linear correlation of NDF × SPAD value in the PS at dose 0. There was a negative linear correlation of NDF × SPAD value in the R at dose 550 and positive linear correlation in the I at dose 550. There was a positive linear correlation of IVDMD × SPAD value in the R at doses 0 and 550. And there was not linear correlation of IVDMD × SPAD value in the I at dose 0 and there was a positive linear correlation at dose 550. It was not possible to estimate HA, CP, NDF and IVDMD with a single indirect method measurement. However, by correlating the reading RMP with the HA and the SPAD value with the bromatological variables, it is possible to obtain interesting and applied results in the management of pastures. The atLEAF is easy to use and indirectly provides an estimate of the chlorophyll in leaves. Both are indirect and non-destructive methods, being recommended for farmers to manage pastures.

Keywords: SPAD value; Herbage accumulation; correlations.

1 INTRODUÇÃO

Dentre tantas espécies de forrageiras existentes em ambientes tropicais, a *Urochloa brizantha* (Hochst ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu [sin. *Brachiaria brizantha* (Hochst ex A. Rich.) Stapf. cv. Marandu] se destaca pela alta produção de forragem, persistência ao pisoteio e ao pastejo, boa capacidade de rebrotação, tolerância ao fogo, à seca

e ao frio (NUNES, 1984). Embora largamente utilizada, essa planta forrageira apresenta variações na produção e conseqüentemente mudanças na composição nutricional dependendo das condições de manejo e do ambiente de produção.

O valor nutritivo da forragem é avaliado pela sua digestibilidade e pelos seus teores de proteína bruta (PB) e de parede celular (GOMIDE et al., 2001). De acordo com Burton (1998) as adubações, especialmente a nitrogenada, aumentam a produção de matéria seca (MS), aumentam o teor de PB, e em alguns casos, diminuem o teor de fibras da forragem, contribuindo para a melhoria do valor nutritivo.

Além do manejo do pastejo e da adubação, o impacto das mudanças climáticas sobre o desenvolvimento de plantas forrageiras ainda é pouco conhecido e pode determinar alterações importantes nos cenários futuros de produção e cultivo das forragens. Os modelos de cultura são considerados funções dinâmicas do sistema solo-planta-atmosfera e integram os conhecimentos dos processos biofísicos que regem o sistema solo-água-planta, permitindo identificar e avaliar as incertezas na produção, associadas às diferentes opções de manejo. Além disso, permitem aperfeiçoar a eficiência da pesquisa, permitindo a análise do desempenho de cultivares em diferentes solos, condições climáticas, manejos da irrigação e épocas de aplicação de nitrogênio (HEINEMANN et al., 2000, 2002; ZHANG et al., 2007).

A adubação nitrogenada contribui com a melhoria da qualidade da forragem. O suprimento de nitrogênio (N) via adubação tem efeito direto na concentração dos nutrientes na planta. O valor nutritivo das gramíneas é determinado pelas diferenças entre as espécies, idade da planta e adubação, principalmente a nitrogenada. O N fornecido adequadamente, em condições favoráveis para o crescimento das plantas, proporciona aumento da produção de massa seca e do teor de proteína a partir da produção de carboidratos (HAVLIN et al., 2005; COSTA et al., 2009). Farias (2019) afirma que o valor nutritivo de pastagens possibilita a identificação de causas restritivas de produção animal. Costa et al. (2009) constataram um aumento linear na produção de massa seca com o aumento das doses de N, nos cultivares de *Urochloa brizantha* (cultivares Marandu, MG - 4 e Xaraés). Também observaram que a aplicação de N proporcionou aumento linear nos teores de PB e que reduziram de forma linear os teores de FDN.

Devido à alta correlação que existe entre os teores de N e clorofila (EVANS, 1983; MARENCO; LOPES, 2007), o clorofilômetro tem sido usado principalmente para estimar o teor de nitrogênio das folhas. Sendo um instrumento portátil que fornece leituras, assim relacionando com o teor de clorofila presente na folha. Permite medições de forma rápida e

prática, ainda em campo a um custo baixo. Esse método se torna então uma ferramenta viável para o diagnóstico precoce da deficiência de N, auxiliando na prevenção da carência pelo nutriente, que pode ser utilizado inúmeras vezes sem destruir o limbo foliar.

Segundo Cavallo et al. (2017), o modelo atLEAF se apresenta com um modelo de baixo custo, dentre os clorofilômetros. O medidor *atLEAF Chl* pode ser usado como uma alternativa econômica ao medidor SPAD-502, embora este último tenha sido considerado mais fácil de manusear (ZHU et al., 2012). Mendoza-Tafolla et al. (2019), mostraram um alto coeficiente de correção linear ($r = 0,96$, $R^2 = 0,91$, $RMSE = 0,02$, $\alpha = 0,01$) entre a concentração de N com as leituras do *atLEAF CHL PLUS*, indicando que este pode ser usado para uma estimativa rápida e confiável.

Além do Nitrogênio, o teor de fibra em detergente neutro (FDN) de uma forragem é considerado importante não só para a avaliação de sua composição química, mas também pelo fato de a FDN estar relacionada com o consumo máximo de MS (MERTENS, 1994). Com isso, forragens com teores de FDN alto teriam menor potencial de consumo pelos animais em pastejo. Van Soest (1965) concluiu que o teor de FDN é o maior limitante do consumo de volumosos.

Objetivou-se utilizar o clorofilômetro portátil *atLEAF CHL PLUS* para avaliar a correlação dos teores de clorofila (leitura SPAD) *versus* dados bromatológicos (PB, FDN e Digestibilidade *In Vitro* da MS) e relacionar os resultados agrônômicos (Acúmulo de Forragem, Interceptação Luminosa e Índice de Área Foliar) *versus* Prato Ascendente e Altura da *Urochloa brizantha* cv. Marandu quanto a combinações de duas doses de N e o uso ou não de irrigação durante o verão agrostológico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição do experimento, delineamento experimental e tratamentos

O Experimento foi conduzido no campo experimental do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA) em Lavras, Minas Gerais, Brasil (21° 14' 45" Sul, 44° 59' 59" Oeste, 919 m de altitude).

Foi utilizado o cultivar forrageiro de *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu cultivado com duas foram testadas duas doses de aplicação de N (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) *versus* dois sistemas de produção (sequeiro e irrigado), totalizando quatro tratamentos distribuídos em 12 unidades experimentais. Cada unidade experimental

(parcela) possuía 28 m² (4 x 7 metros). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC) com três repetições num esquema fatorial 2x2.

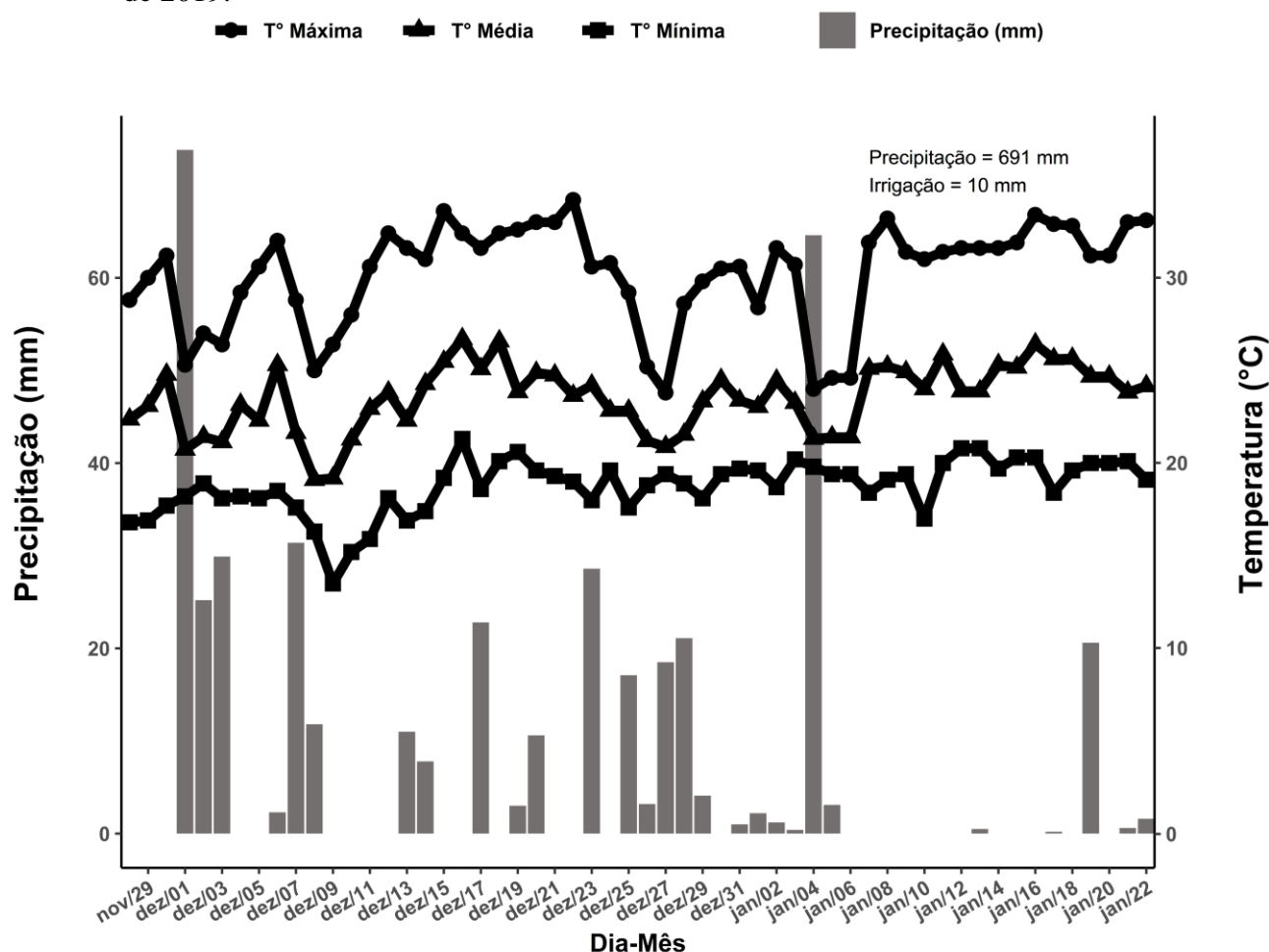
O solo da área experimental foi amostrado para análise no dia 05/08/2014 e as recomendações de calagem e adubação para semeadura foram realizados de acordo com o Boletim 100 do Instituto Agronômico de Campinas - IAC (RAIJ et al., 1997). As características químicas do solo para a profundidade de 0-20 cm, no início do experimento foram: pH = 5,2, P = 0,8 mg dm⁻³ (método de Melich-1), matéria orgânica (MO) = 2,9 g dm⁻³, K = 1,9 mmol_c dm⁻³, Ca = 10,0 mmol_c dm⁻³, Mg = 4,0 mmol_c dm⁻³, H+Al = 40,0 mmol_c dm⁻³, soma de bases (SB) = 16,0 mmol_c dm⁻³, saturação por bases = 28,8%. Utilizou-se como meta atingir uma saturação de bases de 70% e foi aplicado superficialmente 2307 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (36-38% de óxido de Cálcio – CaO e 12 a 14% de óxido de magnésio - MgO) utilizando uma espalhadora de calcário. O calcário foi então incorporado ao solo por meio de uma aração e duas gradagens.

A semeadura (2 kg ha⁻¹ de sementes puras) e adubação fosfatada (100 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato simples - 18% de P₂O₅ e 20% de Ca) ocorreram no dia 01/11/2015. A adubação com fósforo se repetiu no mês de fevereiro de cada ano e foi aplicada à lanço na superfície. As adubações de N e K₂O ocorreram ao longo de cada ano logo após a colheita da forragem, cada parcela recebeu 50 kg de N e K₂O ha⁻¹ divididos em 11 adubações em função dos ciclos de rebrotação. Foram utilizados como fonte de N e K₂O sulfato de amônio (20% N e 22% S) e cloreto de potássio (58% de K₂O).

Quanto ao suprimento de água, as parcelas que receberam irrigação foram separadas espacialmente por um corredor de 7 metros daquelas parcelas que não receberam irrigação. Para proceder a irrigação, foi instalado um sistema de irrigação por aspersão. A lâmina de irrigação foi controlada com base na evapotranspiração de referência conforme Allen et al. (1998).

O período de coleta de dados foi de 56 dias no auge do verão agrostológico iniciando-se no dia 28 de novembro de 2018 e se estendendo até 22 de janeiro de 2019 (dois ciclos de rebrotação com avaliações nos dias 0, 4, 9, 17 e 28 dias). Os dados de precipitação diária (mm) e de temperatura mínima, média e máxima (°C) dos 56 dias experimentais foram coletados da estação meteorológica da Universidade distante 1 km da área experimental (FIGURA 1).

Figura 1 – Precipitação (mm), irrigação (mm) e médias mensais de temperaturas máximas, médias e mínimas (° C) em Lavras, MG no período de novembro de 2018 a janeiro de 2019.



Fonte: Do autor (2021).

2.2 Acúmulo de forragem (AF)

As parcelas foram mantidas sob frequências de corte aos 4, 9, 17 e 28 dias durante dois ciclos no verão agrostológico e uniformizadas no último dia de cada ciclo. Nesses dias mensurou-se o acúmulo de forragem (AF) em dois pontos médios da parcela, colhendo-se a forragem delimitada o interior de molduras metálicas retangulares (0,25 × 1,0 m) a 15 cm do nível do solo para o cultivar Marandu (CARNEVALLI et al., 2006; EUCLIDES et al., 2014; GIACOMINI et al., 2009; TRINDADE et al., 2007), para tanto utilizou-se um aparador de cerca viva. As amostras frescas foram acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e levadas ao Laboratório de Forragicultura do Departamento de Zootecnia da UFLA. As amostras de forragem frescas foram pesadas e divididas em duas subamostras

com peso de aproximadamente 400 g, uma subamostra foi acondicionada em saco de papel, pesada e logo em seguida levada para a estufa de circulação de ar forçada a 55 °C para determinação do teor de matéria seca (MS). O AF (kg MS ha⁻¹) foi calculado usando a média das massas secas de cada amostra da parcela acima do resíduo.

2.3 Intercepção Luminosa (IL) e Índice de área foliar (IAF)

Para as medições de índice de área foliar (IAF) e intercepção luminosa (IL), utilizou-se o aparelho LAI-2200 (LI-COR, LINCOLN, NEBRASKA, USA). Essas variáveis foram mensuradas aos 0, 4, 9, 17 e 28 dias em dois ciclos no verão agrostológico com duas medidas de referência acima do dossel e 25 medidas abaixo do dossel em cada parcela, sempre utilizando um padrão visual de leitura entre touceiras com o padrão semelhante de densidade de folhas.

2.4 Altura do dossel e massa de forragem pelo método do Prato Ascendente

As medições de altura foram realizadas juntamente com as mensurações de IL e IAF, aos 0, 4, 9, 17 e 28 dias em dois ciclos no verão agrostológico e foram mensuradas em 20 pontos por parcela. As medidas de altura foram realizadas com medidor adaptado a partir de bastão de madeira graduado e uma folha de radiografia recortada com 35 cm de diâmetro num formato circular (FRAME, 1981; PEQUENO, 2010). A altura do dossel, que consiste na medição da altura da pastagem com régua graduada em centímetros, procurando a altura média das folhas da pastagem com base no deslocamento da radiografia na régua.

Outro método de medição de massa de forragem de forma indireta utilizado foi o prato ascendente: *Rising Plate Meter* (Prato ou Disco Medidor Convencional). A medida é feita caracterizando a biomassa vegetal comprimida pelo prato e foi realizada em 10 pontos por parcela.

2.5 Medidas com o clorofilômetro

A estimativa da concentração de clorofila foi realizada por meio do aparelho *atLEAF CHL PLUS*. Foram realizadas leituras em 10 folhas dentro do retângulo de amostragem (0,25 × 1 m) utilizado para mensuração do acúmulo de forragem, realizada na porção média das folhas mais jovens completamente expandidas escolhidas dentro do retângulo em função da condição média do dossel forrageiro. Sendo que as medidas do valor SPAD foram realizadas

antes da coleta do AF (2 pontos por parcela e 10 folhas por retângulo de amostragem). Com os valores obtidos em campo foi possível realizar a calibração da equação para obter os teores de clorofila presente nas folhas em micrograma cm^{-2} . E obteve-se os valores SPAD por meio do clorofilômetro a *atLEAF CHL PLUS*.

2.6 Análises bromatológicas

Amostras de forragem do capim Marandu foram coletadas em duplicata, e foram levadas à estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 h para determinação da MS (AOAC, 1990) e, posteriormente moídos em moinho do tipo Willey com peneira de crivo de 1 mm para determinação da Proteína Bruta (PB), conforme a AOAC (1990), quantificação da Fibra em Detergente Neutro (FDN) conforme Van Soest, Robertson e Lewis (1991).

A Digestibilidade *In Vitro* da Matéria Seca (DIVMS) foi determinada pelo método proposto por Holden (1999), por meio do equipamento DAISY II (ANKOM TECHNOLOGY CORP, FAIRPORT, NY, EUA). O fluido ruminal foi coletado via cânula de dois animais mantidos em pastejo, a coleta era realizada no período da manhã (10:00 h).

2.7 Análise estatística

Os dados foram divididos nos sistemas de produção (Sequeiro e Irrigado) \times adubação nitrogenada (0 e 550 kg de N ha^{-1} ano^{-1}). A análise de correlação de Pearson foi utilizada para verificar a relação linear das variáveis: Acúmulo de Forragem (AF - kg MS ha^{-1}), Interceptação Luminosa (IL - %) e Índice de Área Foliar (IAF) com as variáveis independentes: leitura do Prato Ascendente (cm) e Altura (cm), e a relação das variáveis bromatológicas: Proteína Bruta (PB - % MS), Fibra em Detergente Neutro (FDN - % MS) e Digestibilidade *In Vitro* da MS (DIVMS - % MS) com a variável independente clorofilômetro (SPAD). As análises foram realizadas, considerando nível de probabilidade de 5%, por meio da função *corrgram* do pacote *corrgram* do programa estatístico R (R CORE TEAM, 2021).

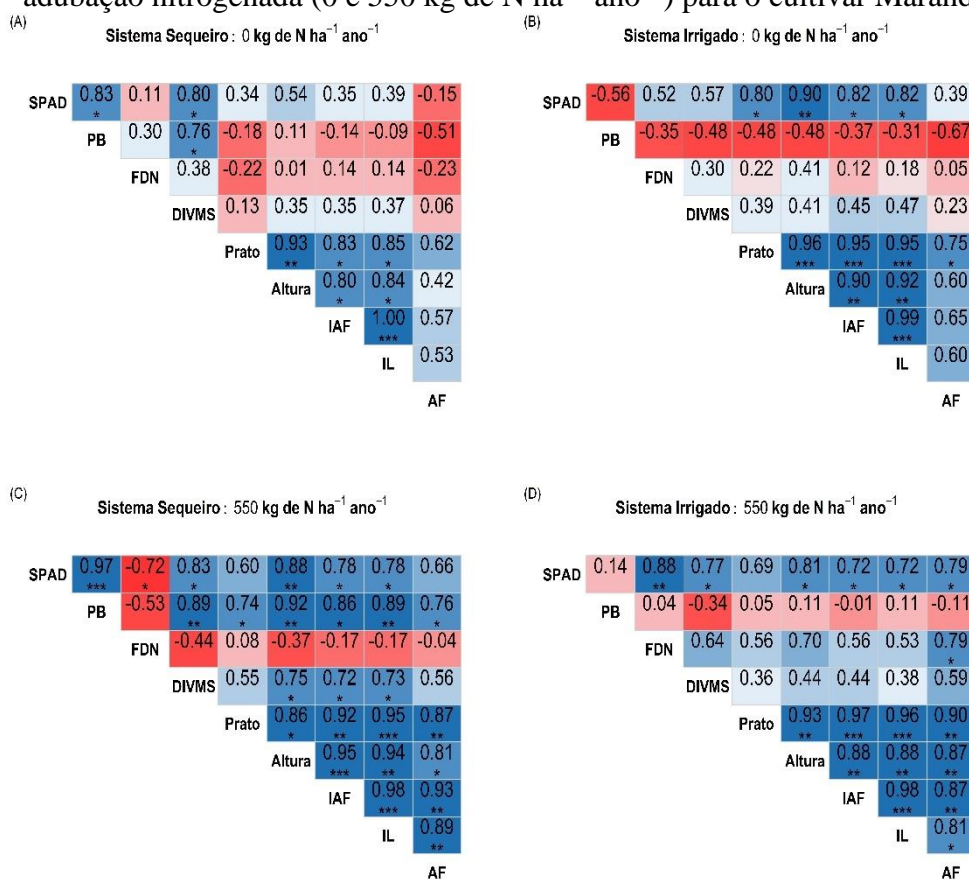
Em seguida foram realizadas as análises de regressão das variáveis com a função *nlsfit* do pacote *easynls* do programa estatístico R. Utilizou-se o modelo de regressão linear simples a 5% de probabilidade para a relação do AF, IAF \times a leitura do Prato Ascendente e Altura, e para a composição bromatológica (PB, FDN e DIVMS) \times valor SPAD. A análise de regressão não linear platô e quadrático platô foi ajustada para a relação DIVMS \times valor

SPAD. Os critérios de seleção de modelos foram no maior R^2 ajustado e menor critério Bayesiano - BIC.

3 RESULTADOS

Com os valores obtidos em campo foi possível realizar a calibração da seguinte equação $\hat{y} = -11,5687 + 1,228x$ com o coeficiente de determinação (R^2) de 98,39% para obter os teores de clorofila presente nas folhas em micrograma cm^{-2} . E obteve-se os valores SPAD por meio do clorofilômetro a *atLEAF CHL PLUS*. Na Figura 2 estão os resultados das análises de correlação entre as variáveis dependentes (agronômicas e bromatológicas) e independentes (leituras do Prato Ascendente, Altura e valor SPAD) para o cultivar Marandu.

Figura 2 – Análise de Correlação linear (-1 a 1) entre: valor SPAD, Proteína Bruta (PB - % MS), Fibra em Detergente Neutro (FDN - % MS), Digestibilidade *In Vitro* da Matéria Seca (DIVMS - % MS), Prato Ascendente (Prato - cm), Altura (cm), Interceptação Luminosa (IL - %), Índice de Área Foliar (IAF) e Acúmulo de Forragem (AF - kg de MS ha^{-1}) nos sistemas de produção (Sequeiro e Irrigado) \times adubação nitrogenada (0 e 550 $\text{kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) para o cultivar Marandu.



*: significativo a 5% de probabilidade; **: significativo a 1% de probabilidade; ***: significativo a 0,0001% de probabilidade.

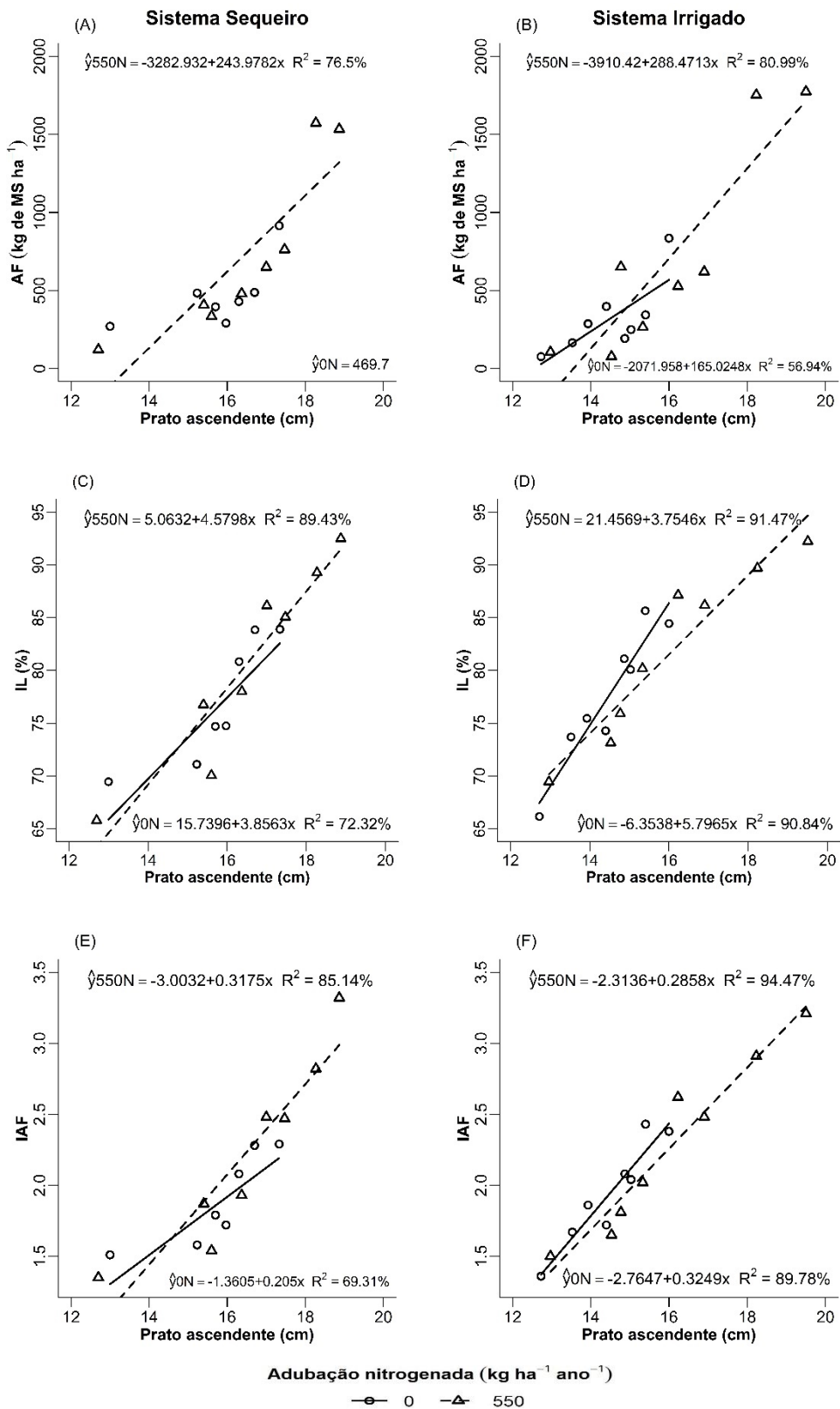
Fonte: Do autor (2021).

Houve correlação linear positiva entre o AF *versus* a variável leitura do Prato Ascendente no sistema irrigado (FIGURA 2 – B e D) nas doses 0 ($\rho = 0,75$; $P = 0,0305$) e 550 ($\rho = 0,90$; $P = 0,0023$) e no sistema sequeiro (FIGURA 2 – C) na dose 550 ($\rho = 0,87$; $P = 0,0045$). Não houve correlação linear no sistema sequeiro na dose 0 ($\rho = 0,62$; $P = 0,1042$ – FIGURA 2 - A). Houve correlação linear positiva entre o AF *versus* a variável Altura no sistema sequeiro (FIGURA 2 – C) na dose 550 ($\rho = 0,81$; $P = 0,0152$) e no sistema irrigado (FIGURA 2 – D) na dose 550 ($\rho = 0,87$; $P = 0,0045$). Não houve correlação linear nos sistemas (sequeiro e irrigado) na dose 0 ($\rho = 0,42$ e $0,60$; $P = 0,2973$ e $0,1156$), respectivamente (FIGURA 2 – A e B).

Houve correlação linear positiva da IL e IAF *versus* a variável leitura do Prato Ascendente nos sistemas (sequeiro e irrigado) nas doses 0 ($\rho = 0,85, 0,83, 0,95$ e $0,95$; $P = 0,0075, 0,0103, 0,0002$ e $0,0003$) e 550 ($\rho = 0,95, 0,92, 0,96$ e $0,97$; $P = 0,0004, 0,0011, 0,0002$ e $0,0001$), respectivamente. E de modo semelhante houve correlação linear positiva das variáveis IL e IAF *versus* a variável Altura nos sistemas (sequeiro e irrigado) nas doses 0 ($\rho = 0,84, 0,80, 0,92$ e $0,90$; $P = 0,0093, 0,0172, 0,0010$ e $0,0022$) e 550 ($\rho = 0,94, 0,95, 0,88$ e $0,88$; $P = 0,0006, 0,0004, 0,0039$ e $0,0043$), respectivamente (FIGURA 2 – A, B, C e D). Houve correlação linear positiva da variável PB *versus* clorofilômetro (valor SPAD) no sistema sequeiro (FIGURA 2 – A e C) nas doses 0 e 550 ($\rho = 0,83$ e $0,97$; $P = 0,0105$ e $0,0000$), respectivamente. E não houve correlação linear da PB *versus* valor SPAD no sistema irrigado nas doses 0 e 550 ($\rho = -0,56$ e $0,10$; $P = 0,2201$ e $0,7428$), respectivamente (FIGURA 2 – B e D). Não houve correlação linear (FIGURA 2 – A e B) da FDN *versus* valor SPAD nos sistemas sequeiro e irrigado na dose 0 ($\rho = 0,11$ e $0,52$; $P = 0,7896$ e $0,1910$), respectivamente. Houve correlação linear negativa da FDN *versus* valor SPAD no sistema sequeiro (FIGURA 2 – C) na dose 550 ($\rho = -0,72$; $P = 0,0459$) e houve correlação linear positiva no sistema irrigado (FIGURA 2 – D) na dose 550 ($\rho = 0,88$; $P = 0,0254$).

Houve correlação linear positiva da DIVMS *versus* valor SPAD no sistema sequeiro (FIGURA 2 – A e C) nas doses 0 e 550 ($\rho = 0,80$ e $0,83$; $P = 0,0167$ e $0,0101$), respectivamente. E não houve correlação linear da DIVMS *versus* valor SPAD no sistema irrigado (FIGURA 2 – B) na dose 0 ($\rho = 0,57$; $P = 0,1434$) e houve correlação linear positiva na dose 550 ($\rho = 0,77$; $P = 0,0254$ - FIGURA 2 - D). Na Figura 3 têm-se a análise de regressão das variáveis: AF (kg de MS ha⁻¹), IL (%) e IAF *versus* o Prato Ascendente (cm) nos sistemas de produção (Sequeiro e Irrigado) × adubação nitrogenada (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) para o cultivar Marandu.

Figura 3 - Análise de regressão do Acúmulo de Forragem (AF - kg de MS ha⁻¹), Interceptação Luminosa (IL - %) e Índice de Área Foliar (IAF) × a leitura do Prato Ascendente (cm) nos sistemas de produção (Sequeiro e Irrigado) × adubação nitrogenada (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) para o cultivar Marandu.



Fonte: Do autor (2021).

De acordo com a Figura 3 - A, a variável AF *versus* leitura do Prato Ascendente no sistema sequeiro na dose 0 não houve ajuste de regressão linear ($P = 0,1042$) com um valor médio de $469,7 \text{ kg MS ha}^{-1}$ e na dose 550 houve ajuste de regressão linear de 1º grau:

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1$$

$$\hat{y} = 3282,932 + 243,9782 x_1$$

onde y: AF (kg de MS ha^{-1}); x_1 : leitura do Prato Ascendente (cm). Os valores-p dos parâmetros foram respectivamente: 0,0115 e 0,0045 (TABELA 1). Os intervalos de confiança (IC) a 95% para β_0 e β_1 são dados por:

$$\text{IC } (\beta_0)_{95\%}: (-5520,17; -1045,69),$$

$$\text{IC } (\beta_1)_{95\%}: (108,88; 379,08),$$

mostrando que existem evidências de que todos os parâmetros do modelo (β_0 e β_1) são significativamente diferentes de zero ao nível de 5% de significância. Ainda com a variável AF *versus* leitura do Prato Ascendente no sistema irrigado nas doses (0 e 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) houve ajuste de regressão linear ($P = 0,0023$ e $0,0305$), respectivamente.

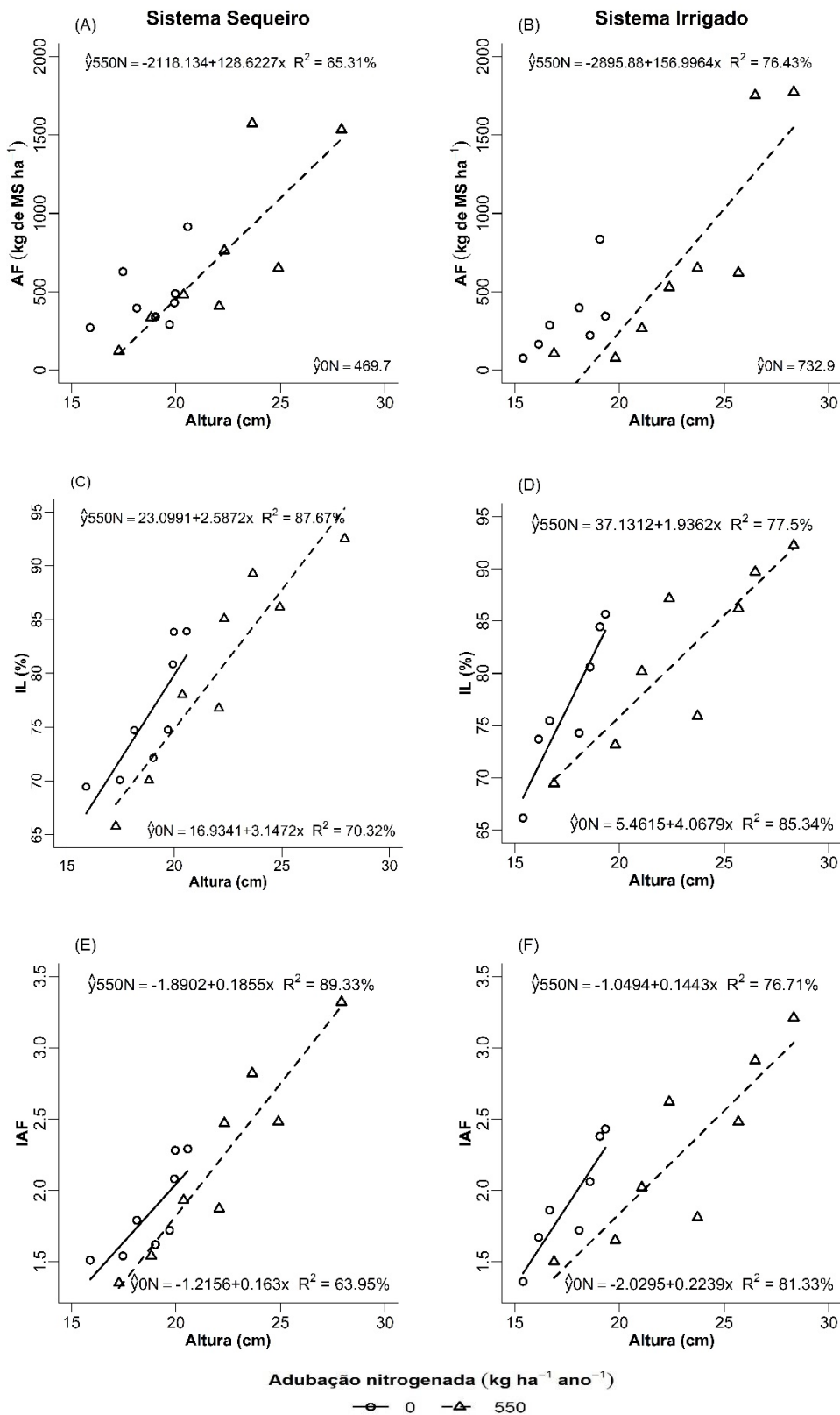
Para variável IL *versus* leitura do Prato Ascendente nos sistemas sequeiro e irrigado nas doses (0 e 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) houve ajuste de regressão linear ($P = 0,0075$, $0,0004$, $0,0002$ e $0,0002$), respectivamente (FIGURA 3 – C e D). E para variável IAF *versus* Prato Ascendente nos sistemas sequeiro e irrigado nas doses (0 e 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) houve ajuste de regressão linear ($P = 0,0103$, $0,0011$, $0,0004$ e $< 0,0001$), respectivamente (FIGURA 3 – E e F).

Na Figura 4 têm-se a análise de regressão das variáveis: AF (kg de MS ha^{-1}), IL (%) e IAF *versus* a variável Altura (cm) nos sistemas de produção (Sequeiro e Irrigado) \times adubação nitrogenada (0 e 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) para o cultivar Marandu.

A variável AF *versus* Altura (cm) nos sistemas sequeiro e irrigado (FIGURA 4 – A e B) na dose 0 não houve ajuste de regressão linear ($P = 0,2973$ e $0,1155$) com valores médios de $469,7$ e $732,9 \text{ kg de MS ha}^{-1}$ e na dose 550 houve ajuste de regressão linear ($P = 0,0152$ e $0,0045$ - TABELA 1).

Para variável IL *versus* Altura nos sistemas sequeiro e irrigado nas doses (0 e 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) houve ajuste de regressão linear simples ($P = 0,0093$, $0,0006$, $0,0010$ e $0,0039$), respectivamente (FIGURA 4 – C e D). E para variável IAF *versus* Altura nos sistemas sequeiro e irrigado nas doses (0 e 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) houve ajuste de regressão linear ($P = 0,0172$, $0,0004$, $0,0022$ e $0,0043$), respectivamente (FIGURA 4 – E e F).

Figura 4 - Análise de regressão das variáveis: Acúmulo de Forragem (AF - kg de MS ha⁻¹), Interceptação luminosa (IL - %) e Índice de Área Foliar (IAF) versus a variável independente Altura (cm) nos sistemas de produção (Sequeiro e Irrigado) × adubação nitrogenada (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) para o cultivar Marandu.



Fonte: Do autor (2021).

Na Figura 5 têm-se a análise de regressão das variáveis: PB (% MS), FDN (% MS) e DIVMS (% MS) *versus* a variável independente valor SPAD nos sistemas de produção (Sequeiro e Irrigado) \times adubação nitrogenada (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) para o cultivar Marandu.

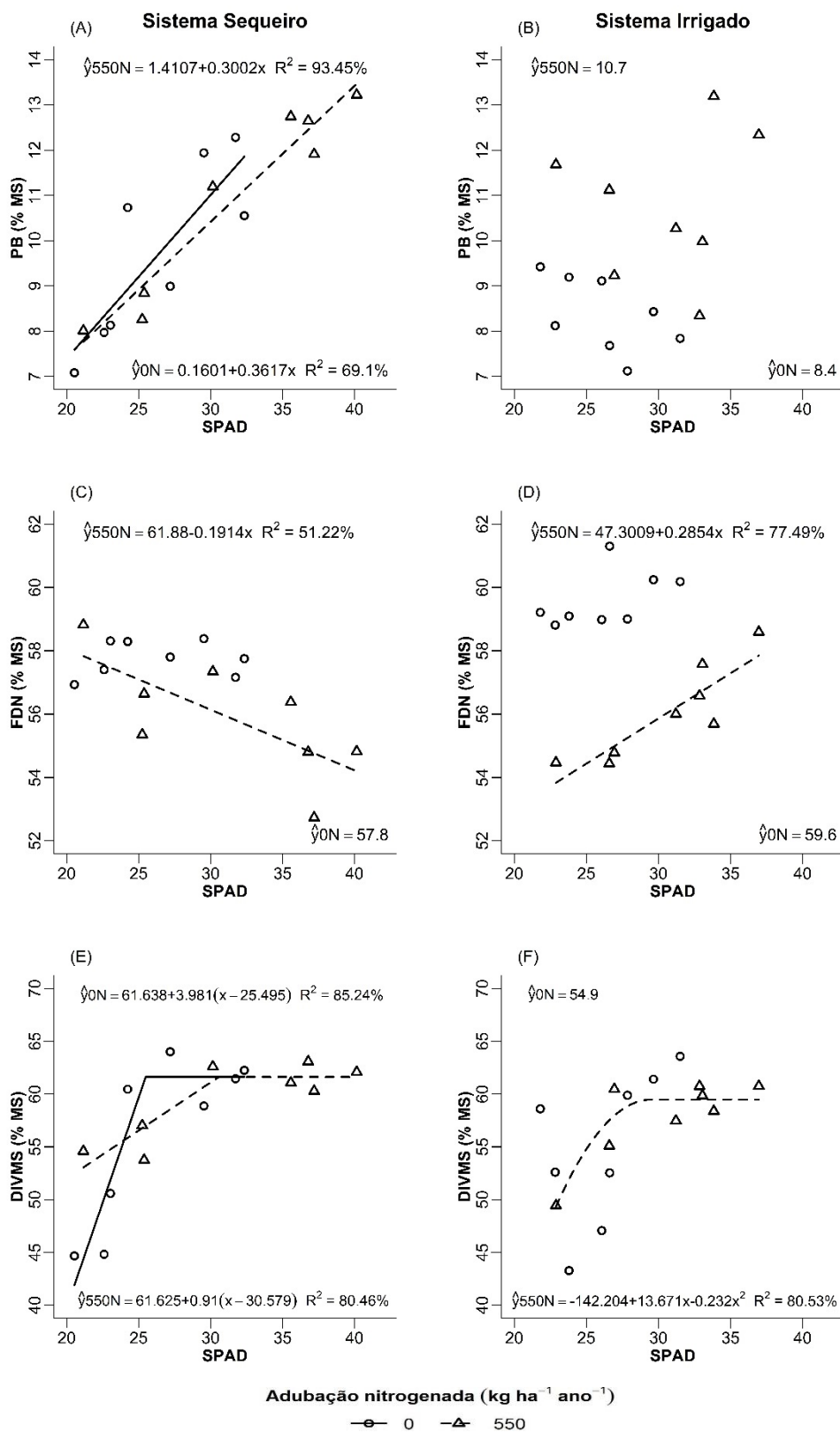
Para a variável PB (% MS) *versus* valor SPAD no sistema sequeiro (FIGURA 5 - A) nas doses (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) houve ajuste de regressão linear ($P = 0,0105$ e $< 0,0001$ - TABELA 2), respectivamente. E no sistema irrigado nas doses (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) não houve ajuste de regressão linear ($P = 0,1504$ e $0,7429$) com valores médios de PB (8,4 e 10,7 % MS - FIGURA 5 - B).

Para a variável FDN (% MS) *versus* valor SPAD nos sistemas sequeiro e irrigado na dose 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ houve ajuste de regressão linear decrescente e crescente ($P = 0,0459$ e $0,0039$), respectivamente e nos sistemas sequeiro e irrigado (FIGURA 5 - C e D) na dose 0 não houve ajuste de regressão linear ($P = 0,7896$ e $0,1910$) com valores médios de FDN 57,8 e 59,6 % MS.

Para variável DIVMS (% MS) *versus* valor SPAD no sistema sequeiro na dose 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ houve ajuste de regressão não linear platô ($P < 0,0001$, $0,0322$ e $< 0,0001$), respectivamente (FIGURA 5 - E) e na dose 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ houve ajuste de regressão não linear platô ($P < 0,0001$, $0,0299$ e $< 0,0001$), respectivamente, sendo que há partir de 61,638 e 61,625 % MS na DIVMS e valores SPAD (25,495 e 30,579) há um platô nas doses de N (0 e 550). Já no sistema irrigado na dose 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ não houve ajuste de regressão linear ($P = 0,1434$) com valores médios de DIVMS (54,9 % MS) e na dose 550 houve ajuste de regressão não linear quadrático platô ($P = 0,0002$, $0,0036$ e $0,0148$), respectivamente, com um máximo de DIVMS em 59,48% e um máximo de valor SPAD (29,50).

Na Tabela 1 têm-se os intervalos de confiança (IC) a 95% para os modelos de regressão lineares com as variáveis agrônômicas *versus* Prato e Altura nos sistemas de produção (Sequeiro e Irrigado) \times adubação nitrogenada (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) para o cultivar Marandu.

Figura 5 - Análise de regressão: Proteína Bruta (PB - % MS), Fibra em Detergente Neutro (FDN - % MS) e Digestibilidade *In Vitro* da Matéria Seca (DIVMS - % MS) × a variável independente SPAD nos sistemas de produção (Sequeiro e Irrigado) × adubação nitrogenada (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) para o cultivar Marandu.



Fonte: Do autor (2021).

Tabela 1 - Intervalos de confiança (IC) a 95% para os modelos de regressão lineares com as variáveis Acúmulo de Forragem (AF), Interceptação Luminosa (IL) e Índice de Área Foliar (IAF) *versus* as variáveis leitura do Prato e Altura nos sistemas de produção (Sequeiro e Irrigado) \times adubação nitrogenada (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) para o cultivar Marandu.

Modelo	Sistema	N	P	LI	LS	EPM	Valor-p
AF \times Prato	Sequeiro	0	β_0	-3148,08	917,72	830,8	0,2280 ^{ns}
			β_1	-28,18	230,30	52,82	0,1042 ^{ns}
		550	β_0	-5520,17	-1045,69	914,31	0,0115 ^{**}
			β_1	108,88	379,08	55,21	0,0045 ^{**}
	Irrigado	0	β_0	-4153,47	9,56	850,67	0,0508 ^{ns}
			β_1	21,67	308,38	58,59	0,0305 ^{**}
		550	β_0	-6168,93	-1651,91	923,00	0,0055 ^{**}
			β_1	148,88	428,06	57,05	0,0023 ^{**}
IL \times Prato	Sequeiro	0	β_0	-21,7452	53,2244	15,3192	0,3438 ^{ns}
			β_1	1,4732	6,2394	0,9739	0,0075 ^{**}
		550	β_0	-20,9767	31,1031	10,6420	0,6510 ^{ns}
			β_1	3,0074	6,1523	0,6426	0,0004 ^{**}
	Irrigado	0	β_0	-33,0489	20,3413	10,9097	0,5815 ^{ns}
			β_1	3,9579	7,6349	0,7513	0,0002 ^{**}
		550	β_0	2,9283	39,9855	7,7520	0,0298 ^{**}
			β_1	2,6093	4,8998	0,4680	0,0002 ^{**}
IAF \times Prato	Sequeiro	0	β_0	-3,5037	0,7827	0,8759	0,1714 ^{ns}
			β_1	0,0687	0,3412	0,0557	0,0103 ^{**}
		550	β_0	-5,1973	-0,8091	0,8967	0,0154 ^{**}
			β_1	0,1849	0,4499	0,0541	0,0011 ^{**}
	Irrigado	0	β_0	-2,3550	-1,1743	0,6499	0,0053 ^{**}
			β_1	0,2154	0,4345	0,0447	0,0004 ^{**}
		550	β_0	-3,4312	-1,1959	0,4567	0,0023 ^{**}
			β_1	0,2167	0,3548	0,0282	<0,0001 ^{**}
AF \times Altura	Sequeiro	0	β_0	-2935,62	1713,53	950,00	0,5440 ^{ns}
			β_1	-65,66	180,41	50,28	0,2973 ^{ns}
		550	β_0	-4215,18	-21,09	857,02	0,0484 ^{**}
			β_1	34,98	222,27	38,27	0,0152 ^{**}
	Irrigado	0	β_0	-3618,05	883,09	919,76	0,1880 ^{ns}
			β_1	-31,45	221,56	51,70	0,1155 ^{ns}
		550	β_0	-4926,31	-865,45	829,80	0,0130 ^{**}
			β_1	69,89	244,09	35,60	0,0045 ^{**}
IL \times Altura	Sequeiro	0	β_0	-21,6524	55,5206	15,7695	0,3242 ^{ns}
			β_1	1,1049	5,1896	0,8347	0,0093 ^{**}
		550	β_0	1,3979	44,8002	8,8690	0,0404 ^{**}
			β_1	1,6181	3,5563	0,3960	0,0006 ^{**}
	Irrigado	0	β_0	-24,5021	35,4251	12,2455	0,6712 ^{ns}
			β_1	2,3836	5,7521	0,6883	0,0010 ^{**}
		550	β_0	12,8349	61,4274	9,9293	0,0096 ^{**}
			β_1	0,8939	2,9784	0,4259	0,0039 ^{**}
IAF \times Altura	Sequeiro	0	β_0	-3,5245	1,0932	0,9436	0,2451 ^{ns}
			β_1	0,0407	0,2851	0,0499	0,0172 ^{**}
		550	β_0	-3,3249	-0,4555	0,5863	0,0180 ^{**}
			β_1	0,1215	0,2496	0,0262	0,0004 ^{**}
	Irrigado	0	β_0	-3,9362	-0,1228	0,7792	0,0404 ^{**}
			β_1	0,1167	0,3311	0,0438	0,0022 ^{**}
		550	β_0	-2,9004	0,8016	923,00	0,2147 ^{ns}
			β_1	0,0648	0,2237	57,05	0,0043 ^{**}

P: Parâmetros do modelo; β_0 : Intercepto da regressão; β_1 : Coeficiente angular; LI: Limite Inferior do IC; LS: Limite Superior do IC; EPM: Erro-padrão da média; ns: não significativo a 5% de probabilidade; **: significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

Na Tabela 2 têm-se os intervalos de confiança (IC) a 95% para os modelos de regressão lineares e não lineares com as variáveis bromatológicas *versus* valor SPAD nos sistemas de produção (Sequeiro e Irrigado) \times adubação nitrogenada (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) para o cultivar Marandu.

Tabela 2 - Intervalos de confiança (IC) a 95% para os modelos de regressão lineares e não lineares com as variáveis: Proteína Bruta (PB - % MS), Fibra em Detergente Neutro (FDN - % MS) e Digestibilidade In Vitro da Matéria Seca (DIVMS - % MS) *versus* a variável independente SPAD nos sistemas de produção (Sequeiro e Irrigado) \times adubação nitrogenada (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) para o cultivar Marandu.

Modelo	Sistema	N	P	LI	LS	EPM	Valor-p
PB \times valor SPAD	Sequeiro	0	β_0	-6,2967	6,6199	2,6388	0,9536 ^{ns}
			β_1	0,1200	0,6032	0,0987	0,0105 ^{**}
		550	β_0	-1,1382	3,9596	1,0417	0,2240 ^{ns}
			β_1	0,2208	0,3795	0,0324	< 0,0001 ^{**}
	Irrigado	0	β_0	6,5938	17,2760	2,1828	0,0016 ^{**}
			β_1	-0,3378	0,0659	0,0825	0,1504 ^{ns}
		550	β_0	-1,3618	19,9379	4,3524	0,0768 ^{ns}
			β_1	-0,2967	0,3937	0,1411	0,7429 ^{ns}
FDN \times valor SPAD	Sequeiro	0	β_0	54,0817	60,6800	1,3483	< 0,0001 ^{**}
			β_1	-0,1093	0,1375	0,0504	0,7896 ^{ns}
		550	β_0	55,8877	67,8724	2,4489	< 0,0001 ^{**}
			β_1	-0,3779	-0,0048	0,0763	0,0459 ^{**}
	Irrigado	0	β_0	50,1467	61,9799	2,4180	< 0,0001 ^{**}
			β_1	-0,0889	0,3583	0,0914	0,1910 ^{ns}
		550	β_0	42,5608	52,0409	1,9371	< 0,0001 ^{**}
			β_1	0,1317	0,4390	0,0628	0,0039 ^{**}
DIVMS \times valor SPAD	Sequeiro	0	β_0	56,9894	66,2856	1,8080	< 0,0001 ^{**}
			β_1	0,4992	7,4637	1,3550	0,0322 ^{**}
		550	β_2	22,4758	28,5134	1,1740	< 0,0001 ^{**}
			β_0	59,1473	64,1026	0,9639	< 0,0001 ^{**}
	Irrigado	0	β_1	0,1316	1,6883	0,3028	0,0299 ^{**}
			β_2	24,7639	36,3935	2,2620	< 0,0001 ^{**}
		550	β_0	-23,5962	69,6490	19,0536	0,2720 ^{ns}
			β_1	-0,5502	2,9740	0,7201	0,1434 ^{ns}
550	β_0	-150,2538	-95,3538	10,1522	0,0002 ^{**}		
	β_1	8,2636	18,2549	1,0815	0,0036 ^{**}		
			β_2	-0,3518	-0,1018	0,0815	0,0148 ^{**}

P: Parâmetros do modelo; β_0 : Intercepto da regressão; β_1 : Coeficiente angular; β_2 : Coeficiente da regressão não linear quadrático platô; LI: Limite Inferior do IC; LS: Limite Superior do IC; EPM: Erro-padrão da média; ^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade; ^{**}: significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

4 DISCUSSÃO

As variáveis dependentes e independentes, quando comparadas entre si por meio da avaliação da correlação, não foram totalmente semelhantes à medida que foram utilizadas para ajuste do modelo estatístico da regressão. Com isso, não foi possível trabalhar somente uma variável independente para correlacionar todas as outras variáveis respostas, dessa forma, foram selecionadas três variáveis (Altura, leitura do Prato e valor SPAD - FIGURA

2). A finalidade dessas relações foi encontrar métodos indiretos para chegar aos resultados bromatológicos e agronômicos desejados (AF, PB, FDN e DIVMS).

Por meio da leitura do valor SPAD, houve correlação de 0,83 e 0,97 com PB no sistema sequeiro nas doses de 0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, com isso obteve-se regressões lineares ($P = 0,0105$ e $< 0,0001$ - TABELA 2), respectivamente. De acordo com Costa et al. (2009) ocorreu um aumento linear nos teores de PB com a aplicação de N nos cultivares de *U. brizantha* (cultivares Marandu, MG-4 e Xaraés) e influenciaram os teores de clorofila (unidade SPAD). Isso ocorre porque o N é um dos principais constituintes da PB que participa ativamente na síntese de compostos orgânicos necessários ao metabolismo vegetal (TAIZ et al., 2017).

Essas correlações positivas entre os valores de clorofila e os teores de PB também são encontradas em Maranhão et al. (2009) com coeficiente de correlação de 0,96, em dois cultivares de capim-braquiária (*U. brizantha* cv. Marandu e *U. decumbens* cv. Basilisk), com adubação nitrogenada variando de 0, 50, 100 e 150 kg de N ha⁻¹ corte⁻¹. Além disso, Costa et al. (2012) utilizando níveis de 0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de N aplicados para *U. brizantha* cv. Xaraés e *U. ruziziensis* influenciou os valores de SPAD, que foram correlacionados positivamente ($r = 0,75$) com a PB.

De acordo com Souza et al. (2016) a adubação nitrogenada aumenta linearmente a massa de forragem (MF), altura do dossel, teor de matéria seca e o índice de clorofila (valor SPAD) de capim-braquiária (*U. decumbens* cv. Basilisk). Os teores de clorofila da folha estão correlacionados positivamente com a MF, altura da planta e o teor de PB. Os valores SPAD são correlacionados com o teor total de clorofila das lâminas foliares ($r = 0,99$, seção 2.5), sendo que em Silva et al. (2011) esse valor foi de ($r = 0,95$), indicando que houve relação com a PB.

Com o valor SPAD é possível avaliar se as plantas estão bem nutridas com nitrogênio, devido ao fato de haver correlação significativa entre a intensidade da cor verde com o conteúdo de clorofila e a concentração de N nas folhas (GIL et al., 2002).

Houve também, por meio da leitura SPAD, correlação de -0,72 e 0,88 com FDN nos tratamentos adubados, no sistema de produção sequeiro e irrigado, com regressão linear decrescente e crescente ($P = 0,0459$ e $0,0039$), respectivamente. Isso ocorre que segundo Bennett et al. (2008) constataram um padrão de resposta linear negativo conforme as doses crescentes aplicadas ao solo. Além disso, resultados identificados por Dias et al. (2000),

dependendo das condições ambientais, doses mais elevadas de N podem modificar o teor de FDN das forrageiras.

Além disso, pela leitura do valor SPAD obteve a correlação de 0,80 e 0,83 com DIVMS no sistema sequeiro nas doses de 0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, e no sistema irrigado na dose de 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, com 0,77. De acordo com Corsi (1984), a adubação nitrogenada influencia positivamente a digestibilidade da matéria seca das forrageiras, uma vez que estimula o crescimento de novos tecidos e diminui a porcentagem dos carboidratos estruturais e lignina (componentes da parede celular).

As curvas de regressão linear de IAF, IL e AF com a leitura do Prato ascendente alcançados durante o experimento (FIGURA 3), apresentaram bom ajuste dos dados, uma vez que as correlações passaram de 0,90, na sua maioria, ou se aproximaram deste valor (FIGURA 2). Somente no sistema sequeiro na dose de 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, que não houve correlação significativa.

De acordo com Braga et al. (2009) realizando a quantificação da massa de forragem em pastos de capim Marandu sob lotação rotativa com o uso de métodos indiretos foram capazes de prever boas estimativas da massa de forragem (pré e pós-pastejo), com precisão suficiente para permitir seu uso não apenas na prática do manejo de pastagens, mas também nas pesquisas com pastagens.

Já as leituras de Altura, tiveram correlações de 0,80 e 0,95 com IAF, nas doses de 0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, no sistema sequeiro e de 0,90 e 0,88, nas duas doses, no sistema irrigado. Também ocorreram correlações de 0,84, 0,94, 0,92 e 0,88 das leituras de Altura *versus* IL, nas doses de 0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, no sistema sequeiro e nas doses de 0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, no sistema irrigado, respectivamente. Estes resultados foram semelhantes ao de Coêlho (2016), já que houve correlações significativas e positivas entre alturas comprimida e média no dossel de *Urochloa ssp.* em monocultura, com IAF e IL. E por meio da medida de altura, houve correlação de 0,81 e 0,87 nas doses de 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹, nos dois sistemas. Isso ocorre, porque a adubação nitrogenada faz com que aumente a produção de forragem, em detrimento do aumento de AF.

Braga et al. (2020) utilizou curvas de calibração entre o Prato Ascendente e altura do dossel não diferiram entre os tratamentos e as datas de calibração para a *U. decumbens* (Stapf) R.D. Webster [sin. *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilisk]. Consequentemente, a altura do dossel foi monitorada por meio de leituras do Prato usando uma única curva de calibração. A resposta foi positiva e linear, e os modelos foram ajustados de forma

satisfatória, tanto para altura do dossel ($R^2 = 0,96$) e massa de forragem, para as duas primeiras datas de calibração ($R^2 = 0,88$) e para as últimas 4 datas ($R^2 = 0,92$).

Por meio da leitura do Prato Ascendente e da Altura podemos medir de forma indireta o AF e indiretamente relacionar com a FDN. Com o valor SPAD do clorofilômetro conseguimos obter os valores de PB, FDN e DIVMS, sendo esse bom com dados bromatológicos, e chegar indiretamente ao acúmulo de forragem.

5 CONCLUSÕES

Não foi possível se chegar no AF, PB, FDN e DIVMS com um único método de medição de forma indireta. Mas correlacionando a leitura do prato com o AF e o valor SPAD com as variáveis bromatológicas é possível obter resultados interessantes e aplicados no manejo das pastagens.

O *atLEAF* é de fácil utilização e fornece de forma indireta a estimativa da clorofila nas folhas. Ambos são métodos indiretos e não-destrutivos, sendo indicados para os fazendeiros realizarem o manejo de pastagens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. FAO. Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, 300p. 1998.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 12.ed. Washington: AOAC International, p.1098, 1990.

BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; BERGAMASCHINE, A. F.; FABRÍCIO, J. A. Produtividade e composição bromatológica do capim-marandu a fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.5, p.1629-1636, 2008.

BRAGA, C.J.; PEDREIRA, C.G.S.; OLIVEIRA, E.A.; PAULINO, V.T. Seasonal herbage accumulation plant-part composition and nutritive value of signalgrass (*Urochloa decumbens*) pastures under simulated continuous stocking. **Tropical Grasslands Forrajes Tropicales**, v.8, p.48-59, 2020. doi: [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)48-59](https://doi.org/10.17138/tgft(8)48-59).

BRAGA, G.J.; PEDREIRA, C.G.S.; HERLING, V.R., LUZ, P.H.D.; MARCHESIN, W.A.; MACEDO, F.B. Quantifying herbage mass on rotationally stocked palisadegrass pastures using indirect methods. **Scientia Agricola**, v. 66, p.127–131, 2009.

BRANSBY, D. I; TAINTON, N. M. The disc pasture meter: possible applications in grazing management. **Proceedings of the Grassland Society of Southern Africa**, v.12, p.115-118, 1977.

BURTON, G. W. Registration of Tifton 78 Bermudagrass. **Crop Science**, v.28, n.2, p.187-188, 1998.

CARNEVALLI, R. A. et al. Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça under four grazing managements. **Tropical Grasslands**, v.40, p.165-176, 2006.

CAVALLO, D. P.; CEFOLA, M.; PACE, B.; LOGRIECO, A. F.; ATTOLICO, G. Contactless and non-destructive chlorophyll content prediction by random forest regression: A case study on fresh-cut rocket leaves. **Computers and Electronics In Agriculture**, v.140, n.1, p.303-310, ago. 2017.

COÊLHO, L. D. **Características estruturais e produtivas de *Brachiaria decumbens* Stapf. Em monocultivo e em sistemas silvipastoris, na Zona da Mata de Pernambuco.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

CORSI, M. **Effects of nitrogen rates and harvesting intervals on dry matter production, tillering and quality of the tropical Grass *Panicum maximum*, Jacq.** Thesis (Doctor of the tropical Grass *Panicum maximum*, Jacq. Thesis (Doctor of Philosophy) – The Ohio State University, Ohio. 125f, 1984.

COSTA, K. A. P.; DE OLIVEIRA, I. P.; FAQUIN, V.; SILVA, G. P.; SEVERINO, E. C. Produção de massa seca e nutrição nitrogenada de cultivares de *Brachiaria brizantha* (A. Rich) Stapf sob doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.6, p.1578-1585, 2009.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; GAMEIRO, R. A.; PARIZ, C. M.; BUZETTI, S.; LOPES, K. S. M. Adubação nitrogenada no consórcio de milho com duas espécies de braquiária em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1038-1047, 2012.

DIAS, P. F.; ROCHA, G. P.; ROCHA FILHO, R. R. Produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais, avaliadas no período das águas, sob diferentes doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, n1, p.260-271, 2000.

EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D.B.; BARBOSA, R.A.; NANTES, N.N. Manejo do pastejo de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf e de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Ceres**, v. 61, p. 808-818, 2014. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000006>

EVANS, J. R. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.) **Plant Physiol.**, v.72, p.297-302, 1983.

FARIAS, T. M. **Valor nutricional da *Brachiaria brizantha* cv marandu, sobre pastejo durante a época das águas por diferentes métodos de amostragem.** (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.

FRAME, J. Herbage mass. In : HODGSON, J.; BAKER, R.D.; DAVIES, A. et al. (Ed.) **Sward measurement handbook**. Berkshire: Bristh Grassland Society, 1981. cap.3, p.39-67.

GIACOMINI, A.A.; DA SILVA, S.C.; SARMENTO, D.O.L. et al. Growth of marandu palisadegrass subjected to strategies of intermittent stocking. **Scientia Agricola**, v.66, n.6, p.733-741, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000600003>

GIL, P. T.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; FERREIRA, F. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 611-615, 2002.

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 de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.4, p.1194-1199, 2001.

GUIMARÃES, M. M. C.; MATSUMOTO, S. N.; FIGUEIREDO, M. P.; CRUZ, P. G.; ARAÚJO, G. S. Estimativa da composição química do Capim Braquiária cv. Marandu por meio de um clorofilômetro portátil. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.85-98, 2001.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management**. 7.ed. New Jersey: Pearson, 2005. 515p.

HEINEMANN, A. B.; HOOGENBOOM, G.; FARIA, R. T. Determination of spatial water requirements at county and regional levels using crop models and GIS - an example for the State of Parana, Brazil. **Agricultural Water Management**, v.52, n.3, p.177-196, 2002.

HEINEMANN, A. B.; HOOGENBOOM, G.; GEORGIEV, G. A.; FARIA, R. T.; FRIZZONE, J. A. Center pivot irrigation management optimization of dry beans in humid áreas. **Transactions of the ASAE**, v.43, n.6, p.1507-1516, 2000.

HOLDEN, L. A. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for tem feeds. **Journal of Dairy Science**, v.82, p.1791-1794, 1999.

MARANHÃO, C. M. A.; SILVA, C. C. F.; BONOMO, P.; PIRES, A. J. V. Produção e composição químico-bromatológico de duas cultivares de braquiária adubadas com nitrogênio e sua relação com índice SPAD. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.31, n.2, p.117-122, 2009.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição animal**. 2 ed. Editora UFV, Viçosa-MG, p.469, 2007.

MENDOZA-TAFOLLA, R. O.; JUAREZ-LOPEZ, P.; ONTIVEROS-CAPURATA, R. E.; SANDOVAL-VILLA, M.; ALLIA-TEJACAL, I.; ALEJO-SANTIAGO, G. Estimating Nitrogen Chlorophyll Status of Romaine Lettuce Using SPAD and at LEAF Readings. **Not Bot Horti Agrobo**, v.47, n.3, p.751-756, 2019.

MERTENS, D. R. Regulation of forage intake. In: FAHEY JR., G. C.; COLLINS, M.; MERTENS, D. R. (Ed.). **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: University of Nebraska, p.450-493, 1994.

MINOLTA. **Chlorophyll meter SPAD-502**. Instruction manual. Minolta Co., Ltd., Radiometric Instruments Operations, Osaka, Japan, 1989.

NUNES, S.F.; BOOK, A.; PENTEADO, M.I. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Campo Grande: EMBRAPA Gado de Corte, 1984. 31p. (**EMBRAPA Gado de Corte. Documentos, 21**).

PEDREIRA, C.G.S. Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39., Recife, 2001. **Anais...** Recife: SBZ, 2001, p. 100-150.

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

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed., Campinas: IAC, 1996. 285 p. (**Boletim técnico 100**).

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. 2021. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

SANTOS JÚNIOR, J. D. G. **Dinâmica de crescimento e nutrição do capim-marandu submetido a doses de nitrogênio**. (Dissertação Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo – ESALQ, Piracicaba, 2001.

SILVA, R. V. M. M.; ROSSIELLO, R. O. P.; MORENZ, M. J. F.; BARBIERI JUNIOR, É.; GOMES, R. L. T. Uso de clorofilômetro na avaliação da adubação nitrogenada e potássica no capim Tifton 85. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 12, n. 3, p. 828-839, 2011.

SILVA, S. C.; CUNHA, W. F. Métodos indiretos para estimar a massa de forragem em pastos de *Cynodon* spp. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.8, p.981-989, 2008.

SOUZA, I. A. DE; RIBEIRO, K. G.; ROCHA, W. W.; ARAÚJO, S. A. DO C.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R. Forage mass, chemical composition and leaf chlorophyll index of

signal grass and organic matter in soil under increasing levels of nitrogen. **Semina: Ciências Agrárias**, v.37, n.3, p.1505-1514, 2016. doi: 10.5433/1679-0359.2016v37n3p1505

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª Ed. Artmed Edit, 516 p., 2017.

TRINDADE, J.K. da; SILVA, S.C. da; SOUZA JÚNIOR, S.J. de; GIACOMINI, A.A.; ZEFERINO, C.V.; GUARDA, V. del A.; CARVALHO, P.C. de F. Composição morfológica da forragem consumida por bovinos de corte durante o rebaixamento do capim-marandu submetido a estratégia de pastejo rotativo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.883-890, 2007. doi: 10.1590/S0100-204X2007000600016.

VAN SOEST, P. J.; ROVERTSON, J. B; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.

VAN SOEST, P. J. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake relation to chemical composition and digestibility. **Journal of Animal Science**, v.24, n.3, p.834-844, 1965.

ZHANG, X.; LEE, J. H. C.; ABAWI, Y.; KIM, Y.; MCCLYMONT, D.; KIM, H. Testing the simulation capability of APSIM-ORYZA under different levels of nitrogen fertiliser and transplanting time regimes in Korea. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.47, n.12, p.1446-1454, 2007.

ZHU, J.; TREMBLAY, N.; LIANG, Y. Comparing SPAD and atLEAF values for chlorophyll assessment in crop species. **Can. J. Soil Sci.** v.92, p.645-648, 2012. doi: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.4141/cjss2011-100>.

ARTIGO 4 - Parametrização do balanço de carbono usando o modelo CSM - CROPGRO - Forragem para simulação do crescimento de *Urochloa brizantha* cv. Marandu

RESUMO

A modelagem de sistemas de produção de forragens é um instrumento útil para a compreensão das relações entre solo e planta, especialmente para estudar tais relações ao longo do tempo. Objetivou-se aprimorar o modelo CSM - CROPGRO *Perennial Forage Model* (CSM-CROPGRO-PFM) incluindo em seus parâmetros o balanço de carbono (C) utilizados na rebrotação de plantas de *Urochloa brizantha* (Hoschst. Ex A. Rich.) R.D. Webster cv. Marandu em função da adubação nitrogenada em dois sistemas de produção (irrigado - I e sequeiro - S). O delineamento foi em blocos ao acaso em esquema fatorial (I e S \times 0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) com três repetições, com 12 parcelas de 7 \times 4 m. O experimento teve início em outubro de 2017 e término em março de 2019, foram avaliados 16 ciclos de rebrotação (28 dias no verão e 42 dias no inverno agrostológico) na cidade de Lavras, Minas Gerais, Brasil. Em cada ciclo foram mensurados o acúmulo de forragem (AF), colhendo a forragem delimitada em molduras metálicas retangulares (0,5 \times 1,0 m) a 15 cm do nível do solo (dois pontos por parcela). Dois ciclos de rebrotação foram considerados como representativos do verão e dois do inverno agrostológico, mensurou-se a massa de forragem (MF) no resíduo, abaixo de 15 cm. Durante os dois ciclos de rebrotação característicos as parcelas foram acompanhadas por avaliações nos dias 0, 4, 9, 17 e 28 e nos dois de inverno nos dias 0, 4, 9, 17, 28 e 42. No CSM-CROPGRO-PFM utilizou-se a média geral das três repetições das unidades experimentais. Avaliou-se os teores de carboidratos não estruturais (CNE - % MS), biomassa da parte aérea (BPA - kg MS ha⁻¹), AF (kg MS ha⁻¹), produção de folha (PF - kg MS ha⁻¹), colmo (PC - kg MS ha⁻¹), folha (% BPA). A procura dos parâmetros que compõem o modelo CSM-CROPGRO-PFM iniciou a com valores absolutos relatados na literatura. Os parâmetros referentes a C foram ajustados para o melhor ajuste dos CNE nas raízes. Para avaliar o desempenho dos modelos usou-se a razão valores simulados: valores observados, Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE - *Root Mean Square Error*) e o índice de concordância de Willmott (D). As modificações dos parâmetros referentes a C melhorou o desempenho estatístico das simulações, a média dos valores observados das quatro combinações (0 e 550 \times S e I) para o teor de CNE foi 2,55% MS, realizando a comparação da modificação proposta com o modelo padrão do CSM-CROPGRO-PFM os valores simulados foram 2,90 \times 6,47 % MS, com menor valor de RMSE para o a modificação (0,86 \times 4,06 % MS) e maior valor de D (0,510 \times 0,256) e uma menor razão de simulado: observado (1,2712 \times 2,8740). A adaptação do modelo CSM-CROPGRO-PFM para os carboidratos de reserva melhorou a simulação dos dados do cultivar Marandu. Os teores de CNE são reestabelecidos nas raízes em 17 dias no inverno e 9 dias no verão agrostológico para condições de S e I associado (dose 550) ou não (dose 0) a adubação nitrogenada. As variações estacionais que são simuladas pelo modelo parametrizado para *Urochloa* são diferentes para condições de adubação e irrigação. O modelo parametrizado para os dados agrônômicos de *Urochloa* está bem calibrado para a condição de sequeiro com a adubação nitrogenada e necessita de mudanças quando realiza a adubação nitrogenada associada a irrigação.

Palavras-chave: Pastagens; Gramíneas tropicais; Simulação de carboidratos; Raízes.

ARTICLE 4 - Carbon balance parameterization using the CSM -CROPGRO - Forage model to simulate the growth of *Urochloa brizantha* Marandu palisadegrass

ABSTRACT

Modeling forage production systems is a useful tool for understanding the relationships between soil and plant, especially for studying such relationships over time. The objective was to improve the CSM model - CROPGRO Perennial forage model (CSM-CROPGRO-PFM) including in its parameters the carbon balance (C) used in the regrowth of plants *Urochloa brizantha* (Hoschst. Ex A. Rich.) R.D. Webster (Marandu palisadegrass) as a function of nitrogen fertilization in two production systems (Irrigated - I and Rainfed - R). The design was randomized blocks in a factorial scheme (I and R \times 0 and 550 kg of N ha⁻¹ year⁻¹) with three replications, with 12 plots of 7 \times 4 m. The experiment began in October 2017 and ended in March 2019, 16 regrowth cycles (28 days in summer and 42 days in agrostological winter) were evaluated in the city of Lavras, Minas Gerais, Brazil. Herbage accumulation (HA) was measured in each cycle, by harvesting the forage enclosed in rectangular metallic frames (0.5 \times 1.0 m) at 15 cm from the ground level (two points per plot). Two regrowth cycles were considered as representative of the summer and two of the agrostological winter, measuring the herbage mass (HM) in the residue, below 15 cm. During the two characteristic summer regrowth cycles, the plots were accompanied by evaluations on days 0, 4, 9, 17 and 28 and on the two winter days on days 0, 4, 9, 17, 28 and 42. In the CSM-CROPGRO-PFM the general average of the three replicates of the experimental units was used. The contents of non-structural carbohydrates (NSC - % DM), aboveground biomass (AGB - kg DM ha⁻¹), HA (kg DM ha⁻¹), leaf production (PF - kg DM ha⁻¹) were evaluated), stem (SP - kg DM ha⁻¹), leaf (% BPA). The search for the parameters that make up the CSM-CROPGRO-PFM model started with absolute values reported in the literature. The parameters referring to C were adjusted for the best fit of the NSC in the roots. To evaluate the performance of the models, the simulated values: observed values ratio, Root Mean Square Error (RMSE) and the Willmott concordance index (D). The modifications of the parameters referring to C improved the statistical performance of the simulations, the mean of the observed values of the four combinations (0 and 550 \times R and I) for the NSC content was 2.55% DM, comparing the proposed modification with the standard model of the CSM-CROPGRO-PFM the simulated values were 2.90 \times 6.47 % DM, with the lowest RMSE value for the modification (0.86 \times 4.06% DM) and the highest D value (0.510 \times 0.256) and a smaller simulated: observed ratio (1.2712 \times 2.8740). The adaptation of the CSM-CROPGRO-PFM model for the storage carbohydrates improved the simulation of data from the cultivar Marandu. The NSC contents are reestablished in the roots in 17 days in the winter and 9 days in the agrostological summer for conditions of R and I associated (dose 550) or not (dose 0) with nitrogen fertilization. The seasonal variations that are simulated by the parameterized model for Marandu palisadegrass are different for fertilization and irrigation conditions. The parameterized model for the agronomic data of Marandu palisadegrass is well calibrated for the rainfed condition with nitrogen fertilization and needs changes when performing nitrogen fertilization associated with irrigation.

Keywords: Pastures; Tropical grasses; Carbohydrate simulation; Roots.

1 INTRODUÇÃO

A modelagem de sistemas é um instrumento útil para a compreensão das relações entre solo, plantas e outros componentes em ambientes agrícolas, especialmente para estudar tais relações ao longo do tempo. Modelos agrícolas têm sido desenvolvidos não só para compreender os processos e interações que envolvem os componentes do sistema e seus

efeitos na produção global, mas pela sua utilidade como ferramenta de apoio à decisão para avaliar as opções de gestão da propriedade (ZAMORA et al., 2009).

O modelo CSM-CROPGRO foi adaptado para simulações do crescimento de plantas forrageiras no Brasil (CRUZ et al., 2011; PEDREIRA et al., 2011; LARA et al., 2012 e ARAÚJO et al., 2013; PEQUENO; PEDREIRA; BOOTE, 2014) e prediz a dinâmica de crescimento e composição de culturas baseado nos dados de entrada dos processos fisiológicos da planta, características do solo, manejo e clima (BOOTE; JONES; HOOGENBOOM, 1998). Está presente na ferramenta computacional *DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer)*, que possui seis modelos para simulação do crescimento de 42 culturas distribuídos da seguinte forma: gramíneas (trigo, cevada, milho, milheto e sorgo); arroz; leguminosas (soja, feijão, amendoim e grão-de-bico); raízes e tubérculos (mandioca e batata); vários (cana de açúcar, tomate, pastagem e girassol) (JONES et al., 2003).

A partir do modelo geral do CSM-CROPGRO, adaptações já foram realizadas para simular o crescimento de *Paspalum notatum* (Fluggé) var. *notatum* dentro de um sistema de rotação com amendoim na Flórida, USA (KELLY, 1995); para simular o crescimento de *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster sin. (*Brachiaria decumbens* Stapf) cultivar Basilisk em regiões de baixa latitude da Colômbia (GIRALDO et al., 1998) e um código para forrageiras perenes (CSM-CROPGRO *Perennial Forage Model* - CSM-CROPGRO-PFM) foi desenvolvido por Rymph et al. (2004) na Flórida, USA, que representa melhor a partição de carbono (C) e nitrogênio (N) em sistemas de lotação rotativa (PEDREIRA et al., 2011) e com partição de C e N no *Cynodon dactylon* (L.) Pers. var. *dactylon* cv. Jiggs e com o capim Mulato II (*Urochloa brizantha* x *Urochloa decumbens* x *Urochloa ruziziensis*) (MORENO, 2017).

No Brasil, calibrações do modelo CSM-CROPGRO-PFM para *Urochloa brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) RD Webster sin. (*Brachiaria brizantha* Stapf.) cv. Marandu foi realizado por Pedreira et al. (2011), por Cruz et al. (2011) e Pequeno; Pedreira e Boote (2014) e para *Megathyrsus maximus* (Jacq.) B. K. Simon & Jacobs sin. (*Panicum maximum* Jacq.) cv. Tanzânia por Lara et al. (2012), utilizando dados coletados em São Carlos e Piracicaba, SP. No entanto, ainda se faz necessário o levantamento de dados específicos para a calibração do modelo antes que este possa ser utilizado em larga escala por técnicos e pesquisadores. Atualmente nesses modelos faltam informações específicas sobre a dinâmica

de carboidratos durante as fases iniciais de rebrotação, utilizado como gatilho do processo de restituição da área foliar após o pastejo.

Alguns mecanismos fisiológicos ligados ao balanço de carbono foram estudados e modelados para diversas culturas C₃, mas não em gramíneas forrageiras com metabolismo C₄. Este fato pode ser um fator de complicação, e pode atrasar avanços significativos em programas de melhoramento genético e no manejo de gramíneas forrageiras. Além disso, a modelagem matemática do crescimento de gramíneas tropicais pode ser limitada devido à falta de informações específicas, generalizando modelos que poderiam ser mais detalhados e capazes de simular diferentes cenários com maior sucesso.

Logo após a defolhação a manutenção dos tecidos ativos de crescimento (meristemas) é de extrema importância durante a fase de rebrota das plantas, contudo atua como um forte dreno metabólico para os órgãos de reserva e proporciona rápida recuperação do aparato fotossintético. A força dreno desempenhado por esses pontos de crescimento paralisa o crescimento da raiz para reduzir os custos respiratórios, uma vez que a assimilação de carbono diminui após a desfolha. Para suportar a demanda de novos tecidos em crescimento, as plantas dependem de um mecanismo fotossintético compensatório e da partição e uso de compostos de reserva (carboidratos e proteínas) (GOLD; CALDWELL, 1989).

A intensidade e a frequência de desfolhação determinam quais são as estratégias de mobilização de reservas que serão utilizadas ou não pelas plantas, isso dependerá do manejo adotado, dos fatores abióticos como temperatura, luminosidade, água e nutrientes disponíveis. Além da área foliar residual, o uso de compostos de reserva é considerado um dos principais processos que garante a capacidade de rebrotação das plantas forrageiras e determina o seu vigor além de atuar como complemento para formação da área foliar e do processo fotossintético após a desfolhação (LEE et al. 2010b, LEE et al. 2011). No entanto, a maioria dos estudos sobre o papel destes compostos na rebrotação das forrageiras tropicais foram limitados à simples observações de que há queda nos níveis de carboidratos não estruturais (CNE) e compostos nitrogenados nos primeiros dias de rebrotação (GOMIDE; GOMIDE; PEREIRA, 2002;. LUPINACCI, 2002).

Assim, alguns mecanismos que permitem a rápida recuperação do tecido fotossintético após a desfolhação foram sugeridos como: a) aumentar a eficiência da utilização do substrato para a produção de nova área foliar (redução dos investimentos de carbono por unidade de volume de expansão da folha e conseqüente aumento área foliar

específica); b) utilização de CNE já presentes na região de crescimento; c) rápida priorização de CNE recém assimilada para o crescimento; d) mobilização de compostos de reserva, principalmente nitrogenados; e) restabelecimento rápido do saldo C:N no tecido produzido.

As quantidades de cada composto em estoque também afetam a estratégia do crescimento de novos tecidos das plantas. Plantas sob oferta restrita de nitrogênio antes da desfolhação (e montantes, portanto, menores de reservas de nitrogênio) aumentam a absorção de nitrato (quando a oferta de nitrogênio é normalizada) e levam grandes quantidades de CNEs para as raízes, provavelmente para atender a demanda de energia para a absorção de nitrato. No entanto, plantas com concentrações mais elevadas de reserva de nitrogênio nas raízes tendem a ter níveis mais baixos de CNE e níveis mais elevados de aminoácidos que são mobilizados para outros órgãos (LOUAHLIA et al., 2008). Plantas com baixo CNE mobilizam menos carbono das reservas e aumentam a capacidade fotossintética para garantir o fornecimento de carbono. Por outro lado, as plantas com estoques completos de CNE tendem a aumentar a síntese de frutanos (um complexo formado a partir de açúcar de frutose, sacarose e glucose), para evitar o *feedback* negativo na fotossíntese (LEE et al., 2010a). Além disso, Johnson, Sollenberger e Bennett (1994) encontraram forte queda no acúmulo de CNE em plantas submetidas a intenso sombreamento. Os frutanos são a reserva de carboidratos predominante nas gramíneas de clima temperado, enquanto a sacarose e o amido são dominantes nas gramíneas de clima tropical (MCGRATH, 1988; WHITE, 1983).

De acordo com Schnyder e Visser (1999) e Morvan-Bertrand et al. (1999) o C e o N afetam no crescimento da folha logo após a desfolha, C e N são influenciados pelo suprimento de N e a radiação fotossinteticamente ativa durante a fase de rebrotação do ciclo anterior. Estudos recentes mostram a dependência do crescimento da folha advindo dos CNEs que foram acumulados antes da desfolhação.

Objetivou-se aprimorar o modelo CSM-CROPGRO - *Perennial Forage Model* incluindo em seus parâmetros o balanço de carbono utilizados na rebrotação de plantas de *U. brizantha* cv. Marandu em função da adubação nitrogenada em dois sistemas de produção (irrigado e sequeiro).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta de dados e análise de crescimento de *U. brizantha* cv. Marandu

O Experimento foi conduzido no campo experimental do Departamento de Zootecnia

da Universidade Federal de Lavras (UFLA) em Lavras, Minas Gerais, Brasil (21° 14' 45" Sul, 44° 59' 59" Oeste, 919 m de altitude).

Foi utilizado o cultivar forrageiro de *U. brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) RD Webster sin. (*Brachiaria brizantha* Stapf) cv. Marandu cultivado com duas doses de aplicação de nitrogênio - N (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) versus dois sistemas de produção (sequeiro e irrigado), totalizando quatro tratamentos distribuídos em 12 unidades experimentais. Cada unidade experimental (parcela) possuía 28 m² (4 × 7 metros). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC) com três repetições num esquema fatorial 2×2.

O solo da área experimental foi amostrado para análise no dia 05/08/2014 e as recomendações de calagem e adubação para semeadura foram realizados de acordo com o Boletim 100 do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC (RAIJ et al., 1997). As características químicas do solo para a profundidade de 0-20 cm, no início do experimento foram: pH = 5,2, P = 0,8 mg dm⁻³ (método de Melich-1), matéria orgânica (MO) = 2,9 g dm⁻³, K = 1,9 mmol_c dm⁻³, Ca = 10,0 mmol_c dm⁻³, Mg = 4,0 mmol_c dm⁻³, H+Al = 40,0 mmol_c dm⁻³, soma de bases (SB) = 16,0 mmol_c dm⁻³, saturação por bases = 28,8%. Utilizou-se como meta atingir uma saturação de bases de 70% e foi aplicado superficialmente 2307 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (36-38% de óxido de Cálcio – CaO e 12 a 14% de óxido de magnésio - MgO) utilizando uma espalhadora de calcário. O calcário foi então incorporado ao solo por meio de uma aração e duas gradagens.

A semeadura (2 kg ha⁻¹ de sementes puras) e adubação fosfatada (100 kg de P₂O₅ ha⁻¹ na forma de superfosfato simples - 18% de P₂O₅ e 20% de Ca) ocorreram no dia 01/11/2015. A adubação com fósforo se repetiu no mês de fevereiro de cada ano e foi aplicada à lanço na superfície. As adubações de N e K₂O ocorreram ao longo de cada ano logo após a colheita da forragem, cada parcela recebeu 50 kg de N e K₂O ha⁻¹ divididos em 11 adubações em função dos ciclos de rebrotação. Foram utilizados como fonte de N e K₂O sulfato de amônio (20% N e 22% S) e cloreto de potássio (58% de K₂O).

Quanto ao suprimento de água, em um dos experimentos as plantas cresceram apenas em função da precipitação pluviométrica enquanto no outro foi instalado um sistema de irrigação por aspersão. A lâmina de irrigação foi controlada com base na evapotranspiração de referência conforme Allen et al. (1998).

O período experimental foi de 1 ano e 6 meses iniciando-se no dia 25 de outubro de 2017 e se estendendo até 24 de março de 2019, ocorrendo 16 ciclos de rebrotação (a cada 28 dias no verão agrostológico e 42 dias no inverno agrostológico) em que as parcelas foram

submetidas aos tratamentos. As parcelas foram mantidas sob frequências de corte de 28 dias durante o verão agrostológico (outubro a abril) e 42 dias durante o inverno agrostológico (maio a setembro) totalizando 11 ciclos de rebrotação por ano. No final de cada ciclo de rebrotação mensurou-se o acúmulo de forragem em dois pontos médios da parcela, colhendo-se a forragem delimitada o interior de molduras metálicas retangulares (0,5 × 1,0 m) a 15 cm do nível do solo para o cultivar Marandu (GIACOMINI et al., 2009).

Dois ciclos de rebrotação que ocorreram por volta do dia mais longo (21 de dezembro) e mais curto (21 de junho) do ano, foram considerados como representativos do verão e inverno agrostológicos. Para facilitar a modelagem, a massa de forragem no resíduo, abaixo de 15 cm, foi quantificada duas vezes por ano (verão e inverno agrostológicos) colhendo a massa de forragem no nível do solo. Além disso, em cada ano, essas massas foram separadas em frações folha, colmo e material morto.

2.2 Coleta de raízes e análise de carboidratos não estruturais

Durante os dois ciclos de rebrotação característicos de verão e dois ciclos característicos de inverno as parcelas foram acompanhadas por amostragens mais frequentes (coletando-se os dados nos dias 0, 4, 9, 17, 28 e 42 no inverno e 0, 4, 9, 17 e 28 no verão). As três repetições das unidades experimentais foram utilizadas para reduzir a quantidade de subamostras uma vez que no CSM-CROPGRO-PFM trabalha-se com a média geral entre repetições.

Abaixo da superfície foram amostradas raízes contidas no interior de quadrado de moldura metálico com 20 cm de largura e 20 cm de comprimento e 20 cm de profundidade, sendo adaptado da metodologia descrita por Ping et al. (2010). O solo das amostras foram lavados por meio do uso de água corrente sob a amostra depositada sobre uma tela fina. Raízes e base da coroa foram separados, levados à estufa de circulação forçada de ar a 100 °C por 1h, para diminuir a respiração e garantir a morte celular, logo em seguida foi transferida para estufa a 55 ° C por 48 h, até atingir peso constante. Depois, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley com peneira de 1 mm, para posterior análise de carboidratos não estruturais (CNE).

O procedimento para determinação de CNE em tecido vegetal foi uma adaptação do método Somogyi-Nelson (NELSON, 1944), descrito por Smith (1981), Christiansen (1982), Chaparro, Sollenberger e Quesenberry (1996), Mullenix et al. (2016) e Moreno (2017).

Realizou-se a pesagem de cerca de 200 mg de raízes secas e acrescentado 10 mL de solução tampão de acetato 0,2M a pH 4,7 e em seguida foi adicionado 0,2 mL da enzima α -amilase (Liquozyme® Supra), essa mistura foi submetida a aquecimento a 96 °C em Banho-Maria Dubnoff (Cienlab®) e essa mistura foi mantida em agitação com 50 rpm por minuto durante 2h. Sendo que essa primeira parte foi uma adaptação da análise de amido (HALL, 2009). Logo após, a temperatura foi reduzida para 50 °C e 1 mL do mix de enzimas foi adicionada, a qual esse Mix foi preparado usando 47,5 mL de água destilada, 2,5 mL de solução tampão de acetato 0,2 M; 145 mg da enzima invertase concentrada (Invertase 200.000 SU/grama; CAS: 9001-57-4; Active Pharmaceutica), 1 mL da enzima amiloglicosidase (AMG® 300, NOVOZYMES, 2007) foi adicionada e 0,1 g de Timol. Essa temperatura foi mantida por 18h, a fim de que compostos pudessem ser hidrolisadas em monômeros de glicose. Logo em seguida, retirou as amostras do Banho-Maria e passou uma alíquota da solução para Eppendorf de 2 mL e realizou a centrifugação a 10000 rpm por 10 minutos. Depois adicionou 0,02 mL dessa solução, 0,5 mL de água e 1 mL do reagente alcalino (azul), levou para o Banho-Maria a 96 °C por 20 minutos e logo em seguida deixou esfriando durante uns 5 minutos, durante esse processo, açúcares redutores, como glicose e frutose na amostra, reagem com o cobre no reagente alcalino, formando óxido cúprico. Depois adicionou 1 mL do reagente arsenomolibdato (amarelo) e quando essa solução é adicionada aos tubos, a reação com óxido cúprico resulta em azul de molibdênio. Depois adicionou 7 mL de água e agitados no Vórtex, logo depois passou uma amostra dessa solução para a placa e realizou a leitura no espectrofotômetro *Thermo Scientific Multiskan GO*, com 540 nm de comprimento de onda, como descrito por Alderman et al. (2011).

O teor de carboidratos não estruturais (CNE %MS) das raízes foram então comparados a um conjunto de padrões de concentração de glicose conhecida que passaram pela mesma reação de Somogyi-Nelson, para determinar a quantidade de açúcares presentes em cada amostra. Os resultados foram expressos em concentração com base na matéria orgânica seca.

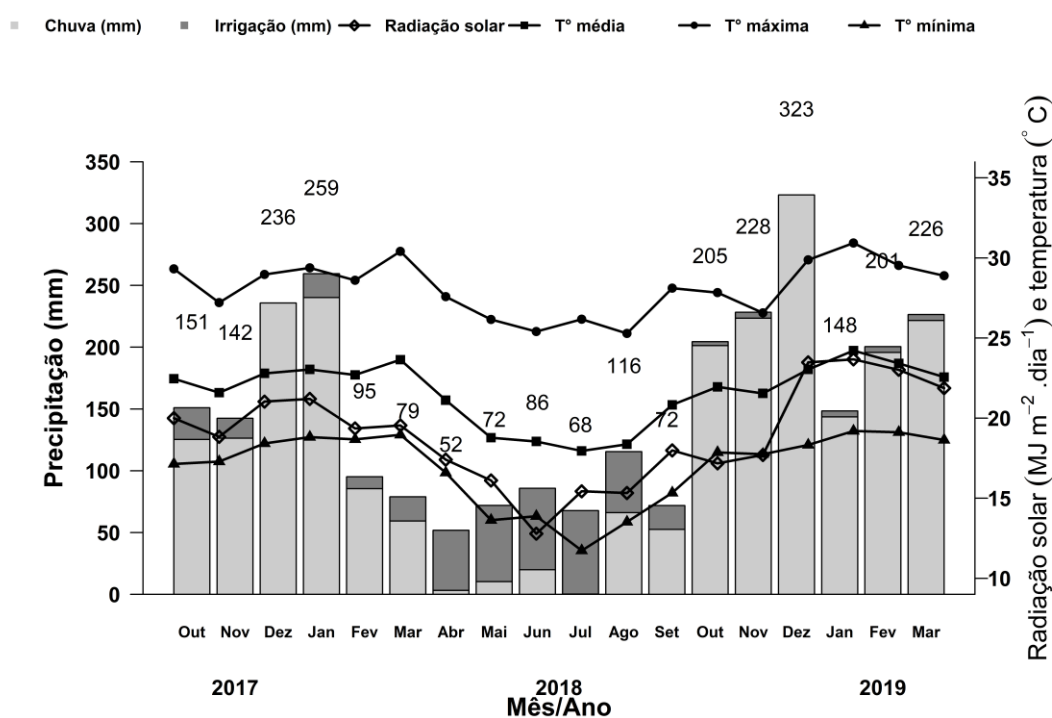
2.3 Adaptação do modelo

O CSM-CROPGRO-PFM que foi adaptado e calibrado para *U. brizantha* cv. Marandu (PEQUENO; PEDREIRA; BOOTE, 2014), foi utilizado como ponto inicial nesse estudo. O código foi considerado ponto de partida, devido ser a mesma espécie (gramínea

C4) cultivada em região tropical. O modelo CSM-CROPGRO-PFM (HOOGENBOOM et al., 2017) pode ser calibrado modificando-se os parâmetros listados nos arquivos de espécie, cultivar e ecótipo. No presente estudo foram modificados parâmetros referentes a carboidratos de reserva no arquivo de espécie, com base nos valores de CNE observados.

Os dados de precipitação diária (mm), irrigação (mm), radiação solar diária ($\text{MJ m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$) e de temperatura mínima, média e máxima ($^{\circ}\text{C}$) do verão e do inverno agrostológico de cada ano foram coletados da estação meteorológica da Universidade distante 1 km da área experimental (FIGURA 1).

Figura 1 – Precipitação (mm) + Irrigação (mm) e médias mensais de radiação solar diária ($\text{MJ m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$), temperaturas máximas, médias e mínimas ($^{\circ}\text{C}$) em Lavras, MG de outubro de 2017 a março de 2019.



Fonte: Do autor (2021).

No início do experimento, foram retiradas amostras de solo nas profundidades: 0-5; 5-15; 10-20; 20-30; 20-40; 40-45; 45-60; 60-70; 70-90; 90-110; 110-220; 120-130; 130-150; 150-180; 180-200; 200-210 e 210-240 cm (TABELA 1). Essas amostras foram compostas provenientes das parcelas sob mesmo tratamento na área experimental. Foi realizada caracterização química completa e física (textura, curva de retenção de água, densidade volumétrica e condutividade hidráulica). A dinâmica de matéria orgânica e liberação de nitrogênio foram simuladas por meio do modelo CSM-CROPGRO-PFM.

No início de experimento foram determinados os teores de nitrato (NO_3) e de amônio (NH_4) que entra na seção de “*Initial condition*” no arquivo X (de manejo) para todas as camadas de solo. As amostras para análise de nitrato e amônia foram coletadas, colocadas imediatamente em isopor com gelo e refrigeradas para análise. Características do perfil do solo, água, nitrogênio e carbono orgânico da área experimental foram usados como entrada no DSSAT e um arquivo específico de solo chamado (.*soil*) foi criado por meio de equações padrão “*Sbuild*” (TABELA 1).

Tabela 1 - Características do perfil do solo no programa “*Sbuild*” DSSAT para água do solo, nitrogênio e carbono orgânico.

P	Limite inferior de drenagem ¹	Limite superior de drenagem ²	Limite superior de saturação ³	Fator de crescimento de raiz ⁴	Condutividade e hidráulica de saturação ⁵	Conteúdo inicial de água no solo ⁶	Teor de NH_4 no solo ⁷	Teor de NO_3 no solo ⁸	Carbono orgânico (%) ⁹	Carbono orgânico estável (%) ¹⁰
(cm)	----- $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ -----			(0-1)	(cm hr^{-1})	($\text{mm}^{-3} \text{mm}^{-3}$)	--- $\text{g N Mg}^{-1} \text{soil}$ ---		----- (%) -----	
5	0,244	0,385	0,481	1	0,09	0,385	2,4	1	2,06	1,2
15	0,244	0,385	0,481	1	0,09	0,385	2,4	1	1,29	0,8
20						0,406	2,4	1		
30	0,265	0,406	0,482	0,8	0,09	0,406	3,5	1,9	0,88	0,5
40						0,406	3,5	1,9		
45	0,265	0,406	0,465	0,6	0,09	0,406	1,7	1,4	0,88	0,5
60	0,265	0,406	0,465	0,4	0,09	0,406	1,7	1,4	0,68	0,4
70						0,406	1,7	1,4		
90	0,265	0,406	0,468	0,3	0,09	0,406	0,9	1,1	0,5	0,3
110						0,406	1	1		
120	0,265	0,406	0,452	0,2	0,09	0,406	1,1	1	0,44	0,3
130						0,406	1,1	1		
150	0,265	0,406	0,455	0,18	0,09	0,406	0,9	1	0,31	0,2
160						0,406	0,9	1		
180	0,265	0,406	0,457	0,105	0,09	0,406	0,9	0,7	0,2	0,1
200						0,406	0,8	0,8		
210	0,265	0,406	0,457	0,07	0,09	0,406	0,8	0,8	0,14	0,1
240	0,265	0,406	0,457	0,05	0,09	0,406	0,8	0,8	0,14	0,1

Nomes dos parâmetros utilizados no modelo: P: profundidade, ¹SLLL, ²SDUL, ³SSAT, ⁴SRGF, ⁵SSKS, ⁶SH2O, ⁷SNH4, ⁸SNO3, ⁹SLOC/SAOC e ¹⁰SASC/SOM3.

Fonte: Do autor (2021).

Os dados experimentais utilizados na simulação, incluindo a localização e estabelecimento da cultura, foram descritos num arquivo de manejo experimental chamado “*Arquivo X*”. O cultivar Marandu já estava estabelecida na área desde o ano de 2015.

Apesar da utilidade do modelo CSM-CROPGRO-PFM na tomada de decisões agronômicas, existem oportunidades para melhoria do modelo para aplicações em pastagens tropicais, como a simulação de pastejo e seus impactos no perfilhamento, aparecimento de

folhas, crescimento e senescência. O modelo simula as condições de desfolha e pós-colheita na função “*MOW*”, que permite a definição da massa de forragem do resíduo e do número de folhas por perfilho.

No arquivo *MOW* foram inseridos o parâmetro “*MOW*” (quantidade de resíduo remanescente após a colheita) e a fração de folha (no resíduo; RSPLF). A quantidade de resíduo remanescente após a colheita foi feita pela média de dois ciclos de rebrotação de inverno e dois de verão, sendo os valores 1960 e 2486 kg de MS ha⁻¹ no sistema sequeiro × 0N, 1570 e 3549 kg de MS ha⁻¹ no sistema sequeiro × 550N, 2823 e 4177 kg de MS ha⁻¹ no sistema irrigado × 0N, 3448 e 3536 kg de MS ha⁻¹ no sistema irrigado × 550N, respectivamente. A fração de folha no resíduo para inverno e verão foi 45,8 e 57,0% no sistema sequeiro × 0N, 50,1 e 53,2% no sistema sequeiro × 550N, 50,4 e 61,5% no sistema irrigado × 0N, 52,4 e 52,0% no sistema irrigado × 550N, respectivamente. Para o cultivar Marandu, usou-se diferentes valores de resíduos para diferentes datas de colheita, com base nos dados observados, pois a massa do resíduo mudou ao longo dos ciclos de rebrotação de verão e inverno.

Foram selecionados 20 perfilhos aleatórios médios representativos no dossel no pós-corte e contados o número de folhas verdes remanescentes por perfilho nos resíduos (MVS). Essa contagem foi utilizada no arquivo “*MOW*”.

2.4 Avaliação estatística de desempenho dos modelos

Os teores de CNE e as variáveis agronômicas foram comparados com os valores observados, rodando o modelo com o clima, solo e manejo empregados no experimento. Os parâmetros referentes a carbono foram ajustados para o melhor ajuste dos carboidratos não estruturais nas raízes. Para avaliar o desempenho do modelo usamos a razão valores simulados: valores observados, Raiz do Erro Quadrático Médio (*RMSE - Root Mean Square Error*) e o índice de concordância de Willmott - D (WILLMOTT, 1981; WILLMOTT et al., 1985).

A *RMSE* comumente usada para expressar a acurácia dos resultados numéricos com a vantagem de que *RMSE* apresenta valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada. O *RMSE* é definido por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}$$

em que: E_i e O_i são os valores estimados e observados (medidos), respectivamente, e n é o número de observações.

O RMSE é uma medida da magnitude média dos erros estimados, tem valor sempre positivo e quanto mais próximo de zero, maior a qualidade dos valores medidos ou estimados. Segundo Stone (1993), a desvantagem é que bastam alguns poucos valores discrepantes para que ocorra aumento significativo na sua magnitude.

O índice D foi obtido pela equação,

$$D = \frac{1 - \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - O_i| + |O_i - O|)^2}$$

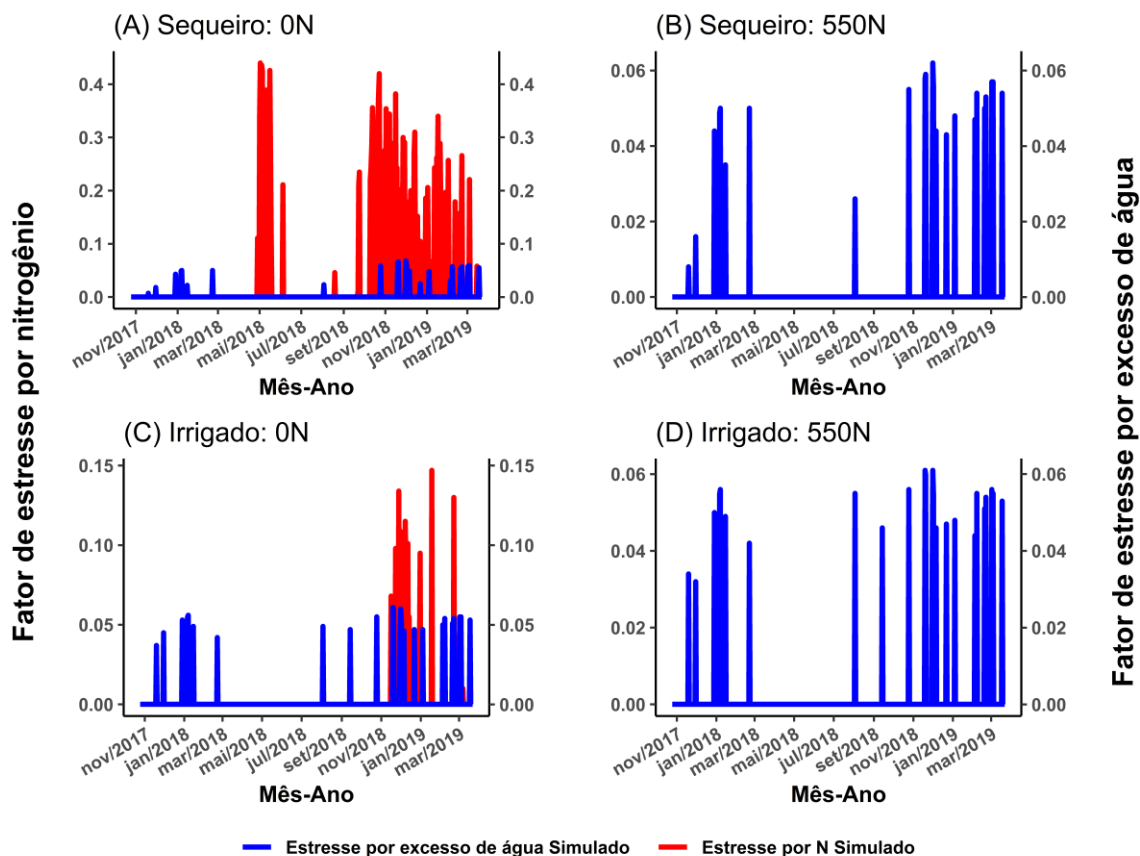
em que: E_i é o valor predito, O_i é o observado; e O é a média dos valores observados. Melhor predição de modelo é caracterizada por uma razão valores simulados: observados e os valores da estatística D próximo a 1, menor valor de $RMSE$. Os gráficos dos ajustes foram construídos no programa estatístico R (R CORE TEAM, 2021) no pacote *ggplot2*.

3 RESULTADOS

3.1 Adaptação do modelo com base no conjunto de dados de *U. brizantha* cv. Marandu

O balanço hídrico simulado no CSM-CROPGRO-PFM não apresentou estresse hídrico, o que atesta o bom controle da água aplicada via irrigação no experimento além da precipitação (FIGURA 2 – A, B, C e D). A simulação de estresse por falta de nitrogênio foi evidente no sistema sequeiro quando não se aplica N, valores do fator de estresse por N na faixa de 0,4, tanto no período do inverno agrostológico quanto no segundo verão agrostológico (FIGURA 2 – A), para o sistema irrigado quando não se aplica N no segundo verão agrostológico os valores ficaram entre 0,10 a 0,15 (FIGURA 2 – C), sendo que quanto mais próximo de zero menor é estresse causado pela falta de N ou por excesso de água. Não houve estresse por falta de N ou por excesso de água para a dose 550 nos sistemas sequeiro (FIGURA 2 – B) e no irrigado (FIGURA 2 – D).

Figura 2 – Fator de estresse por nitrogênio e fator de estresse por excesso de água da *Urochloa brizantha* cv. Marandu no sistema de produção sequeiro sem adubação nitrogenada (A) e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (B) sistema de produção irrigado sem adubação nitrogenada (C) e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (D) em Lavras, MG de outubro de 2017 a março de 2019.



Fonte: Do autor (2021).

Com a finalidade de garantir a dinâmica dos padrões de rebrotação, alguns parâmetros relacionados a dinâmica do carbono e nitrogênio foram mantidos semelhantes (PEQUENO; PEDREIRA; BOOTE, 2014), incluindo as taxas mínimas e máximas de carbono e mobilização do nitrogênio para reservas (CMOBSRN, CMOBSRX, NMOBSRN e NMOBSRX).

Outros parâmetros, primeiramente, a taxa máxima de mobilização de carboidratos em tecidos vegetativos, fração do pool de carboidratos disponíveis por dia nas folhas, colmos e raízes (CMOBSMX) foi fundamental para estabelecer o padrão cíclico observado nas raízes do cultivar Marandu. A taxa máxima de mobilização de carboidratos (CMOBSMX) e as frações de crescimento de um novo tecido de reserva para folha (ALPHL), colmo (ALPHS),

raízes (APLPHR) e coroa (ALPHSR) foram ajustados para permitir a diminuição da concentração deles nas folhas, colmos e raízes durante os ciclos de rebrotação de inverno e verão agrostológico (TABELA 2).

Tabela 2 - Valores iniciais e otimizados dos parâmetros de carbono.

Parâmetros	Definição	Valores iniciais ¹	Valores otimizados
CMOBMX	Taxa máxima de mobilização de carboidratos em tecidos vegetativos, fração do pool de carboidratos disponíveis por dia	0,05	0,200
ALPHL	Fração do crescimento de um novo tecido de reserva. Carboidrato disponível (fração) nas folhas.	0,08	0,02
ALPHS	Fração do crescimento de um novo tecido de reserva. Carboidrato disponível (fração) no colmo.	0,08	0,04
ALPHR	Fração do crescimento de um novo tecido de reserva. Carboidrato disponível (fração) nas raízes.	0,08	0,04
ALPHSR	Fração do crescimento de um novo tecido de reserva. Carboidrato disponível (fração) na coroa.	0,08	0,04

† Nome dos parâmetros na linguagem Fortran; Definições do significado de cada parâmetro; ¹Valores iniciais obtidos com base em Pequeno; Pedreira e Boote (2014).

Fonte: Do autor (2021).

Na Tabela 3 estão os valores médios dos teores de carboidratos totais não estruturais nas raízes e as variáveis agronômicas na *U. brizantha* cv. Marandu nas quatro combinações (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ × sequeiro e irrigado) simulados × observados, o RMSE, D e razão simulado: observado.

Tabela 3 - Valores médios e estatísticas das variáveis carboidratos nas raízes e agronômicas da *U. brizantha* cv. Marandu com duas doses de N (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹) × dois sistemas de produção (Irrigado e Sequeiro).

Variáveis	Obs.	Pequeno et al. (2014) ¹				Modelo otimizado			
		Sim.	Razão	RMSE	D	Sim.	Razão	RMSE	D
Carboidratos raízes (% MS)	2,55	6,47	2,8745	4,06	0,256	2,90	1,2712	0,86	0,510
Biomassa da parte aérea (kg MS ha ⁻¹)	3737	3793	1,0307	644	0,854	3796	1,0317	644	0,854
Folha (kg MS ha ⁻¹)	2227	2311	1,0745	461	0,872	2037	1,0720	459	0,873
Colmo (kg MS ha ⁻¹)	1509	1482	0,9890	271	0,695	1489	0,9937	269	0,698
Folha (% BPA)	57,9	60,1	1,0435	5,1	0,767	59,9	1,0402	4,9	0,780
AF (kg MS ha ⁻¹)	656	620	1,1340	644	0,726	621	1,1350	644	0,726

¹: Pequeno; Pedreira e Boote (2014); BPA: Biomassa da parte aérea (folha + colmo); Obs.: Valores Observados; Sim.: Valores Simulados; RMSE: Raiz do erro quadrático médio e D: índice de concordância de Willmott (D).

Fonte: Do autor (2021).

A média dos valores observados das quatro combinações (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ × sequeiro e irrigado) para o teor de carboidratos nas raízes foi 2,55% MS, realizando a comparação da modificação proposta com o modelo de Pequeno, Pedreira e Boote (2014) os valores simulados foram 2,90 × 6,47 % MS, com menor valor de RMSE para o a modificação (0,86 × 4,06 % MS) e maior valor de D (0,510 × 0,256) e uma menor razão de simulado: observado (1,2712 × 2,8740).

Para a biomassa da parte aérea, os dois modelos (Pequeno, Pedreira e Boote (2014) e o modificado) apresentaram valores médios semelhantes de valores simulados (3793 × 3796 kg MS ha⁻¹), RMSE (644 × 644 kg MS ha⁻¹), D (0,854 × 0,854) e razão (1,0307 × 1,0317). Realizando a comparação da modificação proposta com o modelo de Pequeno, Pedreira e Boote (2014) na produção de folha os valores simulados foram 2037 × 2311 kg MS ha⁻¹, com menor valor de RMSE para o a modificação (459 × 461 kg MS ha⁻¹) e maior valor de D (0,873 × 0,872) e uma menor razão de simulado: observado (1,0720 × 1,0745).

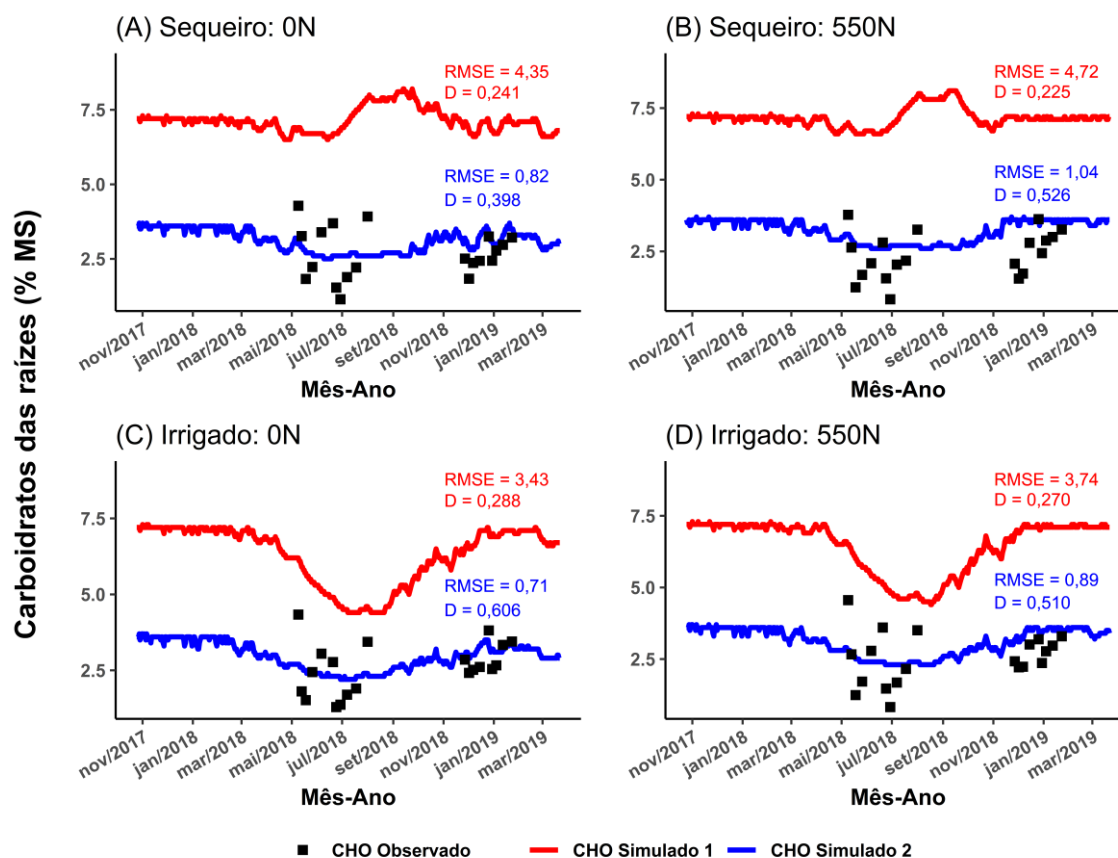
Na produção de colmo realizando a comparação da modificação proposta com o modelo de Pequeno, Pedreira e Boote (2014), os valores simulados foram 1489 × 1482 kg MS ha⁻¹, com menor valor de RMSE para o a modificação (269 × 271 kg MS ha⁻¹) e maior valor de D (0,698 × 0,695) e uma maior razão de simulado: observado (0,9939 × 0,9890). E para a porcentagem de folha na biomassa da parte aérea quando compara-se modificação proposta com o modelo de Pequeno, Pedreira e Boote (2014), os valores simulados foram 59,9 × 60,1%, com menor valor de RMSE para o a modificação (4,9 × 5,1%) e maior valor de D (0,780 × 0,767) e menor razão de simulado: observado (1,0402 × 1,0435).

Para o AF, os dois modelos (Pequeno, Pedreira e Boote (2014) e o modificado) apresentaram valores médios semelhantes de valores simulados (620 × 621 kg MS ha⁻¹), RMSE (644 × 644 kg MS ha⁻¹), D (0,726 × 0,726) e razão (1,1340 × 1,1350).

3.2 Carboidratos de raízes e variáveis agronômicas

Na Figura 3 têm-se o ajuste dos carboidratos de raízes (% MS) nas quatro combinações (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ × sequeiro e irrigado).

Figura 3 - Carboidratos não estruturais nas raízes (CHO) da *U. brizantha* cv. Marandu no sistema de produção sequeiro sem adubação nitrogenada (A) e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (B) sistema de produção irrigado sem adubação nitrogenada (C) e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (D) no modelo de Pequeno, Pedreira e Boote (2014) – Simulado 1 e o modelo otimizado (Simulado 2).

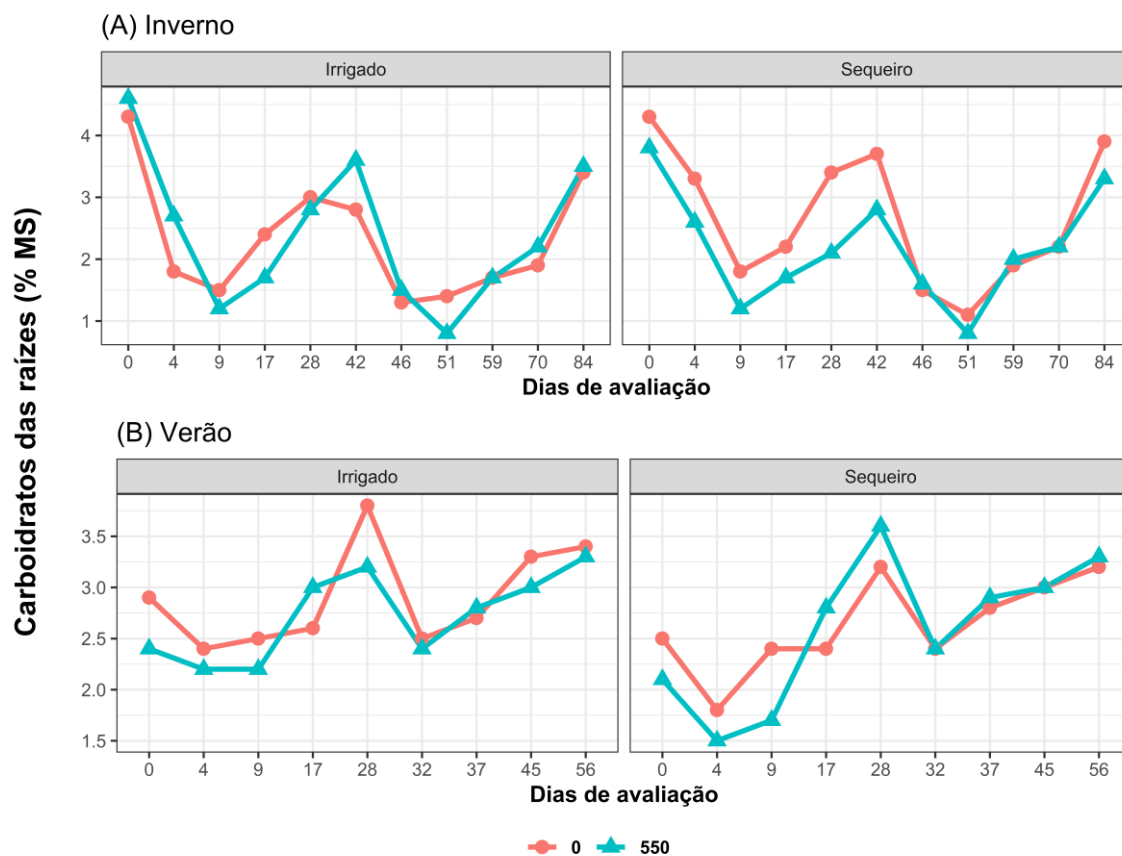


Fonte: Do autor (2021).

Os parâmetros que foram otimizados (CHO Simulado 2) quando comparados ao modelo de Pequeno et al. (2014) - CHO Simulado 2 para os carboidratos nas raízes foram melhorados (FIGURA 3 – A, B, C e D) com menores valores de RMSE e maiores valores do índice de concordância D. Como o modelo modificado obteve melhores resultados quando comparados ao de Pequeno, Pedreira e Boote (2014) utilizou-se para as variáveis agrônomicas os valores do modelo modificado. Na Figura 4 têm-se os valores observado dos carboidratos de raízes (% MS) nas quatro combinações (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ × sequeiro e irrigado) em dois ciclos de rebrotação de inverno (A) e verão (B).

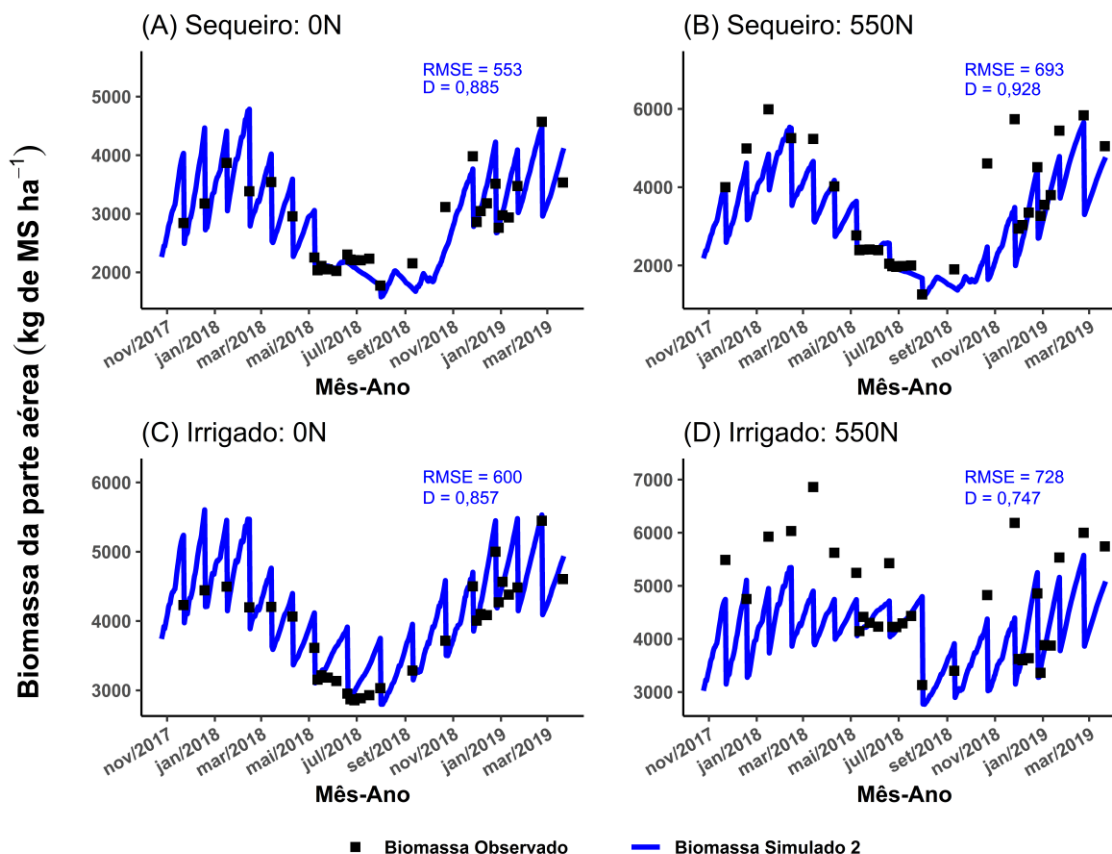
Figura 4 - Carboidratos não estruturais nas raízes (% MS) nas quatro combinações (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ × sequeiro e irrigado) em dois ciclos de rebrotação de inverno (A) e no verão agrostológico (B).

Figura 4 - Carboidratos não estruturais nas raízes (% MS) nas quatro combinações (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ × sequeiro e irrigado) em dois ciclos de rebrotação de inverno (A) e no verão agrostológico (B).



Na Figura 5 têm-se o ajuste da biomassa da parte aérea (kg MS ha⁻¹) nas quatro combinações (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ × sequeiro e irrigado).

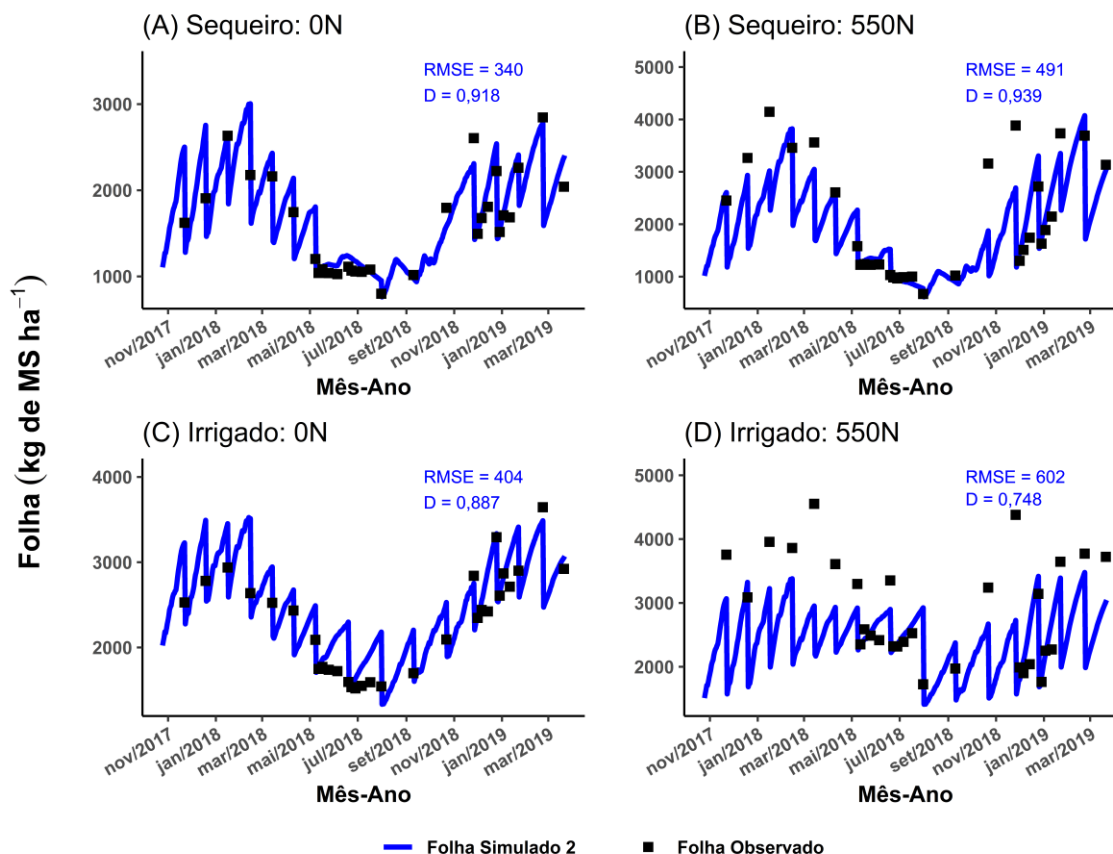
Figura 5 - Biomassa da parte aérea (kg MS ha⁻¹) da *U. brizantha* cv. Marandu no sistema de produção sequeiro sem adubação nitrogenada (A) e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (B) sistema de produção irrigado sem adubação nitrogenada (C) e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (D) no modelo otimizado (Simulado 2).



Fonte: Do autor (2021).

Para a biomassa da parte aérea, o modelo otimizado apresentou bons ajustes para a condição de sequeiro nas doses 0 (FIGURA 5 - A) e 550 (FIGURA 5 - B) com valores de RMSE (553 e 693 kg MS ha⁻¹) e D (0,885 e 0,928). Na condição do modelo irrigado na dose 0 (FIGURA 5 - C) o modelo está superestimando os valores simulados da biomassa da parte aérea com RMSE (600 kg MS ha⁻¹) e D (0,857) e na dose 550 (FIGURA 5 - D) o modelo está subestimando os valores simulados com maior RMSE (728 kg MS ha⁻¹) e menor D (0,747). Na Figura 6 têm-se o ajuste de folha (kg MS ha⁻¹) nas quatro combinações (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ × sequeiro e irrigado).

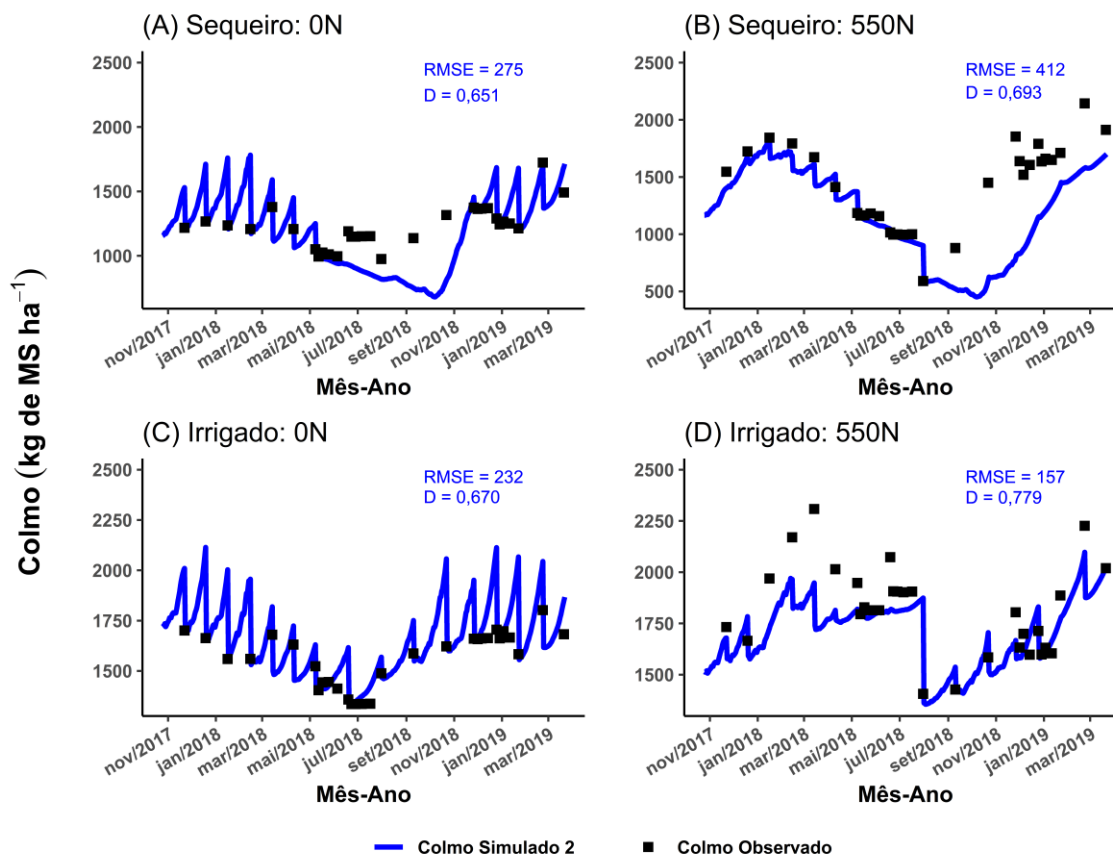
Figura 6 - Folha (kg MS ha⁻¹) da *U. brizantha* cv. Marandu no sistema de produção sequeiro sem adubação nitrogenada (A) e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (B) sistema de produção irrigado sem adubação nitrogenada (C) e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (D) no modelo otimizado (Simulado 2).



Fonte: Do autor (2021).

Para a produção de folha, o modelo modificado apresentou bons ajustes para a condição de sequeiro nas doses 0 (FIGURA 6 - A) e 550 (FIGURA 6 - B) com valores de RMSE (340 e 491 kg MS ha⁻¹) e D (0,918 e 0,939). Na condição do modelo irrigado na dose 0 (FIGURA 6 - C) o modelo está superestimando os valores simulados da produção de folha com RMSE (404 kg MS ha⁻¹) e D (0,887) e na dose 550 (FIGURA 6 - D) o modelo está subestimando os valores simulados com maior RMSE (602 kg MS ha⁻¹) e menor D (0,748) quando comparados aos demais tratamentos (FIGURA 6 - A, B e C). Na Figura 7 têm-se o ajuste de colmo (kg MS ha⁻¹) nas quatro combinações (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ × sequeiro e irrigado).

Figura 7 - Colmo (kg MS ha⁻¹) da *U. brizantha* cv. Marandu no sistema de produção sequeiro sem adubação nitrogenada (A) e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (B) sistema de produção irrigado sem adubação nitrogenada (C) e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (D) no modelo otimizado (Simulado 2).

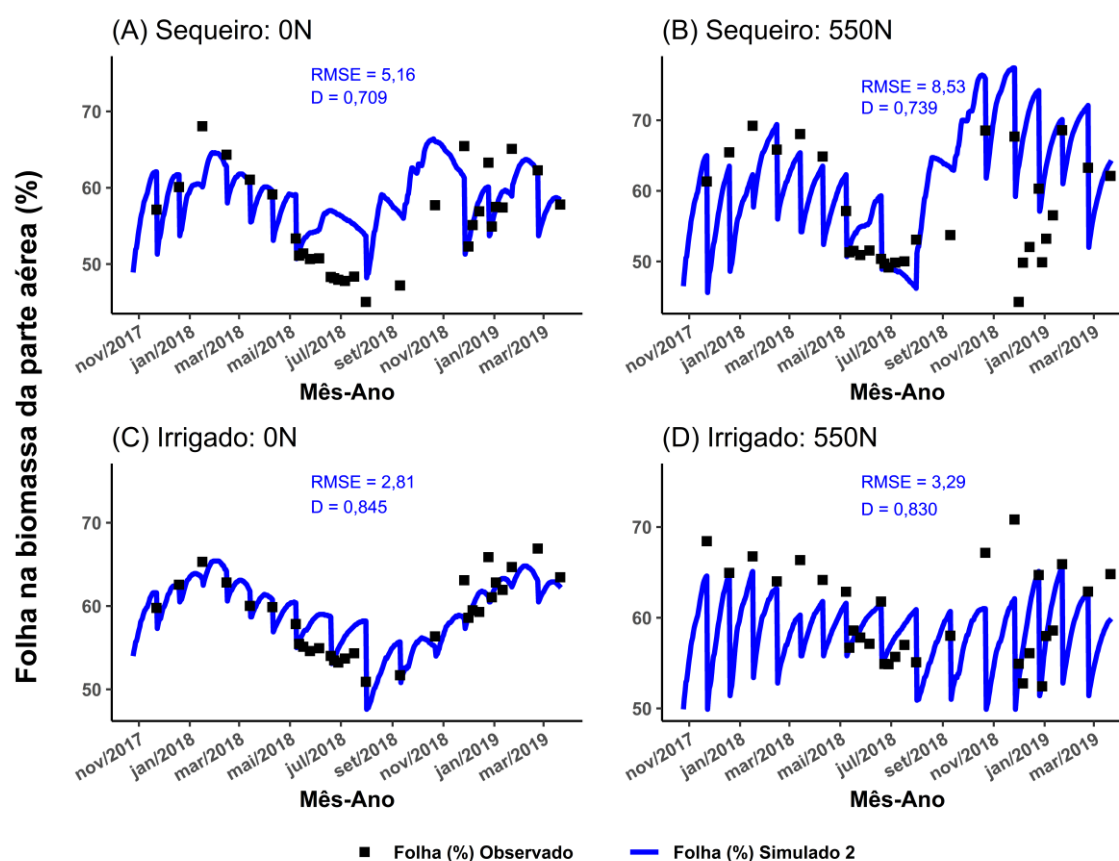


Fonte: Do autor (2021).

Para a produção de colmo, para a condição de sequeiro na dose 0 (FIGURA 7 - A) o modelo simula com melhor resultado nos dois verões e subestima os valores simulados no inverno, os valores de RMSE (275 kg MS ha⁻¹) e D (0,651) e na dose 550 (FIGURA 7 - B) o modelo simulou bem no primeiro ano (outubro de 2017 a setembro de 2018), já verão do segundo ano de experimento ele subestima os valores simulados quando comparados aos valores observados, os valores de RMSE (412 kg MS ha⁻¹) e D (0,693). Na condição do modelo irrigado na dose 0 (FIGURA 7 - C) o modelo está superestimando os valores simulados da produção de colmo, sendo o mesmo resultado encontrado nas Figuras (5 - C e 6 - C), com valores de RMSE (232 kg MS ha⁻¹) e D (0,670) e na dose 550 (FIGURA 7 - D) o modelo está subestimando os valores simulados, com RMSE (157 kg MS ha⁻¹) e D (0,779), mesmo padrão acontece nas Figuras (5 - D e 6 - D). Na Figura 8 têm-se o ajuste da

porcentagem de folha na biomassa da parte aérea nas quatro combinações (0 e 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1} \times$ sequeiro e irrigado).

Figura 8 - Folha (% biomassa da parte aérea - BPA) da *U. brizantha* cv. Marandu no sistema de produção sequeiro sem adubação nitrogenada (A) e 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (B) sistema de produção irrigado sem adubação nitrogenada (C) e 550 kg de N $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (D) no modelo otimizado (Simulado 2).



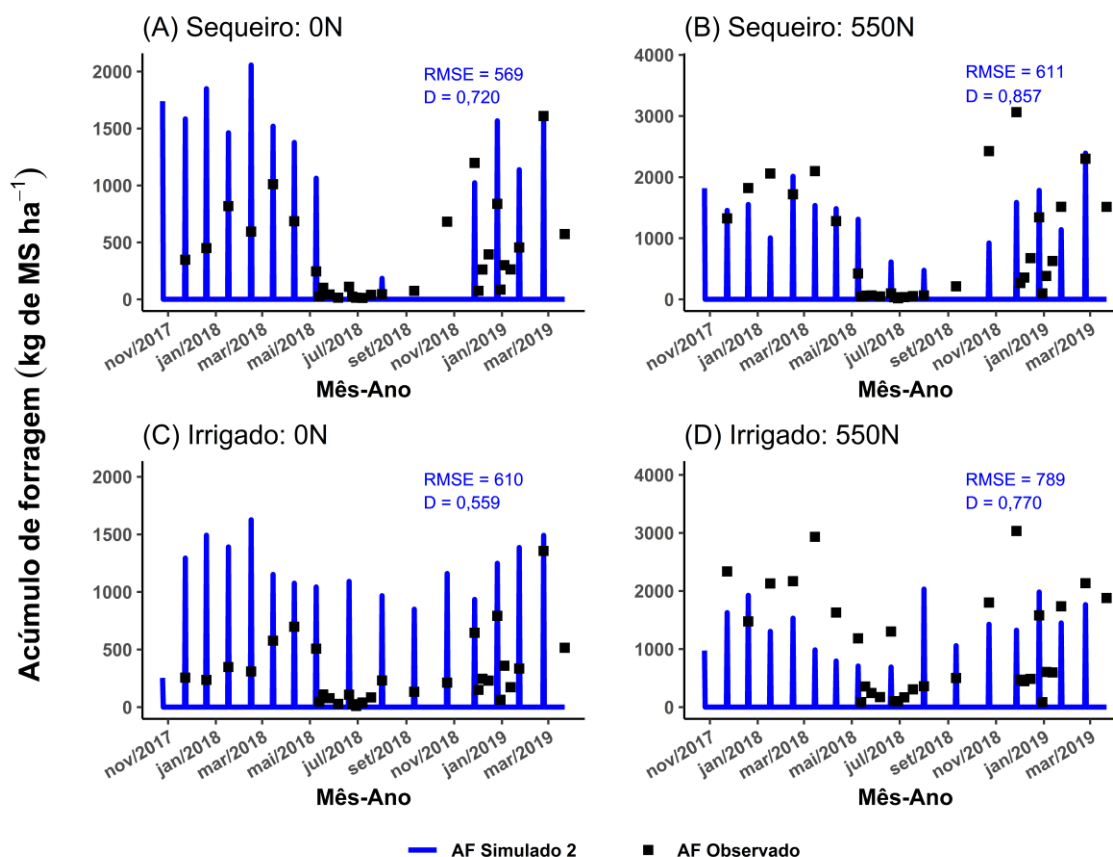
Fonte: Do autor (2021).

Para a folha (% BPA), para a condição de sequeiro na dose 0 (FIGURA 8 - A) o modelo simula com melhor resultado nos dois verões e está superestimando os valores simulados no inverno, os valores de RMSE (5,16 %) e D (0,709) e na dose 550 (FIGURA 8 - B) o modelo simulou bem no primeiro ano (outubro de 2017 a setembro de 2018), já verão do segundo ano de experimento ele superestimando os valores simulados de folha (%) com maiores valores de RMSE (8,53%) e D (0,739).

Na condição do modelo irrigado na dose 0 (FIGURA 8 - C) o modelo está com valores simulados \times observados adequados, com valores de RMSE (2,81%) e D (0,845) e na dose 550 (FIGURA 8 - D) o modelo está subestimando os valores simulados, com RMSE (3,29%) e D (0,830), mesmo padrão acontece nas Figuras (6 - D, 7 - D e 8 - D). Na Figura

9 têm-se o ajuste de acúmulo de forragem (kg MS ha⁻¹) nas quatro combinações (0 e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ × sequeiro e irrigado).

Figura 9 -Acúmulo de forragem (kg MS ha⁻¹) da *U. brizantha* cv. Marandu no sistema de produção sequeiro sem adubação nitrogenada (A) e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (B) sistema de produção irrigado sem adubação nitrogenada (C) e 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (D) no modelo otimizado (Simulado 2).



Fonte: Do autor (2021).

Para o AF, o modelo otimizado apresentou bons ajustes para a condição de sequeiro nas doses 0 (FIGURA 9 - A) e 550 (FIGURA 9 - B) com valores de RMSE (569 e 611 kg MS ha⁻¹) e D (0,720 e 0,857). Na condição do modelo irrigado na dose 0 (FIGURA 9 - C) o modelo está superestimando os valores simulados da biomassa da parte aérea com RMSE (610 kg MS ha⁻¹) e menor D (0,559) e na dose 550 (FIGURA 9 - D) o modelo está subestimando os valores simulados com RMSE (789 kg MS ha⁻¹) e D (0,770). Sendo que o padrão de simulação do modelo para a biomassa da parte aérea (FIGURAS 5 - A, B, C e D) são os mesmos para o AF (FIGURA 9 - A, B, C e D).

4 DISCUSSÃO

Idealmente, a parametrização do modelo para estimar o potencial de crescimento deve ser feita na ausência de estresse hídrico e de nitrogênio (FIGURA 2) permitindo a compreensão dos efeitos não controláveis do ambiente (fotoperíodo, temperatura, características do solo) sobre o acúmulo de biomassa da parte aérea (folha + colmo; kg MS ha⁻¹), produção de folha e colmo, porcentagem de folha na biomassa e AF. As espécies de forrageiras tropicais apresentam alta capacidade produtiva e são adaptadas às diversas regiões do país, essas espécies apresentam como característica estacionalidade produtiva. Essa estacionalidade é devido ao fotoperíodo, disponibilidade de água e temperatura (EUCLIDES et al., 2016).

As otimizações (TABELA 2) melhoraram o desempenho estatístico das simulações aproximando os valores médios simulados aos observados, com menores valores de RMSE e maiores valores do D (TABELA 3) para as variáveis agronômicas e nos teores de carboidratos não estruturais nas raízes da *U. brizantha* cv. Marandu.

A mudança nos valores dos parâmetros na taxa máxima de mobilização de carboidratos em tecidos vegetativos, fração do pool de carboidratos disponíveis por dia (CMOBMX) de 0,05 para 0,200 obteve uma melhora significativa no ajuste dos CNE nas raízes isso quando comparado ao trabalho de Pequeno, Pedreira e Boote (2014). No trabalho de Moreno (2017) o capim Mulato 2 mobilizou mais CNE em comparação com Jiggs, como resultado de um valor do parâmetro CMOBMX, que afetou os teores de CNE do colmo e das raízes.

O cultivar Marandu não têm rizomas ou estolões, e as reservas orgânicas como carboidratos totais não estruturais (CNE) e nitrogênio (N) são armazenados nas bases de caule e parte nas raízes (REIS et al., 1985; RODRIGUES et al., 2007). O ajuste das frações de CNE na folha (ALPHL), colmo (ALPHS), raízes (APLPHR) e coroa (APLPHSR), juntamente com a taxa de mobilização máxima de folhas, colmo e raízes (CMOBMX) foi fundamental para obter melhor resposta nos valores simulados × observados nos CNE das raízes do cultivar Marandu, sendo que o mesmo aconteceu no trabalho de Moreno (2017). A mudança desses parâmetros não afetou os resultados das variáveis agronômicas (TABELA 3) quando comparado ao modelo de Pequeno, Pedreira e Boote (2014).

Os teores de CNE nas raízes diminuem logo após o dia 0 de avaliação até o dia 9 de avaliação no período do inverno enquanto no verão agrostológico diminuem logo após o

dia 0 de avaliação até o dia 4 de avaliação, normalizando a partir do dia 9 de avaliação no ciclo de rebrotação (FIGURAS 3 e 4). A redução nos teores de CNE após a desfolhação, mostrando que eles são utilizados na mobilização de reservas para um novo ciclo de rebrotação (RODRIGUES; RODRIGUES, 1987).

Detling, Dyer e Winn (1979) relataram um aumento de 21% na fotossíntese foliar de folhas remanescentes de *Bouteloua gracilis* (Willd. ex Kunth) Lag. ex Griffiths em comparação a plantas não desfolhadas, possibilitando a recuperação de 80% da planta explorando a capacidade de absorção de carbono em apenas 10 dias. Assim, a importância de respostas fisiológicas das folhas no aumento da assimilação de carbono da planta após a desfolhação só pode ser avaliada em combinação com a área foliar do dossel e os seus efeitos no processo fotossintético (GOLD; CALDWELL, 1989).

Esse padrão de comportamento para o cultivar Marandu indica que possui variações sazonais quanto à alocação preferencial de fotoassimilados para seus diferentes órgãos de reserva (CARVALHO et al., 2001). Possivelmente, isso indica a existência de um mecanismo que as plantas utilizam para garantir sua sobrevivência durante o período de inverno, bem como preparação para o florescimento, evento fenológico que demanda suprimento energético (SMITH, 1972). A concentração de CNE nas gramíneas e leguminosas podem variar de 50 a 300 g kg MS⁻¹ (FRAME; LAIDLAW, 2011). As quantidades relativas desses açúcares podem ser influenciadas por espécies, a relação folha: colmo, a hora do dia, a intensidade da luz e a temperatura (SMITH, 1973).

Se os regimes de pastejo ou colheita mecânica podem resultar aumentos da área foliar residual, a rebrotação é menos dependente de reservas, já que a área foliar remanescente fornece fotoassimilados para sintetizar novos tecidos a partir da fotossíntese. Por outro lado, quando a desfolhação é severa, e pouca ou nenhuma área foliar é mantida no dossel, o novo crescimento vai depender da existência de reservas orgânicas, apresentando taxas lentas de rebrotação inicial (DONAGHY; FULKERSON, 2002; RODRIGUES et al., 2007).

Sob pastejo, a partição de compostos de reserva de raiz e coroa é afetada pela remoção de folhas (intensidade e frequência de pastejo), o que afeta o crescimento das raízes. O máximo de CNE é muito afetado pela massa de forragem do resíduo ou pela produção de massa seca de raízes (SILVA et al., 2016).

Os ajustes produção de folha no resíduo (RSPLF) afetam a porcentagem de folha (FIGURA 8). Os parâmetros do índice de área foliar (IAF) e a área foliar específica (AFE - cm g⁻¹) não foram modificados no presente trabalho, pois eles afetam fortemente os

parâmetros referentes ao carbono assimilado pela fotossíntese, da quantidade de carbono alocada para as folhas, e da AFE resultante sob essas condições (PEDREIRA et al., 2011).

5 CONCLUSÕES

A adaptação do modelo CSM-CROPGRO-PFM para os carboidratos de reserva melhorou a simulação dos dados de *U. brizantha* cv. Marandu. Os teores de carboidratos não estruturais são reestabelecidos nas raízes em pelo menos 17 dias no inverno e 9 dias no verão agrostológico para condições de sequeiro e irrigado associado ou não a adubação nitrogenada.

As variações estacionais que são simuladas pelo modelo parametrizado para *Urochloa* são diferentes para condições de adubação e irrigação. O modelo parametrizado para os dados agronômicos de *Urochloa* está bem calibrado para a condição de sequeiro com a adubação nitrogenada e necessita de mudanças quando realiza a adubação nitrogenada associada a irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements**. FAO. Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, 300p. 1998.

ARAÚJO, L.C.; SANTOS, P.M.; RODRIGUEZ, R.; PEZZOPANE, J.R.M.; OLIVEIRA, P.P.A.; CRUZ, P.G. Simulating Guineagrass production: empirical and mechanistic approaches. **Agronomy Journal**, v.105, p. 61–69, 2013.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G. Simulation of crop growth: CROPGRO Model. In: PEART, R.M.; CURRY, R.B. (Ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: Marcel Dekker, 1998. p. 651-692.

CARVALHO, C.A.B.; SILVA, S.C.; SBRISSIA, A. F.; FAGUNDES, J. L.; CARNEVALLI, R.A.; PINTO, L. F. M.; PEDREIRA, C. G. S. Carboidratos não estruturais e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon spp.* sob lotação contínua. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 4, p. 667-674, 2001.

CHAPARRO, C.J., SOLLENBERGER, L.E., QUESENBERY, K.H. Light interception, reserve status and persistence of clipped Mott elephantgrass swards. **Crop Science**, v.36, p.649-655, 1996.

CHRISTIANSEN, S. **Energy reserves and agronomic characteristics of four limpopasses (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf et C.E. Hubb) for Florida's latwoods.**1982. Thesis (PhD in Agronomy) – University of Florida, Gainesville, 1982.

CRUZ, P.G.; SANTOS, P.M.; PEZZOPANE, J.R.M.; OLIVEIRA, P.P.A.; ARAÚJO, L.C. Modelos empíricos para estimar o acúmulo de matéria seca de capim-marandu com variáveis agrometeorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.675–681, 2011.

DETLING, J. K.; DYER, M. I.; WINN, D. T. Net Photosynthesis, Root Respiration, and Regrowth of *Bouteloua gracilis* Following Simulated Grazing. **Oecologia**, v.41, p.127–134, 1979.

DONAGHY, D. J.; FULKERSON, W. J. The impact of defoliation frequency and nitrogen fertilizer application in spring on summer survival of perennial ryegrass under grazing in subtropical Australia. **Grass Forage Science**, v. 57, p. 351–359, 2002.

EUCLIDES, V.P.B; MONTAGNER, D.B.; BARBOSA, R.A.; VALLE, C.B.; NANTES, N.N. Animal performance and sward characteristics of two cultivars of *Brachiaria brizantha* (BRS paiaguás and BRS Piatã). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.45, p.85- 92, 2016. <https://doi.org/10.1590/s1806-92902016000300001>.

GIACOMINI, A.A.; DA SILVA, S.C.; SARMENTO, D.O. de L.; ZEFERINO, C.V.; SOUZA JÚNIOR, S.J.; TRINDADE, J.K. da; GUARDA, V. del'A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do. Growth of marandu palisadegrass subjected to strategies of intermittent stocking. **Scientia Agricola**, v.66, p.733-741, 2009. doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000600003>

GIRALDO, L.M.; LIZCANO, L.J.; GIJSMAN A.J.; RIVERA, B.; FRANCOL, H. Adaptation of DSSAT model to simulate the production of *Brachiaria decumbens*. **Pasturas Tropicales**, v.20, p.2-12, 1998.

GOLD, W. G.; CALDWELL, M. M. The Effects of the Spatial Pattern of Defoliation on Regrowth of a Tussock Grass . II . Canopy Gas Exchange. **Oecologia**, v. 81, n. 4, p. 437–442, 1989.

GOMIDE, C.A.M.; GOMIDE, J.A.; PEREIRA, O.G. Morfogênese e acúmulo de biomassa em capim-mombaça sob pastejo rotacionado observando diferentes períodos de descanso. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39, 2002. Recife – PE, **Anais...**, Recife: SBZ, 2002. CDROM.

HALL, M.B. Determination of starch, including maltooligosaccharides, in animal feeds: Comparison of methods and a method recommended for AOAC collaborative study. **J. AOAC Int.**, v.92, p. 42-49, 2009.

HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; SHELIA, V.; BOOTE, K.J.; SINGH, U.; WHITE, J.W.; HUNT, L.A.; OGOSHI, R.; LIZASO, J.I; KOO, J.; ASSENG, S.; SINGELS, A.; MORENO, L.P.; JONES, J.W. (2017). **Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7.5**. DSSAT Foundation, Gainesville, FL, USA. Disponível em: www.DSSAT.net.

JOHNSON, S. E., SOLLENBERGER, L. E., BENNETT, J. M. Yield and Reserve Status of Rhizoma Peanut Growing under Shade. **Crop Science**, v.34, n. 3, p.757-761, 1994.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RITCHIE, J.T. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v.18, p.235–265, 2003.

KELLY, T.C. **A bioeconomic system approach to sustainability analysis at the farm level**. 1995. 114 p. Thesis (Ph.D. in Agronomy) - University of Florida, Gainesville, 1995.

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, n.3, p.600–611, 2012.

LEE, J.M.; PUTHIGAE, S.; DONAGHY, D.J.; ROCHE, J.R. Plants modify biological processes to ensure survival following carbon depletion: A *Lolium perenne* model. **PLoS ONE**, v.5, n.8. p.1-10, 2010a.

LEE, J. M.; ROCHE, J. R.; DONAGHY, D. J.; THRUSH, A.; SATHISH, P. Validation of reference genes for quantitative RT-PCR studies of gene expression in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). **BMC Molecular Biology**, v.11, n. 8, p.1-14, 2010b.

LEE, J. M.; SATHISH, P.; DONAGHY, D. J.; ROCHE, J. R. Impact of defoliation severity on photosynthesis, carbon metabolism and transport gene expression in perennial ryegrass. **Functional Plant Biology**, v. 38, n. 10, p. 808–817, 2011.

LOUAHLIA, S., LAINE, P., MACDUFF, J.H., OURRY, A., HUMPHREYS, M., BOUCAUD, J. Interactions between reserve mobilization and regulation of nitrate uptake during regrowth of *Lolium perenne* L.: Putative roles of amino acids and carbohydrates. **Botany**, v. 86, p.1101–1110, 2008.

LUPINACCI, A.V. **Reservas orgânicas, índice de área foliar e produção de forragem em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetida a intensidade de pastejo por bovinos de corte**. Piracicaba, 2002. 160f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002.

MCGRATH, D. Seasonal variation in the water-soluble carbohydrates of perennial and Italian ryegrass under cutting conditions. **Irish J. Agric. Res**, v.27, p.131-139, 1988.

MORENO, L.S.B. **Modeling regrowth dynamics of two contrasting forage grasses in response to shade and nitrogen fertilization**. 2017. 292p. Thesis (PhD in Agronomy) – University of Florida, Gainesville, 2017.

MORVAN-BERTRAND, A.; PAVIS, N.; BOUCAUD, J.; PRUD’HOMME, M.P. Partitioning of reserve and newly assimilated carbon in roots and leaf tissues of *Lolium perenne* during regrowth after defoliation: Assessment by ^{13}C steady-state labelling and carbohydrate analysis. **Plant Cell Environ.**, v.22, p.1097–1108, 1999.

MULLENIX, M.K.; SOLLENBERGER, L.E.; WALLAU, M.O.; ROWLAND, D.L.; BLOUNT, A.R.; VENDRAMINI, J.M.B.; SILVEIRA, M.L. Sward structure, light interception, and rhizome-root responses of rhizoma peanut cultivars and germplasm to grazing management. **Crop Science**, v.56, p. 899 – 906, 2016. doi: 10.2135/cropsci2015.08.0508

NELSON, N. A fotometric adaptaion of Somogyi method for the determination of glucose. **J.Biol.Chen.**, v. 153, p. 375-80, 1944.

NOVOZYMES (2007). **Termamyl® 2X**. Disponível em: http://www.lnf.com.br/downloads/termamyl_2x.pdf. Acesso em: 01de junho de 2021.

PEDREIRA, B. P.; 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, 2011, p. 370-379, 2011.

PEQUENO, D. N. L.; PEDREIRA, C. G. S.; BOOTE, K. J. Simulating forage production of Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) with the CROPGRO-Perennial Forage model. **Crop and Pasture Science**, v.65, n.12, p.1335–1348, 2014.

PING, X., ZHOU, G., ZHUANG, Q., WANG, Y., ZUO, W., SHI, G., LIN, X., WANG, Y. Effects of sample size and position from monolith and core methods on the estimation of total root biomass in a temperate grassland ecosystem in Inner Mongolia. **Geoderma**, v.155, p.262-268, 2010.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. 2021. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed., Campinas: IAC, 1996. 285 p. (**Boletim técnico 100**).

REIS, R.A.; GARCIA, R.; GOMIDE, J.A.; OBEID, J.A. Efeitos dos regimes de cortes nos níveis de carboidratos não-estruturais do capim-brachiária. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 14, n. 5, p. 522-528, 1985.

RODRIGUES, R.C.; MOURAO, G.B.; VALINOTE, A.C.; HERLING, V.R. Reservas orgânicas, relação parte aérea-raiz e C-N e eliminação do meristema apical no capim-xaraés sob doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.8, 505-514, 2007.

RODRIGUES, L. R. de A.; RODRIGUES, T. de J. D. Ecofisiologia de plantas forrageiras. In: CASTRO, P. R. C. et al. (Eds.) **Ecofisiologia da produção Agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. p. 203-230.

RYMPH, S.J.; BOOTE, K.J.; IRMAK, A.; MISLEVY, P.; EVERS, G.W. Adapting the CROPGRO model to predict growth and composition of tropical grasses: Developing physiological parameters. **Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings**, v. 63, p. 37-51, 2004.

SCHNYDER, H.; DE VISSER, R. Fluxes of reserve-derived and currently assimilated carbon and nitrogen in perennial ryegrass recovering from defoliation. The regrowing tiller and its component functionally distinct zones. **Plant Physiol.**, v.119, p.1423–1435, 1999.

SILVA, V.J.; PEDREIRA, C.G.S.; SOLLENBERGER, L.E.; SILVA, L.S.; YASUOKA, J.I.; ALMEIDA, I.C.L. Carbon assimilation, herbage plant-part accumulation, and organic reserves of grazed 'Mulato II' brachiariagrass pastures. **Crop Science**, v.56, p.2853–2860, 2016. doi:10.2135/cropsci2016.03.0148

SMITH, D. **Carbohydrate reserves of grasses**. In: YOUNGNER, V.B.; McKELL, C.M. (Ed.) *The biology and utilization of grasses*. New York: Academic Press, 1972. cap.23, p.318-331.

SMITH, D. The nonstructural carbohydrates. In: BUTLER, G.W.; BAILEY, R.W. (Ed.) **Chemistry and biochemistry of herbage**. London: Academic Press, 1973. cap.3, p.105-155.

SMITH, S. V. Marine macrophytes as a global carbon sink. **Science**, v.211, p.838– 840, 1981. doi:10.1126/science.211.4484.838.

STONE, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. **Solar Energy**, v. 51, n. 4, p. 289-291, 1993.

WHITE, L.M. Carbohydrate reserves of grasses; a review. **J. Range Manage.**, v.26, p.13-18, 1983.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p. 184- 194, 1981.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p.8995-9005, 1985.

ZAMORA, D.S.; JOSE, S.; JONES, J.W.; CROPPER, W.P. Modeling cotton production response to shading in a pecan alley cropping system using CROPGRO. **Agroforestry Systems**, v.76, p.423-435, 2009.

TERCEIRA PARTE

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, a adubação nitrogenada promoveu aumento nas características produtivas e estruturais, composição bromatológica dos cultivares Marandu e Mombaça. O uso da adubação nitrogenada associado a irrigação no período seco do ano (inverno) foi efetivo nas características produtivas e estruturais, composição bromatológica dos cultivares Marandu. As medidas indiretas (leitura do Prato ascendente e valor SPAD) podem ser utilizadas na estimação de características agronômicas e bromatológicas do cultivar Marandu. Conhecer sobre os carboidratos de reservas são importantes para a manutenção e persistência do cultivar Marandu nos diferentes ciclos de rebrotação. Sendo que no verão o reestabelecimento dos teores de carboidratos não estruturais ocorre por volta dos 9 dias e no inverno é aos 17 dias de rebrotação com ou sem adubação nitrogenada nas condições de sequeiro e irrigado. O modelo CSM-CROPGRO-PFM funciona bem para as condições de sequeiro com ou sem adubação nitrogenada ao longo do ano e para a condição de irrigação necessita de mudança nos parâmetros referentes as características agronômicas.

ANEXO A - COMPONENTES MORFOLÓGICOS

Houve interação entre a dose de N \times estação para a porcentagem de folha ($P = 0,0007$), colmo ($P = 0,0118$) e colmo reprodutivo ($P = 0,0042$; TABELA 1) para o cultivar Marandu. A porcentagem de folha nos dois verões (2018 e 2019) foram semelhantes nas doses 0 e 550 ($P = 0,5910$ e $P = 0,3408$) e no inverno (2018) foi 22% maior na dose 550 \times 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. Na dose 0 e 550 os dois verões (2018 e 2019) foram 72 e 90% maiores do que no inverno (2018). O colmo (%) nos dois verões foram 53 e 42% maiores na dose 550 \times 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ e no inverno não houve diferença significativa entre as doses ($p = 0,7487$). Ainda para o colmo (%) não houve diferença significativa ($P = 0,1038$) da estação dentro da dose 0 e na dose 550 os dois verões foram 59% maiores do que no inverno (2018). O colmo reprodutivo (%) no verão (2018), inverno (2018) e verão (2019) foram 75, 66 e 84% maiores na dose 0 \times 550. Na dose 0 os dois verões (2018 e 2019) foram 57 e 77% maiores do que no inverno (2018). Para o colmo reprodutivo (%) na dose 550 não houve diferença ($P = 0,1022$) da estação.

Não houve interação entre a dose de N \times estação para a porcentagem de material morto ($P = 0,0669$; TABELA 1) para o cultivar Marandu. Houve diferença significativa da estação para a porcentagem de material morto ($P < 0,0001$). No inverno houve 74 e 60% a mais de MM quando comparado aos dois verões (2018 e 2019). Houve diferença significativa da dose de N na porcentagem de MM ($P = 0,0500$), com 27% a mais de MM na dose 0 (10,6%) em comparação a de 550 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹ (7,7%).

Tabela 1 - Efeito da adubação nitrogenada ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) na composição morfológica do cultivar Marandu nas diferentes estações do ano.

Variáveis		Estação			Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p*
		Verão (2018)	Inverno (2018)	Verão (2019)				
Folha (%)	0	85,3 a	61,3 b	84,2 a	76,9	4,20	<0,0001	0,0007
	550	86,8 a	78,1 b	86,9 a	83,9	4,20	<0,0001	
	Média	86,0	69,6	85,5				
	EPM	2,80	3,40	2,80				
	Valor-p [†]	0,5910	<0,0001	0,3408				
Colmo (%)	0	3,4 a	3,4 a	4,2 a	18,7	0,90	0,1038	0,0118
	550	7,3 a	3,0 b	7,2 a	52,3	0,90	<0,0001	
	Média	5,3	3,2	5,7				
	EPM	0,94	1,14	0,94				
	Valor-p [†]	0,0002	0,7487	0,0034				
Colmo reprodutivo (%)	0	6,9 b	15,9 a	3,7 b	8,8	1,61	<0,0001	0,0042
	550	1,7 a	5,4 a	0,6 a	2,6	1,61	0,1022	
	Média	4,3	10,6	2,1				
	EPM	1,40	1,70	1,4				
	Valor-p [†]	0,0003	<0,0001	0,0275				
Material morto (%)	0	4,4	19,4	7,9	10,6	1,06	0,0500	0,0669
	550	4,2	13,5	5,4	7,7			
	Média	4,3 b	16,4 a	6,6 b				
	EPM		1,20					
	Valor-p [¶]		<0,0001					

*Valor-p da análise de variância da estação \times dose de N; [§]Valor-p do desdobramento da interação da estação \times dose de N ($P < 0,05$) e valor-p para as doses de N; [†]Valor-p do contraste da interação dose de N \times estação; [¶]Valor-p da análise de variância das estações; EPM: Erro-padrão da média. Letras distintas minúsculas nas linhas são estatisticamente significativas ao teste de Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: Do autor (2021).

Houve interação do sistema de produção \times estação para a porcentagem de colmo ($P = 0,0160$; TABELA 2) para o cultivar Marandu. A porcentagem de colmo no verão (2018) e inverno (2018) foram semelhantes nos sistemas de produção ($P = 0,2893$ e $P = 0,3955$) e no verão (2019) foi 34% menor no irrigado \times sequeiro. A porcentagem de colmo no sistema irrigado o verão (2018) foi 37% maior do que no inverno (2018) e no sistema sequeiro a porcentagem de colmo no verão (2019) foram 60 e 29% maiores do que no inverno (2018) e verão (2018).

Não houve interação dos sistema de produção \times estação para a porcentagem de folha ($P = 0,1218$), colmo reprodutivo ($P = 0,3140$) e material morto ($P = 0,0740$; TABELA 2) para o cultivar Marandu. Houve diferença da estação para a porcentagem de folha ($P < 0,0001$), colmo reprodutivo ($P < 0,0001$) e material morto ($P < 0,0001$). Para porcentagem de folha os dois verões (2018 e 2019) foram 19% maiores que no inverno (2018) e para o colmo reprodutivo os dois verões (2018 e 2019) foram 59% menores que no inverno (2018). Para o material morto os dois verões (2018 e 2019) foram 80% menores que no inverno (2018). Não houve diferença do sistema de produção para a porcentagem de folha ($P = 0,7136$), colmo reprodutivo ($P = 0,5576$) e material morto ($P = 0,4166$; TABELA 2).

Tabela 2 - Efeito do sistema de produção (Irrigado e Sequeiro) na composição morfológica do cultivar Marandu nas diferentes estações do ano.

Variáveis		Estação			Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p [*]
		Verão (2018)	Inverno (2018)	Verão (2019)				
Folha (%)	Irrigado	84,4	72,4	86,4	81,1	1,8	0,7136	0,1218
	Sequeiro	87,7	67,0	84,7	79,8			
	Média	86,0 a	69,7 b	85,5 a				
	EPM		2,1					
	Valor-p [¶]		<0,0001					
Colmo (%)	Irrigado	5,8 a	3,7 b	4,5 ab	4,7	0,91	0,0011	0,0160
	Sequeiro	4,8 b	2,7 c	6,8 a	4,8	0,91	<0,0001	
	Média	5,3	3,2	5,7				
	EPM	0,94	1,14	0,94				
	Valor-p [†]	0,2893	0,3955	0,0168				
Colmo reprodutivo (%)	Irrigado	5,2	9,9	2,4	5,8	0,87	0,5571	0,3144
	Sequeiro	3,4	11,4	1,9	5,6			
	Média	4,3 b	10,6 a	2,1 b				
	EPM		1,3					
	Valor-p [¶]		<0,0001					
Material Morto (%)	Irrigado	4,5	14,1	6,7	8,4	1,06	0,4166	0,0740
	Sequeiro	4,0	18,8	6,5	9,8			
	Média	4,3 b	16,4 a	6,6 b				
	EPM		1,20					
	Valor-p [¶]		<0,0001					

*Valor-p da análise de variância da estação × sistema de produção; §Valor-p do desdobramento da interação da estação × sistema de produção (P < 0,05) e valor-p para o sistema de produção; †Valor-p do contraste da interação sistema de produção × estação; ¶Valor-p da análise de variância das estações; EPM: Erro-padrão da média. Letras distintas minúsculas nas linhas são estatisticamente significativas ao teste de Tukey (P < 0,05).

Fonte: Do autor (2021).

Não houve interação entre a dose de N × sistema de produção para a porcentagem de folha (P = 0,7144), colmo (P = 0,4810), colmo reprodutivo (P = 0,7081) e material morto (P = 0,6166; TABELA 3) para o cultivar Marandu. Não houve diferença significativa do sistema de produção para a porcentagem de folha (P = 0,7136), colmo (P = 0,6761), colmo reprodutivo (P = 0,5571) e material morto (P = 0,4166). Houve diferença significativa da dose de N para a porcentagem de folha (P = 0,0190), colmo (P = 0,0062), colmo reprodutivo (P = 0,0002) e material morto (P = 0,0500), sendo 7 e 40% maiores os valores de folha (%) e colmo (%) na dose 550 × 0 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. A porcentagem de colmo reprodutivo e material morto foram 72 e 27% menores na dose 550 × dose 0.

Tabela 3 - Efeito da adubação nitrogenada ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) na composição morfológica do cultivar Marandu nos sistemas de produção (Irrigado e Sequeiro).

Variáveis	Sistema de produção		Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p*
	Irrigado	Sequeiro				
Folha (%)	0	79,6	78,2	78,9	1,8	0,0190
	550	84,7	84,7	84,7		
	Média	82,1	81,4			
	EPM	1,8				
	Valor-p [¶]	0,7136				
Colmo (%)	0	3,3	4,0	3,7	0,6	0,0062
	550	6,3	6,1	6,2		
	Média	4,8	5,1			
	EPM	0,6				
	Valor-p [¶]	0,6761				
Colmo reprodutivo (%)	0	8,4	7,6	8,0	0,87	0,0002
	550	2,3	2,1	2,2		
	Média	5,3	4,9			
	EPM	0,87				
	Valor-p [¶]	0,5571				
Material Morto (%)	0	8,7	10,2	9,4	1,06	0,0500
	550	6,7	7,1	6,9		
	Média	7,7	8,6			
	EPM	1,06				
	Valor-p [¶]	0,4166				

*Valor-p da análise de variância do sistema de produção \times dose de N; §Valor-p da análise de variância da dose de N; ¶Valor-p da análise de variância do sistema de produção; EPM: Erro-padrão da média.

Fonte: Do autor (2021).

Houve interação entre a dose de N \times estação para a porcentagem de colmo ($P = 0,0011$; TABELA 4) para o cultivar Mombaça. A porcentagem de colmo nos dois verões foram 92 e 90% maiores na dose $550 \times 0 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e no inverno não houve diferença significativa entre as doses ($P = 0,8455$). Ainda para o colmo (%) não houve diferença significativa ($P = 0,8529$) da estação na dose 0 e na dose 550 foram 71 e 76% a mais de colmo nos dois verões (2018 e 2019) \times inverno (2018).

Não houve interação entre a dose de N \times estação para a porcentagem de folha ($P = 0,3849$), colmo reprodutivo ($P = 0,8219$) e material morto ($P = 0,8925$; TABELA 4) para o cultivar Mombaça. Houve diferença da estação a porcentagem de folha, colmo reprodutivo e material morto ($P < 0,0001$). Para a porcentagem de folha os dois verões (2018 e 2019) foram 10% maiores em comparação ao inverno (2018). Houve maiores valores de colmo reprodutivo (90 e 100%) e MM (90 e 85%) no inverno (2018) quando comparado aos dois verões (2018 e 2019). Não houve diferença da dose de N na porcentagem de folha ($P = 0,3214$), colmo reprodutivo ($P = 0,2871$) e material morto ($P = 0,4796$).

Tabela 4 - Efeito da adubação nitrogenada ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) na composição morfológica do cultivar Mombaça nas diferentes estações do ano.

Variáveis		Estação			Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p*
		Verão (2018)	Inverno (2018)	Verão (2019)				
Folha (%)	0	98,0	87,1	98,5	94,6	0,86	0,3214	
	550	97,0	88,0	96,4	9,8			
	Média	97,5 a	87,5 b	97,5 a				
	EPM		0,79					
	Valor-p ^φ		<0,0001					
Colmo (%)	0	0,2 a	0,6 a	0,3 a	0,4	0,49	0,8529	
	550	2,4 a	0,7 b	2,9 a	2,0	0,49	<0,0001	
	Média	1,3	0,6	1,6			0,0011	
	EPM	0,48	0,57	0,48				
	Valor-p [†]	<0,0001	0,8455	<0,0001				
Colmo reprodutivo (%)	0	1,2	6,2	0,0	2,5	0,84	0,2871	
	550	0,0	5,3	0,0	1,8			
	Média	0,6 b	5,7 a	0,0 b				
	EPM		1,03					
	Valor-p ^φ		<0,0001					
Material Morto (%)	0	0,7	6,1	1,1	2,6	0,42	0,4796	
	550	0,6	6,0	0,6	2,4			
	Média	0,6 b	6,0 a	0,9 b				
	EPM		0,52					
	Valor-p ^φ		<0,0001					

*Valor-p da análise de variância da estação \times dose de N; §Valor-p do desdobramento da interação da estação \times dose de N ($P < 0,05$) e valor-p para as doses de N; †Valor-p do contraste da interação dose de N \times estação; φValor-p da análise de variância das estações; EPM: Erro-padrão da média. Letras distintas minúsculas nas linhas são estatisticamente significativas ao teste de Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: Do autor (2021).

Houve interação entre o sistema de produção \times estação para a porcentagem de folha ($P < 0,0001$) e material morto ($P < 0,0001$; TABELA 5) para o cultivar Mombaça. A porcentagem de folha nos dois verões (2018 e 2019) foram semelhantes no sistema irrigado ($P = 0,3475$) e sequeiro ($P = 0,4051$) e no inverno (2018) a porcentagem de folha foi 14% maior no sistema irrigado \times sequeiro. Nos sistemas irrigado e sequeiro os dois verões (2018 e 2019) foram 4 e 16% maiores na porcentagem de folha em comparação ao inverno (2018).

A porcentagem de material morto nos dois verões (2018 e 2019) foram semelhantes no sistema irrigado ($P = 0,8383$) e sequeiro ($P = 0,9870$) e no inverno (2018) a porcentagem de MM foi 80% menor no sistema irrigado \times sequeiro. No sistema irrigado não houve diferença no MM ($P = 0,6189$) e no sequeiro os dois verões (2018 e 2019) foram 94 e 91% menores na porcentagem de MM em comparação ao inverno (2018).

Não houve interação do sistema de produção \times estação para a porcentagem de colmo ($P = 0,7019$) e colmo reprodutivo ($P = 0,1256$; TABELA 5) para o cultivar Mombaça. Houve diferença da estação para a porcentagem de colmo ($P = 0,0201$) e colmo reprodutivo ($p < 0,0001$), para o colmo (%) o verão (2019) foi 63% maior do que no inverno (2018). Não houve diferença do sistema de produção para a porcentagem de colmo reprodutivo ($P =$

0,0606; TABELA 5). Houve diferença do sistema de produção para a porcentagem de colmo ($P = 0,0406$), com 56% a menos de colmo no sistema irrigado \times sequeiro.

Tabela 5 - Efeito do sistema de produção (Irigado e Sequeiro) na composição morfológica e nas características estruturais do cultivar Mombaça nas diferentes estações do ano.

Variáveis		Estação			Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p [*]
		Verão (2018)	Inverno (2018)	Verão (2019)				
Folha (%)	Irigado	98,1 a	94,0 b	98,0 a	96,7	1,53	<0,0001	<0,0001
	Sequeiro	96,8 a	81,1 b	96,9 a	91,6	1,53	<0,0001	
	Média	97,4	87,5	97,4				
	EPM	1,37	1,67	1,37				
	Valor-p [†]	0,3475	<0,0001	0,4051				
Colmo (%)	Irigado	0,9	0,3	1,0	0,7	0,34	0,0406	0,7019
	Sequeiro	1,7	1,0	2,2	1,6			
	Média	1,3 ab	0,6 b	1,6 a				
	EPM		0,33					
	Valor-p [¶]		0,0201					
Colmo reprodutivo (%)	Irigado	0,2	3,6	0,0	1,3	0,84	0,0606	0,1256
	Sequeiro	0,9	7,8	0,0	2,9			
	Média	0,6 b	5,7 a	0,0 b				
	EPM		0,73					
	Valor-p [¶]		<0,0001					
Material Morto (%)	Irigado	0,7 a	2,0 a	0,9 a	1,2	0,70	0,6189	<0,0001
	Sequeiro	0,6 a	10,0 a	0,9 a	3,8	0,70	<0,0001	
	Média	0,6	6,0	0,9				
	EPM	0,68	0,83	0,68				
	Valor-p [†]	0,8383	<0,0001	0,9870				

*Valor-p da análise de variância da estação \times sistema de produção; §Valor-p do desdobramento da interação da estação \times sistema de produção ($P < 0,05$) e valor-p para o sistema de produção; †Valor-p do contraste da interação sistema de produção \times estação; ¶Valor-p da análise de variância das estações; EPM: Erro-padrão da média. Letras distintas minúsculas nas linhas são estatisticamente significativas ao teste de Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: Do autor (2021).

Não houve interação entre a dose de N \times sistema de produção para a porcentagem de folha ($P = 0,3104$), colmo ($P = 0,1371$), colmo reprodutivo ($P = 0,8133$) e material morto ($P = 0,2005$; TABELA 6) para o cultivar Mombaça.

Houve diferença do sistema de produção para a porcentagem de folha ($P = 0,0027$), colmo ($P = 0,0406$) e material morto ($P = 0,0013$), com 53 e 65% menores valores de colmo e MM no sistema irrigado \times sequeiro. Não houve diferença do sistema de produção para a porcentagem de colmo reprodutivo ($P = 0,0606$). Houve diferença da dose de N para a porcentagem de colmo ($P = 0,0016$). A porcentagem de colmo foi 85% maior na dose 550 \times 0. Não houve diferença da dose de N para a porcentagem de folha ($P = 0,3214$), colmo reprodutivo ($P = 0,2871$) e material morto ($P = 0,4796$).

Tabela 6 - Efeito da adubação nitrogenada ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) na composição morfológica do cultivar Mombaça nos sistemas de produção (Irrigado e Sequeiro).

Variáveis		Sistema de produção		Média	EPM	Valor-p [§]	Valor-p*
		Irrigado	Sequeiro				
Folha (%)	0	97,0	93,8	95,4	0,86	0,3214	0,3104
	550	97,1	92,0	94,5			
	Média	97,0	92,9				
	EPM	0,86					
	Valor-p [¶]	0,0027					
Colmo (%)	0	0,2	0,5	0,3	0,34	0,0016	0,1371
	550	1,4	2,9	2,1			
	Média	0,8	1,7				
	EPM	0,34					
	Valor-p [¶]	0,0406					
Colmo reprodutivo (%)	0	1,3	2,7	2,0	0,84	0,2871	0,8133
	550	0,7	1,9	1,3			
	Média	1,0	2,3				
	EPM	0,84					
	Valor-p [¶]	0,0606					
Material Morto (%)	0	1,5	2,9	2,2	0,42	0,4796	0,2005
	550	0,7	3,2	1,9			
	Média	1,1	3,1				
	EPM	0,42					
	Valor-p [¶]	0,0013					

*Valor-p da análise de variância do sistema de produção \times dose de N; §Valor-p da análise de variância da dose de N; ¶Valor-p da análise de variância do sistema de produção; EPM: Erro-padrão da média.

Fonte: Do autor (2021).

ANEXO B - FOTOS

Figura 1 - Área experimental com irrigação nos cultivares Marandu e Mombaça.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 2 – Acúmulo de forragem cultivares Mombaça (esquerda) e Marandu (direita).



Fonte: Do autor (2021).

Figura 3 - Separação morfológica cultivar Marandu.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 4 – Analisador de interceptação luminosa LAI 2200 (LI-COR, LINCOLN NEBRASKA, USA); medidas acima do dossel (esquerda) e abaixo (direita).



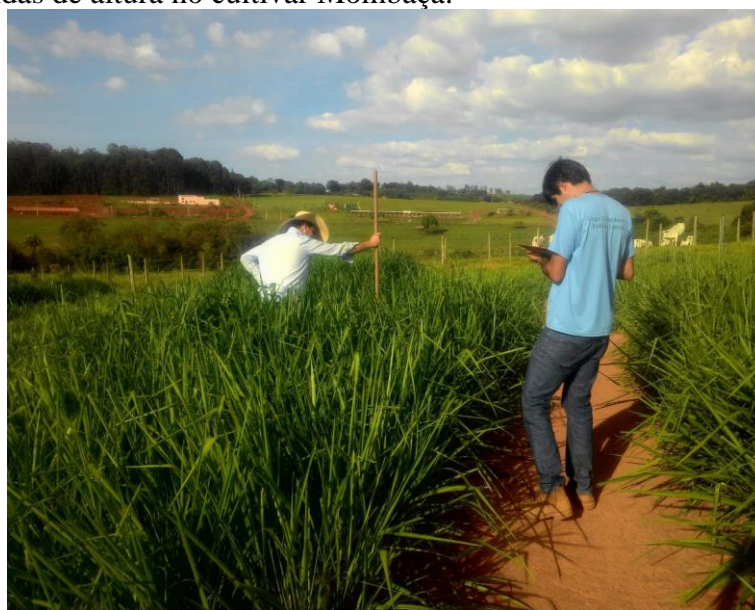
Fonte: Do autor (2021).

Figura 5 – Medidas de altura no cultivar Marandu.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 6 - Medidas de altura no cultivar Mombaça.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 7 – Coleta de massa de forragem do resíduo no cultivar Marandu.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 8 - Coleta de raízes nas parcelas do cultivar Marandu.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 9 – Lavagem das raízes do cultivar Marandu.



Fonte: Do autor (2021).

Figura 10 – Análise bromatológica de proteína bruta.

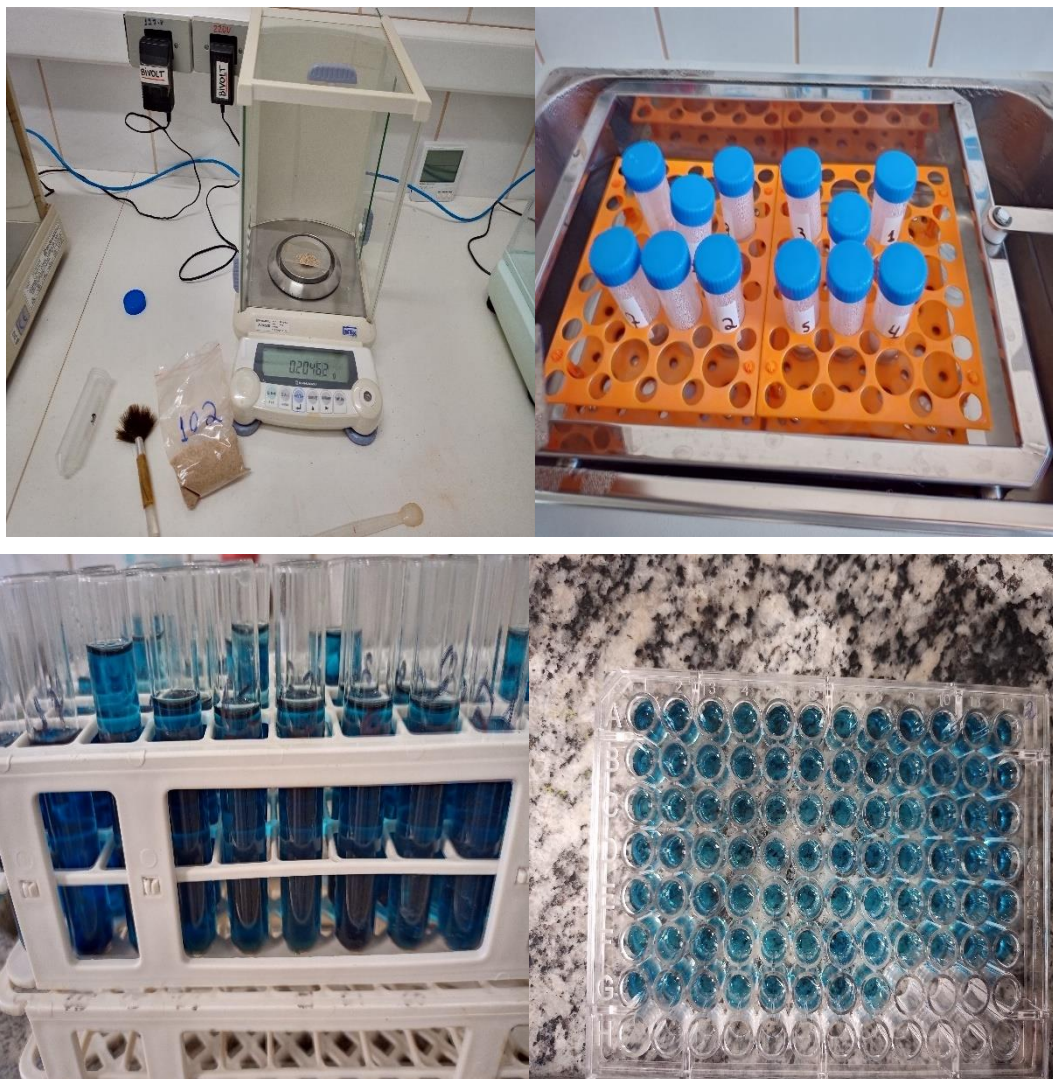


Fonte: Do autor (2021).

Figura 11 – Análise de digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

Fonte: Do autor (2021).

Figura 12 – Análise de carboidratos não estruturais de raízes.



Fonte: Do autor (2021).