

## CAPÍTULO 2

### CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DAS PASTAGENS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

*Alan Figueiredo de Oliveira; Ângela Maria Quintão Lana; Lúcio Carlos Gonçalves; Matheus Anchieta Ramirez; Pamella Grossi de Sousa; Frederico Patrus Ananias de Assis Pires; Rafael Araújo de Menezes; Guilherme Lobato Menezes*

#### RESUMO

A integração pecuária-floresta é uma alternativa de sistema de produção agropecuária sustentável. Esse sistema é capaz de preservar a capacidade produtiva do solo, melhorar o bem-estar animal e diversificar a renda das propriedades em curto, médio e longo prazo. Entretanto, as alterações climáticas nos ambientes desses sistemas provocam modificações na estrutura e na produtividade do pasto. A menor radiação fotossinteticamente ativa que atinge o pasto é a principal causa das alterações morfológicas na altura das plantas, na área foliar específica, no comprimento da folha, no perfilhamento e no acúmulo de pigmentos. Além das alterações morfológicas, as pastagens geralmente reduzem sua produtividade com o aumento do adensamento das árvores e do sombreamento. Portanto, o conhecimento dessas alterações é fundamental para o estabelecimento de um adequado planejamento dos sistemas produtivos que buscam sinergismo entre preservação ambiental, maximização produtiva e alta rentabilidade.

#### INTRODUÇÃO

A partir da década de 1960, o Brasil passou por um processo de modernização da agricultura baseado na mecanização e quimificação dos processos produtivos, no plantio em monocultivo e na padronização técnica dos produtos. Essa modernização resultou em aumento expressivo da produção agropecuária, entretanto gerou impactos negativos nos âmbitos social, ambiental e econômico. Assim, os atuais sistemas integrados de produção agropecuária buscam conciliar um desenvolvimento sustentável ambientalmente correto, socialmente justo e viável economicamente (Lemaire *et al.*, 2013; Paciullo *et al.*, 2014; Alves *et al.*, 2017).

O sistema de integração pecuária-floresta (IPF) é constituído pelos componentes arbóreo, animal e pastagem. Esses componentes podem conter diferentes espécies, arranjos e intensidades de exploração (Salton *et al.*, 2014; Gil *et al.*, 2014). A interação espacial entre árvores, pastagens e animais gera novas relações no ambiente, no solo, na qualidade e quantidade de pasto e nos desempenhos animal e madeireiro (Cordeiro *et al.*, 2015; Guenni *et al.*, 2018). Os sistemas de IPF mais empregados no Brasil utilizam diferentes arranjos entre clones de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) como componente arbóreo e forrageiras tropicais do gênero *Urochloa* sp. e *Megathyrus* sp. Entretanto, outras espécies arbóreas e forrageiras exóticas ou nativas também podem ser utilizadas (Balbino *et al.*, 2011).

A presença das árvores nesses sistemas provoca alterações no microclima local, como aumento do sombreamento, reduções do vento e da temperatura e aumento da umidade. A produtividade e a morfologia das plantas forrageiras sob o sombreamento das árvores podem ser alteradas devido à menor radiação fotossinteticamente ativa (RFA) que atinge o pasto. Portanto, a densidade e as características das espécies arbóreas são os principais fatores que podem reduzir a produção das forrageiras (Paciullo *et al.*, 2011; Pezzopane *et al.*, 2020).

Os sistemas de IPF mais adensados apresentam reduções acentuadas das produtividades das pastagens (Paciullo *et al.*, 2011; Gomes *et al.*, 2019). Em sistemas que utilizam espaçamentos maiores, a redução da produtividade geralmente não é significativa (Vilela *et al.*, 2011; Nascimento *et al.*, 2019). Assim, o planejamento desse sistema deve considerar as estratégias comerciais do empreendimento rural para definir os arranjos técnicos do sistema a fim de beneficiar a pecuária com maiores espaçamentos ou a silvicultura com menores espaçamentos. Objetivou-se, com este capítulo, avaliar as características morfológicas e produtivas das forrageiras em diferentes sistemas de integração pecuária-floresta.

## **CONDIÇÕES CLIMÁTICAS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA**

As condições climáticas em sistemas de integração pecuária-floresta sofrem influência dos arranjos e dos tipos das árvores. A temperatura, a radiação e a velocidade do vento constituem os principais indicadores que são reduzidos em sistemas sob sombreamento (Tabela 1) (Baliscei *et al.*, 2013).

**Tabela 1.** Valores médios de temperatura do ar (TA), umidade relativa (UR), temperatura em globo negro (TGP), velocidade do vento (VV), índice de umidade em globo negro (IUGP), índice de carga térmica (ICT) e carga térmica radiante (CTR) em IPF e em pleno sol

Variáveis	IPF	Pleno sol
TA (°C)	21,2a	21,2a
UR (%)	66,4a	66,3a
TGP (°C)	24,7b	26,4a
VV (m/s)	3,1b	4,5a
IUGP	71,8b	73,8a
ICT	74,5b	76,1a
CTR (W/m <sup>2</sup> )	526,4b	595,8a

Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância. Fonte: Adaptado de Baliscei *et al.* (2013).

A radiação incidente que atinge o pasto varia entre as épocas do ano e o adensamento das árvores. A máxima radiação incidente em um sistema de IPF foi de 856  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a 14,8 m das árvores de eucalipto no inverno e de 1.788  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  a 12,5 m das árvores no verão (Paciullo *et al.*, 2011). A RFA foi 21,9% menor em um sistema silvipastoril com *U. brizantha* cv. Piatã com 12 metros entre renques e 39,5% menor com 22 metros entre renques em relação ao pleno sol (Santos *et al.*, 2018). Sousa *et al.* (2010) encontraram sombreamento de 62% em um sistema silvipastoril formado por 140 árvores/ha de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) e *U. brizantha* cv. Marandu. A RFA foi de 475  $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$  na IPF e de 1.211  $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$  no pleno sol. Os valores médios de temperatura máxima foram 38,3 °C no pleno sol e 36,0 °C na IPF, uma redução de 2,3 °C. Em condições tropicais, os animais criados em pasto sofrem efeito negativo do estresse térmico, principalmente no verão. As menores radiação e temperatura nos sistemas silvipastoris fornecem melhor ambiência aos animais e possibilitam melhores desempenhos produtivos individuais.

Pezzopane *et al.* (2015) encontraram maior ( $p < 0,05$ ) RFA no pleno sol (7,6 MJ/m<sup>2</sup>/dia) em relação a dois (4,6 MJ/m<sup>2</sup>/dia) e a 8,5 metros do renque das árvores (7,0 MJ/m<sup>2</sup>/dia) em um sistema de IPF formado pela *U. decumbens* cv. Basilisk e as árvores nativas *Anadenanthera colubrina*, *Peltophorum dubium*, *Zeyheria tuberculosa*, *Cariniana estrellensis* e *Piptadenia gonoacantha*. A velocidade do vento foi maior ( $p < 0,05$ ) no pleno sol (1,5 m/s) em relação aos sistemas de IPF (0,7 m/s), uma redução de 47%. Essas diferenças entre o pleno sol e os sistemas silvipastoris promovem proteção para os animais contra o calor ou o frio extremos, fato que pode melhorar o desempenho animal individual nessas áreas. Os autores ainda encontraram maior remoção de umidade

do solo sob o bosque das árvores em relação ao meio das linhas devido à extração causada pelas raízes. Essa maior extração de umidade pode ajudar a explicar a menor produtividade das forrageiras sob o bosque das árvores em decorrência da competição por água.

Valores semelhantes foram encontrados por Soares *et al.* (2009) com RFA três vezes menor na IPF com 15 metros entre renques de eucalipto e três metros entre plantas (2,1 MJ/m<sup>2</sup>/dia) e seis vezes menor na IPF com nove metros entre renques e três metros entre plantas (1,1 MJ/m<sup>2</sup>/dia) em relação à radiação no pleno sol (6,3 MJ/m<sup>2</sup>/dia). A velocidade máxima do vento foi maior no pleno sol (1,8 m/s) em relação à IPF com 15 (1,1 m/s) e nove metros (0,8 m/s) entre renques. A temperatura do solo foi menor nos sistemas silvipastoris, fato que explica a manutenção de maior teor de umidade no solo e maior taxa de decomposição da matéria orgânica nesses sistemas.

Kirchner *et al.* (2010) avaliaram cinco gramíneas temperadas em pleno sol e em dois sistemas de IPF com *Pinus taeda* espaçados de 15 e nove metros entre renques e encontraram menores velocidade do vento, temperatura do solo, umidade relativa média do ar, radiação total incidente e radiação fotossinteticamente ativa nos sistemas de IPF em relação ao pleno sol. A umidade do solo aumentou ( $p < 0,05$ ) em 5,7 e 4,1% nos espaçamentos com 15 e nove metros entre renques em relação ao pleno sol (Tabela 2).

**Tabela 2.** Variáveis climáticas e umidade do solo em sistemas de IPF formados por forrageiras temperadas e *Pinus taeda*

Variável	Sistemas					
	Pleno sol		15 m entre renques		9 m entre renques	
	07/06	03/07	07/06	03/07	07/06	03/07
Velocidade máxima do vento (m/s)	6,4	1,8	2,9	1,1	2,7	0,8
Temperatura do solo (°C)	15,9	24,3	16,0	21,9	15,2	21,7
Umidade relativa do ar (%)	74,7	78,0	65,5	75,5	70,6	80,9
Radiação global total (MJ/m <sup>2</sup> /dia)	10,8	18,8	6,5	8,3	1,1	2,7
RFA (MJ/m <sup>2</sup> /dia)	5,3	6,3	3,7	2,1	1,1	1,1
Umidade do solo (%)	—	21,5b	—	27,2a	—	25,6a

Médias seguidas de letras distintas diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância. Fonte: Adaptado de Kirchner *et al.* (2010).

Além da quantidade de radiação que atinge o pasto, a qualidade da radiação medida pela relação vermelho/vermelho longe é um importante fator que influencia a produtividade das pastagens. Rodrigues *et al.* (2014) avaliaram três arranjos de IPF e encontraram maior relação vermelho/vermelho longe no centro dos renques (1,085) em relação à posição imediatamente ao lado das árvores (0,626). Esses resultados

demonstram que a competição por luz entre árvores e forrageiras ocorre em quantidade e em qualidade, fato que auxilia na explicação da queda de produtividade dos pastos em IPF.

Kirchner *et al.* (2010) encontraram maior potencial hídrico ( $\psi_w$ ) em plantas de trevo-branco e ervilhaca sombreadas em relação ao pleno sol. Segundo os autores, o aumento do potencial hídrico é indicativo da diminuição da evapotranspiração das plantas e, junto com a maior umidade do solo, confere maior tolerância às estiagens. Essa observação é importante para explicar o aumento da produtividade de algumas forrageiras em IPF em sistemas implantados em regiões que apresentam baixos índices pluviométricos.

### **CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS PLANTAS FORRAGEIRAS EM INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA**

A densidade de perfilhos apresenta maiores valores na época chuvosa em relação à época seca. Paciullo *et al.* (2011) encontraram maior ( $p < 0,05$ ) perfilhamento na *U. decumbens* em IPF no verão (450 perfilhos/m<sup>2</sup>) em relação ao inverno (258 perfilhos/m<sup>2</sup>) com número máximo de 392 perfilhos/m<sup>2</sup> a 9,1 m de distância das árvores. Essa variação pode ser atribuída às modificações na morfogênese das plantas em razão das condições climáticas inerentes às estações do ano. A mesma tendência foi observada por Paciullo *et al.* (2016) no *M. maximum* cv. Massai e cv. Tanzânia, com redução do perfilhamento com o aumento do sombreamento.

Paciullo *et al.* (2008) encontraram mais perfilhos na *U. decumbens* no pleno sol e submetida a 18% de sombra em relação a 50% de sombra. Dados semelhantes foram encontrados por Gobbi *et al.* (2009), que obtiveram 1.533, 985 e 647 perfilhos/m<sup>2</sup> na *U. decumbens* cv. Basilisk submetida a 0, 50 e 70% de sombreamento, respectivamente. A redução da densidade de perfilhos pode estar relacionada ao direcionamento de fotoassimilados aos perfilhos existentes, em detrimento de novas gemas axilares. Outro fator que reduz o perfilhamento é a menor quantidade de radiação que penetra no dossel forrageiro e promove a ativação de gemas axilares e basais para formação de novos perfilhos. Um padrão semelhante foi encontrado por Belesky *et al.* (2011) para as gramíneas temperadas dátilo (*Dactylis glomerata*) e festuca-alta (*Festuca arundinacea*), que perfilharam mais no ambiente não sombreado em comparação com o ambiente sombreado.

As forrageiras cultivadas sob sombreamento tendem a aumentar a proporção e o tamanho dos colmos e suas alturas. Esse comportamento foi observado por Geremia *et al.* (2018), em cujo trabalho a *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol foi mais baixa e apresentou maior relação folha/colmo em relação à IPF com média e alta densidade de árvores de eucalipto. Além disso, as alturas pós-pastejo foram maiores nos sistemas de IPF, que, junto ao menor volume de folhas, geram pior dinâmica de pastejo para os animais e dificultam o manejo do pasto.

Sousa *et al.* (2010) não encontraram variação na relação folha/colmo na *U. brizantha* cv. Marandu em IPF e em pleno sol. Entretanto, a altura das plantas foi maior ( $p < 0,05$ ) sob a sombra (50,0 cm) em relação ao pleno sol (43,3 cm). Essa variação pode ser atribuída ao estiolamento da planta em condições de sombreamento para buscar mais luz. Comportamento semelhante foi verificado por Gobbi *et al.* (2009), que encontraram alturas de 37, 55 e 53 cm na *U. decumbens* cv. Basilisk e de 8, 12 e 12 cm no *Arachis pintoii* cv. Amarillo submetidos a 0, 50 e 70% de sombreamento, respectivamente. Segundo os autores, o aumento da altura do dossel das plantas sob sombra foi diretamente relacionado aos maiores comprimentos do pecíolo, do colmo e da lâmina foliar das plantas. A falta de variação entre 50 e 70% de sombreamento pode ser atribuída ao aumento da área e da curvatura das folhas em condições de maior sombreamento. Santos *et al.* (2018) também atribuíram a menor participação da folha na IPF ao estiolamento da planta.

Gobbi *et al.* (2009) observaram área foliar específica de 210,1, 280,8 e 293,3  $\text{cm}^2/\text{g}$  na *U. decumbens* cv. Basilisk e comprimento de pecíolo de 4,4, 5,8 e 6,2 cm e área foliar específica de 227,4, 268,9 e 284,7  $\text{cm}^2/\text{g}$  no *Arachis pintoii* cv. Amarillo submetidos a 0, 50 e 70% de sombreamento, respectivamente. Essas alterações morfológicas objetivam compensar a deficiência de luz e manter a capacidade fotossintética da planta.

Resultados semelhantes foram encontrados por Santos *et al.* (2016), com maior ( $p < 0,05$ ) índice de área foliar (IAF) na *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol (2,5) em relação ao sistema com 12 metros entre renques (1,6), provavelmente devido à menor densidade de perfilhos e à produtividade por área. Entretanto, a área foliar específica foi maior ( $p < 0,05$ ) na IPF com 12 metros (184,6  $\text{cm}^2/\text{g}$ ) em relação à IPF com 22 metros (162,3  $\text{cm}^2/\text{g}$ ) e ao pleno sol (145,3  $\text{cm}^2/\text{g}$ ). Em condições de sombreamento, as folhas apresentam menos tecido de suporte e menor número de células mesófilas por unidade de área, o que resulta em folhas mais finas e com maior área foliar específica.

Santos *et al.* (2018) constataram densidade de forragem de 96 kg ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> no pleno sol, de 58kg ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> na IPF com 22 metros entre renques e de 38 kg ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> na IPF com 12 metros entre renques. A densidade no pleno sol foi 65,5 e 152,6% maior (p<0,05) que na IPF com 22 e 12 metros entre renques. A menor densidade de forragem em sistemas sombreados ocorre em razão da maior altura, do menor número de perfilhos e da menor produção por área. Essas características podem influenciar o comportamento de pastejo e o desempenho dos animais, uma vez que estes passam mais tempo caminhando à procura de forragem no pasto.

Garcez Neto *et al.* (2010) avaliaram a aclimação das forrageiras temperadas azevém-perene (*Lolium perenne* cv. Nui), dátilo (*Dactylis glomerata* cv. Vision) e trevo-vermelho (*Trifolium pratense* cv. Pawera) em resposta a quatro níveis (0, 25, 50 e 75%) de sombreamento e encontraram aumentos entre 22 e 79% na área foliar específica em resposta aos níveis de sombreamento. Além disso, os comprimentos das lâminas foliares aumentaram com o aumento do sombreamento. Comportamento semelhante foi encontrado por Abraham *et al.* (2014) para o dátilo em que o aumento do sombreamento tornou as folhas mais longas e finas, o que resultou em maior área foliar específica. Aumentos nos tamanhos do colmo e da lâmina foliar também foram encontrados por Paciullo *et al.* (2008) na *U. decumbens* submetida a 50% de sombreamento.

As plantas sob o sombreamento moderado apresentam adaptações na relação parte área/raiz com o objetivo de aumentar a proporção de folhas e aumentar a capacidade de fotossíntese. Martuscello *et al.* (2009) encontraram redução na produção de raízes em três espécies de *Urochloa* sp. com resposta linear (p<0,05) ao aumento do nível de sombreamento entre 0 e 70%. Segundo os autores, essa redução no crescimento das raízes afeta diretamente a capacidade de captar água e nutrientes para a planta, podendo reduzir seu acúmulo de forragem.

No mesmo trabalho, os autores avaliaram a intensidade do verde das folhas com o medidor portátil SPAD-502 e encontraram resposta linear e positiva (p<0,05) aos níveis de sombreamento; ou seja, quanto maior o nível de sombreamento, maior a intensidade do verde. Os autores afirmaram que as folhas que se desenvolvem sob sombra moderada apresentam maiores concentrações relativas de clorofila b. Esse aumento pode permitir maior eficiência na absorção de luz menos intensa e manter a taxa fotossintética e o acúmulo de forragem. Resultados semelhantes foram encontrados por Lopes *et al.* (2017), que observaram maior (p=0,0365) teor de clorofila na *U. decumbens* sob 70% de sombreamento em relação a 20% de sombreamento e ao pleno sol.

Outra adaptação de plantas em sombreamento é o menor ponto de compensação de luz do que plantas expostas ao sol pleno. Segundo Guenni *et al.* (2008), as plantas do gênero *Urochloa* sp. apresentam baixa respiração no escuro e baixo ponto de compensação de luz. Essas características possibilitam a manutenção do balanço de carbono positivo sob condições de luminosidade reduzida.

## **PRODUTIVIDADE DE FORRAGEIRAS EM AMBIENTES SOMBREADOS CONTROLADOS E COM DIFERENTES NÍVEIS DE FERTILIZAÇÃO**

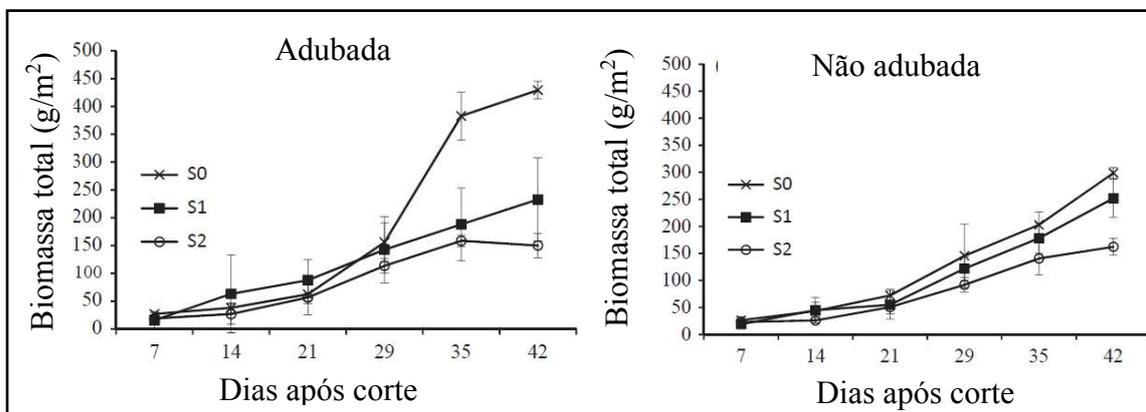
A avaliação de forrageiras em ambientes controlados possui as vantagens de melhor controle das condições ambientais, menor custo das avaliações e menor tempo para observação dos resultados. Gómez *et al.* (2012) utilizaram uma lâmina de polietileno para limitar a radiação que atingia a *U. decumbens* e encontraram maior taxa de fotossíntese com 100% de radiação em relação a 50 e 30%. As produções médias de forragem foram 34 e 57% menores com 50 e 30% de radiação. A redução da produção entre 100 e 30% de radiação aos 35 dias de crescimento foi de 49% e, aos 42 dias de crescimento, a redução foi de 57%, fato que demonstra a menor produção devido à menor taxa de fotossíntese e ao acúmulo de forragem.

Nesse mesmo trabalho, quando as plantas foram adubadas com 70 kg/ha de ureia, o aumento da produção no tratamento sem sombreamento foi ainda maior que nos tratamentos sombreados (Gráfico 1). Esses dados sugerem que a menor taxa de fotossíntese nas plantas com menor radiação reduz a capacidade de resposta a solos com maior disponibilidade de nutrientes. Reis *et al.* (2013) encontraram efeito linear na produção de matéria seca (PMS) da *U. brizantha* cv. Marandu submetida a quatro níveis (0, 47, 53 e 66%) de sombreamento artificial, em que um aumento de 20% no sombreamento reduziu em 10% a produção de matéria seca.

Resultados semelhantes foram observados por Lopes *et al.* (2017), que avaliaram a *U. decumbens* no pleno sol e nos sombreamentos de 20 e 70% com o uso ou não de fertilização (80 kg/ha de N e K<sub>2</sub>O e 60 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). As produções de massa seca total foram de 1.857 e 2.370 kg/ha no pleno sol sem e com adubação, de 1.627 e 2.015 kg/ha com 20% de sombreamento sem e com adubação e de 1.001 e 956 com 70% de sombreamento sem e com adubação. A forrageira respondeu à adubação no pleno sol e com sombreamento moderado com maior produção ( $p < 0,05$ ), porém, com o sombreamento intenso, não houve resposta ( $p > 0,05$ ) à adubação. Pandey *et al.* (2011) encontraram maiores produções no *M. maximum*, *U. mutica* e *Pennisetum purpureum*

com doses crescentes de nitrogênio (0, 60, 80 e 120 kg/ha) mesmo sob o sombreamento natural de árvores de coco (*Cocos nucifera*). Esses resultados podem estar ligados ao menor sombreamento neste trabalho, que atingiu valor máximo de 59%.

**Gráfico 1.** Produção de matéria seca da *U. decumbens* adubada e não adubada sob diferentes intensidades de luz (S0: 100% de luz, S1: 50% de luz e S2: 30% de luz)



Fonte: Adaptado de Gómez *et al.* (2012).

As produtividades das forrageiras em IPF sofrem influência direta da RFA que atinge as plantas. Em sistemas com alto adensamento e/ou que utilizam árvores com copas grandes, há uma drástica redução na taxa de fotossíntese e na produção de forragem. Segundo Martuscello *et al.* (2009), as forragens do gênero *Megathyrsus* sp. apresentam maior tolerância ao sombreamento que as do gênero *Urochloa* sp. Além disso, as plantas com crescimento cespitoso são mais tolerantes que as plantas com crescimento decumbente, possivelmente pela maior facilidade de alongar o colmo e de buscar a luz.

### PRODUTIVIDADE DA *U. DECUMBENS* EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA

Paciullo *et al.* (2011) avaliaram a produção da *U. decumbens* em diferentes distâncias do renque das árvores (0, 3, 6, 9, 12 e 15 metros) e encontraram maior produção de massa seca de forragem verde, massa seca de forragem morta e massa seca de forragem total em 10,4, 14,8 e 12,9 metros de distância das árvores. Os sombreamentos de 60% sob as árvores e de 43% a três metros de distância das árvores são considerados excessivos para o adequado crescimento das gramíneas do gênero *Urochloa* sp. O sombreamento a partir de seis metros do renque das árvores é considerado moderado (Guenni *et al.*, 2008).

Lopes *et al.* (2017) avaliaram a produtividade da *U. decumbens* em monocultivo e em IPF com renques de eucalipto formados por quatro linhas com três metros entre linhas, três metros entre plantas e 30 metros entre renques. Como resultado, os autores encontraram maior ( $p < 0,05$ ) produção de matéria seca digestível no pleno sol (1.917

kg/ha). Em comparação com a produção observada a 10 metros de distância das árvores, houve uma redução de 15,8% (1.614 kg/ha) e, em comparação com a produção obtida sob a copa das árvores, a redução foi de 59,5% (776 kg/ha).

Segundo Paciullo *et al.* (2011), é difícil conciliar o máximo benefício do sombreamento em relação ao aumento do teor proteico do pasto e a redução da taxa de acúmulo de forragem. O sombreamento superior a 30% a até 6 m de distância do renque das árvores propiciou maior teor proteico na forragem, mas foi prejudicial ao perfilhamento e ao acúmulo de forragem. Nesse trabalho, os autores indicaram espaçamentos entre 14 e 18 m entre renques devido às maiores taxas de acúmulo de PB e de matéria seca (MS) estimadas a, aproximadamente, 7 e 9 m de distância dos renques. Dessa forma, seria possível obter melhores rendimentos pecuários e madeireiros em relação a sistemas com outros espaçamentos.

Em pastagens de *Urochloa* sp. com sombreamento moderado (redução de 25 a 35% da RFA), têm-se obtido produções de forragem semelhantes ou maiores do que em pleno sol. Nessas condições, as plantas apresentam ajustes morfofisiológicos, como aumentos da relação parte aérea/raiz, da área foliar específica, da taxa de alongamento foliar (Paciullo *et al.*, 2008) e dos alongamentos de caules, de pecíolos e de entrenós (Gobbi *et al.*, 2009), que permitem a manutenção da produtividade. Em locais sombreados, o maior teor de umidade no solo associado à temperatura moderada pode aumentar a decomposição da matéria orgânica e a taxa de mineralização e ciclagem de nitrogênio. Essas características podem aumentar a produção de forragem em locais sombreados em regiões onde há rigoroso déficit hídrico.

Paciullo *et al.* (2009) avaliaram a *U. decumbens* consorciada com *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão em IPF com o *Eucalyptus grandis* e as leguminosas arbóreas *Acacia mangium*, *Acacia angustissima*, *Mimosa artemisiana* em renques formados por quatro linhas (uma linha de cada espécie arbórea) espaçadas de 3 metros entre linhas, 3 metros entre plantas e 30 metros entre renques, e não encontraram diferença ( $p > 0,05$ ) de produtividade na *U. decumbens* em relação ao pleno sol. Entretanto, houve diferença ( $p < 0,05$ ) entre as épocas do ano, com produção de 1.525 kg MS ha<sup>-1</sup> no verão e de 964 kg MS ha<sup>-1</sup> no inverno. A inserção da leguminosa nas pastagens de gramíneas perenes objetiva maior fixação de nitrogênio e melhoria do teor de PB do pasto. Todavia, o estilosantes esteve presente na pastagem apenas na época seca, provavelmente em razão da baixa tolerância ao sombreamento, da baixa capacidade de ressemeadura natural, da preferência animal e da competição com a gramínea.

Os principais arranjos de IPF no Brasil são formados por eucalipto e diferentes espécies de forrageira do gênero *Urochloa* sp. Entretanto, a utilização de espécies nativas também pode ser interessante nesses sistemas, sobretudo com o objetivo de realizar o reflorestamento natural de áreas nativas. Bosi *et al.* (2014) avaliaram a produtividade da *U. decumbens* cv. Basilisk em IPF formada por renques espaçados de 17 m com as árvores nativas angico-branco (*Anadenanthera colubrina*), canafistula (*Peltophorum dubium*), ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*), jequitibá-branco (*Cariniana estrellensis*), pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), mutambo (*Guazuma ulmifolia*) e capixingui (*Croton floribundus*). O comportamento produtivo foi semelhante aos arranjos com eucalipto, e os autores observaram redução da produtividade com níveis de sombra acima de 39%. Além disso, a produtividade a seis metros do renque foi maior que a dois metros dele.

### **PRODUTIVIDADE DA *U. BRIZANTHA* EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA**

Sousa *et al.* (2010), em um sistema de IPF composto de aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) com 140 árvores/ha e *U. brizantha* cv. Marandu, maior ( $p < 0,05$ ) observaram produção de matéria seca no pleno sol com 1,3 Mg/ha em relação à IPF com 1,1 Mg/ha, uma redução de 15,4%. Produções semelhantes foram encontradas por Sousa *et al.* (2007), em cujo trabalho a *U. brizantha* cv. Marandu em pleno sol (1,2 Mg/ha) foi superior ( $p > 0,05$ ) à IPF com a espécie arbórea bolsa-de-pastor (*Zeyheria tuberculosa*) com 160 árvores/ha (1,7 Mg/ha), uma redução de 29,41%.

Oliveira *et al.* (2014) encontraram produções de matéria seca na *U. brizantha* cv. Piatã de 7.274 kg MS/ha no pleno sol, de 4.781 kg MS/ha na IPF formada com eucalipto com 22 m entre renques e de 3.441 kg MS/ha na IPF com 14 m entre renques, o que representa reduções de 34,3 e 52,7%. Já Santos *et al.* (2016) observaram redução de 42,8 kg/ha de matéria seca de forragem na *U. brizantha* cv. Piatã a cada 1% de redução de RFA. O acúmulo de massa seca de forragem no período chuvoso foi maior ( $p < 0,05$ ) no pleno sol em relação à IPF com 12 (SSP12) e com 22 (SSP22) metros entre renques, o que representa reduções de 50,5% no SSP22 e de 67,5% no SSP12 (Tabela 3). A proximidade dos renques de eucalipto, a disputa por água, a redução da RFA e o plantio no sentido norte-sul foram citados como motivos para essa redução.

**Tabela 3.** Taxa de acúmulo (kg/ha/dia) e massa seca acumulada (kg/ha) do capim-piatã em área sem árvores (controle) e em sistema silvipastoril com *Eucalyptus urograndis*, com espaçamento entre renques de 22 m (SSP22) e 12 m (SSP12), nos períodos chuvoso e seco

Arranjo	Taxa de acúmulo (kg/ha/dia)		Massa seca acumulada (kg/ha)	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Controle	64,5Aa	15,0Ba	11664Aa	2044Ba
SSP22	31,1Ab	10,0Ba	5774Ab	1747Ba
SSP12	20,0Ab	7,3Ba	3796Ab	1186Ba

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha e minúscula na coluna, diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância. Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2016).

Na mesma área experimental, Santos *et al.* (2018) verificaram redução na RFA de 21,9% no SSP12 e de 39,5% no SSP22. A disponibilidade de matéria seca de forragem nas águas, em kg/ha, foi de 3.557 no pleno sol, de 2.601 no SSP22 e de 1.882 no SSP12 e, na seca, foi de 3.940 no pleno sol, de 2.174 no SSP22 e de 1.639 no SSP12, sem diferença ( $p > 0,05$ ) entre as estações (Tabela 4). Na estação chuvosa, a disponibilidade de forragem do pleno sol foi 0,37 vez maior ( $p < 0,05$ ) quando comparada com o SSP22 e 0,9 vez maior quando comparada com o SSP12. Na seca, a disponibilidade de forragem no pleno sol foi 0,8 e 1,4 vezes maior quando comparada com os sistemas SSP22 e SSP12.

**Tabela 4.** Disponibilidade de massa seca de forragem (kg/ha) do capim-piatã em pleno sol e IPF com *Eucalyptus urograndis* com espaçamento entre renques de 22 m (SSP22) e de 12 m (SSP12) nos períodos chuvoso e seco

Tratamento	Disponibilidade de MS (kg/ha)	
	Verão	Inverno
Controle	3557Aa	3940Aa
SSP22	2601Ab	2174Ab
SSP12	1882Ac	1639Ab

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha e minúscula na coluna, diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância. Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2018).

Barros *et al.* (2018) utilizaram espaçamentos semelhantes em sistemas de IPF formados por *U. brizantha* cv. Piatã e linhas simples de eucalipto espaçadas de 14 e de 22 metros. A produtividade total durante o ano foi maior ( $p < 0,05$ ) no pleno sol, com reduções de 38,9% na IPF com 22 metros entre renques e de 70,3% na IPF com 14 metros

entre renques. Essas reduções nas produtividades demonstram que as gramíneas com maiores capacidades produtivas sofrem, de forma mais acentuada, o efeito do sombreamento. Resultados semelhantes foram observados por Geremia *et al.* (2018), que, além da maior produtividade de *U. brizantha* cv. Piatã em pleno sol em relação a sistemas de IPF, também encontraram menor intervalo de pastejo no pleno sol. Esse menor intervalo de pastejo é resultante das maiores taxas de fotossíntese e de crescimento da gramínea em pleno sol.

### **PRODUTIVIDADE DE FORRAGEIRAS DO GÊNERO *MEGATHYRSUS* EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA**

Santiago-Hernandez *et al.* (2015) encontraram produções de matéria seca média no verão de 8.236 kg/ha/ano no *M. maximum* cv. Mombaça e cv. Tanzânia em pleno sol e de 3.612 kg/ha/ano sob sombra, uma redução de 56,1%. No inverno, as produções foram de 1.276 no pleno sol e de 1.071 sob sombra.

Soares *et al.* (2009) avaliaram 11 forrageiras em pleno sol e em IPF com nove e 15 metros entre renques de *Pinus taeda*, e a produtividade média de todas as espécies foi maior ( $p < 0,05$ ) no pleno sol, com 19.482 kg MS/ha em relação à IPF com 15 metros, com produção de 11.556 kg MS/ha. Esse arranjo também foi superior ( $p < 0,05$ ) à IPF com 9 metros entre renques, com produção de 4.452 kg MS/ha, reduções de 40,6 e 77,1% (Tabela 5).

O comportamento produtivo da forragem na IPF com 9 metros entre renques variou menos entre a copa das árvores e o meio do renque em relação à IPF com 15 metros entre renques. Além disso, as forrageiras tropicais do gênero *Megathyrsus* sp. e *Urochloa* sp. alteraram mais a produção entre a copa e o meio do renque na IPF com 15 metros em relação às leguminosas do gênero *Arachis*. Essa variação entre os sistemas pode ser associada ao maior sombreamento, tanto sob a copa quanto no meio do renque no sistema mais adensado. No sistema de IPF menos adensado, o sombreamento é proporcionalmente menor no meio do renque, possibilitando maior resposta das forrageiras tropicais devido à rota metabólica C4.

**Tabela 5.** Produção de matéria seca (kg/ha) de 11 espécies forrageiras submetidas a diferentes densidades de *Pinus taeda*

Espécie	Pleno sol	15 X 3		9 X 3	
		Copa	Meio	Copa	Meio
<i>M. maximum</i> cv. Aruana	27.818aA	9.784cC	20.447bB	2.285efD	2.708cdD
<i>U. brizantha</i> cv. Marandu	26.186abA	19.866aB	25.375aA	7.166bC	11.802aC
<i>Axonopus</i> <i>catharinensis</i>	24.835bcA	19.153aB	18.850bB	10.151aC	12.401aC
<i>Cynodon dactylon</i> hib. Tifton-85	24.014bcA	7.410dBC	9.553eB	5.260bcC	5.080bC
<i>U. decumbens</i> cv. Basilisk	23.229cdA	13.459bB	8.697eC	4.703cdC	6.254bC
<i>Hemarthria altissima</i> cv. Florida	21.118dA	9.741cdBC	12.874dB	6.454bcC	6.943bC
<i>M. maximum</i> cv. Tanzânia	21.072dA	12.256bB	15.535cAB	941efC	1.095deC
<i>Paspalum notatum</i> cv. Pensacola	17.352eA	8.608cdC	12.626dB	0fD	0fD
<i>M. maximum</i> cv. Mombaça	13.740fA	13.852bA	10.012eAB	2.568deC	4.683bcBC
<i>Arachis pintoi</i> cv. Alqueire	6.092gA	2.867eB	2.717fB	715efC	1.171deC
<i>Arachis pintoi</i> cv. Amarillo	6.014gA	2.396eB	2.009fB	1.124efB	1.080deB

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem pelo teste de Tukey a 5% de significância. Fonte: Adaptado de Soares *et al.* (2009).

### **PRODUTIVIDADE DE FORRAGEIRAS EM INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA EM REGIÕES COM BAIXO ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO**

Alguns autores citam que, em locais onde há déficits hídricos recorrentes ou baixa qualidade dos solos, as pastagens podem aumentar sua produtividade em condições de sombreamento devido ao aumento da umidade e da fertilidade do solo (Paciullo *et al.*, 2011). Lacerda *et al.* (2009) avaliaram a produtividade do *Andropogon gayanus* sob o sombreamento natural das árvores nativas pau-d'arco (*Tabebuia serratifolia*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*) e encontraram maior ( $p < 0,05$ ) produtividade nos sistemas de IPF (11.845 kg/ha de matéria verde) em relação ao pleno sol (8.630 kg/ha de matéria verde). Os autores ainda citaram o maior teor de cálcio (Ca) e de potássio (K) no solo como indicador de maior ciclagem de nutriente e como uma das causas dessa maior produção nos sistemas integrados.

Veras *et al.* (2010) também avaliaram a produtividade do *Andropogon gayanus* sob o sombreamento natural das árvores nativas pau-d'arco (*Tabebuia serratifolia*) e

jatobá (*Hymenaea courbaril*) no nordeste brasileiro e não encontraram diferença ( $p>0,05$ ) entre os sistemas integrados e o pleno sol. Em condições de altas temperaturas e baixa precipitação, a sombra pode não ter efeito deletério na produtividade do capim e aumentar a lucratividade do sistema. Entretanto, Mishra *et al.* (2010) avaliaram a produtividade do capim-buffel (*Cenchrus ciliaris*) sob a sombra da acácia (*Acacia tortilis*) e, mesmo em ambiente com baixa precipitação e altas temperaturas, encontraram maior produção em pleno sol (6,02 Mg/ha) em relação à IPF (3,72 Mg/ha), o que representa redução de 38%.

### **PRODUTIVIDADE DE GRAMÍNEAS TEMPERADAS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA**

Kirchner *et al.* (2010) avaliaram as forrageiras temperadas aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb), aveia-branca (*Avena sativa* L.), azevém (*Lolium multiflorum*), trigo duplo-propósito (*Triticum aestivum*) e ervilhaca-peluda (*Vicia villosa*) e encontraram menores produções em todas as espécies nos sistemas sombreados. As produções médias foram de 6.095 kg MS/ha no pleno sol, de 2.595 kg MS/ha na IPF com *Pinus taeda* com 15 m entre renques e de 1.150 kg MS/ha com *Pinus taeda* com 9 m entre renques (Tabela 6). Essas reduções confirmam o efeito negativo da restrição de radiação também nas forrageiras temperadas com rota metabólica C3. Segundo os autores, a ervilhaca, o trigo duplo-propósito e o azevém foram as espécies mais adaptadas ao sombreamento, porém o sombreamento mais intenso reduziu em 81% a produção de forragem, que não foi compensada pelo maior teor de umidade no solo.

**Tabela 6.** Produtividade (kg/ha) da aveia-preta, aveia-branca, azevém, trigo duplo-propósito e ervilhaca-peluda em dois sistemas de IPF e em pleno sol (PS)

Espécie	Sistemas					
	Pleno sol		15 m entre renques		9 m entre renques	
	Produtividade		Produtividade	% do PS	Produtividade	% do PS
Aveia-preta	4.550Ac		1.963bB	43	369Cc	8
Aveia-branca	7.815Aab		2.808bAB	38	974Bb	13
Azevém	8.191Aa		3.478bA	43	1.814Ca	22
Trigo	5.147Abc		2.393bAB	46	1.300Bab	25
Ervilhaca	4.771Ac		2.300bAB	48	1.292Bab	27
Média	6.095		2.595	43	1.150	19

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas linhas e maiúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de significância. Fonte: Adaptado de Kirchner *et al.* (2010).

Gobbi *et al.* (2009) encontraram produções de matéria seca de 1.763, 1.345 e 1.258 kg MS/ha no amendoim forrageiro em pleno sol e submetido a 50 e 70% de sombreamento, respectivamente. As produtividades reduziram 28,64 e 23,71% com os

sombreamentos de 70 e 50% em relação ao pleno sol. Abraham *et al.* (2014) avaliaram a pastagem nativa de *Dactylis glomerata* e observaram reduções na produtividade entre 21 e 60%, quando o pasto foi submetido a 60% de sombreamento, e reduções entre 61 e 74%, com 90% de sombreamento. Reduções semelhantes nas produtividades com aumento do sombreamento foram encontradas por Kyriazopoulos *et al.* (2012) no trevo-mediterrâneo (*Trifolium subterraneum*) e por Devkota *et al.* (2009) nas gramíneas temperadas azevém perene (*Lolium perenne*), nevoeiro-de-Yorkshire (*Holcus lanatus*) e dátilo (*Dactylis glomerata*) semeado com trevo-branco (*Trifolium repens*) e dátilo semeado com lótus (*Lotus pedunculatus*), submetidos a 100, 81, 23 e 12% de luz.

O consórcio entre gramíneas tropicais e leguminosas é uma alternativa para melhorar a qualidade nutricional do pasto e o desempenho animal. Paciullo *et al.* (2014) avaliaram, por três anos, um sistema de IPF formado por pasto de *U. decumbens*, *Stylosanthes* spp., *Pueraria phaseoloides* e *Calopogonium mucunoides* e 100 árvores/ha das leguminosas *Acacia mangium*, *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* e um sistema de pasto em pleno sol formado por *U. decumbens* e *Stylosanthes* spp. Não houve diferença ( $p>0,05$ ) na produtividade de pasto entre os sistemas; a participação total média das leguminosas no pasto foi de 9% e o valor máximo atingido foi de 18,9%. A baixa participação das leguminosas foi atribuída à baixa tolerância ao sombreamento, à baixa capacidade de ressemeadura natural, à alta palatabilidade e à preferência animal.

Resultados semelhantes foram encontrados por Rodrigues *et al.* (2018), que avaliaram o pasto de *U. brizantha* cv. Marandu e estilosantes Campo Grande (*Stylosanthes capitata* + *Stylosanthes macrocephala*) em pleno sol e em IPF e verificaram que a leguminosa participou de 6,04% do pasto na IPF e de 3,59% no pasto do pleno sol. A maior participação da leguminosa nos pastos em IPF foi atribuída à menor competição com o capim-marandu, uma vez que o capim reduziu sua produção sob a sombra.

## **INFLUÊNCIA DO ARRANJO DAS ÁRVORES NA PRODUTIVIDADE DE FORRAGEIRAS EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIA-FLORESTA**

O plantio das árvores em linhas simples ou múltiplas pode afetar a produtividade das pastagens em sistemas de IPF. Em sistemas com mesmo espaçamento entre renques, mas com linhas múltiplas, a RFA que atinge o pasto e a produtividade do pasto são reduzidas. Coelho *et al.* (2014) encontraram maior radiação incidente e interceptada na IPF formada por *U. decumbens* cv. Basilisk e eucalipto com linhas simples em comparação ao arranjo com linhas duplas, fato que demonstra a interferência do arranjo

das linhas nas condições ambientais do sistema de IPF. Nesse trabalho, os autores não encontraram diferença na PMS da *U. decumbens* cv. Basilisk sob a sombra de eucalipto plantado em linhas simples ou duplas. Entretanto, a metodologia utilizada avaliou a produção da forragem apenas a 1,5 m das árvores em sentido ao meio dos renques. Portanto, a área entre as linhas das árvores que apresenta baixa produção de forragem não foi considerada na estimativa da produção por área.

A alta densidade de árvores em IPF, além de aumentar o sombreamento, aumenta a disputa por água com as forrageiras, fato que pode ajudar na redução da produtividade por área. Essa redução limita a utilização de arranjos com renques próximos quando o objetivo principal da propriedade é a produção animal. Dessa forma, é necessário avaliar o mercado no qual a propriedade está inserida antes de decidir qual o melhor espaçamento entre os renques (Rodrigues *et al.*, 2014).

Outro fator que pode influenciar a produtividade das forragens em IPF são as espécies e os cultivares das árvores utilizadas. Oliveira *et al.* (2015) avaliaram cinco clones de eucalipto em três arranjos espaciais e observaram variação na altura das árvores, no diâmetro das árvores à altura do peito (*dbh*), no índice de área foliar e na produção de forragem entre os clones. Essa variação pode ser atribuída às características da copa, à idade, aos arranjos espaciais, à direção de plantio e ao manejo das árvores. Alguns manejos, como a poda, o desbaste e o corte precoce, podem melhorar a produtividade das forrageiras em IPF.

A idade das árvores e suas alturas também podem influenciar a produtividade dos pastos. O aumento da altura em árvores mais velhas pode reduzir ainda mais a produtividade do pasto sob essas árvores. Souza *et al.* (2010) avaliaram as condições microclimáticas de sistemas de IPF com árvores de oito, 18 e 28 metros de altura e encontraram menor temperatura do globo negro, velocidade do vento, índice de umidade em globo negro, índice de carga térmica radiante e índice de carga térmica com 28 metros de altura das árvores.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os sistemas integrados de produção agropecuária se caracterizam como alternativas para o desenvolvimento sustentável, que conciliam produção e preservação ambiental. Os arranjos, as espécies arbóreas e as forrageiras influenciam diretamente a qualidade e a produtividade das pastagens no sistema. Observam-se reduções na radiação que atinge o pasto e na produtividade do pasto em sistemas de IPF com arranjos

adensados. O conhecimento dessas variações produtivas é importante para embasar o planejamento e a implementação desses sistemas. Em situações em que o objetivo principal é a produção de madeira, devem-se empregar arranjos mais densos, entretanto, quando o objetivo for a produção animal, devem-se utilizar espaçamentos maiores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, E. M.; Kyriazopoulos, A. P.; Parissi, Z. M.; Kostopoulou, P.; Karatassiou, M.; Anjalanidou, K.; Katsouta, C. 2014. 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, doi: 10.1007/s10457-014-9682-9.
- Alves, B. J.; Madari, B. E.; Boddey, R. M. 2017. Integrated crop–livestock–forestry systems: prospects for a sustainable agricultural intensification. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 1, n. 108, p. 1-4, doi: 10.1007/s10705-017-9851-0.
- Balbino, L. C.; Cordeiro, L. A. M.; Porfírio-da-Silva, V.; Moraes, A. D.; Martínez, G. B.; Alvarenga, R. C.; Kichel, A. N.; Fontaneli, R. S.; Santos, H. P.; Franchini, J. C.; Galerani, P. R. 2011. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1-12, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000001.
- Baliscei, M. A.; Barbosa, O. R.; Souza, W. D.; Costa, M. A. T.; Krutzmann, A.; Queiroz, E. D. O. 2013. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 35, n. 1, p. 49-56, doi: 10.4025/actascianimsci.v35i1.15155.
- Barros, J. S.; Castro, L. C. S.; Silva, F. D. L.; Alves, F. V.; Almeida, R. G. D.; Santos, D. M. D.; Loures, D. R. S. 2018. Productive and nutritional characteristics of Piatã-grass in integrated systems. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 19, n. 2, p. 144-156, doi: 10.1590/S1519-99402018000200001.
- 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*, v. 66, n. 3, p. 370-380, doi: 10.1111/j.1365-2494.2011.00796.x.
- 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 Agropecuária Brasileira*, v. 49, n. 6, p. 449-456, doi: 10.1590/S0100-204X2014000600006.
- Coelho, J. S.; Araújo, S. A. C.; Viana, M. C. M.; Villela, S. D. J.; Freire, F. M.; Santos Braz, T. G. 2014. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 3, p. 1487-1499, doi: 10.5433/1679-0359.2014v35n3p1487.
- Cordeiro, L. A. M.; Vilela, L.; Marchão, R. L.; Kluthcouski, J.; Martha Junior, G. B. 2015. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*. v. 32, n. 1, p. 15-43.
- Devkota, N. R.; Kemp, P. D.; Hodgson, J.; Valentine, I.; Jaya, I. K. D. 2009. Relationship between tree canopy height and the production of pasture species in a silvopastoral system based on alder trees. *Agroforestry systems*, v. 76, n. 2, p. 363-374, doi: 10.1007/s10457-008-9192-8.
- Garcez Neto, A.; Garcia, R.; Moot, D. J.; Gobbi, K. F. 2010. Aclimação morfológica de forrageiras temperadas a padrões e níveis de sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 1, p. 42-50, doi: 10.1590/S1516-35982010000100006.
- Geremia, E. V.; Crestani, S.; Mascheroni, J. D. C.; Carnevalli, R. A.; Mourão, G. B.; da Silva, S. C. 2018. Sward structure and herbage intake of *Brachiaria brizantha* cv. Piatã in a crop-livestock-forestry integration area. *Livestock Science*, v. 212, p. 83-92, doi: 10.1016/j.livsci.2018.03.020.
- Gil, J.; Siebold, M.; Berger, T. 2014. Adoption and development of integrated crop–livestock–forestry systems in Mato Grosso, Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 199, p. 394-406, doi: 10.1016/j.agee.2014.10.008.
- Gobbi, K. F.; Garcia, R.; Garcez Neto, A. F.; Pereira, O. G.; Ventrella, M. C.; Rocha, G. C. 2009. 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, doi: 10.1590/S1516-35982009000900002.

- Gomes, F. J.; Pedreira, C. G.; 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*, v. 111, n. 5, p. 2332-2340, doi: 10.2134/agronj2019.01.0052.
- Gómez, S.; Guenni, O.; Guenni, B. 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*, v. 68, n. 3, p. 395-407, doi: 0.1111/gfs.12002.
- Guenni, O. S. S. F. R.; Seiter, S.; Figueroa, R. 2008. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. *Tropical Grasslands*, v. 42, n. 2, p. 75-87, doi: 10.1111/gfs.12368.
- Guenni, O.; Romero, E.; Guédez, Y.; Guenni, L. B.; Pittermann, J. 2018. Influence of low light intensity on growth and biomass allocation, leaf photosynthesis and canopy radiation interception and use in two forage species of *Centrosema* (DC). Benth. *Grass Forage Science*. 73:967–978. doi: 10.1111/gfs.12368.
- Santiago-Hernández, F.; López-Ortiz, S.; Ávila-Reséndiz, C.; Jarillo-Rodríguez, J.; Pérez-Hernández, P.; Guerrero-Rodríguez, J.D. 2015. Physiological and production responses of four grasses from the genera *Urochloa* and *Megathyrsus* to shade from *Melia azedarach* L. *Agroforestry systems*, v.90, n.2, p.339-349, doi: 10.1007/s10457-015-9858-y.
- 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*, v. 39, n. 11, p. 2371-2379, doi: 10.1590/S1516-35982010001100009.
- Kyriazopoulos, A. P.; Abraham, E. M.; Parissi, Z. M.; Koukoura, Z.; Nastis, A. S. 2013. Forage production and nutritive value of *Dactylis glomerata* and *Trifolium subterraneum* mixtures under different shading treatments. *Grass and forage Science*, v. 68, n. 1, p. 72-82, doi: 10.1111/j.1365-2494.2012.00870.x.
- Lacerda, M. D. S. B.; Alves, A. A.; Oliveira, M. E.; Rogério, M. C. P.; Carvalho, T. B.; Veras, V. S. 2009. Composição bromatológica e produtividade do capim-andropógon em diferentes idades de rebrota em sistema silvipastoril. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 31, n. 2, p. 123-129, doi: 10.4025/actascianimsci.v31i2.4549.
- Lemaire, G.; Franzluebbers, A.; Carvalho, P. C. F.; Dedieu, B. 2013. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 190, p. 4-8, doi: 10.1016/j.agee.2013.08.009.
- Lopes, C. M.; Paciullo, D. S. C.; Araújo, S. A. C.; GOMIDE, C. D. 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*, v. 69, n. 1, p. 225-233, doi: 10.1590/1678-4162-9201.
- Martuscello, J. A.; Jank, L.; Gontijo Neto, M. M.; Laura, V. A.; Cunha, D. N. F. V. 2009. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 7, p. 1183-1190, doi: 10.1590/S1516-35982009000700004.
- Mishra, A. K.; Tiwari, H. S.; Bhatt, R. K. 2010. Growth, biomass production and photosynthesis of *Cenchrus ciliaris* L. under *Acacia tortillis* (Forssk) Hayne based silvopastoral systems in semi arid topics. *Journal of Environmental Biology*, v. 31, n. 6, p. 987-993.
- Nascimento, H. L. B.; Pedreira, B. C.; Sollenberger, L. E.; Pereira, D. H.; Magalhaes, C. A. S.; Chizzoti, F. H. M. 2019. Physiological characteristics and forage accumulation of grazed Marandu palisade grass (*Brachiaria brizantha*) growing in monoculture and in silvopasture with *Eucalyptus urograndis*. *Crop Pasture Science*. v. 70, p. 384–394, doi: 10.1071/CP18403.
- Oliveira, C. C.; Villela, S. D. J.; Almeida, R. G.; Alves, F. V.; Behling-Neto, A.; Almeida Martins, P. G. M. 2014. Performance of Nellore heifers, forage mass, and structural and nutritional characteristics of *Brachiaria brizantha* grass in integrated production systems. *Tropical animal health and production*, v. 46, n. 1, p. 167-172, doi: 10.1007/s11250-013-0469-1.

- Oliveira, C. H.; Reis, G. G.; Reis, M. G.; Leite, H. G.; Souza, F. C.; Faria, R. S.; Oliveira, F. B. 2015. Dynamics of eucalypt clones canopy and *Brachiaria brizantha* production in silvopastoral systems with different spatial arrangements. *Agroforestry systems*, v. 90, n. 6, p. 1077-1088, doi: 10.1007/s10457-015-9884-9.
- Paciullo, D. S. C.; Campos, N. R.; Gomide, C. A. M.; Castro, C. R. T. De.; Tavela, R. C.; Rossiello, R. O. P. 2008. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 7, p. 917-923, doi: 10.1590/S0100204X2008000700017.
- Paciullo, D. S. C.; Gomide, C. A. M.; de Castro, C. R. T.; Fernandes, P. B.; Müller, M. D.; Pires, M. F. Á.; Fernandes, E. L.; Xavier, D. F. 2011. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 1176-1183, 2011, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000009.
- Paciullo, D. S. C.; Lopes, F. C. F.; Junior, J. D. M.; Viana Filho, A.; Rodriguez, N. M.; Morenz, M. J. F.; Aroeira, L. J. M. 2009. 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, doi: 10.1590/S0100-204X2009001100022.
- 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*, v. 8, n. 8, p. 1264-1271, doi: 10.1017/S1751731114000767.
- Paciullo, D. S. C.; Gomide, C. D. 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*, v.72, n.3, p.590-600, doi: 10.1111/gfs.12264.
- Pandey, C. B.; Verma, S. K.; Dagar, J. C.; Srivastava, R. C. 2011. Forage production and nitrogen nutrition in three grasses under coconut tree shades in the humid-tropics. *Agroforestry Systems*, v. 83, n. 1, p. 1-12, doi: 10.1007/s10457-011-9407-2.
- Pezzopane, J. R. M.; Bosi, C.; Nicodemo, M. L. F.; Santos, P. M.; Cruz, P. G. D.; Parmejiani, R. S. 2015. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. *Bragantia*, v. 74, n. 1, p. 110-119, doi: 10.1590/1678-4499.0334.
- Pezzopane, J. R. M.; Bernardi, A. C. C.; Azenha, M. V.; Oliveira, P. P. A.; Bosi, C.; Pedroso, A. F.; Esteves, S. N. 2020. Production and nutritive value of pastures in integrated livestock production systems: shading and management effects. *Scientia Agricola*. v.77, n.2, doi: 10.1590/1678-992X-2018-0150.
- Reis, G. L.; Lana, Â. M. Q.; Neto, J. V. E.; Lemos Filho, J. P.; Borges, I.; Longo, R. M. 2013. Produção e composição bromatológica do capim-marandu sob diferentes percentuais de sombreamento e doses de nitrogênio. *Bioscience Journal*, v. 29, n. 5, p. 1606-1615, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000009.
- Rodrigues, B. M.; Braz, T. G. S.; Frazão, L. A.; Almeida, B. Q.; Alves, M. A.; Silva, A. C. C. V.; Oliveira, M. E. M.; Vieira, T. R. 2018. Consorciação de estilosantes Campo Grande e capim-marandu em sistemas silvipastoril e sol pleno durante a fase de estabelecimento. *Boletim De Indústria Animal*, v. 75, p.1-11, doi: 10.17523/bia.2018.v75.e1421.
- Rodrigues, C. O. D.; Araújo, S. A. C.; Viana, M. C. M.; Rocha, N. S.; Braz, T. G. S.; Villela, S. D. J. 2014. Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. *Acta Scientiarum, Animal Science*, v. 36, n. 2, p. 129-136, doi: 10.4025/actascianimsci.v36i2.22398.
- Salton, J. C.; Mercante, F. M.; Tomazi, M.; Zanatta, J. A.; Concenço, G.; Silva, W. M.; Retore, M. 2014. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 70-79, doi: 10.1016/j.agee.2013.09.023.
- Santos, D. C.; Júnior, R. G.; Vilela, L.; Maciel, G. A.; França, A. F. S. 2018. 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, doi: 10.1016/j.agee.2018.07.017.

- Santos, D. C.; Júnior, R. G.; Vilela, L.; Pulrolnik, K.; Bufon, V. B.; França, A. F. S. 2016. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 233, p. 16-24, doi: 10.1016/j.agee.2016.08.026.
- 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*, v. 38, n. 3, p. 443-451, doi: 10.1590/S1516-35982009000300007.
- Sousa, L. F.; Maurício, R. M.; Gonçalves, L. C.; Saliba, E. O. S.; Moreira, G. R. 2007. Productivity and nutritional value of *Brachiaria brizantha* cv. Marandu in a silvopastoral system. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 59, n. 4, p. 1029-1037, doi: 10.1590/S0102-09352007000400032.
- Sousa, L. F.; Maurício, R. M.; Moreira, G. R.; Gonçalves, L. C.; Borges, I.; Pereira, L. G. R. 2010. Nutritional evaluation of “Braquiaraão” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, v. 79, n. 2, p. 189-199, doi: 10.1007/s10457-010-9297-8.
- Souza, W. D.; Barbosa, O. R.; Marques, J. D. A.; Costa, M. A. T.; Gasparino, E.; Limberger, E. 2010. Microclimate in silvopastoral systems with eucalyptus in rank with different heights. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 3, p. 685-694, doi: 10.1590/S1516-35982010000300030.
- Veras, V. S.; Oliveira, M. E.; Lacerda, M. S. B.; Carvalho, T. B.; Alves, A. A. 2010. Produção de biomassa e estrutura do pasto de capim-andropogon em sistema silvipastoril e monocultura. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. v. 62, n. 1, p. 200-207, doi: S0102-09352010000100027.
- Vilela, L.; Martha Junior, G. B.; Macedo, M. C. M.; Marchão, R. L.; Guimaraes Junior, R.; Pulrolnik, K.; Maciel, G. A. 2011. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, doi: 10.1590/S0100-204X2011001000003.

