



Capítulo 26

Manejo de pastagens subtropicais e temperadas para a integração floresta-pecuária

*Alexandre Costa Varella
Raquel Santiago Barro
Laíse da Silveira Pontes
Jamir Luís Silva Da Silva
Vanderley Porfirio-da-Silva*

*João Carlos De Saibro
Melissa Batista Maia*

Introdução

O sul do Brasil é uma das regiões de maior potencial para a exploração de sistemas de integração floresta-pecuária (IPF). A atividade pecuária nesta região conta com aproximadamente 27,63 milhões de bovinos e 5,19 milhões de ovinos (IBGE, 2006). Grande parte deste rebanho é criado em pastagens nativas, melhoradas e cultivadas, totalizando aproximadamente 15,68 milhões de hectares na região sul (IBGE, 2006), raramente arborizadas, e onde se encontram as maiores oportunidades para os sistemas IPF.

Esta “zona fria” do Brasil está situada na região do extremo sul do País, entre os paralelos 24° S e 33° S, compreendendo os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e região centro-sul do Estado do Paraná, ocupando uma área total de aproximadamente 512.004 km². O clima é classificado como subtropical frio com ocorrência de geadas no inverno e verões quentes, porém apresentando microrregiões de elevada altitude onde o clima é tipicamente temperado. As temperaturas médias anuais variam de 12 a 20 °C com as estações bem definidas e as precipitações médias anuais variam de 1250 a 2000 mm bem distribuídas durante o ano. Nesta região, cultivam-se espécies agrícolas, forrageiras e florestais de clima temperado e tropical. Contudo, a adaptação às geadas é um dos fatores mais importantes na escolha de espécies forrageiras e arbóreas para os sistemas IPF. Além disso, como o clima varia em cada estação anualmente, conhecimentos específicos sobre o estabelecimento e manejo da pastagem são exigidos dos técnicos e produtores para o sucesso de empreendimentos de IPF.

O sucesso da integração entre a atividade de silvicultura com a pecuária está alicerçado no equilíbrio da exploração dos recursos naturais disponíveis pelos três principais componentes bióticos deste sistema: a árvore, a pastagem e o herbívoro. Quando as interações estão equilibradas, desde o seu estabelecimento até a colheita final dos produtos, possibilitando a produção simultânea dos componentes arbóreo, forrageiro e animal, então temos um sistema de integração floresta-pecuária (IPF) ou silvipastoril (SSP) verdadeiro.

Contudo, ainda é comum verificar, em condições de propriedades rurais e empresas na região sul do Brasil, dificuldades com o manejo equilibrado dos componentes. Dificuldades causadas pelo estabelecimento de espaçamentos e arranjos arbóreos inadequados ou ainda no manejo deficiente do componente arbóreo e que comprometem o desenvolvimento das espécies forrageiras a médio e longo prazo. Isso determina que em muitos empreendimentos silvipastoris atualmente, como nos casos recentes observados no extremo sul do Brasil, se realize uma integração floresta-pecuária *temporária* ou *eventual*, onde as pastagens são produtivas apenas nos primeiros anos de estabelecimento do sistema. Exemplos deste tipo foram observados mais recentemente em empreendimentos agroflorestais realizados no Rio Grande do Sul com *Eucalyptus* sp., onde tem-se observado que as árvores sobrepõem à pastagem, comprometendo a persistência das forrageiras associadas, já a partir do quarto ou quinto ano de sua implantação.

Especificamente, a árvore e a pastagem “competem” diariamente pelo acesso preferencial aos recursos naturais disponíveis: a radiação, a água e os nutrientes. Frequentemente, o

fator radiação é o elemento mais importante e determinante do potencial de crescimento das espécies forrageiras que crescem sob as árvores em sistemas de integração floresta-pecuária (Varella et al., 2012). A presença da árvore pode impor, se mal planejado, a partir de determinado estágio de desenvolvimento, condições restritivas de luminosidade para o crescimento das espécies forrageiras estabelecidas nas entrelinhas de um sistema silvipastoril. A partir deste estágio, uma série de respostas adaptativas são produzidas pelas plantas forrageiras que crescem sob árvores, requerendo atenção nas decisões de manejo da pastagem, a fim de garantir produtividade, qualidade e persistência nos sistemas IPF.

Assim, para o sucesso de um sistema IPF, boas práticas de manejo são fundamentais, buscando equilibrar a exploração dos recursos disponíveis entre seus componentes, tais como: (i) escolha de espécies forrageiras adaptadas ao sombreamento; (ii) adequado estabelecimento da pastagem e das árvores; (iii) correto manejo da pastagem e do pastejo ao longo do tempo e (iv) manejo da copa das árvores (ambiente luminoso) ao longo do ciclo produtivo. O manejo da pastagem, particularmente, em regiões temperadas e subtropicais frias, onde o ângulo de inclinação solar e o fotoperíodo são menores durante a estação fria, produzindo alterações específicas nos padrões de incidência da radiação solar, combinadas à ocorrência de geadas e ou estiagem, é determinante para o sucesso de um sistema IPF.

Por este motivo, o presente capítulo abordará sobre os fundamentos ecofisiológicos e morfogenéticos de forrageiras, essenciais para decisões estratégicas como: a escolha de espécies, o manejo da pastagem e do pastejo em sistemas IPF, tendo como balizador o ambiente subtropical frio e temperado, encontrados no sul do Brasil. Portanto, o objetivo deste capítulo é oferecer ao leitor conhecimentos básicos e propor ferramentas suficientes para a tomada de decisão, especialmente no que se refere ao estabelecimento e manejo das pastagens em sistemas IPF ao longo de todo o seu ciclo de produção.

Fundamentos fisiológicos de forrageiras sob estresse luminoso

A competição por radiação é normalmente o principal fator que limita o crescimento de espécies forrageiras em sistemas de integração pecuária-floresta (IPF), embora a limitação por água e/ou nutrientes, muitas vezes, pode interagir ou até sobrepor-se à radiação na inibição do substrato herbáceo. A disponibilidade de nutrientes na planta são fatores mais facilmente corrigíveis através de práticas agrônômicas conhecidas.

Por outro lado, os processos fisiológicos mais importantes das plantas, e que são influenciados pela disponibilidade de radiação e/ou água no solo, são a fotossíntese e a respiração foliar. O balanço líquido de carbono resultante destes processos fisiológicos determinará o crescimento individual de plantas forrageiras, sua capacidade de rebrote, persistência e, conjuntamente, a produtividade da pastagem no sistema IPF. Assim, o conhecimento dos fundamentos fisiológicos de forrageiras submetidas ao estresse luminoso e/ou hídrico, aplicados ao manejo de pastagens, é determinante do sucesso de um sistema IPF.

O ambiente luminoso pode variar significativamente em um sistema IPF e isso influenciará diretamente os processos fisiológicos das forrageiras e a produtividade da pastagem. Primeiramente, na região sul do Brasil, a elevação do ângulo solar é tipicamente inferior do que na região tropical. Assim, por exemplo, ângulo solar máximo diário observado em Bagé/RS (31°19'53" S) é de 82° durante o solstício de verão e de apenas 35° no solstício de inverno. Esta variação diária e estacional da elevação no ângulo solar no sul do Brasil, associada à distribuição de plantio das árvores e à estrutura da pastagem, determinam eficiências de interceptação e absorção da radiação e a eficiência fotossintética no substrato herbáceo de um sistema ILP, diferentemente do que na região tropical. Segundo, a radiação que passa pelas árvores e que chega ao topo do dossel da pastagem sofre alterações significativas no sistema, tais como: (i) menor quantidade de radiação fotossinteticamente ativa; (ii) menor qualidade espectral da radiação (baixa relação V/VD); (iii) modificação da periodicidade (frequência dos períodos de pleno sol e sombra). Todos estes fatores provocam alterações importantes no ambiente luminoso de um sistema IPF, com repercussões nos processos morfogenéticos e fisiológicos das forrageiras (Varella et al., 2011). Cabe ainda salientar que as modificações que ocorrem no crescimento (altura) e estrutura das árvores (arquitetura e densidade de folhas na copa), ano após ano no sistema, promovem alterações neste ambiente luminoso e, portanto, determinam potenciais de produtividade diferentes na pastagem localizada no substrato inferior.

Quando expostas ao sombreamento, a taxa de crescimento das forrageiras é rapidamente restringida em função da limitação de energia necessária para os processos fotossintéticos. A Figura 1 mostra que as espécies tropicais (C_4) e temperadas (C_3) forrageiras apresentam repostas fotossintéticas bem distintas e, portanto, crescem diferentemente quando submetidas à restrição luminosa. A interpretação genérica dessas curvas fotossintéticas nos auxilia na escolha das espécies e em algumas recomendações e práticas de manejo da pastagem em um sistema IPF, embora se deva observar variações na habilidade que estas espécies possuem em tolerar ou "escapar" das condições de sombreamento existentes. Como exemplos da utilização do conhecimento fisiológico aplicado ao manejo de plantas forrageiras sombreadas, podem-se citar os seguintes: a determinação do potencial de crescimento (fotossintético) das espécies forrageiras em determinada condição de radiação; o estabelecimento do nível de sombreamento máximo, acima do qual não há crescimento de forragem suficiente para o bom desempenho animal ou, em outras palavras, a escolha da espécie, dos espaçamentos e arranjos arbóreos capazes de promover um ambiente luminoso favorável ao acúmulo de forragem em quantidade e qualidade ao longo do ciclo de produção IPF; as recomendações de frequência e intensidade de desfolha da pastagem (manejo da pastagem), considerando o acúmulo de reservas resultantes da fotossíntese pelas plantas forrageiras sombreadas, capazes de prover um rápido rebrote e garantir a persistência das forrageiras no ambiente sombreado ao longo do tempo.

A Figura 1 mostra que o comportamento fotossintético das espécies forrageiras temperadas praticamente não se altera quando a disponibilidade de radiação é superior a 50% da observada em pleno sol. Diferentemente, a atividade fotossintética das forrageiras tropicais segue caindo bruscamente abaixo desta condição. Além disso, observa-se que o nível máximo de atividade fotossintética das espécies temperadas (acima de 50% de radiação a pleno sol) é alcançado semelhantemente pelas espécies tropicais quando a radiação disponível está a apenas 30% daquela observada a pleno sol. Isso significa que,

mesmo com tal sensibilidade ao sombreamento, o potencial da atividade fotossintética das forrageiras tropicais é quase sempre superior ao das temperadas quando o nível de radiação está acima de 50% da radiação disponível a pleno sol, embora o ponto de saturação das espécies C_3 seja normalmente inferior aos da C_4 . Apenas em condições de extremo sombreamento (abaixo de 10% da radiação a pleno sol) a fotossíntese de forrageiras temperadas apresenta-se superior ao das tropicais. Entretanto, nestas condições de sombreamento, as taxas fotossintéticas são tão baixas que as forrageiras não conseguem um balanço líquido de C suficiente para proporcionar acúmulo de forragem e um bom desempenho animal em um sistema IPF. Evidentemente, as condições de temperatura, solo e outros recursos naturais disponíveis devem também influenciar na escolha da espécie forrageira e seu crescimento no sistema.

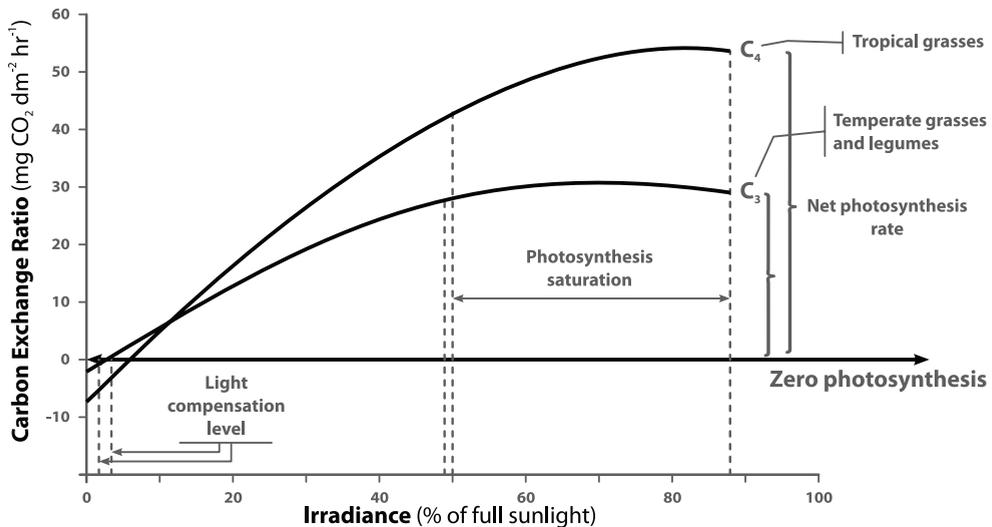


Figura 1. Curva da resposta fotossintética média de espécies forrageiras tropicais (C_4) e temperadas (C_3) em função da irradiância.

Fonte: Adaptado de Gardner et al. (1985).

Ainda, as plantas do sub-bosque em um sistema IPF estão sujeitas a períodos de sombra alternados com períodos de quase plena luminosidade. Esta periodicidade é, de fato, determinado pelo espaçamento entre árvores, tamanho da copa e altura da copa em relação ao solo. A atividade fotossintética das plantas do sub-bosque cai drasticamente à medida que se aumenta o tempo de exposição das folhas à sombra, tal como Peri et al. (2002) observaram na forrageira perene *Dactylis glomerata* sob *Pinus radiata* (Tabela 1). Segundo estes autores, quanto maior o tempo de exposição destas folhas à sombra, maior será o tempo necessário para que as mesmas retornem à sua condição original fotossintética, quando estavam a pleno sol. Ainda com a gramínea *Dactylis glomerata*, os autores observaram que, após um período de 30 minutos na sombra, a taxa de fotossíntese máxima das folhas retornou a aproximadamente 85% daquele medido a pleno sol em apenas 1-2 minutos após deixar a sombra. Por outro lado, quando o sombreamento foi de 180 minutos, a taxa de fotossíntese máxima somente alcançou 67% daquela observada em pleno sol 2 minutos após deixar o escuro e 75% após 10 minutos nesta condição (Tabela 1).

Tabela 1. Tempo necessário de sol para folhas de *Dactylis glomerata* atingir fotossíntese máxima após diferentes tempos de exposição ao sombreamento. Os números em vermelho representam % da fotossíntese máxima alcançada.

Tempo de exposição à sombra (minutos)	Tempo de exposição ao pleno sol após sombreamento (minutos)		
	1	2	10
30	84	86	94
60	67	79	89
180	55	67	75
Nível de significância ($p < 0,001$)	-	-	-
Erro padrão das medidas	1,5	1,6	1,3

Fonte: Modificado de Peri et al. (2002).

Finalmente, várias alterações morfológicas e anatômicas são reportadas na literatura como estratégias de tolerância de espécies forrageiras e que potencializam o ganho líquido de C na fotossíntese quando submetidas ao sombreamento. Entre estas, podem-se citar: maior área foliar média e menor peso específico foliar, com o objetivo de aumentar a capacidade de interceptação da radiação (Soares et al., 2009); maior densidade de clorofila foliar (especialmente clorofila b), buscando aumentar a eficiência de absorção da energia radiante (Castro et al., 2009), com consequente aumento do teor de proteína bruta na folha (Soares et al., 2009; Paciullo et al., 2011); maior relação folha: colmo e parte aérea: raiz, com alocação preferencial de reservas nas estruturas de busca e interceptação da radiação; alteração da estrutura da planta, especialmente ângulo foliar, para otimizar condições de captura da radiação disponível (Barro et al., 2014).

Cada empreendimento silvipastoril pode apresentar um ambiente luminoso singular e provocar diferentes respostas fisiológicas do componente forrageiro que cresce em seu sub-bosque. Algumas características deste ambiente podem se alterar com o desenvolvimento das árvores e, conseqüentemente, modificar as respostas biológicas da pastagem em um sistema IPF. Por isso, afirma-se que um sistema IPF requer estratégias e decisões diferenciadas em cada ano do seu desenvolvimento. Diante da variação de situações que podem surgir, reafirma-se a necessidade de compreender os fundamentos físicos do ambiente luminoso e comportamento eco-fisiológico das forrageiras, a fim de possibilitar tomadas de decisões que estimulem o equilíbrio entre os componentes e a boa produtividade do sistema como um todo a longo prazo.

Aspectos morfogenéticos de forrageiras sob estresse luminoso

Plantas forrageiras cultivadas em sistemas de integração pecuária-floresta (IPF) lidam com uma forte redução na intensidade da radiação, particularmente, a radiação fotossinteticamente ativa (400 - 700 nm). Ao mesmo tempo, tais plantas são expostas às mudanças na qualidade da luz como, por exemplo, alterações nas proporções entre a luz vermelha (V) e o vermelho-distante (VD) ou razão V/VD. Apesar de grande parte das forrageiras serem adaptadas à condição de sol pleno, tais espécies podem mostrar grande

capacidade em alterar suas características foliares (e.g. ângulo foliar, área foliar específica) de parte aérea (e.g. comprimento de entrenós) ou de estrutura da população (e.g. densidade de plantas), para lidar com a heterogeneidade do ambiente luminoso em sistemas IPF. Portanto, o desempenho destas espécies também dependerá da habilidade delas em tolerar ou superar a barreira imposta pelo sombreamento (Figura 2).



Foto: Laise da S. Pontes

Figura 2. *Eucalyptus dunnii* (arranjo com linhas duplas, linhas em curvas de nível, 4 m entre linhas, 3 m entre árvores e 20 m entre renques) em associação com diferentes forrageiras perenes tropicais (e.g. *Panicum maximum* cv. Aruana, *Hemarthria altissima* cv. Flórida, IAPAR, Ponta Grossa-PR).

As espécies forrageiras diferem nas suas respostas ao sombreamento, ou seja, em quais características morfogênicas serão alteradas, em função das estratégias por elas adotadas. Duas distintas estratégias existem para lidar com o sombreamento, quais sejam: estratégia de “escape” e de tolerância (Franklin, 2008; Gommers et al., 2013). A habilidade da planta de efetivamente tolerar ou escapar do sombreamento aumenta de forma significativa a sua habilidade competitiva, tendo, portanto, uma forte influência na estrutura da pastagem.

A percepção da baixa razão V/VD pelas espécies com estratégias de escape ao sombreamento desencadeia uma série de respostas, conhecidas como “síndrome de escape ao sombreamento” (SAS ou ‘*shade avoidance syndrome*’), conforme reportam Smith e Whitlam (1997). De acordo com Gommers et al. (2013), espécies intolerantes ao sombreamento exibem esta síndrome através de mudanças nas suas características morfogênicas, as quais permitem o posicionamento das folhas nas camadas superiores do dossel forrageiro. A principal mudança é uma forte alocação de carbono para o alongamento do colmo, de modo a escapar da condição de sombreamento. Para exemplificar, Paciullo et al. (2011) observaram um forte estiolamento de plantas de *Brachiaria decumbens* e *B. ruziziensis* sob condições de estresse luminoso. Além disso, tal mudança ocorre em detrimento do desenvolvimento de novos perfilhos e, por consequência, de raízes e de folhas, afetando negativamente a produtividade das espécies forrageiras (Soares et al., 2009).

A estratégia de escape é mais vantajosa na associação entre espécies herbáceas, isto é, quando as plantas possuem altura similar, tais como em associações gramíneas-leguminosas. No entanto, algumas espécies conseguem adaptar o seu fenótipo para lidar com situações onde a restrição de luz é permanente, tais como em sistemas de IPF, onde é impossível para as forrageiras superarem as árvores em termos de altura. Em tais sistemas, a estratégia de tolerância ao sombreamento parece ser mais vantajosa do que a estratégia de escape (Figura 3).

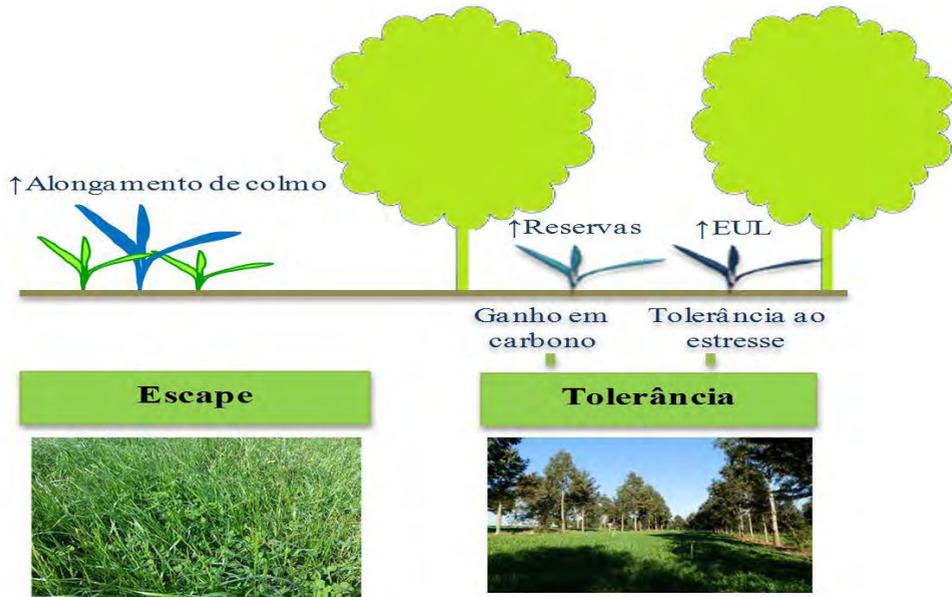


Figura 3. Diferentes estratégias para lidar com o sombreamento: estratégia de escape, comum em consórcios entre espécies herbáceas e tolerância à sombra (e.g. foto à esquerda de Márcia Silveira e à direita de Laíse da S. Pontes).

Fonte: Adaptado de Gommers et al. (2013).

De acordo com Valladares e Niinemets (2008), a tolerância ao sombreamento é a capacidade de uma planta tolerar baixos níveis de luminosidade. Pesquisas têm ressaltado que tal estratégia não representa apenas uma perda da clássica SAS, mas sim uma complexa e específica adaptação à vida em ambientes sombreados. Duas hipóteses para tolerância ao sombreamento, parcialmente opostas, têm sido propostas, isto é, maximização do ganho líquido em carbono (Givnish, 1988) e maximização da resistência aos fatores bióticos (e.g. pastejo, competição) e abióticos (e.g. luz), ou seja, a hipótese de tolerância ao estresse (Kitajima, 1994; Valladares; Niinemets, 2008).

A hipótese de ganho em carbono define a tolerância ao sombreamento como a maximização da captura de luz e uso pela fotossíntese, juntamente com a minimização dos custos com respiração (Givnish, 1988). Espécies forrageiras tolerantes à sombra com estratégia de ganho em carbono irão otimizar a captura e o uso da luz, por exemplo, pelo aumento da relação folha: colmo e pelo aumento da área foliar específica (AFE área de folha por unidade de biomassa). O aumento da AFE permite uma rápida reposição de folhas na

pastagem após um pastejo, por exemplo. Contudo, a alta AFE pode ter consequências negativas para plantas crescendo em condições de radiação reduzida, pois uma grande quantia de área foliar (principal área fotossintética) é produzida com baixo custo, tornando estas folhas mais sensíveis à desfolha pelos herbívoros em razão do maior valor nutritivo. Portanto, a prioridade de algumas espécies tolerantes ao sombreamento pode não ser a maximização do crescimento em condições de baixa luminosidade, mas sim de investir em tecidos que promovam mecanismos de defesa pela planta (e.g. aumento no conteúdo de parede celular), como observado com a alfafa (*Medicago sativa*) e reportado por Lin et al. (2001), reduzindo a qualidade (Varella et al., 2001) e a probabilidade de desfolha, ou em estoques de reserva.

Em resumo, distintas estratégias, bem como, distintas respostas nas características morfogenéticas sob estresse luminoso, podem ser adotadas pelas plantas forrageiras em sistemas de IPF. A identificação de tais respostas nas plantas do substrato herbáceo torna-se essencial, pois se refletem nas características agrônômicas (velocidade de rebrote, valor nutritivo, etc) e interferem no manejo da pastagem. Por exemplo, espécies tolerantes ao sombreamento, com estratégia de ganho em carbono, apresentam uma rápida renovação de seus órgãos e um baixo acúmulo de biomassa nas suas folhas. A consequência é que as folhas têm uma duração de vida curta e uma necessidade elevada em nutrientes. Cabe ressaltar que a tolerância ao sombreamento pode estar inversamente associada com a tolerância aos outros fatores limitantes, tais como estiagem e disponibilidade em nutrientes (Valladares; Niinemets, 2008). Por exemplo, existem requisitos conflitantes entre tolerância à sombra (e.g. alta área foliar) e tolerância à estiagem e/ou restrição em nutrientes (e.g. alto investimento em raízes). Logo, a ocorrência de múltiplos estresses pode alterar de forma drástica a capacidade de uma espécie tolerar baixos níveis de luz. O entendimento destas interações, que ocorrem sob variações constantes de luminosidade, é complexa, mas torna-se fundamental para o sucesso do manejo da pastagem em sistemas de IPF.

Potencial de produção e valor nutritivo de forrageiras à sombra

Os sistemas integrados, que incluem os componentes arbóreo e pecuário, possibilitam o aproveitamento de um grande número de interações dinâmicas entre os componentes destes agroecossistemas. Por esta razão, a integração de árvores, pastagens e animais na mesma área, como nos sistemas IPF, apresenta diversas vantagens em relação aos monocultivos.

A principal vantagem está relacionada ao aproveitamento das sinergias no *continuum* solo-planta-atmosfera, o que confere ao sistema de IPF melhor eficiência de uso da terra, da água e dos fertilizantes, proporcionando maior sustentabilidade ambiental e econômica. Portanto, em sistemas integrados é necessário considerar a importância relativa de cada interação na estimativa da produtividade total do sistema de produção. As interações relacionadas a efeitos binários nunca deveriam ser interpretadas isoladamente, pela medida de produtividade de um único componente (e.g. produção de forragem no sub-bosque silvipastoril).

Mesmo em nível mundial, a compreensão e o manejo dos processos nesta escala de ordem ainda é um desafio, mas os primeiros obstáculos estão sendo superados. Nos últimos 20 anos, resultados importantes de pesquisa com IPF foram obtidos no sul do Brasil, permitindo afirmar que tais sistemas têm grande potencial de uso sustentável na região do subtropical.

Tais estudos apontam a necessidade de uma utilização menos intensiva dos recursos ambientais relacionados ao componente arbóreo e ao manejo do componente animal, particularmente, a intensidade de pastejo, para conciliar maior produtividade total com o cuidado ambiental.

A utilização de intensidades de pastejo moderadas tem demonstrado: 1) maior diversidade e riqueza florística no Bioma Pampa (Neves et al., 2009); 2) melhoria nas características físicas (Conte et al. 2011), químicas e biológicas do solo (Ferreira et al., 2009; Assmann et al. 2014) ; 3) melhor equilíbrio entre o desempenho individual e a produtividade animal por área (Kunrath et al., 2014); 4) manutenção do banco de sementes no solo, garantindo a ressemeadura natural e adequado perfilhamento (Barth Neto et al, 2014); 5) menor emissão de gases de efeito estufa (e.g. metano) por área (Savian et al., 2014); 6) influência positiva sobre a cultura de verão subsequente (Moraes et al., 2014). Em relação ao componente arbóreo, relata-se frequentemente uma relação negativa entre o aumento da densidade arbórea e a produção de forragem do sub-bosque forrageiro. No Brasil, a literatura sobre esta relação em ambientes subtropicais já está documentada para algumas espécies florestais [e.g. acácia-negra - Lucas (2004), Castilhos et al. (2009); Eucalipto – Silva (1998), Varella e Saibro (1999); Porfírio-da-Silva (2012); Baldissera (2014); Pontes et al. (2014); Pinus - Sartor et al. (2006); Barro et al. (2008)], para distintas densidades e arranjos arbóreos.

Por estas razões, além da produtividade individual dos componentes é necessário estudar a dinâmica dos processos químicos, físicos e biológicos do sistema e considerá-los sempre com uma visão sistêmica. Além disso, o entendimento dos processos predominantes nos sistemas agropecuários integrados permite a obtenção de sistemas IPF sustentáveis ao longo do tempo e com maior produtividade total. Isto está relacionado diretamente à escolha das espécies componentes do sistema (e também de sua gerência pelo manejo). Portanto, há que se utilizar genótipos forrageiros adaptados às condições edafo-climáticas locais e ao sombreamento moderado.

Produção de forragem em sistemas IPF

Em sistemas agrícolas multiestrata, como os de IPF, a produção de biomassa vegetal no estrato inferior, em geral, é expressa como uma função linear da radiação solar interceptada. Na região Sul do Brasil alguns trabalhos reportam efeito nulo ou positivo sobre a produção de forragem em condição de sombreamento moderado (Varella; Saibro, 1999; Soares et al., 2009; Barro et al., 2010).

Conforme discutido anteriormente, de forma geral, as plantas C_3 são aparentemente mais adaptadas ao sombreamento (ou apresentam menor redução da fotossíntese em intensidades baixa ou moderada de sombra quando comparados à condição de plena

luminosidade) do que as espécies de rota de fixação de carbono, C_4 (Taiz; Zeiger, 2004). Entretanto, a escolha de forrageiras C_4 tem sido frequentemente recomendada para sistemas com sombreamento moderado. É importante mencionar que as respostas das plantas ao sombreamento variam de acordo com fatores edafo-climáticos, além do manejo aplicado às árvores e à pastagem sombreada.

Forrageiras temperadas para sistemas IPF

As gramíneas forrageiras de ciclo hibernal (ciclo C_3) exercem um papel fundamental na pecuária na região sul do Brasil, pois seu crescimento e período de utilização ocorrem quando da redução da produção das espécies C_4 , representativas do campo nativo, no caso de sistemas de produção dependente da utilização de pastagem naturais.

Resultados promissores da tolerância ao sombreamento vêm sendo obtidos para as principais espécies C_3 cultivadas: azevém-anual (*Lolium multiflorum*) e as aveias branca (*Avena sativa*) e preta (*A. strigosa*) (Sartor et al., 2006; Barro et al., 2008; Kirchner et al., 2010; Porfírio-da-Silva, 2012; Deiss et al., 2014). Entretanto, ainda faltam estudos com gramíneas nativas com potencial para uso em sistemas de IPF. Quanto às leguminosas de crescimento hiberno-primaveril, tanto o trevo-vesiculoso (*T. vesiculosum*) (Silva, 1998) como o trevo-branco (*T. repens*) (Sartor et al., 2006, Barro et al., 2008) se destacam pelo seu desempenho agrônomico sob sombra moderada. No entanto, espécies de cornichão (*Lotus corniculatus*) não apresentaram resultados satisfatórios no que diz respeito à produção de forragem sob sombreamento.

Forrageiras tropicais para sistemas IPF

Nas regiões mais frias do subtropico, a arborização de pastagens tem merecido destaque na pesquisa, pois também contribui para a persistência de áreas de pastagem com gramíneas C_4 ao longo do ano, em função da proteção que as árvores exercem contra as geadas (Porfírio-da-Silva, 1998; Castilhos et al., 2009). Além disso, algumas gramíneas tropicais têm demonstrado excelente potencial de produção em condições moderadas de sombreamento, tais como: *Bracharia* sp.; *Panicum* sp.; *Axonopus* sp., além de algumas espécies do gênero *Paspalum* (Barro et al., 2010).

Nas regiões com déficit hídrico, a produção de forragem sob sombra pode inclusive ser maior do que a pleno sol. Neste caso, a magnitude das respostas da pastagem à luz solar, em função da densidade arbórea ou do sombreamento, pode ser influenciada pela maior disponibilidade de água no solo (Ludwig et al., 2001; Barro et al., 2010). A Tabela 2 resume os principais resultados de pesquisa obtidos com estes grupos metabólicos forrageiros na Região Subtropical do Brasil e que podem orientar a escolha de espécies forrageiros para um sistema IPF:

Tabela 2. Sumário dos resultados obtidos com plantas forrageiras na região do subtropical brasileiro.

Característica	Rota metabólica	Estação de crescimento	Espécie	Níveis de sombra estudados	Sombra natural / artificial	Rendimentos relativos (ao pleno sol)	Melhora/ piora do valor nutritivo com sombreamento	Autores (referências)
Perene	C4	Verão	<i>Axonopus catharinensis</i>	24 e 56%	Natural	52 e 50%	n.a.	Barro et al., 2008 b
				17 e 33%	Natural	79 e 47%	melhora	Soares et al., 2009
			<i>Cynodon sp. (cv.Tifton 85)</i>	40 a 50%*	Natural	74%	n.a.	Pontes et al., 2012
				40 a 50%*	Natural	25,50%	n.a.	Pontes et al., 2012
				24 e 56%	Natural	61 e 51%	n.a.	Barro et al., 2008 b
				17 e 33%	Natural	48 e 24%	melhora	Soares et al., 2009
			<i>Brachiaria brizantha cv Marandu</i>	17 e 33%	Natural	86 e 36%	melhora ou não altera	Soares et al., 2009
				40 a 50%*	Natural	45%	n.a.	Pontes et al., 2012
			<i>Brachiaria decumbens cv. Basilisk</i>	17 e 33%	Natural	48 e 24%	n.a.	Soares et al., 2009
			<i>Brachiaria decumbens</i>	25, 50 e 80%	Artificial	85, 44 e 22,7%	n.a.	Schreiner, 1987
			<i>Digitaria decumbens</i>	25, 50 e 80%	Artificial	88, 60 e 25%	n.a.	Schreiner, 1987
			<i>Panicum maximum cv. Aruana</i>	17 e 33%	Natural	54 e 9%	melhora	Soares et al., 2009
			<i>Panicum maximum cv. Tanzânia</i>	40 a 50%*	Natural	57,20%	n.a.	Pontes et al., 2012
				17 e 33%	Natural	61 e 0%	n.a.	Soares et al., 2009
			<i>Panicum maximum cv. Mombaça</i>	n.a.	Natural	25%	n.a.	Lucas, 2004
				17 e 33%	Natural	47 e 15%	n.a.	Soares et al., 2009
<i>Paspalum notatum cv. Pensacola</i>	n.a.	Natural	22%	n.a.	Lucas, 2004			
	17 e 33%	Natural	87 e 26%	n.a.	Soares et al., 2009			
<i>Paspalum notatum</i>	Natural	54,10%	n.a.	Pontes et al., 2012				
	Artificial	93, 5; 55 e 13%	n.a.	Schreiner, 1987				
<i>Paspalum dilatatum</i>	50 e 80%	Artificial	112 e 81,1%	melhora	Barro et al., 2012			
<i>Paspalum regnellii</i>	50 e 80%	Artificial	117 e 81,8%	melhora	Barro et al., 2012			
<i>Paspalum regnellii</i>	50 e 80%	Artificial	118 e 99,8%	melhora	Barro et al., 2012			

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Característica	Rota metabólica	Estação de crescimento	Espécie	Níveis de sombra estudados	Sombra natural/artificial	Rendimentos relativos (ao pleno sol)	Melhora/piora do valor nutritivo com sombreamento	Autores (referências)
Perene	C4	Verão	<i>Hemarthria altissima</i>	25, 50 e 80%	Artificial	97,8; 70,12 e 22,5%	n.a.	Schreiner, 1987
			<i>Hemarthria altissima</i> cv. Flórida	17 e 33%	Natural	66 e 5%	n.a.	Soares et al., 2009
				40 a 50%*	Natural	7,10%	n.a.	Pontes et al., 2012
			<i>Lolium multiflorum</i>	24 e 56%	Natural	58 e 43%	n.a.	Barro et al., 2008 b
				30 e 60%	Natural	43 e 22%	melhora	Kirchner et al., 2010
				24 e 56%	Natural	46 e 36%	melhora	Barro et al., 2008
33 e 58%	Artificial	87 e 84		n.a.	Saibro, 1992*			
<i>Avena sativa</i>	30 e 60%	Natural	38 e 13 %	melhora	Kirchner et al., 2010			
	24 e 56%	Natural	75 e 42%	melhora ou não altera	Barro et al., 2008			
Anual	C3	Inverno	<i>Avena strigosa</i>	30 e 60%	Natural	43 e 8%	piora	Kirchner et al., 2010
			<i>Holcus lanatus</i>	24 e 56%	Natural	75 e 42%	Sem diferença	Barro et al., 2008
				50 e 80%	Artificial	234 e 223%*	n.a.	Moraes et al. 2007; Varella et al., 2008
			<i>Bromus auleticus</i>	50 e 80%	Artificial	737 e 605%*	n.a.	Moraes et al. 2007; Varella et al., 2008
			<i>Bromus catharticus</i>	50 e 80%	Artificial	205 e 159%*	n.a.	Moraes et al. 2007; Varella et al., 2008
				<i>Triticum aestivum</i> -duplo proposito	30 e 60%	Natural	46 e 25%	piora
Perene	C3	Verão	<i>Vicia villosa</i>	30 e 60%	Natural	48 e 27%	Sem diferença	Kirchner et al., 2010
			<i>Arachis pintoi</i> (ecótipo híbrido AGK 12787 vs NC 1579)	50 e 80%	Artificial	93,5 e 60,2%	piora	Barro et al., 2013
				<i>Arachis pintoi</i> cv. Alqueire	17 e 33%	Natural	37 e 18%	n.a.
			<i>Arachis pintoi</i> cv. Amarillo	17 e 33%	Artificial	59 e 23%	n.a.	Soares et al., 2009
			<i>Trifolium repens</i> cv. Zapicán	24 e 56%	Natural	25,7 e 39,8%	piora	Saibro et al., 2008
				<i>Lotus corniculatus</i> cv. São Gabriel	24 e 56%	Natural	27,4 e 25,2	piora

* dados não publicados

Efeito do sombreamento sobre o valor nutritivo da forragem

Em sistemas de IPF, as variações que ocorrem no ambiente luminoso provocam efeitos importantes no valor nutritivo da forragem, uma vez que a digestibilidade da matéria seca e o conteúdo de nutrientes são determinados pela fisiologia, morfologia, anatomia e composição química da planta forrageira sombreada (Kephart; Buxton, 1993; Lin et al. 2001).

Uma das principais discussões científicas em relação ao valor nutritivo da forragem tem sido a dinâmica do nitrogênio na planta sombreada, em comparação com o pleno sol. Muitas hipóteses têm sido levantadas no sentido de explicar os efeitos positivos do sombreamento sobre o conteúdo de nitrogênio em gramíneas. Em geral, o aumento de N sob sombra é atribuído à maior mineralização da matéria orgânica, devido principalmente às condições térmicas e ao status hídrico do solo que favorecem a ação de microrganismos nitrificadores, além da redução na produção de biomassa em função do estresse luminoso, fato que resultaria em maior concentração de N na planta (Wilson et al., 1990).

De forma geral, gramíneas avaliadas sob sombreamento no sul do Brasil, apresentam aumentos relativos nos teores de proteína bruta (PB) (Barro et al., 2008; Soares et al., 2009; Kirchner et al., 2010; Barro et al., 2010). Entretanto, com leguminosas forrageiras, o efeito do aumento do sombreamento sobre os teores de PB é exatamente o inverso (Varella et al., 2001; Barro et al., 2010). Há indícios de que o sombreamento afete a fixação do N atmosférico, bem como a nodulação, reduzindo-a ou mesmo suprimindo-a, conforme demonstraram Chu e Robertson et al. (1974); Addison e Congdom (2001).

O estado da arte em pesquisa com sistemas IPF já apontam subsídios suficientes para indicar as espécies forrageiras e seu potencial produtivo para diferentes intensidades de sombreamento. Contudo, a integração em longo prazo, só é possível sob uma condição moderada de sombreamento (>50%) e, se o manejo do pastoreio for conduzido de forma equilibrada. Desta forma, o manejo sustentável dos componentes forrageiro, pecuário e arbóreo, além de promover mais benefícios ambientais, oportunizam maior produtividade total ao sistema integrado de produção.

Recomendações de manejo da pastagem e do pastejo em IPF

O manejo das pastagens é um ponto-chave na exploração dos sistemas de produção pecuária-floresta. É necessário entender o crescimento vegetal e animal nestes ambientes e como as práticas de manejo da pastagem afetam esses processos. O manejo das pastagens está embasado na administração de dois processos que aparentemente são conflitantes: por um lado, as plantas forrageiras necessitam de folhas para crescer, e, por outro, os animais necessitam das folhas para se alimentar. A quantidade de forragem disponível é determinada por fatores abióticos e bióticos, sendo que um componente muito importante nesse contexto é a intensidade de pastejo (Silva et al., 2011). Quando os animais têm à sua disposição uma quantidade de forragem quatro a cinco vezes

maiores do que o consumo animal, tem-se a possibilidade de obter bom ganho médio diário, atingindo possivelmente as características de carcaça desejáveis do ponto de vista comercial.

Por outro lado, decisões de manejo da pastagem em sistemas IPF devem considerar o comportamento fisiológico e morfo-genético das forrageiras e suas respostas ao estresse luminoso principalmente (Varella et al., 2012). Quanto mais intensas as interações entre estresses de origens diferentes ocorrendo simultaneamente (e.g. falta de água, luz e nutrientes), mais complexas se tornam as respostas das forrageiras e, conseqüentemente, também as estratégias para interferir e potencializar a produção da pastagem nestes sistemas. Assim, a quantidade e a velocidade de translocação das reservas resultantes da fotossíntese, as alterações nas características morfo-fisiológicas das plantas, as modificações na composição química (valor nutritivo) e na densidade de plantas forrageiras a sombra influenciam diretamente as decisões de como melhor manejar a pastagem nos sistemas IPF. Para garantir produtividade, qualidade e persistência, é importante reconhecer que as forrageiras que crescem em um sistema IPF estão normalmente expostas a uma condição restrita de radiação e, portanto, acumulam uma quantidade menor de reservas (carboidratos e nitrogênio) durante o seu período de crescimento. Por isso, o manejo da pastagem deve ser quase sempre mais conservador nestes sistemas do que em pastagens que crescem a pleno sol.

As estratégias e decisões de manejo não devem focar na maximização da produtividade e colheita da pastagem, mas no equilíbrio entre crescimento, acúmulo de reservas e intensidade de utilização (severidade de desfolha), assegurando persistência da produção. A tendência é de que o vigor de rebrote (quantidade biomassa e velocidade) em pastagens sombreadas, após um estresse de desfolha ou de pastejo, seja inferior do que aquele observado em pleno sol, influenciado pelo menor acúmulo de reservas fotossintéticas. A exceção a esta regra pode ser observada em condições de forte restrição hídrica ou mineral (especialmente nitrogênio) de solo, quando a superioridade de crescimento forrageiro em sistemas IPF comparativamente a pastagens não sombreadas tem sido reportada na literatura (Wilson; Wild, 1991; Barro et al, 2008).

Além disso, normalmente as reservas de plantas sombreadas são frequentemente translocadas e priorizadas para o crescimento da parte aérea em detrimento do sistema radicular, o que pode torná-las ainda mais sensíveis a períodos de restrição hídrica e/ou minerais de solo e à desfolha frequente pelos animais. Assim, um manejo criterioso do pastoreio (controle da carga animal e da altura do dossel forrageiro no pré e pós pastejo) é recomendado para permitir o uso mais eficiente dos recursos naturais disponíveis pela pastagem em um sistema de IPF e que seja capaz de garantir um bom desempenho animal ao longo do tempo.

Estudos realizados no sul do Brasil já determinaram o manejo do pastejo que pode otimizar o desempenho animal em sistemas de IPF. Por exemplo, Silva (1998) estudou o efeito de três intensidades de pastejo (6%, 9% e 13,3% kg de massa seca/100 kg de PV/dia) e duas densidades arbóreas de *Eucalyptus saligna* (1666 e 833 árvores/ha) sobre a produção de novilhos (Figura 4) e da pastagem consorciada de azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) e trevo vesiculoso (*Trifolium vesiculosum* Savi) cv. Yuchi, sobressemeados em pastagem

nativa. Neste estudo, o ganho por animal foi ascendente com o acréscimo na oferta de forragem, evidenciando possivelmente que a condição da pastagem esteve acima da capacidade de ingestão dos animais. Já o ganho animal por área foi baixo nos níveis menores de oferta de forragem, devido ao reduzido desempenho individual dos animais. Também, com níveis de oferta de forragem acima de 12% do peso vivo, o ganho por hectare foi reduzido, devido à baixa lotação animal utilizada nestas condições.

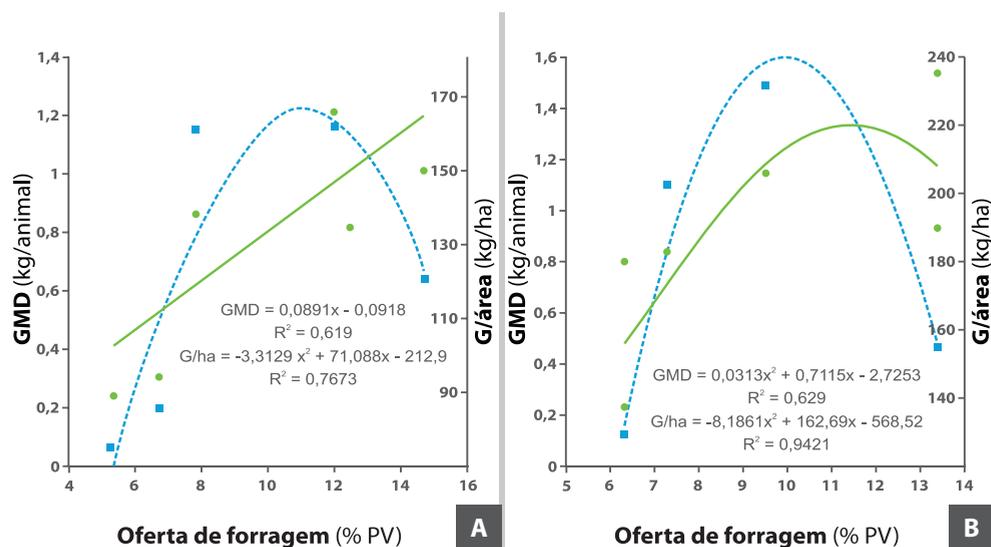


Figura 4. Relação entre o ganho médio diário (—) e o ganho por área (-----) com a oferta de forragem na densidade de 1.666 árvores/ha (A) e na densidade de 833 árvores/ha (B), em sistema silvipastoril com eucalipto e pastagem constituída de azevém anual e trevo vesiculoso. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS

Fonte: Silva (1998).

A amplitude ótima de pastejo neste e em outros estudos tem sido reportada entre 9,5 e 12 % do peso vivo, nas condições ecolimáticas do RS, em pastagens nativas e exóticas, desenvolvidas a pleno sol (Moraes et al., 1995; Maraschin, 1998). Em sistemas IPF, estas foram as primeiras informações obtidas no Brasil e evidenciaram que os níveis de oferta de forragem que permitiram otimizar os ganhos por área e por animal, em pastagens melhoradas sob árvores, estiveram entre 9 e 11,5% do peso vivo. Também Castilhos et al. (2009), no norte do RS, observaram elevado desempenho de novilhos (ganho por cabeça e por hectare) em pastagens de verão formadas com *Panicum maximum* cv. Gaton, cv. Aruna ou *Digitaria diversinervis*, sob duas densidades arbóreas de acácia negra, aos 6 anos de idade, manejando ofertas de forragem de 12 % do peso vivo.

Na prática, o controle da oferta de forragem na pastagem pode ser feito através do controle da altura do resíduo de forragem, enquanto pastejado por bovinos e/ou ovinos. A relação que tem sido demonstrada pela pesquisa para manter níveis ótimos de ingestão e de desempenho animal em pastagens nativas e melhoradas no sul do Brasil é de aproximadamente 20 cm de altura de forragem residual (Mezzalira et al, 2014; Kunrath et al, 2014). Por outro lado, os primeiros resultados de pesquisa com enfoque no manejo sustentável de pastos sombreados indicam que as relações entre interceptação luminosa

(IL), índice de área foliar (IAF) e altura do dossel podem ser distintas daquelas obtidas a pleno sol (Baldissera, 2014). Desta forma, para determinar uma estrutura de pasto mais eficiente ao manejo com herbívoros em sistemas IPF, é preciso identificar como as diferenças de natureza morfológica interagem, particularmente, nesses ambientes com grande variabilidade microclimática. Assim, pesquisas ainda necessitam ser desenvolvidas para determinar o nível de IL, sob diferentes níveis de sombra, que condiciona a melhor estrutura de dossel (IAF ótimo, maior acúmulo de folhas, menores perdas por senescência e maior armazenamento de reservas) na sombra.

Os modelos de IPF têm por objetivo melhorar a produção por unidade de área, respeitando sempre os princípios do rendimento contínuo, da manutenção do potencial produtivo dos recursos naturais renováveis e em benefício das condições sócio-econômicas dos produtores. No entanto, dentro de uma visão sistêmica, os componentes pastagem e animal demandam importante atenção nestes sistemas, pois o balanço entre benefícios e prejuízos depende do conhecimento aplicado da adequada carga animal ou da intensidade de pastejo relativo à capacidade de suporte das pastagens e do comportamento em pastejo (Saibro, 2001).

Tópicos prioritários para P&D e TT em forrageiras para a IPF no sul do Brasil

Os sistemas silvipastoris ou IPF são dinâmicos e complexos, particularmente quando se considera as diferentes interações entre as árvores, forragem e animais no tempo e no espaço (Balbino et al., 2011). A experiência de implantação de sistemas silvipastoris nas últimas duas décadas, vem ao encontro da necessidade de novas e adaptadas formas de produção e de assistência técnica para a sustentabilidade da agropecuária brasileira.

Para isso, é importante que as instituições de pesquisa estabeleçam experimentos de longa duração para desenvolver e transferir tecnologias para os produtores e técnicos de forma continuada. Portanto, é essencial que as instituições possam desenvolver programas conjuntos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e transferência de tecnologia (TT) em sistemas IPF desde o estabelecimento das árvores até a colheita dos produtos florestais. Além disso, também é fundamental que a assistência técnica pública e privada participem de programas de formação e qualificação para gerenciar esses dinâmicos sistemas e para que possam multiplicar este conhecimento.

No sul do Brasil, as áreas potenciais para o desenvolvimento de sistemas silvipastoris são aquelas que atualmente estão ocupadas por pastagens com bovinocultura e ovinocultura. Para aumentar o interesse neste tipo de integração, é essencial que a P&D ofereça referências tecnológicas que combinem com os interesses e necessidades dos produtores da região. A este respeito, as questões relacionadas com o fornecimento estratégico de forragem durante os períodos de adversidade climática e a proteção do solo, através da arborização de pastagens, devem constar, obrigatoriamente, nos programas de P&D, especialmente frente ao cenário de mudança climática e busca por sistemas sustentáveis. Deste modo, as oportunidades e desafios para a pesquisa e transferência de tecnologia em sistemas IPF no sul do Brasil podem ser sumarizadas em:

- Desenvolvimento de cultivares forrageiras (temperadas e tropicas com tolerância ao frio) com adaptação para ambientes sombreados;
- Identificação e desenvolvimento de linhagens de leguminosas com tolerância ao sombreamento para compor misturas e rotações em sistemas IPF;
- Melhoramento genético de árvores para sistemas de integração, considerando arquitetura de plantas e novos arranjos espaciais das árvores para permitir que a transmitância de radiação solar até a pastagem seja de no mínimo 50% por todo o ciclo das árvores;
- Quantificação dos serviços ambientais produzidos pelos componentes pastagem-árvore-animal em IPF (estoque de carbono, emissão de GEEs, conservação da água e do solo);
- Parametrização dos índices de fertilidade do solo em sistemas IPF para auxiliar a tomada de decisão sobre adubação integrada no sistema.
- Parametrização de variáveis da pastagem e do comportamento animal, com base ecofisiológica, para gerar recomendações de frequência e intensidade de pastejo no sistema;
- Definição de índices técnicos para gerar cenários de viabilidade socioeconômica e prover suporte para a tomada de decisão de investimentos.

Além de experimentos de longo prazo e financiamento contínuo à pesquisa, é importante que as instituições possam investir em equipes multidisciplinares, capazes de responder ao quadro de oportunidades e desafios mencionados e futuros. Instituições de pesquisa importantes no sul do Brasil, tais como: unidades da EMBRAPA, Universidades Federais, Universidades Estaduais e as Organizações Estaduais de Pesquisa Agropecuária (OEPAs), precisam cooperar para alcançar tais objetivos e prover soluções rápidas ao setor produtivo. Uma rede colaborativa de pesquisadores, extensionistas e consultores técnicos podem definir áreas demonstrativas em propriedades rurais para a transferência de tecnologias e resultados de pesquisa, incluindo ainda a formação e treinamento continuados dos técnicos.

Considerações finais

A partir dos conhecimentos adquiridos pela pesquisa científica e pela extensão rural ao longo das últimas três décadas, e reportadas neste capítulo, torna-se possível listar um conjunto de práticas básicas de manejo da pastagem e do pastejo em sistemas de IPF para o clima subtropical e temperado do sul do Brasil, tais como:

(i) O momento inicial do pastejo deve ser realizado somente após o máximo acúmulo de reservas nas plantas forrageiras. Isso geralmente acontece após o momento de máxima expansão foliar por área de solo na pastagem, ou seja, após atingir o índice de área foliar crítico (IAF crítico). Um bom indicativo para este o momento é quando as folhas mais inferiores (ou perfilhos ou brotações) estiverem totalmente sombreadas pelas camadas superiores da pastagem e começarem a apresentar os primeiros sinais de senescência (amarelecimento dos tecidos foliares). Mesmo no sistema de pastejo contínuo em um

sistema IPF, este momento do pastejo deve ser aguardado para, então, usar-se carga animal mais leve do que aquelas recomendadas para as pastagens à pleno sol, ou seja, aplicando uma oferta de forragem de 10-12% do peso vivo;

(ii) O resíduo pós pastejo (altura do dossel forrageiro após a desfolha pelos animais) deve ser mantido acima de 20 cm de altura para as espécies forrageiras de inverno e do campo nativo melhorado, de forma a proteger os locais de armazenamento de reservas e permitir uma área foliar fotossintética residual suficiente para uma boa velocidade do rebrote. Para forrageiras tropicais, o critério de altura do pastejo deve ser observado individualmente, já que há variação na localização das estruturas de armazenamento de reservas e das gemas de crescimento, responsáveis pelo rebrote da pastagem. Assim, é fundamental evitar condições de sobrepastejo (baixo resíduo pós pastejo) em sistemas IPF, situação comumente observada em propriedades rurais, e que podem facilmente comprometer o rebrote, crescimento e persistência de plantas forrageiras que crescem sob condições restritivas de luminosidade;

(iii) Privilegie o estabelecimento da pastagem no primeiro e segundo anos de um sistema IPF, pois os principais problemas de produção e persistência da pastagem observados em condições de propriedade rural ocorrem por má formação durante esta fase. É importante que as forrageiras estejam cobrindo completamente o solo e que tenham acumulado uma boa quantidade de reservas, ainda no primeiro ano de estabelecimento, antes da primeira entrada dos herbívoros;

(iv) É aconselhável permitir que as forrageiras produzam sementes para a ressemeadura natural (quando a espécie forrageira permitir) ainda no primeiro ano do estabelecimento para, somente após realizar o corte ou pastejo com animais. É importante lembrar que o sombreamento ou ambientes luminosos com baixa relação V/VD podem inibir a germinação de sementes da maioria das espécies forrageiras. A formação inicial de um banco de sementes, enquanto a condição luminosa é favorável (geralmente no primeiro ano a sombra das árvores ainda é pequena e de baixa intensidade) à reprodução, garante adequadas populações na pastagem nos anos seguintes;

(v) Antecipação do estabelecimento da pastagem para o ano anterior ao estabelecimento do sistema IPF, permitindo a introdução das árvores pelo método do cultivo mínimo na linha de plantio (plantio de árvores no segundo ano de formação da pastagem). Este fato normalmente permite uma antecipação na utilização da pastagem no sistema, através do corte para produção de forragem conservada ou do pastejo controlado com animais de pequeno porte. Entretanto, a utilização da pastagem com animais de grande porte (bovinos adultos, por exemplo), enquanto as árvores são pequenas, em meio à pastagem, pode ser conseguida com o uso de cerca-elétrica, protegendo as linhas de plantio. Isto vem sendo praticado no sul do Brasil, especialmente, na bovinocultura de leite (Porfírio-da-Silva et al., 2009).

O sucesso para o manejo de pastagens em sistemas IPF depende grandemente da aplicação prática dos conhecimentos sobre o crescimento e desenvolvimento das forrageiras em condições de sombra e/ou eventualmente submetidas a limitações de água e nutrientes do solo. As decisões sobre o manejo de pastagens sombreadas devem

ser ajustadas anualmente ou enquanto o estrato arbóreo estiver em crescimento e modificando as características do microclima. Sem dúvida, os sistemas IPF são desafiadores no que se refere ao manejo integrado das espécies componentes capazes de garantir produtividade, qualidade e persistência. Por outro lado, estes sistemas traduzem perfeitamente os conceitos mais modernos de exploração agropecuária, ou seja, a conjugação de produção e da rentabilidade com a oferta de serviços ambientais. Por isso, se mostram como excelentes alternativas para a diversificação e integração de atividades em propriedades pecuárias do sul do Brasil.

Referências

- ADDISON, H.; CONGDOM, R. Legumes for agroforestry systems. In: AUSTRALIAN AGRONOMY CONFERENCE, 10., 2001, Hobart. **Proceedings...** Hobart: Australian Society of Agronomy, 2001. 1 CD-ROM
- ASSMANN, J. M.; AANGHINONI, A.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. de; CECAGNO, D.; CARLOS, F. S.; CARVALHO, P. C. de F. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, n. 1, p.52-59, June 2014.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTINEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELLI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, out. 2011.
- BALDISSERA, T. C. **O ambiente luminoso**: do impacto no crescimento e desenvolvimento em nível de planta forrageira a dosséis em sistemas integrados de produção agropecuária. 2014. 140 f. Tese (Doutorado em Ciências: Produção Vegetal) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BARRO, R. S.; SAIBRO, J. C.; MEDEIROS, R.; SILVA, J. L. S.; VARELLA, A. C. Rendimento de forragem e valor nutritivo de gramíneas anuais de estação fria submetidas a sombreamento por *Pinus elliottii* e ao sol. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 10, p. 1721-1727, out. 2008.
- BARRO, R. S.; SAIBRO, J. C. de; VARELLA, A. C.; CARASSAI, I. J.; NABINGER, C.; LEMAIRE, G. Morphological acclimation and canopy structure characteristics of *Arachis pintoi* under reduced light and at full sun. **Tropical Grasslands - Forrajes Tropicales**, v. 2, p. 15-17, Mar. 2014.
- BARRO, R. S.; VARELLA, A. C.; BANGEL, F. V.; SAIBRO, J. C.; MEDEIROS, R. B.; RADIN, B. Screening native C4 pasture genotypes for shade tolerance in Southern Brazil. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF AGRONOMY CONFERENCE, 15., 2010, Lincoln. **Proceedings...** Lincoln: ASA, 2010. p. 1-5.
- BARTH NETO, A.; SAVIAN, J. V.; TRESSCHONS, R. M.; BONNET, O. J. F.; CANTO, M., W. do; MORAES, A. de; LEMAIRE, G.; CARVALHO, P. C. de F. Italian ryegrass establishment by self-seeding in integrated crop-livestock systems : effects of grazing management and crop rotation strategies. **European Journal of Agronomy**, v. 53, p.67-73, Feb. 2014.
- CASTILHOS, Z. M. S.; SAVIAN, J. F.; BARRO, R. S.; FERRÃO, P. S.; AMARAL, H. R. B. Desempenho de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. ao sol e sob bosque de eucalipto. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003, Santa Maria, RS. **Resumos...** Santa Maria: UFSM, 2003.
- CASTILHOS, Z. M. S.; BARRO, R. S.; SAVIAN, J. F.; AMARAL, H. R. B. Produção arbórea e animal em sistemas silvipastoril com acácia-negra (*Acacia mearnsii*). **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 60, p. 39-47, 2009. Edição especial.

- CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; MULLER, M.; NASCIMENTO JUNIOR, E. R. Características agrônômicas, massa de forragem e valor nutritivo da *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 60, p. 19-25, 2009.
- CHU, A. C. P.; ROBERTSON, A. G. The effects of shading and defoliation on nodulation and nitrogen fixation by white clover. **Plant and Soil**, v. 41, n. 3, p. 509-519, Dec. 1974.
- CONTE, O.; WESP, C. de L.; ANGHINONI, A.; CARVALHO, P. C. de F.; LEVIEN, R.; NABINGER, C. Densidade, agregação e frações de carbono de um argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 579-587, mar./abr. 2011.
- DEISS, L.; MORAES, A. de; PELISSARI, A.; SKORA NETO, F.; OLIVEIRA, E. B. de; SILVA, V. P. da. Oat tillering and tiller traits under different nitrogen levels in an eucalyptus agroforestry system in Subtropical Brazil. **Ciência Rural**, v. 44, n. 1, p.71-78, jan. 2014.
- FERREIRA, E. V. de O.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de F.; COSTA, S. E. V. G. de A.; CAO, E. G. Concentração do potássio do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p.1675-1684, nov./dez. 2009.
- FRANKLIN, K. A. Shade avoidance. **New Phytologist**, v. 179, n. 4, p. 930-944, Sept. 2008.
- GARDNER, F. P.; PEARCE, B. B.; MITCHELL, R. L. **Physiology of crop plants**. Ames, Iowa: Iowa State University Press, 1985.
- GIVNISH, T. J. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 15, p.63-92, 1988.
- GOMMERS, C. M. M.; VISSER, E. J. W.; ONGE, K. R. S.; VOESENEK, L. A. C. J.; PIERIK, R. Shade tolerance: when growing tall is not an option. *Trends in Plant Science*, v. 18, n. 2, p. 1360-1385, Feb. 2013.
- IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Banco de Dados Agregados. **Estabelecimentos na agropecuária**: unidades Brasil. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?z=t&o=24&i=P>>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- KEPHART, K. D.; BUXTON, D. R. Forage quality responses of C₃ and C₄ perennial grasses to shade. **Crop Science**, v. 33, n. 4, p. 831-837, Jan. 1993.
- KIRCHNER, R.; SOARES, A. B.; SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; MIGLIORINI, F.; FONSECA, L. Desempenho de forrageiras hibernais sob distintos níveis de luminosidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 11, p. 2371-2379, nov. 2010.
- KITAJIMA, K. Relative importance of photosynthetic traits and allocation patterns as correlates of seedling shade tolerance of 13 tropical trees. **Oecologia**, v. 98, n. 3-4, p.419-428, Aug. 1994.
- KUNRATH, T. R.; CADENAZZI, M.; BRAMBILLA, D. M.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; BARRO, R. S.; CARVALHO, P. C. F. Management targets for continuously stocked mixed oat annual ryegrass pasture in a no-till integrated crop-livestock system. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 71-76, July 2014.
- LIN, C. H.; MCGRAW, R. L. M.; GEORGE, F.; GARRETT, H. E. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, v. 53, n. 3, p.269-281, Nov. 2001.

LUCAS, N. M. **Desempenho animal em sistema silvipastoril com acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) e rendimento de matéria seca de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. sob dois regimes de luz solar**. 2004. 127 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LUDWIG, F.; DE KROON, H.; PRINS, H. H. T.; BERENDISE, F. Effects of nutrients and shade on tree grass interactions on an East African savanna. **Journal of Vegetation Science**, Knivsta, v.12, p. 579-588, Feb. 2001.

MARASCHIN, G. E. Utilização, manejo e produtividade das pastagens nativas da região Sul do Brasil. In: CICLO DE PALESTRAS EM PRODUÇÃO E MANEJO DE BOVINOS DE CORTE, 1998, Canoas. **Manejo e utilização sustentável de pastagens**: anais. Canoas. Ed. da ULBRA, 1998. p. 29-39.

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

MORAES, A. de; CARVALHO, P. C. de F.; ANGHINONI, I.; LUSTOSA, S. B. C.; COSTA, S. E. V. G. de A.; KUNRATH, T. R. Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics. **European Journal of Agronomy**, v. 57, p. 4-9, July 2014.

MORAES, A.; MARASCHIN, G. E.; NABINGER, C. Pastagens nos ecossistemas de clima subtropical: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS, 1995. **Pesquisa para o desenvolvimento sustentável**: anais. Brasília, DF: SBZ, 1995. p. 147-200.

NEVES, F. P.; CARVALHO, P. C. de F.; NABINGER, C.; CARASSAI, I. J.; SANTOS, D. T. dos; VEIGA, G. V. da. Caracterização da estrutura da vegetação numa pastagem natural do Bioma Pampa submetida a diferentes estratégias de manejo da oferta de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1685-1694, set. 2009.

PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T.; FERNANDES, P. B.; MULLER, M.; PIRES, M. F. A.; XAVIER, D. F. Características produtivas e nutricionais do pasto em um sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1176-1183, out. 2011.

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, p. 157-170, 2002.

PONTES, L. da S.; BALDISSERA, T. C.; BARRO, R. S.; GIOSTRI, A. F.; STAFIN, G.; SANTOS, B. R. C.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; CARVALHO, P. C. de F. Interactive N supply and cutting intensity effect on canopy height at 95% light interception. In: GENERAL MEETING OF THE EUROPEAN GRASSLAND FEDERATION, 25., 2014, Aberystwyth, Wales. **EGF at 50: the future of European grasslands: proceedings**. Aberystwyth: IBERS; Aberystwyth University, 2014. p. 353-355.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Produtividade em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no subtrópico brasileiro**. 2012. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Modificações microclimáticas em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta* A. Cunn. Ex R. Br. na Região Noroeste do Paraná. 1998. 128 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MEDRADO, M. J. S.; NICODEMO, M. L. F.; DERETI, R. M. **Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras**: implantação e manejo. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 48 p.

SAIBRO, J. C. Animal production from tree-pasture association systems in Brazil. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, São Pedro, SP. **Palestra...** São Pedro, SP: FEALQ, 2001. p. 637-643.

SARTOR, L. R.; SOARES, A. B.; FONSECA, L.; MIGLIORINI, F.; MEZZALIRA, J. Produção de forragem de espécies de inverno em ambiente sombreado. **Synergismus Scientifica UTFPR**, v. 1, n. 1, p. 13-21, 2006.

SAVIAN, J. V.; BARTH NETO, A.; DAVID, D. B. de D.; BREMM, C.; TRESSCHONS, R. M.; GENRO, T. C. M.; AMARAL, G. A. do; GERE, J.; MCMANUS, C. M.; BAYER, C.; CARVALHO, P. C. de F. Grazing intensity and stocking methods on animal production and methane emission by grazing sheep: implications for integrated crop–livestock system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p.112–119, June 2014.

SILVA, J. L. S.; VARELLA, A. C.; SAIBRO, J. C.; CASTILHOS, Z. M. S. **Manejo de animais e pastagens em sistemas de integração silvipastoril**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. 98 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 335).

SILVA, J. L. S. **Produtividade de componentes de um sistema silvipastoril constituído por Eucalyptus saligna e pastagens cultivada e nativa no Rio Grande do Sul**. 1998. 174 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SMITH, H.; WHITELAM, G. C. The shade avoidance syndrome: multiple responses mediated by multiple phytochromes. **Plant, Cell & Environment**, v. 20, p. 840–844, 1997.

SOARES, A. B.; SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; VARELLA, A. C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 443-451, mar. 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

VALLADARES, F.; NIINEMETS, U. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 39, p.237–257, 2008.

VARELLA, A. C.; PERI, P. L.; LUCAS, R. J.; MOOT, D. J.; MCNEIL, D. L. Dry matter production and nutritive value of alfafa (*Medicago sativa* L.) and orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) under different light regimes. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, São Pedro, SP. **Proceedings...** Piracicaba: Fealq, 2001. p. 660-661.

VARELLA, A. C.; SILVA, V. P. da; RIBASKI, J.; SOARES, A. B.; MORAIS, H.; MORAES, A. de; SAIBRO, J. C. de; BARRO, R. S. Estabelecimento de plantas forrageiras em sistemas de integração floresta-pecuária no sul do Brasil. In: FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. (Org.). **Forrageiras para integração Lavoura-Pecuária-Floresta na região sul-brasileira**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 435-460.

VARELLA, A. C.; MOOT, D. J.; POLLOCK, K. M.; PERI, P. L.; LUCAS, R. J. 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, Feb. 2011.

VARELLA, A. C.; SAIBRO, J. C. Uso de bovinos e ovinos como agentes de controle da vegetação nativa sob três populações de eucalipto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 1, p. 30-34, jan./fev. 1999.

WILSON, J. R.; WILD, D. W. M. Improvement of nitrogen nutrition and grass growth under shading. In: SHELTON, H. M.; STÜR, W. W. (Ed.). **Forages for plantation crops**, Canberra, Australia: ACIAR, 1991. p. 77. (ACIAR Proceedings, 32).

WILSON, J. R.; HILL, K.; SHELTON, H. M.; CAMERON, D. M. The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. **Tropical Grassland**, v. 24, n. 1, p. 24-28, Jan. 1990.