

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**

**GUSTAVO KRAHL**

**METAS DE MANEJO PARA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE EM AMBIENTES  
DE PLENO SOL E SOMBRA**

**LAGES**  
**2020**

**GUSTAVO KRAHL**

**METAS DE MANEJO PARA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE EM AMBIENTES  
DE PLENO SOL E SOMBRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência Animal, Área de Concentração: Produção Animal.

Orientador: Dr. Henrique Mendonça Nunes Ribeiro Filho

Co-orientador: Dr. Tiago Celso Baldissera

**LAGES  
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Krahl, Gustavo  
METAS DE MANEJO PARA GRAMA  
MISSIONEIRA-GIGANTE EM AMBIENTES DE PLENO SOL  
E SOMBRA / Gustavo Krahl. -- 2020.  
135 p.

Orientador: Henrique Mendonça Nunes Ribeiro Filho  
Coorientador: Tiago Celso Baldissera  
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Ciência Animal, Lages, 2020.

1. Altura. 2. Competição por luz. 3. Desfolha. 4. Sistemas  
integrados de produção agropecuária. 5. Sombreamento. I.  
Mendonça Nunes Ribeiro Filho, Henrique. II. Celso  
Baldissera, Tiago. III. Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Ciência Animal. IV. Título.

**GUSTAVO KRAHL**

**METAS DE MANEJO PARA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE EM AMBIENTES  
DE PLENO SOL E SOMBRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência Animal, Área de Concentração: Produção Animal.

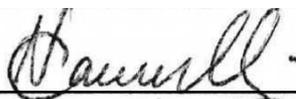
**BANCA EXAMINADORA:**



---

Dr. Tiago Celso Baldissera  
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa  
Catarina – EPAGRI

Membros:



---

Dr. Alexandre Costa Varella  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA



---

Professor Dr. André Fisher Sbrissia  
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC



---

Professora Dra. Raquel Santiago Barro  
Universidade Federal de Viçosa - UFV



---

Professor Dr. Sebastião Brasil Campos Lustosa  
Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO

Lages, 15 de julho de 2020

Dedico este trabalho à minha família,  
principalmente ao meu pai Maximino Krahl  
(*in memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus pelo dom da vida, por ter me guiado e por ter colocado pessoas incríveis em meu caminho.

Agradeço à minha família pelo apoio incondicional durante toda a minha trajetória acadêmica. À minha mãe Dirce pelo amor, carinho e cuidado, traduzidos em roupas com cheirinho de amaciante inigualável. Ao meu irmão Mateus, pelo exemplo de determinação, persistência e humanidade.

Ao meu pai Maximino Krahl (*in memoriam*), que me ensinou pelo exemplo a dignidade do trabalho, como cuidar de uma família, como aproveitar bem a vida de forma simples e genuína, pelas cantorias, pelas pescarias de carpa em manhãs de geada, pelo gosto ao trabalho com as abelhas, pelo exemplo de força de vontade, por acreditar em seus filhos e por não nos deixar faltar nada, mesmo em tempos difíceis.

Ao professor Dr. Henrique Mendonça Nunes Ribeiro Filho, por ter acreditado na realização deste trabalho, por me oportunizar o crescimento profissional, pela orientação em questões fundamentais na interpretação dos resultados do trabalho e por mostrar que é possível realizar feitos importantes, independentemente de onde você esteja. Muito obrigado!

Aproveito para estender os agradecimentos aos professores da Ciência animal, em especial aos professores Dimas (pelos conselhos ainda na graduação), Thaler (pela didática em suas aulas) e André Sbrissia (por mostrar que as perguntas e hipóteses da pesquisa são fundamentais para realização de trabalhos relevantes, além de sua didática na abordagem da 'forragicultura'). Continuem inspirando pessoas!!

Ao Dr. Tiago Celso Baldissera, que teve papel fundamental na orientação deste trabalho e por mostrar que é possível e necessário ir além dos nossos limites. Obrigado pela enorme contribuição no meu modo de ver uma planta forrageira e a ciência.

Aos pesquisadores Cassiano (por mostrar a importância e a responsabilidade da formação), Fábio (por sempre se importar em como eu estava conduzindo as atividades paralelas e por entender a importância delas na minha vida profissional) e Simone (por ampliar os horizontes da análise dos dados). Também aos colaboradores da EPAGRI, pela contribuição na montagem do experimento e coleta de dados.

Aos que contribuíram na condução do experimento...Cassio, Ricardo, Gabriela, Giovani, Juliana, José Mateus, Matheus e Camila. Sem vocês este trabalho não seria possível.

À Universidade do Oeste de Santa Catarina – UNOESC, pelo incentivo e pelas condições proporcionadas para a realização do doutorado. Em especial ao professor Milton da Veiga pelo estímulo! Aos acadêmicos dos cursos de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia que fizeram parte desta trajetória.

À Secretaria de Estado da Educação de Santa Catarina – SED, pelo consentimento de bolsa através do Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina – UNIEDU (Chamada pública nº 650/SED/2017) durante parte do período de desenvolvimento deste trabalho.

Ao final desta etapa, “confirmo a minha hipótese” de que as escolhas foram acertadas, principalmente pelas pessoas que conheci e pelo nível de conhecimento ampliado para além das minhas expectativas.

Muito obrigado!

“Eu vim trazendo coragem, esperança e sangue forte  
A minha pobre bagagem eu mesmo fiz o transporte

Para entrar na batalha, saí da minha trincheira  
Com pingos do meu suor fui apagando a poeira  
Com fibra e resistência, igual cerne de aroeira  
Eu sempre segui avante, atravessando barreira  
E no mastro da vitória hasteei minha bandeira

Chorei muito no passado, para sorrir no presente  
Estou colhendo o fruto onde plantei a semente  
A minha mão calejada é minha grande patente...”

(Interpretado por Tião Carreiro e Paraíso)

## RESUMO

KRAHL, Gustavo. **Metas de manejo para grama missioneira-gigante em ambientes de pleno sol e sombra**. 2020. p.140. Tese (Doutorado em Ciência Animal – Área: Produção Animal). Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Lages, 2020.

Os sistemas integrados de produção agropecuária têm sido preconizados para atingir a intensificação sustentável da produção de alimentos. Porém, é possível que ocorra impacto negativo na produção de forragem de pastos crescendo em sistemas com árvores, e ainda não está definido se metas de manejo aplicadas para pastagens em pleno sol podem ser recomendadas em ambientes sombreados. Foram testadas as hipóteses de que as alturas ideais do pasto para o início e interrupção da utilização são superiores em sistema com restrição de luminosidade em comparação em pleno sol, principalmente devido às respostas de estiolamento vertical, redução da densidade populacional de perfilhos e interceptação de luminosidade. Desta forma, objetivou-se determinar as metas de manejo para grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) em pleno sol e com restrição de luminosidade, com base nas respostas em perfilhos individuais, estrutura do dossel forrageiro, acúmulo e composição química de massa aérea, e massa de raízes. Os tratamentos consistiram na combinação de dois ambientes luminosos (sol e sombra), quatro alturas de corte inicial (15, 25, 35 e 45 cm) e quatro intensidades de desfolha (20, 40, 60 e 80%), avaliados num esquema fatorial, em delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições. As plantas foram estabelecidas em caixas de madeira (0,15 m<sup>3</sup>) com substrato de areia e vermiculita, irrigadas com solução nutritiva completa. A sombra foi reproduzida por ripados de madeira, com redução de 50% da luminosidade. A grama missioneira-gigante respondeu à restrição de luminosidade com redução da densidade populacional de perfilhos e do índice de área foliar. As plantas com restrição de luminosidade e em pleno sol responderam de forma semelhante às metas de manejo aplicadas. Alturas acima de 35 cm aumentaram a proporção de colmos e pseudocolmos com redução dos teores de proteína bruta da forragem, enquanto alturas inferiores a 25 cm reduziram a densidade de folhas e a produção de raízes. A intensidade de desfolha mais severa (e.g. 80%) reduziu a densidade populacional de perfilhos, enquanto a intensidade menos severa (e.g. 20%) penalizaria a utilização da forragem produzida. A aplicação de 40% de intensidade de desfolha estimulou o desenvolvimento do sistema radicular das plantas em pleno sol, sem alterar o desenvolvimento de raízes em ambiente sombreado. Os resultados evidenciam que metas de altura entre 25 e 35 cm com intensidades de desfolha entre 40% e 60% podem ser recomendadas para a grama missioneira-gigante, independente do ambiente luminoso.

Palavras-chave: Altura. Competição por luz. Desfolha. Sistemas integrados de produção agropecuária. Sombreamento.

## ABSTRACT

KRAHL, Gustavo. **Management targets for giant missionary grass in full sun and shade**. 2020. p.140. Thesis (Doctorate in Animal Science - Area: Animal Production) - Santa Catarina State University. Post Graduate Program in Animal Science, Lages, 2020.

Integrated crop-livestock systems have been advocated as an alternative to improve sustainable intensification of food production. However, reducing the luminosity of pastures might impair herbage yield, and it is not yet established management targets for shaded environments. It was hypothesized that pre-cutting sward heights targets are higher in a shaded environment compared to a full sunshine, due to vertical growing responses as a function of reduced light interception. The objective was to determine management targets for giant missionary grass (*Axonopus catharinensis* Valls.) in full sun and with light restriction, based on individual responses of tillers, canopy structure, dry matter accumulation, chemical composition and root biomass development. The treatments were a combination of two luminous environments (full sun and shade), four cutting heights (15, 25, 35 and 45 cm) and four defoliation intensities (20, 40, 60 and 80%), evaluated in a factorial scheme, in a completely randomized design, with 3 repetitions. The plants were established in wooden boxes (0.15 m<sup>3</sup>) with sand and vermiculite substrate, irrigated with complete nutrient solution. The shade was reproduced by wooden slats, with a 50% reduction in light intensity. Plants in the shaded environment decreased the tiller population density and leaf area index. Regardless of the light environment, plants have shown similar responses. Pre-cutting sward heights higher than 35 cm increased the stems and pseudostems proportion and decreased crude protein content, whereas sward heights less than 25 cm decreased the leaf density and root biomass production. The most severe defoliation intensity (e.g. 80%) decreased the tiller population density, whereas the most lenient defoliation (e.g. 20%) would impair herbage utilization. The 40% of defoliation intensity increased the root development in plants receiving full sunshine, without effects in plants on the shaded environment. The results put in evidence that management targets of pre-cutting sward height between 25 and 35 cm, and defoliation intensities between 40 and 60% may be recommended for giant missionary grass, regardless of luminosity.

Keywords: Height. Light competition. Defoliation. Integrated Crop-Livestock System. Shading.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1 – METAS DE MANEJO PARA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE EM PLENO SOL E NA SOMBRA

- Figura 1 – Médias diárias de temperatura do ar (T) e umidade relativa do ar (UR) durante o período experimental para pleno sol (linha contínua) e para sombreamento artificial (linha segmentada).....55
- Figura 2 – Altura do perfilho estendido (PE) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a dois ambientes luminosos e alturas de corte .....58
- Figura 3 – Densidade populacional de perfilhos (DPP) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a dois ambientes luminosos e alturas de corte.....59
- Figura 4 – Densidade de folhas (A) e densidades de colmo + pseudocolmos (B) no estrato coletado de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a dois ambientes luminosos e manejados em intensidades de desfolha.....60
- Figura 5 – Relação entre altura do dossel de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) e interceptação luminosa em dois ambientes luminosos .....61
- Figura 6 – Estrato de folhas livre de bainhas de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a alturas de corte .....66

### ARTIGO 2 - RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E ESTRUTURAS DA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE EM AMBIENTES COM LUMINOSIDADE DISTINTA E METAS DE MANEJO CONTRASTANTES

- Figura 1 – Médias diárias de temperatura do ar (T) e umidade relativa do ar (UR) durante o período experimental para pleno sol (linha contínua) e para sombreamento artificial (linha segmentada).....78
- Figura 2 – Densidade populacional de perfilhos (DPP) da grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a dois ambientes luminosos e alturas de corte.....81

Figura 3 – Interceptação luminosa de grama missioneira-gigante ( <i>Axonopus catharinensis</i> Valls.) submetida a dois ambientes luminosos e alturas de corte .....	82
Figura 4 – Densidade populacional de perfilhos (DPP) e peso médio dos perfilhos (PMP) em pastagem de grama missioneira-gigante ( <i>Axonopus catharinensis</i> Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado, submetida a alturas de corte.....	91
Figura 5 – Densidade populacional de perfilhos (DPP) e peso médio dos perfilhos (PMP) em pastagem de grama missioneira-gigante ( <i>Axonopus catharinensis</i> Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado, submetida a intensidades de desfolha.....	92
Figura 6 – Relação logarítmica entre a densidade populacional de perfilhos (DPP) e peso médio dos perfilhos (PMP) em pastagem de grama missioneira-gigante ( <i>Axonopus catharinensis</i> Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado .....	93

### ARTIGO 3 - IMPACTO DA LUMINOSIDADE E METAS DE MANEJO NO ACÚMULO DE MASSA AÉREA, MASSA DE RAÍZES E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE

Figura 1 – Médias diárias de temperatura do ar (T) e umidade relativa do ar (UR) durante o período experimental para pleno sol (linha contínua) e para sombreamento artificial (linha segmentada).....	108
Figura 2 – Massa de raízes de grama missioneira-gigante ( <i>Axonopus catharinensis</i> Valls.) submetida a dois regimes de luz e intensidades de desfolha.....	113
Figura 3 – Relação parte aérea: raiz de grama missioneira-gigante ( <i>Axonopus catharinensis</i> Valls.) submetida a dois regimes de luz e intensidades de desfolha.....	114
Figura 4 – Teor de matéria orgânica (MO) de grama missioneira-gigante ( <i>Axonopus catharinensis</i> Valls.) submetida a dois regimes de luz e alturas de corte .....	115
Figura 5 – Teor de fibra em detergente ácido (FDA) de grama missioneira-gigante ( <i>Axonopus catharinensis</i> Valls.) submetida a dois regimes de luz e intensidades de desfolha.....	116

## LISTA DE TABELAS

### REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1 – Principais respostas observadas em plantas forrageiras à sombra .....27

### ARTIGO 1 – METAS DE MANEJO PARA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE EM PLENO SOL E NA SOMBRA

Tabela 1 – Altura do colmo + pseudocolmo e estrato de folhas livre de bainhas (EFLB) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado.....61

Tabela 2 – Altura do colmo + pseudocolmo, estrato de folhas livre de bainhas (EFLB) e densidade de folhas e colmos + pseudocolmos de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a alturas de corte.....62

Tabela 3 – Altura do perfilho estendido, do colmo + pseudocolmo, estrato de folhas livre de bainhas (EFLB) e densidade populacional de perfilhos (DPP) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a intensidades de desfolha.....63

### ARTIGO 2 - RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E ESTRUTURAS DA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE EM AMBIENTES COM LUMINOSIDADE DISTINTA E METAS DE MANEJO CONTRASTANTES

Tabela 1 – Peso médio dos perfilhos (PMP), área foliar específica (AFE), peso específico de colmo (PEC), ângulo foliar (AF), área de folhas por perfilho (AFP), área média das folhas (AMF), número de folhas por perfilho (NFP) e índice de área foliar (IAF) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado.....83

Tabela 2 – Peso médio dos perfilhos (PMP), área foliar específica (AFE), peso específico de colmo (PEC), ângulo foliar (AF), área de folhas por perfilho (AFP), área média das folhas (AMF), número de folhas por perfilho (NFP) e índice de área foliar (IAF) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a alturas de corte .....84

Tabela 3 – Densidade populacional de perfilhos (DPP), interceptação luminosa (IL), peso médio dos perfilhos (PMP), área foliar específica (AFE), peso específico de colmo (PEC), ângulo foliar (AF), área de folhas por perfilho (AFP), área média das folhas (AMF), número de folhas por perfilho (NFP) e índice de área foliar (IAF) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a alturas de corte e intensidades de desfolha.....85

### ARTIGO 3 - IMPACTO DA LUMINOSIDADE E METAS DE MANEJO NO ACÚMULO DE MASSA AÉREA, MASSA DE RAÍZES E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE

Tabela 1 – Acúmulo de massa aérea (AMA), taxa de acúmulo de folhas (TaF), taxa de acúmulo total (TaT), relação folha: colmo (F: C), massa de raízes (MR) e relação massa aérea: raiz (A: R) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado, submetida a alturas de corte e intensidades de desfolha .....112

Tabela 2 – Teor de matéria orgânica (MO) proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado, submetida a alturas de corte e intensidades de desfolha ...117

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
2.1	SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA (SIPA) .....	19
2.1.1	<b>Conceito e componentes</b> .....	<b>19</b>
2.1.2	<b>Plantas forrageiras destinadas a sistemas com redução de luz</b> .....	<b>20</b>
2.1.2.1	<i>Gramma missioneira-gigante (Axonopus catharinensis Valls.)</i> .....	21
2.1.3	<b>Modificações ambientais em sistemas sombreados</b> .....	<b>23</b>
2.1.4	<b>Respostas das plantas forrageiras em SIPA</b> .....	<b>24</b>
2.2	METAS DE MANEJO DO PASTEJO .....	30
2.2.1	<b>Metas de manejo do pastejo em pleno sol</b> .....	<b>31</b>
2.2.1.1	<i>Metas de manejo para interrupção do período de descanso</i> .....	31
2.2.1.2	<i>Metas de manejo para interrupção do período de ocupação</i> .....	33
2.2.2	<b>Metas de manejo do pastejo em ambiente com luminosidade restrita</b>	<b>35</b>
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37
<b>3</b>	<b>HIPÓTESES</b> .....	<b>48</b>
3.1	HIPÓTESE GERAL .....	48
3.2	HIPÓTESES ESPECÍFICAS.....	48
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>49</b>
4.1	OBJETIVO GERAL.....	49
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	49
<b>5</b>	<b>ARTIGO 1 – METAS DE MANEJO PARA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE EM PLENO SOL E NA SOMBRA</b> .....	<b>50</b>
5.1	RESUMO.....	50
5.2	ABSTRACT .....	51
5.3	INTRODUÇÃO .....	52
5.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	54
5.4.1	<b>Local e clima</b> .....	<b>54</b>
5.4.2	<b>Tratamentos, implantação e manejo</b> .....	<b>55</b>
5.4.3	<b>Medidas</b> .....	<b>56</b>
5.4.4	<b>Análise estatística</b> .....	<b>57</b>
5.5	RESULTADOS .....	57
5.5.1	<b>Efeito do ambiente luminoso</b> .....	<b>60</b>
5.5.2	<b>Efeito da altura de corte</b> .....	<b>62</b>
5.5.3	<b>Efeito da intensidade de desfolha</b> .....	<b>62</b>
5.6	DISCUSSÃO .....	63
5.6.1	<b>Efeito dos tratamentos sobre a altura do dossel e a composição do perfilho</b> .....	<b>63</b>

5.6.2	<b>Efeito dos tratamentos sobre a densidade populacional de perfilhos e componentes</b> .....	65
5.6.3	<b>Implicações práticas</b> .....	66
5.7	CONCLUSÕES .....	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
6	<b>ARTIGO 2 - RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E ESTRUTURAIS DA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE EM AMBIENTES COM LUMINOSIDADE DISTINTA E METAS DE MANEJO CONTRASTANTES</b> .....	73
6.1	RESUMO.....	73
6.2	ABSTRACT .....	74
6.3	INTRODUÇÃO .....	74
6.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	77
6.4.1	<b>Local e clima</b> .....	77
6.4.2	<b>Tratamentos, implantação e manejo</b> .....	78
6.4.3	<b>Medidas</b> .....	79
6.4.4	<b>Análise estatística</b> .....	80
6.5	RESULTADOS .....	80
6.5.1	<b>Densidade populacional de perfilhos</b> .....	80
6.5.2	<b>Interceptação luminosa</b> .....	81
6.5.3	<b>Respostas da planta à redução da luminosidade sob metas de manejo</b> .....	82
6.6	DISCUSSÃO .....	85
6.6.1	<b>Alterações anatômicas e estruturais em resposta a sombra</b> .....	85
6.6.1.1	<i>Área foliar específica</i> .....	85
6.6.1.2	<i>Peso específico de colmo</i> .....	86
6.6.1.3	<i>Ângulo foliar</i> .....	87
6.6.2	<b>Relações do dossel vegetal com a sombra e metas de manejo</b> .....	88
6.6.2.1	Densidade populacional de perfilhos.....	88
6.6.3	<b>Peso médio dos perfilhos e sua relação com a DPP</b> .....	90
6.6.4	<b>Área de folhas por perfilho</b> .....	93
6.6.5	<b>Índice de área foliar</b> .....	94
6.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	96
7	<b>ARTIGO 3 - IMPACTO DA LUMINOSIDADE E METAS DE MANEJO NO ACÚMULO DE MASSA AÉREA, MASSA DE RAÍZES E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE</b> .....	104
7.1	RESUMO.....	104
7.2	ABSTRACT .....	105
7.3	INTRODUÇÃO .....	105
7.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	108

<b>7.4.1</b>	<b>Local e clima .....</b>	<b>108</b>
<b>7.4.2</b>	<b>Tratamentos, implantação e manejo.....</b>	<b>109</b>
<b>7.4.3</b>	<b>Medidas .....</b>	<b>109</b>
<b>7.4.4</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>110</b>
<b>7.5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>111</b>
<b>7.5.1</b>	<b>Acúmulo de massa aérea e massa de raízes .....</b>	<b>111</b>
<b>7.5.2</b>	<b>Composição química .....</b>	<b>114</b>
<b>7.6</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>117</b>
<b>7.6.1</b>	<b>Acúmulo de massa aérea e massa de raízes .....</b>	<b>117</b>
<b>7.6.2</b>	<b>Composição química .....</b>	<b>121</b>
<b>7.7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>123</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>123</b>
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>131</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas integrados de produção agropecuária podem ser classificados como tecnologia para a produção sustentável, por ser uma forma alternativa de uso do solo, com base no consórcio de culturas de pastagens, árvores e animais, simultaneamente ou sequencialmente (CARNEVALLI et al., 2019a). Para que um sistema de produção com base em pastagens seja genuinamente sustentável, é fundamental que sejam definidas metas claras de manejo do pastejo. A falta de um mínimo controle quanto ao gerenciamento dos animais nas áreas de pastagem pode resultar na degradação do sistema (MACEDO; ARAÚJO, 2019). Neste contexto, os sistemas que integram pastagens, árvores e animais são apresentados como alternativa de recuperação de pastagens degradadas. No entanto, a implantação desses sistemas muitas vezes é limitada por questões culturais dos produtores ou por questões implícitas ao próprio sistema.

Em relação à cultura dos produtores, pode-se relatar que durante a expansão de fronteiras agrícolas brasileiras nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, a remoção da vegetação nativa para estabelecimento de lavouras e pastagens era prática comum (BOLFE et al., 2018). O fato de se propor a implantação de árvores em uma área agrícola e / ou de pastagem geralmente utilizada sob monocultivo, parece ser uma afronta ao hábito estabelecido ao longo dos anos. Quanto às características do próprio sistema, a integração de vários componentes em uma área produtiva tende a aumentar a sua complexidade, o que requer que o produtor rural amplie seus conhecimentos técnicos e mercadológicos associados a várias atividades produtivas. Além disso, demandam necessidade de elevado investimento inicial com retorno a médio e longo prazo.

A partir de pesquisas em sistemas integrados realizadas ao longo dos anos, é possível estabelecer algumas características gerais, tais como: i) a escolha das espécies vegetais é fundamental à persistência do sistema; ii) ocorrem modificações ambientais quanto a luminosidade do sistema e características microclimáticas, e estas são heterogêneas ao longo do espaço e do tempo; iii) as respostas das plantas do sub-bosque são espécie-específicas e altamente dependentes das condições de luminosidade impostas pelos arranjos do componente arbóreo e do seu manejo; iv) plantas no sub-bosque respondem no sentido de compensar a redução de

intensidade luminosa e modificação nos comprimentos de onda, através de alterações morfofisiológicas e estruturais.

Dentre as alterações de plantas forrageiras à sombra que resultam em estruturas diferentes quando comparada ao pleno sol, a redução na densidade populacional de perfilhos e o estiolamento impactam em como a planta intercepta a luz (PACIULLO et al., 2011; ABRAHAM et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2019; RODRIGUES et al., 2019; ANDRÉ et al., 2020). Sob a perspectiva da planta, o dossel tende a ser mais alto para interceptar a luminosidade semelhante ao dossel em pleno sol para várias espécies forrageiras (GOBBI et al., 2009; BALDISSERA et al., 2016). Estruturas menos densas e mais altas podem resultar em modificações comportamentais de animais em pastejo, o que sugere que metas de manejo em pleno sol não possam ser aplicadas em ambiente sombreado, ao menos em plantas que respondem de forma característica às alterações de luz.

A complexidade se estabelece ainda, devido a competição eminente por recursos entre os componentes do sistema. As espécies vegetais do bosque e do sub-bosque competem principalmente por luz, carbono, água e nutrientes. Os animais e o pasto estabelecem uma relação conflitante, em que as plantas necessitam de folhas para realização da fotossíntese e os animais preferem as folhas para o atendimento de suas exigências nutricionais. A gestão adequada do sistema pode determinar o seu nível de produtividade e a sua persistência ao longo do tempo. Neste cenário, a realização de pesquisas se torna imprescindível para a definição de sistemas bem dimensionados e com metas claras de manejo dos componentes vegetais e animais, além do manejo do solo e água. Sistemas integrados bem projetados podem ser viáveis, pois existem espécies forrageiras que crescem bem sob sombreamento moderado e os mecanismos de adaptação ao sombreamento podem ser benéficos à produção animal (PACIULLO et al., 2009; FARIA et al., 2018; GOMES et al., 2020). É possível verificar que a produtividade de bovinos de corte em sistemas integrados com árvores pode ser superior às médias brasileiras e aos sistemas de monocultivo (GASPARINI et al., 2017). Porém, na maioria dos trabalhos realizados, há acentuado comprometimento da produção de matéria seca e da densidade volumétrica do pasto (LOPES et al., 2017), com respostas negativas à produção animal em curto e longo prazo quando comparados aos sistemas em pleno sol (DOMICIANO et al., 2016; SANTOS et al., 2018; LIMA et al., 2019). Dependendo do nível de déficit hídrico, o sombreamento pode auxiliar na

manutenção da umidade do solo e beneficiar a pastagem (PACHAS et al., 2014), porém, durante períodos longos de estresse hídrico, a presença de árvores pode afetar negativamente o rendimento das culturas através da competição pela água (PEZZOPANE et al., 2017). Dentre os benefícios dos sistemas sombreados por árvores, pode-se citar a melhoria da composição química das pastagens de gramíneas (HANISCH et al., 2016a), melhora do desempenho individual dos animais, redução de emissões de metano por quilograma de carne produzida (FROTA et al., 2017), distribuição espacial de dejeções mais uniforme (CARNEVALLI et al., 2019b), ambiente estrutural mais favorável aos animais (ARAÚJO et al., 2017), maior conforto térmico animal (PEZZOPANE et al., 2019), obtenção de renda com madeira e seus benefícios para o meio ambiente, como o aumento do estoque de carbono na biomassa aérea (LIMA et al., 2019).

Notadamente, existe a necessidade de definição de espécies forrageiras com tolerância a sombra, onde a produtividade e a persistência das plantas no sub-bosque devem ser os principais requisitos para a escolha. Na região Sul do Brasil, em locais com tipo climático Cfa e principalmente Cfb, as limitações ambientais vão além da redução luminosa pelo componente arbóreo. As temperaturas extremas, luminosidade natural com ampla variação ao longo do ano e eventos climáticos desafiadores como geadas e estiagens, podem dificultar a condução dos sistemas integrados sombreados. Portanto, a grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) é uma gramínea perene estival, híbrido natural originado no estado de Santa Catarina, Brasil (VALLS et al., 2000) e apresenta-se como opção de forrageira para utilização em sistemas integrados sombreados no Sul do Brasil (SOARES et al., 2009; BALDISSERA et al., 2016; DAL-PIZZOL et al., 2019).

A identificação de características da parte aérea, mas também do que ocorre com o sistema radicular de espécies tolerantes à sombra, e que as tornam persistentes sob desfolha frequente, pode ajudar na compreensão da estabilidade de forrageiras em sistemas integrados sombreados e levar a procedimentos mais racionais de avaliação de espécies tolerantes à sombra. Assim, uma compreensão das mudanças induzidas por diferentes regimes de luz em nível de folha, perfilho, dossel e raízes, associadas a critérios de manejo, ajudará no desenvolvimento de modelos preditivos de produção de pastagens e no desenvolvimento de estratégias de manejo de pastagens para sistemas integrados com restrição luminosa imposta pelo componente arbóreo. Entretanto, devido a heterogeneidade ambiental e

consequentemente das plantas no sub-bosque ao longo da área (sob renques de árvores e entre renques) e do tempo (ao longo das estações em diferentes inclinações solares e com o crescimento das árvores), experimentos em ambientes artificiais de restrição luminosa podem responder de forma rápida e satisfatória aos questionamentos quanto ao manejo do pastejo sob estresse luminoso quando comparado ao pleno sol. Além de possibilitar a obtenção de resultados em menor intervalo de tempo, permitem avaliar uma ampla faixa de combinações de luminosidade e entre metas de pré e pós-pastejo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA (SIPA)

#### 2.1.1 Conceito e componentes

No Brasil, os conceitos de sistemas integrados de produção agropecuária apresentados se permeiam. De acordo com Moraes et al. (2014), SIPAs podem ser definidos como sistemas planejados, que buscam interações sinérgicas entre os componentes solo, planta, animal e atmosfera, em diferentes escalas temporais e espaciais. Balbino et al. (2011a), relataram que os sistemas integrados surgiram com a identificação da degradação das pastagens em sistemas de monocultura e a necessidade de torná-los sustentáveis. Inicialmente com a integração lavoura pecuária (iLP) e com a introdução do componente arbóreo passou a ser denominado de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) ou sistema silvipastoril (SSP). Para Balbino et al. (2011b), a estratégia iLPF contempla quatro modalidades: a integração lavoura-pecuária (agropastoril), a integração lavoura-pecuária-floresta (agrossilvipastoril), a integração pecuária-floresta (silvipastoril), e integração lavoura-floresta (silviagrícola).

No âmbito internacional, a FAO (2010) considerou o sistema integrado de produção agropecuária (*Integrated Crop-Livestock System*) como a integração intencional de culturas, animais e / ou árvores, que se manejados de forma adequada refletem uma relação sinérgica e promovem a sustentabilidade do sistema, ou seja, atende aspectos econômicos, sociais e ambientais. Carvalho et al. (2014), com o intuito de avançar no uso de terminologias e definições para facilitar a comunicação nacional e internacional, consideraram a utilização do termo Sistema Integrado de Produção Agropecuária – SIPA (*Integrated Crop-Livestock System - ICLS*) para fins de indexação internacional. Portanto, este trabalho foi desenvolvido no contexto de um Sistema Integrado de Produção Agropecuária com foco no componente pastagem em condições de luminosidade reduzida.

### 2.1.2 Plantas forrageiras destinadas a sistemas com redução de luz

Plantas forrageiras destinadas a integração com árvores evidentemente devem ser tolerantes aos efeitos do sombreamento. De acordo com Wong (1991), a tolerância à sombra pode ser definida, como o desempenho relativo das plantas com restrição de luminosidade em comparação com o desempenho em pleno sol, influenciada pela desfolha regular. Espécies forrageiras C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> já foram avaliadas em ambientes sombreados em comparação ao pleno sol. Kephart et al. (1992), observaram que a sombra reduziu mais a produção de forragem nas gramíneas C<sub>4</sub> do que nas gramíneas C<sub>3</sub>, apesar de que as respostas morfológicas à sombra parecerem semelhantes.

As principais espécies forrageiras hibernais de importância ao subtropical brasileiro foram testadas quanto a produção de matéria seca em ambientes com luminosidade distinta. Espécies como azevém-anual (*Lolium multiflorum*), aveia preta (*Avena strigosa*), aveia branca (*Avena sativa*), trigo duplo propósito (*Triticum aestivum* 'BRS Tarumã') e ervilhaca peluda (*Vicia villosa*) apresentaram potencial para uso em sistemas sombreados (BARRO et al., 2008; KIRCHNER et al., 2010; SOARES et al., 2016).

Dentre forrageiras estivais, foram realizados trabalhos que demonstraram a capacidade produtiva de inúmeras espécies em ambiente com sombreamento natural e artificial em comparação ao pleno sol. Espécies como o capim-marandu (*Urochloa brizantha* 'Marandu'), capim-braquiária (*Urochloa decumbens* 'Basilisk'), capim-vencedor, capim-massai, capim-aruana, capim-makueni, capim-mombaça e capim-tanzânia (*Megathyrsus maximus* 'Tanzânia'), hemártria (*Hemarthria altissima* 'Flórida'), capim setária (*Setaria anceps* 'Kazungula') e amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* 'Belmonte' e 'BRA-031143') (CASTRO et al., 1999; CARVALHO et al., 2002; ANDRADE et al., 2004; GOBBI et al., 2009; SOARES et al., 2009; PONTES et al., 2016; SARTO et al., 2020). Porém, forrageiras como o tifton 68 (*Cynodon nlemfuensis*), tifton 85 (*Cynodon* spp.) e capim-pensacola (*Paspalum notatum* 'Pensacola') responderam de forma negativa ao sombreamento quando comparadas às demais espécies avaliadas (CARVALHO et al., 2002, PONTES et al., 2016).

Espécies de forrageiras nativas como *Paspalum regnellii* e *Paspalum dilatatum* apresentaram alto potencial de utilização em ambientes sombreados (BARRO et al., 2012). Espécies forrageiras do gênero *Axonopus* foram apontadas como promissoras

na utilização em sistemas com luminosidade restrita, grama-missioneira ou grama São Carlos (*Axonopus compressus*) (SAMARAKOON et al., 1990; WONG, 1991; STUR; SHELTON, 1991), e grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis*) (SOARES et al., 2009; PACHAS et al., 2014; HANISCH et al., 2016a; PONTES et al., 2016). A aquisição, caracterização e avaliação de germoplasma nativo adaptado ao clima e solo de cada região são fundamentais para a continuidade da produção animal a pasto, sistema predominante no Brasil (LAJÚS et al., 2011).

#### 2.1.2.1 Grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.)

A grama missioneira-gigante é um híbrido triploide espontâneo originário do cruzamento natural entre a grama missioneira (*Axonopus jesuiticus*) e o gramão (*Axonopus scoparius*), ocorrido em propriedades do Alto Vale do Itajaí, no estado de Santa Catarina, Brasil (VALLS et al., 2000). É uma planta estolonífera, característica herdada de *A. jesuiticus*, com inflorescência ramificada, típica de *A. scoparius*, e é propagada vegetativamente, pois não apresenta sementes viáveis porque a meiose celular não produz gametas perfeitos. No geral, a grama missioneira-gigante apresentaram como principais características o lento estabelecimento, alocação significativa de matéria seca em raízes e estolões, além da variabilidade de hábito de crescimento, morfologia, acúmulo de matéria seca e fenologia entre os acessos avaliados (V 14337, V 14403, V 14404, V 14405 e V 14406) (LAJÚS et al., 2011).

Após pesquisas para avaliação do potencial de acessos com boa produção de matéria seca e resposta positiva a adubação (TCACENCO, 1994), a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI lançou em 2012 a cultivar SCS315 Catarina Gigante. Apresenta “[...] destacada produção e qualidade de forragem, além de apresentar boa concentração de produção no período de outono-inverno. Trata-se de uma gramínea perene tropical com destacada aceitabilidade pelos animais, a qual apresenta alta tolerância ao frio, com concentração da produção de forragem no período de setembro a junho. É multiplicada exclusivamente por via vegetativa, com período de formação de 4 a 6

meses em regiões com clima mais quente (Cfa) e em torno de 12 meses em regiões com clima mais frio (Cfb)” (HANISCH et al., 2012)<sup>1</sup>.

De acordo com Balbinot Junior et al. (2009), a grama missioneira-gigante é uma espécie utilizada em sistemas pastoris no Sul do Brasil, e constitui opção para períodos de verão e outono em regiões de clima temperado da América do Sul (SBRISSIA et al., 2017). Em alguns locais ela ganha expressão, como na região Oeste de Santa Catarina, onde é utilizada em 37,9% das propriedades com sistemas integrados de produção agropecuária com presença de componente arbóreo (KAVALCO et al., 2019).

Apesar da boa tolerância ao sombreamento, a produção da grama missioneira-gigante pode apresentar variações quando submetida a distintas condições de crescimento. Em pleno sol, a produção de matéria seca média obtida foi de 10 ton MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com adubação orgânica e mineral (HANISCH; FONSECA, 2011). Flaresso et al. (2001) obtiveram produção de 18,5 ton MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Soares et al. (2009) observaram produtividade de 24,8 ton MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em pleno sol e média de 15,2 ton MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em ambiente sombreado. Pachas et al. (2014) observaram aumento da produção de matéria seca da missioneira-gigante sob sombra moderada (38%) quanto comparado ao pleno sol e níveis mais intensos de sombreamento (53 e 71%). Jochims et al. (2015) obtiveram produtividade média de três anos de 10,4 e 11,9 ton MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de grama missioneira-gigante em cultivo solteiro ou consorciada com leguminosas, respectivamente. A produção variou de 9,6 a 11,3 ton MS ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em cultivo solteiro ou consorciada com leguminosas, respectivamente (HANISCH et al., 2016a).

Em relação a composição química, o teor de proteína bruta (PB) pode chegar a 15% e fibra em detergente neutro (FDN) a 68% em pleno sol e 16,5% de PB e 67,5% de FDN em ambiente sombreado (SOARES et al., 2009). Hanisch et al. (2016b) observaram teores médios de 12,3% de PB e 70,6% de FDN em pleno sol e 16,2% de PB e 70,1% de FDN em ambiente sombreado. Semelhante a outros trabalhos, Pachas et al. (2014) observaram aumento do teor de PB com aumento do sombreamento. Apresenta boa flexibilidade de manejo (DAL-PIZZOL et al., 2019) e tolerância ao ataque de cigarrinhas-das-pastagens (Hemiptera: Cercopidae)

---

<sup>1</sup>SCS315 Catarina Gigante - pastagem perene de verão, disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/solucoes/tecnologias/cultivar-geradolancado/>

superior a cultivares do gênero *Cynodon* (RIBEIRO; CAZAROTTO, 2018). A produção de matéria seca aliada ao seu valor nutritivo pode proporcionar produtividades de 1000 kg de peso vivo ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em bovinos de corte (DUFLOTH; VIEIRA, 2012).

Quando utilizada em sistema integrado com restrição de luminosidade por componente arbóreo, apresenta resposta característica quanto ao aumento da altura do dossel forrageiro para interceptar a luminosidade, o que mostra a capacidade de realizar alterações morfofisiológicas para a compensação da redução de luz (BALDISSERA et al., 2016). Além disso, Zandona et al. (2019) observaram efeito positivo da grama missioneira-gigante nos atributos microbiológicos do solo em sistemas integrados de criação e pecuária com componente arbóreo.

### **2.1.3 Modificações ambientais em sistemas sombreados**

A quantidade de luz que chega ao sub-bosque determina o crescimento das forrageiras que compõem um sistema pastoril sombreado, e pode ser controlada pela definição de espaçamento entre árvores, arquitetura e densidade de copa e manejos periódicos do componente arbóreo (ANDRADE et al., 2002). Oliveira et al. (2007) constataram que o valor médio da radiação solar no sub-bosque variou em função de diferentes arranjos do sistema com eucalipto. Gomes et al. (2020) observaram que a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi afetada pelo ângulo de inclinação solar ao longo do ano devido à orientação Leste-Oeste do bosque, pela altura das árvores, que consequentemente definiu a projeção da sombra, e pela relação entre estação do ano e os pontos avaliados no sub-bosque.

As plantas forrageiras em sistemas integrados com presença do componente arbóreo vivem sob redução na intensidade da luz e mudança na qualidade da luz, devido à absorção e reflexão da luz pelos componentes arbóreos. A clorofila das plantas do estrato superior filtra os comprimentos de onda vermelho (V,  $\lambda = 600\text{--}700$  nm) e azul (A,  $\lambda = 400\text{--}500$  nm) da luz solar, refletindo e transmitindo a maioria dos comprimentos de onda do vermelho distante (VD,  $\lambda = 700\text{--}800$  nm) (CASAL, 2012; GOMMERS et al., 2013). Como consequência, há uma queda na relação vermelho:vermelho distante (V:VD) (DEVKOTA et al., 1997). Ainda, plantas do sub-bosque são submetidas a intermitência da luminosidade, que pode afetar a taxa de fotossíntese máxima e a condutância estomática (PERI et al., 2002).Varella et al. (2010) ao

comparar efeito da sombra natural com metodologias de sombreamento artificial, observou que a quantidade de luz vermelha e vermelha distante foi severamente reduzida à sombra das árvores e à sombra de ripas de madeira. Plantas forrageiras que crescem em sistemas integrados sombreados por árvores caducifólias, experimentam radiação fotossinteticamente ativa flutuante causada pelos efeitos do ângulo solar, nebulosidade e localização em relação às árvores, além da presença ou ausência de folhas do componente arbóreo (FELDHAKÉ; BELESKY, 2009). Rodrigues et al. (2014) observaram que o local de amostragem em um sistema pastoril sombreado por eucaliptos, influenciou a irradiância absoluta, a radiação fotossinteticamente ativa incidente, interceptação luminosa e relação vermelho: vermelho distante, com maiores valores no centro das entrelinhas. Esses autores confirmaram a modificação intensa provocada pelas árvores quanto a radiação fotossinteticamente ativa e na relação vermelho: vermelho distante.

Além das alterações na luminosidade, outros parâmetros ambientais são modificados com a presença de árvores. Karki e Goodman (2014) observaram valores mais baixos de temperatura do ar, temperatura do solo em diferentes profundidades, ponto de orvalho e velocidade do vento, além das características da luminosidade como menor radiação solar total, radiação fotossinteticamente ativa e taxa de evapotranspiração em área de pastagem de capim-pensacola (*Paspalum notatum*) sombreada por *Pinus taeda*, quando comparado a área de pleno sol. A presença de fileiras de árvores diminui a ocorrência de ventos e altera os padrões de radiação incidente ocasionando mudanças térmicas e de umidade relativa do ar, com maior efeito nos valores diurnos e no ponto de amostragem próximo às fileiras de árvores (PEZZOPANE et al., 2015). Já Gomes et al. (2020) observaram que a temperatura e a umidade relativa do ar não diferiram entre os ambientes de sol e sombra, devido ao arranjo do sistema e às espécies arbóreas, o que permitiu o fluxo de ar pelo sistema suprimindo possíveis diferenças nessas variáveis microclimáticas.

#### **2.1.4 Respostas das plantas forrageiras em SIPA**

A produção e a persistência de espécies forrageiras sob sombra, vai depender de suas respostas para regenerar a área foliar para maximizar a interceptação de radiação fotossinteticamente ativa e utilizar os fotoassimilados para o perfilhamento e desenvolvimento de estruturas de reserva (DEVKOTA, 2006). A ameaça à

sobrevivência das plantas apresentada pela limitação da luz, levou à evolução de estratégias adaptativas altamente plásticas para tolerar ou evitar o sombreamento da vegetação concorrente (FRANKLIN, 2008). Quando sujeitas ao sombreamento de árvores, as plantas são expostas a uma variedade de sinais informativos, que incluem alteração da qualidade de luz e redução na quantidade de luz. Logo, as respostas das plantas sob sombreamento se dão pela identificação destes sinais luminosos por fotorreceptores transdutores de informação (FRANKLIN; WHITELAM, 2005).

De acordo com Casal (2012), os sinais de luz em ambiente sombreado incluem a redução na relação vermelho: vermelho distante, e redução na irradiância vermelha mais o vermelho distante, percebidas pelos fitocromos, e a redução na irradiância azul percebida pelos criptocromos. As plantas também são capazes de responder à proporção reduzida da relação azul: verde de uma maneira dependente de criptocromo. Fraser et al. (2016) sugeriram que vários fotorreceptores de plantas convergem em uma rede de sinalização compartilhada para regular as respostas à sombra. No entanto, existem fortes evidências de que um conjunto de outros sinais também desempenham um papel importante na ativação de respostas de escape à sombra nos dosséis das plantas. Sinais luminosos como intensidade luminosa, luz azul, radiação UVB; e sinais não luminosos como contato físico entre folhas competidoras e presença de compostos orgânicos voláteis (BALLARÉ; PIERIK, 2017).

Para Novoplansky (2009) plantas e órgãos individuais podem evitar, confrontar e tolerar seus concorrentes em diferentes escalas e magnitudes espaciais e temporais. Além disso, a multiplicidade de respostas competitivas e sua ativação diferencial implica o envolvimento de vários controles metaplásticos. Gommers et al. (2013) apontaram que existem basicamente duas estratégias de plantas em competição por luz, o escape e a tolerância. A síndrome de escape à sombra (*Shade-Avoidance Syndrome* - SAS) foi bem explorada por inúmeros pesquisadores, caracterizada como uma estratégia comum em vegetação onde as plantas têm alturas semelhantes (e.g. pastagens consorciadas), e inclui alongamento de colmos e pecíolos, dominância apical, movimento ascendente das folhas (hiponastia), perfilhamento e ramificação reduzidos (DEVKOTA et al., 1997; FRANKLIN, 2008; PIERIK; WIT, 2013; BALLARÉ et al., 1997).

A tolerância à sombra é um conceito ecológico que se refere à capacidade de uma determinada planta de tolerar baixos níveis de luz (VALLADARES; NIINEMETS, 2009). Para Gommers et al. (2013) as espécies denominadas tolerantes à sombra,

adaptam seu fenótipo para viver permanentemente em ambientes sombreados, como sub-bosques, onde não é possível superar as árvores em termos de altura. Para esses mesmos autores, todas as plantas percebem as alterações associadas ao dossel na qualidade da luz (proporção vermelho: vermelho distante, e azul) e quantidade (intensidade total de radiação fotossinteticamente ativa – RFA). Em espécies que evitam a sombra, essa percepção leva à indução de um conjunto de características para alcançar a luz (síndrome de escape à sombra) e as plantas tolerantes à sombra geralmente otimizam o ganho de carbono mediante aumento da área foliar específica (AFE), aumento da relação fotossistema II: fotossistema I, redução da relação entre clorofila a: b e minimizam os danos, embora algumas características sejam induzidas em ambas espécies que evitam e toleram à sombra (VALLADARES; NIINEMETS, 2008; CASAL, 2012; GOMMERS et al., 2013; FRASER et al., 2016; BALLARÉ; PIERIK, 2017).

De acordo com Gruntman et al. (2017), as plantas em competição por luz respondem plasticamente de três formas: crescimento vertical, o que promove o domínio competitivo; tolerância de sombra, que maximiza o desempenho à sombra; ou crescimento lateral, que evita a concorrência. Esta última resposta, pode ser observada em plantas que crescem horizontalmente, ou seja, mediante competição, afastam-se dos concorrentes aumentando o comprimento de entrenós dos estolões e rizomas, posicionando novos perfilhos em áreas com menor competição. De acordo com Novoplansky (2009), as mudanças temporais nos níveis de luz e relação vermelho: vermelho distante podem fornecer indicações para a planta responder a competição por luz através do escape à sombra. No entanto, a sombra constante indica perspectivas ruins ao escape e pode desencadear respostas características de tolerância. As respostas predominantes de plantas forrageiras à sombra no contexto deste trabalho estão organizadas na Tabela 1, em ordem de abordagem dos respectivos capítulos. São resultados de pesquisas contendo plantas forrageiras de ciclo C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> sob sombreamento natural e artificial.

Tabela 1 – Principais respostas observadas em plantas forrageiras à sombra

<b>Resposta</b>	<b>Efeito da sombra em relação ao pleno sol*</b>	<b>Fonte<sup>1</sup></b>
Altura do perfilho estendido	Aumento	Townsend et al. (2013)
Altura do colmo + pseudocolmo	Aumento	Baldissera et al. (2016)
Estrato de folhas livre de bainhas	Maior que 75%	Benvenuti et al. (2015)
Densidade populacional de perfilhos	Redução	Lopes et al. (2017a)
Peso médio dos perfilhos	Semelhante	Allard et al. (1991);
	Redução	Lublow et al. (1974)
Área foliar específica	Aumento	Gobbi et al. (2011)
	Semelhante	Gomes et al., 2019
Comprimento específico de colmo	Aumento	Brainard et al. (2005)
Ângulo foliar	Redução	Crestani et al. (2017)
	Semelhante	Gomes et al., 2019
Área de folhas por perfilho	Aumento	Gobbi et al. (2009)
Índice de área foliar	Redução	Bosi et al. (2014)
Produção de matéria seca	Redução	Soares et al. (2009)
Taxa de acúmulo	Redução	Andrade et al. (2004)
Produção de raízes	Redução	Sarto et al. (2020)
Relação parte aérea: raízes	Aumento	Samarakoon et al. (1990)
	Redução	Lublow et al. (1974)
Relação folha: colmo	Semelhança	Soares et al. (2016)
	Aumento	Soares et al. (2009)
Matéria orgânica	Redução	Neel et al. (2015)
Teor de proteína bruta	Aumento	Lopes et al. (2017b)
Teor de Fibra em detergente neutro	Redução	Lopes et al. (2017b)
	Semelhança	Paciullo et al. (2014)
Teor de fibra em detergente ácido	Redução	Lopes et al. (2017b)
	Semelhança	Paciullo et al. (2016)

<sup>1</sup> Fontes contendo plantas forrageiras de ciclo C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> sob sombreamento natural e artificial.

\* Respostas predominantes de forrageiras à sombra.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Respostas características de plantas forrageiras à sombra foram observadas, como o aumento da altura de colmo e pseudocolmo, comprimento de folha e consequentemente aumento da altura do perfilho estendido (PACIULLO et al., 2011; ABRAHAM et al., 2014; BALDISSERA et al., 2016; ANDRÉ et al., 2020). A densidade populacional de perfilhos é reduzida em ambientes com restrição de luz (LOPES et al., 2017a; OLIVEIRA et al., 2019; RODRIGUES et al., 2019). Estas respostas fazem parte da síndrome de escape à sombra, onde a partir destes ajustes na sua arquitetura, as plantas têm acesso a luz disponível nos estratos superiores (PIERIK; WIT, 2013). Já o peso médio de perfilhos de plantas no sol e na sombra foram

semelhantes em pastos de festuca (*Festuca arundinacea*) (ALLARD et al., 1991). Enquanto Ludlow et al. (1974) observaram redução do peso médio dos perfilhos com a redução da luminosidade para *green panic* (*Megathyrsus maximus* 'Petrie') e *ruzi grass* (*Urochloa ruziziensis* 'Kennedy'), e consideraram que são características de plantas intolerantes à sombra.

Dentre as respostas de plantas sombreadas que promovem a tolerância ao sombreamento, de acordo com Ballaré e Pierik (2017), o aumento da área foliar específica (AFE) contribui para a tolerância à sombra, pois indica uma área maior para interceptar a radiação solar por unidade de carbono investida na construção do tecido da folha, muitas vezes coincidindo com folhas mais finas. Esta característica é sensível a mudança na intensidade da radiação fotossinteticamente ativa, mas pouco responsiva à mudança na relação vermelho: vermelho distante (POORTER et al., 2012). O aumento da AFE já foi observada com plantas forrageiras à sombra (GOBBI et al., 2011; BOSI et al., 2014; GOMES et al., 2019). Brainard et al. (2005) observaram aumento da área foliar específica e comprimento específico de colmo, característico de plantas tolerantes à sombra. Porém, segundo Gommer et al. (2013) isso pode tornar as estruturas mais sensíveis ao estresse mecânico e à herbivoria.

Outra característica que auxilia as plantas a captarem mais luz é a alteração no ângulo foliar. Fernández et al. (2004) observaram ângulos médios de inclinação das folhas de festuca (*Festuca Pallescens*) menores nas plantas que crescem sob condições de sombra, permitindo um aumento de 35% na interceptação de luz em comparação com plantas com a arquitetura típica de pleno sol. Resposta semelhante foi observada por Crestani et al. (2017) em capim-piatã (*Urochloa brizantha* 'Piatã'). Porém, Gomes et al. (2019) não observaram efeito da sombra moderada no ângulo foliar de capim-marandu (*Urochloa brizantha* 'Marandu').

Os mecanismos homeostáticos observados em plantas do sub-bosque podem resultar no aumento da área foliar por perfilho em plantas sombreadas, pois está intimamente relacionada a tentativa de manutenção do índice de área foliar, que tende a reduzir pela redução da densidade populacional de perfilhos (GOBBI et al., 2009). Em algumas situações a planta à sombra não consegue compensar esta relação com as respostas de tolerância, com impacto negativo ao IAF (BOSI et al., 2014). A redução do IAF em plantas sombreadas, resulta na maioria das vezes, na redução da produção de matéria seca e taxa de acúmulo. Esta resposta foi observada em plantas hibernais (BARRO et al., 2008; KIRCHNER et al., 2010; SOARES et al., 2016) e

estivais (CARVALHO et al., 2002; SOARES et al., 2009; GOBBI et al., 2009; BARRO et al., 2012; PONTES et al., 2016; SARTO et al., 2020), com poucos relatos de aumento da produção de matéria seca, que pode ocorrer sob sombra leve e moderada em relação ao pleno sol (CASTRO et al., 1999; PACHAS et al., 2014).

A produtividade da parte aérea é reflexo do que acontece com o sistema radicular, e qualquer fator que limite o crescimento de raízes pode prejudicar a produção de massa seca da planta forrageira e alterar a relação entre as porções acima e abaixo do solo (GIACOMINI et al., 2005). A relação entre a parte aérea: raízes em plantas à sombra pode aumentar, pois a planta direciona os fotoassimilados para recuperação da área foliar em detrimento das raízes (LUDLOW et al., 1974) e isso pode implicar no aumento da uso eficiente da radiação (UER) (VARELLA et al., 2010). Porém, essa resposta pode não ser observada em todas as condições de sombreamento (SAMARAKOON et al., 1990). Segundo Oliveira e Souto (2001) e Guenni et al. (2008), há redução da produção de raízes com o sombreamento. De acordo com Massimino et al. (1981), o sombreamento pode reduzir respiração das raízes e absorção de nutrientes.

Em relação a proporção de componentes da parte aérea de plantas forrageiras sombreadas, a relação folha: colmo pode não ter efeito da sombra para espécies hibernais (KIRCHNER et al., 2010; SOARES et al., 2016). A resposta em espécies estivais também é semelhante, de acordo com Gómez et al. (2012), isso pode ser justificado por ambos os componentes serem afetados igualmente pela sombra. Para Soares et al. (2009), na maioria das espécies forrageiras avaliadas, a relação folha: colmo aumentou de acordo com a redução da luminosidade, pois em condições de luminosidade reduzida, as folhas modificam sua estrutura e se tornam maiores, mais tenras e estioladas, características adaptativas e competitivas por radiação.

A composição química, que compreende principalmente teores de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), pode ser alterada em plantas sob restrição de luz. De acordo com Pontes et al. (2016), respostas positivas, negativas ou sem efeito, têm sido relatadas na literatura sobre o efeito de sombreamento sobre a composição química. De acordo com os resultados desses autores, as respostas são dependentes da espécie e variam de acordo com a fração de biomassa avaliada. Segundo Neel et al. (2015), pastagens em sistemas sombreados por árvores acumulam mais minerais, o que conseqüentemente reduz o teor de matéria orgânica, porém, o motivo para este processo parece não estar claro.

O teor de PB parece aumentar de forma consistente com o aumento do sombreamento, e pode ser justificado pela intensificação da degradação da matéria orgânica e da reciclagem de nitrogênio no solo sob influência do sombreamento e / ou por um desbalanço na assimilação de carbono e nitrogênio sob redução do crescimento em ambiente sombreado (LOPES et al., 2017b). Além disso, a sombra pode atrasar o desenvolvimento das plantas no sub-bosque, naturalmente plantas mais jovens apresentam altos níveis metabólicos, e proporcionalmente menor quantidade de tecidos estruturais (PACIULLO et al., 2014). A maior concentração de clorofila total para melhorar o aproveitamento da luz em ambientes sombreados pode resultar em aumento do teor de proteína bruta da pastagem (OLIVEIRA et al., 2013). Lin et al. (2001) observaram que os teores de FDN e FDA aumentaram ou não foram afetados em plantas sombreadas, e justificaram esse resultado pelo aumento de carboidratos estruturais e diminuição de carboidratos de reserva, ocasionado pela redução e luminosidade. De acordo com esses mesmos autores, em condições onde se observa redução dos níveis de fibra, pode estar associada a espécies que mantêm alta relação folha: colmo.

## 2.2 METAS DE MANEJO DO PASTEJO

A essência do manejo de pastagens, e principalmente o manejo do pastejo, consiste em manter um equilíbrio eficiente entre o crescimento das plantas, consumo e produção animal. Portanto, deve-se buscar um ponto de equilíbrio na combinação de frequência e intensidade de desfolha das cultivares forrageiras dentro dos seus limites ecofisiológicos, e permitir altos níveis de produtividade animal (FERRO et al., 2015). As metas de manejo do pastejo estudadas no Brasil para pastos tropicais, tem levado em consideração aspectos de produção primária, com o uso da interceptação luminosa como referência (CARNEVALLI et al., 2006; BARBOSA et al., 2007; PEDREIRA et al., 2007; GIACOMINI et al., 2009; PEDREIRA et al., 2009; ZANINE et al., 2011; PEREIRA et al., 2017; CONGIO et al., 2018), levando em consideração estudos iniciais desenvolvidos em pastos hibernais (KORTE et al., 1982). Outra forma de definir melhores metas de manejo do pastejo é considerar indiretamente a produção secundária do sistema, onde se busca uma estrutura do pasto em que ocorre a máxima taxa de consumo instantâneo pelos animais (GONÇALVES et al. 2009; FONSECA et al., 2012; MEZZALIRA et al., 2014). Em ambas as abordagens,

os resultados são convertidos em definições de alturas do pasto no momento de início e interrupção da ocupação dos animais, sob método de lotação intermitente. Alguns trabalhos hipotetizaram ou observaram a convergência de metas de manejo do pastejo com base na produção primária e secundária do sistema produtivo baseado em pastagens (SILVA; CARVALHO, 2005; SCHONS, 2015; EIDT, 2015).

Além disso, Bircham e Hodgson (1983), ao avaliarem o efeito da condição de pastos de azevém perene (*Lolium perenne*) sob lotação contínua, descreveram o acúmulo de forragem como resultado de dois processos concomitantes e antagônicos (crescimento e senescência). Sob lotação contínua, esses autores observaram que existe uma amplitude de condições de pasto, como IAF ou altura, em que o acúmulo de forragem é semelhante, resultado de compensações entre número, área foliar e peso por perfilho. Recentemente, Sbrissia et al. (2018) concluíram que o mesmo mecanismo ocorre sob lotação intermitente. Portanto, estudos relacionados a metas de manejo do pastejo (e.g. metas pré e pós pastejo em método de lotação intermitente), geralmente delimitam metas de altura máxima e mínima para utilização da pastagem pelos animais, por ser uma forma prática e barata de verificação (PEREIRA et al., 2017).

## **2.2.1 Metas de manejo do pastejo em pleno sol**

### *2.2.1.1 Metas de manejo para interrupção do período de descanso*

Sob perspectiva da planta, Silva e Nascimento Junior (2007) demonstraram através de levantamento histórico da pesquisa realizada na área de manejo de pastagens, que o IAF tem elevada importância na modulação e determinação de respostas de plantas forrageiras ao pastejo. Ainda, que na condição de IAF crítico, onde ocorre interceptação de 95% da luz incidente no dossel, o balanço entre os processos de crescimento e senescência seria máximo, com maior acúmulo de forragem. Além disso, o IAF é fundamental na interceptação da radiação incidente e fotossíntese (LEMAIRE e CHAPMAN, 1996), logo, fundamental na determinação da produtividade e persistência do pasto.

Para testar hipóteses referentes a definição de metas de manejo com base na interceptação luminosa e sua relação com o IAF e altura do pasto, Carnevalli et al. (2006) avaliaram combinações de períodos de descanso correspondentes a 95 ou

100% de interceptação luminosa do dossel e resíduos pós pastejo de 30 e 50 cm para capim-mombaça (*Megathyrus maximus* 'Mombaça'), e concluíram que a maior eficiência de pastejo foi maior quando o período de descanso foi interrompido aos 95% de interceptação luminosa, correspondente à altura de 90 cm. Barbosa et al. (2007), com o objetivo de avaliar as características estruturais e a produção de forragem do capim-tanzânia (*Megathyrus maximus* 'Tanzânia') sob condições de pastejo rotativo, propuseram condições de pré-pastejo de 90, 95 e 100% de interceptação luminosa do dossel forrageiro. Esses autores concluíram que o acúmulo de forragem foi maior em pastejos realizados com 95%, correspondendo à 70 cm de altura, do que com 90 ou 100% de IL, mas não houve diferença entre os tratamentos de 90 e 95% de IL para acúmulo de folhas. Além disso, o acúmulo de colmos aumentou após os 95% de IL.

Foi observado desta forma, que é possível estabelecer metas de manejo do pastejo mais flexíveis. Zanine et al. (2011) avaliaram características estruturais e o acúmulo de forragem de capim-tanzânia (*Megathyrus maximus* 'Tanzânia') sob pastejo rotativo e submetido às combinações de duas frequências de pastejo [tempo para o dossel atingir 90 ou 95% de interceptação luminosa e duas alturas pós-pastejo (30 ou 50 cm)]. Recomendaram que o momento de interrupção do descanso ocorresse com 95% de interceptação de luz (~75 cm), porém, o pastejo poderia iniciar aos 90% de interceptação em momentos de necessidade de flexibilização do manejo. Pereira et al. (2017) ao avaliarem quatro estratégias de manejo (90%, 95% e 100% de IL e intervalo fixo entre pastejos de 42 dias) para mistura de capim-marandu (*Urochloa brizantha* 'Marandu') e amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* 'BRS Mandobi'), recomendaram que o período de descanso deve ser interrompido quando a interceptação de luz do dossel forrageiro está entre 90% e 95%, proporcionando maior taxa de acúmulo de forragem rica em folhas, correspondendo a alturas de 26 e 32 cm, respectivamente. Como descrito anteriormente, Sbrissia et al. (2018) apontaram que os mesmos mecanismos que possibilitam o acúmulo de forragem semelhante para um intervalo de metas de manejo em pastagens sob lotação contínua parecem se aplicar à lotação intermitente. Sugeriram então, que metas de altura pré-pastejo definida pelo IAF crítico (95% de IL) corresponderia ao valor máximo para este intervalo de alturas, e que o produtor poderia optar por diferentes metas de manejo de acordo com o seu objetivo produtivo.

Sob perspectiva do animal, a taxa de consumo instantâneo de matéria seca pode indicar o momento em que a estrutura do pasto está facilmente apreensível, o

que indiretamente mostra a possibilidade de altos níveis de consumo de matéria seca diários e consequentemente níveis satisfatórios de produtividade (BOVAL; SAUVANT, 2019). Desta forma, foram determinadas metas de pré-pastejo para método de lotação intermitente com diferentes espécies forrageiras C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> e de hábitos de crescimento contrastantes. Com o objetivo de avaliar o efeito da estrutura de uma pastagem nativa, Gonçalves et al. (2009), observaram que para aumentar o consumo de ovelhas e bezerras, a estrutura ideal de manejo requer manutenção de altura do pasto entre 9,5 e 11,4 cm, respectivamente. Fonseca et al. (2012) caracterizaram o efeito da altura do dossel na taxa de ingestão de sorgo (*Sorghum bicolor* 'BR 501') e recomendaram que o período de descanso da pastagem deve ser interrompido aos 50 cm de altura. Amaral et al. (2012) observaram que a estratégia de manejo para pastos de azevém anual (*Lolium multiflorum*) consumido por vacas leiteiras, que apresenta maior taxa de consumo instantâneo, consiste em alturas de 25 e 10 cm em pré e pós-pastejo, respectivamente. Porém, consideraram que a estratégia de 15 e 10 cm em pré e pós-pastejo, resulta em uma melhor combinação entre produção do pasto e animal. Marin et al. (2017) observaram uma faixa de alturas entre 20 e 24 cm para quicuiu (*Pennisetum clandestinum*) em que a taxa de consumo instantâneo foi maximizada. Relacionando características do pasto, principalmente a altura do dossel, com o comportamento ingestivo, Boval e Sauvnt (2019) constataram que o animal pode alterar alguns processos comportamentais para garantir uma taxa mínima de consumo instantâneo e ingestão de matéria seca em uma amplitude de alturas, à diminuição de recursos e de tempo de acesso ao pasto. Esses autores identificaram ainda que algumas características como razão folha: colmo, resistência a tração ou a composição química não foram considerados sobre o comportamento dos animais.

#### 2.2.1.2 Metas de manejo para interrupção do período de ocupação

Em pastagens tropicais, a definição de uma amplitude de metas de manejo em pré-pastejo geralmente são combinadas com poucas metas de resíduo em pós pastejo (SILVA; NASCIMENTO JUNIOR, 2007). Segundo esses autores, os valores mais baixos foram planejados com o objetivo de se obter alta eficiência de pastejo e os valores mais altos por representar uma condição menos estressante para as plantas. Difante et al. (2009) avaliaram o comportamento ingestivo, o consumo e a eficiência de pastejo de novilhos em pastos de capim-tanzânia (*Megathyrsus maximus*

'Tanzânia'). Concluíram que, quando submetido à diversas intensidades de pastejo rotativo a partir de altura pré pastejo determinada aos 95% de IL, a altura em pós-pastejo pode ser flexibilizada entre 25 e 50 cm. Sbrissia et al. (2018) sugeriram que deve existir uma ampla faixa de metas de pré-pastejo em que o limite máximo seja a altura determinada aos 95% IL, desde que se aplique intensidade de pastejo de 50%. Carvalho (2013), através de trabalhos compilados com sorgo (*Sorghum bicolor*) e tifton 85 (*Cynodon* sp.), observaram que a taxa de consumo instantâneo reduz drasticamente quando o animal remove aproximadamente 40% da altura inicial. Isso indica que ao aplicar metas de altura de manejo em pré-pastejo variáveis, pode-se gerar metas de altura manejo em pós-pastejo variáveis, porém, com intensidade constante.

Embora intensidades ideais de 40 – 50% a partir da altura pré-pastejo sejam sugeridas, Zanine et al. (2011) verificaram a existência de interações entre as estratégias de manejo do pastejo e às épocas do ano para capim-tanzânia (*Megathyrsus maximus* 'Tanzânia'), o que indica a necessidade de estabelecer estratégias de desfolhação sazonais. Guzatti et al. (2017) observaram que a alteração na estrutura de pastos de azevém-anual (*Lolium multiflorum*) e aveia preta (*Avena strigosa*), principalmente relacionada a redução da proporção de folhas e redução do estrato pastejável. A partir disso, pode-se sugerir que a intensidade de desfolha deve ser diferente ao longo do período de utilização da pastagem ou que são necessárias estratégias de manejo para estimular o perfilhamento e retardar o alongamento do colmo. Korte et al. (1982) ao testarem a combinação entre interceptação luminosa e índice de área foliar residual como estratégias de manejo para pastos de azevém perene (*Lolium perenne* L.) e trevo branco (*Trifolium repens* L.), já sugeriam que pastejo mais intenso, com IAF residual de 0,1 a 0,9, proporcionava a manutenção de maior densidade de perfilhos e maior densidade de folhas quando comparado a pastejo menos intenso, com IAF residual 0,9 a 3,0.

Quanto a definição do momento de interrupção da ocupação pelos animais, que coincida com metas de rebaixamento preconizadas, a identificação da proporção da área acessada pelos animais pode ser um critério de fácil identificação, e pode ser utilizada como estratégia de manejo do pastejo para controlar a ingestão diária em método de lotação intermitente, ao invés da altura. Em trabalhos com grama missioneira-gigante (BENVENUTTI et al., 2015) e com cana-de-açúcar (BENVENUTTI et al., 2017) sob pastejo, a taxa de ingestão caiu drasticamente quando a área não

acessada pelos animais atingiu 7 e 8%, respectivamente. De acordo com Benvenuti et al. (2015), as áreas pastejadas e não pastejadas podem ser facilmente identificadas e podem ser medidas através da proporção relativa de pontos observados ao longo da área. Assim, por exemplo, reportou-se que a redução da altura inicial em 40% coincide com a exploração horizontal de 70% a 75% da camada mais superficial em pastos de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*) (FONSECA, 2011), alfalfa (*Medicago sativa*) e aveia branca (*Avena sativa*) (UNGAR et al., 2001).

### **2.2.2 Metas de manejo do pastejo em ambiente com luminosidade restrita**

As forrageiras que crescem sob sombreamento estão em condição restrita de radiação e, portanto, acumulam uma quantidade menor de reservas (carboidratos e nitrogênio) durante o seu período de crescimento. Logo, para garantir produtividade, qualidade e persistência, os critérios de manejo devem considerar às respostas das forrageiras nesta condição de luminosidade (VARELLA et al., 2019). Evans (1971) avaliou efeitos da interação entre níveis de desfolha e o sombreamento sobre raízes de azevém perene (*Lolium perenne*), e observou que tanto cortes quanto sombreamento em níveis mais severos prejudicam inicialmente o desenvolvimento de raízes, com recuperação posterior. Pierson et al. (1990) afirmaram que a capacidade das plantas sombreadas de superar a remoção pelo pastejo é reduzida ainda mais, porque o número de perfilhos dos quais o crescimento pode ocorrer também é reduzido na sombra. Observaram que o balanço entre a remoção e a recuperação pode ser negativo em ambiente sombreado sem o controle do processo de pastejo ou corte. Caracterizaram ainda a sombra como estresse crônico e a desfolha como estresse agudo, aos quais as plantas forrageiras são submetidas em sistemas integrados com presença de componente arbóreo. Wang et al. (2016) não observaram interação entre o ambiente luminoso caracterizado por pleno sol, luz vermelha e 50% de sombreamento, e desfolha moderada (50% da altura inicial) nas relações entre biomassa acima e abaixo do solo para azevém perene. Baruch e Guenni (2007) avaliaram as respostas de *Urochloa brizantha*, *U. decumbens* e *U. dictyoneura* à sombra (redução de luminosidade em 40 e 70%) e desfolha. Observaram que estes fatores combinados impuseram severas restrições ao crescimento e produção de biomassa em todas as gramíneas, inclusive ocasionando mortalidade de plantas.

Não se tem relatos de trabalhos que avaliaram metas específicas de manejo do pastejo para forrageiras tropicais sob sombreamento e método de lotação intermitente de forma concomitante. Baldissera et al. (2016) avaliaram espécies forrageiras com diferentes hábitos de crescimento, em pleno sol e na sombra, com ou sem adubação nitrogenada. Propuseram que alturas de manejo devem ser diferentes entre espécies, para plantas sombreadas e em pleno sol e ao longo das estações do ano, tendo como objetivo a interceptação luminosa de 95%. Gobbi et al. (2009) observaram plantas mais altas à sombra para interceptação da mesma quantidade de luz ao pleno sol, e consideraram que esse aumento da altura das plantas na sombra para compensar a interceptação de luz ocorre pelo aumento do comprimento de colmo e de folhas. A hipótese de que metas de manejo do pastejo são diferentes em pleno sol e na sombra foi testada parcialmente por Machado (2016) para capim-braquiária (*Urochloa decumbens*), o qual recomendou que a altura pré-pastejo sob lotação intermitente em ambiente sombreado deve ser de 40 cm, o que corresponde a 95% IL e 20 cm para pleno sol, com valor nutricional semelhante. Rodrigues (2017) avaliou o capim-mombaça (*Megathyrsus maximus* 'Mombaça') em sistema silvipastoril com alturas de manejo de 70, 80, 90 e 100 cm. A partir de avaliações de produção, características morfogênicas e taxa de acúmulo, recomendou a altura de 70 cm pré-pastejo e 40 cm de altura de resíduo nas condições de adubação e precipitação na região norte do Tocantins, tanto para pleno sol quanto em ambiente sombreado. Porém, as estratégias de manejo que apresentaram maior produção de biomassa e melhor relação folha/colmo foram, 80 cm de altura pré-pastejo e 40 cm de altura de resíduo em pleno sol, e 70 cm de altura pré-pastejo e 40 cm de altura de resíduo para ambiente sombreado. Andrade (2019) testou a mesma hipótese para capim-marandu (*Urochloa brizantha* 'Marandu'), e recomendou que a interrupção do período de descanso em sistema sombreado deve ocorrer com 80% da IL, correspondendo a altura de 67 cm.

Em observações gerais, não existem metas de manejo do pastejo claras para ambientes luminosos distintos. A partir de trabalhos realizados com plantas sombreadas, existem indicações de que provavelmente as metas de manejo do pastejo sejam diferentes para uma mesma espécie forrageira quando utilizada sob pleno sol e ambiente sombreado, e que intensidades de desfolha em ambientes sombreados devem ser mais conservadoras devido aos efeitos no sistema radicular e recuperação da área foliar subsequente (VARELLA et al., 2019). Portanto, é possível

identificar que existe uma lacuna do conhecimento em manejo do pastejo em ambientes sombreados. O fato de que as respostas ao ambiente luminoso e às metas de manejo podem ser específicas de cada forrageira e dependente do nível de sombreamento, amplia a necessidade de desenvolvimento de pesquisas com várias espécies forrageiras em diferentes níveis de redução de luz.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHAM, E. M. et al. Growth, dry matter production, phenotypic plasticity, and nutritive value of three natural populations of *Dactylis glomerata* L. under various shading treatments. **Agroforestry Systems**, v. 88, n. 2, p. 287–299, 2014.
- ALLARD, G.; NELSON, C. J.; PALLARDY, S. G. Shade Effects on Growth of Tall Fescue: I. Leaf Anatomy and Dry Matter Partitioning. *Crop Science*, v. 31, n. 1, p. 163–167, 1991.
- ALMEIDA, J.C. de C. et al. Dry matter production and chemical composition of tropical forage legumes under different shading levels. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 41, n. 1, p. 1–7, 2019.
- AMARAL, M. F. et al. Sward structure management for a maximum short-term intake rate in annual ryegrass. **Grass and Forage Science**, v. 68, n. 2, p. 271–277, 2012.
- ANDRADE, C. M. S. et al. Transmissão de luz em sistemas silvipastoris com eucalipto. **Revista Árvore**, v. 26, n. 1, 19-23, 2002.
- ANDRADE, C. M. S. et al. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 3, p. 263–270, 2004.
- ANDRADE, J. C. A. **Manejo do pastejo para o capim-marandu em sistemas silvipastoris com adubação nitrogenada**. 2019. 83f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal dos Vales do Jequetinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.
- ANDRÉ, T. B.; OLIVEIRA, L. B. T.; SANTOS, A. C. Growth and Development of Mombassa Grass Grown in Full Sun and Shade Under Nitrogen Levels. **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, v. 28, p. 11–23, 2020.
- ARAÚJO, S. A. C. et al. Cultivo de leguminosas forrageiras tropicais em sistema silvipastoril e a pleno sol. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 39, n. 1, p. 27–34, 2017.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. Reference Document Crop-Livestock-Forestry Integration. p. 130, 2011a. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/923530/1/balbino01.pdf>.

- BALBINO, L. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1–12, 2011b.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. et al. Integração lavoura-pecuária: Intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1925–1933, 2009.
- BALDISSERA, T. C. et al. Sward structure and relationship between canopy height and light interception for tropical C4 grasses growing under trees. **Crop and Pasture Science**, v. 67, n. 11, p. 1199–1207, 2016.
- BALLARÉ, C. L.; PIERIK, R. The shade-avoidance syndrome: Multiple signals and ecological consequences. **Plant Cell and Environment**, v. 40, n. 11, p. 2530–2543, 2017.
- BALLARÉ, C. L.; SCOPEL, A. L.; SÁNCHEZ, R. A. Foraging for light: Photosensory ecology and agricultural implications. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, n. 6, p. 820–825, 1997.
- BARBOSA, R. A. et al. Capim-tanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 329–340, 2007.
- BARRO, R. S. et al. Forage yield and nitrogen nutrition dynamics of warm-season native forage genotypes under two shading levels and in full sunlight. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 7, p. 1589–1597, 2012.
- BARRO, R. S. et al. Rendimento de forragem e valor nutritivo de gramíneas anuais de estação fria submetidas a sombreamento por *Pinus elliottii* e ao sol pleno. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 10, p. 1721–1727, 2008.
- BARUCH, Z.; GUENNI, O. Irradiance and defoliation effects in three species of the forage grass *Brachiaria*. **Tropical Grasslands**, v. 41, n. 4, p. 269–276, 2007.
- BENVENUTTI, M. A. et al. Defoliation patterns and their implications for the management of vegetative tropical pastures to control intake and diet quality by cattle. **Grass and Forage Science**, v. 71, n. 3, p. 424–436, 2015.
- BENVENUTTI, M. A. et al. Ingestive behaviour and forage intake responses of young and mature steers to the vertical differentiation of sugarcane in pen and grazing studies. **Journal of Agricultural Science**, v. 155, n. 10, p. 1677–1688, 2017.
- BIRCHAM, J. S.; HODGSON, J. The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. **Grass and Forage Science**, v. 38, n. 4, p. 323–331, 1983.
- BOLFE, E. L. et al. Futuro da Agricultura Brasileira. **Embrapa**, p. 212, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>.
- BOSI, C. et al. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 6, p. 449–456, 2014.

BOVAL, M; SAUVANT, D. Ingestive behaviour of grazing ruminants: meta-analysis of the components linking bite mass to daily intake. **bioRxiv**, p. 705665, 2019. Disponível em: <http://biorxiv.org/content/early/2019/07/17/705665.abstract>.

BRAINARD, D. C.; BELLINDER, R. R.; DITOMMASO, A. Effects of canopy shade on the morphology, phenology, and seed characteristics of Powell amaranth (*Amaranthus powellii*). **Weed Science**, v. 53, n. 2, p. 175–186, 2005.

CARNEVALLI, R. A. et al. Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça under four grazing managements. **Tropical Grasslands**, v. 40, n. 3, p. 165–176, 2006.

CARNEVALLI, R. A. et al. Shade controls the ruminating and idleness times of dairy heifers in tropical integrated systems. **Agroforestry Systems**, v. 7, 2019.

CARNEVALLI, R. A. et al. Spatial distribution of dairy heifers' dung in silvopastoral systems. **Ciência Rural**, v. 49, n. 10, 2019.

CARVALHO, M. M.; PAULA, V.; FERREIRA, D. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 717–722, 2002.

CARVALHO, P C F. Can grazing behaviour support innovations in grassland management? **22nd International Grassland Congress**, v. 1, p. 1134–1148, 2013.

CARVALHO, P. C. F. et al. Definições e terminologias para sistema integrado de produção agropecuária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 1040–1046, 2014.

CASAL, J. J. Shade Avoidance. **The Arabidopsis Book**, v. 10, p. e0157, 2012.

CASTRO, C. R. T. et al. Produção Forrageira de Gramíneas Cultivadas sob Luminosidade Reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 5, p. 919–927, 1999.

CONGIO, G. F. S. et al. Strategic grazing management towards sustainable intensification at tropical pasture-based dairy systems. **Science of the Total Environment**, v. 636, p. 872–880, 2018.

CRESTANI, S. et al. 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.

DAL-PIZZOL, J.G. et al. Consumo de forragem por ovinos ingerindo grama missioneira gigante com ou sem acesso a amendoim forrageiro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 2, p. 623–630, 2019.

DEVKOTA, N R; KEMP, P D; HODGSON, J. Screening pasture species for shade tolerance. **Proceedings of the Twenty-Seventh Annual Conference of the Agronomy Society of New Zealand**, v. 27, p. 119–128, 1997.

- DEVKOTA, NR. Growth and Persistence of Common Temperature Pasture Species under Low Light and Low R:FR Ratio. **Journal of the Institute of Agriculture and Animal Science**, v. 27, p. 111–118, 2006.
- DIFANTE, G. S. et al. Ingestive behaviour, herbage intake and grazing efficiency of beef cattle steers on Tanzania guineagrass subjected to rotational stocking managements. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 6, p. 1001–1008, 2009.
- DOMICIANO, L. F. et al. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Animal Production Science**, v. 58, n. 5, p. 920–929, 2018.
- DUFLOTH, J. H.; VIEIRA, S. A. Nutritional quality, dry matter production, animal performance and economic “missioneira gigante” (*Axonopus catharinensis*) in the south of Santa Catarina. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 18, p. 56–69, 2012.
- EIDT, J. **Metas de manejo para pastos de Tifton 85 submetidos a diferentes estratégias de utilização: impactos na estrutura do pasto, eficiência de colheita e produção de forragem**. 2015. 70f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- EVANS, P. S.; POORTER, H. Root growth of *Lolium perenne* L. II. Effects of defoliation and shading. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 3, p. 552–562, 1971.
- FARIA, B. M. et al. 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.
- FELDHAKKE, C. M.; BELESKY, D. P. Photosynthetically active radiation use efficiency of *Dactylis glomerata* and *Schedonorus phoenix* along a hardwood tree-induced light gradient. **Agroforestry Systems**, v. 75, n. 2, p. 189–196, 2009.
- FERNÁNDEZ, M. E.; GYENGE, J. E.; SCHLICHTER, T. M. Shade acclimation in the forage grass *Festuca Pallescens*: Biomass allocation and foliage orientation. **Agroforestry Systems**, v. 60, n. 2, p. 159–166, 2004.
- FERRO, M. M. et al. Organic Reserves in tropical Grasses under Grazing. **American Journal of Plant Sciences**, v. 06, n. 14, p. 2329–2338, 2015.
- FLARESSO, J. A.; GROSS, C. D.; DE, E. X. Introdução e avaliação de gramíneas perenes de verão no alto Vale do Itajaí, Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 7, n. 1, p. 77–86, 2001.
- FONSECA, L. et al. Management targets for maximising the short-term herbage intake rate of cattle grazing in Sorghum bicolor. **Livestock Science**, v. 145, n. 1–3, p. 205–211, 2012.
- FONSECA, L. **Metas de manejo para sorgo forrageiro baseadas em estruturas de pasto que maximizem a taxa de ingestão**. 2011. 177f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development The Way Forward for Sustainable Production. **An international consultation on integrated crop-livestock systems for development The Way Forward for Sustainable Production Intensificatio**, v. 13, n. 1, p. 79, 2010.

FRANKLIN, K. A. Shade avoidance. **New Phytologist**, v. 179, n. 4, p. 930–944, 2008.

FRANKLIN, K. A.; WHITELAM, G. C. Phytochromes and shade-avoidance responses in plants. **Annals of Botany**, v. 96, n. 2, p. 169–175, 2005.

FRASER, D. P.; HAYES, S.; FRANKLIN, K. A. Photoreceptor crosstalk in shade avoidance. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 33, p. 1–7, 2016.

FROTA, M. N. L. et al. Enteric methane in grazing beef cattle under full sun, and in a silvopastoral system in the Amazon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 11, p. 1099–1108, 2017.

GASPARINI, L. V. L. et al. **Sistemas Integrados De Produção Agropecuária E Inovação Em Gestão: Estudos De Casos No Mato Grosso**. p. 1–42, 2017.  
Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td\\_2296.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_2296.pdf).

GIACOMINI, A. A. et al. Components of the leaf area index of marandu palisadegrass swards subjected to strategies of intermittent stocking. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 6, p. 721–732, 2009.

GIACOMINI, A. A. et al. Crescimento de Raízes dos Capins Aruana e Tanzânia Submetidos a Duas Doses de Nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 4, p. 1109–1120, 2005.

GOBBI, K. F. et al. Área Foliar Específica E Anatomia Foliar Quantitativa Do Capim-Braquiária E Do Amendoim-Forrageiro Submetidos a Sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436–1444, 2011.

GOBBI, K. F. et al. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1645–1654, 2009.

GOMES, F. J. et al. Microclimate effects on canopy characteristics of shaded palisade grass pastures in a silvopastoral system in the Amazon biome of central Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 115, p. 126029, 2020.

GOMES, F. J. et al. Shading effects on marandu palisade grass in a silvopastoral system: Plant morphological and physiological responses. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 5, p. 2332–2340, 2019.

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, 2012.

GOMMERS, C. M. M. et al. Shade tolerance: When growing tall is not an option. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 2, p. 65–71, 2013.

GONÇALVES, E. N. et al. Relações planta-animal em ambiente pastoril heterogêneo: processo de ingestão de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, 2009.

GRUNTMAN, M. et al. Decision-making in plants under competition. **Nature Communications**, v. 8, n. 1, p. 1–8, 2017.

GUENNI, O.; SEITER, S.; FIGUEROA, R. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. **Tropical Grasslands**, v. 42, n. 2, p. 75–87, 2008.

GUZATTI, G. C. et al. Changes in the short-term intake rate of herbage by heifers grazing annual grasses throughout the growing season. **Grassland Science**, v. 63, n. 4, p. 255–264, 2017.

HANISCH, A. L. et al. Desempenho e composição química de missioneira-gigante cultivada em sistema silvipastoril tradicional em duas alturas de pastejo. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 4, p. 345–351, 2016b.

HANISCH, A. L. et al. Produção, composição botânica e composição química de missioneira-gigante consorciada com leguminosas perenes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 1, p. 60–66, 2016a.

HANISCH, A. L.; FONSECA, J. A. Características produtivas e qualitativas de sete forrageiras perenes de verão sob adubação orgânica e mineral. **Revista Verde**, v. 6, n. 4, p. 01–06, 2011.

JOCHIMS, F. et al. Produtividade de grama missioneira-gigante, amendoim-forrageiro e suas consorciações. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 28, n. August, p. 84–88, 2015.

KARKI, U.; GOODMAN, M. S. Microclimatic differences between mature loblolly-pine silvopasture and open-pasture. **Agroforestry Systems**, v. 89, n. 2, p. 319–325, 2014.

KAVALCO, S. A. F.; JOCHIMS, F.; FLOSS, P. A. Caracterização de sistemas silvipastoris atendidos pela Epagri na região Oeste de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO ANIMAL SUSTENTÁVEL, 2019, Chapecó. **Anais...** Chapecó: UDESC/CEO, p. 135-138. 2019.

KEPHART, K. D.; BUXTON, D. R.; TAYLOR, S. Elwynn. Growth of C3 and C4 Perennial Grasses under Reduced Irradiance. **Crop Science**, v. 32, n. 4, p. 1033–1038, 1992.

KIRCHNER, R. et al. Desempenho de forrageiras hibernais sob distintos níveis de luminosidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 11, p. 2371–2379, 2010.

- KORTE, C. J.; WATKIN, B. R.; HARRIS, W. Use of residual leaf area index and light interception as criteria for spring-grazing management of a ryegrass-dominant pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 25, n. 3, p. 309–319, 1982.
- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D.F. Tissue flows in grazed communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Eds.). **The ecology and management of grazing systems**. Wallingford: CAB International, 1996. p.3-37.
- LIMA, M. A. et al. Evaluation of a long-established silvopastoral *Brachiaria decumbens* system: Plant characteristics and feeding value for cattle. **Crop and Pasture Science**, v. 70, n. 9, p. 814–825, 2019.
- LIN, C. H. et al. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, v. 53, p. 269–281, 2001.
- LOPES, C. M. et al. Plant morphology and herbage accumulation of signal grass with or without fertilization, under different light regimes. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, p. 1–7, 2017a.
- LOPES, C. M. et al. Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 69, n. 1, p. 225–233, 2017b.
- LUDLOW, M. M.; WILSON, G. L. Studies on the productivity of tropical pasture plants. II.\* Growth analysis, photosynthesis, and respiration of 20 species of grasses and legumes in a controlled environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 21, n. 2, p. 183–194, 1974.
- MACEDO, M. C. M.; ARAÚJO, A. R. Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas. ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 295–317.
- MACHADO, V. M. **Estratégias de manejo do pastejo do capim braquiária em sistema silvipastoril**. 2016. 75f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, 2016.
- MARIN, A. et al. The intake rate, a strategy for the sustainable grazing management. In: IX Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles, 2017, Cali – Colômbia. **Anais...** Cali: Fundación CIPAV, p. 214-218. 2017.
- MASSIMINO, D. et al. The effect of a day at low irradiance of a maize crop: I. Root respiration and uptake of N, P and K. **Physiologia Plantarum**, v. 51, n. 1, p. 150–155, 1981.
- MEZZALIRA, J. C. et al. Behavioural mechanisms of intake rate by heifers grazing swards of contrasting structures. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 153, p. 1–9, 2014.

MORAES, A. et al. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4–9, 2014.

NEEL, J. P. S. et al. Open pasture, silvopasture and sward herbage maturity effects on nutritive value and fermentation characteristics of cool-season pasture. **Grass and Forage Science**, v. 71, n. 2, p. 259–269, 2015.

NOVOPLANSKY, A. Picking battles wisely: Plant behaviour under competition. **Plant, Cell and Environment**, v. 32, n. 6, p. 726–741, 2009.

OLIVEIRA, F. L. R. et al. Performance of *Andropogon gayanus* and *Panicum maximum* cv. “Tanzania” in the shading. **Ciencia Rural**, v. 43, n. 2, p. 348–354, 2013.

OLIVEIRA, F. L.; SOUTO S. M. Efeito do sombreamento no crescimento inicial de gramíneas forrageiras tropicais. **Pesquisa agropecuária gaúcha**, v. 7, n. 2, p. 221–226, 2001.

OLIVEIRA, G. L. et al. Effect of shading and canopy height on pasture of *Andropogon gayanus* in silvopastoral system. **Agroforestry Systems**, v. 5, 2019.

OLIVEIRA, T. K. et al. Solar radiation in understory of agrosilvopastoral system with eucalypt on different spacings. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 40–50, 2007.

PACHAS, A. N. A. et al. Response of *Axonopus catarinensis* and *Arachis pintoii* to shade conditions. **Tropical Grasslands-Forrajões Tropicais**, v. 2, n. 1, p. 111–112, 2014.

PACIULLO, D. S. C. et al. Características do pasto e desempenho de novilhas em sistema silvipastoril e pastagem de braquiária em monocultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 11, p. 1528–1535, 2009.

PACIULLO, D. S. C. et al. Dinâmica do crescimento de espécies de Braquiária de acordo com a dose de nitrogênio e o sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 2, p. 270–276, 2011.

PACIULLO, D. S. C. et al. 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, 2016.

PACIULLO, D. S. C. et al. 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.

PEDREIRA, B. C. et al. Acúmulo de forragem durante a rebrotação de capim-xaraés submetido a três estratégias de desfolhação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 4, p. 618–625, 2009.

PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C. G. S.; DA SILVA, S. C. Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés em resposta a estratégias de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, p. 281–287, 2007.

- PEREIRA, J. C. et al. Defoliation management affects morphogenetic and structural characteristics of mixed pastures of brachiaria grass and forage peanut. **African Journal of Range and Forage Science**, v. 34, n. 1, p. 13–19, 2017.
- PERI, P. L.; MCNEIL, D. L.; MOOT, D. J.; VARELLA, A. C.; LUCAS, R. J. Net photosynthetic rate of cocksfoot leaves under continuous and fluctuating shade conditions in the field. **Grass and Forage Science**, v. 57, n. 2, p. 157–170, 2002.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. **Journal of Thermal Biology**, v. 79, p. 103 – 109, 2019.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 1, p. 39–49, 2017.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p. 110–119, 2015.
- PIERIK, R.; DE WIT, M. Shade avoidance: Phytochrome signalling and other aboveground neighbour detection cues. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 11, p. 2815–2824, 2013.
- PIERSON, E. A. et al. International Association for Ecology The Effect of Shading on Photosynthesis, Growth, and Regrowth following Defoliation for *Bromus tectorum*. **Oecologia**, v. 84, no. 4, 534–543, 1990.
- PONTES, L. S. et al. 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.
- POORTER, H. et al. Biomass allocation to leaves, stems and roots: Meta-analyses of interspecific variation and environmental control. **New Phytologist**, v. 193, n. 1, p. 30–50, 2012.
- RIBEIRO, L. P.; CAZAROTTO, A. R. Incidence and Population Fluctuation of Spittlebugs on Three Perennial Grasses: on-Farm Assessments. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 4, p. 66–71, 2018.
- RODRIGUES, C. O. D. et al. Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 36, n. 2, p. 129–136, 2014.
- RODRIGUES, M. O. D. **Altura de manejo do capim Mombaça em sistema silvipastoril**. 2017. 88f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Tocantins, Tocantins, 2017.
- RODRIGUES, M. O. D. et al. Cutting Height of Mombasa Grass Under Silvopastoral and Monoculture Systems. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 5, p. 433, 2019.
- SAMARAKOON, S. P.; WILSON, J. R.; SHELTON, H. M.; Growth, morphology and nutritive quality of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and

*Pennisetum clandestinum*. **The Journal of Agricultural Science**, v. 114, n. 2, p. 161–169, 1990.

SANTOS, D. C. et al. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 266, p. 174–180, 2018.

SARTO, M. V. M. et al. Root and shoot interactions in a tropical integrated crop–livestock–forest system. **Agricultural Systems**, v. 181, p. 102796, 2020.

SBRISSIA, A. F. et al. Defoliation strategies in pastures submitted to intermittent stocking method: Underlying mechanisms buffering forage accumulation over a range of grazing heights. **Crop Science**, v. 58, n. 2, p. 945–954, 2018.

SBRISSIA, A. F.; DUCHINI, P. G.; ECHEVERRIA, J. R. Produção animal em pastagens cultivadas em regiões de clima temperado da América Latina. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 25, n. 1, p. 47 – 60, 2017.

SCHONS, R. M. T. **Crêterios para manejo de pastagens fundamentado no comportamento ingestivo dos animais: um exemplo com pastoreio rotativo conduzido sob metas de manejo contrastantes**. 2015. 71f. Disserta o (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SILVA, S. C.; CARVALHO, P.C.F. **Foraging behaviour and intake in the favourable tropics / sub-tropics**. In: Xx International Grassland Congress – Grassland a Global Resource, University College, Dublin, Ireland, 2005.

SILVA, S. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 122–138, 2007.

SOARES, A. B. et al. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 443–451, 2009.

SOARES, A. B.; BERNARDON, A.; AIOLFI, R. B. Forage yield, rate of CO<sub>2</sub> assimilation, and quality of temperate annual forage species grown under artificial shading conditions. **Ciência Rural**, v. 46, n. 6, p. 1064–1069, 2016.

STUR, W. W.; SHELTON, H. M. Compatibility of Forages and Livestock with Plantation Crops. In: SHELTON, H. M.; STILR, W. W. **Forages for Plantation Crops**. Sanur Beach: ACIAR Proceedings, 1991. p. 112 – 116.

TCACENCO, F. A. Avalia o de forrageiras nativas e naturalizadas, no Vale do Itajaí, Santa Catarina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 475–489, 1994.

TOWNSEND, C. R. et al. Pinto de. Características Morfog nicas e Estruturais de *Brachiaria ruziziensis* Submetida a Níveis de Sombreamento. **I Workshop sobre Tolerância Estresses Abi ticos**, p. 15, 2013.

- UNGAR, E. D.; RAVID, N.; BRUCKENTAL, I. Bite dimensions for cattle grazing herbage at low levels of depletion. **Grass and Forage Science**, v. 56, n. 1, p. 35–45, 2001.
- 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.
- VALLS, J. F. M. et al. A grama missioneira gigante: híbrido entre duas forrageiras cultivadas do gênero *Axonopus* (Gramineae). **Genetics and Molecular Biology**, v.23, n. 3, p. 388, 2000.
- VARELLA, A. C. et al. Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system? **Agroforestry Systems**, v. 81, n. 2, p. 157–173, 2010.
- VARELLA, A. C. et al. Manejo de pastagens subtropicais e temperadas para a integração floresta-pecuária. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 406 – 427.
- WANG, L. et al. Biomass allocation, compensatory growth and internal C/N balance of *Lolium perenne* in response to defoliation and light treatments. **Polish Journal of Ecology**, v. 64, n. 4, p. 485–499, 2016.
- WONG, C. C. Shade Tolerance of Tropical Forages: A Review. In: SHELTON, H. M.; STILR, W. W. **Forages for Plantation Crops**. Sanur Beach: ACIAR Proceedings, 1991. p. 62 – 69.
- ZANDONA, A. P.; FILHO, A. C.; PONTES, L. S. Effects of trees and nitrogen supply on the soil microbiological attributes on integrated crop-livestock systems. **Revista Ceres**, v. 66, n. 3, p. 226–234, 2019.
- ZANINE, A. M. et al. Características estruturais e acúmulo de forragem em capim-tanzânia sob pastejo rotativo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 11, p. 2364–2373, 2011.

### 3 HIPÓTESES

#### 3.1 HIPÓTESE GERAL

As metas de manejo baseadas em altura de corte inicial e a intensidade de desfolha são diferentes em sistema sombreado em comparação a ambientes em pleno sol.

#### 3.2 HIPÓTESES ESPECÍFICAS

1. A altura ideal de corte inicial da grama missioneira-gigante é superior em sistema sombreado em comparação ao pleno sol; e a altura residual da grama missioneira-gigante é superior em sistema sombreado em comparação ao pleno sol.
2. Plantas de grama missioneira-gigante quando crescendo em ambientes sombreados apresentam mecanismos distintos de ajustes da estrutura do dossel quando comparadas a plantas crescendo em pleno sol.
3. A maximização da produção de massa seca da grama missioneira-gigante ocorre em metas de manejo mais altas na condição sombreada.

## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GERAL

Definir metas de manejo para a grama missioneira-gigante crescendo em ambiente de pleno sol e na sombra, baseado nas respostas morfológicas, estruturais e produtivas da espécie forrageira.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar metas de manejo para início e interrupção da utilização da grama missioneira-gigante em pleno sol e em ambiente sombreado.
- Verificar como ocorre o ajuste do dossel vegetal da grama missioneira-gigante em pleno sol e ambiente sombreado, aplicando-se diferentes alturas de corte inicial e intensidades de desfolha.
- Determinar as metas de manejo para grama missioneira-gigante em pleno sol e com restrição de luminosidade em que ocorre a otimização do acúmulo de biomassa aérea e massa de raízes aliada a qualidade bromatológica da forrageira.

## 5 ARTIGO 1 – METAS DE MANEJO PARA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE EM PLENO SOL E NA SOMBRA

### 5.1 RESUMO

A produção sustentável em pastagens depende do estabelecimento de metas claras de manejo. Ainda não está devidamente definido se metas de manejo aplicadas para forrageiras em pleno sol podem ser igualmente aplicadas para ambientes sombreados. Foram testadas as hipóteses de que as alturas ideais da pastagem para o início e interrupção da utilização são superiores em sistema sombreado em comparação em pleno sol. Assim, este estudo objetivou determinar as metas de manejo para grama missioneira-gigante em pleno sol e em ambiente sombreado, a partir da avaliação da densidade de perfilhos, altura do perfilho estendido, altura do colmo + pseudocolmo, proporção do estrato de folhas livre de bainhas, densidade de componentes no estrato “pastejável” e interceptação de luz. Os tratamentos consistiram na combinação de dois ambientes luminosos (sol e sombra), quatro alturas de corte inicial (15, 25, 35 e 45 cm) e quatro intensidades de desfolha (20, 40, 60 e 80%), avaliados num esquema fatorial, em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. As plantas foram estabelecidas em caixas de madeira de 0,15 m<sup>3</sup> com substrato de areia e vermiculita, irrigadas com solução nutritiva completa. A sombra foi reproduzida por ripados de madeira, com 50% de redução da luminosidade. A altura do dossel para interceptar a mesma quantidade de luz foi superior no ambiente sombreado comparado ao pleno sol, o que resultou em aumento da altura do colmo + pseudocolmo, porém sem efeito sobre o estrato de folhas livre de bainhas. As alturas de corte de 15 e 45 cm apresentaram mínima e máxima interceptação luminosa, respectivamente. A intensidade de desfolha de 80% teve impacto negativo na densidade populacional de perfilhos, enquanto a intensidade de 20% indica subutilização da forragem produzida. A grama missioneira-gigante respondeu com aumento da altura do colmo + pseudocolmo e proporção de folha para melhorar a captação de luz em ambiente sombreado. Esse aumento parece ocorrer na mesma proporção, o que resultou em estratos de folhas livre de bainhas semelhantes entre os ambientes luminosos. Os resultados evidenciaram que alturas de manejo de corte inicial entre 25 e 35 cm e intensidades de desfolha entre 40 e 60% da altura otimizaram o desempenho da forrageira. Independente do ambiente luminoso, alturas acima de 35 cm aumentaram a presença de frações (colmo + pseudocolmos) no estrato a ser desfolhado, enquanto alturas menores que 25 cm resultaram em baixa densidade de folhas nesse estrato. Intensidades de desfolha acima de 60% da altura inicial reduziram a densidade populacional de perfilhos, o que poderia reduzir a persistência da forrageira. Finalmente, alturas de corte inicial ao redor de 30 cm para plantas crescendo em pelo sol e de 36 cm em ambiente sombreado, seriam recomendadas para realização da desfolha com o objetivo de não penalizar a produção de forragem.

Palavras-chave: *Axonopus catharinensis*, sistemas integrados de produção agropecuária, sombreamento.

## 5.2 ABSTRACT

Sustainable pasture production depends on establishing clear management targets. It is not yet defined whether targets applied to pastures in full sun can be applied to shaded environments. The hypotheses were tested that the ideal pasture heights for starting and stopping grazing are higher in a system with light restriction compared to full sun. The objective was to determine the management targets for giant missionary grass in full sun and restricted luminosity environment, based on the variation in tiller population density, extended tiller height, stem + pseudostem height, proportion of free leaf sheaths, the density of leaves, stems and pseudostems in the grazing stratum and the light interception. The treatments consisted of a combination of two luminous environments (sun and shade), four cutting heights (15, 25, 35 and 45 cm) and four defoliation intensities (20, 40, 60 and 80%), evaluated in a factorial scheme, in a completely randomized design, with three repetitions. The plants were established in wooden boxes (0.15 m<sup>3</sup>) with substrate of sand and vermiculite, irrigated with complete nutrient solution. The shade was reproduced by wooden slats, with a 50% reduction in luminosity. The extended tiller height, stem + pseudostem height, the proportion of free leaf sheaths, the tiller population density (TPD), the density of leaves, stems and pseudostems in the collected stratum and the light interception were evaluated. The extended tiller height and the showed an effect of the interaction between the light environment × cutting height, while the density of leaves and stems + pseudostems showed the effect of the interaction between the light environment × defoliation intensity. The height of the canopy to intercept the same amount of light was higher in the shaded luminous environment compared to full sun, which resulted in an increase in the stem + pseudostem length, but without effect on the leaf layer free of sheaths. The heights of 15 and 45 cm showed low and high light interception, respectively. The defoliation intensity of 80% had a negative impact on the tiller population density, while the intensity of 20% indicates underutilization of the forage produced. The giant missionary grass responded with an increase in the length of the stem + pseudostem and leaf to improve light capture. This increase seems to occur in the same proportion, which resulted in leaf strata free of similar sheaths between the luminous environments. The results showed that management heights between 25 and 35 cm and defoliation intensity between 40 and 60% of height can be recommended for this forage specie. Regardless of the light environment, heights above 35 cm increased the presence of undesirable fractions (stem + pseudostems) in the stratum to be defoliated, while heights less than 25 cm resulted in low density of leaves in this stratum. Defoliation intensity above 60% of the initial height reduced TPD, which can affect pasture persistence. Finally, heights of around 30 cm for plants growing in the sun and between 35 and 38 cm in a shaded environment would be recommended for defoliation in order not to penalize forage production.

Keywords: *Axonopus catharinensis*, Integrated Crop-Livestock System, shading.

### 5.3 INTRODUÇÃO

As definições de metas de manejo de pastagens são amplamente abordadas, porém a grande maioria se concentra em pastagens a pleno sol, para espécies estivais (DRUDI et al., 1986; FAGUNDES et al., 1999; CARNEVALLI et al., 2006; BARBOSA et al., 2007; FONSECA et al., 2012; MEZZALIRA et al., 2013; PEREIRA et al., 2017; MARIN et al., 2017) e hibernais (AMARAL et al., 2012; MEZZALIRA et al., 2013; SANTOS et al., 2016). Recentemente, com a maior adoção de sistemas integrados de produção agropecuária pelo mundo (BALBINO et al., 2019), a introdução de árvores no sistema pastoril passou a exigir a definição de metas de manejo para pastagens sombreadas (CRESTANI et al., 2017; VARELLA et al., 2019).

Independentemente do método de pastejo adotado, rotativo ou contínuo, a altura é um dos critérios mais utilizados por integrar as principais características estruturais do pasto (HODGSON, 1985), além de ser um indicador prático (FERNANDEZ; RODRIGUEZ, 2013). Para o manejo em método rotativo, alguns estudos definem metas específicas de altura para cada espécie forrageira (MARIN et al., 2017a); outros mostram valores máximos para uma determinada amplitude de valores de alturas (CONGIO et al., 2018; SCHMITT et al., 2019) ou sugerem que existem intervalos de alturas onde se obtém resultados semelhantes quanto a produção primária do sistema, desde que sejam aplicadas intensidades moderadas de desfolha (SBRISSIA et al., 2018). No Brasil, a maioria dos trabalhos que definiram metas de manejo do pastejo foram desenvolvidos tendo como base o dossel vegetal, em que as alturas geralmente são definidas quando o dossel intercepta 90 a 95% da luminosidade incidente (ZANINE et al., 2011; PEREIRA et al., 2017) e comportamento animal, em que as alturas de pré e pós-pastejo são definidas com base no máximo consumo instantâneo de matéria seca (GONÇALVEZ et al., 2009; AMARAL et al., 2012; MARIN et al., 2017b).

A intensidade de desfolha pode ser definida como a diferença relativa entre a altura do dossel forrageiro antes e após o pastejo (FONSECA et al., 2012). Pesquisas que avaliaram as intensidades de pastejo para pastagens em pleno sol, com base no comportamento ingestivo, têm sugerido a recomendação de intensidades de desfolha não superiores a 40% da altura pré-pastejo, independentemente do hábito de crescimento da planta, por exemplo, sorgo

forrageiro (*Sorghum bicolor*) ou tifton 85 (*Cynodon* sp.) (CARVALHO, 2013; SCHMITT et al., 2019). No caso do capim-quicuiu (*Pennisetum clandestinum*), foi observado que a intensidade de desfolha de até 50% da altura de pré-pastejo não afeta a taxa de acúmulo de forragem (SBRISSIA et al., 2018). Para pastos de milheto (*Pennisetum glaucum*) foi sugerido a combinação de alturas pré e pós-pastejo de 60 e 20 cm, respectivamente, por possibilitar a colheita de alta massa de bocados e proporcionar alta taxa de ingestão de vacas leiteiras (MEZZALIRA et al., 2013). Em pastos de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis*) submetidos a sombreamento natural, foi observado que a intensidade média de 75% de remoção da altura inicial do perfilho estendido pode resultar na remoção de toda a área foliar, independente da altura pré pastejo (BENVENUTTI et al., 2016).

Plantas no sol e na sombra podem apresentar horizontes facilmente pastejáveis com diferentes alturas, uma vez que a altura do estrato de folhas livre de colmos e pseudocolmos pode variar em função da luminosidade (SMITH; WHITELAM, 1997). Plantas forrageiras localizadas no sub-bosque formado por árvores enfrentam redução na intensidade luminosa e alterações na qualidade de luz incidente (GOMMERS et al., 2013). Ao identificar alterações na proporção de vermelho, vermelho distante e na relação entre eles, a planta desencadeia respostas morfológicas genotípicas caracterizadas principalmente pelo alongamento de colmo, aumento do comprimento de folhas às custas de folhas mais finas (GRUNTMAN et al., 2017) e priorização de perfilhos existentes em detrimento a formação de novos perfilhos (LOPES et al., 2017). Dependendo do pasto, ao acessar o estrato rico em colmos e pseudocolmos, o animal pode limitar principalmente a profundidade do bocado, com consequências à taxa de ingestão de matéria seca (GRIFFITHS; GORDON, 2003), e ao consumo diário. Esta barreira física pode afetar a profundidade do bocado em função de uma interação entre fatores, como a densidade de colmos e pseudocolmos, a resistência de fratura e o estágio fenológico da planta (BENVENUTTI et al., 2006; BENVENUTTI et al., 2008). A proporção do perfilho estendido que compreende exclusivamente o estrato de folhas, vai depender do padrão de resposta da planta em ambiente sombreado quanto ao aumento da altura de colmo e pseudocolmo, e comprimento de folhas. Ao considerar que estas respostas podem impactar na estrutura do dossel forrageiro a ponto de modificar o comportamento ingestivo dos animais em pastejo, levanta-se o questionamento que

provavelmente a aplicação de metas de manejo do pastoreio sob pleno sol não sejam as mesmas a serem recomendadas para pastejo de plantas sombreadas.

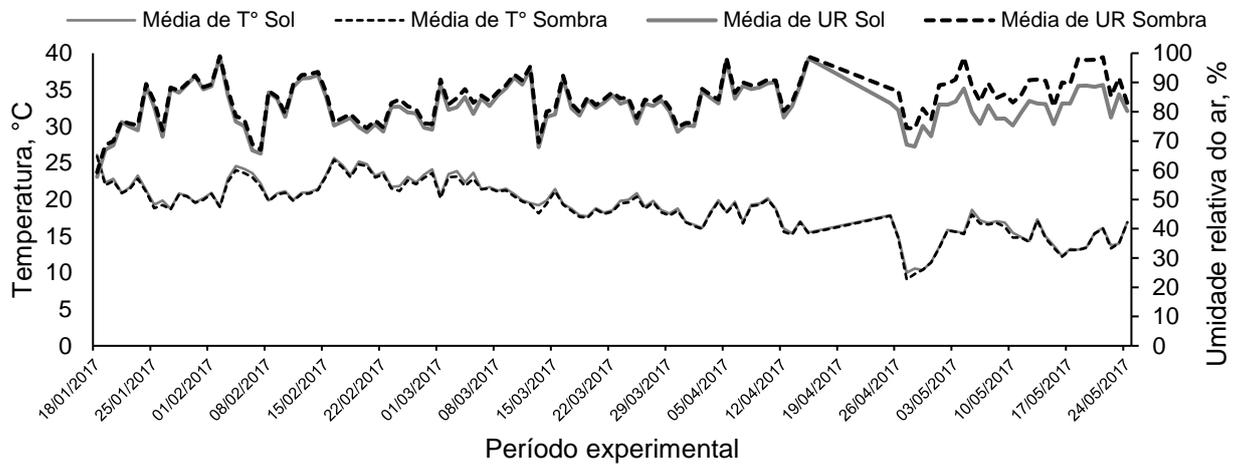
Em função da densidade de perfilhos e proporção de folhas no estrato pastejado, foram testadas as hipóteses de que: I) a altura ideal da pastagem para o início da utilização é maior em sistema com restrição de luminosidade em comparação ao pleno sol; e II) a altura ideal da pastagem para a interrupção da utilização é superior em sistema com restrição de luminosidade em comparação ao pleno sol. Objetivou-se determinar metas de manejo para grama missioneira-gigante em pleno sol e ambiente sombreado, a partir da variação na densidade de perfilhos, altura do perfilho estendido, colmo + pseudocolmo, proporção do estrato de folhas livre de bainhas, densidade de componentes no estrato pastejável e interceptação de luz.

## 5.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.4.1 Local e clima

O experimento foi desenvolvido em ambiente parcialmente controlado na Estação experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI, localizada no município de Lages – SC, sob coordenadas aproximadas 27° 47' 55" S e 50° 19' 25" W a 922 m de altitude, em clima temperado úmido Cfb, conforme classificação de Köppen. As avaliações ocorreram entre os meses de dezembro de 2016 e junho de 2017. Neste período foram registradas informações de temperatura e a umidade relativa do ar em cada ambiente luminoso testado por meio de *data loggers* (Onset Computer Corp., U12-012 RH/TEP, EUA) (Figura 1).

Figura 1 – Médias diárias de temperatura do ar (T) e umidade relativa do ar (UR) durante o período experimental para pleno sol (linha contínua) e para sombreamento artificial (linha segmentada)



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

#### 5.4.2 Tratamentos, implantação e manejo

Os tratamentos consistiram na combinação de dois ambientes luminosos (sol e sombreamento artificial), quatro alturas de corte inicial (15, 25, 35 e 45 cm) e quatro intensidades de desfolha (20, 40, 60 e 80%) da grama missioneira-gigante com três repetições, totalizando 96 unidades experimentais.

As mudas de missioneira-gigante foram coletadas em pleno estágio vegetativo e estabelecidas no ano anterior ao do experimento (2016) em caixas de madeira com substrato de areia e vermiculita na proporção de 1:1 (v/v), na densidade de 100 mudas  $m^{-2}$ . Em todos os tratamentos foi aplicada solução nutritiva completa (1,9 mol  $m^{-3}$   $KNO_3$ , 0,55 mol  $m^{-3}$   $Ca(NO_3)_2$ , 2,5 mol  $m^{-3}$   $NH_4NO_3$ , 0,5 mol  $m^{-3}$   $CaCl_2$ , 0,1 mol  $m^{-3}$   $NaCl$ , 0,5 mol  $m^{-3}$   $MgSO_4$ , 0,4 mol  $m^{-3}$   $KH_2PO_4$ , 0,3  $K_2HPO_4$ , 25  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $H_3BO_3$ , 2  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $MnSO_4$ , 2  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $ZnSO_4$ , 0,5  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $CuSO_4$ , 0,5  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $H_2MoO_4$  e 20  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $Fe$ -HEDTA) via sistema de irrigação. Cada unidade experimental apresentava área de 0,30  $m^2$  (1,0 x 0,3 m), com profundidade de 0,5 m.

O ambiente sombreado ofereceu redução de 50% de luminosidade. Este nível foi obtido por meio de sombreamento artificial, com estrutura construída em madeira com tábuas de 15 cm de largura, espaçadas em 15 cm, fixadas 30 cm acima do

dossel forrageiro e posicionadas no sentido norte-sul. A estrutura era elevada à medida que as plantas cresciam para manter a proporcionalidade da distância do ripado ao topo do dossel. Este sistema forneceu um regime de luz bimodal ou intermitente para melhor mimetizar o sombreamento de um sistema silvipastoril verdadeiro (VARELLA et al., 2010).

### 5.4.3 Medidas

Anteriormente ao início das avaliações, todas as unidades experimentais foram uniformizadas com um corte a 10 cm de altura em relação ao solo no dia 21/12/2016. A altura média do dossel foi determinada a cada três dias com bastão graduado (*sward stick*), com a medição em 10 pontos por unidade experimental. Os cortes eram realizados quando a altura média do pasto atingia a altura meta de manejo inicial estabelecida e o corte realizado a partir da intensidade de desfolha preconizada em cada tratamento. O primeiro e o último corte foram realizados nos dias 23/01/2017 e 23/05/2017, respectivamente.

Previamente à cada corte, as alturas do perfilho estendido e do colmo + pseudocolmo foram medidas com régua do nível do solo até a extremidade da folha mais comprida e até a última lígula exposta, respectivamente. A partir destas medidas foi calculado o estrato de folhas livre de bainhas, como a diferença entre altura o perfilho estendido e do colmo + pseudocolmo, em proporção relativa ao perfilho estendido. Amostras da parte aérea das plantas foram coletadas acima da altura correspondente a cada intensidade de desfolha, em áreas de 0,08 m<sup>2</sup>. Essas amostras foram fracionadas em lâminas foliares, colmos + pseudocolmos e material senescente. As frações foram secas em estufa de ventilação forçada a 60°C por 72 horas para posterior pesagem e determinação da densidade de folhas e colmos + pseudocolmos no estrato coletado. A densidade populacional de perfilhos (DPP) foi avaliada em uma área de 0,04 m<sup>2</sup>.

A interceptação luminosa (IL) foi determinada com ceptômetro (ACCUPAR LP 80, Decagon Devices, EUA). Os dados foram obtidos por meio de aferição da luz incidente acima e abaixo do dossel, por três vezes em cada unidade experimental, previamente à cada corte. Sempre realizada entre 11:00 e 14:00 horas, com intensidade luminosa mínima de 600  $\mu\text{m}$  de fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e sem a interferência de nuvens.

#### 5.4.4 Análise estatística

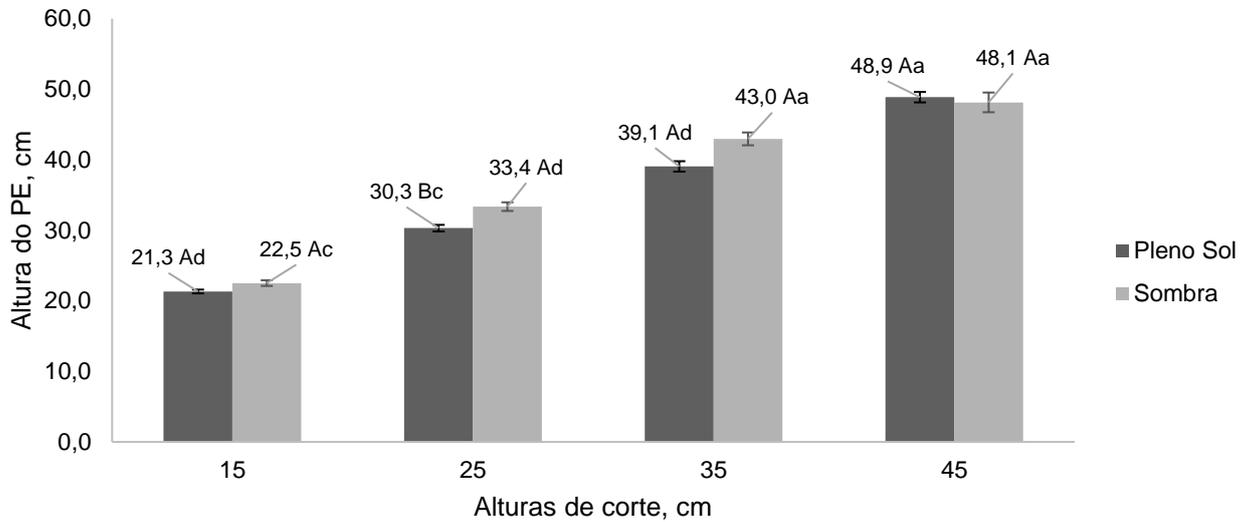
Para análise dos dados utilizou-se a análise de variância, as pressuposições de homogeneidade de variância (teste de Bartlett) e normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) foram verificadas e utilizada a transformação ótima de Box-Cox nos casos em que alguma das pressuposições não ter sido atendida. Pela estrutura física do experimento, a casualização das combinações entre altura e intensidade foi realizada nos respectivos ambientes luminosos, portanto, para cada variável foi testada dependência espacial dos dados considerando o modelo esférico com dependência espacial e o modelo nulo, sem a dependência espacial, a tomada de decisão baseou-se no critério de informação de Akaike. Quando observado efeito de dependência espacial os dados foram corrigidos, sendo considerada para análise o modelo condicional.

Foram considerados como fatores na análise: presença de sombra, com dois níveis; altura de corte inicial, com quatro níveis e intensidade de desfolha, com quatro níveis, bem como as interações entre os fatores. Quando do efeito significativo foi realizado o desdobramento dos fatores de teste de médias (Tukey). Todas as análises foram realizadas utilizando o software R versão 3.6.2 (R Core Team, 2019) considerando 5% de significância.

### 5.5 RESULTADOS

A altura do perfilho estendido ( $P = 0,016$  - Figura 2) e a DPP ( $P = 0,029$  - Figura 3) apresentaram efeito da interação ambiente luminoso  $\times$  altura de corte, enquanto a densidade de folhas ( $P=0,046$ ) e de colmos + pseudocolmos ( $P = 0,012$ ) apresentaram efeito da interação ambiente luminoso  $\times$  intensidade de desfolha (Figura 4). As demais variáveis não tiveram qualquer interação significativa, e os resultados são apresentados considerando as médias por ambiente luminoso, altura de corte inicial e intensidade de desfolha.

Figura 2 – Altura do perfilho estendido (PE) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a dois ambientes luminosos e alturas de corte



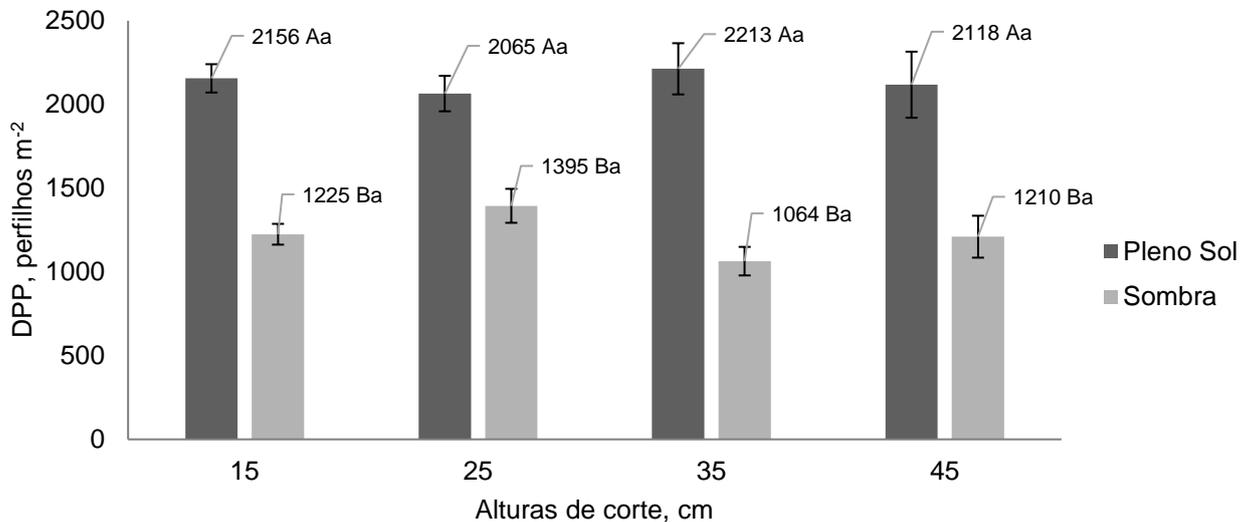
Médias com mesma letra maiúscula para o fator ambiente luminoso e minúscula para o fator altura, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A altura de perfilho estendido foi superior nas plantas em ambiente sombreado comparadas às plantas em pleno no sol na altura de corte inicial de 25 cm, mas não diferiu em função do ambiente luminoso nas demais alturas de corte. Os resultados variaram de 21 a 49 cm na menor e maior altura de corte inicial, respectivamente.

A DPP média para grama missioneira-gigante foi de 1746 perfilhos  $m^{-2}$ , independente do ambiente luminoso. Ao sol a DPP foi de 2135 perfilhos  $m^{-2}$  e com restrição de luminosidade de 1241 perfilhos  $m^{-2}$ . A DPP da grama missioneira-gigante em pleno sol foi maior quando comparada à missioneira na sombra em todas as alturas, mas esta diferença foi superior na altura de 35 cm em comparação às demais.

Figura 3 – Densidade populacional de perfilhos (DPP) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a dois ambientes luminosos e alturas de corte

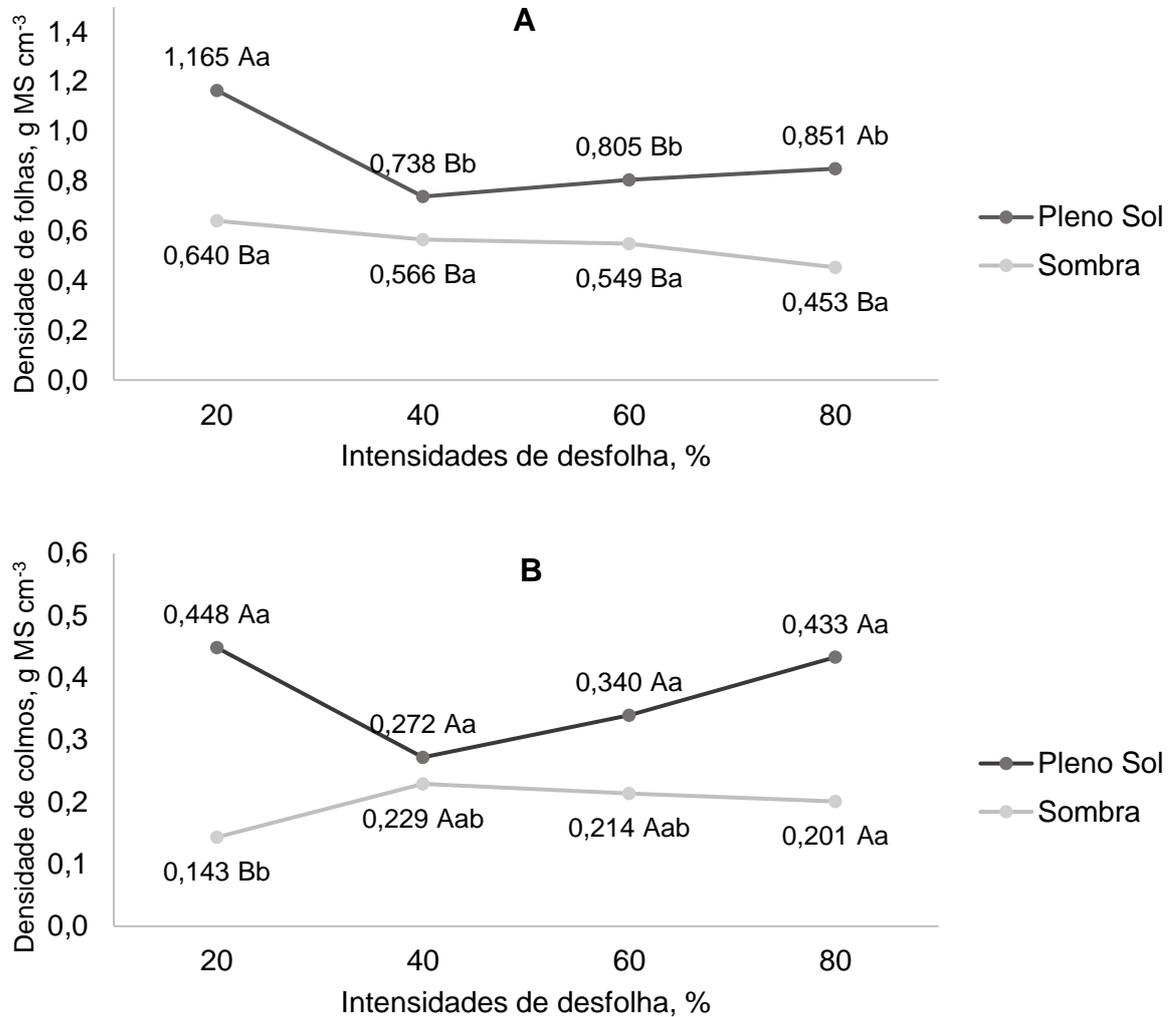


Médias com mesma letra maiúscula para o fator ambiente luminoso e minúscula para o fator altura, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

As plantas em pleno sol, apresentaram maior densidade de folhas e de colmos + pseudocolmos quando se aplicou intensidade de desfolha de 20%. A partir dos 40% de intensidade de desfolha, houve semelhança entre os níveis de intensidade nos diferentes ambientes luminosos, tanto para densidade de folhas quanto para densidade de colmos + pseudocolmos. Com 80% de intensidade de desfolha, a densidade de folhas foi menor no ambiente sombreado.

Figura 4 – Densidade de folhas (A) e densidades de colmo + pseudocolmos (B) no estrato coletado de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a dois ambientes luminosos e manejados em intensidades de desfolha



Médias com mesma letra maiúscula para o fator ambiente luminoso e minúscula para o fator intensidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

### 5.5.1 Efeito do ambiente luminoso

A altura do colmo + pseudocolmo foi maior em plantas sombreadas, porém, o ambiente luminoso não teve efeito sobre o estrato de folhas livre de bainhas. Mesmo com um nível de redução de luminosidade de 50%, as respostas da grama missioneira-gigante foram pequenas quanto à altura do perfilho estendido e colmo + pseudocolmo. Na média das alturas das plantas em pleno sol (29,7 cm) e na sombra (31,3 cm), os perfilhos na sombra foram 1,6 cm (5,4%) maiores que perfilhos em

pleno sol. A altura do colmo + pseudocolmo foi 0,6 cm (4,3%) maior em perfilhos de missioneira-gigante à sombra em comparação ao pleno sol. O estrato de folhas livre de bainhas permaneceu inalterado em função do ambiente luminoso.

Tabela 1 – Altura do colmo + pseudocolmo e estrato de folhas livre de bainhas (EFLB) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado

Variáveis avaliadas	Ambiente Luminoso				
	Sol	Sombra	Média	EPM <sup>1</sup>	P-valor
Altura de colmo + pseudocolmo, cm	14,1 b	14,7 a	14,4	0,39	0,032
EFLB <sup>2</sup>	0,57	0,59	0,58	0,01	0,581

Médias com mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

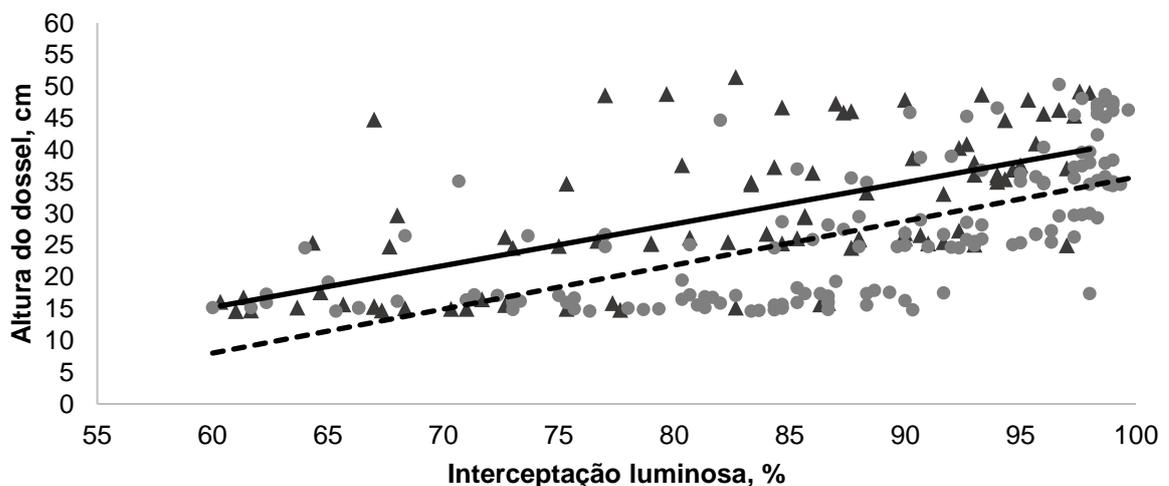
<sup>1</sup> Erro padrão da média.

<sup>2</sup> (altura do perfilho estendido – altura de colmo + pseudocolmo) / altura de perfilho estendido.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Para interceptar a mesma quantidade de luz incidente, o dossel forrageiro de grama missioneira-gigante à sombra precisou alcançar nível maior de altura em comparação ao pleno sol (Figura 5). Aos 15 cm de altura, o dossel interceptava 70 e 60% da luz incidente nas plantas em pleno sol e na sombra, respectivamente. Os dosséis interceptaram 95% de luz com alturas médias de 32 e 38 cm em pleno sol e na sombra, respectivamente.

Figura 5 – Relação entre altura do dossel de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) e interceptação luminosa em dois ambientes luminosos



Em pleno sol (linha segmentada:  $y = 0,6933x - 33,588$ ,  $R^2 = 0,45$ ) e com restrição de luminosidade (linha contínua:  $y = 0,6554x - 24,095$ ,  $R^2 = 0,39$ ). Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

### 5.5.2 Efeito da altura de corte inicial

A altura do colmo + pseudocolmo se elevou, enquanto o estrato de folhas livre de bainhas diminuiu à medida que as alturas de corte inicial aumentaram (Tabela 2). A proporção de EFLB permaneceu superior a 50% nas alturas de 15 e 25 cm, e diminuiu para menos de 50% nas alturas de 35 e 45 cm. A densidade de folhas tendeu a diminuir ( $P < 0,08$ ) nas alturas extremas (15 e 45 cm) em comparação aos valores intermediários (25 e 35 cm).

Tabela 2 – Altura do colmo + pseudocolmo, estrato de folhas livre de bainhas (EFLB) e densidade de folhas e colmos + pseudocolmos de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a alturas de corte

Variáveis avaliadas	Alturas de corte, cm				Média	EPM <sup>1</sup>	P-valor
	15	25	35	45			
Altura de colmo + pseudocolmo, cm	8,2 d	14,3 c	21,5 b	28,0 a	14,4	0,39	<0,001
EFLB <sup>2</sup>	0,65 a	0,57 b	0,49 c	0,45 c	0,58	0,01	<0,001
Densidade de folhas, g MS cm <sup>-3</sup>	0,663	0,730	0,818	0,671	0,721	0,03	0,077
Densidade de colmos, g MS cm <sup>-3</sup>	0,163 c	0,236 bc	0,354 ab	0,387 a	0,285	0,02	<0,001

Médias com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

<sup>1</sup> Erro padrão da média.

<sup>2</sup> (altura do perfilho estendido – altura de colmo + pseudocolmo) / altura de perfilho estendido.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

### 5.5.3 Efeito da intensidade de desfolha

A intensidade de desfolha de 80% reduziu a DPP em comparação às demais intensidades de desfolha avaliadas (Tabela 3). Não foi observado efeito da intensidade de desfolha sobre a altura do perfilho estendido, do colmo + pseudocolmo e estrato de folhas livre de bainhas, com médias de 30,4 cm, 14,4 cm e 0,58, respectivamente.

Tabela 3 – Altura do perfilho estendido, do colmo + pseudocolmo, estrato de folhas livre de bainhas (EFLB) e densidade populacional de perfilhos (DPP) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a intensidades de desfolha

Variáveis avaliadas	Intensidades de desfolha, %					
	20	40	60	80	EPM <sup>1</sup>	P-valor
Altura do perfilho estendido, cm	30,6	30,2	30,2	30,7	0,34	0,298
Altura do colmo + pseudocolmo, cm	14,7	13,3	16,0	13,1	0,39	0,150
EFLB <sup>2</sup>	0,56	0,60	0,55	0,61	0,01	0,259
DPP, perfilhos m <sup>-2</sup>	1805 a	1697 ab	1834 a	1544 b	46,2	0,007

Médias com mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

<sup>1</sup> EPM – Erro padrão da média.

<sup>2</sup> (altura do perfilho estendido – altura de colmo + pseudocolmo) / altura de perfilho estendido.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

## 5.6 DISCUSSÃO

### 5.6.1 Efeito dos tratamentos sobre a altura do dossel e a composição do perfilho

O aumento da altura do dossel forrageiro das plantas com restrição à luminosidade, na tentativa de interceptar a mesma quantidade de luz incidente semelhante à condição de pleno sol, reforça a ideia de que diferentes metas de manejo podem ser adotadas em função do ambiente luminoso. A interceptação de luz é altamente dependente do IAF (GÓMEZ et al., 2012), em que a DPP é determinante (MATTHEW et al., 2000), logo, a redução da DPP à sombra pode justificar a menor interceptação luminosa com altura semelhante ao pleno sol. Têm sido sugerido para algumas espécies forrageiras de clima tropical, como o capim-tanzânia (*Megathyrsus maximus* ‘Tanzânia’) (ZANINE et al., 2016) e o capim-marandu (*Urochloa brizantha* ‘Marandu’) em consórcio com amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* ‘BRS Mandobi’) (PEREIRA et al., 2017), que o período de descanso deve ser interrompido quando a interceptação luminosa estiver entre 90 e 95%, pois proporcionaram maior taxa de acúmulo de folhas e menores taxas de alongamento do caule e senescência foliar. Desta forma, para otimizar a produtividade primária da grama missioneira-gigante, as alturas recomendadas para a desfolha seriam entre 29 e 32 cm em pleno sol e entre 35 e 38 cm em ambientes sombreados.

Resultados semelhantes foram encontrados por Baldissera et al. (2016), que observaram aumento de 10 cm na altura do dossel para o mesmo nível de interceptação luminosa em missioneira-gigante sombreada por árvores, com restrição de luminosidade entre 40 e 60%.

As diferenças de altura dos perfilhos entre os ambientes luminosos podem ser consideradas pequenas, e vão parcialmente ao encontro dos resultados descritos por Baldissera et al. (2016), os quais observaram aumento do comprimento de folha e de pseudocolmo para grama missioneira-gigante em ambiente sombreado. No mesmo sentido, as alturas de colmo + pseudocolmo e folha de capim-mombaça (*Megathyrsus maximus* 'Mombaça') aumentaram, respectivamente, 28% e 11% em perfilhos na sombra quando comparados a perfilhos em pleno sol (ANDRÉ et al., 2020). A maior altura do perfilho estendido com o aumento das alturas do dossel forrageiro, tanto em pleno sol quanto na sombra, vai ao encontro do observado por outros autores em capim-quicuiu manejado sob lotação intermitente (ROCHA et al., 2016). Esta é uma resposta esperada pela forma de crescimento dos perfilhos individuais das gramíneas, com a adição sequencial de fitômeros ao longo do seu ciclo produtivo até atingir a altura meta de corte (MATTHEW et al., 2001).

A redução na proporção do estrato de folhas livre de bainhas para menos de 50% na altura de 45 cm, pode ser considerada um indicador que alturas de no máximo 35 cm devem ser preconizadas para o manejo da grama missioneira-gigante, tanto do ponto de vista do animal como da planta. De acordo com Martins et al. (2019), reduções na quantidade de folhas aumentam a necessidade do recrutamento de novos perfilhos para a reconstituição do IAF, o que pode diminuir a produção de forragem e a persistência da pastagem ao longo do tempo. Do ponto de vista do animal, Guzatti et al. (2017) observaram impacto negativo na taxa de consumo instantâneo de matéria seca de pastos anuais de clima temperado quando o estrato de folhas livre de bainhas foi menor que 52% em relação à altura do perfilho estendido. Benvenuto et al. (2016) avaliaram a ingestão diária de bovinos em pastagem de grama missioneira-gigante e observaram que pode ocorrer drástica redução na taxa de consumo instantâneo quando os animais acessarem o estrato inferior, rico em colmos + pseudocolmos. Dessa forma, seria lógico assumir que alturas pré-pastejo acima de 35 cm implicariam em redução da velocidade de ingestão para a grama missioneira-gigante em ambos os ambientes luminosos, com possíveis implicações na produtividade primária e no consumo diário de forragem.

### **5.6.2 Efeito dos tratamentos sobre a densidade populacional de perfilhos e componentes**

A redução na DPP observada para grama missioneira-gigante no presente trabalho, já foi relatada para outras espécies forrageiras na sombra em comparação ao pleno sol (LIMA et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2019; RODRIGUES et al., 2019). Em sistemas sombreados o perfilhamento é reduzido tanto pela redução da quantidade de luz quanto a redução na relação vermelho: vermelho distante que naturalmente chega na base das plantas (GAUTIER et al., 1999).

Embora fosse esperada maior quantidade de perfilhos em menores alturas de manejo (CARVALHO et al., 2018), provavelmente a quantidade de luz que chegava à base das plantas dos dosséis manejados com diferentes alturas, não apresentou variação suficiente para impactar na DPP (Figura 3). Os resultados do presente trabalho evidenciam que intensidades de desfolha superiores a 60% devem ser evitadas para a grama missioneira-gigante, principalmente devido ao seu impacto negativo na DPP. Alta intensidade de desfolha que implique na remoção do meristema apical geralmente reduz a densidade de perfilhos e pode reduzir a persistência da pastagem (ANDERSON et al., 1989). Deve ser dada maior atenção para manejo de plantas sombreadas, pois a recuperação pós desfolha pode ser duplamente afetada, pela sombra como estresse crônico e a desfolha como estresse agudo (PIERSON et al., 1990).

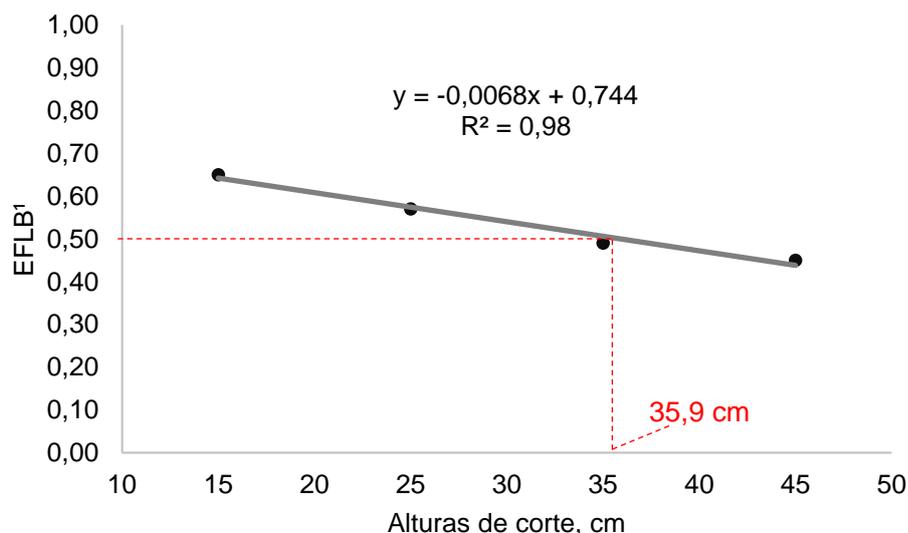
Altura de corte inicial de 45 cm resultou no aumento da densidade de colmos no estrato coletado, que pode resultar na redução da velocidade de ingestão pelo animal, com impacto na redução de consumo de matéria seca ou necessidade de aumento considerável no tempo de pastejo para compensação do consumo diário (BENVENUTTI et al., 2008). Alturas intermediárias resultaram em maior densidade de folhas, que sob o ponto de vista do animal, pode contribuir positivamente para a densidade do bocado e conseqüentemente para a taxa de consumo de matéria seca (FLORES et al., 1993). Intensidades de desfolha de 40 e 60% parecem estabelecer um equilíbrio entre a densidade de folhas e colmos + pseudocolmos, sem efeito do ambiente luminoso. Pereira et al. (2018) informaram que alturas pós-pastejo variando entre 40 e 60% da altura pré-pastejo mostraram-se dentro dos limites de resistência das espécies à desfolha. Sob o ponto de vista do animal, esta semelhança de densidade de componentes aliada a semelhança no estrato de folhas

livre de bainhas, pode indicar a flexibilidade da grama missioneira-gigante quanto às metas de intensidade para ambientes luminosos distintos.

### 5.6.3 Implicações práticas

As repostas observadas no presente estudo vão ao encontro do observado por Dal-Pizzol et al. (2019) em experimento em pleno sol, que ao avaliarem o consumo de matéria seca de grama missioneira-gigante pastejada por ovinos com ou sem acesso a pastos de amendoim forrageiro cv. Amarillo, não obtiveram alterações de consumo quando a gramínea foi manejada entre 25 e 35 cm. No presente estudo foi observado que aos 15 cm de altura, a interceptação luminosa do dossel forrageiro fica abaixo da faixa (90 – 95% IL) recomendada por Pereira et al. (2017) e aos 45 cm de altura ocorreu alta densidade de colmos no estrato coletado (Tabela 1). Portanto, as metas extremas de altura (15 e 45 cm) devem ser evitadas, independente do ambiente luminoso. A partir da equação linear gerada pela relação entre a altura e o estrato de folhas livre de bainhas, observa-se que o EFLB de 50% é atingido na altura limite de 35,9 cm (Figura 6).

Figura 6 – Estrato de folhas livre de bainhas de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a alturas de corte



<sup>1</sup> (altura do perfilho estendido – altura de colmo + pseudocolmo) / altura de perfilho estendido.  
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Em relação a intensidade de desfolha de 20%, se considerarmos que o animal realiza remoção de aproximadamente 50% da altura do perfilho estendido a cada bocado (LACA et al.; 1992; CANGIANO et al., 2002), este manejo implicaria que provavelmente grande parte da área não será acessada pelo animal, o que levaria a uma subutilização da massa de forragem produzida e da ingestão por bocado. De acordo com Ungar et al. (2001), o animal esgota o horizonte superior de pastejo quando acessa 75% da área de pastejo. Para grama missioneira-gigante e para cana-de-açúcar, foi observado ponto crítico de redução na taxa de consumo instantâneo quando os animais acessaram em média 93% (BENVENUTTI et al., 2016) e 92% da área de pastejo (BENVENUTTI et al., 2017), respectivamente. Essa pastagem não acessada tende a reduzir o valor nutritivo com o passar do tempo (VAN SOEST, 1994), o que pode diminuir a ingestão de nutrientes pelos animais nas ocupações subsequentes (JUNG; ALLEN, 1995).

## 5.7 CONCLUSÕES

Os resultados evidenciaram que alturas de manejo para início da utilização entre 25 e 35 cm e intensidades de desfolha entre 40 e 60% da altura podem ser recomendadas para essa espécie forrageira em qualquer um dos ambientes luminosos. Independente do ambiente luminoso, alturas acima de 35 cm aumentaram a presença de frações indesejáveis (colmo + pseudocolmos) no estrato a ser desfolhado, enquanto alturas menores que 25 cm resultaram em baixa densidade de folhas nesse estrato. Intensidades de desfolha acima de 60% da altura inicial reduziram a DPP, o que pode afetar a persistência do pasto. Finalmente, tendo como premissa o dossel em estágios de IL de 90 a 95%, maior produção de folhas e menor de colmos e pseudocolmos, sugere-se metas de alturas ao redor de 30 cm para plantas crescendo em pelo sol e de 36 cm em ambiente sombreado, buscando uma desfolha que não penalize a produção e promova a persistência do pasto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, M. F., Mezzalira, J. C., Bremm, C., Da Trindade, J. K., Gibb, M. J., Suñe, R. W. M., & de, P. C. (2013). Sward structure management for a maximum short-term intake rate in annual ryegrass. *Grass and Forage Science*, 68(2), 271–277. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00898.x>

- Anderson, B., Matches, A. G., & Nelson, C. J. (1989). Carbohydrate Reserves and Tillering of Switchgrass Following Clipping. *Agronomy Journal*, 81(1), 13–16. <https://doi.org/10.2134/agronj1989.00021962008100010003x>
- André, T. B., Oliveira, L. B. T. de, & Santos, A. C. dos. (2020). Growth and Development of Mombassa Grass Grown in Full Sun and Shade Under Nitrogen Levels. *Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng*, 28, 11–23. <https://doi.org/10.13083/reveng.v28i.932>
- 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. (2016). Sward structure and relationship between canopy height and light interception for tropical C4 grasses growing under trees. *Crop and Pasture Science*, 67(11), 1199–1207. <https://doi.org/10.1071/CP16067>
- Barbosa, R. A., Do Nascimento, D., Euclides, V. P. B., Da Silva, S. C., Zimmer, A. H., & Torres, R. A. D. A. (2007). Capim-tanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(3), 329–340. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2007000300005>
- Benvenuti, M. A., Pavetti, D. R., Poppi, D. P., Gordon, I. J., & Cangiano, C. A. (2016). Defoliation patterns and their implications for the management of vegetative tropical pastures to control intake and diet quality by cattle. *Grass and Forage Science*, 71(3), 424–436. <https://doi.org/10.1111/gfs.12186>
- Benvenuti, M. A., Gordon, I. J., & Poppi, D. P. (2006). The effect of the density and physical properties of grass stems on the foraging behaviour and instantaneous intake rate by cattle grazing an artificial reproductive tropical sward. *Grass and Forage Science*, 61(3), 272–281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00531.x>
- Benvenuti, M. A., Gordon, I. J., Poppi, D. P., Crowther, R., & Spinks, W. (2008). Foraging mechanics and their outcomes for cattle grazing reproductive tropical swards. *Applied Animal Behaviour Science*, 113(1–3), 15–31. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2007.10.005>
- Benvenuti, M. A., Pavetti, D. R., Poppi, D. P., Mayer, D. G., & Gordon, I. J. (2017). Ingestive behaviour and forage intake responses of young and mature steers to the vertical differentiation of sugarcane in pen and grazing studies. *Journal of Agricultural Science*, 155(10), 1677–1688. <https://doi.org/10.1017/S0021859617000673>
- Cangiano, C. A., Galli, J. R., Pece, M. A., Dichio, L., & Rozsypalek, S. H. (2002). Effect of liveweight and pasture height on cattle bite dimensions during progressive defoliation. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53(5), 541–549. <https://doi.org/10.1071/AR99105>

- Carnevali, R. A., De Mello, A. C. T., Shozo, L., Crestani, S., Coletti, A. J., & Eckstein, C. (2019). Spatial distribution of dairy heifers' dung in silvopastoral systems. *Ciencia Rural*, *49*(10). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180796>
- Carvalho, B. H. R., Segatto, B. N., Vasconcelos, K. A., Queiroz, G. J. S., Medica, J. A. S., & Santos, M. E. R. (2018). Morphology of young tillers of marandu palisadegrass arising in high or low canopy. *Veterinária Notícias*, *24*(2), 57–71. <https://doi.org/10.14393/vtn-v24n2-2018.5>
- Carvalho, P. C. de F. (2013). Harry Stobbs memorial lecture: Can grazing behavior support innovations in grassland management? *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, *1*(2), 137–155.
- Congio, G. F. S., Batalha, C. D. A., Chiavegato, M. B., Berndt, A., Oliveira, P. P. A., Frighetto, R. T. S., Maxwell, T. M. R., Gregorini, P., & Da Silva, S. C. (2018). Strategic grazing management towards sustainable intensification at tropical pasture-based dairy systems. *Science of the Total Environment*, *636*, 872–880. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.301>
- Crestani, S., Mascheroni, J. D. C., Vera Geremia, E., Carnevali, R. A., Mourão, G. B., & Da Silva, S. C. (2017). Sward structural characteristics and herbage accumulation of Piatã palisade grass (*Brachiaria brizantha*) in a crop-livestock-forest integration area. *Crop and Pasture Science*, *68*(9), 859–871. <https://doi.org/10.1071/CP16341>
- Dal-Pizzol, J. G., Biasiolo, R., Raupp, G. T., Baldissera, J. N. C., Almeida, E. X., & Ribeiro Filho, H. M. N. (2019). Consumo de forragem por ovinos ingerindo grama missioneira gigante com ou sem acesso a amendoim forrageiro. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, *71*(2), 623–630. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10404>
- Fernandez, A. I. R., & Rodriguez, A. G. (2013). Sward Factors Influence on Pasture Dry Matter Intake of Grazing Dairy Cows: A Review. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, *3*(4), 629–652.
- Flores, E. R., Laca, E. A., Griggs, T. C., & Demment, M. W. (1993). Sward Height and Vertical Morphological Differentiation Determine Cattle Bite Dimensions. *Agronomy Journal*, *85*(3), 527–532. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030001x>
- Fonseca, L., Mezzalira, J. C., Bremm, C., Filho, R. S. A., Gonda, H. L., & Carvalho, P. C. d. F. (2012). Management targets for maximising the short-term herbage intake rate of cattle grazing in *Sorghum bicolor*. *Livestock Science*, *145*(1–3), 205–211. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.02.003>
- Gautier, H., Varlet-Grancher, C., & Hazard, L. (1999). Tillering Responses to the Light Environment and to Defoliation in Populations of Perennial Ryegrass (*Lolium perenne* L.) Selected for Contrasting Leaf Length. *Annals of Botany*, 423–429.

- Gommers, C. M. M., Visser, E. J. W., Onge, K. R. S., Voeselek, L. A. C. J., & Pierik, R. (2013). Shade tolerance: When growing tall is not an option. *Trends in Plant Science*, 18(2), 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.008>
- Griffiths, W. M., Hodgson, J., & Arnold, G. C. (2003). The influence of sward canopy structure on foraging decisions by grazing cattle. II. Regulation of bite depth. *Grass and Forage Science*, 58(2), 125–137. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2003.00361.x>
- Gruntman, M., Groß, D., Májeková, M., & Tielbörger, K. (2017). Decision-making in plants under competition. *Nature Communications*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02147-2>
- Guzatti, G. C., Duchini, P. G., Sbrissia, A. F., Mezzalana, J. C., Almeida, J. G. R., Carvalho, P. C. de F., & Ribeiro-Filho, H. M. N. (2017). Changes in the short-term intake rate of herbage by heifers grazing annual grasses throughout the growing season. *Grassland Science*, 63(4), 255–264. <https://doi.org/10.1111/grs.12170>
- Hodgson, J. 1985. The significance of sward characteristics in the management of temperate sown pastures. XV International Grassland Congress. Kyoto, Japan.
- Jung, H. G., & Allen, M. S. (1995). Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, 73(9), 2774–2790. <https://doi.org/10.2527/1995.7392774x>
- Laca, E. A., Ungar, E. D., Seligman, N., & Demment, M. W. (1992). Effects of sward height and bulk density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. *Grass and Forage Science*, 47(1), 91–102. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1992.tb02251.x>
- Lima, M. A., Paciullo, D. S. C., Morenz, M. J. F., Gomide, C. A. M., Rodrigues, R. A. R., & Chizzotti, F. H. M. (2018). Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system. *Grass and Forage Science*, 74(1), 160–170. <https://doi.org/10.1111/gfs.12395>
- Lopes, C. M., Paciullo, D. S. C., Araújo, S. A. do C., Morenz, M. J. F., Gomide, C. A. de M., Maurício, R. M., & Braz, T. G. dos S. (2017). Plant morphology and herbage accumulation of signal grass with or without fertilization, under different light regimes. *Ciência Rural*, 47(2), 1–7. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160472>
- Marin, A., Baldissera, T., Pinto, C., Garagorry, F., Zubieta, A., Giraldo, L., Chirinda, N., Arango, J., & Carvalho, P. (2017). *Grazing management innovation as a strategy to improve animal production and reduce GHG emissions*. <https://www.minagricultura.gov.co/>
- Martins, C. D. M., Schmitt, D., Duchini, P. G., Miqueloto, T., & Sbrissia, A. F. (2019). Defoliation intensity and leaf area index recovery in defoliated swards:

implications for forage accumulation. *Scientia Agricola*, 78(2).  
<https://doi.org/10.1590/1678-992x-2019-0095>

- Matthew, C., Loo, E. Van, & Thom, E. R. (2001). Understanding shoot and root development. ... *XIX International Grassland ...*, January.  
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:UNDERSTANDING+SHOOT+AND+ROOT+DEVELOPMENT#0>
- Mezzalira, J. C., Carvalho, P. C. F., Amaral, M. F., Bremm, C., Trindade, J. K., Gonçalves, E. N., Genro, T. C. M., & Silva, R. W. S. M. (2013). Rotational grazing management in a tropical pasture to maximize the dairy cow's herbage intake rate. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 65(3), 833–840. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000300032>
- Oliveira, G. L., de Oliveira, M. E., de Oliveira Macêdo, E., Andrade, A. C., & Edvan, R. L. (2019). Effect of shading and canopy height on pasture of *Andropogon gayanus* in silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, 5.  
<https://doi.org/10.1007/s10457-019-00458-5>
- Pereira, J. C., Gomes, F. K., Oliveira, M. D. B. L., Lara, M. A. S., Bernardes, T. F., & Casagrande, D. R. (2017). Defoliation management affects morphogenetic and structural characteristics of mixed pastures of brachiaria grass and forage peanut. *African Journal of Range and Forage Science*, 34(1), 13–19.  
<https://doi.org/10.2989/10220119.2017.1315960>
- Pierson, E. A., Mack, R. N., Black, R. A., Pierson, A., & Mack, N. (2009). *International Association for Ecology The Effect of Shading on Photosynthesis, Growth, and Regrowth following Defoliation for Bromus tectorum* Published by: Springer in cooperation with International Association for Ecology Stable URL:  
[http://www.jstor.84\(4\),534-543](http://www.jstor.84(4),534-543).
- R Development Core Team. 2019. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rocha, C. H., Santos, G. T., Padilha, D. A., Schmitt, D., Medeiros-Neto, C., & Sbrissia, A. F. (2016). Padrões de deslocamento de bovinos em pastos de capim-quicuiu sob lotação intermitente. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 68(6), 1647–1654. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8711>
- Rodrigues, M. O. D., Santos, A. C. dos, Rodrigues, M. O. D., Silveira Junior, O., Oliveira, L. B. T. de, & Leite, R. L. de L. (2019). Cutting Height of Mombasa Grass Under Silvopastoral and Monoculture Systems. *Journal of Agricultural Science*, 11(5), 433. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n5p433>
- Santos, D. de C., Guimarães Júnior, R., Vilela, L., Pulrolnik, K., Bufon, V. B., & França, A. F. de S. (2016). Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233, 16–24.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.026>

- Sbrissia, A. F., Duchini, P. G., Zanini, G. D., Santos, G. T., Padilha, D. A., & Schmitt, D. (2018). Defoliation strategies in pastures submitted to intermittent stocking method: Underlying mechanisms buffering forage accumulation over a range of grazing heights. *Crop Science*, *58*(2), 945–954.  
<https://doi.org/10.2135/cropsci2017.07.0447>
- Schmitt, D., Padilha, D. A., Medeiros-Neto, C., Filho, H. M. N. R., Sollenberger, L. E., & Sbrissia, A. F. (2019). Herbage intake by cattle in kikuyugrass pastures under intermittent stocking method. *Revista Ciencia Agronomica*, *50*(3), 493–501.  
<https://doi.org/10.5935/1806-6690.20190058>
- Smith, H., & Whitelam, G. C. (1997). The shade avoidance syndrome: Multiple responses mediated by multiple phytochromes. *Plant, Cell and Environment*, *20*(6), 840–844. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-104.x>
- Ungar, E. D., & David, N. (1999). Bite horizons and dimensions for saddle grazing herbage to high levels of depletion. *Grass and Forage Science*, *54*, 357–364.
- Van Soest, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. 2.ed. New York: Cornell University Press, 1994. 476p.
- Varella, A. C., Moot, D. J., Pollock, K. M., Peri, P. L., & Lucas, R. J. (2010). Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system? *Agroforestry Systems*, *81*(2), 157–173.  
<https://doi.org/10.1007/s10457-010-9319-6>
- Zanine, A. M., Nascimento Júnior, D., Da Silva, W. L., De Lana Sousa, B. M., Ferreira, D. D. J., Da Silveira, M. C. T., Parente, H. N., & Santos, M. E. R. (2016). MORPHOGENETIC and STRUCTURAL CHARACTERISTICS of GUINEA GRASS PASTURES under ROTATIONAL STOCKING STRATEGIES. *Experimental Agriculture*, *54*(2), 243–256.  
<https://doi.org/10.1017/S0014479716000223>

## 6 ARTIGO 2 - RESPOSTAS MORFOLÓGICAS E ESTRUTURAIS DA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE EM AMBIENTES COM LUMINOSIDADE DISTINTA E METAS DE MANEJO CONTRASTANTES

### 6.1 RESUMO

Alterações ambientais em sistemas integrados com presença de sombra são caracterizados por redução da intensidade luminosa e modificações na qualidade da radiação incidente no sub-bosque. As plantas forrageiras sombreadas têm a capacidade de identificar os sinais luminosos e gerar respostas morfofisiológicas adaptativas. A hipótese do trabalho é de que as plantas de grama missioneira-gigante quando crescendo em ambiente sombreado apresentam mecanismos distintos de ajustes do dossel para as mesmas metas de manejo quando comparadas à plantas crescendo em pleno sol. Desta forma, o objetivo foi verificar como ocorre o ajuste do dossel vegetal da grama missioneira-gigante em pleno sol e com restrição de luminosidade, aplicando-se diferentes alturas de corte inicial e intensidades de desfolha. Os tratamentos consistiram na combinação de dois ambientes luminosos (sol e sombra), quatro alturas de corte inicial (15, 25, 35 e 45 cm) e quatro intensidades de desfolha (20, 40, 60 e 80%), avaliados num esquema fatorial, em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. As plantas foram estabelecidas em caixas de madeira de 0,15 m<sup>3</sup> com substrato de areia e vermiculita, irrigadas com solução nutritiva completa. A sombra foi reproduzida por ripados de madeira, com 50% de redução da luminosidade. Foram avaliados a densidade de plantas e as características estruturais de perfilhos e sua relação com os processos de captação e competição por luz. Em todas as alturas avaliadas a densidade populacional de perfilhos da grama missioneira-gigante em pleno sol foi maior em comparação à sombra. A sombra promoveu aumento de área de folhas por perfilho e da área foliar específica. As plantas na sombra apresentaram menor índice de área foliar e ângulo foliar quando comparadas a plantas em pleno sol. O ambiente luminoso não influenciou o peso médio dos perfilhos. O aumento das alturas de corte resultou no aumento da área de folhas por perfilho, aumento do índice de área foliar, aumento do peso específico de colmo e aumento peso médio por perfilho, mas não teve influência sobre o ângulo foliar. A intensidade de desfolha teve influência no índice de área foliar, em que a intensidade de 20% apresentou maior IAF em relação as demais intensidades aplicadas. Para as variáveis peso médios dos perfilhos, área foliar específica, peso específico de colmo, ângulo foliar e área de folhas por perfilho, não foi observado efeito das intensidades de desfolha aplicadas. A grama missioneira-gigante respondeu à restrição de luminosidade buscando a compensação da redução de luz, porém, a redução acentuada na luminosidade reduziu proporcionalmente a densidade populacional de perfilhos, com impacto negativo no índice de área foliar, em comparação ao pleno sol, contudo as plantas com restrição de luminosidade e em pleno sol responderam de forma semelhante às metas de manejo do pastejo aplicadas.

Palavras-chave: *Axonopus catharinensis*, sistemas integrados de produção agropecuária, sombreamento.

## 6.2 ABSTRACT

Environmental changes in integrated systems with the presence of shade are characterized by reduced light intensity and changes in light quality in the understory. Shaded forage plants have the ability to identify light signals and generate adaptive morphophysiological responses. Based on this, the hypothesis of the work is that plants of giant missionary grass when growing in shaded environments present different mechanisms of canopy adjustments for the same management targets when compared to plants growing in full sun. Thus, the objective was to verify how the adjustment of the plant canopy of the giant missionary grass occurs in full sun and with light restriction, applying different cutting heights and defoliation intensities. The treatments consisted combination of two luminous environments (sun and shade), four cutting heights (15, 25, 35 and 45 cm) and four defoliation intensities (20, 40, 60 and 80%), evaluated in a factorial scheme, in a completely randomized design, with three repetitions. The plants were established in wooden boxes (0.15 m<sup>3</sup>) with substrate of sand and vermiculite, irrigated with complete nutrient solution. The shade was reproduced by wooden slats, with a 50% reduction in light intensity. Tiller population density, average tiller weight, specific leaf area, specific stem weight, leaf angle, leaf area per tiller and leaf area index were evaluated. The tiller population density showed an effect of the interaction between the light environment and cutting height. At all heights evaluated, the tiller population density of the giant missionary grass pasture in full sun was higher compared to the shade. The shade promoted an increase in the leaf area per tiller and in the specific leaf area. Plants in the shade showed a lower leaf area index and leaf angle when compared to plants in full sun. The light environment did not influence the average weight of the tillers. The increase in cutting heights resulted in an increase in the leaf area per tiller, an increase in the leaf area index, an increase in the stem specific weight and an increase in average weight per tiller, but it had no influence on the leaf angle. The defoliation intensity had an influence on the leaf area index, in which the intensity of 20% presented higher LAI in relation to the other applied intensities. For the variables average tiller weight, specific leaf area, stem specific weight, leaf angle and leaf area per tiller, no effect of the applied defoliation intensities was observed. The giant missionary grass responded to the light restriction seeking compensation to the reduction of light, however, the sharp reduction in light reduced proportionally the population density of tillers, with a negative impact on the leaf area index, compared to full sun. Plants in full sun and with restricted light responded similarly to the grazing target management applied.

Keywords: *Axonopus catharinensis*, integrated agricultural production systems, shading.

## 6.3 INTRODUÇÃO

As alterações ambientais em sistemas pastoris podem ser resultado de ações planejadas, como é o caso dos sistemas integrados de produção agropecuária com presença de componente arbóreo. Essas ações geram modificações em fatores essenciais para a produção primária, como a luminosidade. A luminosidade no

sistema pode variar quanto ao ângulo de inclinação solar, espécie arbórea, orientação das linhas de plantio, altura das árvores, estações do ano e os locais no sub-bosque (GOMES et al., 2020). A quantidade de luz incidente pode ser parcialmente controlada pela definição dos arranjos (OLIVEIRA et al., 2007) e manejos periódicos do componente arbóreo (ANDRADE et al., 2002).

Além da redução na intensidade luminosa, as plantas forrageiras em sistemas integrados com presença do componente arbóreo vivem sob alterações na qualidade da luz, devido à sua absorção e reflexão pelos componentes arbóreos (CASAL, 2012). Varella et al. (2010) ao compararem efeito da sombra natural com metodologias de sombreamento artificial, observou que a quantidade de luz vermelha e vermelha distante foi severamente reduzida à sombra das árvores e à sombra de ripas de madeira. Rodrigues et al. (2014) observaram que o local de amostragem em um sistema silvipastoril sombreado por eucaliptos, influenciou a irradiância absoluta, a radiação fotossinteticamente ativa incidente, interceptação luminosa e relação vermelho: vermelho distante, com maiores valores no centro das entrelinhas. De acordo com Martínez-García et al. (2010), as plantas do sub-bosque têm a capacidade de detectar alterações complexas na luminosidade incidente, como quantidade (intensidade ou quantidade de fótons), qualidade (cor ou comprimento de onda dos fótons), periodicidade (duração relativa do período de luz em um dia) e direção. Fraser et al. (2016) sugeriram que vários fotorreceptores de plantas convergem em uma rede de sinalização compartilhada para regular as respostas à sombra. De acordo com Ballaré e Pierik (2017), além de sinais luminosos como a intensidade luminosa, luz azul, radiação UVB, as plantas podem identificar os sinais não luminosos como, contato físico entre folhas competidoras e compostos orgânicos voláteis.

A produção e a persistência de espécies forrageiras sob baixa irradiância vai depender de suas respostas (DEVKOTA, 2006), podendo tolerar ou evitar o sombreamento da vegetação concorrente (FRANKLIN, 2008). A síndrome de escape à sombra (*Shade-Avoidance Syndrome - SAS*) é caracterizada como uma estratégia comum em vegetação onde as plantas têm alturas semelhantes, em que ocorre o estiolamento, dominância apical e perfilhamento reduzido (BALLARÉ et al., 1997; PIERIK; WIT, 2013). A tolerância à sombra se refere à capacidade de uma determinada planta de tolerar baixos níveis de luz (VALLADARES; NIINEMETS, 2008). As plantas tolerantes à sombra geralmente otimizam o ganho de carbono

mediante aumento da área foliar específica, aumento da relação fotossistema II: fotossistema I, redução da relação da clorofila a: b e minimizam os danos (GOMMERS et al., 2013). Segundo Novoplansky (2009), as mudanças temporais nos níveis de luz e relação vermelho: vermelho distante induzem a planta a responder através do escape à sombra, e o sombreamento constante pode desencadear respostas características de tolerância. De acordo com Gruntman et al. (2017), as plantas em competição por luz respondem plasticamente de três formas: crescimento vertical, o que promove o domínio competitivo; tolerância, que maximiza o desempenho à sombra; ou crescimento lateral, que evita a concorrência. Esta última resposta, pode ser observada em plantas que crescem horizontalmente, ou seja, mediante competição, afastam-se dos concorrentes aumentando o comprimento de entrenós dos estolões e rizomas, posicionando novos perfilhos em áreas com menor competição.

Pesquisas com plantas forrageiras em sistemas sombreados, mostram que as respostas ocorrem em nível de perfilho, em nível de planta e conseqüentemente do dossel forrageiro. Gramíneas forrageiras em ambiente sombreado geralmente reduzem a densidade populacional de perfilhos (LOPES et al., 2017), mantêm (ALLARD et al., 1991) ou reduzem o peso médio dos perfilhos (LUBLOW et al., 1974), mantêm (GOMES et al., 2019) ou aumentam a área foliar específica (PERI et al., 2007b; GOBBI et al., 2011), reduzem o peso específico de colmo (BRAINARD et al., 2005), mantêm (GOMES et al., 2019) ou reduzem o ângulo foliar (CRESTANI et al., 2017), aumentam a área de folhas por perfilho (GOBBI et al., 2009) e reduzem o índice de área foliar (BOSI et al., 2014). Porém, variações nas respostas são observadas em relação ao nível de restrição de luminosidade e às espécies avaliadas.

De acordo com Wong (1991) plantas com tolerância à sombra devem persistir no sistema ao longo do tempo e apresentar bom desempenho relativo com luminosidade restrita em comparação com o desempenho em pleno sol, influenciada pela desfolha regular.

Em pleno sol já foram descritas várias respostas das plantas as metas de manejo impostas. Quando as plantas são manejadas em diferentes alturas pode ocorrer por exemplo, a redução do perfilhamento (RODRIGUES et al., 2019), redução da área foliar específica e aumento do peso específico de colmo (OLIVEIRA et al., 2000), aumento do peso médio dos perfilhos (CARVALHO et al., 2018) e

aumento do índice de área foliar (SBRISSIA et al., 2018), com o aumento da altura de manejo. Já para a intensidade de desfolha em pleno sol, quando esta ocorre de forma moderada o perfilhamento pode ser estimulado pela penetração de maior luminosidade na base das plantas, mas pode ser reduzido em intensidades altas, limitando a disponibilidade do substrato após a remoção excessiva da área foliar (GRANT et al., 1983). A área foliar específica pode aumentar e o peso específico de colmo pode diminuir nos estágios iniciais da rebrota (MATTHEW; PEREIRA, 2017). O ângulo foliar pode reduzir com aplicação de maiores intensidades de desfolha (MELLO; PEDREIRA, 2004). O índice de área foliar pode se manter inalterado em uma amplitude de intensidades de desfolha, devido a respostas compensatórias das plantas (SBRISSIA et al., 2010).

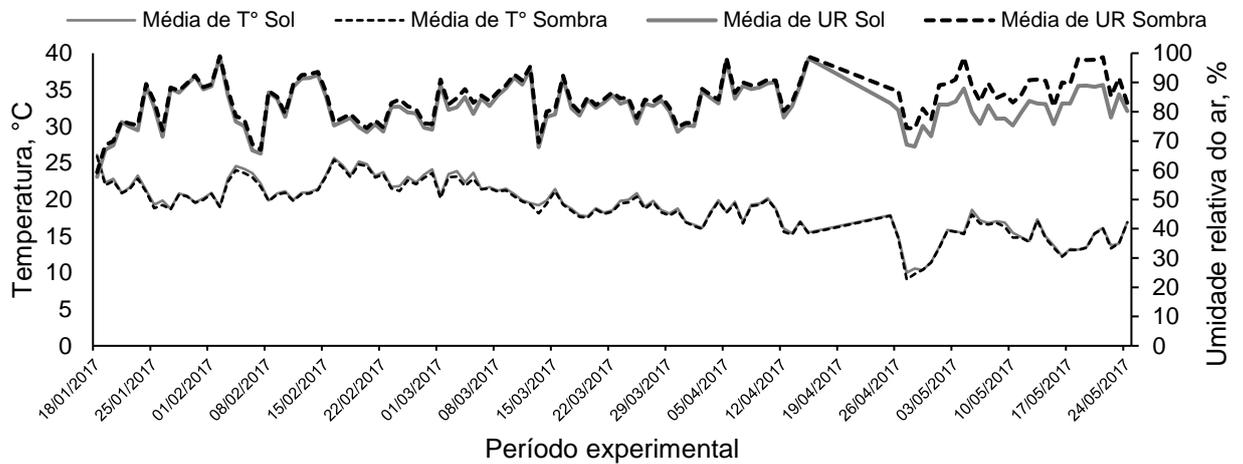
Desta forma, além de entender como as plantas do sub-bosque se ajustam ao sombreamento, é necessário saber se existem interações entre as respostas à luminosidade e metas de manejo. A hipótese do trabalho é de que as plantas de grama missioneira-gigante quando crescendo em ambiente sombreado apresentam mecanismos distintos de ajustes do dossel para as mesmas metas de manejo quando comparadas a plantas crescendo em pleno sol. Portanto, o objetivo foi verificar como ocorre o ajuste do dossel vegetal da grama missioneira-gigante em pleno sol e com restrição de luminosidade, aplicando-se diferentes alturas de corte inicial e intensidades de desfolha.

## 6.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.4.1 Local e clima

O experimento foi desenvolvido em ambiente parcialmente controlado na Estação experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI, localizada no município de Lages – SC, sob coordenadas aproximadas 27° 47' 55" S e 50° 19' 25" W a 922 m de altitude, em clima temperado úmido Cfb, conforme classificação de Köppen. As avaliações ocorreram entre os meses de dezembro de 2016 e junho de 2017. Neste período foram registradas informações de temperatura e a umidade relativa do ar em cada ambiente luminoso testado por meio de *data loggers* (Onset Computer Corp., U12-012 RH/TEP, EUA) (Figura 1).

Figura 1 – Médias diárias de temperatura do ar (T) e umidade relativa do ar (UR) durante o período experimental para pleno sol (linha contínua) e para sombreamento artificial (linha segmentada)



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

#### 6.4.2 Tratamentos, implantação e manejo

Os tratamentos consistiram na combinação de dois ambientes luminosos (sol e sombreamento artificial), quatro alturas de corte inicial (15, 25, 35 e 45 cm) e quatro intensidades de desfolha (20, 40, 60 e 80%) da grama missioneira-gigante com três repetições, totalizando 96 unidades experimentais.

As mudas de missioneira-gigante foram coletadas em pleno estágio vegetativo e estabelecidas no ano anterior ao do experimento (2016) em caixas de madeira com substrato de areia e vermiculita na proporção de 1:1 (v/v), na densidade de 100 mudas  $m^{-2}$ . Em todos os tratamentos foi aplicada solução nutritiva completa (1,9 mol  $m^{-3}$   $KNO_3$ , 0,55 mol  $m^{-3}$   $Ca(NO_3)_2$ , 2,5 mol  $m^{-3}$   $NH_4NO_3$ , 0,5 mol  $m^{-3}$   $CaCl_2$ , 0,1 mol  $m^{-3}$   $NaCl$ , 0,5 mol  $m^{-3}$   $MgSO_4$ , 0,4 mol  $m^{-3}$   $KH_2PO_4$ , 0,3  $K_2HPO_4$ , 25  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $H_3BO_3$ , 2  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $MnSO_4$ , 2  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $ZnSO_4$ , 0,5  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $CuSO_4$ , 0,5  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $H_2MoO_4$  e 20  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $Fe$ -HEDTA) via sistema de irrigação. Cada unidade experimental apresentava área de 0,30  $m^2$  (1,0 x 0,3 m), com profundidade de 0,5 m.

O ambiente sombreado ofereceu redução de 50% de luminosidade. Este nível foi obtido por meio de sombreamento artificial, com estrutura construída em madeira com tábuas de 15 cm de largura, espaçadas em 15 cm, fixadas 30 cm acima do

dossel forrageiro e posicionadas no sentido norte-sul. A estrutura era elevada à medida que as plantas cresciam para manter a proporcionalidade da distância do ripado ao topo do dossel. Este sistema forneceu um regime de luz bimodal ou intermitente para melhor mimetizar o sombreamento de um sistema silvipastoril verdadeiro (VARELLA et al., 2010).

### 6.4.3 Medidas

Anteriormente ao início das avaliações, todas as unidades experimentais foram uniformizadas com um corte a 10 cm de altura em relação ao solo no dia 21/12/2016. A altura média do dossel foi determinada a cada três dias com bastão graduado (*sward stick*), com a medição em 10 pontos por unidade experimental. Os cortes eram realizados quando a altura média do pasto atingia a altura meta de manejo estabelecida e o corte realizado a partir da intensidade de desfolha preconizada em cada tratamento. O primeiro e o último corte foram realizados nos dias 23/01/2017 e 23/05/2017, respectivamente.

Anteriormente à cada corte, a densidade populacional de perfilhos (DPP) foi avaliada em uma área de 0,04 m<sup>2</sup>. O índice de área foliar (IAF) e ângulo foliar (AF) foram determinados por medidor de dossel (LAI 2200, LI-COR, Alemanha). Para determinação da área foliar específica (AFE), cinco perfilhos de cada parcela foram coletados rente ao solo e avaliados segundo protocolo de Cornelissen et al. (2003). As folhas expandidas e em expansão foram seccionadas do colmo e escaneadas, e as imagens foram tratadas com o software Image J®. A partir das imagens foi possível determinar a área média de folhas por perfilho (AFP), o número de folhas por perfilho (NFP) e área média das folhas (AMF). Com o peso seco médio, obtido através da secagem das folhas em estufa de circulação forçada a 60°C por 72 horas, foi possível calcular a área foliar específica. O peso específico de colmo + pseudocolmo (PEC) foi determinado a partir do peso seco e o respectivo comprimento. O peso médio dos perfilhos (PMP) foi obtido pela soma do peso seco das folhas e colmos + pseudocolmos dos perfilhos coletados.

A interceptação luminosa (IL) foi determinada com ceptômetro (ACCUPAR LP 80, Decagon Devices, EUA). Os dados foram obtidos por meio de aferição da luz incidente acima e abaixo do dossel, por três vezes em cada unidade experimental, previamente à cada corte. Sempre realizada entre 11:00 e 14:00 horas, com

intensidade luminosa mínima de 600  $\mu\text{m}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e sem a interferência de nuvens.

#### 6.4.4 Análise estatística

Para análise dos dados utilizou-se a análise de variância. As pressuposições de homogeneidade de variância (teste de Bartlett) e normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) foram verificadas e utilizada a transformação ótima de Box-Cox nos casos em que alguma das pressuposições não ter sido atendida. Pela estrutura física do experimento, a casualização das combinações entre altura e intensidade foi realizada nos respectivos ambientes luminosos, portanto, para cada variável foi testada dependência espacial dos dados considerando o modelo esférico com dependência espacial e o modelo nulo, sem a dependência espacial. A tomada de decisão baseou-se no critério de informação de Akaike. Quando observado efeito de dependência espacial os dados foram corrigidos, sendo considerada para análise o modelo condicional.

Foram considerados como fatores na análise: presença de sombra, com dois níveis; altura de corte, com quatro níveis e intensidade de desfolha, com quatro níveis, bem como as interações entre os fatores. Quando do efeito significativo foi realizado o desdobramento dos fatores de teste de médias (Tukey). Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R versão 3.6.2 (R Core Team, 2019) considerando 5% de significância.

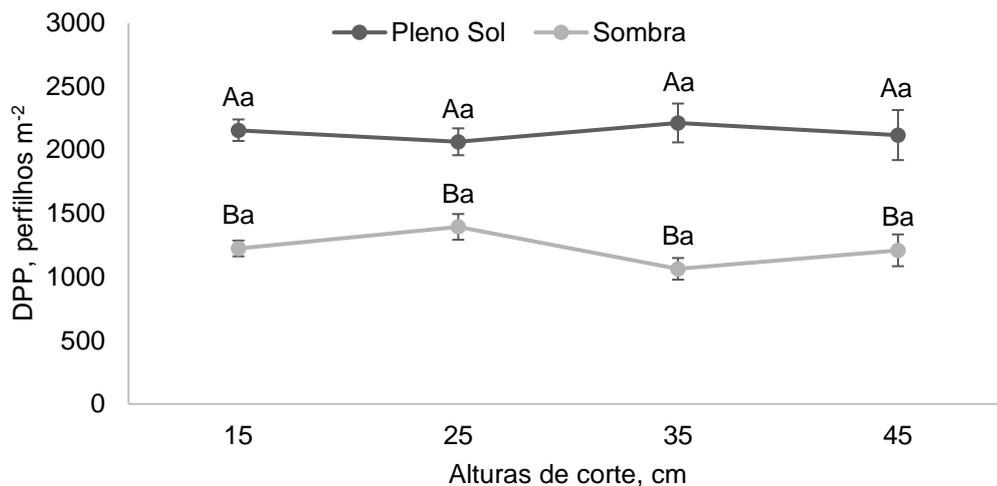
### 6.5 RESULTADOS

#### 6.5.1 Densidade populacional de perfilhos

A variável densidade populacional de perfilhos (DPP) apresentou efeito de interação, sendo significativo para o ambiente luminoso  $\times$  altura de corte ( $P = 0,029$  – Figura 2). Embora a DPP da grama missioneira-gigante em pleno sol tenha sido maior em comparação à sombra, em todas as alturas, a maior amplitude de diferença ocorreu com 35 cm. A DPP não variou em função da altura de corte inicial em cada ambiente luminoso (Figura 2). A maior intensidade de desfolha resultou na redução da DPP em comparação a intensidades leves e moderadas (Tabela 3), porém, sem

diferença entre intensidades de desfolha de 40 e 80%. O número de perfilhos com 80% de intensidade de desfolha foi 13% menor que a média para as demais intensidades.

Figura 2 – Densidade populacional de perfilhos (DPP) da grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a dois ambientes luminosos e alturas de corte



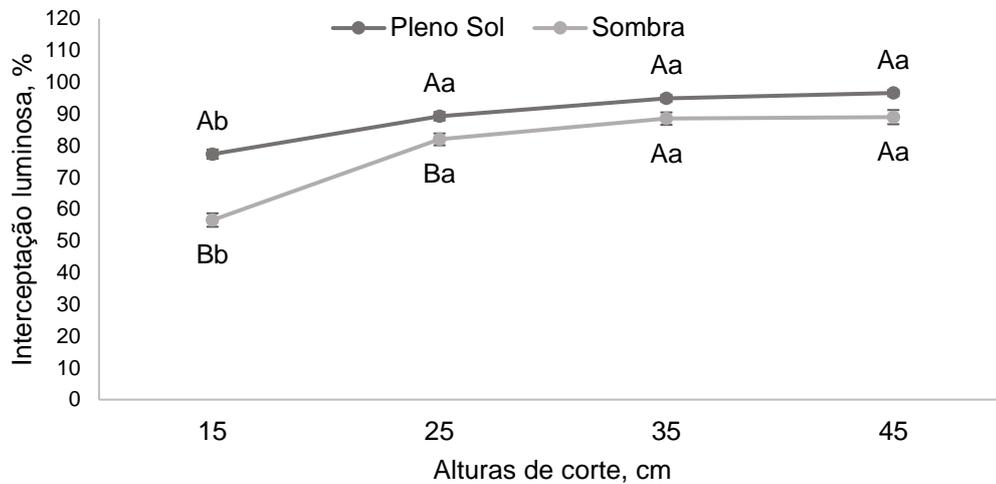
Médias com mesma letra maiúscula para o fator ambiente luminoso e minúscula para o fator intensidade de desfolha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

### 6.5.2 Intercepção luminosa

A variável intercepção luminosa (IL) apresentou efeito de interação, sendo significativo para o ambiente luminoso  $\times$  altura de corte ( $P < 0,001$  – Figura 3). A IL aumentou com o aumento das alturas de corte em ambos os ambientes luminosos, sendo que aos 15 e 25 cm de altura a IL a foi menor em ambiente sombreado, apresentando-se estável a partir dos 35 cm de altura de corte inicial. Em ambos os ambientes luminosos houve menor IL aos 15 cm de altura de corte inicial (Figura 3). Não foi observada influência da intensidade de desfolha sobre a IL (Tabela 3). O ambiente luminoso teve efeito sobre a IL ( $P < 0,001$ ), em que para pleno sol e com restrição de luminosidade a IL média foi de 86,4 e 73,4%, respectivamente.

Figura 3 – Intercepção luminosa de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a dois ambientes luminosos e alturas de corte



Médias com mesma letra maiúscula para o fator ambiente luminoso e minúscula para o fator altura, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

### 6.5.3 Respostas da planta à redução da luminosidade sob metas de manejo

As demais variáveis não tiveram qualquer interação significativa, e os resultados são apresentados considerando as médias por ambiente luminoso (Tabela 1), altura de corte inicial (Tabela 2) e intensidade de desfolha (Tabela 3). As plantas no ambiente sombreado aumentaram a área de folhas por perfilho, a área média das folhas, número de folhas por perfilho e a área foliar específica, mas reduziram o índice de área foliar e ângulo foliar quando comparadas às plantas em pleno sol. O ambiente luminoso não influenciou o peso médio dos perfilhos de grama missioneira-gigante.

Tabela 1 – Peso médio dos perfilhos (PMP), área foliar específica (AFE), peso específico de colmo (PEC), ângulo foliar (AF), área de folhas por perfilho (AFP), área média das folhas (AMF), número de folhas por perfilho (NFP) e índice de área foliar (IAF) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado

Variáveis avaliadas	Ambiente Luminoso				
	Sol	Sombra	Média	EPM <sup>1</sup>	P-valor
PMP, g perfilho <sup>-1</sup>	0,54	0,56	0,55	0,03	0,981
AFE, cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	291 b	337 a	314	5,81	<0,001
PEC, g MS cm <sup>-1</sup>	0,016 a	0,013 b	0,014	0,001	0,012
AF, graus	45,2	42,3	43,9	0,472	0,058
AFP, cm <sup>2</sup>	83,4 b	104,5 a	93,8	4,55	<0,001
AMF, cm <sup>2</sup>	13,3 b	14,5 a	13,9	0,41	0,051
NFP	6,2 b	7,1 a	6,6	0,23	0,026
IAF	5,21 a	3,72 b	4,54	0,095	<0,001

Médias com mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

<sup>1</sup> Erro padrão da média.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

O aumento das alturas de corte inicial resultou no aumento da área de folhas por perfilho, do número de folhas por perfilho, do índice de área foliar, do peso específico de colmo e do peso médio por perfilho, mas não teve influência sobre o ângulo foliar. A área média das folhas foi menor aos 15 cm de altura de corte inicial e não diferiram para as demais alturas.

Tabela 2 – Peso médio dos perfilhos (PMP), área foliar específica (AFE), peso específico de colmo (PEC), ângulo foliar (AF), área de folhas por perfilho (AFP), área média das folhas (AMF), número de folhas por perfilho (NFP) e índice de área foliar (IAF) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a alturas de corte

Variáveis avaliadas	Alturas de corte, cm						P-valor
	15	25	35	45	Média	EPM <sup>1</sup>	
PMP, g perfilho <sup>-1</sup>	0,24 d	0,43 c	0,62 b	0,92 a	0,55	0,03	<0,001
AFE, cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	333 a	323 a	315 ab	287 b	314	5,81	0,007
PEC, g MS cm <sup>-1</sup>	0,008 c	0,013 b	0,015 ab	0,018 a	0,014	0,001	<0,001
AF, graus	45,2	42,9	43,1	42,9	43,9	0,472	0,346
AFP, cm <sup>2</sup>	47,6 c	81,4 b	108,8 a	133,2 a	93,8	4,55	<0,001
AMF, cm <sup>2</sup>	9,3 b	14,3 a	16,4 a	15,4 a	13,9	0,41	<0,001
NFP	5,1 bc	5,7 b	6,7 b	8,8 a	6,6	0,23	<0,001
IAF	3,38 d	5,05 c	5,65 b	6,01 a	4,54	0,095	<0,001

Médias com mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

<sup>1</sup> Erro padrão da média.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A intensidade de desfolha teve influência no índice de área foliar, em que a intensidade de desfolha de 20% apresentou maior índice de área foliar em relação às outras intensidades aplicadas. A intensidade de desfolha de 80% reduziu a DPP em comparação às demais intensidades de desfolha avaliadas. Para as demais variáveis não foi observado efeito das intensidades de desfolha.

Tabela 3 – Densidade populacional de perfilhos (DPP), interceptação luminosa (IL), peso médio dos perfilhos (PMP), área foliar específica (AFE), peso específico de colmo (PEC), ângulo foliar (AF), área de folhas por perfilho (AFP), área média das folhas (AMF), número de folhas por perfilho (NFP) e índice de área foliar (IAF) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a alturas de corte e intensidades de desfolha

Variáveis avaliadas	Intensidades de desfolha, %						
	20	40	60	80	Média	EPM <sup>1</sup>	P-valor
DPP, perfilhos m <sup>-2</sup>	1805 a	1697 ab	1834 a	1544 b	1746	46,2	0,007
IL, %	81,6	79,5	80,2	80,6	80,6	1,0	0,230
PMP, g perfilho <sup>-1</sup>	0,66	0,51	0,52	0,51	0,55	0,03	0,050
AFE, cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	301	305	329	323	314	5,81	0,114
PEC, g MS cm <sup>-1</sup>	0,017	0,014	0,014	0,014	0,014	0,001	0,089
AF, graus	43,6	44,4	43,7	44,2	43,9	0,472	0,680
AFP, cm <sup>2</sup>	101,9	87,0	93,7	92,2	93,8	4,55	0,233
AMF, cm <sup>2</sup>	14,2	13,5	14,2	13,7	13,9	0,41	0,819
NFP	7,0	6,3	6,5	6,7	6,6	0,23	0,514
IAF	4,82 a	4,28 b	4,34 b	4,56 b	4,54	0,095	<0,001

Médias com mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

<sup>1</sup> Erro padrão da média.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

## 6.6 DISCUSSÃO

### 6.6.1 Alterações anatômicas e estruturais em reposta a sombra

#### 6.6.1.1 Área foliar específica

O aumento da área foliar específica (AFE) observado na grama missioneira-gigante neste trabalho, pode contribuir para a tolerância à sombra, pois indica uma área maior para interceptar a radiação solar por unidade de carbono investida na construção do tecido da folha, coincidindo com uma folha mais fina (PERI et al., 2007b; BALLARÉ; PIERIK, 2017; GRUNTMAN et al., 2017). De acordo com Poorter et al. (2012), a AFE é sensível a mudança na intensidade da radiação fotossinteticamente ativa, mas pouco responsiva à mudança na relação vermelho: vermelho distante. O aumento da AFE foi observada por outros autores com plantas forrageiras à sombra (GOBBI et al., 2011). Bosi et al. (2014) observaram que houve

influência de sombreamentos superiores a 66% na AFE de capim-braquiária (*Urochloa decumbens*), porém, não observaram alteração neste parâmetro quando do início do período de restrição hídrica. Esses autores consideraram que ocorre baixa influência do sombreamento sobre a AFE quando existe limitação por outros fatores ambientais. Este aumento da AFE também está relacionado com as alterações anatômicas como, cutículas e epiderme mais delgadas, menor espessura de mesofilo e menor proporção de parênquima paliçádico, de tecidos condutores e de sustentação, maior proporção de espaços intercelulares e menor densidade estomática (BERLYN; CHO, 2000).

No presente trabalho, a AFE foi menor com o aumento da altura de corte inicial, provavelmente devido a folhas mais velhas serem mais espessas e conseqüentemente terem menor área de folha por peso seco. Segundo Oliveira et al. (2000), à medida que avança a maturidade da planta, aumenta a proporção dos tecidos condutores e mecânicos nas folhas, provocando redução na área foliar específica, ou seja, ocorre uma relação inversa entre a AFE e a longevidade de folhas. Pereira et al. (2012) observaram que alturas de corte de tifton 85 (*Cynodon* sp.) não tiveram efeito sobre área foliar específica.

Embora a AFE não tenha sido influenciada pelas intensidades de desfolha, as plantas geralmente compensam a desfolha com produção de folhas com maior AFE e mais perfilhos menores (OESTERHELD; MCNAUGHTON, 1988). Nos estágios iniciais da rebrota em que a recuperação do IAF é prioridade, ao identificar os sinais luminosos, ocorrem incrementos de AFE (MATTHEW; PEREIRA, 2017). Giacomini et al. (2009) observaram alteração na AFE em diferentes estratégias de manejo e estações do ano. Alta AFE pode ser considerada uma vantagem competitiva para as plantas (LAMBERS; POORTER, 1992), no contexto deste trabalho tanto para tolerância ao sombreamento quanto na recuperação após desfolha.

#### 6.6.1.2 *Peso específico de colmo*

Brainard et al. (2005) observaram aumento da AFE e redução do peso específico de colmo (PEC) com redução da irradiância e relação vermelho: vermelho distante. Poorter et al. (2012) consideraram que em competição, as plantas necessitam posicionar as folhas no topo do dossel e isso ocorre com o alongamento de caule com menor peso específico. Para esses autores, o menor PEC está

relacionado à baixa relação vermelho: vermelho distante e pode ser considerada uma resposta adicional à síndrome de escape à sombra. O aumento da AFE e redução do PEC pode tornar as estruturas mais sensíveis ao estresse mecânico e à herbivoria (SALGADO-LUARTE; GIANOLI, 2012; GOMMERS et al., 2013). Kleyer et al. (2018) reportaram que qualquer aumento na biomassa da planta está associado a um aumento do PEC, devido ao aumento dos recursos estruturais necessários para garantir a estabilidade de um colmo maior. Para esses autores, o incremento de tecido denso e lignificado permite que as plantas aumentem a altura sem que ocorra o tombamento. Portanto, o aumento do PEC observado com o aumento das alturas de corte no presente trabalho, pode ser justificado pela necessidade de suportar a estrutura do perfilho com aumento de acúmulo de fibra, ou seja, com maior lignificação. Este processo resulta em maior acúmulo de matéria seca por centímetro de colmo, e por consequência pode torná-lo mais resistente.

Quanto a influência da intensidade de desfolha, o PEC responde de forma semelhante a AFE. Logo após uma desfolha mais intensa pode ocorrer a formação de perfilhos com menor peso específico de colmo, justamente para proporcionar a rápida recuperação do IAF. Porém, se considerarmos intensidades leve e moderada, os colmos em grande parte não eram removidos pelo corte, logo, acumulavam componentes fibrosos ao longo do tempo. Intensidades maiores podem resultar em intervalos entre cortes maiores, o que também possibilita maior acúmulo de fibra nos colmos. Em ambas as situações, os colmos já apresentavam maior peso específico no momento do corte.

### 6.6.1.3 Ângulo foliar

Embora tenha sido observada uma tendência na redução do ângulo foliar da grama missioneira-gigante à sombra, essa resposta pode ter ocorrido pelos pseudocolmos mais compridos das plantas na sombra terem aumentado a distância entre o meristema apical e o ápice do perfilho, o que fez com que o tempo de alongamento foliar fosse maior, resultando em lâminas foliares mais compridas (SANTOS et al., 2017). Provavelmente nas plantas que estão na sombra, folhas mais compridas e delgadas (maior AFE) fiquem menos eretas a partir da inserção do colmo, com redução do ângulo foliar (AF) (GOBBI et al., 2009). Fernández et al. (2004) observaram ângulos médios de inclinação das folhas de festuca (*Festuca*

*pallescens*) menores nas plantas que crescem sob condições de sombra, permitindo um aumento de 35% na interceptação de luz em comparação com plantas com a arquitetura típica de pleno sol. Resposta semelhante foi observada por Crestani et al. (2017) em capim-piatã (*Urochloa brizantha* 'Piatã'). Porém, Gomes et al. (2019) não observaram efeito da sombra moderada no AF de capim-marandu (*Urochloa brizantha* 'Marandu').

Quanto a relação do AF com as metas de manejo, Pedreira et al. (2007) não observaram alteração no AF de capim-xaraés (*Urochloa brizantha* 'Xaraés') com diferentes estratégias de manejo do pastejo. Para esses autores, os resultados indicam alteração na estrutura do dossel ao longo da rebrota, caracterizada pelo aumento em altura, IAF e redução do AF, fatores determinantes do aumento de interceptação luminosa pelo dossel. Mello e Pedreira (2004) observaram que a maior intensidade de pastejo resultou na redução nos ângulos foliares médios ao longo das estações, resultando em maior interceptação luminosa por unidade de área foliar.

## **6.6.2 Relações do dossel vegetal com a sombra e metas de manejo**

### *6.6.2.1 Densidade populacional de perfilhos*

A redução na DPP das plantas a sombra neste estudo vai ao encontro do observado em trabalhos realizados com plantas sombreadas em comparação ao pleno sol. Assim, Oliveira et al. (2019) observaram redução de aproximadamente 50% dos perfilhos de capim-andropogon (*Andropogon gayanus*) com redução de luminosidade de 40 a 47%. Resposta semelhante foi observada com capim-braquiária (*Urochloa decumbens*) (LIMA et al., 2018) e capim-mombaça (*Megathyrsus maximus* 'Mombaça') (RODRIGUES et al., 2019). Em sistemas sombreados o perfilhamento é reduzido inicialmente pela diminuição da relação vermelho: vermelho distante e ocorre a priorização dos perfilhos existentes, posteriormente, a redução da quantidade de luz que naturalmente chega na base das plantas inibe o perfilhamento por redução nos pontos de crescimento (GAUTIER et al., 1999). Porém, de acordo com Peri et al. (2007a) o efeito da baixa intensidade de luz não afeta a taxa de produção de pontos de crescimento, mas na extensão em que esses pontos geram novos perfilhos.

Apesar da diminuição da DPP das plantas a sombra, alterações de DPP em relação as alturas de manejo não foram verificadas (Figura 2). Quando ocorre aumento da altura de manejo, em geral se observa redução do número de perfilhos (RODRIGUES et al., 2019). Plantas mais altas tendem a interceptar maior quantidade de luz, conseqüentemente chega menos luz à base das plantas e o perfilhamento não é estimulado (PEREIRA et al., 2017; KAUFONONGA et al., 2017). Os dados de IL (Figura 3) indicam que nas menores alturas de manejo há uma baixa quantidade de luz sendo interceptada, indicando que a competição por luz dentro da planta não é acentuada, principalmente no pleno sol (BALDISSERA et al., 2014). Esta resposta pode indicar que neste caso, o fator determinante para a redução da densidade populacional de perfilhos na sombra tenha sido a redução da quantidade total de luz no ambiente sombreado e conseqüentemente redução do suprimento de carbono para o crescimento geral da planta e que a grama missioneira-gigante apresenta outros mecanismos para ativação do perfilhamento além daqueles relacionados a luz, como a capacidade de mobilização de reservas, disponibilidade hídrica e nutrientes.

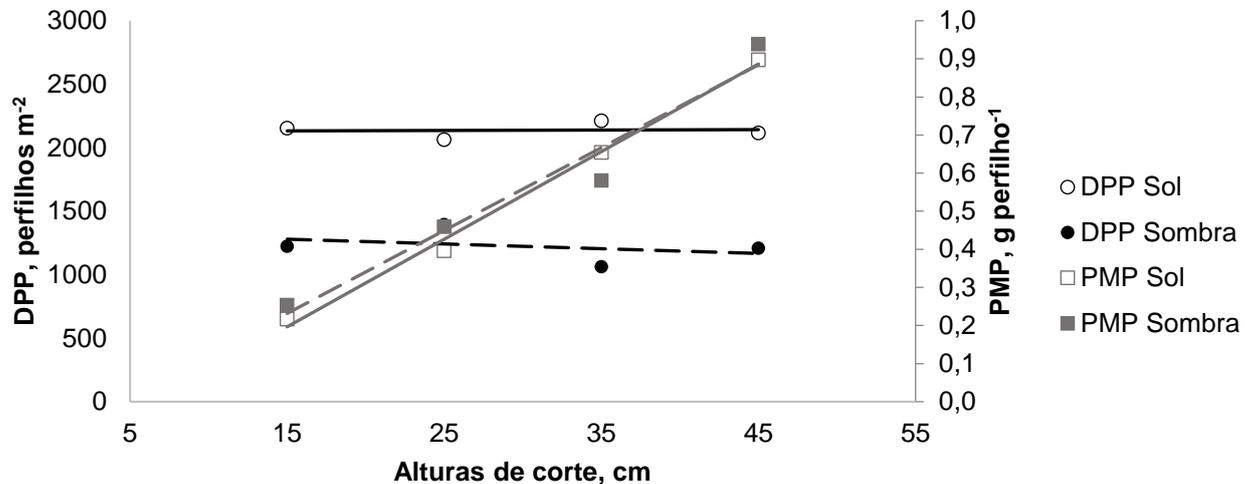
Para os resultados referentes a intensidades de desfolha, intensidades de rebaixamento superiores a 60% devem ser evitadas para a grama missioneira-gigante, devido ao seu impacto negativo na DPP. Em intensidade de desfolha de 80% a planta não conseguiu compensar a alta remoção da porção aérea, mesmo com suprimento adequado de água e nutrientes via irrigação. De acordo com Martins et al. (2019), intensidades de desfolha superiores a 50% exigem que a planta recupere o IAF com o surgimento de novos perfilhos. De acordo com esses autores, esta via de recuperação da planta pode atrasar a recuperação do IAF, com problemas posteriores à produção de forragem e persistência da pastagem. Além disso, a DPP em plantas sombreadas pode ser ainda mais afetada de forma concomitante pela desfolha regular (alta frequência) com a baixa quantidade e qualidade da luminosidade que chega ao sub-bosque (PIERSON et al., 1990) e baixo nível de reservas disponíveis na planta. Ludlow et al. (1974) afirmou que o número de perfilhos de plantas à sombra é mais determinado pelo crescimento geral da planta e níveis de reserva de carbono e nitrogênio do que pelo efeito direto da intensidade de desfolha em perfilhos individuais.

### 6.6.3 Peso médio dos perfilhos e sua relação com a DPP

Da mesma forma que foi observado neste trabalho (Figura 4), o peso médio de perfilhos de plantas no sol e na sombra foram semelhantes em pastos de festuca (*Festuca arundinacea*) (ALLARD et al., 1991). Gobbi et al. (2009) também observaram resposta semelhante, em que a redução da luminosidade ocasionou a redução da população de perfilhos, sem alteração no peso médio dos perfilhos de capim-braquiária (*Urochloa decumbens* 'Basilisk'), resultando em redução da produção de forragem nos dois primeiros cortes. Já Ludlow et al. (1974) observaram redução do peso médio dos perfilhos com a redução da luminosidade para *green panic* (*Megathyrsus maximus* 'Petrie') e *ruzi grass* (*Urochloa ruziziensis* 'Kennedy'), e consideraram que são características de plantas intolerantes à sombra.

Apesar da manutenção do PMP e dos ajustes das plantas, por exemplo na anatomia das folhas (AFE) e aumento da AFP, a grama missioneira-gigante sob sombra não conseguiu compensar a redução do número de perfilhos com o aumento do tamanho dos mesmos (SBRISSIA et al., 2018). De acordo com Lopes et al. (2017), plantas em ambientes luminosos restritos priorizam os perfilhos existentes, com menor formação de novos perfilhos. De forma esperada, perfilhos mais pesados foram observados com o aumento da altura do dossel, pois, com o passar do tempo precisam depositar maior quantidade de fotoassimilados na emissão de folhas e conseqüentemente colmo e pseudocolmo, até atingir a altura meta de corte (MATTHEW et al., 2001). Carvalho et al. (2018) verificaram maior peso individual dos perfilhos em locais onde a pastagem era mais alta. De acordo com esses autores, plantas mais altas permanecem mais tempo com um índice de área foliar próximo ao crítico, onde o alongamento do caule é acentuado para expor as novas folhas na região superior do dossel, o que resulta em maior peso de perfilhos.

Figura 4 – Densidade populacional de perfilhos (DPP) e peso médio dos perfilhos (PMP) em pastagem de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado, submetida a alturas de corte

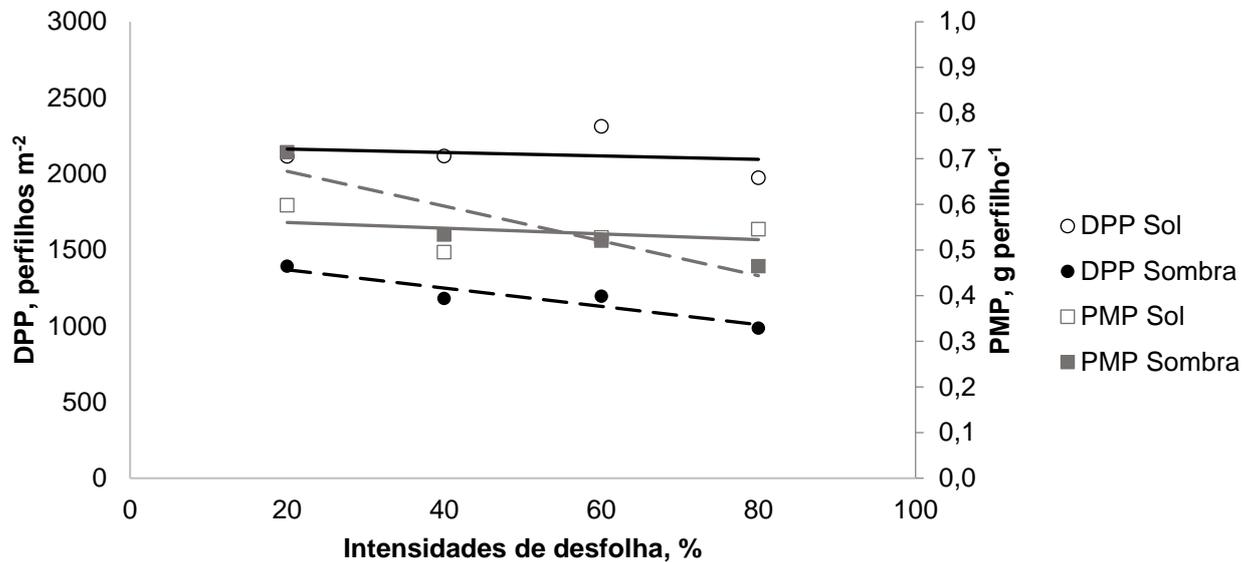


Círculos não preenchidos - DPP no sol ( $y = 0,33x + 2128$ ;  $R^2 = 0,004$ ); Círculos preenchidos - DPP na sombra ( $y = -3,7x + 1336$ ;  $R^2 = 0,13$ ); Quadrados não preenchidos - PMP no sol ( $y = 0,023x - 0,15$ ;  $R^2 = 0,99$ ); Quadrados preenchidos - PMP na sombra ( $y = 0,022x - 0,09$ ;  $R^2 = 0,96$ ).

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A grama missioneira-gigante ao sol apresentou equilíbrio entre a DPP e o PMP ao longo de toda a faixa de intensidade de desfolha aplicada (Figura 5). Com restrição de luminosidade, as plantas foram penalizadas pela desfolha de duas formas: a redução da DPP e PMP, principalmente em intensidades superiores a 60%. Pereira et al. (2018) verificaram diferença no peso médio dos perfilhos com diferentes intensidades de desfolha, em que perfilhos mais pesados foram observados quando foi aplicado intensidade leniente. Gong et al. (2015) observaram que o peso dos perfilhos das plantas foi reduzido pela intensidade de pastejo, enquanto a densidade populacional de perfilhos não foi afetada. Para Beleski et al. (2011), pastos sombreados exigem desfolhas menos frequente e menos intensas quando comparados com pastos em pleno sol, por causa do tempo necessário para regenerar novas folhas quando a luz é um recurso limitante e pelo menor nível de reservas existente. Além disso, desfolhas intensas têm impacto na produtividade e persistência do pasto em sistemas integrados sombreados (BELESKI et al., 2011).

Figura 5 – Densidade populacional de perfilhos (DPP) e peso médio dos perfilhos (PMP) em pastagem de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado, submetida a intensidades de desfolha

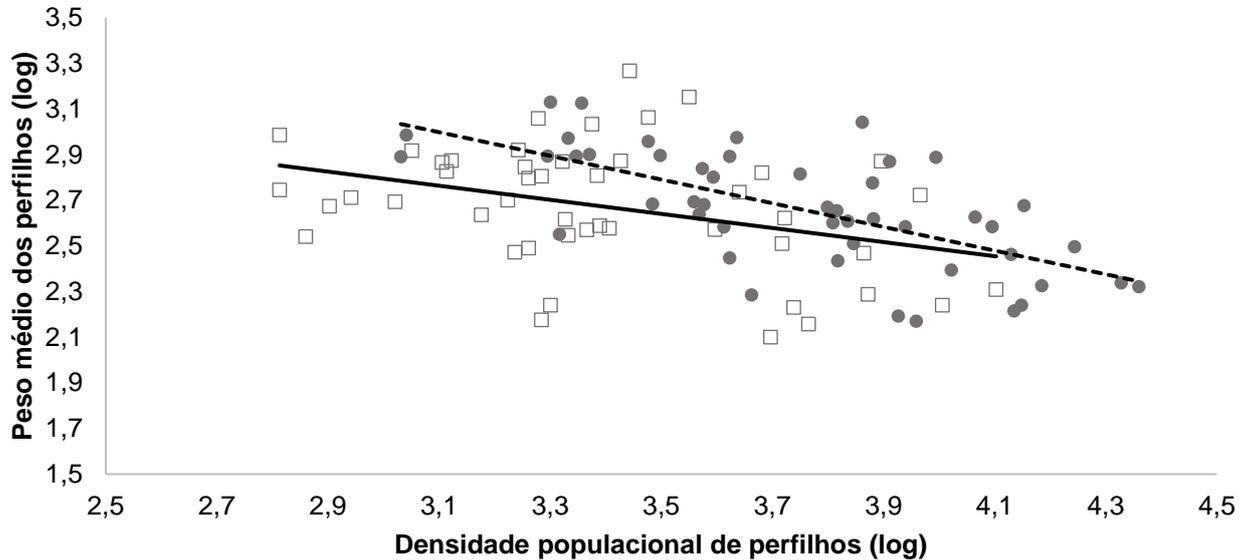


Círculo vazado e linha contínua DPP no sol ( $y = -1,1x + 2186$ ;  $R^2 = 0,04$ ); Círculo preenchido e linha segmentada DPP na sombra ( $y = -6,0x + 1490$ ;  $R^2 = 0,88$ ); Quadrado vazado e linha contínua PMP no sol ( $y = -0,0006x + 0,57$ ;  $R^2 = 0,14$ ); Quadrado preenchido e linha segmentada PMP na sombra ( $y = -0,0038x + 0,75$ ;  $R^2 = 0,83$ ).

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

É interessante ressaltar o fato de que a grama missioneira-gigante não apresenta um mecanismo de compensação tamanho e densidade, aumentando sua área foliar principalmente pelo aumento do tamanho do perfilho. Na literatura é relativamente bem estabelecido para diferentes espécies de que há um mecanismo de auto regulação entre densidade e tamanho de perfilhos em ambientes bem iluminados (YODA et al., 1963; MATTHEW et al., 1995; SBRISSIA et al., 2018). Em pleno sol foi observado uma relação de compensação com inclinação da reta de aproximadamente  $-1/3$  (Figura 6 –  $P = 0,012$ ), o que era esperado apenas para a condição sombreada, devido a possíveis alterações a nível de perfilho e dossel em função da luz. De acordo com Irving (2015), quando as plantas foram submetidas ao sombreamento com redução de 83% na intensidade luminosa, essa relação mudou de  $-3/2$  para aproximadamente  $-1$ . E Garcez Neto (2006), observaram leve compensação entre o peso e o número de perfilhos entre as espécies em ambiente sombreado. No presente trabalho, foi observado que o coeficiente angular em ambiente sombreado foi aproximadamente  $-1/2$  (Figura 6).

Figura 6 – Relação logarítmica entre a densidade populacional de perfilhos (DPP) e peso médio dos perfilhos (PMP) em pastagem de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado



Linha contínua – Sol ( $y = -0,31x + 3,7$ ;  $R^2 = 0,13$ ;  $P=0,012$ ); Linha segmentada - Sombra ( $y = -0,52x + 4,6$ ;  $R^2 = 0,44$ ;  $P<0,001$ ).

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

#### 6.6.4 Área de folhas por perfilho

O aumento da área foliar por perfilho (AFP) em plantas sombreadas está intimamente relacionada a tentativa de manutenção do IAF, que tende diminuir com a redução da DPP (GOBBI et al., 2009). Embora possa existir um mecanismo de compensação entre DPP e AFP (GÓMEZ et al., 2012), em algumas situações as plantas à sombra não conseguem realizar esta compensação, com impacto negativo ao IAF (BOSI et al., 2014). Foi possível verificar neste trabalho que a grama missioneira-gigante busca aumentar a área de folhas por perfilho através do aumento da área média das folhas e com o aumento do número de folhas por perfilho. As plantas sombreadas apresentaram praticamente uma folha a mais por perfilho quando comparadas às plantas em pleno sol (Tabela 1). Por outro lado, as plantas sombreadas de Missioneira Gigante neste estudo, apresentaram maior APE do que a pleno sol, apenas no tratamento de 25 cm de altura de corte inicial, sugerindo que a planta teve uma estratégia de partição de carbono direcionada a aumentar a eficiência de interceptação.

No presente estudo, as plantas mais altas apresentaram incrementos de AFP com o aumento da área média das folhas e número de folhas por perfilho (Tabela 2). Quanto a relação com a intensidade de desfolha, os perfilhos eram coletados sempre imediatamente antes de cada corte, ou seja, com a altura meta de corte inicial atingida. Mesmo em altas intensidades de desfolha, a partir de um maior intervalo entre cortes, as plantas conseguiam recuperar a AFP até o momento do próximo corte, o que pode justificar a semelhança.

#### **6.6.5 Índice de área foliar**

Mesmo com todas as respostas nos perfilhos individuais no sentido de compensar a redução de luz pela melhor distribuição de matéria seca nas estruturas assimiladoras, a grama missioneira-gigante não conseguiu a mesma eficiência de captação quando comparado ao pleno sol, comprovado pelo menor IAF de plantas na sombra. De acordo com Peri et al. (2007a), a redução na intensidade e a alteração na qualidade da luz incidente em plantas sombreadas impactam negativamente no índice de área foliar (IAF), principalmente pela redução da DPP, que é observada como resposta comum em forrageias à sombra (PACIULLO et al., 2016; LOPES et al., 2017; ARAÚJO et al., 2020). A redução do IAF em plantas sombreadas já foi relatada em algumas pesquisas com pastos tropicais (SANTOS et al., 2016; CRESTANI et al., 2017). Porém, Gomes et al. (2019) observaram que sombreamento leve e moderado não são capazes de influenciar nas respostas das plantas quanto ao AFE, AF e IAF, com produção de forragem semelhante em pleno sol ou na sombra, nas estações no ano em que a umidade não era limitante.

Segundo Matthew e Pereira (2017), o índice de área foliar ótimo do pasto deve estar entre 3 e 5, com a produtividade inibida pela interceptação luminosa reduzida no IAF menor que 3 e pela respiração das folhas sombreadas no IAF maior que 5. O IAF da grama missioneira-gigante apenas excedeu esta faixa recomendada a partir dos 35 cm de altura de corte inicial. O aumento do IAF com o aumento das metas de altura de corte ocorreu pelo aumento do tamanho dos perfilhos e pela quantidade de folhas distribuídas ao longo do seu comprimento. Esta mesma resposta foi evidenciada em outros trabalhos com plantas tropicais (FAGUNDES et al., 1999; SBRISSIA et al., 2018).

Embora o IAF sob intensidade de desfolha de 20% tenha sido maior em relação as demais intensidades, não foi observado redução do IAF sob intensidade de desfolha de 80%, mesmo com redução na DPP (Figura 3). Segundo Sbrissia et al. (2010), as comunidades vegetais das pastagens se adaptam a ampla faixa de intensidades de desfolha por meio de mecanismos de compensação capazes de garantir sua longevidade e eficiência fotossintética. De acordo com Gómez et al. (2012), a interceptação de luz é altamente dependente do IAF, e da distribuição e AF ao longo da altura do perfilho. Logo, para a determinação do nível de sombreamento máximo para determinada espécie forrageira, pode-se considerar o ponto de equilíbrio em que a planta, através do seu aparato de respostas morfofisiológicas, consiga IAF em ambiente sombreado semelhante ao pleno sol.

## 6.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grama missioneira-gigante apresentou alterações anatômicas e de estrutura de dossel como o aumento da área foliar específica, redução do peso específico de colmo, redução do ângulo foliar e aumento de área de folhas por perfilho (Tabela 1) buscando compensar à redução de luz, porém a redução acentuada na densidade populacional de perfilhos teve impacto negativo no índice de área foliar, em comparação ao pleno sol.

Apesar destas alterações apresentadas, não ocorreram diferenças significativas no mecanismo de compensação tamanho densidade entre as condições de luz, nas diferentes alturas e mesmo para uma faixa de intensidade de desfolha entre 20 e 60%. Em todas estas condições de manejo, houve manutenção da densidade de perfilhos (Figura 2), havendo aumento de IAF e de IL apenas pelo aumento do tamanho dos perfilhos (Tabela 2 e Figura 3). Uma vez que podemos definir que o desenho experimental permitiu uma ampla variedade de intensidades de competição por luz (Figura 3) devido as metas de manejo impostas, é possível sugerir que a grama missioneira-gigante não responde a alterações de luz para o processo de perfilhamento. Neste caso, é possível hipotetizar que a acentuada redução de perfilhos no ambiente sombreado se deu por respostas a ganho de carbono (ROBSON et al., 1988), pela severa diminuição da quantidade total de luz (50%), ou ainda pela partição preferencial de carbono para estruturas de captação de luz.

Por fim, aliado aos fatos expostos anteriormente, plantas em pleno sol e com restrição de luminosidade responderam de forma semelhante às metas de manejo do pastejo aplicadas, pois não foram observadas interações entre os ambientes luminosos, alturas de corte inicial e intensidades de desfolha que justificassem a confirmação da hipótese do trabalho. Assim, conclui-se que a grama missioneira-gigante em ambientes de sombra a 50% possui respostas morfofisiológicas semelhantes ao pleno sol, confirmando sua adaptação a estes ambientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allard, G., Nelson, C. J., & Pallardy, S. G. (1991). Shade Effects on Growth of Tall Fescue: I. Leaf Anatomy and Dry Matter Partitioning. *Crop Science*, 31(1), 163–167. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183x003100010037x>
- Andrade, C. M. S., Garcia, R., Couto, L., & Pereira, O.G. (2002). Transmissão de luz em sistemas silvipastoris com eucalipto. *Revista Árvore*, 26(1), 19-23.
- Araújo, R. A., Rodrigues, R. C., Costa, C. S., Santos, F. N. S., Lima, A. J. T., & Rodrigues, M. M. (2020). Dynamics and stability of marandu grass tillers in monocrop systems and babassu palm silvopastoral systems. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 42, 1–10. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.42445>
- Baldissera, T. C., Frak, E., Carvalho, P. C. D. F., & Louarn, G. (2014). Plant development controls leaf area expansion in alfalfa plants competing for light. *Annals of Botany*, 113(1), 145–157. <https://doi.org/10.1093/aob/mct251>
- Ballaré, C. L., & Pierik, R. (2017). The shade-avoidance syndrome: Multiple signals and ecological consequences. *Plant Cell and Environment*, 40(11), 2530–2543. <https://doi.org/10.1111/pce.12914>
- Ballaré, C. L., Scopel, A. L., & Sánchez, R. A. (1997). Foraging for light: Photosensory ecology and agricultural implications. *Plant, Cell and Environment*, 20(6), 820–825. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-112.x>
- Belesky, D. P., Burner, D. M., & Ruckle, J. M. (2011). Tiller production in cocksfoot (*Dactylis glomerata*) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) growing along a light gradient. *Grass and Forage Science*, 66(3), 370–380. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00796.x>
- Berlyn, G.P.; Cho, J. Light, moisture, and nutrient use by plants. In: ASHTON, M.S., MONTAGNINI, F. (Eds.) *The silvicultural basis for agroforestry systems*. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.9-39.
- Bosi, C., Pezzopane, J. R. M., Sentelhas, P. C., Santos, P. M., & Nicodemo, M. L. F. (2014). Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em

sistema silvipastoril. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 49(6), 449–456.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000600006>

Brainard, D. C., Bellinder, R. R., & DiTommaso, A. (2005). Effects of canopy shade on the morphology, phenology, and seed characteristics of Powell amaranth (*Amaranthus powellii*). *Weed Science*, 53(2), 175–186.  
<https://doi.org/10.1614/ws-04-067r1>

Carvalho, B. H. R., Segatto, B. N., Vasconcelos, K. A., Queiroz, G. J. S., Medica, J. A. S., & Santos, M. E. R. (2018). Morphology of young tillers of marandu palisadegrass arising in high or low canopy. *Veterinária Notícias*, 24(2), 57–71.  
<https://doi.org/10.14393/vtn-v24n2-2018.5>

Casal, J. J. (2012). Shade Avoidance. *The Arabidopsis Book*, 10, e0157.  
<https://doi.org/10.1199/tab.0157>

Cornelissen, J. H. C., Lavorel, S., Garnier, E., Díaz, S., Buchmann, N., Gurvich, D. E., Reich, P. B., Ter Steege, H., Morgan, H. D., Van Der Heijden, M. G. A., Pausas, J. G., & Poorter, H. (2003). A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 51(4), 335–380. <https://doi.org/10.1071/BT02124>

Crestani, S., Mascheroni, J. D. C., Vera Geremia, E., Carnevalli, R. A., Mourão, G. B., & Da Silva, S. C. (2017). Sward structural characteristics and herbage accumulation of Piatã palisade grass (*Brachiaria brizantha*) in a crop-livestock-forest integration area. *Crop and Pasture Science*, 68(9), 859–871.  
<https://doi.org/10.1071/CP16341>

Devkota, N. (2006). Growth and Persistence of Common Temperature Pasture Species under Low Light and Low R:FR Ratio. *Journal of the Institute of Agriculture and Animal Science*, 27, 111–118.  
<https://doi.org/10.3126/jiaas.v27i0.703>

Fagundes, J. L., da Silva, S. C., Pedreira, C. G. S., Sbrissia, A. F., Carnevalli, R. A., de Carvalho, C. A. B., & Pinto, L. F. de M. (1999). Índice de área foliar, interceptação luminosa e acúmulo de forragem em pastagens de *Cynodon* spp. Sob diferentes intensidades de pastejo. *Scientia Agricola*, 56(4), 1141–1150.  
<https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000500016>

Fernández, M. E., Gyenge, J. E., & Schlichter, T. M. (2004). Shade acclimation in the forage grass *Festuca Pallescens*: Biomass allocation and foliage orientation. *Agroforestry Systems*, 60(2), 159–166.  
<https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000013276.68254.78>

Franklin, K. A. (2008). Shade avoidance. *New Phytologist*, 179(4), 930–944.  
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02507.x>

Fraser, D. P., Hayes, S., & Franklin, K. A. (2016). Photoreceptor crosstalk in shade avoidance. *Current Opinion in Plant Biology*, 33, 1–7.  
<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.03.008>

- Garcez Neto, A. F., Garcia, R., Moot, D. J., & Gobbi, F. K. (2010). Aclimação morfológica de forrageiras temperadas a padrões e níveis de sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(1), 42–50.
- Gautier, H., Varlet-Grancher, C., & Hazard, L. (1999). Tillering responses to the light environment and to defoliation in populations of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) selected for contrasting leaf length. *Annals of Botany*, 83(4), 423–429. <https://doi.org/10.1006/anbo.1998.0840>
- Giacomini, A. A., Silva, S. C. da, Sarmiento, D. O. de L., Zeferino, C. V., Trindade, J. K. da, Souza Júnior, S. J., Guarda, V. del'Alamo, Sbrissia, A. F., & Nascimento Júnior, D. do. (2009). Components of the leaf area index of marandu palisadegrass swards subjected to strategies of intermittent stocking. *Scientia Agricola*, 66(6), 721–732. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162009000600002>
- Gobbi, K. F., Garcia, R., Neto, A. F. G., Pereira, O. G., Ventrella, M. C., & Rocha, G. C. (2009). Características morfológicas, estruturais e produtividade do capimbraquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(9), 1645–1654. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000900002>
- Gobbi, K. F., Garcia, R., Ventrella, M. C., Neto, A. F. G., & Rocha, G. C. (2011). Área Foliar Específica E Anatomia Foliar Quantitativa Do Capim-Braquiária E Do Amendoim-Forageiro Submetidos a Sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(7), 1436–1444. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000700006>
- Gomes, F. J., Pedreira, B. C., Santos, P. M., Bosi, C., Lulu, J., & Pedreira, C. G. S. (2020). Microclimate effects on canopy characteristics of shaded palisadegrass pastures in a silvopastoral system in the Amazon biome of central Brazil. *European Journal of Agronomy*, 115(February), 126029. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126029>
- Gomes, F. J., Pedreira, C. G. S., Bosi, C., Cavalli, J., Holschuch, S. G., Mourão, G. B., Pereira, D. H., & Pedreira, B. C. (2019). Shading effects on marandu palisadegrass in a silvopastoral system: Plant morphological and physiological responses. *Agronomy Journal*, 111(5), 2332–2340. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.01.0052>
- Gómez, S., Guenni, O., & Bravo de Guenni, L. (2012). 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*, 68(3), 395–407. <https://doi.org/10.1111/gfs.12002>
- Gommers, C. M. M., Visser, E. J. W., Onge, K. R. S., Voeselek, L. A. C. J., & Pierik, R. (2013). Shade tolerance: When growing tall is not an option. *Trends in Plant Science*, 18(2), 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.008>

- Gong, X. Y., Fanselow, N., Dittert, K., Taube, F., & Lin, S. (2015). Response of primary production and biomass allocation to nitrogen and water supplementation along a grazing intensity gradient in semiarid grassland. *European Journal of Agronomy*, *63*, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.11.004>
- Grant, S. A., Barthram, G. T., Torvell, L., King, J., & Smith, H. K. (1983). Sward management, lamina turnover and tiller population density in continuously stocked *Lolium perenne*-dominated swards. *Grass and Forage Science*, *38*(4), 333–344. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1983.tb01657.x>
- Gruntman, M., Groß, D., Májeková, M., & Tielbörger, K. (2017). Decision-making in plants under competition. *Nature Communications*, *8*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02147-2>
- Irving, L. J. (2015). Carbon assimilation, biomass partitioning and productivity in grasses. *Agriculture*, *5*(4), 1116–1134. <https://doi.org/10.3390/agriculture5041116>
- Kaufononga, S., Donaghy, D. J., Hendriks, S. J., Matthew, C., Kemp, P. D., & Cranston, L. M. (2017). Comparative response of tall fescue and perennial ryegrass swards to variation in defoliation interval and height. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, *60*(4), 363–375. <https://doi.org/10.1080/00288233.2017.1354893>
- Kleyer, M., Trinogga, J., Cebrián-Piqueras, M. A., Trenkamp, A., Fløjgaard, C., Ejrnæs, R., Bouma, T. J., Minden, V., Maier, M., Mantilla-Contreras, J., Albach, D. C., & Blasius, B. (2019). Trait correlation network analysis identifies biomass allocation traits and stem specific length as hub traits in herbaceous perennial plants. *Journal of Ecology*, *107*(2), 829–842. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13066>
- Lambers, H., & Poorter, H. (1992). Inherent Variation in Growth Rate Between Higher Plants: A Search for Physiological Causes and Ecological Consequences. *Advances in Ecological Research*, *23*(C), 187–261. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60148-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60148-8)
- Lima, M. A., Paciullo, D. S. C., Morenz, M. J. F., Gomide, C. A. M., Rodrigues, R. A. R., & Chizzotti, F. H. M. (2018). Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system. *Grass and Forage Science*, *74*(1), 160–170. <https://doi.org/10.1111/gfs.12395>
- Lopes, C. M., Paciullo, D. S. C., Araújo, S. A. do C., Morenz, M. J. F., Gomide, C. A. de M., Maurício, R. M., & Braz, T. G. dos S. (2017). Plant morphology and herbage accumulation of signal grass with or without fertilization, under different light regimes. *Ciência Rural*, *47*(2), 1–7. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160472>
- Ludlow, M. M., & Wilson, G. L. (1970). Studies on the productivity of tropical pasture plants. II.\* Growth analysis, photosynthesis, and respiration of 20 species of

- grasses and legumes in a controlled environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, 21(2), 183–194. <https://doi.org/10.1071/AR9700183>
- Martínez-García, J. F., Galstyan, A., Salla-Martret, M., Cifuentes-Esquivel, N., Gallemí, M., & Bou-Torrent, J. (2010). Regulatory Components of Shade Avoidance Syndrome. *Advances in Botanical Research*, 53(C), 65–116. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(10\)53003-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(10)53003-9)
- Martins, C. D. M., Schmitt, D., Duchini, P. G., Miqueloto, T., & Sbrissia, A. F. (2019). Defoliation intensity and leaf area index recovery in defoliated swards: implications for forage accumulation. *Scientia Agricola*, 78(2). <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2019-0095>
- Matthew, C., & Techio Pereira, L. E. (2017). Forage plant ecophysiology: A discipline come of age. *Agriculture (Switzerland)*, 7(8), 1–9. <https://doi.org/10.3390/agriculture7080063>
- Matthew, C., Lemaire, G., Hamilton, N. R. S., & Hernandez-Garay, A. (1995). A modified self-Thinning equation to describe size/density relationships for defoliated swards. In *Annals of Botany* (Vol. 76, Issue 6, pp. 579–587). <https://doi.org/10.1006/anbo.1995.1135>
- Matthew, C., Loo, E. Van, & Thom, E. R. (2001). Understanding shoot and root development. . . . *XIX International Grassland ...*, January. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:UNDERSTANDING+SHOOT+AND+ROOT+DEVELOPMENT#0>
- Mello, A. C. L., & Pedreira, C. G. S. (2004). Respostas morfológicas do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1) irrigado à intensidade de desfolha sob lotação rotacionada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(2), 282–289. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982004000200003>
- Novoplansky, A. (2009). Picking battles wisely: Plant behaviour under competition. *Plant, Cell and Environment*, 32(6), 726–741. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01979.x>
- Oosterheld, M., & McNaughton, S. J. (1988). Intraspecific variation in the response of *Themeda triandra* to defoliation: the effect of time of recovery and growth rates on compensatory growth. *Oecologia*, 77(2), 181–186. <https://doi.org/10.1007/BF00379184>
- Oliveira, G. L., de Oliveira, M. E., de Oliveira Macêdo, E., Andrade, A. C., & Edvan, R. L. (2019). Effect of shading and canopy height on pasture of *Andropogon gayanus* in silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, 5. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00458-5>
- Oliveira, M., Pereira, O., Gomide, J., Martinez y Huaman, C., García, R., & Cecon, P. (2000). Análise do crescimento do capim-Bermuda “Tifton 85” (*Cynodon* spp.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(6), 1930–1938.

- Oliveira, T. K., Macedo, R. L. G., Venturin, N., Botelho, S. A., Higashikawa, E. M., & Magalhães, W. M. (2007). Solar radiation in understory of agrosilvopastoral system with eucalypt on different spacings. *Cerne*, *13*(1), 40–50.
- Paciullo, D. S. C., Gomide, C. A. M., Castro, C. R. T., Maurício, R. M., Fernandes, P. B., & Morenz, M. J. F. (2016). Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. *Grass and Forage Science*, *72*(3), 590–600. <https://doi.org/10.1111/gfs.12264>
- Pedreira, B. C., Pedreira, C. G. S., & Da Silva, S. C. (2007). Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés em resposta a estratégias de pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *42*(2), 281–287. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2007000200018>
- Pereira, J. C., Gomes, F. K., Oliveira, M. D. B. L., Lara, M. A. S., Bernardes, T. F., & Casagrande, D. R. (2017). Defoliation management affects morphogenetic and structural characteristics of mixed pastures of brachiaria grass and forage peanut. *African Journal of Range and Forage Science*, *34*(1), 13–19. <https://doi.org/10.2989/10220119.2017.1315960>
- Pereira, L. E. T., Herling, V. R., Avanzi, J. C., & Silva, S. C. da. (2018). Morphogenetic and structural characteristics of signal grass in response to liming and defoliation severity. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, *48*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4849212>
- Pereira, O. G., Rovetta, R., Ribeiro, K. G., Eduardo, M., Santos, R., Miranda, D., & Cecon, P. R. (2012). Crescimento do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e alturas de corte Growth analysis of Tifton 85 bermudagrass under nitrogen fertilization and plant height. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *41*(1), 30–35.
- Peri, P. L., Lucas, R. J., & Moot, D. J. (2007a). Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. *Agroforestry Systems*, *70*(1), 63–79. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9029-x>
- Peri, P. L., Moot, D. J., Jarvis, P., McNeil, D. L., & Lucas, R. J. (2007b). Morphological, anatomical, and physiological changes of orchardgrass leaves grown under fluctuating light regimes. *Agronomy Journal*, *99*(6), 1502–1513. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0347>
- Pierik, R., & De Wit, M. (2013). Shade avoidance: Phytochrome signalling and other aboveground neighbour detection cues. *Journal of Experimental Botany*, *65*(11), 2815–2824. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert389>
- Pierson, E. A., Mack, R. N., Black, R. A., Pierson, A., & Mack, N. (1990). *International Association for Ecology The Effect of Shading on Photosynthesis, Growth, and Regrowth following Defoliation for Bromus tectorum* Published by: Springer in cooperation with International Association for Ecology Stable URL: <http://www.jstor>. *84*(4), 534–543.

- Poorter, H., Niinemets, Ü., Ntagkas, N., Siebenkäs, A., Mäenpää, M., Matsubara, S., & Pons, T. L. (2019). A meta-analysis of plant responses to light intensity for 70 traits ranging from molecules to whole plant performance. *New Phytologist*, 223(3), 1073–1105. <https://doi.org/10.1111/nph.15754>
- R Development Core Team. 2019. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Robson, M. J., Ryle, G. J. A., & Woledge, J. (1988). The grass plant—its form and function. *The Grass Crop*, 25–83. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-1187-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-009-1187-1_2)
- Rodrigues, C. O. D., Araújo, S. A. do C., Viana, M. C. M., Rocha, N. S., dos Santos Braz, T. G., Delmar, S., & Villela, J. (2014). Relações luminosas e desempenho do capim-braquiária em sistema silvipastoril. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 36(2), 129–136. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v36i2.22398>
- Rodrigues, M. O. D., Santos, A. C. dos, Rodrigues, M. O. D., Silveira Junior, O., Oliveira, L. B. T. de, & Leite, R. L. de L. (2019). Cutting Height of Mombasa Grass Under Silvopastoral and Monoculture Systems. *Journal of Agricultural Science*, 11(5), 433. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n5p433>
- Salgado-Luarte, C., & Gianoli, E. (2012). Herbivores modify selection on plant functional traits in a temperate rainforest understory. *American Naturalist*, 180(2). <https://doi.org/10.1086/666612>
- Santos, G. T., Zanini, G. D., Padilha, D. A., & Sbrissia, A. F. (2016). A grazing height target to minimize tiller stem elongation rate in annual ryegrass swards. *Ciência Rural*, 46(1), 169–175. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141508>
- Santos, M. E. R., Sousa, B. M. de L., Rocha, G. de O., Freitas, C. A. S., Silveira, M. C. T. da, & Sousa, D. O. C. de. (2017). Estrutura Do Dossel E Características De Perfilhos Em Pastos De Capim-Piatã Manejados Com Doses De Nitrogênio E Períodos De Diferimento Variáveis. *Ciência Animal Brasileira*, 18(0), 1–13. <https://doi.org/10.1590/1089-6891v18e-37547>
- Sbrissia, A. F., da Silva, S. C., Sarmiento, D. O. L., Molan, L. K., Andrade, F. M. E., Gonçalves, A. C., & Lupinacci, A. V. (2010). Tilling dynamics in palisadegrass swards continuously stocked by cattle. *Plant Ecology*, 206(2), 349–359. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9647-7>
- Sbrissia, A. F., Duchini, P. G., Zanini, G. D., Santos, G. T., Padilha, D. A., & Schmitt, D. (2018). Defoliation strategies in pastures submitted to intermittent stocking method: Underlying mechanisms buffering forage accumulation over a range of grazing heights. *Crop Science*, 58(2), 945–954. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.07.0447>
- Valladares, F., & Niinemets, Ü. (2008). Shade Tolerance, a Key Plant Feature of Complex Nature and Consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39(1), 237–257. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173506>

- Varella, A. C., Moot, D. J., Pollock, K. M., Peri, P. L., & Lucas, R. J. (2010). Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system? *Agroforestry Systems*, 81(2), 157–173. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9319-6>
- Wong, C. C. (1991). Shade tolerance of tropical forages: a review. In *Forages for Plantation Crops*, ed. H. M. Shelton & W. W. Stur, pp. 64-69. Canberra: ACIAR Proceedings 32.
- Yoda, K., Kira, T., Ogawa, H. and Hozumi, H. (1963) Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. *Journal of Osaka City University Institute of Polytechnics D14*, 107–129.

## 7 ARTIGO 3 - IMPACTO DA LUMINOSIDADE E METAS DE MANEJO NO ACÚMULO DE MASSA AÉREA, MASSA DE RAÍZES E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA GRAMA MISSIONEIRA-GIGANTE

### 7.1 RESUMO

Os sistemas integrados de produção agropecuária são emergentes e recomendados para atingir a intensificação sustentável. Podem atingir níveis satisfatórios de produtividade equivalente ou superior aos sistemas de monocultura quando considerado o somatório de todas as partes componentes do sistema. Porém, é possível que ocorra impacto em componentes individuais, como exemplo, pastagens crescendo em sistemas com árvores, onde na maioria das condições, se observa o impacto negativo da redução da luminosidade sobre a produção de massa de forragem, mesmo com melhoria no valor nutricional. Encontrar soluções de manejo que possam ajustar da melhor forma o impacto dos componentes individuais se torna importante para a construção de sistemas equilibrados. Desta forma, objetivou-se determinar as metas de manejo para grama missioneira-gigante em pleno sol e com restrição de luminosidade em que ocorre a otimização do acúmulo de massa aérea e massa de raízes, aliada a qualidade bromatológica da pastagem. Os tratamentos consistiram na combinação de dois ambientes luminosos (sol e sombra), quatro alturas de corte inicial (15, 25, 35 e 45 cm) e quatro intensidades de desfolha (20, 40, 60 e 80%), avaliados num esquema fatorial, em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. As plantas foram estabelecidas em caixas de madeira (0,15 m<sup>3</sup>) com substrato de areia e vermiculita, irrigadas com solução nutritiva completa. A sombra foi reproduzida por ripados de madeira, com 50% de redução da luminosidade. Foi avaliado o acúmulo de massa aérea, massa de raízes, relação parte aérea: raiz, taxa de acúmulo de folhas e total, relação folha colmo, teores de matéria orgânica, proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido da parte aérea. A grama missioneira-gigante alcançou produção relativa média de 46% em ambiente com restrição luminosa de 50%, quando comparada ao pleno sol. Os maiores acúmulos de massa seca aérea e de massa seca de raízes ocorreram com alturas de corte inicial de 25 e 35 cm. A massa de raízes foi estimulada em intensidade de desfolha de 40% em pleno sol, e a restrição luminosidade impactou negativamente a produção de raízes a partir deste valor. Altas relações folha: colmo até 35 cm de altura de corte inicial e 60% de intensidade de desfolha resultaram em composição química semelhante para ampla faixa de alturas e intensidade de desfolha. Os resultados mostram que alturas entre 25 e 35 cm e intensidades de desfolha de 40% podem ser recomendadas para esta espécie forrageira, independente do ambiente luminoso. O intervalo de alturas mencionado proporcionou a maior acúmulo de massa aérea e massa de raízes, além de assegurar teores de PB acima de 15% da MS. Intensidades de desfolha de 40% em pleno sol possibilitaram estimular a massa de raízes e de até 40% em ambientes sombreados se mostraram eficientes em não penalizar o sistema radicular, o que poderia afetar a persistência da pastagem.

Palavras-chave: *Axonopus catharinensis*, sistemas integrados de produção agropecuária, raiz, sombreamento, valor nutritivo.

## 7.2 ABSTRACT

Integrated crop-livestock systems are emerging and recommended to achieve sustainable intensification. They can achieve satisfactory levels of productivity equivalent or superior to monoculture systems when considering the sum of all component parts of the system. However, it is possible that there will be an impact on individual components, such as pastures growing in systems with trees, where in most conditions, the negative impact of reduced light on the production of forage mass is observed, even with improvement in nutritional value. Finding management solutions that can best adjust the impact of individual components becomes important for building balanced systems. In this way, the objective was to determine the management targets for giant missionary grass in full sun and with light restriction in which the optimization of the accumulation of aerial mass and root mass, combined with the bromatological quality of the pasture. The treatments consisted of a combination of two luminous environments (sun and shade), four cutting heights (15, 25, 35 and 45 cm) and four defoliation intensities (20, 40, 60 and 80%), evaluated in a factorial scheme, in a completely randomized design, with three repetitions. The plants were established in wooden boxes (0.15 m<sup>3</sup>) with sand and vermiculite substrate, irrigated with complete nutrient solution. The shade was reproduced by wooden slats, with a 50% reduction in luminosity. The accumulation of aerial mass, root mass, shoot: root ratio, leaf and total accumulation rate, stem leaf ratio, organic matter contents, crude protein, neutral detergent fiber and acid detergent fiber of the aerial part. The giant missionary grass achieved an average relative production of 46% in an environment with 50% light restriction, when compared to full sun. The largest accumulations of aerial dry matter and root dry matter occurred with cutting heights of 25 and 35 cm. The root mass was stimulated at a defoliation intensity of 40% in full sun, and the light restriction negatively impacted the root production from this value. High leaf: stem ratios up to 35 cm cut height and 60% defoliation intensity resulted in a similar chemical composition for a wide range of cut heights and defoliation intensity. The results show that heights between 25 and 35 cm and defoliation intensities of 40% can be recommended for this forage species, regardless of the luminous environment. The aforementioned height range provided the greatest accumulation of air mass and root mass, in addition to ensuring CP levels above 15% of DM. Defoliation intensities of 40% in full sun made it possible to stimulate the root mass and up to 40% in shaded environments proved to be efficient in not penalizing the root system, which could affect pasture persistence.

Keywords: *Axonopus catharinensis*, Integrated crop-livestock systems, root, shading, nutritional value.

## 7.3 INTRODUÇÃO

Os sistemas integrados de produção agropecuária são emergentes e geralmente recomendados para situações em que se busque produção sustentável (LEMAIRE et al., 2013; GIL et al., 2016; MORAES et al., 2019; CARRER et al., 2020). Podem atingir níveis satisfatórios de produtividade vegetal e animal, equivalente aos

sistemas de monocultura (NEEL; BELESKY, 2015; LIMA et al., 2019), superiores a sistemas confinados (COSTA et al., 2017) e viáveis à longo prazo (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2016). Porém, entre as modalidades de sistemas integrados de produção agropecuária, o sistema que apresenta a interação entre componente forrageiro, arbóreo e animal, pode ser considerado de alta complexidade (PACIULLO et al., 2017).

Dentre os fatores determinantes ao sucesso dos sistemas integrados sombreados, está a escolha de espécies forrageiras produtivas, persistentes e que mantenham adequado valor nutricional ao longo das estações. As plantas em ambientes sombreados podem responder de forma a evitar (SMITH; WHITELAM, 1997), tolerar (VALLADARES; NIINEMETS, 2009) ou podem apresentar características de ambas as estratégias (GOMMERS et al., 2013), dependentes do regime de luz as quais são expostas (NOVOPLANSKY, 2009). No entanto, as características que impactam no sistema produtivo são, a produção de forragem e o seu respectivo valor nutricional, pois vão determinar a produtividade secundária e consequentemente a rentabilidade do sistema. No sentido biológico, a tolerância ao sombreamento é caracterizada pela otimização da captação e utilização do carbono através de maior área foliar específica e aparato fotossintético capaz de captar comprimentos de ondas específicos, para persistir e se reproduzir no sistema (MARTÍNEZ-GARCÍA et al., 2010). Neste sentido, mesmo tolerante, a pastagem pode apresentar baixos níveis de produtividade (ANDRADE et al., 2004). De acordo com Wong (1991), a tolerância à sombra pode ser definida, como o desempenho relativo das plantas com restrição de luminosidade em comparação com o desempenho em pleno sol, influenciada pela desfolha regular. Para Devkota et al. (1997), uma espécie de pastagem tolerante à sombra precisa ter boa produção anual e sazonal de matéria seca sob desfolhação e ser capaz de se regenerar.

Por outro lado, a planta pode apresentar maior valor nutricional à sombra (LOPES et al., 2017), com possibilidade de compensar a produção total de nutrientes por área mesmo com o efeito da redução da luminosidade na produção total de matéria seca (SOUSA et al., 2007). Em sistemas com sombreamento leve e moderado já foi observado ausência de respostas características ao sombreamento (GOMES et al., 2019) e produtividade vegetal equivalente ou superior ao pleno sol (BARRO et al., 2012).

A luminosidade e estratégias de manejo são fatores determinantes nas respostas produtivas e morfofisiológicas das pastagens acima e abaixo do solo. Da mesma forma que a parte aérea, as raízes das plantas do sub-bosque são influenciadas pelas alterações na luminosidade (WONG; WILSON, 1980) e desfolha (DONAGHY; FULKERSON, 2002). De acordo com Eriksen e Whitney (1981), pastagens à sombra devem ser cuidadosamente manejadas, a fim de evitar o esgotamento das raízes.

De acordo com Dodd et al. (2005), a redução do acúmulo líquido de pastos sombreados, tem maior efeito da intensidade luminosa em detrimento dos comprimentos de ondas e duração da sombra. Além disso, está evidente que as respostas ao sombreamento são espécie específicas (WONG et al., 1985; OLIVEIRA et al., 2001), o que gera a demanda de pesquisas para identificação de potenciais forrageiras para uso em sistemas sombreados.

O manejo do pastejo exerce forte influência nos indicadores produtivos e qualitativos da forragem, bem como na plasticidade fenotípica. Além disso, o valor nutricional varia entre os estratos verticais do dossel forrageiro, o que pode orientar o manejo do pastejo com base nas necessidades nutricionais (TESK et al., 2018). De acordo com Kunrath et al. (2020), a partir da possibilidade de uso de ampla faixa de metas de manejo do pastejo, pode-se optar por maximizar o crescimento das plantas e a proteção do solo em detrimento da produção animal com pastos mais altos, maximizar a produção animal com pastos mais baixos ou buscar um equilíbrio na produtividade e sustentabilidade do sistema ao manter o pasto em alturas intermediárias.

A grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) é uma gramínea perene estival, híbrido natural originado no estado de Santa Catarina, Brasil (VALLS et al., 2000). Apresenta boa produção de forragem rica em folhas e com resposta positiva a fertilização (MIRANDA et al., 2012). Apresenta-se como opção de forrageira tolerante à sombra (SOARES et al., 2009; BALDISSERA et al., 2016; DALPIZZOL et al., 2019). A hipótese do trabalho consiste em que há redução da produção total das plantas à sombra e devido às alterações morfofisiológicas provocadas pela redução de luminosidade, a maximização da produção de massa seca ocorre em metas de manejo mais altas na condição sombreada. Desta forma, objetivou-se determinar as metas de manejo para grama missioneira-gigante em

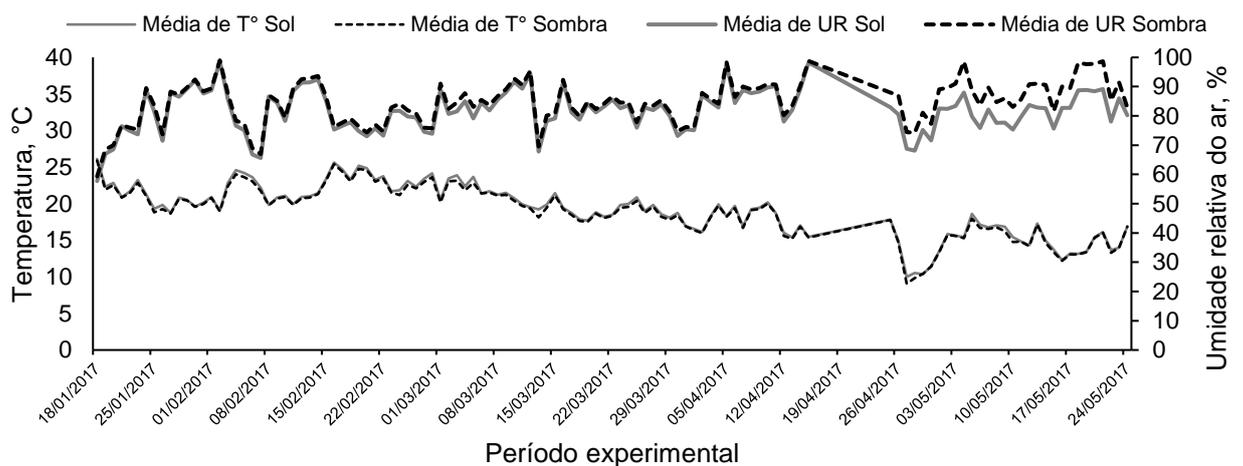
pleno sol e com restrição de luminosidade em que ocorre a otimização do acúmulo de massa aérea e massa de raízes, aliada a qualidade bromatológica da pastagem.

## 7.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 7.4.1 Local e clima

O experimento foi desenvolvido em ambiente parcialmente controlado na Estação experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI, localizada no município de Lages – SC, sob coordenadas aproximadas 27° 47' 55" S e 50° 19' 25" W a 922 m de altitude, em clima temperado úmido Cfb, conforme classificação de Köppen. As avaliações ocorreram entre os meses de dezembro de 2016 e junho de 2017. Neste período foram registradas informações de temperatura e a umidade relativa do ar em cada ambiente luminoso testado por meio de *data loggers* (Onset Computer Corp., U12-012 RH/TEP, EUA) (Figura 1).

Figura 1 – Médias diárias de temperatura do ar (T) e umidade relativa do ar (UR) durante o período experimental para pleno sol (linha contínua) e para sombreamento artificial (linha segmentada)



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

### 7.4.2 Tratamentos, implantação e manejo

Os tratamentos consistiram na combinação de dois ambientes luminosos (sol e sombreamento artificial), quatro alturas de corte inicial (15, 25, 35 e 45 cm) e quatro intensidades de desfolha (20, 40, 60 e 80%) da grama missioneira-gigante com três repetições, totalizando 96 unidades experimentais.

As mudas de missioneira-gigante foram coletadas em pleno estágio vegetativo e estabelecidas no ano anterior ao do experimento (2016) em caixas de madeira com substrato de areia e vermiculita na proporção de 1:1 (v/v), na densidade de 100 mudas  $m^{-2}$ . Em todos os tratamentos foi aplicada solução nutritiva completa (1,9 mol  $m^{-3}$   $KNO_3$ , 0,55 mol  $m^{-3}$   $Ca(NO_3)_2$ , 2,5 mol  $m^{-3}$   $NH_4NO_3$ , 0,5 mol  $m^{-3}$   $CaCl_2$ , 0,1 mol  $m^{-3}$   $NaCl$ , 0,5 mol  $m^{-3}$   $MgSO_4$ , 0,4 mol  $m^{-3}$   $KH_2PO_4$ , 0,3  $K_2HPO_4$ , 25  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $H_3BO_3$ , 2  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $MnSO_4$ , 2  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $ZnSO_4$ , 0,5  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $CuSO_4$ , 0,5  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$   $H_2MoO_4$  e 20  $10^{-3}$  mol  $m^{-3}$  Fe-HEDTA) via sistema de irrigação. Cada unidade experimental apresentava área de 0,30  $m^2$  (1,0 × 0,3 m), com profundidade de 0,5 m.

O ambiente sombreado ofereceu redução de 50% de luminosidade. Este nível foi obtido por meio de sombreamento artificial, com estrutura construída em madeira com tábuas de 15 cm de largura, espaçadas em 15 cm, fixadas 30 cm acima do dossel forrageiro e posicionadas no sentido norte-sul. A estrutura era elevada à medida que as plantas cresciam para manter a proporcionalidade da distância do ripado ao topo do dossel. Este sistema forneceu um regime de luz bimodal ou intermitente para melhor mimetizar o sombreamento de um sistema silvipastoril verdadeiro (VARELLA et al., 2010).

### 7.4.3 Medidas

Anteriormente ao início das avaliações, todas as unidades experimentais foram uniformizadas com um corte a 10 cm de altura em relação ao solo no dia 21/12/2016. A altura média do dossel foi determinada a cada três dias com bastão graduado (*sward stick*), com a medição em 10 pontos por unidade experimental. Os cortes eram realizados quando a altura média do pasto atingia a altura meta de manejo estabelecida e o corte realizado a partir da intensidade de desfolha

preconizada em cada tratamento. O primeiro e o último corte foram realizados nos dias 23/01/2017 e 23/05/2017, respectivamente.

Amostras da parte aérea das plantas foram coletadas acima da altura correspondente a cada intensidade de desfolha, em áreas de 0,08 m<sup>2</sup>. Essas amostras foram fracionadas em lâminas foliares, colmos + pseudocolmos e material senescente. As frações foram secas em estufa de ventilação forçada a 60°C por 72 horas para posterior pesagem e determinação do acúmulo de massa aérea, taxa de acúmulo de folhas e total, e relação folha: colmo. As amostras secas foram moídas de todos os cortes formaram uma amostra composta por unidade experimental. Os teores de matéria seca (MS) foram determinados por secagem em estufa a 105°C por 24 horas. Os teores de matéria mineral (MM) foram quantificados por incineração em forno mufla, a 550°C por quatro horas. Os teores de matéria orgânica (MO) pela diferença entre o total de MS e MM. Os teores de proteína bruta (PB) ( $N \times 6,25$ ) foram obtidos a partir da determinação do nitrogênio total pelo método de combustão de Dumas com utilização do aparelho Leco modelo FP 528 (LC, Leco Corporation, EUA). Os teores de FDN e FDA foram analisados pelo método de Van Soest et al. (1991), utilizando-se equipamento *Fiber Analyzer* (Ankom Technology Corporation, Fairport, USA). Ao final do experimento todo o material acima do substrato foi removido e posteriormente coletou-se volume de 0,18 m<sup>3</sup> de substrato e raízes com o auxílio de uma cavadeira. As raízes foram separadas do substrato com auxílio de conjunto de peneiras e água corrente, posteriormente armazenado em solução de álcool etílico 50% (v/v). As amostras foram secas em estufa de ventilação forçada a 60°C por 72 horas para posterior pesagem e determinação da massa de raízes e relação parte aérea: raiz.

#### **7.4.4 Análise estatística**

Para análise dos dados utilizou-se a análise de variância, as pressuposições de homogeneidade de variância (teste de Bartlett) e normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) foram verificadas e utilizada a transformação ótima de Box-Cox nos casos em que alguma das pressuposições não ter sido atendida. Pela estrutura física do experimento, a casualização das combinações entre altura e intensidade foi realizada nos respectivos ambientes luminosos, portanto, para cada variável foi testada dependência espacial dos dados considerando o modelo esférico com

dependência espacial e o modelo nulo, sem a dependência espacial, a tomada de decisão baseou-se no critério de informação de Akaike. Quando observado efeito de dependência espacial os dados foram corrigidos, sendo considerada para análise o modelo condicional.

Foram considerados como fatores na análise: presença de sombra, com dois níveis; altura de corte, com quatro níveis e intensidade de desfolha, com quatro níveis, bem como as interações entre os fatores. Quando do efeito significativo foi realizado o desdobramento dos fatores de teste de médias (Tukey). Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R versão 3.6.2 (R Core Team, 2019) considerando 5% de significância.

## 7.5 RESULTADOS

### 7.5.1 Acúmulo de massa aérea e massa de raízes

O acúmulo de massa aérea à sombra correspondeu a 46% do acúmulo de massa aérea produzida em pleno sol. A taxa de acúmulo de folhas e total corresponderam a 47 e 44% em relação ao pleno sol, respectivamente. A relação folha: colmo foi semelhante entre os ambientes luminosos (Tabela 1).

O acúmulo de massa aérea foi menor aos 45 cm de altura de corte inicial, em relação as demais alturas. Os maiores acúmulos de massa foram observados com 25 e 35 cm de altura de corte inicial. As taxas de acúmulo de folhas e total não foram influenciadas pelas alturas de corte inicial. A relação folha: colmo reduziu com o aumento das alturas de corte inicial, mostrando-se semelhante entre 15 e 25 cm (Tabela 1).

Em relação a intensidade de desfolha, a relação folha: colmo foi maior aos 20% de intensidade, semelhante entre 40 e 60% e menor aos 80%. O acúmulo de massa aérea, taxas de acúmulo de folhas e total não foram influenciadas pelas intensidades de desfolha aplicadas a grama missioneira-gigante (Tabela 1).

Tabela 1 – Acúmulo de massa aérea (AMA), taxa de acúmulo de folhas (TaF), taxa de acúmulo total (TaT), relação folha: colmo (F: C), massa de raízes (MR) e relação massa aérea: raiz (A: R) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado, submetida a alturas de corte e intensidades de desfolha

Variáveis avaliadas	Ambiente Luminoso						
	Sol	Sombra	Média	EPM <sup>1</sup>	P-valor		
AMA <sup>2</sup>	49,9 a	22,9 b	36,4	1,9	<0,001		
TaF <sup>3</sup>	0,25 a	0,12 b	0,18	0,011	<0,001		
TaT <sup>3</sup>	0,40 a	0,17 b	0,28	0,020	<0,001		
Relação F: C	3,1	3,9	3,5	0,242	0,143		
Variáveis avaliadas	Alturas de corte, cm						
	15	25	35	45	Média	EPM	P-valor
AMA <sup>2</sup>	34,4 ab	37,6 ab	42,2 a	31,5 b	36,4	1,9	0,016
TaF <sup>3</sup>	0,18	0,19	0,17	0,18	0,18	0,011	0,214
TaT <sup>3</sup>	0,25	0,29	0,29	0,31	0,28	0,020	0,902
Relação F: C	4,8 a	3,7 ab	3,5 b	2,1 c	3,5	0,242	<0,001
MR <sup>4</sup>	5,4 c	7,9 bc	9,4 b	13,2 a	9,0	0,63	<0,001
Relação A: R	7,3 a	5,8 a	6,6 a	3,8 b	5,8	0,43	<0,001
Variáveis avaliadas	Intensidades de desfolha, %						
	20	40	60	80	Média	EPM	P-valor
AMA <sup>2</sup>	33,1	35,8	38,9	37,9	36,4	1,9	0,227
TaF <sup>3</sup>	0,18	0,17	0,20	0,16	0,18	0,011	0,593
TaT <sup>3</sup>	0,29	0,27	0,33	0,25	0,28	0,020	0,451
Relação F: C	4,4 a	3,2 ab	3,6 ab	2,8 b	3,5	0,242	0,024

Médias com mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

<sup>1</sup> Erro padrão da média.

<sup>2</sup> Acúmulo de massa aérea em gramas de matéria seca 0,08 m<sup>-2</sup>

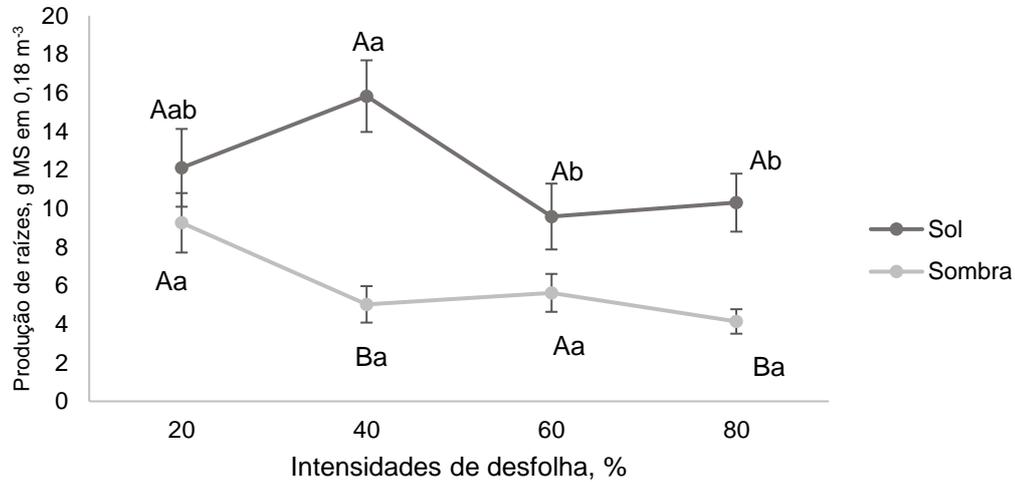
<sup>3</sup> Taxa de acúmulo de folhas e total em gramas de matéria seca dia<sup>-1</sup> 0,08 m<sup>-2</sup>

<sup>4</sup> Massa de raízes, g em 0,18 m<sup>-3</sup>

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A massa de raízes apresentou efeito da interação ambiente luminoso × intensidade de desfolha (P = 0,005 – Figura 2). Em pleno sol, a maior massa de raízes ocorreu com 40% de intensidade, sem apresentar diferença com 20%. As intensidades de 60 e 80% reduziram a massa de raízes. Com restrição de luminosidade, a massa de raízes foi menor do que a pleno sol aos 40 e 80% de intensidade de desfolha. Foi observado menor massa de raízes aos 80% em relação a 20% (P = 0,051) (Figura 2). No geral a massa de raízes no ambiente sombreado correspondeu a 50% da produção em pleno sol, acompanhando o comportamento da massa da parte aérea. A massa de raízes da grama missioneira-gigante aumentou com o aumento das alturas de corte aplicadas (Tabela 1).

Figura 2 – Massa de raízes de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a dois regimes de luz e intensidades de desfolha

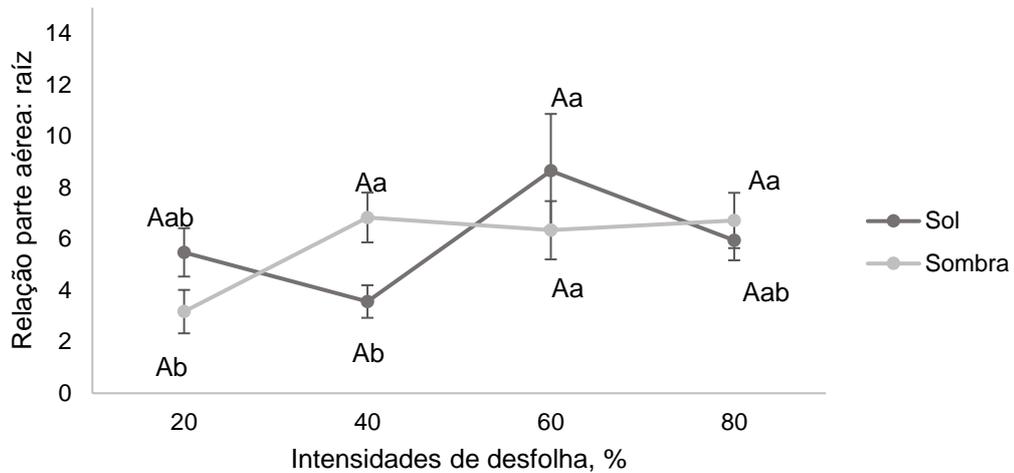


Médias com mesma letra maiúscula para o fator ambiente luminoso e minúscula para o fator intensidade de desfolha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A relação parte aérea: raiz apresentou efeito da interação ambiente luminoso  $\times$  intensidade de desfolha ( $P = 0,002$  – Figura 3). Não foi observada diferença entre os ambientes luminosos, porém, em pleno sol a relação parte aérea: raiz foi menor aos 40% e maior aos 60% de intensidade de desfolha. Em ambiente sombreado, a menor relação parte aérea: raiz foi observada com 20% da intensidade de desfolha em relação às demais. Em relação às alturas de corte inicial, a grama missioneira-gigante apresentou menor relação parte aérea: raiz aos 45 cm de altura independentemente do ambiente luminoso (Tabela 1).

Figura 3 – Relação parte aérea: raiz de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a dois regimes de luz e intensidades de desfolha



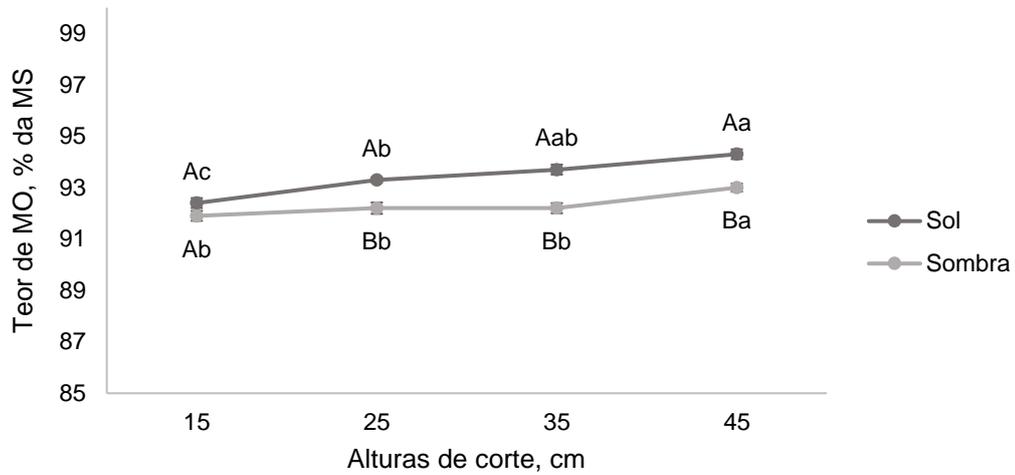
Médias com mesma letra maiúscula para o fator ambiente luminoso e minúscula para o fator intensidade de desfolha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

### 7.5.2 Composição química

O teor de matéria orgânica apresentou efeito da interação ambiente luminoso  $\times$  alturas de corte inicial ( $P = 0,023$  – Figura 4). O teor de MO foi maior em pleno sol a partir dos 25 cm de altura quando comparado ao ambiente com restrição de luminosidade. Em pleno sol, o teor de MO aumentou com o aumento das alturas. Na sombra, foi maior aos 45 cm de altura.

Figura 4 – Teor de matéria orgânica (MO) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a dois regimes de luz e alturas de corte

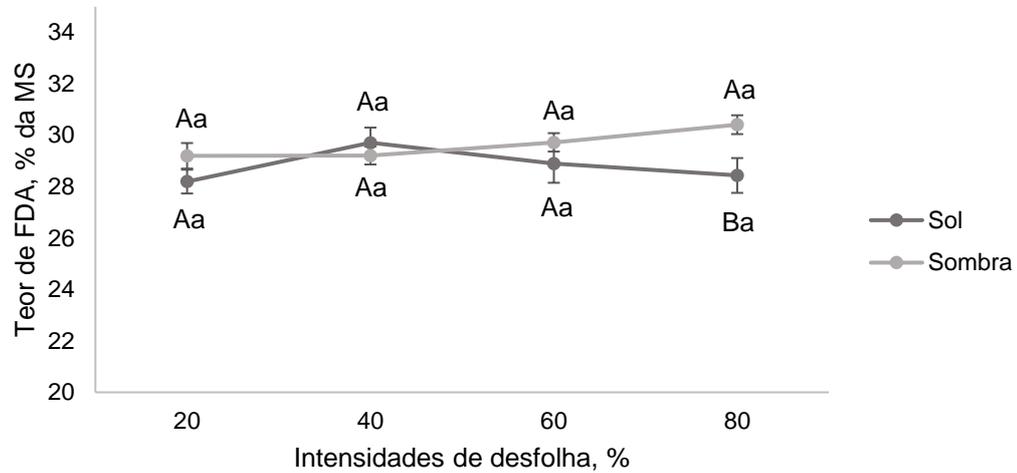


Médias com mesma letra maiúscula para o fator ambiente luminoso e minúscula para o fator altura, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

O teor de fibra em detergente ácido (FDA) apresentou efeito da interação ambiente luminoso  $\times$  intensidades de desfolha ( $P = 0,047$  – Figura 5). A variação no teor de FDA foi menor em pleno sol apenas aos 80% de intensidade de desfolha. Não foi observada diferença entre as intensidades de desfolha em ambos os ambientes luminosos. Em relação à altura de corte inicial, o teor de FDA foi semelhante entre 15 e 35 cm de altura, porém, apresentou maior teor aos 45 cm de altura (Tabela 2).

Figura 5 – Teor de fibra em detergente ácido (FDA) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) submetida a dois regimes de luz e intensidades de desfolha



Médias com mesma letra maiúscula para o fator ambiente luminoso e minúscula para o fator intensidade de desfolha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P > 0,05$ ).

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

As demais variáveis não tiveram qualquer interação significativa, e os resultados são apresentados considerando as médias por ambiente luminoso, altura de corte inicial e intensidade de desfolha ( $P < 0,001$ ). Os teores de proteína bruta (PB) e fibra em detergente neutro (FDN) foram maiores em ambiente sombreado. O teor de PB reduziu com o aumento das alturas de corte inicial e o teor de FDN foi menor nos níveis intermediários de altura de corte (25 e 35 cm). A intensidade de desfolha não influenciou nos teores de PB e FDN da grama missioneira-gigante (Tabela 2).

Tabela 2 – Teor de matéria orgânica (MO) proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) de grama missioneira-gigante (*Axonopus catharinensis* Valls.) em pleno sol e ambiente sombreado, submetida a alturas de corte e intensidades de desfolha

Variáveis avaliadas	Ambiente Luminoso					EPM <sup>1</sup>	P-valor
	Sol	Sombra	Média				
PB, % MS	15,0 b	16,9 a	15,9			0,3	<0,001
FDN, % MS	64,3 b	65,9 a	65,1			0,2	<0,001
Variáveis avaliadas	Altura de corte, cm					EPM	P-valor
	15	25	35	45	Média		
PB, % MS	18,1 a	16,8 ab	15,5 b	13,3 c	15,9	0,3	<0,001
FDN, % MS	65,5 ab	64,5 b	64,0 b	66,3 a	65,1	0,2	<0,001
FDA, % MS	28,6 b	28,5 b	29,0 b	30,7 a	29,2	0,2	<0,001
Variáveis avaliadas	Intensidade de desfolha, %					EPM	P-valor
	20	40	60	80	Média		
MO, % MS	93,1 a	93,2 a	92,8 a	92,4 b	92,9	0,1	<0,001
PB, % MS	16,8	15,5	15,8	15,7	15,9	0,3	0,117
FDN, % MS	65,0	65,1	64,9	65,4	65,1	0,2	0,838

Médias com mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P>0,05).

<sup>1</sup> Erro padrão da média.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

## 7.6 DISCUSSÃO

### 7.6.1 Acúmulo de massa aérea e massa de raízes

O acúmulo de massa aérea de grama missioneira-gigante, bem como as taxas de acúmulo de folhas e total obtidas foram relativamente menores na sombra, em comparação com pleno sol e na proporção de redução da luminosidade. A tolerância ao sombreamento considerando a produção de massa de forragem, é espécie específica (WONG et al., 1985; OLIVEIRA et al., 2001), e depende da resposta ao nível de redução da luminosidade. Vários trabalhos sob sombreamento natural e artificial avaliaram a produção de massa, e constataram que algumas espécies respondem à redução da luz de forma positiva e outras de forma negativa. Sob sombreamento natural, Soares et al. (2009) indicaram que as espécies forrageiras mais produtivas e com maior potencial para utilização em ambiente sombreado foram a grama missioneira-gigante e capim-marandu. Esses autores relataram que a grama missioneira-gigante manteve boa produção de forragem mesmo em sombreamento intenso, e a sua alta produção foi resultado da tolerância

ao frio, que resultou no início antecipado da sua utilização em comparação às demais forrageiras avaliadas. Sob sombra artificial, Castro et al. (1999) mostraram que o capim-vencedor (*Megathyrsus maximus* 'Vencedor') e o capim setária (*Setaria anceps*) foram os mais tolerantes ao sombreamento, com produção de 120 e 100% da produção obtida a pleno sol, respectivamente. Barro et al. (2012) ao avaliarem espécies forrageiras nativas do gênero *Paspalum* sob sombra artificial, constataram potencial para utilização em sistemas com sombreamento moderado e intenso, particularmente do *P. Regnelli*. Pachas et al. (2014) observaram aumento da produção de matéria seca da grama missioneira-gigante sob sombra moderada quanto comparado ao pleno sol e níveis mais intensos de sombreamento, e atribuíram a maior produção de forragem em 38% de sombra, ao menor estresse hídrico pela manutenção da umidade do solo e maior disponibilidade de nutrientes, principalmente o nitrogênio.

Dentre as variáveis avaliadas, a relação folha: colmo da grama missioneira-gigante não foi influenciada pelo sombreamento. Esta resposta é predominante nos trabalhos com forrageiras à sombra (SAMARAKOON et al., 1990; GOBBI et al., 2009; KIRCHNER et al., 2010; SOARES et al., 2016). De acordo com Gómez et al. (2012), ambos os componentes são afetados igualmente pela sombra, mantendo a relação observada em pleno sol. Em contrapartida, Soares et al. (2009) observaram que a relação folha: colmo aumentou com a redução da luminosidade, sob a justificativa de que em condições de luminosidade reduzida, as folhas modificam sua estrutura e se tornam maiores, mais tenras e estioladas, características adaptativas e competitivas por radiação. Neste trabalho, a grama missioneira-gigante demonstrou uma resposta consistente de redução de massa aérea e de raízes à sombra, de forma proporcional a redução da luminosidade, mantendo a relação semelhante ao pleno sol.

Em relação as metas de manejo aplicadas e as variáveis produtivas da porção aérea, apenas o acúmulo de massa foi influenciado pela altura de corte. De acordo com Cecato et al. (2001), se a altura de pastejo ou do corte favorecer a manutenção de um índice de área foliar adequado, ocorrerá adequada interceptação de energia luminosa e conseqüentemente o acúmulo de massa. É importante ressaltar que a grama missioneira-gigante apresentou acúmulo de massa aérea semelhante para uma ampla faixa de alturas de corte, semelhante ao observado por Sbrissia et al. (2018) com capim-quicuiu sob método intermitente. Este acúmulo semelhante em

uma amplitude de alturas de corte inicial pode ser justificado por efeitos compensatórios entre o peso e a densidade populacional de perfilhos (BIRCHAM; HODGSON, 1983). Portanto, devido a não ocorrência de interação entre ambiente luminoso e altura de corte inicial, pode-se indicar que a grama missioneira-gigante seja submetida a desfolha entre 25 e 35 cm independente do ambiente luminoso, devido ao maior acúmulo de massa aérea observado.

Quanto a intensidade de desfolha e sua influência na produção primária do sistema, pode-se considerar que a grama missioneira-gigante pode ser manejada em ampla faixa de intensidades de desfolha independente do ambiente luminoso, justamente por não apresentar efeito sobre o acúmulo de massa aérea e às taxas de acúmulo de folhas e total (Tabela 1). Segundo Martins et al. (2019), a capacidade da planta de recuperar o índice de área foliar e alcançar a máxima taxa de acúmulo após sucessivas desfolhas intensas, parece ser dependente da espécie e relacionada à sua plasticidade fenotípica.

A redução da relação folha: colmo com o aumento das alturas de corte inicial pode ser justificada pelo aumento da proporção de colmos em plantas mais altas. Segundo Carvalho et al. (2018), plantas mais altas permanecem mais tempo com um índice de área foliar próximo ao crítico, momento em que aumenta o alongamento de colmo para melhor captação de luz.

Em relação a intensidade de desfolha, quando os cortes são realizados mais próximos ao solo, automaticamente compreendem maior proporção de colmos no estrato coletado, resultando na redução da relação folha: colmo (SANTOS et al., 2001). Além disso, o estrato superior em cortes mais altos invariavelmente apresenta maior relação folha: colmo, independente da espécie forrageira (POCZYNEK et al., 2016). Alterações morfológicas e estruturais dentro da planta em adição aos indicadores utilizados neste trabalho poderiam ajudar a indicar metas de pastejo para plantas sombreadas, visando um equilíbrio entre qualidade de forragem colhida e potencial de desempenho animal.

Em relação a massa de raízes, quando se analisa o ambiente luminoso e a intensidade de desfolha de forma concomitante, pode-se afirmar que o sistema radicular pode ser mais afetado sob ambiente sombreado e com desfolha a partir dos 40% de intensidade (Figura 2). Outros estudos já mostraram a redução da produção de raízes com o sombreamento é normalmente proporcional a redução da parte aérea, mantendo todos os demais recursos não limitantes (OLIVEIRA;

SOUTO, 2001; GUENNI et al., 2008) e com a desfolha (WILSON et al., 2019). De acordo com Thornton e Millard (1996), o crescimento radicular pode ser reduzido com o aumento exagerado da intensidade de desfolha, e uma redução nas raízes pode afetar potencialmente a captação e armazenamento de recursos. A redução na massa seca de raízes após o pastejo geralmente é proporcional à severidade e frequência de desfolha (FRANK, 2007). Da mesma forma que a desfolha, o sombreamento também pode reduzir a respiração das raízes e a absorção de nutrientes (MASSIMINO et al., 1981). Porém, com intensidade de desfolha de 40% em pleno sol foi observado maior massa de raízes em comparação com a sombra. De acordo com Piazzetta et al. (2014), a remoção de parte das folhas estimula a planta a promover o desenvolvimento radicular, tendo todos os recursos naturais disponíveis. Isso, provavelmente ocorre para maximizar a absorção de água e nutrientes, com a finalidade de recuperar seu aparato fotossintético mais rapidamente e acelerar o rebrote. Também é importante observar que o crescimento menor de raízes e da parte aérea das plantas em ambiente sombreado deve resultar em menor acúmulo de reservas para o rebrote (CRUZ, 1997) que, por consequência afetou a densidade populacional de perfilhos e o IAF.

De acordo com Giacomini et al. (2005), a produtividade da parte aérea é reflexo do que acontece com o sistema radicular, e qualquer fator que limite o crescimento de raízes pode prejudicar a produção de massa seca da planta forrageira. Porém, a resposta de maior produção de raízes com o aumento das alturas de corte inicial, não foi observada na produção de massa aérea (Tabela 1). Ao contrário, este estudo mostrou uma menor relação parte aérea: raiz aos 45 cm de altura independentemente do ambiente luminoso. A relação parte aérea: raiz à sombra confirma que a partir dos 40% de intensidade de desfolha ocorre redução da produção de raízes, o que aumenta a sua relação parte aérea: raiz (Figura 3). Várias pesquisas em sistemas integrados mostraram que as plantas sombreadas destinam recursos para a formação da parte aérea em detrimento do sistema radicular (ALLARD et al., 1991; PACIULLO et al., 2010). No presente trabalho, não foi evidenciada diferença para a relação parte aérea: raiz entre os ambientes luminosos, provavelmente pela redução acentuada da produção de raízes com aplicação de 60 e 80% de intensidade de desfolha em pleno sol, visto que a intensidade de desfolha não ocasionou redução da produção de massa aérea (Tabela 1). Um aumento da relação parte aérea: raiz ocasionado pela redução excessiva do crescimento

radicular em ambientes sombreados não é desejado, pois diminui a absorção de água e nutrientes, torna a planta mais suscetível a períodos de estresse hídrico e nutricional, resulta em menor armazenamento de reservas e diminui o potencial de rebrote e acúmulo de forragem na parte aérea. Portanto, as maiores intensidades de desfolha testadas neste trabalho não são recomendadas para a grama missioneira-gigante em ambiente sombreado.

### **7.6.2 Composição química**

Pastos em ambiente sombreado podem apresentar maior concentração de minerais por unidade de massa (NEEL et al., 2015; HANISCH et al., 2016). Seria lógico assumir que a menor quantidade de fotoassimilados e síntese de MO no ambiente sombreado simplesmente aumenta a concentração proporcional dos minerais absorvidos ou que a redução da biomassa faz aumentar a concentração dos tecidos remanescentes. Tanto em pleno sol quanto na sombra os teores de matéria orgânica foram semelhantes entre as alturas de 25 e 35 cm. Em relação a intensidade de desfolha foi observado níveis semelhantes em ampla faixa aplicada, com leve redução aos 80% de intensidade de desfolha. Mesmo com efeito dos tratamentos aplicados nos teores de MO, os teores de PB, FDN e FDA podem explicar melhor os efeitos do ambiente luminoso e metas de manejo na composição nutricional da grama missioneira-gigante. No entanto, não se observa um padrão de respostas quanto ao efeito do sombreamento sobre a composição química, pois são dependentes da espécie forrageira e a fração de biomassa avaliada (PONTES et al., 2016; LIMA et al., 2018).

Dentre estas variáveis, o teor de PB parece aumentar de forma mais consistente com o aumento do sombreamento. Este aumento pode ser justificado pela maior degradação da matéria orgânica e da reciclagem de nitrogênio no solo ou por um desbalanço na assimilação de carbono e nitrogênio sob redução do crescimento em ambiente sombreado (LOPES et al., 2017). A sombra pode atrasar o desenvolvimento das plantas no sub-bosque, e naturalmente plantas mais jovens apresentam altos níveis metabólicos, com menor quantidade de tecidos estruturais (PACIULLO et al., 2014). O aumento também pode ser resultado de respostas fisiológicas como maior concentração de clorofila total para melhorar o

aproveitamento da luz em ambientes sombreados (OLIVEIRA et al., 2013), em especial a clorofila b (HANISCH et al., 2016).

Em relação aos componentes fibrosos, os resultados encontrados deste estudo vão ao encontro do observado por outros autores. Lin et al. (2001) observaram que os teores de FDN e FDA aumentaram ou não foram afetados em plantas sombreadas, e justificam isso pelo aumento de carboidratos estruturais e diminuição de carboidratos de reserva ocasionados pela redução e luminosidade. De acordo com esses mesmos autores, em condições onde se observa redução dos níveis de fibra, esta resposta pode estar associada a espécies que mantém alta relação folha: colmo, porém estes são comportamentos mais raramente citados na literatura quando não há limitação de água e nutrientes. Lopes et al. (2017) observaram redução dos teores de FDN e FDA com o aumento do sombreamento, sob justificativa de que em plantas sombreadas ocorre menor disponibilidade de fotoassimilados para o desenvolvimento da parede celular secundária. Almeida et al. (2019) observaram aumento do FDN associado a redução na relação folha: caule em leguminosas à sombra. No presente trabalho, os teores de FDA sob efeito da interação entre ambiente luminoso e altura, permaneceram semelhantes entre pleno sol e sombra em ampla faixa de alturas. O que reduz a importância deste componente na definição de metas de manejo ao sol e sombra que minimizem componentes fibrosos.

Quanto as metas de manejo e sua influência na composição química da grama missioneira-gigante, as respostas foram semelhantes a outros trabalhos, em que o aumento na altura de manejo provocou redução dos teores de PB e aumento dos níveis de FDA e FDN nas lâminas foliares e nos colmos (REGO et al., 2003; SILVA et al., 2016). Esta resposta pode ser justificada pela redução da relação folha: colmo observada com o aumento das alturas (Tabela 1), justamente pelo alongamento de colmo e o próprio crescimento em si, para que a planta alcançasse a altura meta preconizada. Quanto as intensidades de desfolha, Carvalho et al. (2017) não observaram diferença na composição química em pré-pastejo entre diferentes alturas de resíduo da pastagem. Semelhante ao encontrado no presente estudo, mesmo com redução da relação folha: colmo com o aumento das intensidades de desfolha (Tabela 1).

## 7.7 CONCLUSÃO

A grama missioneira-gigante alcançou produção da parte aérea relativa média de 46% em ambiente com 50% de restrição luminosa, quando comparada ao pleno sol. Os resultados indicam que alturas entre 25 e 35 cm e intensidades de desfolha entre 20 e 40% podem ser recomendadas para esta espécie forrageira, em pleno sol e ambientes com restrição de luminosidade de até 50%. O intervalo de alturas mencionado proporcionou a maior produção de massa aérea e de raízes, além de assegurar acréscimos nos teores de PB, acima de 15% da MS. Intensidade de desfolha de 40% em pleno sol possibilitou estimular a produção de raízes e de 20 a 40% em ambientes sombreados se mostraram estáveis para o sistema radicular, assegurando a persistência da pastagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allard, G., Nelson, C. J., & Pallardy, S. G. (1991). Shade Effects on Growth of Tall Fescue: I. Leaf Anatomy and Dry Matter Partitioning. *Crop Science*, 31(1), 163–167. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183x003100010037x>
- Almeida, J. C. de C., de Moraes, L. F., Araújo, R. P., Morenz, M. J. F., de Abreu, J. B. R., & Soares, F. A. (2019). Dry matter production and chemical composition of tropical forage legumes under different shading levels. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 41(1), 1–7. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.43526>
- Andrade, C. M. S., Valentim, J. F., Carneiro, J. D. C., & Vaz, F. A. (2004). Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(3), 263–270. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2004000300009>
- 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. (2016). Sward structure and relationship between canopy height and light interception for tropical C4 grasses growing under trees. *Crop and Pasture Science*, 67(11), 1199–1207. <https://doi.org/10.1071/CP16067>
- Barro, R. S., Varella, A. C., Lemaire, G., de Medeiros, R. B., de Saibro, J. C., Nabinger, C., Bangel, F. V., & Carassai, I. J. (2012). Forage yield and nitrogen nutrition dynamics of warm-season native forage genotypes under two shading levels and in full sunlight. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(7), 1589–1597. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000700006>

- Bircham, J. S., & Hodgson, J. (1983). The influence of sward condition on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. *Grass and Forage Science*, 38(4), 323–331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1983.tb01656.x>
- Carrer, M. J., Maia, A. G., de Mello Brandão Vinholis, M., & de Souza Filho, H. M. (2020). Assessing the effectiveness of rural credit policy on the adoption of integrated crop-livestock systems in Brazil. *Land Use Policy*, 92(December 2019), 104468. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104468>
- Carvalho, A. L. S., Martuscello, J. A., De Almeida, O. G., Braz, T. G. D. S., Da Cunha, D. D. N. F. V., & Jank, L. (2017). Produção de pastos de capim-mombaça submetidos a alturas de resíduo. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 39(2), 143–148. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i2.34599>
- Carvalho, B. H. R., Segatto, B. N., Vasconcelos, K. A., Queiroz, G. J. S., Medica, J. A. S., & Santos, M. E. R. (2018). Morphology of young tillers of marandu palisadegrass arising in high or low canopy. *Veterinária Notícias*, 24(2), 57–71. <https://doi.org/10.14393/vtn-v24n2-2018.5>
- Castro, C. R. T., Garcia, R., Carvalho, M. M., & Couto, L. (1999). Produção Forrageira de Gramíneas Cultivadas sob Luminosidade Reduzida. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 28(5), 919–927. <https://doi.org/10.1590/s1516-35981999000500003>
- Cecato, U., Cano, C. C. P., Bortolo, M., Herling, V. R., Canto, M. W. do, & Castro, C. R. de C. (2001). Teores de carboidratos não-estruturais, nitrogênio total e peso de raízes em Coastcross-1 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) pastejado por ovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(3), 644–650. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982001000300006>
- Costa, P. M., Barbosa, F. A., Alvarenga, R. C., Guimarães, S. T., Lampeão, Â. A., Winkelströter, L. K., & Maciel, I. C. de F. (2017). Performance of crossbred steers post-weaned in an integrated crop-livestock system and finished in a feedlot. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(5), 355–365. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000500009>
- Cruz, Pablo. (1997). Effect of shade on the carbon and nitrogen allocation in a perennial tropical grass, *Dichanthium aristatum*. *Journal of Experimental Botany*, 48(306), 15–24. <https://doi.org/10.1093/jxb/48.1.15>.
- Dal-Pizzol, J. G., Biasiolo, R., Raupp, G. T., Baldissera, J. N. C., Almeida, E. X., & Ribeiro Filho, H. M. N. (2019). Consumo de forragem por ovinos ingerindo grama missioneira gigante com ou sem acesso a amendoim forrageiro. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 71(2), 623–630. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10404>
- Devkota, N. R., Kemp, P. D., Hodgson, J., & Agron Soc New Zealand; Agron Soc New, Z. (1997). Screening pasture species for shade tolerance. *Proceedings of*

*the Twenty-Seventh Annual Conference of the Agronomy Society of New Zealand, 27, 119–128.*

- Dodd, M. B., McGowan, A. W., Power, I. L., & Thorrold, B. S. (2005). Effects of variation in shade level, shade duration and light quality on perennial pastures. *New Zealand Journal of Agricultural Research, 48*(4), 531–543. <https://doi.org/10.1080/00288233.2005.9513686>
- Donaghy, D., Clarke, B., & North, P. (2016). *THE GRASS WHISPERERS - MAKING PASTURES PERFORM FOR YOU!* 1–14.
- Eriksen, F. I., & Whitney, A. S. (1981). Effects of Light Intensity on Growth of Some Tropical Forage Species. I. Interaction of Light Intensity and Nitrogen Fertilization on Six Forage Grasses 1. *Agronomy Journal, 73*(3), 427–433. <https://doi.org/10.2134/agronj1981.00021962007300030011x>
- Frank, D. A. (2007). Drought effects on above- and belowground production of a grazed temperate grassland ecosystem. *Oecologia, 152*(1), 131–139. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0632-8>
- Giacomini, A. A., Mattos, W. T. De, De, H. B., Werner, J. C., Antonio, E., & Carvalho, D. D. De. (2005). *Crescimento de Raízes dos Capins Aruana e Tanzânia Submetidos a Duas Doses de Root Mass and Growth from Aruanagrass and Tanzaniagrass under Nitrogen Rates.* 1109–1120.
- Gil, J. D. B., Garrett, R., & Berger, T. (2016). Determinants of crop-livestock integration in Brazil: Evidence from the household and regional levels. *Land Use Policy, 59*, 557–568. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.022>
- Gobbi, K. F., Garcia, R., Neto, A. F. G., Pereira, O. G., Ventrella, M. C., & Rocha, G. C. (2009). Características morfológicas, estruturais e produtividade do capimbraquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia, 38*(9), 1645–1654. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000900002>
- Gomes, F. J., Pedreira, C. G. S., Bosi, C., Cavalli, J., Holschuch, S. G., Mourão, G. B., Pereira, D. H., & Pedreira, B. C. (2019). Shading effects on marandu palisadegrass in a silvopastoral system: Plant morphological and physiological responses. *Agronomy Journal, 111*(5), 2332–2340. <https://doi.org/10.2134/agronj2019.01.0052>
- Gómez, S., Guenni, O., & Bravo de Guenni, L. (2012). 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, 68*(3), 395–407. <https://doi.org/10.1111/gfs.12002>
- Gommers, C. M. M., Visser, E. J. W., Onge, K. R. S., Voeselek, L. A. C. J., & Pierik, R. (2013). Shade tolerance: When growing tall is not an option. *Trends in Plant Science, 18*(2), 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.008>

- Guenni, O., Seiter, S., & Figueroa, R. (2008). Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. *Tropical Grasslands*, 42(2), 75–87.
- Hanisch, A. L., Dalgallo, D., Almeida, E. X. de, & Negrelle, R. R. B. (2016). Desempenho e composição química de missioneira-gigante cultivada em sistema silvipastoril tradicional em duas alturas de pastejo. *Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 59(4), 345–351. <https://doi.org/10.4322/rca.2421>
- Kirchner, R., Soares, A. B., Sartor, L. R., Adami, P. F., Migliorini, F., & Fonseca, L. (2010). Desempenho de forrageiras hibernais sob distintos níveis de luminosidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(11), 2371–2379. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001100009>
- Kunrath, T. R., Nunes, P. A. de A., de Souza Filho, W., Cadenazzi, M., Bremm, C., Martins, A. P., & Carvalho, P. C. de F. (2020). Sward height determines pasture production and animal performance in a long-term soybean-beef cattle integrated system. *Agricultural Systems*, 177(September 2019), 102716. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102716>
- Lemaire, G., Franzluebbers, A., Carvalho, P. C. de F., & Dedieu, B. (2013). Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 190, 4–8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>
- Lima, M. A., Paciullo, D. S. C., Morenz, M. J. F., Gomide, C. A. M., Rodrigues, R. A. R., & Chizzotti, F. H. M. (2018). Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system. *Grass and Forage Science*, 74(1), 160–170. <https://doi.org/10.1111/gfs.12395>
- Lima, M. A., Paciullo, D. S. C., Silva, F. F., Morenz, M. J. F., Gomide, C. A. M., Rodrigues, R. A. R., Bretas, I. L., & Chizzotti, F. H. M. (2019). Evaluation of a long-established silvopastoral *Brachiaria decumbens* system: Plant characteristics and feeding value for cattle. *Crop and Pasture Science*, 70(9), 814–825. <https://doi.org/10.1071/CP19027>
- Lin, C. H., McGraw, M. L., George, M. F., & Garrett, H. E. (2001). Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. *Agroforestry Systems*, 53(3), 269–281. <https://doi.org/10.1023/A:1013323409839>
- Lopes, C. M., Paciullo, D. S. C., Araújo, S. A. C., Gomide, C. A. M., Morenz, M. J. F., & Villela, S. D. J. (2017). Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 69(1), 225–233. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9201>
- Martínez-García, J. F., Galstyan, A., Salla-Martret, M., Cifuentes-Esquivel, N., Gallemí, M., & Bou-Torrent, J. (2010). Regulatory Components of Shade

- Avoidance Syndrome. *Advances in Botanical Research*, 53(C), 65–116. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(10\)53003-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(10)53003-9)
- Martins, C. D. M., Schmitt, D., Duchini, P. G., Miqueloto, T., & Sbrissia, A. F. (2019). Defoliation intensity and leaf area index recovery in defoliated swards: implications for forage accumulation. *Scientia Agricola*, 78(2). <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2019-0095>
- Massimino, D., André, M., Richaud, C., Daguene, A., Massimino, J., & Vivoli, J. (1981). The effect of a day at low irradiance of a maize crop: I. Root respiration and uptake of N, P and K. *Physiologia Plantarum*, 51(1), 150–155. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1981.tb00894.x>
- Miranda, M., Scheffer-Basso, S. M., Escosteguy, P. A. V., Lajús, C. R., Scherer, E. E., & Denardin, R. B. N. (2012). Dry matter production and nitrogen use efficiency of giant missionary grass in response to pig slurry application. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(3), 537–543. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000300009>
- Moraes, A., Carvalho, P. C. de F., Crusciol, C. A. C., Lang, C. R., Pariz, C. M., Deiss, L., & Mark Sulc, R. (2018). Integrated crop-livestock systems as a solution facing the destruction of pampa and cerrado biomes in south america by intensive monoculture systems. *Agroecosystem Diversity: Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality*, 257–273. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00016-9>
- Neel, J. P. S., Felton, E. E. D., Singh, S., Sexstone, A. J., & Belesky, D. P. (2015). Open pasture, silvopasture and sward herbage maturity effects on nutritive value and fermentation characteristics of cool-season pasture. *Grass and Forage Science*, 71(2), 259–269. <https://doi.org/10.1111/gfs.12172>
- Neel, J. P. S., & Belesky, D. P. (2015). Herbage production, nutritive value and animal productivity within hardwood silvopasture, open and mixed pasture systems in Appalachia, United States. *Grass and Forage Science*, 72(1), 137–153. <https://doi.org/10.1111/gfs.12211>
- Novoplansky, A. (2009). Picking battles wisely: Plant behaviour under competition. *Plant, Cell and Environment*, 32(6), 726–741. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01979.x>
- Oliveira, F. L. R., Mota, V. A., Ramos, M. S., Santos, L. D. T., de Oliveira, N. J. F., & Geraseev, L. C. (2013). Performance of *Andropogon gayanus* and *Panicum maximum* cv. “Tanzania” in the shading. *Ciencia Rural*, 43(2), 348–354. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000200026>
- Oliveira Júnior, O. L., Carnevalli, R. A., Peres, A. A. C., Reis, J. C., Moraes, M. C. M., & Pedreira, B. C. (2016). Análise econômico-financeira de sistemas integrados para a produção de novilhas leiteiras. *Archivos de Zootecnia*, 65(250), 203–212. <https://doi.org/10.21071/az.v65i250.489>

- Oliveira, F. L., Souto, S. M. (2001). Efeito do sombreamento no crescimento inicial de gramíneas forrageiras tropicais. *Pesquisa agropecuária gaúcha*, 7(2), 221-226.
- Pachas, A. N. A., Jacobo, E. J., Goldfarb, M. C., & Lacorte, S. M. (2014). Response of *Axonopus catarinensis* and *Arachis pintoi* to shade conditions. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 2(1), 111–112. [https://doi.org/10.17138/tgft\(2\)111-112](https://doi.org/10.17138/tgft(2)111-112)
- Paciullo, D. S. C., Castro, C. R. T. de, Gomide, C. A. de M., Fernandes, P. B., Rocha, W. S. D. da, Müller, M. D., & Rossiello, R. O. P. (2010). Soil bulk density and biomass partitioning of *Brachiaria decumbens* in a silvopastoral system. *Scientia Agricola*, 67(5), 598–603. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162010000500014>
- 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. (2014). Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal*, 8(8), 1264–1271. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000767>
- Paciullo, D. S. C., Gomide, C. A. M., Castro, C. R. T., Maurício, R. M., Fernandes, P. B., & Morenz, M. J. F. (2017). Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. *Grass and Forage Science*, 72(3), 590–600. <https://doi.org/10.1111/gfs.12264>
- Piazzetta, H. V. L., De Moraes, A., Ribeiro, T. M. D., Sandini, I. E., Lustosa, S. B. C., & Pelissari, A. (2014). Pastejo e nitrogênio sobre o crescimento de raízes na mistura de aveia preta e azevém. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(4), 2749–2765. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n4Suplp2749>
- Poczynek, M., Neumann, M., Horst, E. H., Leão, G. F. M., & Ueno, R. K. (2016). Capacidade produtiva e qualidade nutricional de gramíneas perenes submetidas a sistema contínuo de cortes [Productive capacity and nutritional quality of different perennial grasses submitted to a continued cuts system]. *Arg. Bras. Med. Vet. Zootec*, 68(3), 785794. <https://doi.org/10.1590/167841628768>
- 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. (2016). Interactive effects of trees and nitrogen supply on the agronomic characteristics of warm-climate grasses. *Agronomy Journal*, 108(4), 1531–1541. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0565>
- R Development Core Team. 2019. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rego, F. C. de A., Cecato, U., Damasceno, J. C., Ribas, N. P., Santos, G. T. dos, Moreira, F. B., & Rodrigues, A. M. (2003). Valor nutritivo do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq cv. Tanzânia-1) manejado em alturas de pastejo. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 25(2), 363–370. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v25i2.205>

- Samarakoon, S. P., Wilson, J. R. & Shelton, H. M. (1990). Growth, morphology and nutritive quality of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus* and *Pennisetum clandestinum*. *The Journal of Agricultural Science*, 114(2), 161–169. <https://doi.org/10.1017/S0021859600072154>
- Santos, E. A. dos, Silva, D. S. da, & Queiroz Filho, J. L. de. (2001). Perfilhamento e algumas características morfológicas do capim-elefante cv. Roxo sob quatro alturas de corte em duas épocas do ano. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(1), 24–30. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982001000100005>
- Sbrissia, A. F., Duchini, P. G., Zanini, G. D., Santos, G. T., Padilha, D. A., & Schmitt, D. (2018). Defoliation strategies in pastures submitted to intermittent stocking method: Underlying mechanisms buffering forage accumulation over a range of grazing heights. *Crop Science*, 58(2), 945–954. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.07.0447>
- Silva, V. J., Pedreira, C. G. S., Sollenberger, L. E., Silva, L. S., Yasuoka, J. I., & Almeida, I. C. L. (2016). Canopy height and nitrogen affect herbage accumulation, nutritive value, and grazing efficiency of 'Mulato II' brachiariagrass. *Crop Science*, 56(4), 2054–2061. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.12.0764>
- Smith, H., & Whitelam, G. C. (1997). The shade avoidance syndrome: Multiple responses mediated by multiple phytochromes. *Plant, Cell and Environment*, 20(6), 840–844. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-104.x>
- Soares, A. B., Sartor, L. R., Adami, P. F., Varella, A. C., Fonseca, L., & Mezzalira, J. C. (2009). Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(3), 443–451. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982009000300007>
- Soares, A. B., Bernardon, A., & Aiolfi, R. B. (2016). Forage yield, rate of CO<sub>2</sub> assimilation, and quality of temperate annual forage species grown under artificial shading conditions. *Ciência Rural*, 46(6), 1064–1069. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141779>
- Sousa, L. F., Maurício, R. M., Gonçalves, L. C., Saliba, E. O. S., Moreira, G. R. (2007). Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em um sistema silvipastoril. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 59(4), 1029-1037.
- Tesk, C. R. M., Pedreira, B. C., Pereira, D. H., Pina, D. S., Ramos, T. A., & Mombach, M. A. (2018). Impact of grazing management on forage qualitative characteristics: a review. *Scientific Electronic Archives*, 11(5), 188. <https://doi.org/10.36560/1152018667>
- Thornton, B., & Millard, P. (1996). Effects of severity of defoliation on root functioning in grasses. *Journal of Range Management*, 49(5), 443–447. <https://doi.org/10.2307/4002927>

- Valladares, F., & Niinemets, Ü. (2008). Shade Tolerance, a Key Plant Feature of Complex Nature and Consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39(1), 237–257.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173506>
- Valls, J. F. M.; Santos, S.; Tcacenco, F. A. Galdeano, F. (2000). A grama missioneira gigante: híbrido entre duas forrageiras cultivadas do gênero *Axonopus* (Gramineae). *Genetics and Molecular Biology*, 23(3), 388.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583–3597.  
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Varella, A. C., Moot, D. J., Pollock, K. M., Peri, P. L., & Lucas, R. J. (2010). Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system? *Agroforestry Systems*, 81(2), 157–173.  
<https://doi.org/10.1007/s10457-010-9319-6>
- Wilson, C. H., Vendramini, J. M., Sollenberger, L. E., & Flory, S. L. (2019). Root production in a subtropical pasture is mediated by cultivar and defoliation severity. *BioRxiv*, 763128. <https://doi.org/10.1101/763128>
- WONG, C. C. Shade Tolerance of Tropical Forages: A Review. In: SHELTON, H. M.; STILR, W. W. Forages for Plantation Crops. Sanur Beach: ACIAR Proceedings, 1991. p. 62 – 69.
- Wong, C. C., Rahim, H. & Mohd. Sharudin, M.A. (1980). Shade tolerance potential of some tropical forages for integration with plantations 1. Grasses. *MARDI Res. Bull*, 13(3), 225-217.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta tese mostraram que a grama missioneira-gigante apresenta algumas respostas morfológicas e estruturais características de plantas que competem por luz. O sombreamento resultou basicamente na redução da densidade populacional de perfilhos, aumento da área foliar específica, pequena redução do ângulo foliar e aumento da área de folhas por perfilho, porém, não alcançou a compensação no índice de área foliar tal como observado nas plantas em pleno sol. É importante ressaltar que não houve interações importantes entre os ambientes luminosos e as metas de manejo. Quanto as interações que ocorreram, demonstraram que em uma faixa intermediária de metas testadas, as respostas foram semelhantes entre os ambientes luminosos. Quanto às metas de manejo estudadas, a grama missioneira-gigante respondeu de forma característica de acordo com as alturas de corte inicial e não apresentou alterações significativas em ampla faixa de intensidades de desfolha. No entanto, independentemente das respostas morfofisiológicas e estruturais observadas, a produção relativa média foi reduzida proporcionalmente à diminuição da intensidade luminosa. Isso evidencia que a redução da quantidade de luz (fluxo de fótons) é um parâmetro capital na avaliação de espécies forrageiras tolerantes à sombra, devido ao seu impacto na assimilação de carbono pela fotossíntese, no acúmulo de massa acima e abaixo do solo e na partição de carboidratos.

Foi possível identificar que metas de manejo extremas, como 15 e 45 cm de altura e 80% de intensidade de desfolha devem ser evitadas para a grama missioneira-gigante independentemente do ambiente luminoso. Estas metas de manejo impactam negativamente na massa de raízes, densidade de folhas e interceptação luminosa, na composição química e densidade de colmos, utilização da massa de forragem produzida e na densidade populacional de perfilhos. Com base nas principais respostas da grama missioneira-gigante à restrição da luminosidade e às metas de manejo, não foi possível identificar evidências que confirmassem as hipóteses iniciais do trabalho. Isso mostra, além da flexibilidade de manejo (faixa de altura entre 25 e 35 cm e de intensidades de desfolha entre 40 e 60% da altura inicial), que em níveis moderados de sombreamento (igual a 50% de restrição luminosa) é possível utilizar metas de manejo semelhantes às utilizadas para pleno sol. Mesmo metas de manejo específicas, como aplicação de 40% de

intensidade de desfolha, pode ser sugerida para ambos os ambientes luminosos sob diferentes perspectivas. Nesta meta de manejo ao sol, a partir do estímulo do sistema radicular, as condições de absorção de água, nutrientes e a capacidade de superar períodos de déficit hídrico podem ser potencializadas. Já em ambiente com sombreado, esta intensidade permite a não penalização do sistema radicular e consequentemente a persistência da grama missioneira-gigante ao longo do tempo sob desfolhas frequentes, além da manutenção de capacidade de crescimento e acúmulo de forragem proporcionais a quantidade de radiação disponível.

A obtenção de dados em ambiente artificial e com ampla combinação de alturas e intensidades de desfolha, permitiu a identificação de metas de manejo flexíveis para a grama missioneira-gigante em pleno sol e para ambiente sombreado. A flexibilidade de metas de manejo permite facilidades ao produtor e maior segurança no seu sistema produtivo, e os objetivos da produção (priorização de categorias, expectativa de desempenho, conforto térmico, por exemplo) passam a ser os balizadores da decisão de alturas e intensidades de desfolha dentro dos limites sugeridos.

Sugere-se que estas metas de altura de manejo em ambiente sombreado, bem como as intensidades de desfolha sugeridas para pleno sol e em ambiente com restrição de luz, sejam testadas em ambientes sombreados por árvores e com o uso de animais em pastejo. É prudente que estas recomendações sejam testadas nas condições naturais ao longo do tempo, pois o ambiente luminoso é alterado ao longo do crescimento do componente arbóreo e interage com as condições climáticas das estações ao longo de cada ano.