

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

**Sistema silvipastoril: respostas agronômicas e adaptação do modelo APSIM
para capim-marandu sob lotação contínua**

Fagner Junior Gomes

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

**Piracicaba
2019**

Fagner Junior Gomes
Zootecnista

**Sistema silvipastoril: respostas agronômicas e adaptação do modelo APSIM para
capim-marandu sob lotação contínua**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

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

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

Piracicaba
2019

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

Gomes, Fagner Junior

Sistema silvipastoril: Respostas agronômicas e adaptação do modelo APSIM para capim-marandu sob lotação contínua / Fagner Junior Gomes. - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

81 p.

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

1. Integração pecuária floresta 2. Intensificação sustentável 3. Manejo do pastejo 4. Modelagem I. Título

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus pela minha vida e por estar sempre em meu coração.

Aos meus pais Laercio Gomes Santos e Leid da Silva Gomes pelas orações, educação e amor incondicional. Aos meus irmãos Jennyffer Daianne e Francys Ray por estarem sempre presentes. À Alyce Monteiro por todo apoio, paciência e amor.

Ao Dr. Carlos G. S. Pedreira pela amizade, por toda paciência, valiosos conselhos e orientação no doutorado. Ao Dr. Bruno Carneiro e Pedreira pela confiança depositada, pela condução do experimento, conduta profissional e orientação. A Dr. Patrícia Menezes Santos pelo apoio, ensinamentos e valiosos conselhos.

Ao Dr. Cristiam Bosi pela amizade, ótima convivência e trocas de experiências e constante ensinamento.

Ao amigo Júnior Issamu Yasuoka pela amizade e, sempre ótima disposição em ajudar.

Aos professores Sila Carneiro da Silva, Gerson Barreto Mourão, Sonia Maria de Stefano Piedade, Renata Alcarde Sermarini, José Eurico Possebon Cyrino e Carla Maris Bittar pelos ótimos ensinamentos.

Ao grupo de pesquisa em pastagens GP² pela oportunidade de estar sempre aprendendo. Aos amigos Solange Holschuch, Marcell Alonso, Marina Miquilini, Valdson Silva, Gabriel Pedroso, Otávio Almeida, Juliana Assis e Paulo pela ótima convivência e trocas de experiências. Aos amigos do pavilhão de plantas forrageiras Guilherme Congio, Guilherme Silva, Larissa Garcia, Lucas Rocha, Marília Chiavegato e Caio Gomes pela oportunidade conhecê-los e pela amizade.

Ao grupo de estudos em pecuária integrada (GEPI) pela oportunidade e aprendizado.

Aos pesquisadores da Embrapa Agrossilvipastoril Ciro Magalhães, Helio Tonini, Jorge Lulu e Eduardo Matos pelo auxílio na condução e compartilhamento de dados no ILPF-corte.

Aos amigos de Sinop-MT Maira Bourscheidt, Gabriel Tschope, Lidiany Aragão, Isadora Paraíso, João Paraíso, Taynara Costa, Rodrigo Souza, Marília Zanette, Josiana Devens, Thiago Kipert, Adriano Roecker, Debora Silva, Mirceia Mombach e Leandro Domiciano pela convivência, experiência profissional e constante aprendizado.

Em especial, aos amigos Cátia Tesk, Mariely Lopes, Mariana Kamoi, Josiana Cavalli, Rafael Almodóvar e Perivaldo Carvalho pela amizade e constantes incentivos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001. Ao fomento do projeto pela: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Mato Grosso (FAPEMAT), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

(CNPq), Associação do Criadores do Mato Grosso (ACRIMAT), Associação dos Criadores do Norte de Mato Grosso (ACRINORTE), Fortuna Nutrição Animal, Associação para o Fomento à Pesquisa de Melhoramento de Forrageiras (UNIPASTO) e a Associação Rede ILPF.

À ESALQ e à Embrapa Agrossilvipastoril pelo desenvolvimento do doutorado. À CAPES e à EMBRAPA pela bolsa de doutorado.

À todos que de alguma forma fizeram parte do meu processo de aprendizado.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO | 7 |
| ABSTRACT | 8 |
| LISTA DE FIGURAS | 9 |
| LISTA DE TABELAS | 10 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1. HIPÓTESE..... | 15 |
| 1.2. OBJETIVOS..... | 15 |
| 1.2.1. Geral | 15 |
| 1.2.2. Específico | 15 |
| REFERÊNCIAS | 16 |
| 2. RESPOSTAS AGRONÔMICAS DO CAPIM-MARANDU SOB LOTAÇÃO CONTÍNUA EM SISTEMA SILVIPASTORIL..... | 21 |
| RESUMO | 21 |
| ABSTRACT | 21 |
| 2.1. INTRODUÇÃO..... | 22 |
| 2.2. MATERIAL E MÉTODOS | 24 |
| 2.2.1. Local, implantação e condução do experimento | 24 |
| 2.2.2. Delineamento experimental, tratamentos e manejos | 27 |
| 2.2.3. Massa e acúmulo de forragem | 28 |
| 2.2.4. Proporção dos componentes morfológicos da forragem, área foliar específica e índice de área foliar do dossel | 29 |
| 2.2.5. Massa e acúmulo de folha, colmo e material morto | 29 |
| 2.2.6. Taxa de acúmulo de forragem, folha, colmo e material morto..... | 30 |
| 2.2.7. Número de folhas vivas por perfilho | 30 |
| 2.2.8. Densidade populacional de perfilhos..... | 30 |
| 2.2.9. Interceptação de luz e ângulo da folhagem | 31 |
| 2.2.10. Densidade volumétrica da forragem..... | 31 |
| 2.2.11. Análise dos dados | 31 |
| 2.3. RESULTADOS | 32 |

| | |
|--|----|
| 2.4. DISCUSSÃO..... | 38 |
| 2.5. CONCLUSÕES..... | 43 |
| AGRADECIMENTOS..... | 43 |
| REFERÊNCIAS..... | 44 |
| 3. ADAPTAÇÃO DO MODELO APSIM PARA O CAPIM-MARANDU SOB LOTAÇÃO CONTÍNUA EM SISTEMA SILVIPASTORIL | 49 |
| RESUMO..... | 49 |
| ABSTRACT..... | 49 |
| 3.1. INTRODUÇÃO | 50 |
| 3.2. MATERIAL E MÉTODOS | 53 |
| 3.2.1. Local, implantação e condução do experimento..... | 53 |
| 3.2.2. Massa de forragem..... | 56 |
| 3.2.3. Proporção dos componentes morfológicos da forragem, área foliar específica e índice de área foliar do dossel..... | 57 |
| 3.2.4. Massa e acúmulo de folha, colmo e material morto | 57 |
| 3.2.5. Estrutura do modelo..... | 58 |
| 3.2.6. Calibração do APSIM- <i>Tropical Pasture</i> para o capim-marandu..... | 59 |
| 3.2.7. Teste do APSIM- <i>Tropical Pasture</i> para o capim-marandu | 61 |
| 3.2.8. Índices para análise do desempenho do modelo | 61 |
| 3.3. RESULTADOS | 62 |
| 3.3.1. Calibração do APSIM- <i>Tropical Pasture</i> para o capim-marandu..... | 62 |
| 3.3.2. Teste do modelo APSIM- <i>Tropical Pasture</i> | 68 |
| 3.4. DISCUSSÃO..... | 68 |
| 3.5. CONCLUSÕES..... | 75 |
| AGRADECIMENTOS..... | 75 |
| REFERÊNCIAS..... | 75 |
| 4. CONCLUSÕES GERAIS | 81 |

RESUMO

Sistema silvipastoril: repostas agronômicas e adaptação do modelo APSIM para o capim-marandu sob lotação contínua

A intensificação da produção pecuária baseada em pastagem é um desafio global. Os sistemas silvipastoris são caracterizados por se adequarem a um novo formato de uso da terra. Poucos estudos visam simular o crescimento de espécies forrageiras de clima tropical em ambientes sombreados, fazendo com que os modelos precisem ser testados e adaptados a diferentes condições de solo, clima e manejo. O objetivo do presente estudo foi avaliar as respostas agronômicas e parametrizar o modelo APSIM-*Tropical Pasture* para o capim-marandu [*Brachiaria brizantha* (Hochst A Rich) Stapf, sin. *Urochloa brizantha* cv. Marandu] sob lotação contínua em diferentes condições de sombreamento do sistema silvipastoril (SP). Foram avaliados um sistema a pleno sol (PS) e três distâncias das fileiras de árvores [7,5 m Norte (SP1), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3)] com as árvores arrançadas em renques triplos (3,5 x 3,0 m entre linhas e entre árvores), com orientação Leste-Oeste, espaçados a 30 m entre as linhas triplas. O experimento foi conduzido durante a estação chuvosa (novembro a abril) de dois anos (2016/2017 e 2017/2018). Acúmulo de colmo, acúmulo de material morto, taxa de acúmulo de folha, índice de área foliar, número de folhas vivas por perfilho e ângulo da folhagem foram semelhantes entre tratamentos e anos ($p > 0,05$). Houve diferença entre os tratamentos ($p < 0,05$) para massa de forragem, massa de colmo, massa de material morto ($p = 0,0691$), acúmulo de forragem, taxa de acúmulo de forragem, taxa de acúmulo de colmo, interceptação de luz do dossel, densidade volumétrica e área foliar específica. Entre anos, houve diferença ($p < 0,05$) para massa de forragem, massa de folha, massa de material morto, massa de colmo, acúmulo de folha ($p = 0,0509$), taxa de acúmulo de material morto ($p = 0,0630$), proporção de folha, proporção de material morto ($p = 0,0510$), densidade volumétrica e área foliar específica. Houve efeito de interação tratamento \times ano ($p < 0,05$) para densidade populacional de perfilhos vivos (DPPV), densidade populacional de perfilhos mortos (DPPM), relação entre DPPV e DPPM (DPPV/M) e densidade populacional perfilhos totais. O capim-marandu sob lotação contínua apresentou tolerância ao sombreamento para manter a produtividade de folhas do sistema SP semelhante ao PS. O modelo APSIM foi parametrizado com dados de junho de 2015 a abril de 2018. As simulações do crescimento da forrageira no PS, SP1, SP2 e SP3 demonstram que o modelo foi eficiente (R^2 de 0,76 a 0,94; d entre 0,93 e 0,96 e NSE de 0,67 a 0,84) indicando que, pode ser utilizado para simular o crescimento do capim-marandu a PS e sob condições contrastantes de sombreamento.

Palavras-chave: Integração pecuária floresta, Intensificação sustentável, Manejo do pastejo, Modelagem

ABSTRACT

Silvopastoral system: agronomic responses and adaptation of the APSIM model to Marandu palisadegrass under continuous stocking

The intensification of pasture-based livestock production is a global challenge. Silvopastoral systems are characterized by conforming to a new mode of land use. Few studies aim to simulate the growth of tropical forage species in shaded environments, making for the need to test and adapted models to different soils, climates, and management. The objective of the present study was to evaluate the agronomic responses and to parameterize the *APSIM-Tropical Pasture* model for 'Marandu' palisadegrass [*Brachiaria brizantha* (Hochst A Rich) Stapf, syn. *Urochloa brizantha* cv. Marandu] under continuous stocking in response to different shading conditions in a silvopastoral (SP) system. A full sun (FS) system and three distances from the tree rows [7.5 m North (SP1), 15 m (SP2) and 7.5 m South (SP3)] were evaluated with trees arranged in triple rows (3, 5 x 3.0 m between rows and between trees), with East-West orientation, spaced at 30 m between the rows. The experiment was conducted during the rainy season (November to April) of two years (2016/2017 and 2017/2018). Stem accumulation, dead material accumulation, leaf accumulation rate, leaf area index, number of live leaves per tiller and foliage angle were similar across treatments and years ($p > 0.05$). There were differences among treatments ($p < 0.05$) for forage mass, stem mass, dead material mass ($p = 0.0691$), forage accumulation rate, stem accumulation rate, canopy light interception, bulk density and specific leaf area. Between years, there were differences ($p < 0.05$) for forage mass, leaf mass, dead material mass, stem mass, leaf accumulation ($p = 0.0509$), dead material accumulation rate ($p = 0.0630$), leaf proportion, dead material proportion ($p = 0.0510$), bulk density and specific leaf area. There was a treatment \times year interaction ($p < 0.05$) effect for population density of live tillers (PDLT), population density of dead tillers (PDDT), for the relation between PDLT and PDDT (PDLT/D), and population density of total tillers. Marandu palisadegrass under continuous stocking showed enough shade tolerance to maintain leaf productivity in the SP system similar to FS. The APSIM model was parameterized with data from June 2015 to April 2018. Simulations of forage growth in FS, SP1, SP2 and SP3 show that the model was efficient ($R^2 = 0.76$ to 0.94 , d between 0.93 and 0.96 and NSE of 0.67 to 0.84), indicating that it can be used to simulate the growth of palisadegrass under FS and under contrasting shading conditions.

Keywords: Grazing management, Livestock forest integration, Modeling Sustainable intensification

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Croqui de uma unidade experimental do sistema silvipastoril com a representação dos locais de avaliação (tratamentos)..... 26
- Figura 2. Balanço hídrico, pluviosidade (mm) e temperatura (°C) média durante o período experimental (novembro de 2016 a abril de 2018)..... 26
- Figura 3. Altura média do dossel forrageiro na área experimental (novembro de 2016 a abril de 2018)..... 28
- Figura 4. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) média no pleno sol (PS) e nas três posições do sistema silvipastoril: 7,5 m Norte (SP1), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3) para os anos 1 e 2..... 33
- Figura 5. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) média nos anos 1 e 2 para o pleno sol (PS) e nas três posições do sistema silvipastoril: 7,5 m Norte (SP1), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3). 33
- Figura 6. Croqui de uma unidade experimental do sistema silvipastoril com a representação dos locais de avaliação (tratamentos)..... 54
- Figura 7. Balanço hídrico, pluviosidade (mm) e temperatura (°C) durante o período experimental (maio de 2015 a abril de 2018)..... 55
- Figura 8. Série temporal da massa de forragem (MF; kg MS ha⁻¹) observada e estimada para o capim-marandu sob lotação contínua no sistema a pleno sol (PS) e nas distâncias do sistema silvipastoril (SP1: 7,5 m Norte; SP2: 15 m e; SP3: 7,5 m Sul), na fase de calibração do modelo. 66
- Figura 9. Relação entre massa de forragem (MF) observada e estimada do capim-marandu sob lotação contínua no sistema a pleno sol (PS) e nas distâncias do sistema silvipastoril (SP1: 7,5 m Norte; SP2: 15 m e; SP3: 7,5 m Sul), na fase de calibração do modelo..... 69
- Figura 10. Série temporal da massa de forragem (MF; kg MS ha⁻¹) observada e estimada para o capim-marandu sob lotação contínua no sistema a pleno sol (PS) e nas distâncias do sistema silvipastoril (SP1: 7,5 m Norte; SP2: 15 m e; SP3: 7,5 m Sul), na fase de teste do modelo. Linhas pontilhadas verticais destacam os períodos com penalizações por ataque de pragas. 71
- Figura 11. Relação entre massa de forragem (MF) observada e estimada do capim-marandu sob lotação contínua no sistema a pleno sol (PS) e nas distâncias do sistema silvipastoril (SP1: 7,5 m Norte; SP2: 15 m e; SP3: 7,5 m Sul) na fase de teste do modelo..... 74

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Análise química de terra da área experimental do sistema a pleno sol (PS) e silvipastoril (SP)..... | 27 |
| Tabela 2. Médias dos dados meteorológicos† mensais no local experimental, no pleno sol (PS), 7,5 m Norte (SP1), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3), nos anos 1 e 2. | 32 |
| Tabela 3. Médias das variáveis agronômicas¶ para os tratamentos pleno sol (PS), 7,5 m Norte (SP2), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3), nos anos 1 e 2..... | 35 |
| Tabela 4. Média das variáveis de perfilhos§ no pleno sol (PS), 7,5 m Norte (SP2), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3), nos anos 1 e 2..... | 37 |
| Tabela 5. Temperatura média do ar (TM; °C), radiação solar global (RG; MJ m ⁻² d ⁻¹) e velocidade do vento média (VV; m s ⁻¹) coletados nos tratamentos pleno sol (PS), 7,5 m Norte (SP1), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3). | 56 |
| Tabela 6. Parâmetros do submodelo folha calibrados para capim-marandu sob lotação contínua. | 63 |
| Tabela 7. Parâmetros do submodelo colmo calibrados para o capim-marandu sob lotação contínua. | 63 |
| Tabela 8. Parâmetros do submodelo raiz calibrados para o capim-marandu sob lotação contínua. | 64 |
| Tabela 9. Partição da matéria seca entre os órgãos do capim-marandu sob lotação contínua em diferentes fases do desenvolvimento fenológico..... | 64 |
| Tabela 10. Parâmetros de senescência para o capim-marandu sob lotação contínua em diferentes fases do desenvolvimento fenológico..... | 65 |
| Tabela 11. Índices estatísticos† para as simulações da massa de forragem (MF), massa de folha (MFol), massa de colmo (MC) utilizando o APSIM- <i>Tropical Pasture</i> , na fase de calibração do modelo para o capim-marandu sob lotação contínua no sistema a pleno sol e nas distâncias do sistema silvipastoril (7,5 m Norte: SP1; 15 m: SP2 e; 7,5 m Sul:SP3). | 67 |
| Tabela 12. Índices estatísticos† para as simulações da massa de forragem (MF), massa de folha (MFol), massa de colmo (MC), utilizando o APSIM- <i>Tropical Pasture</i> , na fase de teste do modelo para o capim-marandu sob lotação contínua em sistema a pleno sol e nas distâncias do sistema silvipostoril (7,5 m Norte; 15 m e; 7,5 m Sul). | 72 |

1. INTRODUÇÃO

Na atividade pecuária comercial ainda há muitos quesitos a serem melhorados, no intuito de minimizar os impactos negativos causados pelo mau uso da terra. No Brasil, problemas com extinção de espécies que compõem a biodiversidade vegetal, processos de erosão, compactação dos solos, poluição das águas e aumento das emissões de gases de efeito estufa, são uma realidade em áreas com exploração da atividade pecuária, principalmente nos biomas Amazônia e Cerrado (FAO, 2009; WALKER et al., 2009).

As espécies forrageiras mais utilizadas no Brasil são as do gênero *Brachiaria*, principalmente o capim-marandu. Dos 115 milhões de ha de pastagens cultivadas no Brasil, 51,4 milhões de ha encontram-se estabelecidas com capim-marandu (PEREIRA; COSTA, 2015), visto que esse cultivar tornou-se a principal forrageira para produção de bovinos de corte em pastagem, devido a sua flexibilidade de manejo, com amplo limite de altura para pastejo, além da alta capacidade de rebrotação e cobertura do solo (BODDEY et al., 2004).

Sbrissia e Silva (2008) recomendaram que o capim-marandu sob lotação continua com taxa de lotação variável seja manejado entre 20 e 40 cm. Essas alturas correspondem aos limites ótimos para manejo desse cultivar, uma vez que, esse manejo gera flexibilidade para os produtores de bovinos de corte a pasto. Quando se prioriza o ganho médio diário de peso corporal por indivíduo, manejar a forrageira no limite superior de altura (40 cm) torna-se uma estratégia. Porém, quando a meta é obter melhores ganhos na produção, por unidade de área, manejar a forrageira no limite inferior de altura (20 cm) torna-se uma estratégia. Manejar o capim-marandu a 30 cm é recomendado para que haja convergência entre as respostas das plantas e dos animais (SBRISSIA; SILVA, 2008).

Nos últimos anos, o capim-marandu também tem sido utilizado em sistemas silvipastoris devido sua boa adaptação a ambientes sombreados (LANA et al., 2016; MAURIG et al., 2017). Sistemas silvipastoris integram o componente arbóreo, a forrageira e os herbívoros em consórcio, fazendo parte de uma das modalidades dos sistemas integrados de produção. As demais modalidades são: lavoura-pecuária ou agropastoril que integra a lavoura com a pecuária, em consórcio, rotação ou sucessão de culturas; sistemas silviagrícolas (lavoura-floresta), com consórcio de florestas com culturas agrícolas; agrossilvipastoril (lavoura-pecuária-floresta), com integração das culturas agrícolas, pecuária e florestal, em rotação, sucessão e/ou consórcio (PACIULLO et al., 2017).

São relatados diversos benefícios dos sistemas de produção que integram árvores com a pecuária, podendo destacar: incremento no valor nutritivo da forragem e melhorias nos

índices produtivos, principalmente o desempenho individual dos animais em pastejo (DE OLIVEIRA et al., 2014); aumento da biodiversidade vegetal (LIMA et al., 2017); melhorias dos aspectos físicos e químicos dos solos (PONTES et al., 2017; NASCIMENTO et al., 2018); redução de processos de erosão e compactação dos solos (SANTOS et al., 2016); aumento no sequestro de carbono (HOOSBEEK et al., 2018) e; geração de produtos secundários, como a produção de lenha, remédios e frutos para comercialização (VANDERMEULEN et al., 2018).

Quando bem planejados e manejados, os sistemas silvipastoris tornam-se uma boa alternativa na prestação de serviços ecossistêmicos (SOLLENBERGER et al., 2019), como sequestro de C no solo, dentre outros, podendo ser mais produtivos que sistemas convencionais, pois na mesma área, é possível realizar a produção pecuária e arbórea de forma complementar (LIMA et al., 2017). O consórcio da atividade pecuária e florestal é promissora, desde que utilize técnicas de manejo que maximizem a geração de renda. Para tanto, realizar estudos que comprovem a atual relevância nas melhorias produtivas e ambientais dos sistemas silvipastoris em relação aos sistemas convencionais de produção pecuária são necessários para gerar resultados relevantes sobre as reais potencialidades dessa modalidade do uso da terra.

Não havendo limitação hídrica e nem deficiência de nutrientes no solo, as respostas da forrageira em sistemas silvipastoris são mediadas pelos níveis de luz incidente no dossel forrageiro (CRESTANI et al., 2017; PERI et al., 2007; PONTES et al., 2016). Essas respostas também serão determinadas pelo grau de tolerância que cada gênero, espécie e/ou cultivar forrageira apresenta à redução da radiação solar incidente no dossel. Por exemplo, a *Brachiaria decumbens* apresenta características de tolerância ao sombreamento quando exposta a condições de baixa luminosidade, sendo esse mecanismo explicado pelas mudanças morfológicas e fisiológicas dessa forrageira a tais condições (GÓMEZ et al., 2013; PACIULLO et al., 2014).

Mesmo as gramíneas consideradas tolerantes ao sombreamento apresentam redução na produção de forragem quando expostas ao sombreamento intenso (FARIA et al., 2018). De forma geral, gramíneas do gênero *Brachiaria* reduzem a produção de forragem de forma acentuada quando expostas a níveis de sombreamento acima de 50% (PACIULLO et al., 2007; MARTUSCELLO et al., 2009). Como estratégia para minimizar possível danos causados às espécies forrageiras, pela redução da luz incidente, a escolha de espécies tolerantes ao sombreamento e, implantação de sistemas menos adensados que permitam a incidência de radiação solar podem garantir a perenidade dos sistemas silvipastoris.

Viabilizar técnicas que otimizem os estudos em cenários com alterações ambientais auxilia no planejamento, gerenciamento e tomada de decisões, além de contribuir na compreensão que o efeito das alterações ambientais ocasiona às espécies forrageiras. Além das alterações nas respostas das plantas devido as alterações climáticas durante os ciclos de produção, em sistemas silvipastoris, o microclima pode resultar em mudanças nos padrões de crescimento da forrageira (PERI et al., 2006).

Uma importante ferramenta para predição de crescimento de plantas é a modelagem matemática de culturas agrícolas. Os modelos de simulação baseados em processos de crescimento, desenvolvimento e a produtividade de culturas estão sendo cada vez mais utilizados (KIPLING et al., 2016). Os modelos de simulação são mecanismos para auxílio a tomada de decisão, além de contribuir com entendimento dos efeitos das condições climáticas nas respostas de plantas (PEZZOPANE et al., 2018).

As idealizações dos modelos são propostas com base nas possíveis análises do sistema a ser avaliado, com a intenção de descrever o que ocorre na realidade. Para que isso seja possível, realiza-se uma representação simbólica do sistema com base em experiências matemáticas, com a criação dos modelos. Com base nas equações matemáticas, esses modelos servem para encontrar soluções e respostas dos possíveis problemas nas pressuposições levantadas. Após as avaliações e testes, obtém-se as conclusões das simulações com teste de desempenho do modelo, comparando as simulações com os dados do cenário real (KAPUR, 1967).

Existem diversos tipos de modelos que podem ser utilizados nas simulações de sistemas agrícolas. Esses podem ser classificados em: estáticos ou dinâmicos; estocásticos ou determinísticos; empíricos ou mecanísticos, principalmente. Os modelos dinâmicos incluem o tempo como variável independente, enquanto o estático não considera o tempo como variável de estudo. Os estocásticos incluem um fator de distribuição de probabilidade; contrariamente, o determinístico não inclui distribuição de probabilidade (ANDRADE et al., 2015).

As principais abordagens na modelagem da produção vegetal são com modelos empíricos e/ou mecanísticos (ANDRADE et al., 2015). Modelos empíricos são representações simples baseadas em poucas ou apenas uma equação, contendo poucas variáveis de entrada, explicando um mínimo ou nada sobre os processos envolvidos nos resultados do modelo, por utilizar poucas variáveis independentes nas simulações de crescimento das plantas (TONATO et al., 2010; DA CRUZ et al., 2011; ARAUJO et al., 2013; PEZZOPANE et al., 2013). Normalmente são baseados em equações de regressão predizendo a produção de forragem em função de variáveis climáticas (PEZZOPANE et al., 2013). Esses são mais simples, com

respostas de plantas em função da variação de fatores climáticos como fotoperíodo, radiação solar, temperatura e pluviosidade (TONATO et al., 2010; DA CRUZ et al., 2011; PEZZOPANE et al., 2013).

Os modelos mecanísticos envolvem em seus cálculos muitas equações e buscam explicar os processos que regem os fenômenos em estudo, reunindo grande parte do conhecimento sobre cada processo, nos parâmetros do modelo (PEDREIRA et al., 2011; LARA et al., 2012; SANTOS, 2016; BOSI, 2017). São mais complexos, utilizando parâmetros físicos, químicos e biológicos na determinação das respostas das plantas, como partição de energia, eficiência do uso da radiação solar e nitrogênio, alterações no aparato fotossintético da planta, entre outros (ANDRADE et al., 2015).

O “*Agricultural Production Systems sIMulator*” - *Simulador de Sistemas de Produção Agrícola* (APSIM) detém de uma plataforma capaz de realizar simulações de crescimento de plantas, com estrutura para ajustes das funções biológicas das plantas ou mesmo a nível de campo e/ou fazendas. Essa modelagem preditora torna-se interessante como ferramenta de exploração e inferências nas mudanças de cenários agrícolas (ANDRADE et al., 2015). O APSIM é um modelo que pode ser utilizado para simular todo sistema de produção animal (KEATING et al., 2003), e inclui processos fisiológicos, que são considerados sob influência de diferentes parâmetros ambientais inseridos no modelo. Atualmente o modelo é capaz de simular o crescimento de mais de 30 diferentes culturas e espécies de plantas forrageiras (HOLZWORTH et al., 2014).

Devido à alta variabilidade nas respostas das plantas forrageiras aos fatores edafoclimáticos, experimentos de longo prazo tornam-se uma necessidade em diferentes cenários produtivos (PEZZOPANE et al., 2018). Porém, avaliações a longo prazo, em muitas ocasiões são práticas inviáveis devido à escassez de recursos financeiros e/ou humanos. A falta de recursos financeiros e mão de obra para replicar experimentos no mesmo ambiente, torna a pesquisa com pastagens um desafio, por isso, ensaios com longo período experimental e em sistemas com alta variabilidade ambiental, possibilita a realização de importantes inferências sobre a produção vegetal e animal em sistemas pecuários.

O uso de modelos em diversos cenários é necessário para compreender se os processos de simulação são adequados às alterações climáticas, ou seja, se a estrutura do modelo se adequa aos de produção vegetal (PEZZOPANE et al., 2013). Ademais, as possíveis alterações das características das plantas em ambientes distintos, conjuntamente com as informações inerentes ao sistema e as calibrações nesses cenários podem fornecer informações relevantes para melhorar a calibração, sensibilidade e aplicabilidade dos modelos

de simulações de crescimento de plantas em ambiente heterogêneos (KORHONEN et al., 2018). Modelos capazes de simular as influências dos cenários agrícolas atuais e futuros sobre o crescimento de espécies vegetais, proporcionam conhecimento e embasamento científico sobre a relevância das alterações climáticas no desenvolvimento vegetal em cenários com divergências climáticas e/ou microclimáticas.

1.1. Hipótese

Em ambientes sombreados há alterações microclimáticas que modificam as respostas fisiológicas e agronômicas do capim-marandu. No entanto, a forrageira apresenta mecanismos de tolerância ao sombreamento no sistema SP.

Com a parametrização do modelo *APSIM-Tropical Pasture* para o capim-marandu sob lotação contínua será possível estimar a massa de forragem em função da variação microclimática em sistema SP.

1.2. Objetivos

1.2.1. Geral

Avaliar as respostas agronômicas do capim-marandu sob lotação contínua em função da variação microclimática em sistema SP.

Parametrizar e avaliar a capacidade preditiva do modelo *APSIM-Tropical Pasture* para simular a massa de forragem do capim-marandu sob lotação contínua em sistema PS e SP.

1.2.2. Específico

Avaliar as possíveis alterações nas características agronômicas do capim-marandu a PS e sob diferentes níveis de sombreamento no sistema SP;

Ajustar e testar o modelo *APSIM-Tropical Pasture* para atingir as melhores simulações da massa de forragem do capim-marandu sob lotação contínua em sistema PS e SP.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. S.; SANTOS, P. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; DE ARAUJO, 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.

ARAUJO, L. C.; SANTOS, P. M.; RODRIGUEZ, D.; PEZZOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; CRUZ, P. G. Simulating guinea grass production: Empirical and mechanistic approaches. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 1, p. 61–69, 2013.

BODDEY, R. M.; MACEDO, R.; TARRÉ, R. M.; FERREIRA, E.; OLIVEIRA, O. C.; REZENDE, C. P.; CANTARUTTI, R. B.; PEREIRA, J. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Nitrogen cycling in Brachiaria pastures: the key to understanding the process of pasture decline. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, p. 389–403, 2004.

BOSI, C. **Parameterization and evaluation of mechanistic crop models for estimating Urochloa brizantha cv. BRS Piatã productivity under full sun and in silvopastoral system**. 2017. Thesis (Doctorate) - University of São Paulo - Superior College of Agriculture “Luiz de Queiroz”, 2017.

CRESTANI, S.; MASCHERONI, J. D. C.; VERA GEREMIA, E.; CARNEVALLI, R. A.; MOURÃO, G. B.; DA SILVA, S. C. Sward structural characteristics and herbage accumulation of Piatã palisade grass (*Brachiaria brizantha*) in a crop-livestock-forest integration area. **Crop and Pasture Science**, v. 68, n. 9, p. 859–871, 2017.

DA CRUZ, P. G.; SANTOS, P. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; DE ARAUJO, L. C. Modelos empíricos para estimar o acúmulo de matéria seca de capim-marandu com variáveis agrometeorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 7, p. 675–681, 2011.

DE OLIVEIRA, C. C.; VILLELA, S. D. J.; DE ALMEIDA, R. G.; ALVES, F. V.; BEHLING-NETO, A.; MARTINS, P. G. M. de A. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. **Tropical Animal Health and Production**, v. 46, n. 1, p. 167–172, 2014.

FAO. **The state of food and agriculture: Livestock in balance**. 1. ed. Roma: Electronic Publishing Policy and Support Branch, 2009.

FARIA, B. M.; MORENZ, M. J. F.; PACIULLO, D. S. C.; LOPES, F. C. F.; GOMIDE, C. A. de M. Growth and bromatological characteristics of *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria ruziziensis* under shading and nitrogen. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 3, p. 529–536, 2018. Disponível em: <<http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1806-6690.20180060>>.

GÓMEZ, S.; GUENNI, O.; BRAVO DE GUENNI, L. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *brachiaria decumbens* stapf. **Grass and Forage Science**, v. 68, n. 3, p. 395–407, 2013.

HOOSBEEK, M. R.; REMME, R. P.; RUSCH, G. M. Trees enhance soil carbon sequestration and nutrient cycling in a silvopastoral system in south-western Nicaragua. **Agroforestry Systems**, v. 92, n. 2, p. 263–273, 2018.

KAPUR, J. N.; SC, F. A. ON SOME APPLICATIONS OF DYNAMIC PROGRAMMING TO INFORMATION THEORY. **Indian Institute of Technology, Kanpur**, n. 2, p. 1–2, 1967.

KEATING, B. A.; CARBERRY, P. S.; HAMMER, G. L.; PROBERT, M. E.; ROBERTSON, M. J.; HOLZWORTH, D.; HUTH, N. I.; HARGREAVES, J. N. G.; MEINKE, H.; HOCHMAN, Z.; MCLEAN, G.; VERBURG, K.; SNOW, V.; DIMES, J. P.; SILBURN, M.; WANG, E.; BROWN, S.; BRISTOW, K. L.; ASSENG, S.; CHAPMAN, S.; MCCOWN, R. L.; FREEBAIRN, D. M.; SMITH, C. J. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n. 3–4, p. 267–288, 2003.

KIPLING, R. P.; BANNINK, A.; BELLOCCHI, G.; DALGAARD, T.; FOX, N. J.; HUTCHINGS, N. J.; KJELDSEN, C.; LACETERA, N.; SINABELL, F.; TOPP, C. F. E.; VAN OIJEN, M.; VIRKAJÄRVI, P.; SCOLLAN, N. D. Modeling European ruminant production systems: Facing the challenges of climate change. **Agricultural Systems**, v. 147, p. 24–37, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agry.2016.05.007>>.

KORHONEN, P.; PALOSUO, T.; PERSSON, T.; HÖGLIND, M.; JÉGO, G.; VAN OIJEN, M.; GUSTAVSSON, A. M.; BÉLANGER, G.; VIRKAJÄRVI, P. Modelling grass yields in northern climates – a comparison of three growth models for timothy. **Field Crops Research**, v. 224, n. April, p. 37–47, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.04.014>>.

LANA, R. M. Q.; LANA, Â. M. Q.; REIS, G. L.; LEMES, E. M. Productivity and nutritive value of brachiaria forage intercropping with eucalyptus in a Silvopastoral system in the Brazilian Cerrado biome. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 5, p. 654–659, 2016.

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.

LIMA, I. L. P.; SCARIOT, A.; GIROLDO, A. B. Impacts of the implementation of silvopastoral systems on biodiversity of native plants in a traditional community in the Brazilian Savanna. **Agroforestry Systems**, v. 91, n. 6, p. 1069–1078, 2017.

MARTUSCELLO, J. A.; JANK, L.; MARQUES, M.; NETO, G.; LAURA, A.; NORONHA, D. De; VIEIRA, F. Revista Brasileira de Zootecnia Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento Genus *Brachiaria* grass yields under different shade levels. v. 3598, 2009.

MAURIG, M. V.; BERNARDIS, A. C. PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE BRACHIARIA (*Brachiaria brizantha*) CV. MARANDÚ EN DOS SISTEMAS SILVOPASTORILES DE PINO (*Pinus elliottii*) EN CORRIENTES, ARGENTINA. **Chilean journal of agricultural & animal sciences**, v. 33, n. 2, p. 124–135, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-38902017000200124&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.cl/pdf/chjaasc/v33n2/0719-3890-chjaasc-00402.pdf>.

NASCIMENTO, C. D. .; COSTA, M. C. .; TOMA, R.; COOPER, M. Plant Components of Agroforestry System Have Different Contributions to Soil Fertility. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 4, p. 381–391, 2018.

PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B. de; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; LOPES, F. C.; ROSSIELLO, R. O. P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 42, n. 4, p. 573–579, 2007.

PACIULLO, D. S. C.; PIRES, M. F. A.; AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; MAURÍCIO, R. M.; GOMIDE, C. A. M.; SILVEIRA, S. R. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. **Animal**, v. 8, n. 8, p. 1264–1271, 2014.

PACIULLO, D. S. C.; PIRES, M. F. A.; MÜLLER, M. D. Oportunidades e desafios dos sistemas integrados na produção animal: ênfase nos sistemas silvipastoris Opportunities and challenges of integrated systems in animal production: emphasis on silvopastoral systems. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Volumen**, v. 25, n. 12, p. 25–35, 2017. Disponível em: <http://ojs.alpa.org.ve/index.php/ojs_files/article/viewFile/2566/1005>.

PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C. G. S.; BOOTE, K. J.; LARA, M. A. S.; ALDERMAN, P. D. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. **Field Crops Research**, v. 120, n. 3, p. 370–379, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2010.11.010>>.

PEREIRA, M. A.; COSTA, F. P. RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS GERADAS PELA EMBRAPA GADO DE CORTE. **EMBRAPA GADO DE CORTE**, p. 1–20, 2015.

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

PERI, P. L.; MOOT, D. J.; MCNEIL, D. L. Validation of a canopy photosynthesis model for cocksfoot pastures grown under different light regimes. **Agroforestry Systems**, v. 67, n. 3, p. 259–272, 2006.

PEZZOPANE, J. R. M.; ARAUJO, P. G. da C.; SANTOS, P. M.; BOSI, C.; ARAUJO, L. C. de. Simple agrometeorological models for estimating Guineagrass yield in Southeast Brazil. **International journal of biometeorology**, v. 58, n. 7, p. 1479–1487, 2013.

PEZZOPANE, J. R. M.; SANTOS, P. M.; CRUZ, P. G. da; BOSI, C.; SENTELHAS, P. C. An integrated agrometeorological model to simulate Marandu palisade grass productivity. **Field Crops Research**, v. 224, n. December 2015, p. 13–21, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.04.015>>.

PONTES, L. S.; BALDISSERA, T. C.; GIOSTRI, A. F.; STAFIN, G.; DOS SANTOS, B. R. C.; CARVALHO, P. C. de F. Effects of nitrogen fertilization and cutting intensity on the agronomic performance of warm-season grasses. **Grass and Forage Science**, 2017.

PONTES, L. S.; GIOSTRI, A. F.; BALDISSERA, T. C.; BARRO, R. S.; STAFIN, G.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MOLETTA, J. L.; CARVALHO, P. C. de F. Interactive effects of trees and nitrogen supply on the agronomic characteristics of warm-climate grasses. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 4, p. 1531–1541, 2016.

SANTOS, D. D. C. Características Do Capim-Piatã E Desempenho De Bovinos Em Sistemas Silvopastoris No Cerrado. **Universidade Federal de Goiás**, 2016.

SANTOS, D. D. C.; JÚNIOR, R. G.; VILELA, L.; PULROLNIK, K.; BUFON, V. B.; FRANÇA, A. F. D. S. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 233, p. 16–24, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.026>>.

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

SOLLENBERGER, L. E.; KOHMANN, M. M.; DUBEUX, J. C. B.; SILVEIRA, M. L. Grassland Management Affects Delivery of Regulating and Supporting Ecosystem Services. **Crop Science**, v. 19, n. april, p. 1–19, 2019.

TONATO, F.; BARIONI, L. G.; PEDREIRA, C. G. S.; DANTAS, O. D.; MALAQUIAS, J. V. Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 522–529, 2010.

VANDERMEULEN, S.; RAMÍREZ-RESTREPO, C. A.; BECKERS, Y.; CLAESSENS, H.; BINDELLE, J. Agroforestry for ruminants: A review of trees and shrubs as fodder in silvopastoral temperate and tropical production systems. **Animal Production Science**, v. 58, n. 5, p. 767–777, 2018.

WALKER, R.; BROWDER, J.; ARIMA, E.; SIMMONS, C.; PEREIRA, R.; CALDAS, M.; SHIROTA, R.; ZEN, S. de. Ranching and the new global range: Amazônia in the 21st century. **Geoforum**, v. 40, n. 5, p. 732–745, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2008.10.009>>.

2. RESPOSTAS AGRONÔMICAS DO CAPIM-MARANDU SOB LOTAÇÃO CONTÍNUA EM SISTEMA SILVIPASTORIL

RESUMO

Sistemas silvipastoris são complexos e dinâmicos, uma vez que, as respostas produtivas da forrageira serão dependentes do microambiente no qual as plantas se desenvolvem. O objetivo do presente estudo foi avaliar as respostas agronômicas do capim-marandu [*Brachiaria brizantha* (Hochst A Rich) Stapf, sin. *Urochloa brizantha* cv. Marandu] sob lotação contínua em sistema silvipastoril (SP). O delineamento foi em blocos completos (DBC) casualizados, com quatro repetições. Foram avaliados quatro tratamentos: um sistema a pleno sol (PS) e três distâncias entre os renques das árvores do sistema SP, correspondente a 7,5 m Norte (SP1), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3). As avaliações foram conduzidas durante dois verões agrostológicos (ano 1 e 2; estação chuvosa). O sistema SP era constituído de árvores de Eucalipto (*Eucalyptus urograndis* clono H13) na orientação Leste-Oeste, com 18 m de altura e espaçadas a 3,5 x 3,0 m (entre linhas e entre arvores), com 30 m entre as linhas triplas. A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) média foi maior no PS ($923 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), seguidos do SP2 ($811 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), SP1 ($727 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) e SP3 ($673 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$). O acúmulo de forragem (AF) no PS foi 15% maior que a média do SP1, SP2 e SP3 ($10663 \text{ kg MS ha}^{-1}$). Não houve diferença para acúmulo de folha (AFol), colmo (AC) e material morto (AM), com média $3302 \text{ kg MS ha}^{-1}$, $3420 \text{ kg MS ha}^{-1}$ e $4063 \text{ kg MS ha}^{-1}$, respectivamente. O AFol e a taxa de acúmulo de folha (TAFol) foram maiores no segundo ano, uma vez que, a TAFol foi semelhante entre os tratamentos ($19 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). A proporção de folha (PFol) aumentou 14% do primeiro para o segundo ano. A área foliar específica (AFE) foi maior para os tratamentos SP1 e SP3 ($193 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$). A taxa de acúmulo de colmo (TAC) foi 13% maior no PS e SP3 em relação ao SP1 e SP2 ($18,7 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). A densidade populacional de perfilhos vivos (DPPV) foi semelhante entre os tratamentos no primeiro ano, porém, em relação ao primeiro ano, a DDPV no segundo ano aumentou em todos os tratamentos. A densidade volumétrica (DV) foi 15% maior no PS, que na média do SP1, SP2 e SP3 ($97,9 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), com índice de área foliar (IAF) mantendo-se constante (3,1). O capim-marandu sob lotação contínua no sistema SP apresenta mecanismos de tolerância para manter a produtividade de folhas semelhante ao PS.

Palavras-chave: Integração pecuária floresta, Intensificação sustentável, Planejamento produtivo

ABSTRACT

Silvopastoral systems are complex and dynamic, since the productive responses of the forage will be dependent on the microenvironment in which the plants develop. The objective of the present study was to evaluate the agronomic responses of the Marandu palisadegrass [*Brachiaria brizantha* (Hochst A Rich) Stapf, sin. *Urochloa brizantha* cv. Marandu] under continuous stocking in a

silvopastoral (SP) system. The design was in randomized complete blocks (RCB), with four replications. Four treatments were evaluated: a full sun (FS) system and three distances between the trees of the SP, corresponding to 7.5 m North (SP1), 15 m (SP2) and 7.5 m South (SP3). The evaluations were conducted during two agrostological summers (year 1 and 2, rainy season). The SP consisted in tree of the *Eucalyptus urograndis* clone H13 in the East-West orientation, with 18 m high and spaced 3.5 x 3.0 m (between rows and between trees), with 30 m between the triple rows. The photosynthetic active radiation (PAR) was higher in FS ($923 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), followed by SP2 ($811 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), SP1 ($727 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) and SP3 ($673 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$). Forage accumulation (FA) in FS was 15% higher than the mean of SP1, SP2 and SP3 ($10663 \text{ kg DM ha}^{-1}$). There was no difference for leaf accumulation (LA), stem (SA) and dead material (DMA), with an average of $3302 \text{ kg DM ha}^{-1}$, $3420 \text{ kg DM ha}^{-1}$ and $4063 \text{ kg DM ha}^{-1}$, respectively. LA and leaf accumulation rate (LAR) were higher in the second year, since LAR was similar between treatments ($19 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). The leaf proportion (LP) increased 14% from the first to the second year. Specific leaf area (SLA) was higher for treatments SP1 and SP3 ($193 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$). Stem accumulation rate (SAR) was 13% higher in FS and SP3 than in SP1 and SP2 ($18.7 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Population density of live tiller (PDLT) was similar between treatments in the first year, but in relation to the first year, PDLT in the second year increased in all treatments. The volumetric density (VD) was 15% higher in FS than in SP1, SP2 and SP3 ($97.9 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), leaf area index (LAI) remained constant (3.1). Marandu palisadegrass under continuous stocking in the SP presents tolerance mechanisms to maintain leaf productivity similar to FS.

Keywords: Productive planning, Sustainable intensification, Livestock forest integration

2.1. INTRODUÇÃO

Sistemas silvipastoris são constituídos por árvores em associação com pastagens e animais. Nesses sistemas, há naturalmente redução da radiação solar incidente no dossel forrageiro. As possíveis alterações nas respostas da forrageira dependerão principalmente das alterações ambientais nesse sistema. Por isso, é indispensável o bom planejamento para que, por meio do manejo do sistema SP, haja um ambiente favorável ao desenvolvimento das plantas forrageiras (BALDASSINI et al., 2018).

Embora não haja definições consolidadas de manejo da forrageira em sistemas silvipastoris sob lotação contínua, utilizar técnicas que inter-relacionam conceitos já consolidados para sistemas a pleno sol torna-se o ponto de partida para comparação das respostas de planta em sistemas silvipastoris. Sob lotação contínua, recomenda-se manejar o capim-marandu a 30 cm, o que permite manter a estrutura da planta em condições adequadas à produção de forragem (SBRISSIA; SILVA, 2008).

Durante a época chuvosa, o principal fator limitante para a produção de forragem em sistema SP é a redução da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (PERI et al., 2005; PACIULLO et al., 2008; CRESTANI et al., 2017). Haja visto, que essa limitação é influenciada pelo movimento aparente do sol, que altera a projeção da sombra incidente no dossel forrageiro em sistemas silvipastoris, mesmo quando as fileiras dos renques de árvores estão projetadas no sentido Leste-Oeste.

As árvores absorvem preferencialmente as frações do espectro de luz nos comprimentos de onda do vermelho (400 nm) e do azul visível (700 nm), no entanto, a luz que passa pelas copas das árvores e incidem no dossel forrageiro, apresenta-se em comprimentos de onda correspondentes ao laranja, amarelo, verde e vermelho distante (TAIZ et al., 2017). Nesses casos, a magnitude das respostas das plantas forrageiras serão dependentes das adaptações morfofisiológicas de cada cultivar à redução da luz incidente (PERI et al., 2007).

Nos sistemas silvipastoris à medida que as árvores crescem, a competição por recursos naturais tende a ser cada vez maior (principalmente pela luz solar), o que pode limitar a produção de forragem e a produtividade do sistema. Dependendo do nível de redução da luz solar no dossel forrageiro, as forrageiras podem ser prejudicadas, gerando redução no AF (CRESTANI et al., 2017; MAURIG et al., 2017).

Paciullo et al. (2008) destacaram que o número e o tamanho das folhas, assim como a densidade populacional de perfilhos (DPP) são algumas das características estruturais mais importantes do dossel forrageiro, pois essas definem o IAF do pasto. Sob sombreamento intenso, a morte de folhas e perfilhos, altera a estrutura do dossel forrageiro principalmente pela redução na assimilação de carbono pela planta (SANTOS et al., 2016).

As plantas forrageiras podem ser tolerantes à diferentes níveis de redução na luz incidente (BALLARE et al., 1997; PERI et al., 2006). Nesse caso, em sistema SP, a forrageira pode aumentar a relação da parte aérea: raízes para priorizar o acúmulo de folhas; aumentar o alongamento de colmo como mecanismo de busca por luz, podendo reduzir o perfilhamento, principalmente em condições de sombreamento excessivo (RODRIGUES et al., 2016). O real potencial produtivo de espécies forrageiras em sistemas silvipastoris, poderá ser melhor compreendido com estudos em diferentes regiões, condições climáticas e de manejos.

Estudando um sistema SP, Paciullo et al. (2007) verificou que a densidade populacional de perfilhos (DPP) em sistema SP se equiparou ao do PS, após redução do sombreamento de 65% para 35%. Essa redução no sombreamento permitiu que a luz incidente em maior quantidade e melhor qualidade no dossel forrageiro gerasse rápida resposta

adaptativa da espécie forrageira, retomando os padrões de perfilhamento semelhantes ao pelo sol (PS). Santos et al. (2016) sugere que o plantio das linhas de árvores seja realizado no sentido Leste-Oeste, com espaçamento entre os renques superiores a 22 m, e estabelecimento dos renques com linhas simples. Essas estratégias podem ser consideradas algumas das possíveis formas para redução dos impactos do sombreamento sobre a produção de forragem.

O componente arbóreo de um sistema SP pode gerar benefícios à produção animal. Esses benefícios podem ser decorrentes do aumento do valor nutritivo da forragem (LANA et al., 2016), ou mesmo pela melhoria na eficiência no uso da água (RIEGER et al., 2016). Além disso, a habilidade em manter a estrutura do dossel forrageiro com menor alteração possível, pode ser função das características de tolerância de cada espécie forrageira. Assim, o planejamento dos sistemas silvipastoris deve ser baseado na manutenção da produção de carne e, a madeira será considerada financeiramente uma adição da renda, além de oferecer um ambiente preferido pelos animais para ruminação e outras atividades (DOMICIANO et al., 2018), além das diversas melhorias nos aspectos físicos e químicos proporcionados ao solo dos sistemas silvipastoris, como melhorias na infiltração da água nos nutrientes disponíveis às forrageiras (SOUZA et al., 2018).

Avaliações das respostas de plantas forrageiras sob lotação contínua ainda são escassas em sistemas silvipastoris. Compreender os mecanismos pelo qual essas plantas se tornam tolerantes a redução na incidência da luz solar para manter sua perenidade, torna-se uma necessidade. Uma vez que, existam variações ambientais em constante interação com a forrageira, identificar tais mecanismos de tolerância em condições contrastantes de sombreamento é essencial para conhecer o potencial benefício da adoção e do uso dos sistemas silvipastoris em comparação a sistemas tradicionais a PS.

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar as respostas agrônômicas do capim-marandu sob lotação contínua com taxa de lotação variável no PS e em condições contrastantes de sombreamento do sistema SP.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Local, implantação e condução do experimento

O trabalho foi realizado na Embrapa Agrossilvipastoril, em Sinop – MT, (latitude 11°51' S, longitude 55°35' O e 370 m de altitude), e conduzido de acordo com padrões éticos aprovado pelo Comitê de Ética no Uso Animal (Protocolo n° 008/2015). O período

experimental foi de 01 de novembro de 2016 a 14 de abril de 2017 (ano 1) e 10 de novembro de 2017 a 16 de abril de 2018 (ano 2). A área experimental apresenta clima Am (clima de monções) de acordo com a classificação de Köppen, com alternância bem definida entre estações chuvosas e seca (ALVARES et al., 2013), com temperatura do ar média anual de 25,5 °C, média das mínimas de 20,2 °C e máximas de 33 °C. A umidade relativa do ar média anual é 70% e a precipitação total anual média de 2.250 mm (EMBRAPA, 2018).

Os sistemas foram implantados no verão 2011/2012 em local de solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Eutroférico na classificação brasileira, em relevo suavemente inclinado (SANTOS et. al., 2018). Foram avaliados um sistema a pleno sol (PS) e um sistema silvipastoril (SP), ambos com 2 ha. No espaço entre os renques das árvores, foi estabelecido o capim-marandu por meio de semeadura mecanizada, com espaçamento de 20 cm entre linhas de plantio. O SP (Figura 1) foi estabelecido com árvores (*Eucalyptus urograndis* clone H13) com renques de linhas triplas, com 3,5 x 3,0 m entre linhas e entre árvores, espaçadas de 30 m entre os renques, na orientação Leste-Oeste, com a espécie forrageira ocupando 1,5 ha e 0,5 ha por árvores, com 270 árvores ha⁻¹ em quatro repetições (blocos), totalizando 16 ha de área experimental. Após um desbaste seletivo em outubro de 2016, a densidade das árvores foi de 150 árvores ha⁻¹. No início do experimento, o sistema SP estava no sexto ano após implantação. As árvores apresentavam em média 19,1 m de altura e diâmetro na altura do peiro (DAP) de 17.6 cm (MAGALHÃES et al., 2018).

Desde a implantação da área experimental em dezembro de 2010, a forrageira permaneceu sob desfolhações mecânicas até fevereiro de 2015. De fevereiro a junho de 2015 foram utilizadas fêmeas bovinas mestiças da raça Gir e Holandês Preto e Branco em lotação rotativa com taxa de lotação fixa. Durante o período entre junho de 2015 e outubro de 2016, a forrageira foi manejada sob lotação contínua com taxa de lotação variável por novilhos da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) com peso médio 385 kg para manter a estrutura do dossel a 30 ± 5 cm e com aplicação de 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O.

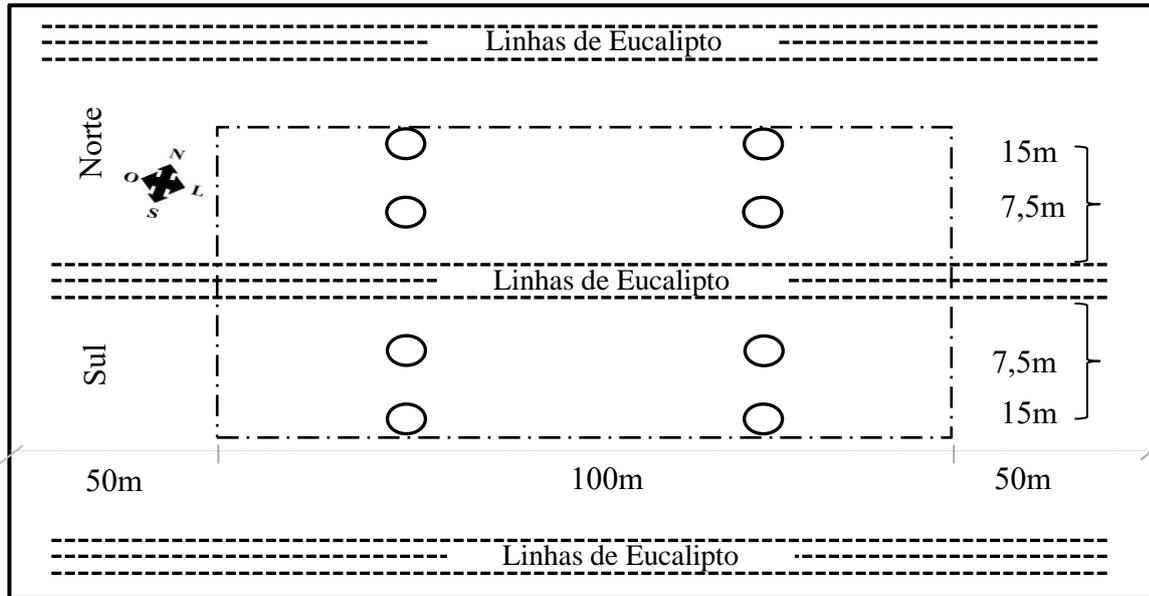


Figura 1. Croqui de uma unidade experimental do sistema silvipastoril com a representação dos locais de avaliação (tratamentos).

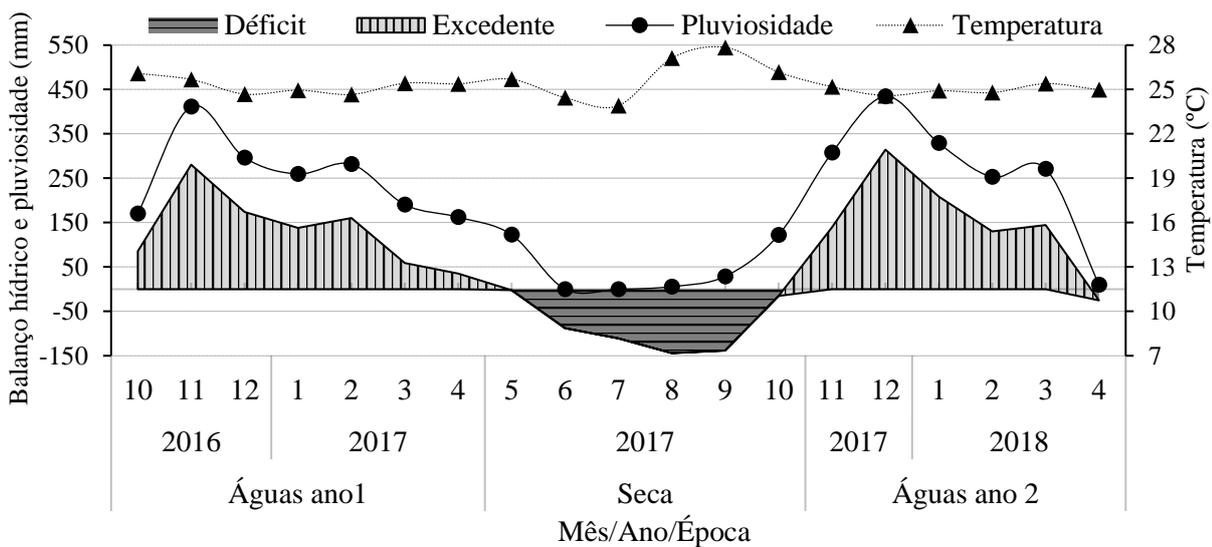


Figura 2. Balanço hídrico, pluviosidade (mm) e temperatura (°C) durante o período experimental (novembro de 2016 a abril de 2018).

Os dados climáticos do período experimental (Figura 2) foram obtidos no Posto Meteorológico da Embrapa Agrossilvipastoril, distante 500 m do local do experimento.

No primeiro ano do período experimental, a pluviosidade foi de 1602 mm e no segundo ano, foi de 1605 mm. O balanço hídrico (THORNTHWAITE; MATHER, 1955) foi calculado, considerando uma capacidade de água disponível (CAD) de 40 mm. Em média, o total de dias chuvosos no primeiro e no segundo ano foi de 117 e 113 dias, respectivamente. O percentual de dias com ocorrência de pluviosidade no primeiro e segundo ano, foi de 70,9 (165 dias) e 71,5% (158 dias), respectivamente.

A avaliação do microclima dentro do SP foi realizada por meio de coletas de dados climáticos (Tabela 2) em estações meteorológicas alocadas a 7,5 e 15 m de distância, nos lados norte e sul do renque de árvores de uma unidade experimental do SP. Esses dados foram contrastados com os dados de uma unidade experimental do sistema PS.

Foram coletadas as seguintes informações: RFA; temperatura (°C) máxima e mínima do ar. As estações monitoraram o microclima efetuando leituras a cada 10 s, fornecendo valores médios a cada 15 min.

2.2.2. Delineamento experimental, tratamentos e manejos

O delineamento foi em blocos completos (DBC) casualizados, com 4 repetições. Foram avaliados 4 tratamentos, correspondendo a 3 distâncias em relação ao renque dentro do sistema SP (Figura 1), incluindo 7,5 m ao norte do renque (SP1), 15 m (SP2, ou meia-distância entre os renques), 7,5 m ao sul do renque (SP3), e o sistema a PS, sem o componente arbóreo. Para o tratamento SP2 foi obtido a média das unidades amostrais das distâncias de 15 m nos lados norte e sul (Figura 1). Antes do início do experimento foi realizada a análise de fertilidade do solo da área experimental (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química de terra da área experimental do sistema a pleno sol (PS) e silvipastoril (SP).

| Trat. | pH | M.O. | P (Mehl.) | Ca | Mg | K | H+Al | SB† | T‡ | V§ |
|-------|-------------------|--------------------|---------------------|---|-----|------|------|-----|-----|------|
| | CaCl ₂ | g dm ⁻³ | mg dm ⁻³ | -----cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | % |
| PS | 4,6 | 23,1 | 1,9 | 0,9 | 0,4 | 0,06 | 6,4 | 1,4 | 7,8 | 17,8 |
| SP | 4,8 | 25,6 | 4,6 | 1,2 | 0,5 | 0,05 | 5,9 | 1,9 | 7,8 | 23,7 |

† S: soma de bases. ‡ T: capacidade de troca de cátions a pH 7. § V: saturação por bases.

Durante o período experimental foram aplicados 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e K₂O na formulação 20-0-20 nas unidades experimentais (piquetes), sendo que 50 kg ha⁻¹ foram aplicados no início e o restante em meados do período chuvoso. No primeiro ano, as aplicações foram realizadas no terço final do mês de novembro de 2016 e no terço médio de fevereiro de 2017. No segundo ano, as aplicações foram realizadas no primeiro terço de janeiro e no começo do mês de março de 2018.

O método de pastejo utilizado foi a de lotação contínua com taxa de lotação variável, para manter o dossel com altura média de 30 ± 5 cm. A taxa de lotação foi ajustada para manutenção da meta de altura, com pastejo realizados por novilhos da raça Nelore com peso médio de 375 kg.

As leituras de altura foram medidas com dois critérios: a) manutenção da altura média do dossel forrageiro nos piquetes de cada sistema e; b) acompanhamento da variação da altura em cada distância (SP1, SP2 e SP3) do sistema SP. Para manutenção da altura média nos sistemas, foram realizadas leituras da altura em 50 locais por unidade experimental no tratamento PS e em 60 locais representativos da condição média do dossel forrageiro no sistema SP (30 locais no lado norte e 30 locais no lado sul). Os animais foram colocados ou retirados de cada piquete, com intervalos de ajustes da taxa de lotação realizados sempre que a altura média do dossel atingia o limite pré-estabelecido para manter a altura do dossel forrageiro constante (Figura 3).

Para acompanhamento da altura média do dossel forrageiro nos diferentes locais do sistema SP (SP1, SP2 e SP3) foram realizadas leituras da altura, a cada 28 dias, em 10 locais representativos da condição média do dossel forrageiro (análise visual) em cada distância (SP1, SP2 e SP3). A altura média utilizada para o PS, foi realizada por meio pelo método de acompanhamento descrito anteriormente.

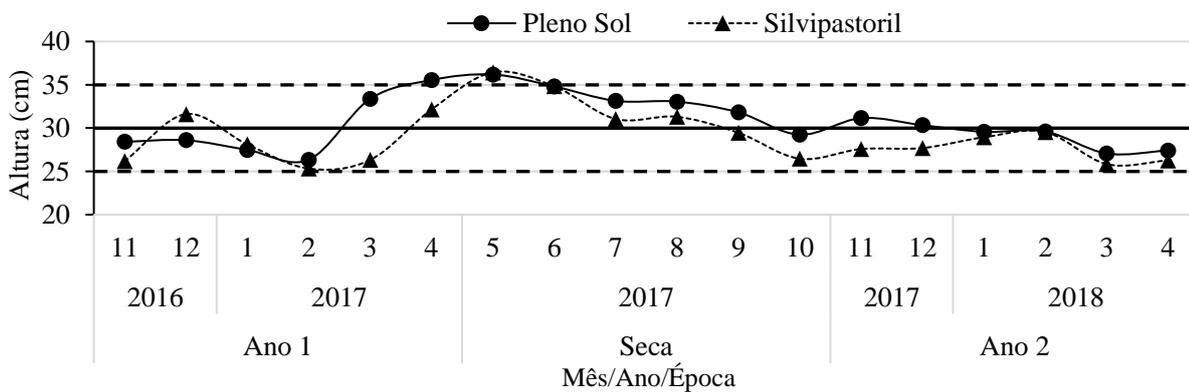


Figura 3. Altura média do dossel forrageiro na área experimental (novembro de 2016 a abril de 2018).

2.2.3. Massa e acúmulo de forragem

A cada 28 dias foram coletadas amostras para caracterização da massa de forragem (MF) em locais representativos da média da altura do dossel, utilizando o método das gaiolas emparelhadas (MARTINS et al., 2013). Gaiolas de exclusão do pastejo (0,64 m² de área e 1,1 m de altura) foram alocadas de acordo com a altura média do dossel forrageiro em quatro locais de cada unidade experimento do PS e em oito locais por piquete do sistema SP, onde, quatro gaiolas foram distribuídas no lado norte e quatro no lado sul em relação ao renque central. Em cada lado, duas gaiolas foram alocadas a 7,5 m e duas gaiolas a 15 m da fileira central de árvores.

A quantificação do acúmulo de forragem (AF) foi realizada a partir do cálculo da diferença da MF dentro gaiola, menos a MF na moldura de área semelhante à gaiola, do ciclo anterior. Nessa mesma ocasião, novos locais representativos da altura média do dossel para cada tratamento foram escolhidos para realocação das gaiolas. De cada amostra, foi pesada uma subamostra de aproximadamente 200 g, levada para estufa de circulação de ar forçada, à 55 °C por 72 h para determinação do teor de matéria seca.

2.2.4. Proporção dos componentes morfológicos da forragem, área foliar específica e índice de área foliar do dossel

Para a avaliação da composição morfológica e do índice de área foliar (IAF), foram realizadas coletas nos ciclos representativos (meio das estações) das estações primavera (novembro de 2016 e 2017) e verão (fevereiro de 2017 e 2018). Nessas estações foram coletadas amostras de forragem contidas no interior de duas molduras circulares com área de 0,64 m², nas distâncias (7,5 e 15 m) dos lados norte e sul do SP, e quatro amostras no PS. A área amostrada correspondeu sempre a um local da unidade experimental que estava com a altura média semelhante àquela do tratamento em avaliação.

De cada amostra coletada foi retirada uma subamostras de 200 g. As subamostras foram levadas ao laboratório para separação manual nos componentes morfológicos folha (lâmina foliar), colmo (pseudo colmo + bainha) e material morto. Depois de separadas, as folhas foram escaneadas no integrador de área foliar, modelo LI-3100 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA). Feito isso, todos os componentes morfológicos foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 55°C, por 72 h e pesadas para obtenção da proporção dos componentes folha (PFol), colmo (PC) e material morto (PM). Com os valores de área foliar e da massa seca das folhas foi calculado a área foliar específica (AFE) que, por sua vez, foi utilizada para calcular o IAF.

2.2.5. Massa e acúmulo de folha, colmo e material morto

As proporções dos componentes morfológicos do período experimental foram extrapoladas para a MF de cada ciclo para cálculo da massa de folha (MFol), colmo (MC) e material morto (MM). As mesmas proporções foram utilizadas para cálculo do acúmulo de folha (AFol), colmo (AC) e material morto (AM) de cada ciclo do período experimental.

2.2.6. Taxa de acúmulo de forragem, folha, colmo e material morto

A taxa de acúmulo de forragem (TAF), de folha (TAFol), de colmo (TAC) e de material morto (TAM) foi calculada considerando o acúmulo de forragem e dos componentes folha, colmo e material morto, dividido pelo intervalo de dias (28 dias).

2.2.7. Número de folhas vivas por perfilho

Para melhor representação do tratamento em avaliação, o número de folhas vivas por perfilho (FVP) foi obtido por meio da coleta de 50 perfilhos individuais no PS e 20 perfilhos por distância do sistema SP (SP1, SP2 e SP3) nos ciclos representativos da primavera e verão de cada ano. Após a coleta dos perfilhos, os mesmos foram acondicionados em sacos plásticos, identificados e levados ao laboratório para contagem das FVP. Como folhas vivas, foram consideradas as folhas que apresentavam qualquer vestígio de lâmina foliar a partir da lígula, desconsiderando nervuras isoladas e folhas com mais de 50% de senescência.

2.2.8. Densidade populacional de perfilhos

A amostragem para caracterização da densidade populacional de perfilhos (DPP) foi realizada com auxílio de uma moldura circular de $0,64\text{m}^2$ em um ciclo representativo de cada ano (fevereiro de 2017 e fevereiro de 2018). As avaliações foram realizadas com coletas de quatro amostras no PS e duas amostras no SP1, SP2 e SP3 do sistema SP. As amostras foram pesadas no campo, para obtenção do peso em base da matéria natural. A partir das amostras coletadas, uma subamostra composta de aproximadamente 700 g foi levada ao laboratório para contagem dos perfilhos.

Foram considerados perfilhos vivos, qualquer perfilho com folhas vivas em sua constituição. Posteriormente, os perfilhos foram secos em estufa de circulação forçada de ar a $55\text{ }^\circ\text{C}$, por 72 h. Com base no peso seco, número de perfilhos e a massa de forragem (MF) contida na moldura circular, foi calculado a densidade populacional de perfilhos vivos (DPPV), mortos (DPPM) e totais (DPPT) por unidade de área. O quociente entre o número de perfilhos vivos e mortos foi calculado para obtenção da relação entre a DPPV e DPPM (DPPV/M).

2.2.9. Intercepção de luz e ângulo da folhagem

As leituras de intercepção de luz (IL) e ângulo da folhagem (ANG) foram realizadas somente no ciclo representativo do segundo ano (fevereiro de 2018), em cada unidade experimental do PS, SP1, SP2 e SP3. Essas caracterizações foram mensuradas, utilizando o aparelho analisador de dossel AccuPAR PAR/LAI Ceptometer, modelo LP 80, Decagon Devices® (Decagon Devices, Inc., 2015). Nas condições representativas da altura média do dossel forrageiro, no sistema a PS, as leituras foram realizadas em 50 locais e no sistema SP em 20 locais nas distâncias 7,5 e 15 m dos lados norte e sul. Todas as leituras foram realizadas entre as 10 e 14 h.

A IL foi estimada com leitura de referência (acima do dossel) medidas fora do sistema SP, ou seja, sem interferência do sombreamento proporcionado pelas árvores. Essa leitura engloba a intercepção da luz solar pelas copas das árvores e pelo dossel forrageiro.

2.2.10. Densidade volumétrica da forragem

A quantificação da densidade volumétrica (DV) da forrageira foi calculada pela relação entre a MF coletada a cada 28 dias e a altura do dossel forrageiro no mesmo local.

2.2.11. Análise dos dados

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando o método de modelos lineares generalizados mistos com estrutura paramétrica (PROC GLIMMIX, SAS® 9.4). O efeito de bloco foi considerado aleatório. O efeito de tratamento (PS, SP1, SP2 e SP3), da medida repetida nos anos (1 e 2), e suas interações foram considerados fixos.

Gráficos de preditor linear e de quantil-quantil dos resíduos, foram utilizados para verificação da normalidade e da homogeneidade de variância dos resíduos. A matriz de variância e covariância foi selecionada por meio do critério de informação de Akaike (WOLFINGER; O'CONNELL, 1993). A correção dos graus de liberdade foi realizada pelo método de "kenwardroger" (KENWARD; ROGER, 1997) e as médias dos tratamentos estimadas por meio do "LSMEANS". As comparações múltiplas realizadas pelo teste F para efeito de ano e pelo teste da probabilidade da diferença ("PDIFF") para os efeitos de tratamento e interação tratamento × ano ($p < 0,05$). Para fins de interesse, as variáveis MM, AF, AFol, TAM e PM foram consideradas significativas com $p < 0,10$.

2.3. RESULTADOS

Do primeiro para o segundo ano, a média de RFA do período experimental diminuiu 25% no SP1, 9% no SP2, 6% no PS e 2% no SP3. Do primeiro para o segundo ano, nos meses de dezembro e fevereiro a média de RFA no SP3 não variou, chegando a aumentar 12% no mês de janeiro. Nesse mesmo mês a RFA do PS e do SP2 também aumentaram (Tabela 2).

Tabela 2. Médias dos dados meteorológicos† mensais no local experimental, no pleno sol (PS), 7,5 m Norte (SP1), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3), nos anos 1 e 2.

| Ano | Trat. | Nov. | Dez. | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Média | Varição/PS (%)‡ |
|---|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-----------------|
| RFA ($\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$) | | | | | | | | | |
| 1 | PS | 1030# | 875 | 973 | 880 | 998 | 950 | 951 | |
| | SP1 | 841 | 654 | 710 | 749 | 897 | 862 | 786 | -17 |
| | SP2 | 974 | 779 | 862 | 785 | 892 | 801 | 849 | -11 |
| | SP3 | 824 | 682 | 760 | 644 | 626 | 532 | 678 | -29 |
| 2 | PS | 901 | 796 | 992 | 854 | 920 | 899 | 894 | |
| | SP1 | 686 | 575 | 694 | 617 | 717 | 718 | 668 | -25 |
| | SP2 | 802 | 692 | 874 | 744 | 786 | 738 | 773 | -14 |
| | SP3 | 782 | 679 | 853 | 641 | 577 | 468 | 667 | -25 |
| % Variação RFA entre anos§ | | | | | | | | | |
| | PS | -13 | -9 | 2 | -3 | -8 | -5 | -6 | |
| | SP1 | -18 | -12 | -2 | -18 | -20 | -17 | -15 | |
| | SP2 | -18 | -11 | 1 | -5 | -12 | -8 | -9 | |
| | SP3 | -5 | 0 | 12 | 0 | -8 | -12 | -2 | |
| TMAX (°C) | | | | | | | | | |
| 1 | PS | 36,3 | 33,4 | 33,7 | 34,1 | 34,9 | 33,8 | 34,4 | |
| | SP1 | 35,7 | 34,3 | 34,0 | 34,4 | 35,7 | 34,0 | 34,7 | 1 |
| | SP2 | 35,6 | 34,2 | 34,0 | 34,5 | 35,5 | 34,1 | 34,7 | 1 |
| | SP3 | 35,7 | 33,1 | 34,0 | 34,3 | 34,3 | 31,5 | 33,8 | -2 |
| 2 | PS | 36,3 | 33,3 | 34,2 | 35,1 | 34,9 | 33,6 | 34,6 | |
| | SP1 | 36,0 | 33,7 | 34,4 | 34,7 | 35,1 | 33,3 | 34,5 | 0 |
| | SP2 | 36,0 | 33,6 | 34,6 | 34,7 | 35,2 | 33,6 | 34,6 | 0 |
| | SP3 | 35,7 | 33,4 | 34,6 | 34,0 | 34,5 | 32,4 | 34,1 | -1 |
| TMIN (°C) | | | | | | | | | |
| 1 | PS | 20,3 | 20,2 | 18,7 | 19,7 | 19,7 | 19,4 | 19,7 | |
| | SP1 | 20,9 | 20,5 | 19,0 | 20,2 | 20,2 | 20,0 | 20,1 | 2 |
| | SP2 | 20,7 | 20,4 | 18,9 | 20,0 | 20,1 | 19,9 | 20,0 | 2 |
| | SP3 | 20,9 | 20,5 | 18,9 | 20,1 | 20,2 | 21,1 | 20,3 | 3 |
| 2 | PS | 21,0 | 21,4 | 20,9 | 21,6 | 22,1 | 22,5 | 21,6 | |
| | SP1 | 21,0 | 21,6 | 21,0 | 21,7 | 22,2 | 22,6 | 21,7 | 0 |
| | SP2 | 21,0 | 21,5 | 20,9 | 21,7 | 22,1 | 22,5 | 21,6 | 0 |
| | SP3 | 21,1 | 21,6 | 21,0 | 21,7 | 22,2 | 22,6 | 21,7 | 1 |

† RFA, radiação fotossinteticamente ativa; TMAX, temperatura máxima; TMIN, temperatura mínima; ‡ variação do percentual médio da RFA nos tratamentos no sistema silvipastoril em relação ao pleno sol (PS). § Variação percentual das médias de RFA, entre os anos. # RFA média das 8 às 17 h.

Os valores de RFA no período experimental foram calculados para obtenção das médias de RFA nos horários do dia. Os valores foram agrupados para verificação da flutuação da RFA média entre tratamentos (PS, SP1, SP2 e SP3) para o primeiro e o segundo ano (Figura 3) e entre anos para os tratamentos PS, SP1, SP2 e SP3 (Figura 4).

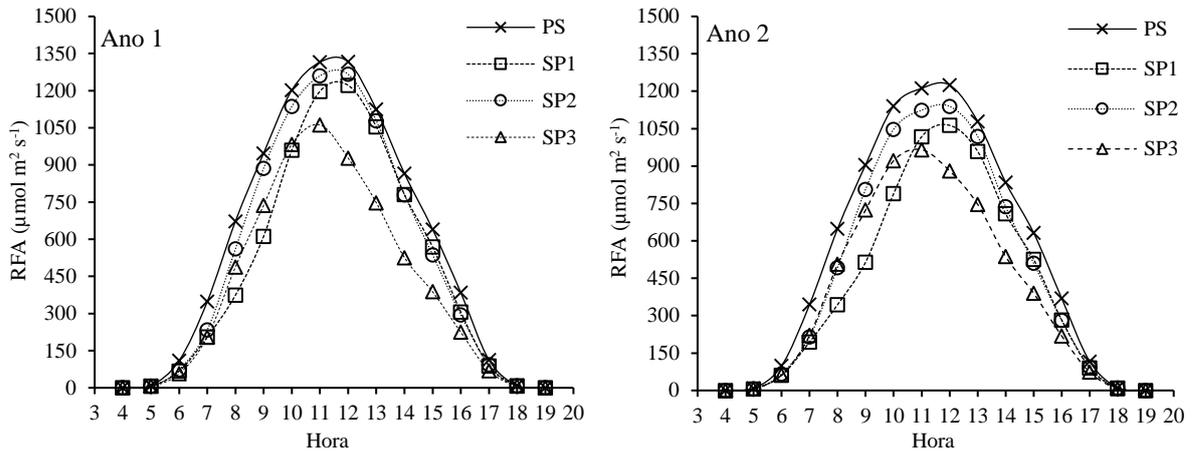


Figura 4. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) média no pleno sol (PS) e nas três posições do sistema silvipastoril: 7,5 m Norte (SP1), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3) para os anos 1 e 2.

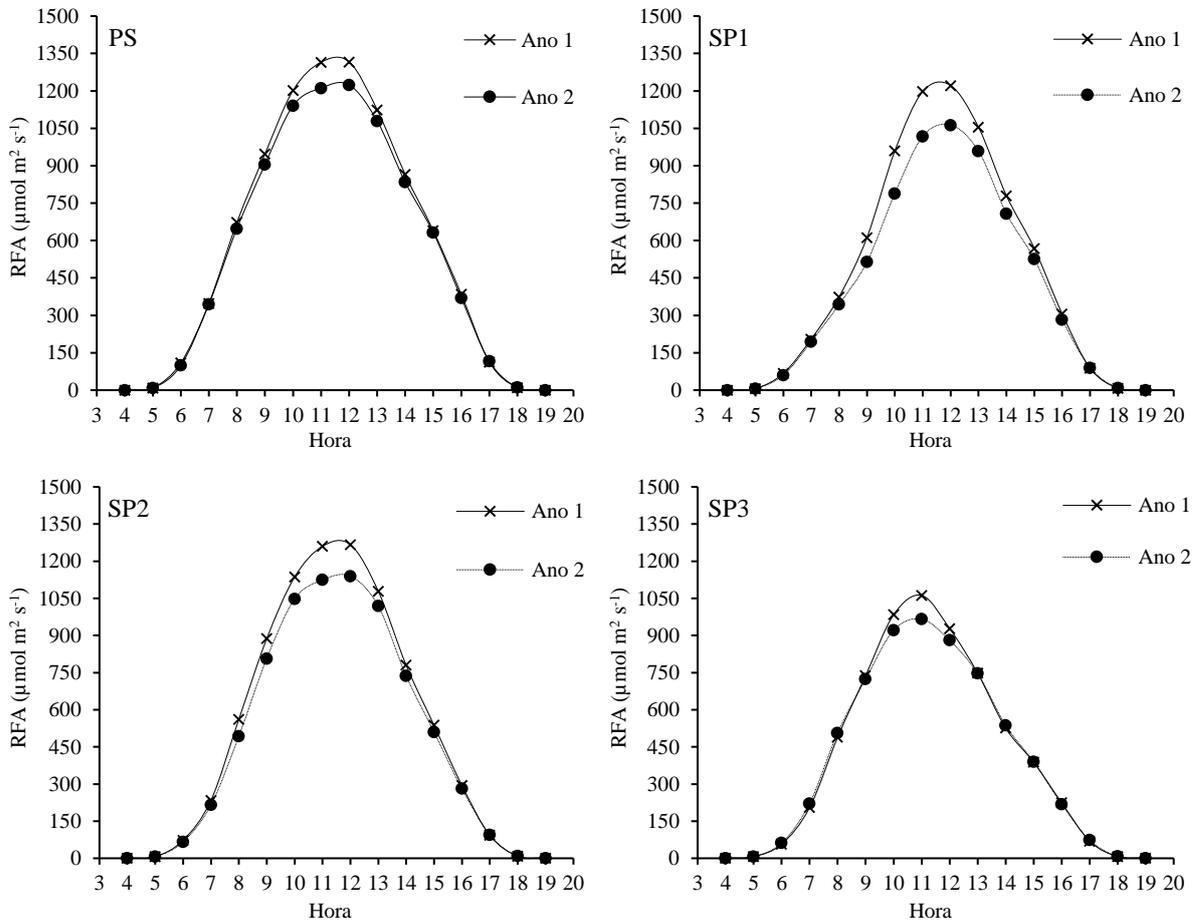


Figura 5. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) média nos anos 1 e 2 para o pleno sol (PS) e nas três posições do sistema silvipastoril: 7,5 m Norte (SP1), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3).

Ao longo do dia, a RFA foi maior no PS e SP2, demonstrando que as árvores causaram redução na radiação incidente no SP1 e SP3, consequência do sombreamento nas posições próximas aos renques de árvores nos dois anos de avaliação (Figura 4).

A RFA variou entre anos para cada tratamento e entre tratamentos para cada ano. No primeiro ano de avaliação, a incidência de RFA apresentou os maiores valores em relação ao segundo ano em todos os tratamentos (Figura 5). Os maiores percentuais de redução da RFA, em relação ao PS, foram no SP1 e SP3 (Tabela 2 e Figura 4).

A altura do dossel permaneceu dentro do limite esperado ($30 \text{ cm} \pm 5 \text{ cm}$). Em média, a altura no PS foi 29,5 cm, seguido do SP3 (27,5 cm), SP2 (27,5 cm) e SP1 (26,5 cm). No primeiro ano, a altura média do dossel foi 28,5 cm e no segundo ano foi 27 cm (Figura 3).

Os maiores valores de MF foram registrados no tratamento PS, com média de 3450 kg MS ha⁻¹. A MF foi 21% menor nos tratamentos SP1 e SP3, em comparação ao PS. Quando comparado o SP1 e SP3 com o SP2, a redução foi de 10%. No SP2 a redução em relação ao PS foi de 12% (Tabela 3). No primeiro ano, a MF foi em média 39% maior que no segundo ano (2500 kg MS ha⁻¹).

Em média, a MFol entre os tratamentos foi de 885 kg MS ha⁻¹. Entre os anos avaliados, a MFol foi maior no primeiro ano (970 kg MS ha⁻¹), reduzindo em 8,2% no segundo ano.

A MC diferiu entre tratamentos ($p = 0,0003$) e anos ($p < 0,0001$). O PS apresentou a MC 17,8% maior que a média do SP1, SP2 e SP3 (883 kg MS ha⁻¹). No segundo ano, a MC reduziu 69,7% em relação ao primeiro ano (1090 kg MS ha⁻¹). A MM foi maior no PS e SP2 (1240 kg MS ha⁻¹). Houve redução de 63% na MM no segundo ano, em relação ao primeiro ano (1350 kg MS ha⁻¹).

O AF foi 15,3% maior no PS, quando comparado a média dos tratamentos SP1, SP2 e SP3 (10663 kg MS ha⁻¹). O AFol foi semelhante entre os tratamentos (3300 kg MS ha⁻¹), porém, com aumento de 14,3% do primeiro (3080 kg MS ha⁻¹) para o segundo ano (3520 kg MS ha⁻¹). As médias do AC e AM não diferiram ($p > 0,05$) para nenhum dos efeitos testados, com valores médios de 3420 kg MS ha⁻¹ e 4063 kg MS ha⁻¹, respectivamente (Tabela 3).

A TAF diferiu entre tratamentos ($p = 0,0097$), sendo que, para as distâncias do sistema SP (SP1, SP2 e SP3), a TAF foi semelhante (62,5 kg MS ha⁻¹ d⁻¹) e 12% menor que no PS (71 kg MS ha⁻¹ d⁻¹). A TAFol não diferiu para nenhum dos efeitos avaliados ($p > 0,05$), com média de 19 kg MS ha⁻¹ d⁻¹.

Tabela 3. Médias das variáveis agrônômicas¶ para os tratamentos pleno sol (PS), 7,5 m Norte (SP2), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3), nos anos 1 e 2.

| Variável | Tratamento | | | | EPM# | Ano | | | p-valor | | |
|----------|---|---------|---------|---------|------|---------|--------|------|---------------|---------|--------|
| | PS | SP1 | SP2 | SP3 | | 1 | 2 | EPM | Tratamento(T) | Ano(A) | T×A |
| | ----- kg MS§ ha ⁻¹ ----- | | | | | | | | | | |
| MF | 3450 a† | 2740 c | 3040 b | 2710 c | 90 | 3480 a† | 2500 b | 85 | <,0001 | <,0001 | 0,9141 |
| MFol | 1000 | 850 | 900 | 790 | 70 | 970 a | 800 b | 40 | 0,2007 | 0,0005 | 0,2718 |
| MC | 1040 a | 850 b | 900 b | 900 b | 30 | 1090 a | 760 b | 30 | 0,0003 | <,0001 | 0,3328 |
| MM | 1360 a | 980 b | 1120 ab | 950 b | 110 | 1350 a | 850 b | 105 | 0,0691‡ | <,0001 | 0,6423 |
| AF | 12300 a | 10630 b | 10680 b | 10680 b | 450 | 10980 | 11160 | 455 | 0,0796‡ | 0,8241 | 0,6310 |
| AFol | 3630 | 3320 | 3170 | 3090 | 150 | 3080 b | 3520 a | 280 | 0,5378 | 0,0509‡ | 0,9455 |
| AC | 3710 | 3180 | 3290 | 3500 | 270 | 3450 | 3370 | 170 | 0,1245 | 0,8152 | 0,4116 |
| AM | 4760 | 3715 | 3950 | 3830 | 510 | 4310 | 3820 | 320 | 0,4736 | 0,2225 | 0,9028 |
| | ----- kg MS ha ⁻¹ d ⁻¹ ----- | | | | | | | | | | |
| TAF | 71 a | 61b | 62 b | 64 b | 2,1 | 67 | 63 | 2,1 | 0,0097 | 0,2737 | 0,5713 |
| TAFol | 20 | 19 | 18 | 18 | 1,5 | 19 | 20 | 1 | 0,6252 | 0,3767 | 0,9106 |
| TAC | 21 a | 19 b | 18 b | 21 a | 0,6 | 21 | 19 | 0,7 | 0,0099 | 0,1558 | 0,3258 |
| TAM | 27 | 22 | 23 | 23 | 2,73 | 26 a | 21 b | 1,7 | 0,4442 | 0,0630‡ | 0,8532 |
| | ----- % ----- | | | | | | | | | | |
| PFol | 29,4 | 31,1 | 30 | 29,6 | 2,3 | 28,1 b | 32 a | 1,4 | 0,9583 | 0,0446 | 0,4546 |
| PC | 30,3 | 30,9 | 29,7 | 32,9 | 0,8 | 31,4 | 30,5 | 0,6 | 0,1898 | 0,3190 | 0,5944 |
| PM | 38,7 | 35 | 37 | 34,7 | 3,8 | 38,8 a | 34 b | 2,2 | 0,8725 | 0,0510‡ | 0,5672 |
| IL | 95 b | 91 c | 92 c | 98 a | 0,82 | - | - | - | 0,0001 | - | - |
| | ----- kg MS ha ⁻¹ cm ⁻¹ ----- | | | | | | | | | | |
| DV | 119 a | 98 c | 109 b | 98 c | 3,1 | 124 a | 88 b | 2,7 | 0,0002 | <,0001 | 0,8361 |
| | ----- cm ² g ⁻¹ ----- | | | | | | | | | | |
| AFE | 175 b | 197 a | 179 b | 190 a | 7,6 | 176 b | 196 a | 6,1 | 0,0133 | 0,0016 | 0,5329 |
| | ----- cm ² cm ⁻² ----- | | | | | | | | | | |
| IAF | 2,9 | 3,3 | 2,9 | 3,2 | 0,43 | 3,3 | 2,9 | 0,21 | 0,8680 | 0,1195 | 0,1585 |
| | ----- folhas perfilho ⁻¹ ----- | | | | | | | | | | |
| FVP | 4 | 3,9 | 4 | 3,9 | 0,1 | 4 | 3,9 | 0,07 | 0,9436 | 0,2959 | 0,7613 |
| | ----- ° ----- | | | | | | | | | | |
| ANG | 26,2 | 26,7 | 27,2 | 27,5 | 3,6 | - | - | - | 0,7615 | - | - |

† Médias com letras diferentes na linha diferem pelo teste “t” de Student (tratamento) e “F” de Fischer (ano) (p < 0,05). ‡ Consideradas significativas com p < 0,10. § MS, matéria seca. ¶ MF, massa de forragem; MFol, massa de folha; MC, massa de colmo; MM, massa de material morto; AF, acúmulo de forragem; AFol, acúmulo de folha; AC, acúmulo de colmo; AM, acúmulo de material morto; TAF, taxa de acúmulo de forragem; TAFol, taxa de acúmulo de folha; TAM, taxa de acúmulo de material morto; PFol, proporção de folha; PC, proporção de colmo; PM, proporção de material morto; IL, interceptação de luz; DV, densidade volumétrica; AFE, área foliar específica; IAF, índice de área foliar; FVP, folhas vivas por perfilho; ANG, ângulo da folhagem. # EPM, erro padrão da média.

Houve efeito tratamento ($p = 0,0099$) para TAC. A maior TAC foi no PS e SP3, com aumento de 13% em relação a média do SP1 e SP2 ($18,7 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). A maior TAM ocorreu no primeiro ano ($26 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), a qual foi 19% maior que no segundo ano.

Não houve diferença para nenhum dos efeitos testados para PC ($p > 0,05$), mas a PFol e material morto diferiram entre anos ($p = 0,0446$ e $p = 0,0510$, respectivamente). O aumento em 14% na PFol do primeiro para o segundo ano seguiu padrão contrário a PM que apresentou redução de 12% (Tabela 3).

No sistema SP, a DV no PS foi maior que na média do SP1, SP2 e SP3. Houve redução média de 15% quando observado a DV média do SP1, SP2 e SP3 para o PS. Entre as distâncias avaliadas, a menor DV foi no SP1 e SP3 com de $97,9 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, 11% menor que no SP2 e 17% menor que no PS. No segundo ano a DV foi 30% menor que no primeiro ano (Tabela 3).

A AFE do dossel diferiu entre tratamentos ($p = 0,0799$) e anos ($p = 0,0010$). Os tratamentos SP2 e PS apresentaram os menores valores de AFE. O aumento na AFE próximas aos renques de árvores (SP1 e SP3) foi de 10% em relação ao PS e ao SP2. No segundo ano, a AFE aumentou em 11% em relação ao primeiro ano.

O IAF não diferiu na comparação entre tratamentos ($p = 0,8680$) e anos ($p = 0,1195$), com média de 3,1 ao longo do período experimental.

A IL diferiu entre tratamento ($p = 0,001$), com maiores valores no SP3 (98,2%), 2% maior que no PS e 7% maior que na média do SP1 e SP2. O ANG não diferiu para os efeitos avaliados ($p > 0,05$), com média de $26,8^\circ$. Assim como as FVP ($p > 0,05$), que em média apresentou 3,5 FVP (Tabela 3).

Houve interação tratamento \times ano para DPPV ($p = 0,0326$), DPPM ($p = 0,0278$), DPPT ($p = 0,0340$) e DPPV/M ($p = 0,0272$). No segundo ano, o PS apresentou maior DPPV ($1701 \text{ perfilhos m}^{-2}$) que na média das distâncias avaliadas no sistema SP ($1210 \text{ perfilhos m}^{-2}$). Esse aumento de 40% seguiu padrão diferente do primeiro ano, em que não foi identificado diferenças na DPPV entre tratamentos, permanecendo com média de $761 \text{ perfilhos m}^{-2}$ para todos os tratamentos avaliados (Tabela 4).

Do primeiro para o segundo ano, a DPPV foi maior para todos os tratamentos. Em média, nos tratamentos PS, SP1, SP2 e SP3, a DPPV aumentou em 120, 64, 71 e 43%, respectivamente (Tabela 4).

No primeiro ano, a DPPM foi constante entre tratamentos, com média de $314 \text{ perfilhos m}^{-2}$ (Tabela 4). Já no segundo ano, a DPPM foi maior no PS e SP2, com média de $335 \text{ perfilhos m}^{-2}$, padrão semelhante às médias observadas para DPPV. O PS apresentou DPPM

67% maior que no SP1 e 259% superior ao SP3. No SP1 e SP3, a DPPM reduziu em 32% e 68% no segundo ano, respectivamente.

No segundo ano, a DPPT foi maior no PS e o menor no SP3 (Tabela 4). No entanto, no primeiro ano, a DPPT foi igual entre os tratamentos (1103 perfilhos m^{-2}). Do primeiro para o segundo ano, a DPPT reduziu em 35, 47, e 77% para o PS, SP1 e SP3, respectivamente, seguindo de resposta semelhante a DPPV. Houve alteração dessa resposta somente no SP3, que não diferiu entre anos ($p = 0,2870$).

A relação DPPV/M não diferiu entre os tratamentos no primeiro ano (Tabela 4). No segundo ano, a DPPV/M foi 115% maior no SP3, que na média dos demais tratamentos. Do primeiro para o segundo ano, a DPPV/M aumentou em 76, 280 e 88% no SP2, SP3 e PS, respectivamente. A DPPV/M, não diferiu entre anos ($p = 0,1445$) para o SP1 (Tabela 4).

Tabela 4. Média das variáveis de perfilhos§ no pleno sol (PS), 7,5 m Norte (SP2), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3), nos anos 1 e 2.

| Ano | PS | SP1 | SP2 | SP3 | EPM¶ |
|---|---------|---------|--------|--------|------|
| ----- perfilho m^{-2} ----- | | | | | |
| DPPV | | | | | |
| 1 | 774 | 747 | 761 | 764 | 87 |
| 2 | 1701 a† | 1228 b | 1304 b | 1096 b | 90 |
| p-valor | <,0001 | 0,0018 | 0,0007 | 0,0338 | |
| EPM | 87 | 87 | 87 | 99 | |
| DPPM | | | | | |
| 1 | 288 | 322 | 329 | 317 | 61 |
| 2 | 366 a | 219 bc | 305 ab | 102 c | 62 |
| p-valor | 0,2434 | 0,0825‡ | 0,6520 | 0,0025 | |
| EPM | 64 | 60 | 60 | 60 | |
| DPPT | | | | | |
| 1 | 1168 | 1070 | 1091 | 1082 | 126 |
| 2 | 2067 a | 1447 bc | 1609 b | 1255 c | 126 |
| p-valor | <,0001 | 0,0302 | 0,0051 | 0,2870 | |
| EPM | 126 | 126 | 126 | 126 | |
| ----- perfilho perfilho ⁻¹ ----- | | | | | |
| DPPV/M | | | | | |
| 1 | 2,5 | 2,7 | 2,5 | 2,5 | 0,57 |
| 2 | 4,7 b | 4,1 b | 4,4 b | 9,5 a | 0,6 |
| p-valor | 0,0174 | 0,1445 | 0,0167 | <,0001 | |
| EPM | 0,6 | 0,6 | 0,53 | 0,6 | |

† Médias com letras diferentes na linha diferem pelo teste “t” de Student ($p < 0,05$). ‡ Consideradas significativas com $p < 0,10$. § DPPV, densidade populacional de perfilhos vivos; DPPM, densidade populacional de perfilhos mortos; DPPT, densidade populacional de perfilhos totais; DPPV/M, relação DPPV/DPPM. ¶ EPM, erro padrão da média.

2.4. DISCUSSÃO

O sombreamento em sistemas silvipastoris pode causar alterações nos padrões de escolha dos locais de pastejo, ruminação e outras atividades por parte dos animais (DOMICIANO et al., 2018). O método de pastejo sob lotação contínua com taxa de lotação variável tem o objetivo de manter uma característica do dossel relativamente constante. Quanto mais intenso o sombreamento, mais a planta particiona fotoassimilados para a parte aérea, podendo alterar a altura do dossel (ALMEIDA et al., 2014; CRESTANI, 2015). Nessas condições, gramíneas, como as do gênero *Brachiaria* podem aumentar o alongamento de colmos e de folhas para aumentar a exposição à luz (PACIULLO et al., 2008; MARTUSCELLO et al., 2009).

Em média, a altura do dossel foi 28 cm, dentro do limite estipulado de manejo (30 cm \pm 5 cm) (Figura 3). Esse resultado demonstra que a redução da RFA incidente no capim-marandu não foi suficiente para alterar a altura do dossel forrageiro sob lotação contínua. Avaliando um sistema SP na orientação Norte-Sul, espaçado a 22 m entre os renques das árvores, com capim-piatã em lotação contínua, Santos et al. (2016) também não encontraram alteração na altura do dossel entre as distâncias dos renques das árvores, constatando que, a redução de 42,5% na RFA, não resultou em modificações na estrutura da forrageira durante a estação chuvosa.

No presente estudo, as médias das temperaturas mínima e máxima tiveram pouca variação entre os tratamentos e os anos avaliados (Figura 2 e Tabela 2). A balanço hídrico foi positivo durante o período experimental (Figura 2), uma vez que, a ocorrência da precipitação no primeiro e no segundo ano, foi de 70,9 (165 dias; 1602 mm) e 71,5% (158 dias; 1605 mm). A declinação solar foi determinante da quantidade de RFA incidente no dossel forrageiro entre os tratamentos ao longo dos dois anos experimentais (Tabela 2; Figuras 4 e 5). Essa variação na RFA foi influenciada pela presença das árvores no sistema SP, com projeção do sombreamento sendo condicionada pela declinação solar, mesmo quando os renques das árvores do sistema SP estavam orientados no sentido Leste-Oeste e espaçados a 30 m. Nessas condições, o manejo do pastejo foi essencial para manter a altura do dossel com menos alterações possíveis, permitindo que o sistema SP fosse produtivo, assim como o sistema a PS.

O AFol e a TAFol foram semelhantes entre os tratamentos demonstrando que a produtividade da forragem pode ser mantida quando respostas adaptativas compensam a redução da luz incidente no dossel forrageiro. A AFE foi maior para o SP1 e SP3 em

comparação ao PS e SP2, demonstrando que a forrageira apresenta mecanismos para compensar a redução dos níveis de luz incidente. A produção de forragem não é afetada ou é levemente diminuída em pastagens com sombreamento de até 30% a 40%, desde que a espécie forrageira tenha tolerância à sombra (PACIULLO et al., 2010; SOUSA et al., 2010).

Em um sistema SP com capim-piatã espaçado a 12 m entre renques na orientação norte-sul, Santos et al. (2016) encontraram aumento de 38,8% na AFE em condições de sombreamento intenso, em relação a ambientes não sombreados, sugerindo que essa seria uma forma de amenizar o impacto da redução na produção de forragem. Gómez et al. (2013) também encontraram padrão de resposta semelhante em estudo com *B. decumbens*, com aumento de 45% na AFE como mecanismo compensatório ao aumento do sombreamento. No presente estudo, a AFE aumentou em média 9% no SP1 e SP3 em relação à média do SP2 e PS ($177 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$). Esse aumento na AFE ocorreu quando a RFA diminuiu 24% no SP1 e SP3 em relação ao PS. Assim, a AFE pode ser considerada uma resposta ao aumento do sombreamento.

A maior AFE nos tratamentos SP1 e SP3 contribuiu para que a luz incidente no dossel forrageiro fosse melhor utilizada, o que pode ter compensando a menor população de perfilhos nas distâncias dos renques em relação ao PS no segundo ano. Isso é consistente com o AFol semelhante em todos os tratamentos. Para que o AF dos sistemas silvipastoris possam ser mantidos, o manejo do sistema, com desbaste e desrama devem ser feitos afim de permitir que a luz incida no dossel forrageiro, o que, juntamente com manejo do pastejo, contribui para manter os sistemas silvipastoris produtivos a longo prazo (PONTES et al., 2017).

Não houve diferença no AF e na TAF entre anos, sendo que nos menores níveis de RFA no segundo ano, a produção de forragem foi semelhante ao primeiro ano. No segundo ano, a DPPV foi maior em todos os tratamentos avaliados, o que demonstra que a redução da RFA não prejudicou o perfilhamento da forrageira. Sistemas silvipastoris manejados de forma a minimizar o sombreamento sobre o dossel forrageiro podem manter as respostas produtivas da forrageira semelhante ao PS (PACIULLO et al., 2017). O sistema SP encontrava-se no segundo ano, pós desbaste das árvores, com reduções pequenas na RFA do primeiro para o segundo ano. Esse fator, juntamente com a altura do dossel forrageiro mantida consistentemente próxima aos 30 cm e o excedente hídrico pode ter contribuído para que o AFol e a TAFol não fossem afetados.

As plantas forrageiras sob RFA reduzida podem ter menor MFol com maior massa de colmo (MC), causados por respostas à mudança na relação vermelho/vermelho distante dos sistemas sombreados (BALDISSERA et al., 2016). Em contrapartida, pode apresentar menor

MM decorrente à redução nas taxas de transpiração (TAIZ et al., 2017), conforme observado no presente estudo. Essas respostas podem variar dependendo dos níveis de sombreamento e das condições microclimáticas e edáficas nos diferentes locais dentro do sistema SP e ao longo do tempo. No presente estudo a maior redução da MF foi em função da menor RFA nos locais mais próximas dos renques (SP1 e SP3). Em relação ao PS ($922,5 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$), no SP1 e SP3 a RFA reduziu para 727 e $672,5 \mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$, respectivamente. Com essas reduções em 21 e 27% na RFA, a MF nesses tratamentos foram em média 21% menor que no PS. A redução de 12% na MF do SP2 em relação ao PS acompanhou o padrão de redução de 12,5% da RFA.

Belesky et al. (2011) verificaram que plantas que se desenvolvem em ambiente sombreados apresentam redução na DPPT e alongam rapidamente as folhas, podendo afetar diretamente o AF. Foi identificado aumento de 15% no AF no PS em relação as distâncias do sistema SP (SP1, SP2 e SP3). A maior DPPM e DPPT do PS em relação ao SP1, SP2 e SP3 contribuiu para o o maior AF. Esses aumentos na DPPM, assim como na DPPV e DPPT no PS são decorrentes do desenvolvimento de dosséis sem limitação à luz. Nessa condição, com a competição intraespecífica, aumenta a senescência de perfilhos, porém apresenta maior número de perfilhos vivos, aumentando a MF e o AF (Tabela 3).

A quantidade de RFA no SP1, SP2 e SP3 variou em relação ao PS ocasionando alteração nas repostas relacionadas a DPPV, DPPM e DPPT. A densidade de perfilhos foi determinante da MF, o que afetou diretamente a DV. Em experimento conduzido com *B. decumbens*, Faria et al. (2018) observaram redução número de perfilhos, por consequência da redução da redução na RFA em 36% (condições de sombreamento considerado moderado). Esse resultado foi consistente com o presente estudo, que apresentou redução na DPPV nas distâncias avaliadas do sistema SP, comparativamente ao PS e consequentemente, menor DV para os tratamentos sombreados.

Durante o segundo ano, no PS e SP2, a DPPT e a DPPM foram superiores em relação ao SP1 e SP2. Esse padrão de reposta é consistente com a DV, que foi maior para o PS, seguido do SP2, e menor no SP1 e SP3, podendo ser explicado pela DPPV que não foi alterada entre as distâncias do sistema SP.

Alguns mecanismos como redução na DPPV e aumento na AFE podem compensar a redução na incidência de luz no dossel forrageiro (GÓMEZ et al., 2013). A menor DPPV no SP1, SP2 e SP3 em relação ao PS e a maior AFE no SP1 e SP3 em relação ao SP2 e PS demonstram que a forrageira reponde a redução na luz incidente. Reforçando que essa

adaptação pode ter sido responsável pela ausência de diferença no AFol e TAFol entre tratamentos.

A redução da luz incidente no dossel forrageiro no SP1, SP2 e SP3 em relação ao PS não foi suficiente para causar alterações no IAF. No segundo, o IAF manteve-se constante, possivelmente pelo aumento na DPPV em todos os tratamentos avaliados, compensando a menor MF, pela maior população de perfilhos vivos.

Com padrão semelhante ao presente estudo, em condições de sombreamento leve a moderado, Paciullo et al. (2016a) constatou que a produção da parte aérea dos perfilhos existentes no dossel forrageiro do sistema SP aumentaram, com AF semelhante ao sistema PS. A semelhança no IAF entre os tratamentos avaliados, assim como o AFol e a TAFol desse estudo, reforça que, a capacidade das espécies forrageiras em se manterem tolerantes sob sombreamento dos sistemas silvipastoris. Esses fatores conjuntamente com o aumento da AFE, contribuem para a forrageira sob sombreamento mantenham a assimilação de carbono, melhorando o crescimento à sombra (GUENNI et al., 2018; PACIULLO et al., 2017).

A IL do dossel foi superior no SP3 em comparação aos demais tratamentos, pois a quantidade de luz que chega a base do dossel foi menor. Nas distâncias do sistema SP com maior incidência de luz (SP1 e SP2), a IL foi em média 91,6%, resultante da menor interferência do sombreamento proporcionado pelas copas das árvores, permitindo que mais luz chegasse à base do dossel, reduzindo a IL.

O ANG não foi alterado, sugerindo que, o sombreamento do sistema SP, juntamente com os próprios mecanismos de tolerância da planta aos níveis de sombreamento do sistema SP, não fosse suficiente para causar alterações dessa característica da planta entre os tratamentos avaliados.

As plantas forrageiras são capazes de compensar a redução do crescimento com aumento nas proporções dos componentes morfológicos, o que em sistemas de pastejo influencia no consumo de forragem pelos animais (GEREMIA et al., 2018). PFol, PC e PM não diferiram entre os tratamentos. Porém, no segundo ano, a PFol aumentou de 28,1% para 32%, assim como houve redução de 38,8% para 34% na PM, acompanhado pela redução de 19,3% na taxa de acúmulo de material morto (TAM), mesmo não afetando o acúmulo de material morto (AM; $p > 0,05$) no presente experimento. A proporção dos componentes morfológicos pode ser mantido semelhante aos dos sistemas PS, como um dos mecanismos de tolerância morfofisiológicas em reposta a redução na radiação solar incidente no dossel forrageiro (BALLARÉ; CASAL, 2000). Isso pode ser observado pela semelhança no IAF do

dossel entre os tratamentos estudados. Essa adaptação pode ter sido otimizada em decorrência da menor oscilação na altura do dossel no segundo ano (Figura 3).

Estudos tem evidenciado que os mecanismos de tolerância ao sombreamento das forrageiras não afetam ou diminuem o acúmulo de forragem (AF) quando há redução na RFA em até 30 a 40% em relação ao PS (SOUSA et al., 2010; PACIULLO et al., 2016b). Aumentos no teor de clorofila, AFE, taxa de alongamento de folha e relação parte aérea: raiz são considerados alguns dos principais mecanismos de compensação da redução da RFA, para que a capacidade fotossintética da forrageira não seja alterada, mantendo o AF em áreas com sombreamento moderado (SOUSA et al., 2010; PACIULLO et al., 2016b).

O número de folhas vivas por perfilho não foi alterado, enquanto a AFE foi maior no SP1, SP2 e SP3 em comparação ao PS. A quantidade de FVP semelhante em todas as distâncias do sistema SP, juntamente com a menor DPPM, IAF semelhante entre os tratamentos e os anos e, a maior AFE para interceptação da RFA, pode ter contribuído para o AFol ser semelhante ao PS. A MF e a DPPV foram menores nas distâncias do sistema SP em relação ao PS, demonstrando que, em condições que a luz incidente no dossel forrageiro não é limitada pela presença de árvores, o perfilhamento aumenta, contribuindo para a restauração da área foliar (CRESTANI et al., 2017).

Os dosséis das árvores interceptam parte da luz incidente, afetando o montante total da radiação que seria utilizada pelas plantas forrageiras em seus processos fisiológicos, podendo impactar no seu desenvolvimento. Quando parte da luz incidente é interceptada pelas árvores, parte do comprimento de onda, na fração do vermelho é absorvida pelas árvores (BLANKENSHIP, 2017). Isso causa redução na relação vermelho/vermelho distante, proporcionado pelo aumento do sombreamento. Nessas condições, os meristemas apicais podem ter seu desenvolvimento prejudicado ou até mesmo inibido (BLANKENSHIP, 2017).

A redução da DPPV em ambientes sombreados contribui para a alocação dos fotoassimilados para os perfilhos existentes (GOMMERS et al., 2013). A DPPV e DPPT foram semelhantes entre os tratamentos no primeiro ano, com aumento na DPPV em todos os tratamentos do primeiro para o segundo ano. O acúmulo de colmo (AC) e o acúmulo de material morto (AM) foi semelhante entre os tratamentos e entre os anos, porém, a taxa de acúmulo de colmo foi maior no PS e SP3. Isso é um indicativo de que, a redução da RFA pode alterar a velocidade de realocação da matéria seca para órgãos outros órgãos da planta. A maior relação entre a DPPV e DPPM (DPPV/M) no SP3 demonstra que, priorizar a partição de matéria seca para a parte aérea da planta contribuiu para manutenção da estrutura do dossel.

A MF foi maior no PS, seguido do SP2 (Tabela 3). Esse aumento pode ter sido ocasionado pela maior população de perfilhos mortos nesses tratamentos. Nos tratamentos com menor DPPV, o aumento da AFE pode ter contribuído com a exposição das folhas da forrageira à luz, maximizando o crescimento e o IAF constante em ambientes com luminosidade reduzida. Isso sugere que espécies que utilizam esse mecanismo de adaptação tenham mais tolerância ao sombreamento (PERI et al., 2007), contribuindo para que as plantas submetidas a ambientes com pouca luz melhore a fixação de carbono (VALLADARES; NIINEMETS, 2008).

2.5. CONCLUSÕES

O capim-marandu em sistema SP com linhas triplas de árvores (3,5 x 3,0 m entre linhas e entre árvores) com 18 m de altura, na orientação Leste-Oeste, espaçados a 30 m, com redução média na RFA de até 25% apresenta mecanismos de tolerância a restrição de luz para manter a produtividade de folhas semelhante ao PS.

O sistema SP no presente estudo se mostrou uma alternativa promissora. Para que a produtividade forrageira seja mantida, a adoção de técnicas que permitam que a radiação solar incida no dossel forrageiro é essencial.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao fomento do projeto pela: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Mato Grosso (FAPEMAT), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Associação dos Criadores do Mato Grosso (ACRIMAT), Associação dos Criadores do Norte de Mato Grosso (ACRINORTE), Fortuna Nutrição Animal, Associação para o Fomento à Pesquisa de Melhoramento de Forrageiras (UNIPASTO) e a Associação Rede ILPF.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. G.; BARBOSA, R. A.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. Forage grasses in integrated cattle production systems. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. (Ed.). **Integrated crop-livestock-forestry systems, a brazilian experience for sustainable farming**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 101–107.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- BALDASSINI, P.; DESPÓSITO, C.; PIÑEIRO, G.; PARUELO, J. M. Silvopastoral systems of the Chaco forests: Effects of trees on grass growth. **Journal of Arid Environments**, v. 4453, n. 6, 2018.
- BALDISSERA, T. C.; PONTES, L. da S.; GIOSTRI, A. F.; BARRO, R. S.; LUSTOSA, S. B. C.; MORAES, A. de; CARVALHO, P. C. de F. Sward structure and relationship between canopy height and light interception for tropical C 4 grasses growing under trees. **Crop and Pasture Science**, v. 67, n. 11, p. 1199–1207, 2016.
- BALLARÉ, C. L. Illuminated behaviour: Phytochrome as a key regulator of light foraging and plant anti-herbivore defence. **Plant, Cell and Environment**, v. 32, n. 6, p. 713–725, 2009.
- BALLARÉ, C. L.; CASAL, J. J. Light signals perceived by crop and weed plants. **Field Crops Research**, v. 67, n. 2, p. 149–160, 2000.
- BALLARÉ, C. L.; SCOPEL, L.; SANCHEZ, R. Foraging for light: photosensory ecology and agricultural implications. **Plant Cell and Environment**, v. 20, n. 6, p. 820–825, 1997. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-112.x>>.
- BELESKY, D. P.; BURNER, D. M.; RUCKLE, J. M. Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a light gradient. **Grass and Forage Science**, v. 66, n. 3, p. 370–380, 2011.
- BLANKENSHIP, R. E. Fotossíntese: reações luminosas. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Ed.). **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. p. 858.
- CRESTANI, S. **Respostas morfológicas e dinâmica da população de perfilhos e touceiras em *Brachiaria brizantha* cv Piatã submetida a regimes de sombra em área de integração lavoura-pecuária-floresta**. 2015. Thesis (Doctorate) - University of São Paulo - Superior College of Agriculture “Luiz de Queiroz”, 2015.
- CRESTANI, S.; MASCHERONI, J. D. C.; VERA GEREMIA, E.; CARNEVALLI, R. A.; MOURÃO, G. B.; DA SILVA, S. C. Sward structural characteristics and herbage accumulation of Piatã palisade grass (*Brachiaria brizantha*) in a crop-livestock-forest integration area. **Crop and Pasture Science**, v. 68, n. 9, p. 859–871, 2017.

DOMICIANO, L. F.; MOMBACH, M. A.; CARVALHO, P.; DA SILVA, N. M. F.; PEREIRA, D. H.; CABRAL, L. S.; LOPES, L. B.; PEDREIRA, B. C. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Animal Production Science**, v. 58, n. 5, p. 920–929, 2016.

EMBRAPA. **Normais climatológicas da Embrapa Agrossilvipastoril - Sinop - MT.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/estacao-meteorologica>>. Acesso em: 25 maio. 2018.

FARIA, B. M.; MORENZ, M. J. F.; PACIULLO, D. S. C.; LOPES, F. C. F.; GOMIDE, C. A. de M. Growth and bromatological characteristics of *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria ruziziensis* under shading and nitrogen. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 3, p. 529–536, 2018. Disponível em: <<http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/1806-6690.20180060>>.

GEREMIA, E. V.; CRESTANI, S.; MASCHERONI, J. D. C.; CARNEVALLI, R. A.; MOURÃO, G. B.; DA SILVA, S. C. Sward structure and herbage intake of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã in a crop-livestock-forestry integration area. **Livestock Science**, v. 212, n. August 2017, p. 83–92, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.03.020>>.

GÓMEZ, S.; GUENNI, O.; BRAVO DE GUENNI, L. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *brachiaria decumbens* stapf. **Grass and Forage Science**, v. 68, n. 3, p. 395–407, 2013.

GOMMERS, C. M. M.; VISSER, E. J. W.; ONGE, K. R. S.; VOESENEK, L. A. C. J.; PIERIK, R. Shade tolerance: When growing tall is not an option. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 2, p. 65–71, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.008>>.

GUENNI, O.; ROMERO, E.; GUÉDEZ, Y.; BRAVO DE GUENNI, L.; PITTERMANN, J. Influence of low light intensity on growth and biomass allocation, leaf photosynthesis and canopy radiation interception and use in two forage species of *Centrosema* (DC.) Benth. **Grass and Forage Science**, n. April, 2018. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/gfs.12368>>.

KENWARD, M. G.; ROGER, J. H. Small Sample Inference for Fixed Effects from Restricted Maximum Likelihood. **Biometrics**, v. 53, n. 3, p. 983, 1997. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2533558?origin=crossref>>.

LANA, R. M. Q.; LANA, Â. M. Q.; REIS, G. L.; LEMES, E. M. Productivity and nutritive value of *brachiaria* forage intercropping with eucalyptus in a Silvopastoral system in the Brazilian Cerrado biome. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 5, p. 654–659, 2016.

MARTINS, C. D. M.; EUCLIDES, V. P. B.; BARBOSA, R. A.; MONTAGNER, D. B.; MIQUELOTO, T. Consumo de forragem e desempenho animal em cultivares de *Urochloa humidicola* sob lotação contínua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 10, p. 1402–1409, 2013.

MARTUSCELLO, J. A.; JANK, L.; MARQUES, M.; NETO, G.; LAURA, A.; NORONHA, D. De; VIEIRA, F. Revista Brasileira de Zootecnia Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento Genus *Brachiaria* grass yields under different shade levels. v. 3598, 2009.

MAURIG, M. V.; BERNARDIS, A. C. PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE BRACHIARIA (*Brachiaria brizantha*) CV. MARANDÚ EN DOS SISTEMAS SILVOPASTORILES DE PINO (*Pinus elliottii*) EN CORRIENTES, ARGENTINA. **Chilean journal of agricultural & animal sciences**, v. 33, n. 2, p. 124–135, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-38902017000200124&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.cl/pdf/chjaasc/v33n2/0719-3890-chjaasc-00402.pdf>.

PACIULLO, D. S. C.; CAMPOS, N. R.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T. de; TAVELA, R. C.; ROSSIELLO, R. O. P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 917–923, 2008.

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, n. 3, p. 590–600, 2016a. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/gfs.12264>>.

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, n. 3, p. 590–600, 2016b. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/gfs.12264>>.

PACIULLO, D. S. C.; PIRES, M. F. A.; MÜLLER, M. D. Oportunidades e desafios dos sistemas integrados na produção animal: ênfase nos sistemas silvipastoris Opportunities and challenges of integrated systems in animal production: emphasis on silvopastoral systems. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Volumen**, v. 25, n. 12, p. 25–35, 2017. Disponível em: <http://ojs.alpa.org.ve/index.php/ojs_files/article/viewFile/2566/1005>.

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

PERI, P. L.; MOOT, D. J.; MCNEIL, D. L. Modelling photosynthetic efficiency (α) for the light-response curve of cocksfoot leaves grown under temperate field conditions. **European Journal of Agronomy**, v. 22, n. 3, p. 277–292, 2005.

PERI, P. L.; MOOT, D. J.; MCNEIL, D. L. Validation of a canopy photosynthesis model for cocksfoot pastures grown under different light regimes. **Agroforestry Systems**, v. 67, n. 3, p. 259–272, 2006.

PONTES, L. S.; CARPINELLI, S.; STAFIN, G.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; SANTOS, B. R. C. do. Relationship between sward height and herbage mass for integrated crop-livestock systems with trees. **Grassland Science**, v. 63, n. 1, p. 29–35, 2017.

RIEGER, F. A.; ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; DE SOUZA, A. P.; MATOS, E. da S.; DE SOUZA MAGALHÃES, C. A.; DE FARIAS NETO, A. L. Water erosion on an Oxisol under integrated Crop-Forest systems in a transitional area between the Amazon and cerrado biomes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1–12, 2016.

RODRIGUES, R. C.; DE LIMA, A. J. T.; DE ARAÚJO, R. A.; DE JESUS, A. P. R.; DOS SANTOS COSTA, C.; SANTOS, F. N. S.; COSTA, F. O.; CUTRIM, J. A. A.; SHIGAKI, F.; AZEVÊDO, D. M. M. R. Agronomic, morphogenic and structural characteristics of Marandu grass in silvopastoral systems composed of babassu palm and grass monoculture. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 2331–2341, 2016.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, D. D. C.; JÚNIOR, R. G.; VILELA, L.; PULROLNIK, K.; BUFON, V. B.; FRANÇA, A. F. D. S. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 233, p. 16–24, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.026>>.

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

SOUSA, L. F.; MAURÍCIO, R. M.; MOREIRA, G. R.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; PEREIRA, L. G. R. Nutritional evaluation of “Braquiarão” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. **Agroforestry Systems**, v. 79, n. 2, p. 189–199, 2010.

SOUZA, L. H. C.; MATOS, E. da S.; MAGALHÃES, C. A. de S.; DE LA TORRE, É. R.; LAMAS, F. M.; LAL, R. Soil carbon and nitrogen stocks and physical properties under no-till and conventional tillage cotton-based systems in the Brazilian Cerrado. **Land Degradation and Development**, n. January 2017, p. 3405–3412, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A.; MASTROBERBI. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology: (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1), 1955.

VALLADARES, F.; NIINEMETS, Ü. Shade Tolerance, a Key Plant Feature of Complex Nature and Consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 39, n. 1, p. 237–257, 2008. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173506>>.

WOLFINGER, R.; O’CONNELL, M. Generalized linear mixed models a pseudo-likelihood approach. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, v. 48, n. 3–4, p. 233–243, 1993. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00949659308811554>>.

3. ADAPTAÇÃO DO MODELO APSIM PARA O CAPIM-MARANDU SOB LOTAÇÃO CONTÍNUA EM SISTEMA SILVIPASTORIL

RESUMO

Em sistemas silvipastoris, o sombreamento em níveis contrastantes ocasionado pela presença das árvores interfere nas respostas produtivas da forrageira sob pastejo. O ambiente de pastagem no qual as plantas forrageiras se desenvolvem é dinâmico e complexo devido à natureza das interações solo-planta-animal. Esses aspectos dinâmicos podem ser racionalizados, avaliados, e explicados utilizando-se a modelagem matemática. O objetivo do presente estudo foi parametrizar o modelo *APSIM-Tropical Pasture* para simular o crescimento do capim-marandu [*Brachiaria brizantha* (Hochst A Rich) Stapf, sin. *Urochloa brizantha* cv. Marandu] sob lotação contínua com taxa de lotação variável em diferentes níveis de sombreamento ocasionado pela presença de árvores em um sistema silvipastoril (SP). O ponto de partida para a adaptação do modelo foi uma calibração previamente realizada para o capim-piatã sob lotação rotativa em sistema SP. Os dados utilizados para calibrar e testar o modelo foram coletados em um experimento conduzido por 36 meses com tratamentos a pleno sol (PS) e sob sombreamento do sistema SP, em Sinop, MT. As simulações da massa de forragem (MF), após teste do modelo, o coeficiente de determinação (R^2) variou entre 0,76 e 0,94; o índice de concordância de Willmott (d) entre 0,93 e 0,96; a Eficiência de Nash-Sutcliffe (ENS) entre 0,67 e 0,84; o erro médio (EM) entre -40 e 180 kg MS ha⁻¹; o erro médio absoluto entre 220 e 380 kg MS ha⁻¹ e; a raiz do quadrado médio do erro (RQME) entre 275 e 454 kg MS ha⁻¹. O modelo *APSIM-Tropical Pasture* pode ser usado para simular o crescimento do capim-marandu sob lotação contínua a PS e em condições contrastantes de sombreamento do sistema SP.

Palavras-chave: Integração pecuária floresta, Modelagem de sistemas agrícolas, Modelo de simulação, Tomada de decisão

ABSTRACT

In silvopastoral systems, the shading at contrasting levels caused by the presence of the trees interferes in the productive responses of the forage under grazing. The pasture environment in which forage plants develop is dynamic and complex due to the nature of soil-plant-animal interactions. These dynamic aspects can be rationalized, evaluated, and explained using mathematical modeling. The objective of the present study was to parameterize the *APSIM-Tropical Pasture* model to simulate the growth of the Marandu palisadegrass [*Brachiaria brizantha* (Hochst A Rich) Stapf, sin. *Urochloa brizantha* cv. Marandu] under continuous stocking with variable stocking rate at different levels of shade caused by the presence of trees in a silvopastoral (SP) system. The starting point for the adaptation of the model was a calibration previously performed for the Piatã palisadegrass under rotational stocking in a SP. The data

used to calibrate and test the model were collected in a 36-month experiment with full sun (FS) and shade treatments of the SP system in Sinop, MT. Forage mass (FM) simulations, after model testing, the coefficient of determination (R^2) varied between 0.76 and 0.94; the Willmott concordance index (d) between 0.93 and 0.96; the Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) between 0.67 and 0.84; the mean error (ME) between -40 and 180 kg DM ha⁻¹; the absolute mean error between 220 and 380 kg DM ha⁻¹ and; the root mean square error (RMSE) between 275 and 465 kg DM ha⁻¹. The APSIM-*Tropical Pasture* model can be used to simulate the growth of Marandu palisadegrass under continuous stocking in FS and in contrasting shading conditions of the SP.

Keywords: Agricultural systems modeling, Decision making, Forest livestock integration, Simulation model

3.1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país predominantemente de clima tropical, com elevado potencial para produção de ruminantes em pastagens. No entanto, as respostas fisiológicas das plantas forrageiras são afetados pela disponibilidade hídrica, a fertilidade do solo, a temperatura, e a radiação solar, principalmente (ZHU et al., 2008). Essas variabilidades climáticas podem ser minimizadas em sistemas silvipastoris, favorecendo a produção pecuária com a cultura florestal na mesma área (PACIULLO et al., 2017). Esses sistemas são conhecidos por serem complexos e dinâmicos, ou seja, o planejamento, a escolha das espécies vegetais e animais, o espaçamento e orientação que permitam incidência de radiação solar no dossel forrageiro são essenciais (PACIULLO et al., 2017).

O capim-marandu é uma gramínea forrageira perene, lançada pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) em 1984 e a forrageira mais utilizada na pecuária bovina de corte brasileira, ocupando aproximadamente 44% dos 115 milhões de ha pastagens cultivadas no Brasil (PEREIRA; COSTA, 2015). As principais características do capim-marandu são: tolerância a baixos níveis de fertilidade do solo e a cigarrinhas das pastagens (*Deois flavopicta*); além da elevada produção de forragem com bom valor nutritivo (NUNES et al., 1984).

Por ser a espécie forrageira mais utilizada na pecuária brasileira, o capim-marandu também se enquadra como um dos cultivares de plantas forrageiras mais estudadas. Diversos trabalhos com o uso desse cultivar sob diferentes manejos foram desenvolvidos no Brasil para explicar as respostas de plantas e animais a diferentes estratégias de manejo (SILVA; SBRISSIA, 2010; GIMENES et al., 2011; PAIVA et al., 2011, 2012, DA SILVA et al., 2013, 2015; ELGALISE et al., 2015).

Plantas forrageiras sob condições climáticas não limitantes para o seu desenvolvimento expressam respostas aos demais fatores do ambiente, como fertilidade (PEREIRA et al., 2015; YASUOKA et al., 2017) e manejo (DA SILVA et al., 2015; PEREIRA et al., 2015; BALDISSERA et al., 2016; PONTES et al., 2018). Quando fatores como a disponibilidade de água e nutrientes, e o manejo não limitam o crescimento da forrageira em sistemas silvipastoris, a radiação solar é um forte determinante da estrutura do dossel forrageiro (PONTES et al., 2017) e nos sistemas silvipastoris, a radiação solar é a principal variável utilizada para explicar as respostas da forrageira (PERI et al., 2005; CHRISTOPHE et al., 2006; PERI et al., 2007; CRESTANI et al., 2017; LOPES et al., 2017).

O uso de modelos matemáticos surge como uma alternativa para o planejamento de sistemas produtivos em diferentes ambientes e/ou microambientes, como nos sistemas silvipastoris. Para tanto, os modelos de simulação devem ser parametrizados e testados (ARAUJO et al., 2013; PEZZOPANE et al., 2018).

Os modelos mecanísticos quando bem calibrados podem considerar os fatores que afetam a produtividade, sendo capazes de gerar respostas de âmbito universal (ANDRADE et al., 2015). Esses modelos exigem mais dados de entrada (“*input*”), especialmente relacionados ao solo e ao clima (HOLZWORTH et al., 2014). Isso traz vantagens em relação a outros tipos de modelos, pela capacidade de serem utilizados com eficiência no planejamento e tomada de decisão, na implantação e manejo de sistemas pastoris, zoneamento agroclimático, projeção de safras, etc. (HOLZWORTH et al., 2018).

Nos últimos anos, diversos modelos mecanísticos foram parametrizados para simulações de espécies forrageiras de clima tropical em monocultivo no Brasil. Dentre essas calibrações, o modelo CROPGRO-*Perennial Forage* foi utilizado na modelagem de *Brachiaria brizantha* cvs. Xaraés (PEDREIRA et al., 2011), Marandu (PEQUENO et al., 2014) e BRS Piatã (BOSI, 2017), *Panicum maximum* cv. Tanzânia (LARA et al., 2012), *Cynodon dactylon* cv. Tifton 85 (PEQUENO et al., 2017) e *Brachiaria híbrida* cv. Mulato II (PEQUENO et al., 2017). O modelo STICS foi parametrizado para *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã (SANTOS, 2016); o APSIM-*Growth* para *Panicum maximum* cv. Mombaça (ARAUJO et al., 2013); e o APSIM-*Tropical Pasture* para *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã (BOSI, 2017).

O “*Agricultural Production Systems sIMulator*” – *Simulador de Sistemas de Produção Agrícola* (APSIM) surgiu na década de 1990 como um sistema de software para simulação da produção de culturas agrícolas (HOLZWORTH et al., 2018). Desenvolvido pela *Agricultural Production Systems Research Unit* (APSRU), na Austrália, é um sistema de modelagem

modular e biofísico capaz de simular o crescimento de mais de 30 espécies de plantas, além de processos interconectados de solos, árvores, pastagens e culturas anuais e perenes (HOLZWORTH et al., 2014). Esses fatores contidos no modelo permitem identificar práticas de manejo nas atividades agropecuárias das fazendas, estratégias de adaptação às mudanças climáticas, e competição por recursos edafoclimáticos nos sistemas agroflorestais, entre outros fatores.

Os sistemas silvipastoris incorporam fatores de competição por recursos edafoclimáticos (nutrientes, água e luz, principalmente), podendo impactar as respostas da forrageira, devido aos seus efeitos sobre a estrutura do dossel forrageiro causadas pelo sombreamento das árvores. O *APSIM-Tropical Pasture* foi calibrado e testado em sistema PS e SP, mostrando-se adequado para simular o crescimento do capim-piatã sob corte e pastejo (lotação rotativa) em condições contrastantes de sombreamento (BOSI, 2017).

Desde que bem planejados, os sistemas silvipastoris podem ser viáveis produtivamente e economicamente, além de estarem inseridos em uma modalidade de produção pecuária sustentável (PONTES et al., 2016; PACIULLO et al., 2017; PONTES et al., 2018). Tais sistemas vêm se tornando uma modalidade de uso da terra promissora para intensificar a produção animal, devido aos possíveis benefícios que o sinergismo entre as culturas forrageiras e florestais podem proporcionar aos animais em pastejo. É necessário que simulações de crescimento da forrageira em competição por recursos naturais, como água e luz, sejam melhoradas e adaptadas a diferentes regiões de clima tropical.

Objetivou-se com o presente estudo, parametrizar o modelo *APSIM-Tropical Pasture* para a simulação do crescimento do capim-marandu pastejado sob lotação contínua com taxa de lotação variável em sistema a PS e em condições contrastantes de sombreamento do sistema SP.

A hipótese era de que, o modelo *APSIM-Tropical Pasture* previamente calibrado por Bosi (2017), quando utilizado para outro cultivar de clima tropical dentro da mesma espécie, pode simular com precisão e exatidão o crescimento da forrageira em sistema a PS e em condições contrastantes de sombreamento do sistema SP.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Local, implantação e condução do experimento

O trabalho foi realizado na Embrapa Agrossilvipastoril, em Sinop – MT, (latitude 11°51' S, longitude 55°35' O e 370 m de altitude), e conduzido de acordo com padrões éticos aprovado pelo Comitê de Ética no Uso Animal (Protocolo n° 008/2015). A área experimental apresenta clima Am (clima de monções) de acordo com a classificação de Köppen, com alternância bem definida entre estações chuvosas e seca (ALVARES et al., 2013), com temperatura do ar média anual de 25,5 °C, média das mínimas de 20,2 °C e máximas de 33 °C. A umidade relativa do ar média anual é 70% e a precipitação total anual média de 2.250 mm (EMBRAPA, 2018).

Os sistemas foram implantados no verão 2011/2012 em local de solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Eutroférico na classificação brasileira, em relevo suavemente inclinado (SANTOS et. al., 2018). Foram avaliados um sistema a pleno sol (PS) e um sistema silvipastoril (SP), ambos com 2 ha. O sistema SP foi estabelecido com árvores (*Eucalyptus urograndis* clone H13) com renques de linhas triplas espaçadas de 30 m na orientação Leste-Oeste, com a espécie forrageira ocupando 1,5 ha e 0,5 ha por árvores, com 270 árvores ha⁻¹ em quatro repetições (blocos), totalizando 16 ha de área experimental. Após um desbaste seletivo em outubro de 2016, a densidade das árvores foi de 150 árvores ha⁻¹. No espaço entre as fileiras triplas das árvores, foi estabelecido o capim-marandu. O estabelecimento do capim-marandu foi realizado por meio da semeadura mecanizada, com espaçamento de 20 cm entre linhas de plantio.

Desde a implantação da área experimental em dezembro de 2010, a forrageira permaneceu sob desfolhações mecânicas até fevereiro de 2015. De fevereiro a junho de 2015 foram utilizadas fêmeas bovinas mestiças da raça Gir e Holandês Preto e Branco em lotação rotativa com taxa de lotação fixa.

Os tratamentos avaliados corresponderam a 3 distâncias em relação ao renque central dentro do sistema SP, incluindo 7,5 m ao norte do renque (SP1), 15 m (SP2, ou meia-distância entre os renques), 7,5 m ao sul do renque (SP3), e o sistema a pleno sol PS, sem o componente arbóreo. Para o tratamento SP2 foi obtido a média das unidades amostrais das distâncias de 15 m nos lados norte e sul (Figura 6).

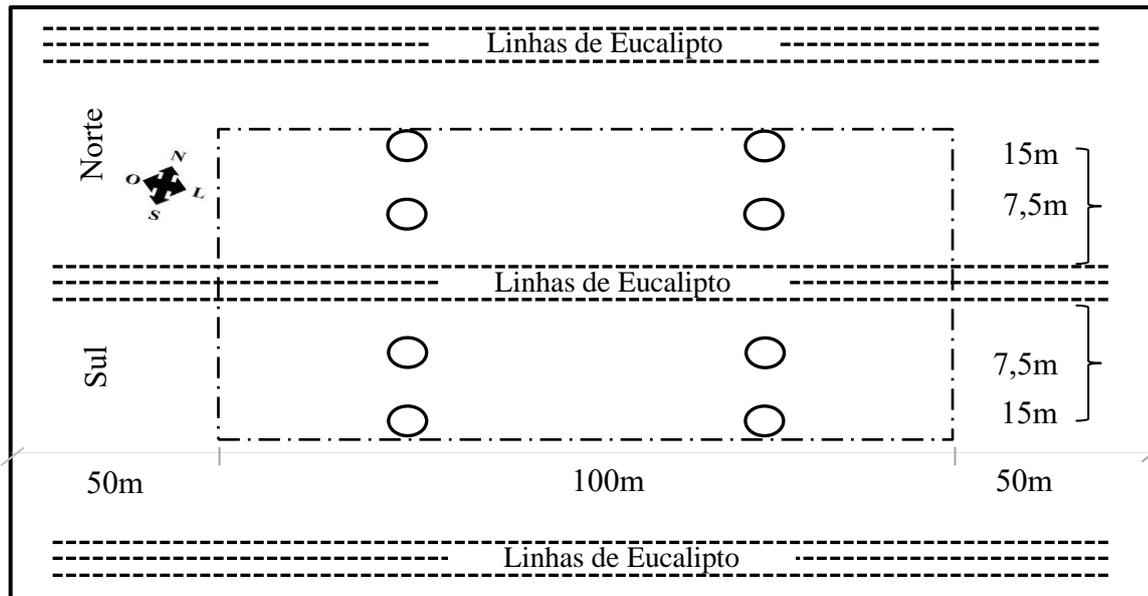


Figura 6. Croqui de uma unidade experimental do sistema silvipastoril com a representação dos locais de avaliação (tratamentos).

Desde a implantação da área experimental em dezembro de 2010, a forrageira permaneceu sob desfolhações mecânicas até fevereiro de 2015. De fevereiro a junho de 2015 foram utilizadas fêmeas bovinas mestiças da raça Gir e Holandês Preto e Branco em lotação rotativa com taxa de lotação fixa.

O período experimental foi de 01 de junho de 2015 a 16 de abril de 2018. As avaliações foram realizadas a representar três períodos experimentais: período 1 (junho 2015 a junho de 2016), período 2 (junho de 2016 a junho de 2017) e período 3 (junho de 2017 a abril de 2018).

Os dados climáticos [pluviosidade (mm) e temperatura (°C)] referentes ao período experimental foram obtidos no posto meteorológico da Embrapa Agrossilvipastoril, a 500 m do local do experimento. A pluviosidade foi de 1293, 2136 e 1762 mm, nos períodos 1, 2 e 3, respectivamente. O balanço hídrico foi calculado para o período experimental (THORNTHWAITE; MATHER, 1955), considerando uma capacidade de água disponível (CAD) de 40 mm (Figura 7).

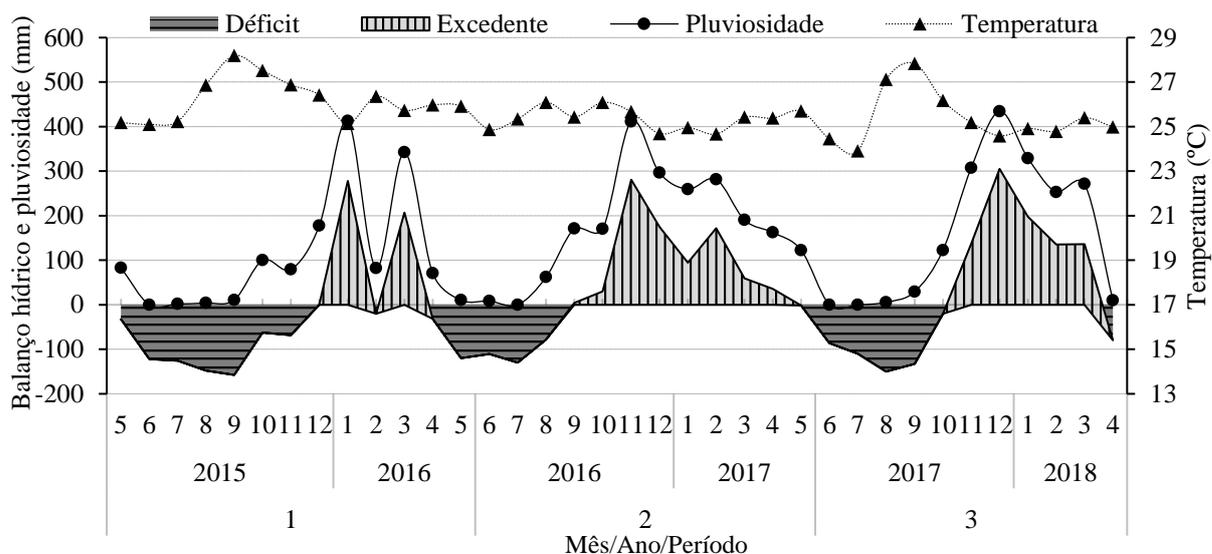


Figura 7. Balanço hídrico, pluviosidade (mm) e temperatura (°C) durante o período experimental (maio de 2015 a abril de 2018).

Foram monitorados os dados microclimáticos [temperatura mínima, máxima e média (°C); radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); e velocidade do vento (m s^{-1})] (Tabela 5). As coletas foram realizadas em estações meteorológicas alocadas a 7,5 e 15 m de distância, nos lados norte e sul do renque de árvores de uma unidade experimental do sistema SP e em uma unidade experimental do sistema PS. As estações monitoraram o microclima efetuando leituras a cada 10 s, fornecendo valores médios a cada 15 min.

Foram aplicados 50 kg ha^{-1} de nitrogênio e potássio na formulação 20-0-20, nas unidades experimentais (piquetes) no período 1, em 12/11/2015. No período 2 foram aplicados 100 kg N ha^{-1} , sendo 50 kg N ha^{-1} no início (04/11/2016) e o restante na metade do período chuvoso (30/01/2017). No terceiro período, a aplicação de 100 kg N ha^{-1} foi dividida em duas datas: 15/01/2018 e 08/03/2018.

O método de pastejo utilizado foi a de lotação contínua com taxa de lotação variável, para manter o dossel com altura média de $30 \pm 5 \text{ cm}$. A taxa de lotação foi ajustada para manutenção da meta de altura, com pastejo realizados por novilhos da raça Nelore (*Bos taurus indicus*) com peso médio de 375 kg.

Os ajustes da taxa de lotação foram realizados por meio da entrada ou retirada de animais em cada piquete sempre que a altura do dossel atingia o limite pré-estabelecido. O controle da altura do dossel era realizado com leitura de 50 locais por unidade experimental no tratamento PS e de 60 locais no sistema SP (30 locais no lado norte e 30 locais no lado sul), em locais representativos da condição média do dossel forrageiro.

Tabela 5. Temperatura média do ar (TM; °C), radiação solar global (RG; MJ m⁻² d⁻¹) e velocidade do vento média (VV; m s⁻¹) coletados nos tratamentos pleno sol (PS), 7,5 m Norte (SP1), 15 m (SP2) e 7,5 m Sul (SP3).

| Trat† | Var‡ | Per§ | Mês | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| PS | TM | 1 | 25,2 | 25,1 | 26,5 | 28,4 | 28,4 | 27,8 | 27,4 | 26,2 | 27,5 | 26,9 | 26,7 | 26,6 |
| | | 2 | 25,1 | 24,9 | 26,1 | 26,3 | 27,2 | 26,8 | 25,9 | 26,1 | 25,8 | 26,4 | 26,3 | 26,5 |
| | | 3 | 24,6 | 23,4 | 26,7 | 27,5 | 27,1 | 26,4 | 25,5 | 26,1 | 25,9 | 26,3 | 25,9 | - |
| | RG | 1 | 18,0 | 17,8 | 20,6 | 20,1 | 20,6 | 19,4 | 22,8 | 16,1 | 20,1 | 16,5 | 21,0 | 19,2 |
| | | 2 | 18,6 | 20,7 | 19,9 | 19,0 | 19,1 | 20,0 | 18,0 | 18,7 | 16,6 | 19,2 | 18,2 | 18,9 |
| | | 3 | 19,1 | 21,0 | 20,9 | 20,2 | 18,5 | 17,7 | 16,4 | 19,5 | 16,4 | 17,6 | 17,6 | - |
| | VV | 1 | 1,7 | 1,8 | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 1,7 | 1,5 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,3 |
| | | 2 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,7 | 1,3 | 1,2 | 1,2 |
| | | 3 | 1,5 | 2,0 | 1,8 | 2,0 | 1,8 | 1,6 | 1,6 | 1,5 | 1,7 | 1,4 | 1,3 | - |
| SP1 | TM | 1 | 25,5 | 25,6 | 27,6 | 29,4 | 29,1 | 28,2 | 27,6 | 26,5 | 28,1 | 26,9 | 26,8 | 26,8 |
| | | 2 | 25,3 | 25,6 | 26,6 | 26,5 | 27,9 | 27,1 | 25,9 | 26,4 | 26,3 | 27,0 | 26,8 | 27,2 |
| | | 3 | 25,7 | 24,5 | 27,8 | 28,3 | 27,6 | 26,8 | 25,7 | 26,2 | 26,2 | 26,7 | 26,6 | - |
| | RG | 1 | 14,8 | 13,1 | 19,1 | 18,9 | 20,2 | 16,0 | 15,9 | 13,1 | 15,0 | 14,4 | 24,5 | 21,8 |
| | | 2 | 19,9 | 21,5 | 21,2 | 20,7 | 18,5 | 17,7 | 16,5 | 17,0 | 15,6 | 18,7 | 18,0 | 19,3 |
| | | 3 | 20,7 | 21,3 | 23,2 | 20,0 | 17,2 | 11,7 | 14,9 | 17,2 | 15,4 | 17,0 | 17,2 | - |
| | VV | 1 | 1,0 | 1,3 | 1,1 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,9 |
| | | 2 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,6 | 0,5 |
| | | 3 | 0,7 | 1,1 | 1,1 | 1,4 | 1,3 | 1,4 | 1,0 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,4 | - |
| SP2 | TM | 1 | 25,5 | 25,6 | 27,3 | 29,2 | 29,1 | 28,3 | 27,8 | 26,3 | 26,2 | 26,9 | 26,8 | 27,0 |
| | | 2 | 25,3 | 25,6 | 26,6 | 26,5 | 26,6 | 27,0 | 25,9 | 26,5 | 28,0 | 27,0 | 26,8 | 26,8 |
| | | 3 | 25,4 | 24,2 | 27,4 | 28,2 | 27,6 | 26,9 | 25,7 | 26,3 | 26,2 | 26,6 | 26,9 | - |
| | RG | 1 | 14,8 | 13,1 | 19,8 | 19,5 | 20,5 | 19,5 | 22,9 | 16,1 | 21,1 | 19,7 | 24,5 | 21,8 |
| | | 2 | 19,9 | 21,5 | 21,2 | 20,7 | 20,7 | 19,7 | 18,4 | 18,9 | 17,0 | 19,2 | 17,7 | 17,8 |
| | | 3 | 17,3 | 18,6 | 21,7 | 19,8 | 18,8 | 17,9 | 16,6 | 19,3 | 17,2 | 17,7 | 17,8 | - |
| | VV | 1 | 1,0 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,9 |
| | | 2 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,2 | 1,4 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 |
| | | 3 | 1,0 | 1,5 | 1,4 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,6 | - |
| SP3 | TM | 1 | 25,5 | 25,6 | 27,0 | 29,1 | 28,8 | 28,2 | 27,8 | 26,5 | 28,0 | 26,6 | 26,8 | 26,8 |
| | | 2 | 25,3 | 25,6 | 26,6 | 26,5 | 27,5 | 27,0 | 25,9 | 26,3 | 26,1 | 26,6 | 26,7 | 27,0 |
| | | 3 | 25,4 | 24,3 | 27,3 | 28,0 | 27,5 | 26,8 | 25,7 | 26,2 | 26,1 | 26,4 | 26,2 | - |
| | RG | 1 | 14,8 | 13,1 | 13,4 | 18,8 | 21,4 | 19,3 | 23,3 | 15,1 | 16,0 | 15,3 | 23,3 | 20,7 |
| | | 2 | 18,9 | 20,4 | 20,2 | 19,6 | 19,7 | 19,4 | 18,0 | 19,0 | 16,8 | 17,1 | 17,4 | 17,8 |
| | | 3 | 16,4 | 14,6 | 17,5 | 16,4 | 17,9 | 18,2 | 16,8 | 19,8 | 17,1 | 15,8 | 14,6 | - |
| | VV | 1 | 1,0 | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 1,2 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| | | 2 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 |
| | | 3 | 1,0 | 1,5 | 1,4 | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,2 | 1,0 | 0,6 | - |

† Trat, tratamento. ‡ Var, variável. § Per (período): 1- junho de 2015 a maio de 2016; 2 - junho de 2016 a maio de 2017; 3 - junho de 2017 a abril de 2018.

3.2.2. Massa de forragem

A cada 28 dias foram coletadas amostras para caracterização da massa de forragem (MF) em locais representativos da média da altura do dossel e a MF dentro da gaiola de exclusão ao pastejo para quantificação da MF acumulada, utilizando o método das gaiolas emparelhadas (MARTINS et al., 2013). Gaiolas de exclusão do pastejo (0,64 m² de área e 1,1

m de altura) foram alocadas de acordo com a altura média em quatro locais de cada piquete do PS e em oito locais por piquete do sistema SP, onde, quatro gaiolas foram distribuídas no lado norte e quatro no lado sul em relação ao renque central. Em cada lado, duas gaiolas foram alocadas a 7,5 m e duas gaiolas a 15 m do renque.

Após coleta da MF novos locais representativos da altura média do dossel para cada tratamento foram escolhidos para realocação das gaiolas. De cada amostra, foi pesada uma subamostra de aproximadamente 200 g, levada para estufa de circulação de ar forçada, à 55 °C por 72 h para determinação do teor de matéria seca.

3.2.3. Proporção dos componentes morfológicos da forragem, área foliar específica e índice de área foliar do dossel

Para a avaliação da composição morfológica e do índice de área foliar (IAF), nos ciclos representativos durante o período experimental em ciclos representativos, a cada três meses, foram coletadas amostras de forragem contidas no interior de duas molduras circulares com área de 0,64 m², nas distâncias (7,5 e 15 m) dos lados norte e sul do SP, e quatro amostras no PS. A área amostrada correspondeu sempre a um local da unidade experimental que estava com altura média semelhante àquela do tratamento em avaliação.

De cada amostra coletada foi retirada uma subamostras de 200 g. As subamostras foram levadas ao laboratório para separação manual nos componentes morfológicos folha (lâmina foliar), colmo (pseudo colmo + bainha) e material morto. Depois de separadas, as folhas foram escaneadas no integrador de área foliar, modelo LI-3100 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA). Feito isso, todos os componentes morfológicos foram secos em estufa de circulação forçada de ar a 55°C, por 72 h e pesadas para obtenção da proporção dos componentes morfológicos. Com os valores de área foliar e da massa seca das folhas foi calculado a área foliar específica (AFE) que, por sua vez, foi utilizada para calcular o IAF.

3.2.4. Massa de folha, colmo e material morto

As proporções dos componentes morfológicos foram extrapoladas para a MF de cada ciclo para cálculo da MFol, colmo (MC) e material morto (MM). As mesmas proporções foram utilizadas para cálculo de cada componente morfológicos acumulado em cada ciclo durante o período experimental.

3.2.5. Estrutura do modelo

A estrutura do modelo *APSIM-Tropical Pasture* foi proposta para fazer dele um modelo genérico capaz de simular o crescimento de todas as espécies de gramíneas perenes de clima tropical. As simulações são capazes de prever com eficiência o crescimento de diferentes plantas forrageiras manejadas por corte ou pastejo, com necessidade de poucas mudanças nos valores dos parâmetros (BOSI, 2017).

O crescimento (acúmulo) da forrageira (G) no *APSIM-Tropical Pasture* é calculado pela seguinte equação:

$$G = EUR * IR * \min(Ft, Fn, Fdpv) * Fw \quad (1)$$

Em que:

EUR é a eficiência de uso da radiação solar global pela planta. O IR é a interceptação de radiação calculada pela lei de Beer-Lambert, utilizando o IAF estimado pelo modelo e um coeficiente de extinção da cultura (k). Ft é o fator temperatura, que é determinado pelas temperaturas cardeais. Fn é o fator nitrogênio, que é determinado por uma interpolação linear a partir da concentração mínima de nitrogênio foliar (LNCmin) até a ótima (LNCopt). Fdpv é o fator déficit de pressão de vapor, que funciona de maneira semelhante ao Fn. Fw é o fator de estresse hídrico determinado pela razão entre o fornecimento e a demanda de água da planta. Especificamente, Ft, Fn e Fdpv são regulados por uma função que determina que apenas o fator mais limitante dentre eles é usado para os cálculos de crescimento (BOSI, 2017).

O *APSIM-Tropical Pasture* considera quatro submodelos relacionados aos seguintes órgãos da planta: folha, colmo, raiz e órgão de reserva. O submodelo folha calcula a AFE, o IAF (AFE multiplicado pela MFol), o IR e a fotossíntese (Eq. 1), estimando a massa seca (MS) a ser particionada entre os órgãos. Além disso, esse submodelo possui uma função “*leaf kill*” para simular o efeito de geadas, regulada pela temperatura mínima diária; e funções para a senescência foliar e a abscisão de folhas (adição de folhas mortas à matéria orgânica na superfície do solo).

O submodelo colmo calcula o acúmulo, senescência e abscisão de colmos. No submodelo raiz são realizados os cálculos da profundidade das raízes, considerando uma velocidade de desenvolvimento das raízes até uma profundidade máxima de 10 m, estipulado para não limitar o crescimento das raízes. Além disso, são realizados cálculos de densidade de raízes em cada camada do solo. Também é possível determinar a capacidade de absorção máxima diária de N e água. O submodelo órgão de reserva pode considerar diversos órgãos

nos cálculos de reservas de nutrientes pelas plantas: base do colmo (coroa) de gramíneas cespitosas, estolão ou rizoma para as espécies que possuam tais órgãos (BOSI, 2017).

A partir do crescimento diário da planta e da absorção de N, os quatro submodelos de órgãos do *APSIM-Tropical Pasture* calculam a biomassa estrutural e não estrutural. O modelo realoca o N e a MS não estrutural de partes senescentes dos órgãos das plantas ou mobiliza-os dos órgãos de reserva para as partes com demandas não atendidas. O modelo permite modificar o particionamento, senescência, realocação e a mobilização da MS e N com base na idade da planta, fotoperíodo, e outros fatores associados à fase fenológica. O cálculo da AFE é realizado considerando o efeito do déficit hídrico e do sombreamento (BOSI, 2017).

A estrutura de modelagem do APSIM permite calcular os processos de água, nitrogênio, matéria orgânica, utilizando os módulos padrão *SoilWat*, *SoilN* e *SurfaceOM* (PROBERT et al., 1998). O módulo *MicroClimate* calcula a evapotranspiração potencial (SNOW; HUTH, 2004), com a equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).

3.2.6. Calibração do APSIM-Tropical Pasture para o capim-marandu

As simulações da MF no sistema a PS e em cada distância do sistema SP foram realizadas utilizando o modelo *APSIM-Tropical Pasture*, alterando-se os arquivos meteorológicos por meio da adição da transmissão de radiação solar medida em cada posição do sistema SP. Dados da MF do capim-marandu obtidos nos dois primeiros períodos (junho de 2015 a junho de 2017) foram utilizados na calibração, totalizando 24 ciclos de coleta.

O *APSIM-Tropical Pasture* não simula a MF e a composição morfológica do resíduo. Portanto, foi necessário utilizar o módulo de manejo de corte, que permitiu adicionar manualmente a massa remanescente de folhas e de colmos após cada evento de pastejo. A massa de resíduo foi considerada igual à MF coletada fora da gaiola, bem como a composição morfológica. A MF coletada dentro da gaiola de exclusão ao pastejo foi considerada a MF final de cada ciclo.

Foram utilizados a temperatura base mínima (T_b), o coeficiente de extinção (k) e a eficiência de uso da radiação (EUR) propostos por Pezzopane et al. (2018) para o capim-marandu, sendo esses valores: $10,6^{\circ}\text{C}$, 0,659 e 0,03, respectivamente. A AFE padrão (Tabela 6) foi determinada com base nos dados coletados no campo, e considerada a média dos valores provenientes de épocas sem deficiência hídrica. Não foi possível determinar as temperaturas ótimas (TO_1 e TO_2) e a temperatura base máxima (T_B), uma vez que, a temperatura média máxima, nas condições de campo durante o período experimental foi de

26,2°C, e temperaturas mínimas acima dos níveis. Dessa forma, foram utilizados os valores de $TO1 = 30,2^\circ\text{C}$, $TO2 = 40^\circ\text{C}$ e $TB = 45^\circ\text{C}$ propostos por Pequeno et al. (2014) para o capim-marandu.

Em seguida, foram especificadas as práticas de manejo da pastagem (semeadura, fertilização, e pastejo) por meio do *script* de manejo do APSIM (MOORE et al., 2014).

O ponto de murcha permanente foi considerado igual ao valor de umidade do solo mais baixo medido durante o experimento, enquanto que a capacidade de campo foi considerada o valor mais alto (excluindo-se valores obtidos até 24 h depois de um evento de chuva).

A partição de fotoassimilados entre os órgãos da planta e a senescência foram ajustadas para atingir as melhores simulações possíveis em relação aos dados observados. Os demais parâmetros das simulações de crescimento de cada órgão do capim-marandu foram mantidos conforme os parâmetros calibrados por Bosi (2017) para o capim-piatã, tanto para PS quanto para as distâncias avaliadas (7,5m norte, 15m e 7,5m sul) do sistema SP. Também foi utilizada a “*Leaching Control Tool*” (BOSI, 2017) para reduzir a lixiviação de nitrato em 95% em relação aos valores originalmente simulados pelo modelo, que foram considerados excessivamente altos para as condições do experimento. Nascimento et al. (2012) também relataram problemas na simulação da dinâmica do N pelo APSIM em regiões de clima tropical.

O APSIM-*Tropical Pasture* há um módulo para definir perdas de biomassa vegetal devido à danos físicos causados por animais a cada evento de pastejo, como em sistemas de lotação rotativa. Para o presente experimento, as perdas por pastejo foram consideradas nulas, visto que, em lotação contínua, a perturbação causada ao dossel forrageiro pelos animais em pastejo não apresentavam relevância ao modelo.

Nitrato inicial, amônio, conteúdo de carbono orgânico e pH do solo foram considerados iguais para todos os locais avaliados. Foi assumido como valor padrão o teor inicial de nitrato de $86,5 \text{ kg ha}^{-1}$, o teor inicial de amônio de $59,6 \text{ kg ha}^{-1}$, o carbono orgânico inicial de $13,8 \text{ kg m}^{-2}$, com $7,7 \text{ kg m}^{-2}$ desse carbono considerados inertes, pH variando de 5,5 na camada superficial para 6.3 na camada mais profunda e massa de palhada de 1000 kg ha^{-1} , considerando um pasto já estabelecido (BOSI, 2017).

3.2.7. Teste do APSIM-Tropical Pasture para o capim-marandu

De junho de 2017 a abril de 2018, foram avaliados onze ciclos de acúmulo. No período de teste do modelo foram realizados monitoramentos da incidência de cigarrinhas (*Deois flavopicta*) em cada unidade experimental do sistema a PS e no sistema SP. Em ambos os sistemas, as avaliações eram realizadas em quatro locais, aleatoriamente. No sistema SP, dois locais de leitura foram mensurados no lado sul e dois no lado norte das linhas das árvores. Esse monitoramento foi conduzido com a contagem da quantidade de ninfas e espumas de cigarrinhas por meio do uso de moldura retangular de 0,5 m² (1,0 m × 0,5 m).

Os monitoramentos foram realizados de novembro de 2017 a abril de 2018 com contagem da população de ninfas e espumas a cada 15 dias, e a cada 7 dias quando se identificava aumentos na quantidade de ninfas e espumas. Após aplicação do inseticida recomendado, o monitoramento era realizado em intervalos de sete dias, para constatação da redução de infestação da “praga”. Para controle da infestação de cigarrinhas, foi aplicado inseticida quando a quantidade de 25 ninfas m⁻² ou mais eram mensuradas. O efeito dos danos causados a forrageira pelo ataque de cigarrinhas, foi incluído ao modelo APSIM-Tropical Pasture por meio da criação da função de penalização por ataque de pragas (Tabela 6 e 7).

A função praga foi criada para penalizar a massa de forragem em 50% do potencial de crescimento simulado pelo modelo (linha pontilhada vertical; Figura 10). No modelo, essa penalização é antecedida em 15 dias após a contagem considerada limite para controle e, termina sete dias após a intervenção de controle dos danos.

3.2.8. Índices para análise do desempenho do modelo

Os índices estatísticos utilizados para avaliar o desempenho do modelo nas condições de PS e no microambiente do sistema SP durante o período experimental foram:

a) regressão linear entre os valores observados (O) e estimados (E) de cada variável e o respectivo coeficiente de determinação (R²);

b) índice de concordância de Willmott (d), que quantifica a exatidão do modelo (WILLMOTT, 1981):

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

c) Eficiência de Nash-Sutcliffe (ENS), que descreve a exatidão do modelo e, considera desempenho satisfatório do modelo quando seus valores são superiores a 0,5 e bom desempenho quando superior a 0,65 (MORIASI et al., 2007):

$$ENS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

d) erro médio (EM) como indicador de viés nas simulações:

$$EM = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n (E_i - O_i) \quad (4)$$

e) Erro médio absoluto (EMA) como indicador da diferença entre o valor exato e o valor aproximado pelo modelo:

$$EMA = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n |E_i - O_i| \quad (5)$$

f) Raiz do quadrado médio do erro (RQME) como medida do desvio das estimativas em relação ao valor efetivo:

$$RQME = \sqrt{\left[\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2\right]} \quad (6)$$

3.3. RESULTADOS

3.3.1. Calibração do APSIM-Tropical Pasture para o capim-marandu

A calibração para o capim-marandu sob lotação contínua (Tabelas 6, 7, 8, 9 e 10) seguiu padrões análogos à parametrização utilizada nas simulações da MF do capim-piatã sob lotação rotativa (BOSI, 2017). A AFE padrão foi ajustada de 0,02 para 0,018 m² g⁻¹.

A partição de matéria seca para o capim-marandu sob lotação contínua durante o período inicial de crescimento foi considerada a mesma do capim-piatã, uma vez que, o pasto encontrava-se estabelecido (Tabela 7). Estes valores foram regulados pela idade das pastagens, desde a sementeira até a idade das plantas de 0,71 anos, considerado idade mínima para que o modelo simulasse o crescimento de um pasto já estabelecido. O particionamento da

produção de matéria seca para o crescimento radicular foi de 33% para o crescimento inicial, mas diminuiu para 0,2 na idade de 0,71 anos, quando a pastagem foi considerada completamente estabelecida (Tabela 10).

Tabela 6. Parâmetros do submodelo folha calibrados para capim-marandu sob lotação contínua.

| Parâmetro | Unidade | Inicial† | Ajustado |
|--|--|--|--|
| Massa inicial da planta | g planta ⁻¹ | 0,01 | igual‡ |
| Massa inicial da folha | g planta ⁻¹ | 0,01 | igual |
| Fração estrutural foliar | 0-1 | 0,9 | igual |
| Coefic. de extinção de luz (k) | - | 0,65 | igual |
| Conc. máxima de N na folha | g g ⁻¹ | 0,021 | igual |
| Conc. mínima de N na folha | g g ⁻¹ | 0,005 | igual |
| Fator de realoc. do N na folha | dia d ⁻¹ | 0,5 | igual |
| Tempo de abscisão da folha | dias | 30 | igual |
| Efic. de uso da radiação (EUR) | g MJ ⁻¹ | 1,44 | 1,03 |
| Fator temperatura (Ft) | x: temperatura (°C) y: valor Ft | x: 8,9; 30,2; 40,0; 45,0 y: 0,0; 1,0; 1,0; 0,0 | x: 10,6; 30,2; 40,0; 45,0 y: 0,0; 1,0; 1,0; 0,0 |
| Fator déficit.de pressão de vapor (Fdpv) | x: DPV (kPa) y: valor Fdpv | x: 0,0; 10,0; 50,0 y: 1,0; 1,0; 1,0 | igual igual |
| Fator nitrogênio (Fn) | x: N conc. (g g ⁻¹) y: valor Fn | x: 0,005; 0,021 y: 0,0; 1,0 | igual igual |
| Fator déficit hídrico (Fw) | x: oferta/demanda y: valor Fw | x: 0,0; 1,0 y: 0,0; 1,0 | igual igual |
| Função morte de folhas por geada | x: temp. min. (°C) y: valor do fator | x: 0,0; 2,0 y: 0,0; 1,0 | igual igual |
| AFE padrão | m ² g ⁻¹ | 0,020 | 0,018 |
| Fator idade sobre AFE | x: idade do pasto (anos) y: AFE (m ² g ⁻¹) | x: 0,0; 0,3; 0,7 y: 0,015; 0,018; 0,020 | x: 0,0; 0,3; 0,7 y: 0,015; 0,018; 0,018 |
| Fator água sobre AFE | x: Fw y: valor do fator | x: 0,0; 0,8; 1,0 y: 0,0; 0,4; 1,0 | x: 0,0; 0,8; 1,0 y: 0,0; 0,4; 1,0 |
| Fator praga | x: n° ninfas m ⁻² y: valor do fator | - | x: 0,0; 25,0; 25,1; 50,0 y: 1,0; 1,0; 0,5; 0,5 |

† Bosi (2017). ‡ Igual: Valores foram mantidos iguais ao inicial.

Tabela 7. Parâmetros do submodelo colmo calibrados para o capim-marandu sob lotação contínua.

| Parâmetro | Unidade | Inicial† | Ajustado |
|-------------------------------|---|----------|---|
| Fator de realocação do N | 0-1 | 0,0 | igual‡ |
| Fator de retranslocação do N | 0-1 | 0,0 | igual |
| Fator de retranslocação da MS | 0-1 | 0,0 | igual |
| Concentração máxima de N | g g ⁻¹ | 0,003 | igual |
| Concentração mínima de N | g g ⁻¹ | 0,001 | igual |
| Massa inicial de colmo | g m ⁻² | 0,0 | igual |
| Fração estrutural do colmo | 0-1 | 1,0 | igual |
| Taxa de abscisão | Fração (0-1) d ⁻¹ | 0,01 | igual |
| Eficiência de conversão da MS | 0-1 | 1,0 | igual |
| Fração de demanda de N | 0-1 | 1,0 | igual |
| Fator praga | x: n° ninfas m ⁻² y: valor do fator | - | x: 0,0; 25,0; 25,1; 50,0 y: 1,0; 1,0; 0,5; 0,5 |

† Bosi (2017). ‡ Igual: Valores foram mantidos iguais ao inicial.

Não foram feitas alterações nas parametrizações previamente realizadas por Bosi (2017) para o crescimento radicular, mantendo a velocidade de crescimento das raízes (20 mm d⁻¹), taxa de senescência das raízes (0,001 d⁻¹), concentrações máximas e mínimas de N nas raízes (0,003 e 0,001 g g⁻¹, respectivamente) e comprimento específico das raízes (100 m g⁻¹) (Tabela 8). Para o colmo, foram mantidas as concentrações máxima e mínima de N (0,003 e 0,001 g g⁻¹, respectivamente) (Tabela 8). Além disso, os parâmetros de particionamento e senescência também foram essenciais para as simulações de crescimento, principalmente para mostrar as diferenças causadas pelo desenvolvimento e manejo das pastagens (Tabelas 10 e 11).

Tabela 8. Parâmetros do submodelo raiz calibrados para o capim-marandu sob lotação contínua.

| Parâmetro | Unidade | Inicial† | Ajustado |
|---|--|---------------------------------------|----------|
| Velocidade de crescimento da raiz | mm d ⁻¹ | 20 | igual‡ |
| Taxa de senescência | Fração (0-1) d ⁻¹ | 0,001 | igual |
| Conc. máxima de N | g g ⁻¹ | 0,003 | igual |
| Conc. mínima de N | g g ⁻¹ | 0,001 | igual |
| Absorção máxima diária de N | g planta ⁻¹ | 6,0 | igual |
| Profundidade radicular máxima | mm | 10000 | igual |
| Fração estrutural | 0-1 | 0,8 | igual |
| Mod. de absorção de água (KL) | x: IAF y: valor do fator | x: 0,0; 3,0; 10,0 y: 1,0; 1,0; 1,0 | igual |
| Mod. de captação de NO ₃ ⁻ (KNO3) | x: Dens, comp, Raiz y: Absorção de NO ₃ ⁻ | x: 0,0; 0,003 y: 0,03; 0,03 | igual |
| Mod. de captação NH ₄ ⁺ de (KNH ₄ ⁺) | x: Dens, comp, Raiz y: Absorção de NH ₄ ⁺ | x: 0,0; 0,003 y: 0,0; 0,0 | igual |
| Massa inicial de raízes | g planta ⁻¹ | 0,02 | igual |
| Comprimento específico da raiz | m g ⁻¹ | 100 | igual |
| Fração de dem. de N | (0-1) | 1,0 | igual |

†Bosi (2017). ‡ Igual: Valores foram mantidos iguais ao inicial.

Tabela 9. Partição da matéria seca entre os órgãos do capim-marandu sob lotação contínua em diferentes fases do desenvolvimento fenológico.

| Fase fenológica | Fração particionada (0-1) | | | | | |
|-----------------|---------------------------|------|-------|----------|------|-------|
| | Inicial† | | | Ajustado | | |
| | Folha | Raiz | Colmo | Folha | Raiz | Colmo |
| Vegetativo | 0,55 | 0,20 | 0,25 | 0,40 | 0,20 | 0,40 |
| Vegetativo‡ | 0,35 | 0,20 | 0,45 | 0,40 | 0,00 | 0,60 |
| Reprodutivo | 0,55 | 0,00 | 0,45 | 0,40 | 0,20 | 0,40 |

†Bosi (2017). ‡ Rebrotação após o período seco.

O tempo de vida da folha foi alterado para o presente experimento com capim-marandu sob lotação contínua com taxa de lotação variável (Tabela 10). A taxa de senescência dos demais órgãos não foi modificada do experimento com capim-piatã sob

lotação rotativa (BOSI, 2017). Todos os parâmetros de senescência permaneceram constantes em todas as fases fenológicas.

O manejo adotado no capim-marandu, com controle rigoroso da altura do dossel, suprimiu o efeito do florescimento sobre a partição de fotoassimilados e a senescência, uma vez que, praticamente não ocorreu florescimento, com o percentual de inflorescência na forragem acumulada no outono, chegando no máximo a 1%. O particionamento da raiz foi alterado no período de rebrotação, após o período seco, considerando que, a MS da planta era realocada somente para folha e colmo (Tabela 9). Não foi necessário alterar a partição da MS entre os períodos vegetativo e reprodutivo, comprovando que, o período reprodutivo não influenciou no crescimento dessa forrageira em lotação contínua. No período vegetativo após a estação seca, grande parte da MS do dossel foi direcionada para colmo (60%) e menos para a folha (40%), assumindo a partição de MS para o crescimento de novos perfilhos nessa época do ano (Tabela 10).

Tabela 10. Parâmetros de senescência para o capim-marandu sob lotação contínua em diferentes fases do desenvolvimento fenológico.

| Fase fenológica | Inicial† | | | Ajustado | | |
|-----------------|---|-------|-------|---|-------|-------|
| | TVF§ | Raiz | Colmo | TVF§ | Raiz | Colmo |
| | Taxa de senescência (fração d ⁻¹) | | | Taxa de senescência (fração d ⁻¹) | | |
| Vegetativo | 80 | 0,001 | 0,005 | 45 | 0,001 | 0,005 |
| Vegetativo‡ | 80 | 0,001 | 0,005 | 45 | 0,001 | 0,005 |
| Reprodutivo | 80 | 0,001 | 0,005 | 45 | 0,001 | 0,005 |

† Bosi (2017). ‡ Rebrotação após o período seco. § Tempo de vida da folha (TVF; dias).

A análise entre os dados observados e estimados da MF no sistema PS apresentou índices (Figura 9; Tabela 11) que permitam inferir que a MFol e de colmo foi simulada de forma satisfatória (Figura 9) com boa precisão e exatidão ($R^2 = 0,83$; $d = 0,94$ e $ENS = 0,75$) no sistema a PS.

Simulações da MF nos diferentes níveis de sombreamento do sistema SP atingiram boa precisão (R^2 entre 0,82 a 0,89), boa exatidão (d entre 0,93 e 0,96 e ENS entre 0,66 a 0,84; Figura 9) e erros baixos, com valores próximos aos observados no PS (Tabela 11). As partes da planta também foram bem simuladas, com boa precisão e exatidão para folha (R^2 entre 0,87 e 0,9, d entre 0,95 e 0,96 e ENS entre 0,77 e 0,83), exceto as simulações de MC na fase de teste do modelo que apresentaram baixa precisão (Tabela 11) e exatidão (ENS entre 0,56 e 0,8).

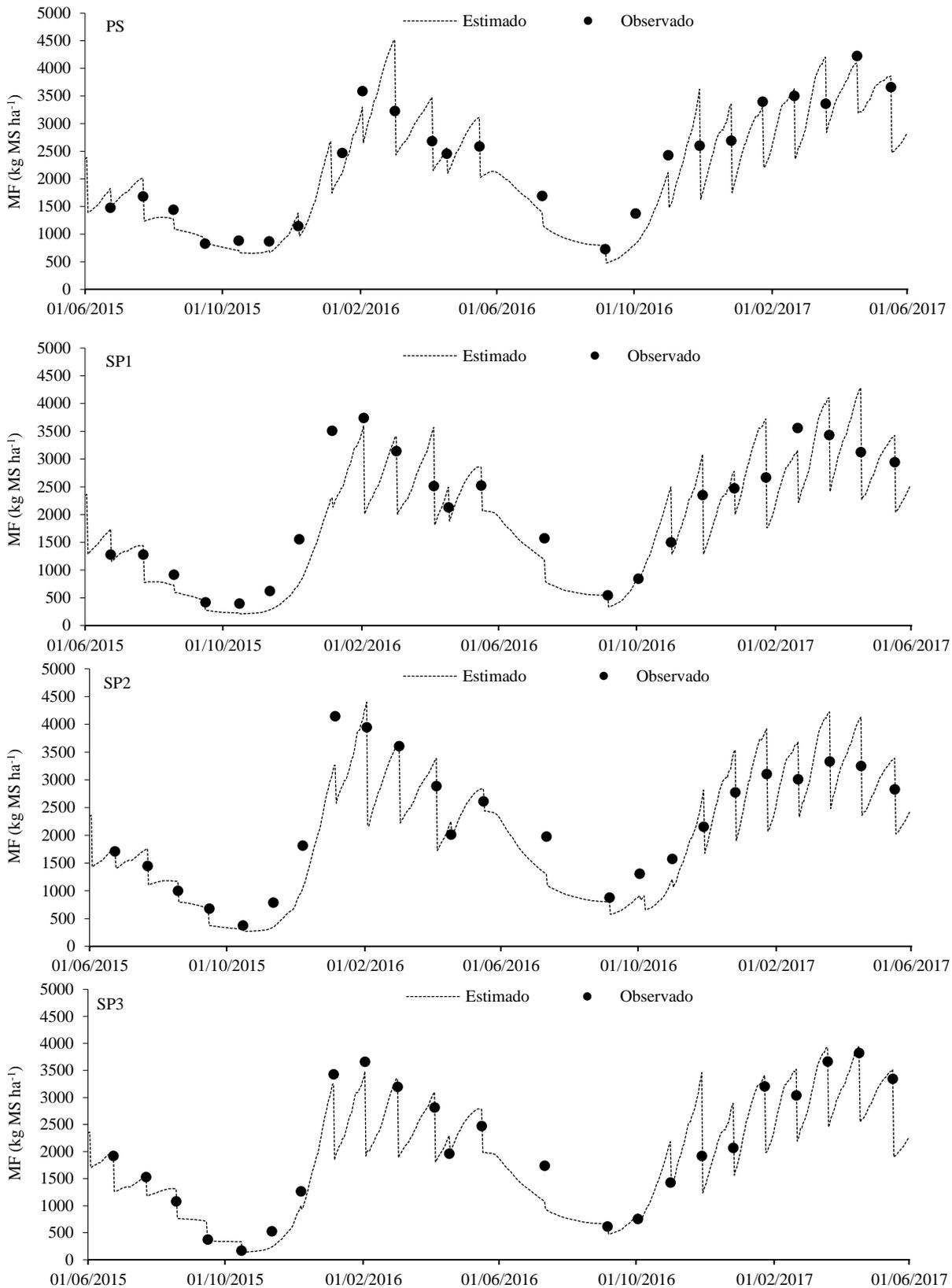


Figura 8. Série temporal da massa de forragem (MF; kg MS ha⁻¹) observada e estimada para o capim-marandu sob lotação contínua no sistema a pleno sol (PS) e nas distâncias do sistema silvipastoral (SP1: 7,5 m Norte; SP2: 15 m e; SP3: 7,5 m Sul), na fase de calibração do modelo.

As séries temporais dos dados observados e estimados para as parametrizações do PS, SP1, SP2 e SP3 no período de calibração (Figura 8), demonstraram que o modelo calibrado para o capim-marandu foi capaz de realizar boas simulações em todas as condições avaliadas dos sistemas de produção (Figuras 8 e 9).

Tabela 11. Índices estatísticos† para as simulações da massa de forragem (MF), massa de folha (MFol), massa de colmo (MC) utilizando o *APSIM-Tropical Pasture*, na fase de calibração do modelo para o capim-marandu sob lotação contínua no sistema a pleno sol e nas distâncias do sistema silvipastoril (7,5 m Norte: SP1; 15 m: SP2 e; 7,5 m Sul:SP3).

| Variável | R ² | d | ENS | EM | EMA | RQME |
|-----------------------|----------------|------|------|------------------------------------|-----|------|
| | | | | -----kg MS‡ ha ⁻¹ ----- | | |
| Pleno Sol | | | | | | |
| MF | 0,88 | 0,95 | 0,76 | 205 | 370 | 495 |
| MFol | 0,83 | 0,94 | 0,75 | 115 | 240 | 305 |
| MC | 0,83 | 0,94 | 0,75 | 90 | 200 | 260 |
| Sistema silvipastoril | | | | | | |
| 7,5 m Norte | | | | | | |
| MF | 0,82 | 0,93 | 0,66 | 215 | 485 | 610 |
| MFol | 0,90 | 0,95 | 0,77 | 95 | 195 | 240 |
| MC | 0,68 | 0,89 | 0,56 | 125 | 325 | 420 |
| 15 m | | | | | | |
| MF | 0,87 | 0,95 | 0,74 | 140 | 470 | 545 |
| MFol | 0,89 | 0,95 | 0,77 | 60 | 215 | 255 |
| MC | 0,72 | 0,91 | 0,64 | 75 | 300 | 390 |
| 7,5 m Sul | | | | | | |
| MF | 0,89 | 0,96 | 0,84 | 185 | 320 | 460 |
| MFol | 0,87 | 0,96 | 0,83 | 90 | 180 | 250 |
| MC | 0,83 | 0,95 | 0,80 | 100 | 220 | 280 |

† R²: coeficiente de determinação; d: índice de concordância de Willmott; ENS: eficiência de Nash-Sutcliffe; EM: erro médio; EMA: erro médio absoluto; RQME: raiz do quadro médio do erro. ‡ MS, matéria seca.

O crescimento da forrageira foi bem simulada em todas as condições avaliadas no sistema a PS e nas distâncias do sistema SP. A retomada do crescimento da forrageira, no começo do período de estabilidade dos índices pluviométricos foram representados pelos ciclos 5, 6 e 7, 16, 17 e 18 nas simulações do modelo (Figura 8). As simulações ficaram bem ajustadas nos períodos de déficit hídrico (Figura 7), como demonstrando nos ciclos 1, 2, 3, 4, 14 e 15 (Figura 8). Os efeitos da aplicação de N foram bem capturados pelo modelo (ciclos 9, 17 e 18). Perdas por pastejo foram consideradas nulas nesse experimento, pois os danos causados pelo pisoteio dos animais não comprometeram as simulações do capim-marandu sob lotação contínua.

3.3.2. Teste do modelo APSIM-Tropical Pasture

A função de penalização por ataque de pragas melhorou os ajustes nas simulações nos sistemas avaliados. Houve avaliação da população de cigarrinhas apenas durante o período de teste do modelo, portanto, o fator praga foi utilizado apenas nesse período. Essa inclusão ocorreu devido aos danos causados no capim-marandu.

O teste do APSIM-Tropical Pasture para simulações da MF do capim-marandu, em que as avaliações da forrageira foram realizadas na mesma área experimental sob lotação contínua com taxa de lotação variável, resultou em ótimo desempenho do modelo quando a forrageira foi avaliada a PS (Figuras 10 e 11), com $R^2 = 0,94$; $d = 0,94$; ENS = 0,67; EM = 140 kg MS ha⁻¹; EMA = 380 kg MS ha⁻¹ e RQME= 465 kg MS ha⁻¹, confirmando que o teste do modelo foi satisfatório utilizando a calibração realizada para esse cultivar. O teste do modelo mostrou resultados satisfatórios para as simulações da massa de folha (MFol), mas não apresentou bons índices (ENS = -0,09) para colmo (Tabela 12).

A comparação entre MF observada e estimada para o capim-marandu em cada posição do sistema SP demonstrou que as simulações foram adequadas (Tabela 12 e Figuras 10 e 11). Os resultados demonstram tal desempenho, obtendo R^2 entre 0,76 e 0,87, $d = 0,96$, ENS entre 0,70 e 0,84, EM entre -40 e 180 kg MS ha⁻¹, EMA de 220 a 290 kg MS ha⁻¹ e RQME entre 275 e 375 kg MS ha⁻¹. Os índices estatísticos foram satisfatórios nas simulações da MFol, com R^2 entre 0,65 e 0,83, d entre 89 e 96, ENS entre 0,61 e 0,83, EM entre -100 e 15 kg MS ha⁻¹, EMA entre 135 e 175 kg MS ha⁻¹ e RQME entre 195 e 330 kg MS ha⁻¹, não apresentando bons índices na simulação da MC (Tabela 12).

3.4. DISCUSSÃO

O modelo APSIM-Tropical Pasture foi capaz de simular o crescimento do capim-marandu sob lotação contínua com taxa de lotação variável, durante estações chuvosas e secas em pastagens a PS e em diversas variações microclimáticas de um sistema SP de regiões com condições climáticas características do centro-oeste brasileiro. Essa capacidade de realizar simulações permitirá que várias parametrizações sejam geradas para espécies forrageiras de clima tropical sob lotação contínua. O modelo pode ser melhorado para simular diversos ambientes pastoris, seja no PS ou com a forrageira sombreada por árvores, principalmente quando a pastagem for manejada sob lotação contínua.

O capim-marandu pastejado sob lotação contínua, quando mantido a 30 cm de altura não teve ocorrência significativa de florescimento, portanto não foi necessário alterar a partição de fotoassimilados devido a esse fator, nas parametrizações. A espécie avaliada e o manejo empregado promovem uma série de interações entre plantas e animais. As calibrações realizadas poderão servir de base para simular o crescimento de outras espécies e cultivares nas mesmas regiões, com necessidade de teste do modelo em outros locais, com diferentes condições climáticas, de solo e de manejo.

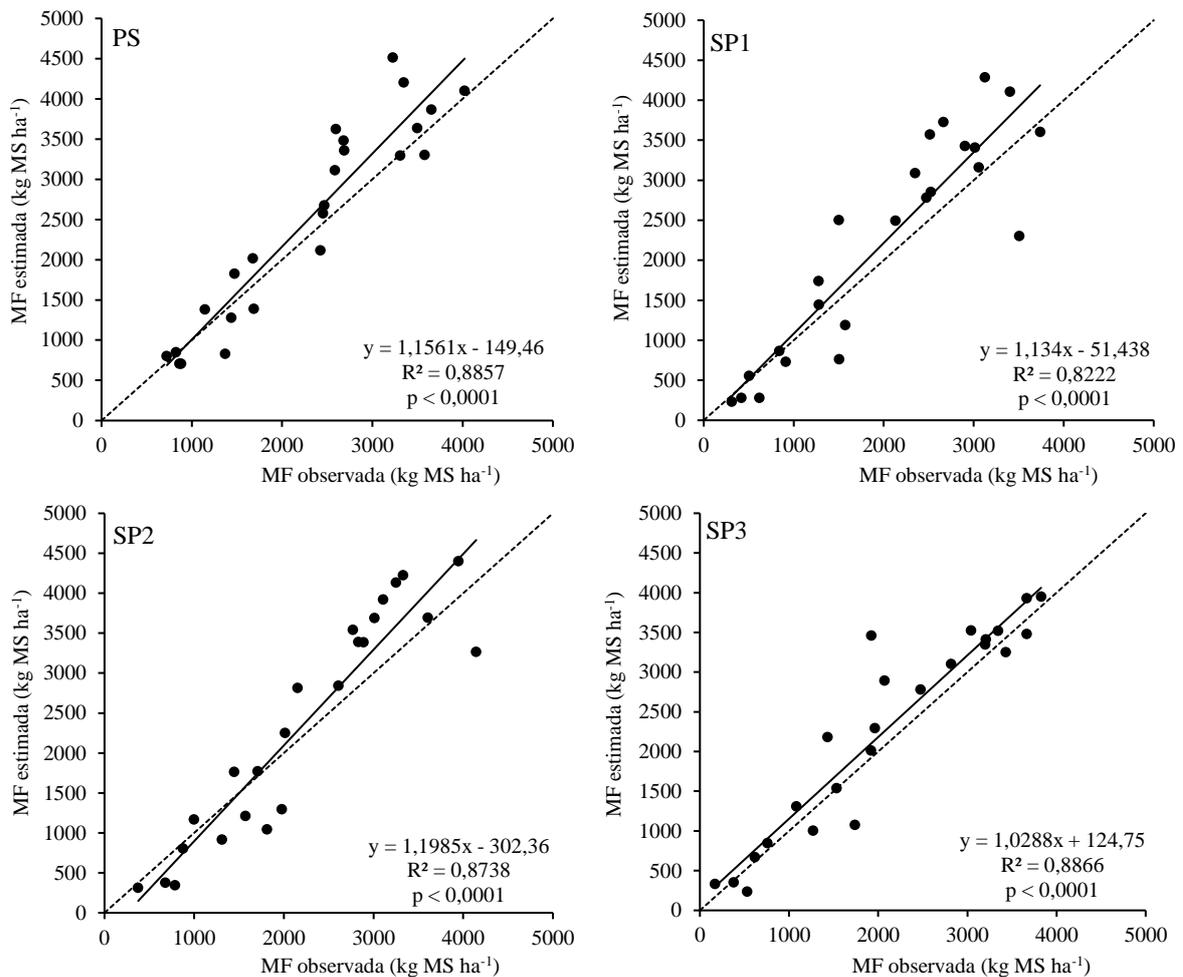


Figura 9. Relação entre massa de forragem (MF) observada e estimada do capim-marandu sob lotação contínua no sistema a pleno sol (PS) e nas distâncias do sistema silvipastoral (SP1: 7,5 m Norte; SP2: 15 m e; SP3: 7,5 m Sul), na fase de calibração do modelo.

Para confirmar a eficiência do modelo *APSIM-Tropical Pasture* foi observado que as simulações do crescimento da forragem sob lotação contínua no sistema PS apresentou índices de desempenho do modelo semelhantes a fase de calibração e, com resultados estatísticos semelhantes às melhores parametrizações realizadas para forragens de clima

tropical disponíveis na literatura (PEDREIRA et al., 2011; LARA et al., 2012; PEQUENO et al., 2014; BOSI, 2017; PEQUENO et al., 2017).

Os resultados das simulações de crescimento no PS ($R^2 = 0,94$; $d = 0,94$; $ENS = 0,67$; $EM = 140 \text{ kg MS ha}^{-1}$; $EMA = 380 \text{ kg MS ha}^{-1}$ e $RQME = 465 \text{ kg MS ha}^{-1}$) foram semelhantes aos resultados encontrados por Bosi (2017) trabalhando com pastagens de capim-*piatã* irrigado e manejado sob corte na região de São Carlos-SP ($R^2 = 0,93$; $d = 0,98$; $ENS = 0,91$; $EM = 280 \text{ kg MS ha}^{-1}$; $EMA = 495 \text{ kg MS ha}^{-1}$ e $RQME = 620 \text{ kg MS ha}^{-1}$) e sequeiro ($R^2 = 0,89$; $d = 0,97$; $ENS = 0,88$; $EM = 45 \text{ kg MS ha}^{-1}$; $EMA = 495 \text{ kg MS ha}^{-1}$ e $RQME = 630 \text{ kg MS ha}^{-1}$), utilizando o *APSIM-Tropical Pasture*. Os resultados também foram semelhantes aos encontrados por Pedreira et al. (2011) utilizando o modelo *CROPGRO-Perennial Forage* nas simulações para o capim-xaraés ($d = 0,84$ e $RQME = 538 \text{ kg MS ha}^{-1}$), de Pequeno et al. (2014) para o capim-marandu ($d = 0,91$ e $0,96$ e $RQME = 464$ e $523 \text{ kg MS ha}^{-1}$) e de Pequeno et al. (2017) para o capim-convert HD 364 ($d = 0,88$ e $0,96$ e $RQME = 619$ e $532 \text{ kg MS ha}^{-1}$).

As simulações da MF do capim-marandu com o modelo *APSIM-Tropical Pasture* demonstram desempenho satisfatório (Tabela 12) considerando a competição pela radiação solar no sistema SP, sugerindo que a competição por água e nutrientes não foi importante nas condições das distâncias avaliadas. Os resultados apresentaram valores estatísticos maiores que os obtidos por Bosi (2017) avaliando a eficiência do modelo *APSIM-Tropical Pasture* nas simulações do capim-*piatã* sob lotação rotativa (R^2 entre 0,58 e 0,85; d entre 0,58 e 0,82; ENS entre -4,07 e -0,14).

Utilizando o modelo *APSIM*, Smethurst et al. (2017) encontram altos índices (R^2 entre 0,73 e 0,99; d entre 0,90 e 1,00 e ENS de 0,67 a 0,98), simulando rendimentos de milho em sistema agroflorestal. Dilla et al. (2017) simulando a biomassa de milho sob vários níveis de sombreamento artificial também encontraram altos índices (R^2 entre 0,94 e 0,95).

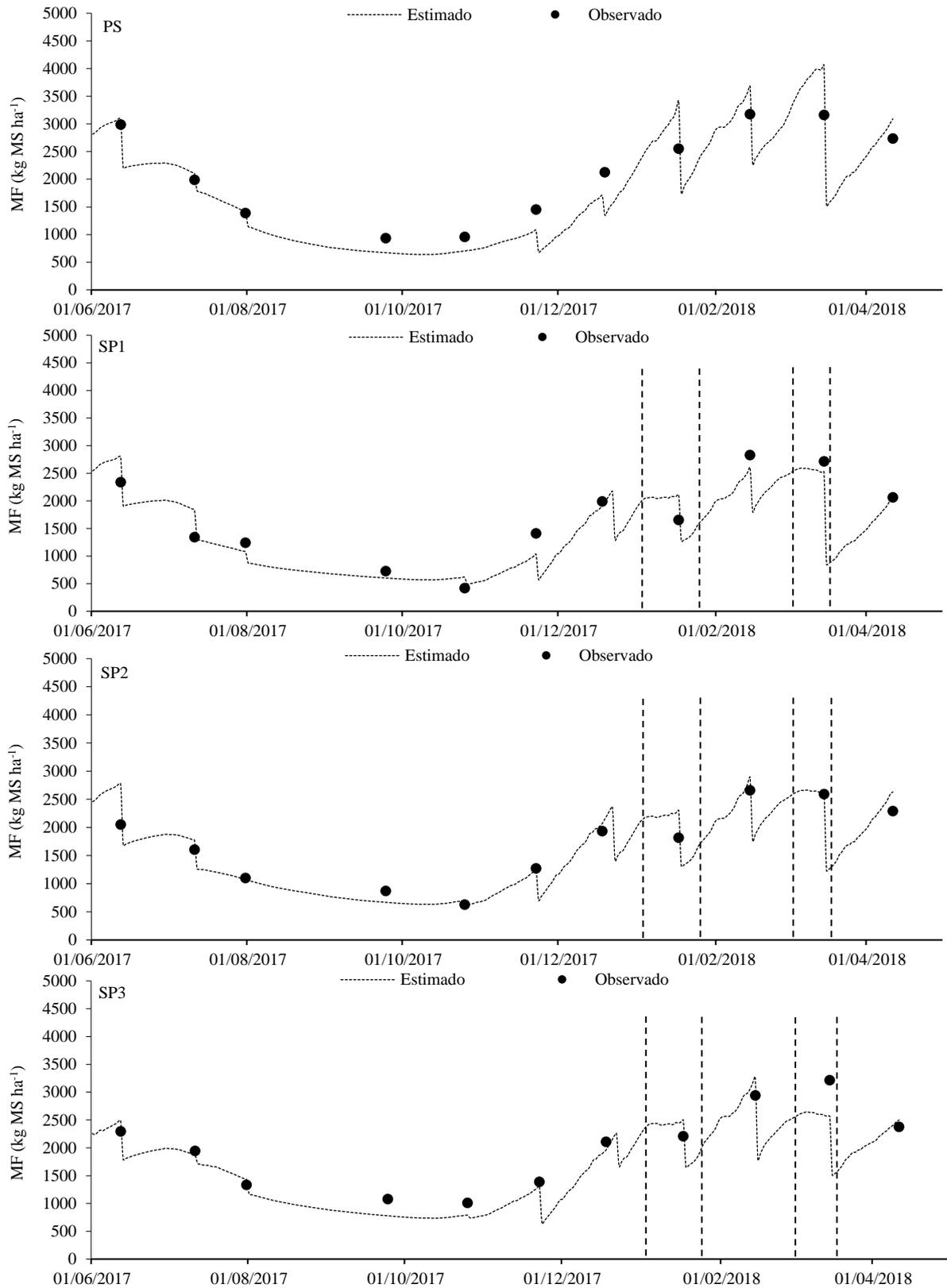


Figura 10. Série temporal da massa de forragem (MF; kg MS ha⁻¹) observada e estimada para o capim-marandu sob lotação contínua no sistema a pleno sol (PS) e nas distâncias do sistema silvipastoril (SP1: 7,5 m Norte; SP2: 15 m e; SP3: 7,5 m Sul), na fase de teste do modelo. Linhas pontilhadas verticais destacam os períodos com penalizações por ataque de pragas.

Bosi (2017) realizou calibrações para simular o crescimento do capim-piatã sob lotação rotativa em um sistema SP, demonstrando que a eficácia do modelo *APSIM-Tropical Pasture* ($R^2 = 0,82$; $d = 0,92$; $ENS = 0,72$, $EM = -460$ kg MS ha^{-1} ; $EMA = 625$ kg MS ha^{-1} e $RQME = 770$ kg MS ha^{-1}) para ambientes com limitações luminosas. Ajustes foram necessários (Tabelas 6, 7, 8 e 10) para que as simulações fossem adequadas para o capim-marandu sob lotação contínua no sistema SP (Tabela 12 e Figuras 10 e 11). Os resultados demonstram que a parametrização do *APSIM-Tropical Pasture* no presente estudo mostrou-se adequada para simular a MF em condições de pastejo sob lotação contínua (Figura 10).

Tabela 12. Índices estatísticos† para as simulações da massa de forragem (MF), massa de folha (MFol), massa de colmo (MC), utilizando o *APSIM-Tropical Pasture*, na fase de teste do modelo para o capim-marandu sob lotação contínua em sistema a pleno sol e nas distâncias do sistema silvipastoril (7,5 m Norte; 15 m e; 7,5 m Sul).

| Variável | R ² | d | ENS | kg MS‡ ha ⁻¹ | | |
|-----------------------|----------------|------|-------|-------------------------|-----|------|
| | | | | EM | EMA | RQME |
| Pleno Sol | | | | | | |
| MF | 0,94 | 0,94 | 0,67 | 140 | 380 | 465 |
| MFol | 0,80 | 0,96 | 0,85 | -50 | 200 | 295 |
| MC | 0,71 | 0,83 | -0,09 | 190 | 310 | 360 |
| Sistema silvipastoril | | | | | | |
| 7,5 m Norte | | | | | | |
| MF | 0,76 | 0,93 | 0,70 | 70 | 290 | 375 |
| MFol | 0,65 | 0,89 | 0,61 | -90 | 160 | 330 |
| MC | 0,59 | 0,81 | 0,21 | 165 | 220 | 260 |
| 15 m | | | | | | |
| MF | 0,93 | 0,96 | 0,78 | 180 | 220 | 305 |
| MFol | 0,85 | 0,96 | 0,83 | 15 | 135 | 195 |
| MC | 0,56 | 0,78 | -0,15 | 165 | 215 | 265 |
| 7,5 m Sul | | | | | | |
| MF | 0,87 | 0,96 | 0,84 | -40 | 225 | 275 |
| MFol | 0,83 | 0,94 | 0,80 | -100 | 175 | 255 |
| MC | 0,28 | 0,69 | 0 | 55 | 250 | 280 |

† R²: coeficiente de determinação; d: índice de concordância; ENS: eficiência de Nash-Sutcliffe; EM: erro médio; EMA: erro médio absoluto; RQME: raiz do quadro médio do erro. ‡ MS, matéria seca.

Santos (2016) simulou o crescimento do capim-piatã sob lotação contínua com o modelo STICS e alcançou $R^2 = 0,48$ e $RMSE = 1020$ kg MS ha^{-1} , enquanto os resultados obtidos por Bosi (2017) para o capim-piatã sob lotação rotativa resultaram em $R^2 = 0,82$; $d = 0,92$; $ENS = 0,72$; $EM = -460$ kg MS ha^{-1} ; $EMA = 625$ kg MS ha^{-1} e $RQME = 770$ kg MS ha^{-1} com *APSIM-Tropical Pasture*.

A capacidade do *APSIM-Tropical Pasture* em simular a MF sob lotação contínua se deve à flexibilidade do modelo para realização de ajustes, permitindo alterar a partição da MS na retomada do crescimento no início do período chuvoso, adicionar um fator de penalização por pragas (cigarrinhas), podendo ser adaptado para outros fatores bióticos ou abióticos que restrinjam o desenvolvimento da forrageira.

No capim-piatã sob lotação rotativa, o particionamento e a senescência foram fortemente influenciados pelo manejo e pelas fases fenológicas. Por essa razão foram necessários dados sobre os fatores que determinam o início e o final do período reprodutivo e os efeitos da floração nesses processos (BOSI, 2017). Porém, no presente estudo, o particionamento da MS e a senescência do capim-marandu sob lotação contínua não foi influenciado pelo período reprodutivo.

Em sistemas de produção em que a forrageira se encontra sob lotação rotativa, a altura do resíduo pós pastejo pode contribuir para os danos físicos causados nos meristemas apicais, ou mesmo acamamento de parte do dossel (SILVA et al., 2016). Isso pode ocasionar diferenças na dinâmica de morte e aparecimento de perfilhos, modificando o particionamento da MS e a senescência para os órgãos da planta. A forrageira sob lotação contínua, quando manejada em altura constante e em alturas mais elevadas, apresenta menos riscos de danos a estrutura do dossel (NEWMAN et al., 2002), uma vez que a altura do dossel forrageiro é constante e normalmente acima da altura que os meristemas estão posicionados, o que pode explicar as simulações bem ajustadas para esse sistema de produção.

Simulações de perdas de forragem por pastejo causado pelos danos físicos dos animais, em sistemas de produção que a forrageira se encontra sob lotação rotativa são importantes para o sucesso das simulações, principalmente com base em fatores de taxa de lotação, MF durante o pastejo, entre outros. A velocidade das perdas por pastejo permitirá que uma MF seja transferida para a matéria orgânica do solo (BOSI, 2017).

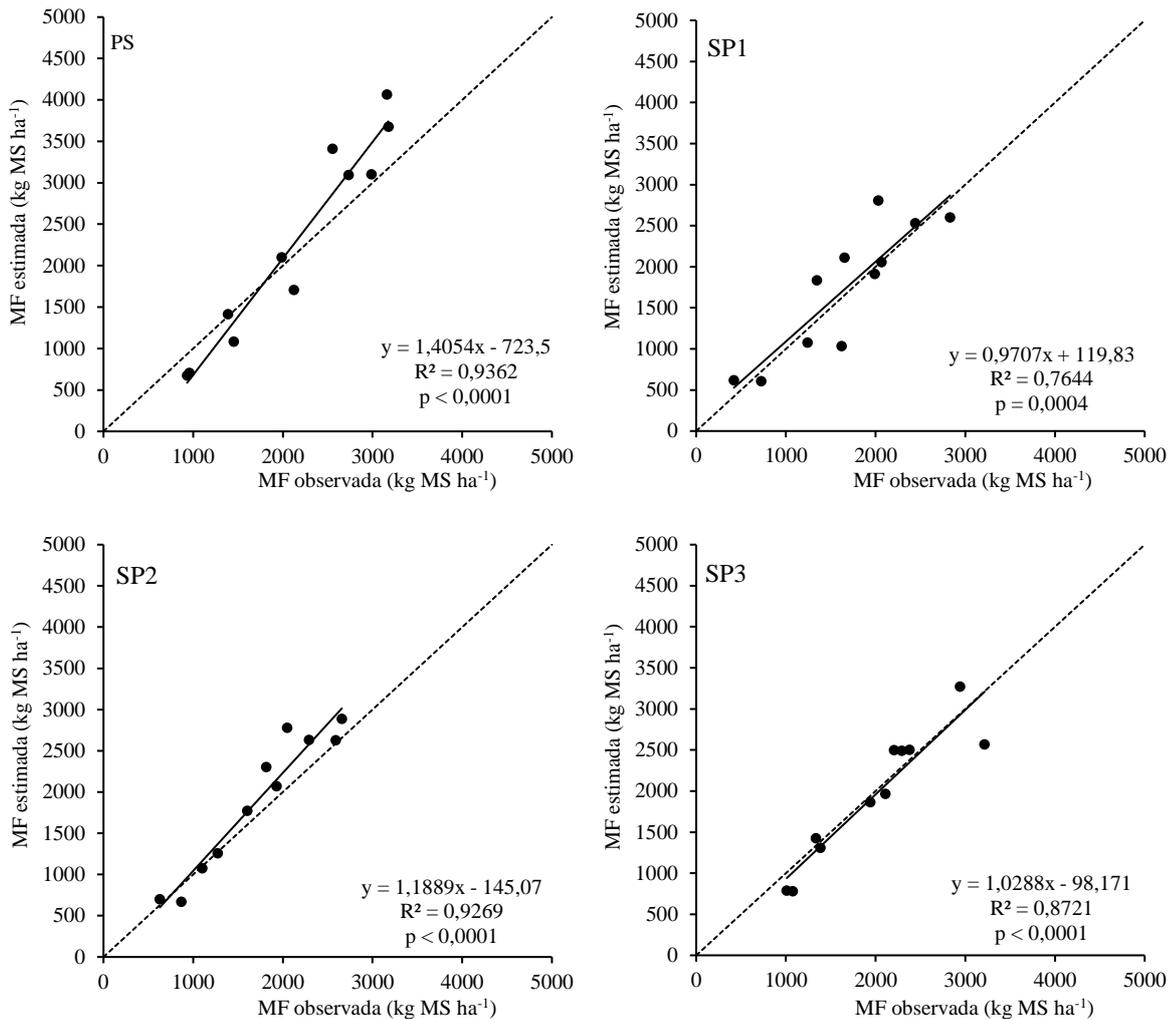


Figura 11. Relação entre massa de forragem (MF) observada e estimada do capim-marandu sob lotação contínua no sistema a pleno sol (PS) e nas distâncias do sistema silvipastoril (SP1: 7,5 m Norte; SP2: 15 m e; SP3: 7,5 m Sul) na fase de teste do modelo.

Sistemas de pastejo em lotação rotativa apresentam características de manejo que podem favorecer as perdas por pastejo, comparativamente a sistemas em lotação contínua. Uma das causas é a altura do dossel na entrada dos animais nas áreas de pastejo, podendo contribuir com os danos físicos causados pelo pisoteio (PEDROSO, 2018). Nesses sistemas de pastejo pode haver maior perda de pastejo dependendo do tempo de permanência dos animais nas áreas pastejáveis, forçando os animais a explorarem camadas inferiores do dossel (BRAGA et al., 2007).

Em sistemas que o capim é manejado sob lotação contínua com taxa de lotação variável, manter a altura do dossel constante permite que o IAF esteja em equilíbrio, com o fluxo de aparecimento e senescência dos tecidos em equilíbrio (SBRISIA; SILVA, 2008). Além disso, possivelmente os danos ocasionados por animais em pastejo no sistema de lotação contínua são menores que em sistemas de lotação rotativa (PEDROSO, 2018),

possivelmente pela posição dos meristemas apicais na forrageira, posicionados abaixo do estrato pastejável pelos animais, contribuindo assim, para redução de danos físicos na planta. Essa característica do manejo da forrageira sob lotação contínua contribuiu para as melhorias nas simulações do modelo, sem a necessidade de penalização por perda de forragem durante a ocupação dos animais.

3.5. CONCLUSÕES

O modelo *APSIM-Tropical Pasture* é capaz de simular o crescimento do capim-marandu sob diversas condições ambientais, como no sistema PS e em níveis contrastantes de sombreamento do sistema SP, quando a forrageira está sob lotação contínua com taxa de lotação variável.

O fator de penalização por ataque de cigarrinha foi criado seguindo as recomendações de controle, sendo eficiente e essencial para melhorar os ajustes nas simulações de crescimento do capim-marandu.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao fomento do projeto pela: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Mato Grosso (FAPEMAT), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Associação dos Criadores do Mato Grosso (ACRIMAT), Associação dos Criadores do Norte de Mato Grosso (ACRINORTE), Fortuna Nutrição Animal, Associação para o Fomento à Pesquisa de Melhoramento de Forrageiras (UNIPASTO) e a Associação Rede ILPF.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M.; AB, W. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing reference crop evapotranspiration. **FAO**, p. 1–15, 1998.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANDRADE, A. S.; SANTOS, P. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; DE ARAUJO, 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.

ARAUJO, L. C.; SANTOS, P. M.; RODRIGUEZ, D.; PEZZOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; CRUZ, P. G. Simulating guinea grass production: Empirical and mechanistic approaches. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 1, p. 61–69, 2013.

BALDISSERA, T. C.; PONTES, L. D. S.; GIOSTRI, A. F.; BARRO, R. S.; LUSTOSA, S. B. C.; DE MORAES, A.; CARVALHO, P. C. D. F. Sward structure and relationship between canopy height and light interception for tropical C 4 grasses growing under trees. **Crop and Pasture Science**, v. 67, n. 11, p. 1199–1207, 2016.

BOSI, C. **Parameterization and evaluation of mechanistic crop models for estimating *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã productivity under full sun and in silvopastoral system**. 2017. Thesis (Doctorate) - University of São Paulo - Superior College of Agriculture “Luiz de Queiroz”, 2017.

BRAGA, G. J.; PEDREIRA, C. G. S.; HERLING, V. R.; LUZ, P. H. D. C. Eficiência de pastejo de capim-marandu submetido a diferentes ofertas de forragem. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 42, n. 11, p. 1641–1649, 2007.

CHRISTOPHE, A.; MOULIA, B.; VARLET-GRANCHER, C. Quantitative contributions of blue light and PAR to the photocontrol of plant morphogenesis in *Trifolium repens* (L.). **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 10, p. 2379–2390, 2006.

CRESTANI, S.; MASCHERONI, J. D. C.; VERA GEREMIA, E.; CARNEVALLI, R. A.; MOURÃO, G. B.; DA SILVA, S. C. Sward structural characteristics and herbage accumulation of Piatã palisade grass (*Brachiaria brizantha*) in a crop-livestock-forest integration area. **Crop and Pasture Science**, v. 68, n. 9, p. 859–871, 2017.

DA SILVA, S. C.; GIMENES, F. M. A.; SARMENTO, D. O. L.; SBRISSIA, A. F.; OLIVEIRA, D. E.; HERNANDEZ-GARAY, A.; PIRES, A. V. Grazing behaviour, herbage intake and animal performance of beef cattle heifers on marandu palisade grass subjected to intensities of continuous stocking management. **Journal of Agricultural Science**, v. 151, n. 5, p. 727–739, 2013.

DA SILVA, S. C.; PEREIRA, L. E. T.; SBRISSIA, A. F.; HERNANDEZ-GARAY, A. Carbon and nitrogen reserves in marandu palisade grass subjected to intensities of continuous stocking management. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, n. 8, p. 1449–1463, 2015.

DILLA, A.; SMETHURST, P. J.; BARRY, K.; PARSONS, D.; DENBOBA, M. Potential of the APSIM model to simulate impacts of shading on maize productivity. **Agroforestry Systems**, p. 1–11, 2017.

ELGALISE, L.; PEREIRA, T.; ANTONIO, R.; DIAS, P. Identification of tiller age categories based on morphogenetic responses of continuously stocked marandu palisade grass fertilised with nitrogen. **Ciência Rural**, v. 45, n. 5, p. 867–870, 2015.

EMBRAPA. Normais climatológicas da Embrapa Agrossilvipastoril - Sinop - MT. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/estacao-meteorologica>>. Acesso em: 25 maio. 2018.

HOLZWORTH, D.; HUTH, N. I.; FAINGES, J.; BROWN, H.; ZURCHER, E.; CICHOTA, R.; VERRALL, S.; HERRMANN, N. I.; ZHENG, B.; SNOW, V. APSIM Next Generation: Overcoming challenges in modernising a farming systems model. **Environmental Modelling and Software**, v. 103, p. 43–51, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.02.002>>.

HOLZWORTH, D. P.; HUTH, N. I.; DEVOIL, P. G.; ZURCHER, E. J.; HERRMANN, N. I.; MCLEAN, G.; CHENU, K.; VAN OOSTEROM, E. J.; SNOW, V.; MURPHY, C.; MOORE, A. D.; BROWN, H.; WHISH, J. P. M.; VERRALL, S.; FAINGES, J.; BELL, L. W.; PEAKE, A. S.; POULTON, P. L.; HOCHMAN, Z.; THORBURN, P. J.; GAYDON, D. S.; DALGLIESH, N. P.; RODRIGUEZ, D.; COX, H.; CHAPMAN, S.; DOHERTY, A.; TEIXEIRA, E.; SHARP, J.; CICHOTA, R.; VOGELER, I.; LI, F. Y.; WANG, E.; HAMMER, G. L.; ROBERTSON, M. J.; DIMES, J. P.; WHITBREAD, A. M.; HUNT, J.; VAN REES, H.; MCCLELLAND, T.; CARBERRY, P. S.; HARGREAVES, J. N. G.; MACLEOD, N.; MCDONALD, C.; HARSDORF, J.; WEDGWOOD, S.; KEATING, B. A. APSIM - Evolution towards a new generation of agricultural systems simulation. **Environmental Modelling and Software**, v. 62, p. 327–350, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.07.009>>.

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.

LOPES, C. M.; SÁVIO, D.; PACIULLO, C.; ALBERTO, S.; ARAÚJO, C.; JOSÉ, M.; MORENZ, F.; DE, C. A.; GOMIDE, M.; MAURÍCIO, R. M.; GOMES, T.; BRAZ, S. Plant morphology and herbage accumulation of signal grass with or without fertilization, under different light regimes Morfologia e acúmulo de forragem de capim-braquiária com ou sem fertilização, sob diferentes regimes de luz. **Ciência Rural**, v. 47, p. 1–7, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160472>>.

PROBERT, P. S. CARBERRY, R. L. MCCOWN, J. E. T. A ustralian J ournal of A gricultural R esearch. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 49, p. 317–327, 1998. Disponível em: <http://www.publish.csiro.au/?act=view_file&file_id=A97070.pdf>.

MARCELINO, K. R. A.; DO NASCIMENTO, D.; DA SILVA, S. C.; EUCLIDES, V. P. B.; DA FONSECA, D. M. Características morfogênicas e estruturais e produção de forragem do capim-marandu submetido a intensidades e frequências de desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 6, p. 2243–2252, 2006.

GIMENES, F. M. A.; DA SILVA, S. C.; FIALHO, C. A.; GOMES, M. B.; BERNDT, A.; GERDES, L.; COLOZZA, M. T. Ganho de peso e produtividade animal em capim - marandu sob pastejo rotativo e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 751–759, 2011.

MARTINS, C. D. M.; EUCLIDES, V. P. B.; BARBOSA, R. A.; MONTAGNER, D. B.; MIQUELOTO, T. Consumo de forragem e desempenho animal em cultivares de *Urochloa humidicola* sob lotação contínua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 10, p. 1402–1409, 2013.

MOORE, A. D.; HOLZWORTH, D. P.; HERRMANN, N. I.; BROWN, H. E.; DE VOIL, P. G.; SNOW, V. O.; ZURCHER, E. J.; HUTH, N. I. Modelling the manager: Representing rule-based management in farming systems simulation models. **Environmental Modelling and Software**, v. 62, p. 399–410, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.09.001>>.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VANLIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. MODEL EVALUATION GUIDELINES FOR SYSTEMATIC QUANTIFICATION OF ACCURACY IN WATERSHED SIMULATIONS. **American Society of Agriculture and Biological Engineers**, v. 50, n. 3, p. 885–900, 2007. Disponível em: <<https://www.ucn.dk/Files/Billeder/ucn/Uddannelser/Multimediedesigner/Curriculum-Multimedia-Design-and-Communication-National-part-UCN.pdf>>.

NEWMAN, Y. C.; SOLLENBERGER, L. E.; KUNKLE, W. E.; CHAMBLISS, C. G. Canopy height and nitrogen supplementation effects on performance of heifers grazing limpgrass. **Agronomy Journal**, v. 94, p. 1375–1380, 2002.

NUNES, S. G.; BOOCK, A.; PENTEADO, M. I. de O.; GOMES, D. T. *Brachiaria brizantha*. **Embrapa Gado de Corte**, v. 21, p. 2377–2381, 1984.

PACIULLO, D. S. C.; PIRES, M. F. A.; MÜLLER, M. D. Oportunidades e desafios dos sistemas integrados na produção animal: ênfase nos sistemas silvipastoris Opportunities and challenges of integrated systems in animal production: emphasis on silvopastoral systems. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Volumen**, v. 25, n. 12, p. 25–35, 2017. Disponível em: <http://ojs.alpa.org.ve/index.php/ojs_files/article/viewFile/2566/1005>.

PAIVA, A. J.; DA SILVA, S. C.; PEREIRA, L. E. T.; GUARDA, V. D. A.; PEREIRA, P. de M.; CAMINHA, F. O. Structural characteristics of tiller age categories of continuously stocked marandu palisade grass swards fertilized with nitrogen. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 1, p. 24–29, 2012.

PAIVA, A. J.; SILVA, S. C. Da; PEREIRA, L. E. T.; CAMINHA, F. O.; PEREIRA, P. D. M.; GUARDA, V. D. Morphogenesis on age categories of tillers in marandu palisadegrass. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 6, p. 626–631, 2011. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/sa/article/view/22718>>.

PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C. G. S.; BOOTE, K. J.; LARA, M. A. S.; ALDERMAN, P. D. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. **Field Crops Research**, v. 120, n. 3, p. 370–379, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2010.11.010>>.

PEDROSO, G. B. **Forage accumulation and nutritive value, canopy structure and grazing losses on Mulato II brachiariagrass under continuous and rotational stocking**. 2018. Dissertation (Master) - University of São Paulo - Superior College of Agriculture “Luiz de Queiroz”, 2018.

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.

PEQUENO, D. N. L.; PEDREIRA, C. G. S.; BOOTE, K. J.; ALDERMAN, P. D.; FARIA, A. F. G. Species-genotypic parameters of the CROPGRO Perennial Forage Model: Implications for comparison of three tropical pasture grasses. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 2, p. 440–455, 2017.

PEREIRA, L. E. T.; PAIVA, A. J.; GUARDA, V. D.; PEREIRA, P. de M.; CAMINHA, F. O.; SILVA, S. C. da. Herbage utilisation efficiency of continuously stocked marandu palisade grass subjected to nitrogen fertilisation. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 2, p. 114–123, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162015000200114&lng=en&tlng=en>.

PEREIRA, L. E. T.; PAIVA, A. J.; SILVA, S. C. Da; CAMINHA, F. O.; GUARDA, V. D.; PEREIRA, P. D. M. Sward structure of marandu palisadegrass subjected to continuous stocking and nitrogen-induced rhythms of growth. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 5, p. 531–539, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162010000500006&lng=en&tlng=en>.

PEREIRA, M. de A.; COSTA, F. P. RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS GERADAS PELA EMBRAPA GADO DE CORTE. **EMBRAPA GADO DE CORTE**, p. 1–20, 2015.

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

PERI, P. L.; MOOT, D. J.; MCNEIL, D. L. Modelling photosynthetic efficiency (α) for the light-response curve of cocksfoot leaves grown under temperate field conditions. **European Journal of Agronomy**, v. 22, n. 3, p. 277–292, 2005.

PEZZOPANE, J. R. M.; SANTOS, P. M.; CRUZ, P. G. da; BOSI, C.; SENTELHAS, P. C. An integrated agrometeorological model to simulate Marandu palisade grass productivity. **Field Crops Research**, v. 224, n. December 2015, p. 13–21, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.04.015>>.

PONTES, L. da S.; CARPINELLI, S.; STAFIN, G.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; SANTOS, B. R. C. do. Relationship between sward height and herbage mass for integrated crop-livestock systems with trees. **Grassland Science**, v. 63, n. 1, p. 29–35, 2017.

PONTES, L. D.; BARRO, R. S.; SAVIAN, J. V.; BERNDT, A.; MOLETTA, J. L.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; BAYER, C.; DE FACCIO CARVALHO, P. C. Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 253, n. November 2017, p. 90–97, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.009>>.

PONTES, L. da S.; GIOSTRI, A. F.; BALDISSERA, T. C.; BARRO, R. S.; STAFIN, G.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MOLETTA, J. L.; CARVALHO, P. C. de F. Interactive effects of trees and nitrogen supply on the agronomic characteristics of warm-climate grasses. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 4, p. 1531–1541, 2016.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SANTOS, D. D. C. Características Do Capim-Piatã E Desempenho De Bovinos Em Sistemas Silvopastoris No Cerrado. **Universidade Federal de Goiás**, 2016.

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

SILVA, S. C. Da; SBRISSIA, A. F. Análise de componentes principais entre características morfogênicas e estruturais em capim-marandu sob lotação contínua. **Ciência Rural**, v. 40, n. 3, p. 690–693, 2010.

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

SMETHURST, P. J.; HUTH, N. I.; MASIKATI, P.; SILESHI, G. W.; AKINNIFESI, F. K.; WILSON, J.; SINCLAIR, F. Accurate crop yield predictions from modelling tree-crop interactions in gliricidia-maize agroforestry. **Agricultural Systems**, v. 155, n. July 2016, p. 70–77, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2017.04.008>>.

SNOW, V.; HUTH, N. The APSIM – M ICROMET module. 2004.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology: (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1), 1955.

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

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, n. 1, p. 183–192, 2017.

ZHU, X. G.; LONG, S. P.; ORT, D. R. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? **Current Opinion in Biotechnology**, v. 19, n. 2, p. 153–159, 2008.

4. CONCLUSÕES GERAIS

Quando os renques de árvores estão orientados próximo ao sentido Leste-Oeste, em decorrência da declinação solar, os níveis de sombreamento são variáveis ao longo do ano e nos horários dos dias.

O manejo do pastejo foi essencial para que as repostas da forrageira no sistema SP fossem comparadas ao sistema PS. Animais pastejando o capim-marandu em lotação contínua com taxa de lotação variável no período das águas permitiu que a estrutura do dossel forrageiro fosse mantida constante (30 ± 5 cm) nas distâncias avaliadas (7,5m Norte, 15 m e 7,5 m Sul).

O capim-marandu é uma forrageira de clima tropical com a habilidade de aclimatação morfofisiológica, capaz de tolerar as reduções leves na incidência da RFA, mantendo-se produtiva. Essas tolerâncias foram constatadas por meio de aumentos do acúmulo de folhas.

O modelo *APSIM-Tropical Pasture* foi capaz de simular o crescimento do capim-marandu de forma eficiente no sistema PS e em diferentes condições microambientais do sistema SP.

Os índices para análise do desempenho do modelo demonstraram que as simulações do crescimento do capim-marandu sob lotação contínua foram bem parametrizadas. Esses resultados foram associados a ausência de influência do período reprodutivo sobre o particionamento de matéria seca; não necessidade de inclusão de penalização por danos ocasionados por pastejo e; inclusão de um fator de penalização por ataque de pragas (cigarrinhas) ao modelo.