

KÁTIA FERNANDA GOBBI

CARACTERÍSTICAS MORFOANATÔMICAS, NUTRICIONAIS E  
PRODUTIVIDADE DE FORRAGEIRAS TROPICAIS SUBMETIDAS AO  
SOMBREAMENTO

Tese apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das  
exigências do Programa de Pós-Graduação  
em Zootecnia, para obtenção do título de  
*Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2007

KÁTIA FERNANDA GOBBI

CARACTERÍSTICAS MORFOANATÔMICAS, NUTRICIONAIS E  
PRODUTIVIDADE DE FORRAGEIRAS TROPICAIS SUBMETIDAS AO  
SOMBREAMENTO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 09 de novembro de 2007.

---

Prof. Odilon Gomes Pereira  
(Co-Orientador)

---

Prof<sup>a</sup>. Marília Contin Ventrella  
(Co-Orientadora)

---

Dr. Domingos Sávio Campos  
Paciullo

---

Dr. Domingos Sávio Queiroz

---

Prof. Rasmô Garcia  
(Orientador)

*Ao meu pai Lonito Luiz Gobbi  
À minha mãe Orilde Maria Gobbi  
Aos meus irmãos Fábio e Ronaldo.  
Ao Américo*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Rasmô Garcia, pela orientação, amizade e disponibilidade durante a realização desse trabalho.

Ao Professor Odilon Gomes Pereira, pelos conselhos, sugestões e amizade.

À Professora Marília Contin Ventrella, pela ajuda valiosa e amizade.

Ao Dr. Domingos Sávio Queiroz e ao Dr. Domingos Sávio Campos Paciullo, pela participação na banca de defesa de tese e pelas importantes sugestões.

Aos grandes amigos Fernanda, Acyr, Valéria, Dalton, Daíse e Fernando, pelo apoio e amizade sempre presentes.

Aos amigos e colegas de curso Rafael, Francisco, Celly, Gleidson, Aline, Lincoln, Elenice, Karla, Tiago, Fernanda, Mário, João Paulo, Andréia, Bruno, Lílian e Jucilene, pelos bons momentos.

Ao bolsista de Iniciação Científica Gabriel Cipriano Rocha, pela grande amizade e pelo auxílio na condução do experimento.

Aos estudantes e Professores do Laboratório de Anatomia Vegetal, pela recepção, ensinamentos e convivência agradável.

Aos funcionários dos Laboratórios de Forragicultura, Nutrição Animal e Anatomia Vegetal pelo auxílio na condução das análises laboratoriais.

À minha família e ao Américo, que mesmo de longe compartilharam os momentos bons e me apoiaram nos momentos difíceis.

## **BIOGRAFIA**

KÁTIA FERNANDA GOBBI, filha de Lonito Luiz Gobbi e Orilde Maria Gobbi, nasceu em Não-Me-Toque, Rio Grande do Sul, em 03 de março de 1978.

Em maio de 2002, graduou-se em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa.

Em fevereiro de 2004, concluiu o curso de mestrado em Zootecnia, na área de Forragicultura e Pastagens, nesta Universidade.

Em março de 2004, iniciou o Programa de Doutorado em Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa, concentrando seus estudos na área de Forragicultura e Pastagem, defendendo tese em novembro de 2007.

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	9
 <b>Capítulo</b>	
<b>1. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa de forrageiras tropicais submetidas ao sombreamento</b> .....	13
Resumo.....	13
Introdução.....	15
Material e Métodos.....	17
Resultados e Discussão.....	22
Conclusões.....	32
Referências Bibliográficas.....	33
 <b>2. Características morfológicas, estruturais e produtividade de forrageiras tropicais submetidas ao sombreamento</b> .....	36
Resumo.....	36
Introdução.....	38
Material e Métodos.....	39
Resultados e Discussão.....	44
Conclusões.....	54
Referências Bibliográficas.....	55
 <b>3. Valor nutritivo de forrageiras tropicais submetidas ao sombreamento</b> .....	58

Resumo.....	58
Introdução.....	60
Material e Métodos.....	61
Resultados e Discussão.....	66
Conclusões.....	73
Referências Bibliográficas.....	74
<b>CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>78</b>

## RESUMO

GOBBI, Kátia Fernanda, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2007. **Características morfoanatômicas, nutricionais e produtividade de forrageiras tropicais submetidas ao sombreamento.** Orientador: Rasmão Garcia. Co-Orientadores: Odilon Gomes Pereira e Marília Contin Ventrella.

As características anatômicas, morfológicas e o valor nutritivo da braquiária (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk) e do amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* cv. Amarillo) foram avaliadas em resposta a diferentes níveis de sombreamento artificial (0, 50 e 70%), com o objetivo de se determinar a aclimação e capacidade produtiva destas forrageiras sob luminosidade reduzida. O estudo foi conduzido sob delineamento em blocos completamente casualizados, com três repetições. Foram realizados três e dois cortes, respectivamente, para avaliação das plantas de braquiária e amendoim forrageiro, ao longo do período experimental. Tanto a gramínea quanto a leguminosa apresentaram alterações anatômicas e morfológicas que afetaram a produção e o valor nutritivo das forrageiras sob sombra. De modo geral, ocorreu redução ( $P < 0,01$ ) na produção de matéria seca (PMS) das espécies em função dos níveis crescentes de sombra. O sombreamento promoveu aumento significativo ( $P < 0,05$ ) da área foliar específica (AFE) das plantas, em todos os cortes avaliados. Nas folhas de braquiária o aumento da AFE foi acompanhado por redução linear ( $P < 0,05$ ) na espessura das folhas sob sombra. Por outro lado, a espessura das folhas de amendoim forrageiro não sofreu alteração significativa com o sombreamento, apesar da redução linear ( $P < 0,05$ ) na espessura do parênquima paliádico. A densidade estomática nas faces adaxial e abaxial da epiderme das folhas de amendoim forrageiro e braquiária diminuiu linearmente ( $P < 0,05$ ) com o incremento nos níveis de sombra, em todos os cortes avaliados. Já a área ocupada pelos diferentes tecidos na seção transversal de folha, com algumas exceções nas folhas de braquiária, não sofreu grandes alterações em função dos tratamentos.

Acompanhando o incremento da AFE, a área foliar por folíolo e a área foliar por perfilho também apresentaram aumento significativo ( $P < 0,05$ ) com a redução dos níveis de luz. Já o índice de área foliar (IAF) não foi alterado pelos tratamentos nas forrageiras estudadas, exceto no segundo corte do amendoim forrageiro, onde se observou redução linear ( $P < 0,05$ ) do IAF com o aumento do sombreamento. O sombreamento crescente estimulou aumento significativo ( $P < 0,05$ ) do comprimento de pecíolos, colmos e lâminas foliares, juntamente com a altura média do dossel, nas espécies avaliadas, em todos os cortes estudados. Os níveis crescentes de sombra também promoveram diminuição linear ( $P < 0,001$ ) da densidade populacional de perfilhos ( $n^{\circ} m^{-2}$ ) no dossel de braquiária. Por outro lado, o peso médio dos perfilhos só foi afetado de modo significativo no terceiro corte, observando-se aumento linear ( $P < 0,01$ ) com o incremento nos níveis de sombra. De modo geral, a proporção de folhas e caules/colmos e conseqüentemente a relação folha:caule/colmo, tanto da gramínea quanto da leguminosa, não foram afetadas significativamente ( $P > 0,05$ ) pelos tratamentos. O teor de matéria seca das duas espécies avaliadas foi reduzido ( $P < 0,05$ ) com o aumento dos níveis de sombra. Tanto o amendoim forrageiro quanto a braquiária, apresentaram incremento ( $P < 0,05$ ) no teor de PB em função do sombreamento. As plantas de amendoim forrageiro, submetidas a níveis crescentes de sombra, apresentaram incremento ( $P < 0,05$ ) nos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). Na braquiária, o sombreamento crescente não causou alterações significativas ( $P > 0,05$ ) nos constituintes de parede celular, no primeiro corte. Já as plantas coletadas no segundo corte apresentaram queda linear ( $P < 0,05$ ) nos conteúdos de FDN e FDA, com o incremento nos níveis de sombra. No terceiro corte da gramínea, o sombreamento promoveu incremento ( $P < 0,05$ ) apenas nos teores de FDA. O teor dos macronutrientes cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K) não apresentou comportamento padrão entre as espécies e cortes avaliados, mas de modo geral, o conteúdo destes minerais, quando alterado, aumentou em função dos níveis crescentes de sombra. Apesar das alterações na composição química das espécies submetidas ao sombreamento, a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) da gramínea e da leguminosa não foi afetada de modo significativo ( $P > 0,05$ ) em nenhum dos cortes. Embora as plantas sombreadas tenham sofrido alterações anatômicas e morfológicas, que indicam boa aclimação e

tolerância das espécies às condições de baixa luminosidade, o valor nutritivo das forrageiras não foi afetado de forma expressiva pelo sombreamento. Tanto o amendoim forrageiro quanto a braquiária são espécies com bom potencial para produção de forragem de qualidade em sistemas silvipastoris, onde o nível de transmissão luminosa fique em torno de 50% da radiação fotossinteticamente ativa.

## ABSTRACT

GOBBI, Kátia Fernanda, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2007. **Morphoanatomical and nutritional characteristics and productivity of tropical forages submitted to shading.** Adviser: Rasmô Garcia. Co-Advisers: Odilon Gomes Pereira e Marília Contin Ventrella.

Leaf anatomy, morphological characteristics and nutritive value of signalgrass (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk) and forage peanut (*Arachis pintoi* cv. Amarillo) were evaluated in response to three shade levels (0, 50 and 70%). The aim of this study was to determine the acclimation and yield capacity of these forage species under low light. Treatments were arranged in three replicates of a randomized complete block design. There were three and two harvests within the experimental period, for signalgrass and forage peanut, respectively. Grass and legume showed changes in leaf anatomy and morphological characteristics that affected its dry matter production and nutritive value under shade. In general, dry matter production of both species decreased ( $P < 0.01$ ) with shade. Shading promoted significant increase ( $P < 0.05$ ) of specific leaf area (SLA) of forage species, in all harvests evaluated. In signalgrass leaves, the SLA increase was followed by a linear reduction ( $P < 0.05$ ) in leaf thickness, under shade. On the other hand, forage peanut leaf thickness was not altered by shade, in spite of linear decrease ( $P < 0.05$ ) of palisade parenchyma thickness. Stomatal density was decreased linearly ( $P < 0.05$ ) on both leaf surfaces when forage peanut and signalgrass were grown under increased shade levels. The leaf blade cross-sectional area occupied by different tissues was not affected by treatments, with some exceptions in signalgrass leaves. Leaf area per leaflet and leaf area per tiller increased ( $P < 0.05$ ) with decreased light levels. Nevertheless, leaf area index (LAI) was not changed in studied species, except in the second harvest for forage peanut, where occurred linear decrease ( $P < 0.05$ ) of LAI with shading. In all harvests, average sward height, forage peanut petiole length, as well as signalgrass stem and leaf blade length were significantly increased ( $P < 0.05$ ) by shade. On the

other hand, tiller population density in signalgrass sward decreased linearly ( $P < 0.001$ ) with shading, in the three harvests evaluated. Mean tiller weight was only affected in the third harvest, showing a linear increment ( $P < 0.01$ ) with increasing shading. In general, the proportion of leaves and stems, and consequently leaf:stem ratio were not altered ( $P > 0.05$ ) by treatments, in both species. Dry matter content of signalgrass and forage peanut decreased ( $P < 0.05$ ) with shade. Moreover, under shade, both species showed greater ( $P < 0.05$ ) crude protein content. In the two harvests of forage peanut, plants submitted to increased shade levels presented significant increment ( $P < 0.05$ ) in neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) content. In the first harvest of signalgrass, shading did not promote significant alteration ( $P > 0.05$ ) in plant cell wall content, but in the second harvest it was observed linear reduction ( $P < 0.05$ ) in NDF and ADF content under shade. In the third harvest of grass, shading induced increment ( $P < 0.05$ ) only in ADF content. The variation in macronutrients concentration was not consistent between species and harvests, but in general, the concentrations were higher under shade. In spite of chemical alterations found under shade, the *in vitro* dry matter digestibility of signalgrass and forage peanut was not significantly affected ( $P > 0.05$ ) in any harvest. Anatomical and morphological changes observed in plants under shade indicate species acclimation and tolerance to low light conditions, but nutritive value of grass and legume was not expressively affected by shading. Signalgrass and forage peanut have great potential to produce quality forage in silvopastoral systems where light transmission level stay around 50% of photosynthetically active radiation.

## INTRODUÇÃO GERAL

Ao mesmo tempo que a demanda por alimento e fibra vem aumentando mundialmente, os produtores rurais precisam lidar cada vez mais com a diminuição das reservas de energia, degradação do solo e redução da renda obtida com a venda da produção, em função da depreciação nos preços de produtos agrícolas. Estes produtores rurais necessitam aumentar a produção sem elevar os custos, para que possam sobreviver no mercado agrícola atual.

Algumas formas de aumentar a produtividade dos sistemas agropecuários baseiam-se no investimento em melhoramento genético, maquinário, fertilizantes e pesticidas. Contudo, estas alternativas muitas vezes não garantem a produção a longo-prazo nem a sustentabilidade dos sistemas, podendo em alguns casos contribuir para a degradação ambiental e redução da biodiversidade (Workman et al., 2003).

No Brasil, aproximadamente 177 milhões de hectares são ocupados com pastagens, o que representa cerca de 50% do total de terras utilizáveis para agricultura no país (IGBE, 1996). Em torno de 100 milhões de hectares são ocupados por forrageiras cultivadas e o restante é constituído por pastagens naturais, compostas por espécies nativas ou naturalizadas (Pereira et al., 2001).

Apesar da grande área ocupada por pastagens no país, em muitas regiões, o aumento da produção pecuária tem ocorrido principalmente devido à expansão da área de pasto e não pelo aumento da produtividade. Em muitos casos, esta expansão da área de pastagens ocorre às custas da derrubada de florestas ou vegetação nativa. Além disso, boa parte dos sistemas de produção de bovinos no Brasil são baseados na utilização de pastagens que apresentam algum grau de degradação, por causa de problemas como superpastejo, baixa fertilidade do solo ou utilização de espécies pouco adaptadas às condições edafoclimáticas da região (Carvalho et al., 2000).

Uma alternativa que vem sendo difundida nos últimos anos baseia-se no uso de sistemas silvipastoris. Estes sistemas, intencionalmente integram árvores, culturas forrageiras e animais herbívoros numa mesma área (Garcia & Couto, 1997), com estrutura e interações planejadas.

Os sistemas silvipastoris propiciam aos agricultores e pecuaristas a vantagem de diversificação de culturas, produção de madeira e alimento,

controle da erosão e maior fertilidade do solo (Belsky et al., 1993). Assim, a implantação de sistemas silvipastoris em áreas anteriormente destinadas ao cultivo exclusivo de pasto ou árvores pode ser uma opção bastante promissora para o uso múltiplo da terra.

Estes sistemas podem se tornar uma alternativa de exploração agrícola que seja biológica, econômica e ecologicamente mais sustentável que os sistemas convencionais, uma vez que permitem a produção simultânea de diferentes produtos, em diferentes épocas, utilizando-se a mesma área. Além disso, os sistemas silvipastoris contribuem para a proteção da biodiversidade local, melhoram a qualidade da água e do solo e seqüestram grandes quantidades de carbono (McGregor et al., 1999).

No ecossistema de pastagem, a produção de forragem sob as árvores é influenciada por inúmeros fatores, incluindo clima, produtividade local, práticas de manejo e dinâmica de competição acima e abaixo do nível do solo. A presença de árvores tem efeito sobre a luminosidade, temperatura, umidade do solo, etc., afetando o ambiente, a produção e qualidade da forragem e os animais.

A exploração bem sucedida dos sistemas silvipastoris requer o uso de espécies forrageiras tolerantes às condições impostas pela presença de árvores, como o sombreamento. Segundo Wong (1991), essa característica refere-se à capacidade de uma espécie crescer à sombra em relação ao crescimento a pleno sol e sob a influência de desfolhações regulares. No entanto, a tolerância das forrageiras à sombra deve ser caracterizada não só pela sobrevivência mas também pela adaptação ao manejo e às condições edafoclimáticas da região, produção satisfatória de matéria seca (Garcia & Andrade, 2001) e pela qualidade e valor nutritivo adequados da forragem.

Apesar de algumas plantas forrageiras serem mais tolerantes à sombra que outras, de modo geral, a diminuição da intensidade luminosa provoca redução na produtividade das plantas (Ericksen & Whitney, 1981). Contudo, muitos pesquisadores têm observado respostas positivas da produção de forragem em relação à sombra (Castro et al., 1999; Gyenge et al., 2002; Burner & Brauer, 2003). Por outro lado, alguns estudos demonstram respostas neutras (Lin et al., 1999; Platis & Papanastasis, 2003) e negativas (Kephart et al., 1992; Lin et al., 1999; Garcez Neto, 2006) da produção forrageira em relação ao sombreamento.

Sob condições de baixa luminosidade as espécies necessitam de estratégias de tolerância à sombra, como a capacidade de maximizar a eficiência de uso da radiação, a produção de área foliar e a interceptação da luz, através de alterações anatômicas, morfológicas e fisiológicas (Allard et al., 1991; Deinum et al., 1996; Lambers et al., 1998; Belesky, 2005a,b), que por sua vez podem afetar a quantidade e a qualidade da forragem produzida (Lin et al., 2001; Peri et al., 2007; Paciullo et al., 2007).

Entre as variações microclimáticas que ocorrem em sistemas silvipastoris, as modificações no ambiente luminoso têm merecido grande atenção por influenciarem inúmeras características das plantas forrageiras que interferem na produtividade do pasto.

O sombreamento leva a uma redução na radiação incidente e na relação do espectro de luz (vermelho:vermelho extremo) (Feldhake, 2001), tornando a temperatura mais amena, aumentando a umidade do ar, reduzindo a taxa de evapotranspiração e aumentando a umidade do solo. Estas alterações microclimáticas podem causar mudanças significativas na morfologia das plantas forrageiras (Lin et al., 1999). Dentre as modificações morfológicas induzidas pela sombra, que interferem na quantidade e qualidade da forragem, destacam-se a área, comprimento, espessura e orientação da lâmina foliar, comprimento do colmo e pecíolo, número de folhas e a relação folha:caule.

O cultivo de várias espécies de gramíneas sob diferentes níveis de redução da intensidade luminosa resultou em plantas mais altas e com colmos mais longos (Andrade & Valentim, 1999; Castro et al., 1999; Garcez Neto, 2006; Peri et al., 2007). Além disso, sob níveis decrescentes de luz, as folhas de gramíneas tendem a ficar mais longas (Castro et al., 1999; Lin et al., 2001; Garcez Neto, 2006) e mais largas (Morita et al., 1994; Castro et al., 1999).

Marcuvitz & Turkington (2000) observaram maior produção, maior área foliar, maior comprimento do pecíolo, bem como maior comprimento dos entrenós primários dos estolões, em plantas de trevo branco sombreadas.

Avaliando a adaptação do *Arachis pintoi* sob diferentes níveis de sombreamento, Andrade e Valentim (1999) constataram aumento na altura das plantas, com maior alongamento do caule. Lin et al. (2001), verificaram aumento da área foliar e do comprimento do entrenó em gramíneas e leguminosas crescendo sob sombra.

Kephart et al. (1992) observaram que gramíneas e leguminosas responderam à sombra através da alocação de maior proporção de carboidratos para manter ou aumentar a área foliar e o comprimento do caule, enquanto diminuíram a MS para o crescimento radicular.

Estudos demonstram que a maior proporção de luz na faixa do vermelho extremo (730 nm) em relação à luz na faixa do vermelho (660 nm), sob sombra, promove o alongamento do caule tanto de gramíneas quanto de leguminosas, promovendo a alocação de carboidratos para o rápido crescimento em extensão do caule (Ballare et al., 1990). O maior comprimento do entrenó pode promover melhor arranjo espacial das folhas e assim a planta pode interceptar e utilizar a luz disponível de forma mais eficiente.

O sombreamento também pode influenciar o teor de MS e o acúmulo de material morto nas plantas forrageiras. As gramíneas cultivadas à sombra tendem a ser mais suculentas, com menor teor de MS, devido ao desenvolvimento mais lento das plantas, com reduzida velocidade de perda de água pelos tecidos (Castro et al., 1999; Peri et al., 2007).

A redução do acúmulo de tecidos mortos devido ao sombreamento também pode estar relacionada com a menor velocidade de desenvolvimento das plantas sob sombra e também às condições microclimáticas do ambiente sombreado, onde predominam temperaturas mais amenas e maior umidade do ar e no solo.

O aumento da área foliar específica (área de folha/massa de folha) em condições de baixa luminosidade está diretamente relacionado com as alterações anatômicas que podem ocorrer nas plantas sombreadas, como cutículas e epiderme mais delgadas, menor espessura de mesofilo e menor proporção de parênquima paliçádico, menor proporção de tecidos condutores e de sustentação, menor espessura de parede celular, maior proporção de espaços intercelulares e menor densidade estomática (Allard et al., 1991; Deinum et al., 1996; Berlyn & Cho, 2000).

Berlyn & Cho (2000) destacam outras características fisiológicas, anatômicas e morfológicas das folhas que se desenvolvem em ambiente sombreado, entre elas: 1) maior eficiência fotossintética sob baixa luminosidade; 2) incapacidade de sustentar alta fotossíntese sob alta luminosidade; 3) encontram-se saturadas sob intensidades luminosas mais baixas; 4) menor densidade estomática e estômatos maiores; 5) cloroplastos

maiores, porém em menor número; 6) maior teor de celulose e menor de lignina; 7) menor teor de amido, lipídios e ácidos orgânicos; 8) maior concentração de água no tecido fresco e maior relação entre citoplasma e parede celular.

O valor nutritivo das plantas, definido em função de sua composição química e digestibilidade potencial, depende de fatores químicos, físicos e estruturais inerentes a planta (Moore, 1994), sendo que todos, de alguma forma, são dependentes de fatores externos como o clima. As alterações morfológicas, anatômicas e fisiológicas que ocorrem nas plantas em função do sombreamento influenciam diretamente a qualidade e o valor nutritivo destas plantas.

O teor de proteína bruta (PB) ou o conteúdo de nitrogênio (N), geralmente aumenta em plantas sombreadas (Garcez Neto, 2006; Belesky et al., 2006; Paciullo et al., 2007; Peri et al., 2007), mas esta tendência é maior em gramíneas do que em leguminosas (Lin et al., 2001). Por outro lado, alguns estudos não observaram efeitos da sombra sobre o teor de proteína das plantas (Clason, 1999).

Existem muitas hipóteses para explicar o efeito positivo da sombra sobre o teor de proteína nas plantas forrageiras. A sombra pode ter efeito positivo sobre a disponibilidade de nitrogênio no solo (Wilson, 1998). O maior teor de umidade no solo associado com a temperatura moderada sob sombra pode resultar na maior velocidade da taxa de mineralização do N, decomposição do litter e ciclagem de N (Humphreys, 1994; Wilson, 1996).

O maior teor de PB nas plantas sombreadas também pode estar associado ao menor tamanho das células sob sombra. O menor tamanho das células juntamente com a quantidade praticamente constante de N por célula pode ter um efeito concentrador (Kephart & Buxton, 1993).

Niinemets (1999) verificou que o aumento na concentração de N pode estar correlacionada com a redução na densidade e espessura da folha e com o aumento da área foliar específica sob sombra. Segundo Garnier et al. (1997), a redução na densidade da folha ocorre devido a redução na proporção de tecidos densos como esclerênquima e/ou tecido vascular lignificado, ricos em parede celular e pobres em N, e a manutenção do volume do mesofilo.

Com o aumento do nível de sombra, o conteúdo de carboidratos solúveis na planta diminui e geralmente ocorre um aumento concomitante no conteúdo

de parede celular (Deinum, 1971). Lin et al. (2001) observaram aumento ou a não alteração das concentrações de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), sob sombra, na maioria das forrageiras estudadas. De acordo com os autores o aumento no conteúdo de parede celular sob sombra pode estar relacionado com a redução na porcentagem de carboidratos não-estruturais (amido, açúcares solúveis), causada pelo sombreamento.

Existem relatos de que a lignificação e o teor de sílica são maiores em plantas sombreadas (Samarakoon et al., 1990; Castro, 1996). Concordando com os resultados citados anteriormente, alguns estudos sugerem que a digestibilidade da MS da forragem, tanto de gramíneas tropicais quanto temperadas, diminui em função da redução da intensidade luminosa (Masuda, 1977; Castro, 1996). Contudo, em outros trabalhos verificou-se redução no teor de fibra, bem como aumentos na digestibilidade de plantas sombreadas (Samarakoon et al., 1990; Kephart & Buxton, 1993; Paciullo et al., 2007).

De acordo com Kephart & Buxton (1993), condições estressantes, como o sombreamento, provavelmente reduzem a disponibilidade de fotoassimilados para o desenvolvimento de parede celular secundária, podendo contribuir para o aumento da qualidade das plantas na sombra. Sob condições sombreadas, a área foliar pode aumentar e a expansão da área foliar pode ser prolongada (Allard et al., 1991), disponibilizando apenas pequena quantidade de fotoassimilados para o crescimento de parede celular secundária e contribuindo para o aumento da qualidade da forragem.

Apesar de muitos estudos avaliarem o efeito da sombra sobre o valor nutritivo das plantas, é importante ressaltar que este efeito pode ser confundido com os efeitos da temperatura, pois a sombra geralmente diminui a temperatura local. Sob sombra, as menores temperaturas podem aumentar a digestibilidade da forragem (Sharrow, 1999). A temperatura mais baixa pode ter efeito positivo sobre a digestibilidade das plantas forrageiras, superando ou equilibrando o efeito negativo causado pela redução no teor de carboidratos solúveis e aumento no conteúdo de fibra. Isto se justifica pois temperaturas elevadas promovem a síntese mais rápida de novas células, bem como aceleram sua maturação e desenvolvimento do colmo, afetando adversamente a digestibilidade (Wilson et al., 1976).

Plantas forrageiras crescendo sob sombra geralmente apresentam alterações no teor de minerais. De acordo com Clark (1981), a luz não atua

diretamente na absorção de elementos minerais pelas plantas, porém afeta processos biológicos que podem interferir na sua composição mineral, como a fotossíntese, transpiração e respiração. A sombra pode influenciar na maior disponibilidade e absorção de nutrientes do solo, incluindo minerais, especialmente Ca e P (Wilson et al., 1990; Castro et al., 2001).

A maioria destas alterações anatômicas, morfológicas e químicas que ocorrem em plantas submetidas ao sombreamento, são comuns para gramíneas e leguminosas tropicais, apesar das diferenças metabólicas observadas entre as espécies. No entanto, devido às diferenças fisiológicas entre gramíneas ( $C_4$ ) e leguminosas ( $C_3$ ), fotossíntese de gramíneas tropicais é mais sensível ao sombreamento que a das leguminosas (Ludlow et al., 1974). Isto pode estar ligado ao fato de que a capacidade fotossintética de folhas individuais de gramíneas  $C_4$  aumenta com o nível de irradiância, enquanto que as leguminosas tornam-se saturadas sob 50% da irradiância máxima.

Pelo fato de o nitrogênio ser considerado o nutriente mais limitante na maioria dos ecossistemas agrícolas (Humphreys, 1997), o uso de leguminosas forrageiras nas pastagens pode ser uma alternativa economicamente interessante para manutenção de uma produção vegetal e animal satisfatórias. Contudo, a manutenção de um balanço adequado de gramíneas e leguminosas é um dos principais problemas enfrentados na adoção e manejo de pastos consorciados nas regiões tropicais.

A habilidade comparativa de gramíneas e leguminosas na competição por luz pode ser um fator determinante para implantação de consórcios em sistemas silvipastoris, aumentando o valor nutritivo do pasto no sub-bosque e garantindo a persistência deste consórcio quando se utilizam gramíneas e principalmente leguminosas tolerantes ao sombreamento. Ludlow et al., (1974) e Sophanodora (1991) sugerem que em ambientes de baixa luminosidade, gramíneas e leguminosas tropicais podem apresentar a mesma habilidade competitiva, devido a redução na vantagem de crescimento das gramíneas sob sombra. Entretanto, existem poucos estudos sobre o crescimento, produção, características do dossel e valor nutritivo de gramíneas e, principalmente, leguminosas forrageiras sob condições sombreadas.

Percebe-se, portanto, que a otimização da produção e qualidade da forragem em sistemas silvipastoris depende do entendimento de como as plantas respondem às mudanças microclimáticas causadas pela sombra.

É importante se determinar a magnitude e o tipo de alterações fisiológicas, anatômicas e morfológicas que ocorrem na planta sob baixos níveis de luminosidade e como isto afeta a quantidade e qualidade da forragem produzida. Estas informações podem contribuir para a seleção de espécies forrageiras adequadas, bem como técnicas de manejo compatíveis para obtenção de forragem de qualidade e manutenção da sustentabilidade do sistema ao longo do tempo.

Entretanto, as informações acerca de espécies forrageiras tropicais, principalmente leguminosas, passíveis de utilização em sistemas silvipastoris ainda são bastante limitadas. Assim, justifica-se, face aos poucos resultados obtidos no Brasil, a realização de novos estudos para se avaliar as respostas, de plantas forrageiras utilizadas no país, ao sombreamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLARD, G.; NELSON, C.J.; PALLARDY, S.G. Shade effects on growth of tall fescue: leaf anatomy and dry matter partitioning. **Crop Science**, v.31, p.163-167, 1991.
- ANDRADE, C.M.S.; VALENTIM, J.F. Adaptação, produtividade e persistência de *Arachis pintoi* submetido a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.3, p.439-445, 1999.
- BALLARE, C.; SCOPEL, A.L.; SANCHEZ, R.A. Far-red radiation reflected from adjacent leaves: an early signal of competition in plant canopies. **Science**, v.247, p.329-331, 1990.
- BELESKY, D.P. Growth of *Dactylis glomerata* along a light gradient in the central Appalachian region of the eastern USA: I. Dry matter production and partitioning. **Agroforestry Systems**, v.65, p.81-90, 2005a.
- BELESKY, D.P. Growth of *Dactylis glomerata* along a light gradient in the central Appalachian region of the eastern USA: II. Mechanisms of leaf dry matter production. **Agroforestry Systems**, v.65, p.91-98, 2005b.
- BELESKY, D.P.; CHATTERTON, N.J.; NEEL, J.P.S. *Dactylis glomerata* growing along a light gradient in the central Appalachian region of the eastern USA: III. Nonstructural carbohydrates and nutritive value. **Agroforestry Systems**, v.67, p.51-61, 2006.
- BELSKY, A.J.; MWONGA, S.M.; AMUNDSON, R.G. et al. Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environment in high- and low-rainfall savannas. **Journal of Applied Ecology**, v.30, p.143-155, 1993.
- BERLYN, G.P.; CHO, J. Light, moisture, and nutrient use by plants. In: Ashton, M.S., Montagnini, F. (Eds.) **The silvicultural basis for agroforestry systems**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.9-39.
- BURNER, D.M.; BRAUER, D.K. Herbage response to spacing of loblolly pine trees in a minimal management silvopasture in southeastern USA. **Agroforestry Systems**, v.57, p.69-77, 2003.
- CARVALHO, M.M.; XAVIER, D.F.; ALVIM, M.J. 2000. Uso de leguminosas arbóreas na recuperação e sustentabilidade de pastagens cultivadas. In: **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. CARVALHO, M.M.; ALVIM, M.J.; CARNEIRO, J.C. (Eds.) Juiz de fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília: FAO.
- CASTRO, C.R.T. **Tolerância de gramíneas forrageiras tropicais ao sombreamento**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 247p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- CASTRO, C.R.T., GARCIA, R., CARVALHO, M.M. et al. Efeitos do sombreamento na composição mineral de gramíneas forrageiras tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1959-1968, 2001.
- CASTRO, C.R.T.; GARCIA, R.; CARVALHO, M.M. et al. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.5, p.919-927, 1999.
- CLARK, R.B. Effects of light and water stress on mineral element composition of plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 3, n.5, p.853-885, 1981.

- CLASON, T.R. Silvopastoral practices sustain timber and forage production in commercial loblolly pine plantations of northwest Louisiana, USA. **Agroforestry Systems**, v.44, p.293-303, 1999.
- DEINUM, B. Climate, nitrogen and grass: some effects of light intensity on nitrogen metabolism. **Netherland Journal of Agricultural Science**, v.19, p.184-188, 1971.
- DEINUM, B.; SULASTRI, R.D.; ZEINAB, M.H.J. et al. Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* var. *Trichoglume*). **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v.44, p.111-124, 1996.
- ERIKSEN, F.I.; WHITNEY, A.S. Effect of light intensity on growth of some tropical forage species. I. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. **Agronomy Journal**, v.73, p.427-433, 1981.
- FELDHAKE, C.M. Microclimate of a natural pasture under planted *Robinia pseudoacacia* in central Appalachia, West Virginia. **Agroforestry Systems**, v.53, p.297-303, 2001.
- GARCEZ NETO, A.F. **Avaliação fisiológica, morfológica e estrutural de forrageiras de clima temperado sob diferentes regimes de luminosidade**. Viçosa: UFV, 2006. 102p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- GARCIA, R., COUTO, L. Silvopastoral systems: emergent technology of sustainability. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANIMAL PRODUCTION UNDER GRAZING, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: DZO/UFV, 1997. p.281-302.
- GARCIA, R.; ANDRADE, C.M.S. Sistemas silvipastoris na região sudeste. In: SISTEMAS AGROFLORESTAIS PECUÁRIOS: OPÇÕES DE SUSTENTABILIDADE PARA ÁREAS TROPICAIS E SUBTROPICAIS. Juiz de Fora. **Anais...** Brasília: FAO, 2001.
- GARNIER, E.; CORDONNIER, P.; GUILLERM, J.L. et al. Specific leaf area and nitrogen concentration in annual and perennial grass species growing in Mediterranean old-fields. **Oecologia**, v.111, p.490-498, 1997.
- GYENGE, J.E.; FERNÁNDEZ, M.E.; DALLA SALDA, G. et al. Silvopastoral systems in Northwestern Patagonia II: water balance and water potential in a stand of *Pinus ponderosa* and native grassland. **Agroforestry Systems**, v.55, p.47-55, 2002.
- HUMPHREYS, L.R. **The evolving science of grassland improvement**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 261p.
- HUMPHREYS, L.R. **Tropical forages: Their role in sustainable agriculture**. New York: Longman Scientific & Technical, 1994. 193p.
- IGBE. 1996. Censo agropecuário 1995-1996. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. <http://www.ibge.gov.br> Acessado em 12 de março de 2007.
- KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R. Forage quality response of C3 and C4 perennial grasses to shade. **Crop Science**, v.33, p.831-837, 1993.
- KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R.; TAYLOR, S.E. Growth of C3 and C4 perennial grasses in reduced irradiance. **Crop Science**, v.32, p.1033-1038, 1992.

- LAMBERS, H.; CHAPIM III, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer, 1998. 540p.
- LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F., et al. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. **Agroforestry Systems**, v.44, p.109-119, 1999.
- LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F.; et al. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forages species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, v.59, p.269-281, 2001.
- LUDLOW, M.M.; WILSON, G.L.; HESLEHURST, M.R. Studies on the productivity of tropical pasture plants. V. Effect of shading on growth, photosynthesis and respiration in two grasses and two legumes. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.25, p.425-433, 1974.
- MARCUVITZ, S.; TURKINGTON, R. Differential effects of light quality, provided by different grass neighbours, on the growth and morphology of *Trifolium repens* L. (white clover). **Oecologia**, v.125, p.293-300, 2000.
- MASUDA, Y. 1977. Comparisons of in vitro dry matter digestibility of forage oats grown under different temperatures and light intensities. **Journal of the Faculty of Agriculture**, v.21, p.17-24, 1977.
- McGREGOR, E.; MACKAY, A.; DODD, M. et al. Silvopastoralism using tended poplars on New Zealand hill country: The opportunities. In: PROCEEDINGS OF THE NEW ZEALAND GRASSLAND ASSOCIATION, 61., 1999. p. 85.
- MOORE, J.E. Forage quality indices: development and application. In: Fahey Jr., G.C. (Ed.) **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: ASA, CSSA/SSSA, 1994. p. 967-998.
- MORITA, O.; GOTO, M.; EHARA, H. 1994. Growth and dry matter production of pasture plants grown under reduced light conditions of summer season. **Bulletin of the Faculty of Bioresources**, Mie University, v.12, n.1, p.11-20, 1994.
- NIINEMETS, Ü. Components of leaf dry mass per area – thickness and density – alter leaf photosynthetic capacity in reverse directions in woody plants. **New Phytologist**, v.144, p.35-47, 1999.
- PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M.; et al. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42. n.4, p.573-579, 2007.
- PEREIRA, A.V.; VALLE, C.B.; FERREIRA, R.P. et al. Melhoramento de forrageiras tropicais. In: NASS, L.L., VALOIS, A.C.C., MELO, I.S. et al. **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso, p.549-602, 2001.
- PERI, P.L.; LUCAS, R.J.; MOOT, D.J. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. **Agroforestry Systems**, v.70, p.63-79, 2007.
- PLATIS, P.D.; PAPANASTASIS, V.P. Relationship between shrub cover and available forage in Mediterranean shrublands. **Agroforestry Systems**, v.57, p.59-67, 2003.

- SAMARAKOON, S.P.; WILSON, J.R.; SHELTON, H.M. Growth, morphology, and nutritive quality of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus*, and *Pennisetum clandestinum*. **Journal of Agricultural Science**, v.114, p.161-169, 1990.
- SHARROW, S.H. Silvopastoralism: Competition and facilitation between trees, livestock, and improved grass-clover pasture on temperate rainfed lands. In: BUCK, L.E., LASSOIE, J.P., FERNANDES, E.C.M. (Eds) **Agroforestry in sustainable agricultural systems**. Boca Raton: CRC Press, p.111-130, 1999.
- SOPHANODORA, P. Compatibility of grass-legume swards under shade. In: SHELTON, H.M.; STÜR, W.W. (Eds) **Forages for plantation crops**. ACIAR Proceedings N° 32, Canberra, 1991. p.42-48.
- WILSON, J.R. Influence of planting four tree species on the yield and soil water status of green panic pasture in subhumid south-east Queensland. **Tropical Grasslands**, v.32, p.209-220, 1998.
- WILSON, J.R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pastures grasses in a subtropical environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.47, p.1075-1093, 1996.
- WILSON, J.R.; HILL, K.; CAMERON, D.M. et al. The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. **Tropical Grasslands**, v.24, p.24-48, 1990.
- WILSON, J.R.; TAYLOR, A.O.; DOLBY, G.R. Temperature and atmospheric humidity effects on cell wall content and dry matter digestibility of some tropical and temperate grasses. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.19, p.41-46, 1976.
- WONG, C.C. Shade tolerance of tropical forages. In: SHELTON, H.M., STÜR, W.W. (Eds.). **Forages for plantation crops**. ACIAR Proceedings N° 32, Canberra, 1991. p.64-69
- WORKMAN, S.W.; BANNISTER, M.E.; NAIR, P.K. Agroforestry Potential in the southeastern United States: perceptions of landowners and extension professionals. **Agroforestry Systems**, v.59, p.73-83, 2003.

# CAPÍTULO 1

## Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa de forrageiras tropicais submetidas ao sombreamento

**RESUMO:** A área foliar específica (AFE) e as características anatômicas foliares da braquiária (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk) e do amendoim forrageiro (*Arachis pintoii* cv. Amarillo) foram avaliadas em resposta a diferentes níveis de sombreamento artificial (0, 50 e 70%), com o objetivo de se determinar as formas de aclimação destas forrageiras às modificações no ambiente luminoso. Utilizou-se o delineamento em blocos completamente casualizados, com três repetições. Foram realizados três e dois cortes, respectivamente, para avaliação das plantas de braquiária e amendoim forrageiro, ao longo do período experimental. A área foliar específica (área de folha (cm<sup>2</sup>)/massa de folha(g)) do amendoim forrageiro e da braquiária aumentou significativamente e de forma linear ( $P < 0,05$ ) em função do incremento nos níveis de sombra, em todos os cortes avaliados. Nas folhas de braquiária, o aumento da AFE foi acompanhado por redução linear ( $P < 0,05$ ) na espessura da folha, com os níveis crescentes de sombra. Já a espessura das folhas de amendoim forrageiro não sofreu alteração significativa com o sombreamento crescente, apesar da redução linear ( $P < 0,05$ ) na espessura do parênquima paliçádico. A distância entre os feixes vasculares não foi afetada pelos tratamentos nas folhas de amendoim forrageiro, mas na braquiária apresentou aumento quadrático ( $P < 0,01$ ), no primeiro corte. A densidade estomática nas epidermes adaxial e abaxial das folhas de amendoim forrageiro e braquiária diminuiu linearmente ( $P < 0,05$ ) com o incremento nos níveis de sombra, em todos os cortes avaliados. Com relação a área ocupada pelos diferentes tecidos na seção transversal das folhas, as duas espécies avaliadas apresentaram comportamento diferenciado em função dos tratamentos. Apesar do aumento ( $P < 0,05$ ) na proporção de espaços intercelulares nas folhas de amendoim forrageiro, a área ocupada pelos diferentes tecidos não foi afetada significativamente ( $P > 0,05$ ) pelos níveis de sombra. Nas folhas de braquiária os tratamentos afetaram a proporção dos diferentes tecidos de forma distinta nos três cortes estudados. No primeiro corte, as folhas de braquiária apresentaram aumento quadrático ( $P < 0,05$ ) na área ocupada pela bainha do feixe vascular. A

área ocupada pelos feixes vasculares e pelas células buliformes foi reduzida no segundo e terceiro cortes, respectivamente, com o sombreamento crescente. As espécies estudadas apresentaram boa aclimação às variações na intensidade luminosa, e são boas alternativas para utilização em ambientes com baixos níveis de irradiância, como os sistemas silvipastoris.

**Palavras-chave:** *Arachis pintoi*, *Brachiaria decumbens*, densidade estomática, luminosidade, tecidos foliares.

## Introdução

Os sistemas silvipastoris, modalidade dos sistemas agroflorestais, se referem às técnicas de produção nas quais se integram os animais herbívoros, as pastagens e as árvores numa mesma área (Garcia e Couto, 1997), com estrutura e interações planejadas.

Um dos principais obstáculos das práticas agroflorestais é a alteração do ambiente de crescimento das espécies que constituem o sub-bosque. A sombra criada pelas árvores promove modificações significativas no microclima, podendo afetar a morfologia, anatomia e composição química das plantas forrageiras, o que por sua vez pode se refletir no crescimento, produção e qualidade das plantas.

As plantas, por sua vez, respondem de forma diferente à sombra, tanto fisiológica quanto morfológicamente, e variam consideravelmente em relação a sua tolerância ao sombreamento (Boardman, 1977). A exploração bem sucedida dos sistemas silvipastoris requer o uso de espécies forrageiras tolerantes às condições de baixa luminosidade, apresentando adaptações que garantam sua sobrevivência e produção satisfatória nestes ambientes.

O nível de irradiância que uma folha recebe durante seu desenvolvimento é o principal fator individual que afeta sua estrutura (Lambers et al., 1998). As plantas são capazes de responder de forma diferente às mudanças no nível de irradiância, incluindo alterações na anatomia foliar (Allard et al., 1991; Taiz & Zeiger, 1998), morfologia (Boardman, 1977; Lin et al., 2001) e fotossíntese (Terashima et al., 2001; Oguchi et al., 2005; Pandey & Kushwaha, 2005).

A capacidade de alterar a estrutura interna das folhas em resposta a diferentes níveis de luz é um atributo comum das espécies que apresentam amplo potencial de aclimatação (Bjorkman, 1981). Assim, as alterações anatômicas que ocorrem nas folhas que se desenvolvem sob baixa luminosidade, como em sub-bosques florestais, têm papel importante na adaptação da planta às condições impostas pelo ambiente. Geralmente estas alterações estão relacionadas com o aumento da captação e aproveitamento da luz incidente, recurso que limita o crescimento na sombra, aumentando a eficiência fotossintética da planta (Lambers et al., 1998).

As plantas sombreadas investem, relativamente, maior proporção de fotoassimilados e outros recursos no aumento da área foliar, para maximizar a captação da luz disponível. Geralmente possuem folhas delgadas, maior área

foliar específica (AFE) e folhas com menor densidade de massa (Lambers et al., 1998).

O aumento da área foliar específica (área de folha/massa de folha) em condições de baixa luminosidade está diretamente relacionado com as alterações anatômicas que podem ocorrer nas plantas sombreadas como, cutículas e epiderme mais delgadas, menor espessura de mesofilo e menor proporção de parênquima paliçádico, menor proporção de tecidos condutores e de sustentação, menor espessura de parede celular, maior proporção de espaços intercelulares e menor densidade estomática (Wilkinson & Beard, 1975; Allard et al., 1991; Deinum et al., 1996; Berlyn & Cho, 2000).

Percebe-se que a otimização da produção e qualidade da forragem em sistemas silvipastoris depende do entendimento sobre como as plantas respondem às mudanças microclimáticas no ambiente sombreado. Logo, é importante a avaliação do tipo e magnitude das alterações fisiológicas, anatômicas e morfológicas que ocorrem na planta sob irradiância reduzida. Estas informações podem contribuir para a seleção de espécies forrageiras adequadas, bem como técnicas de manejo compatíveis para obtenção de forragem de qualidade e manutenção da sustentabilidade do sistema.

A *Brachiaria decumbens* é uma das gramíneas mais utilizadas para formação de pastagens no Brasil, apresentando boa tolerância ao sombreamento (Shelton et al., 1987; Castro et al., 1999). O amendoim forrageiro (*Arachis pintoii* Krap. & Greg.) é uma leguminosa estolonífera, nativa do Brasil, que apresenta elevado valor nutritivo e grande persistência sob pastejo (Hernandez et al., 1995; Kretschmer & Pitman, 2001). Devido a sua tolerância ao sombreamento, alguns autores sugerem que esta espécie apresenta grande potencial para uso em sistemas silvipastoris (Valentim & Andrade, 2004).

Uma vez que a anatomia de folhas sombreadas pode sofrer alterações em função da adaptação à baixa disponibilidade de luz, e de sua relação com o crescimento, produção e qualidade das plantas forrageiras, conduziu-se este estudo objetivando-se avaliar a AFE e as características anatômicas quantitativas das folhas de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e de *Arachis pintoii* cv. Amarillo, submetidos a diferentes níveis de sombra artificial.

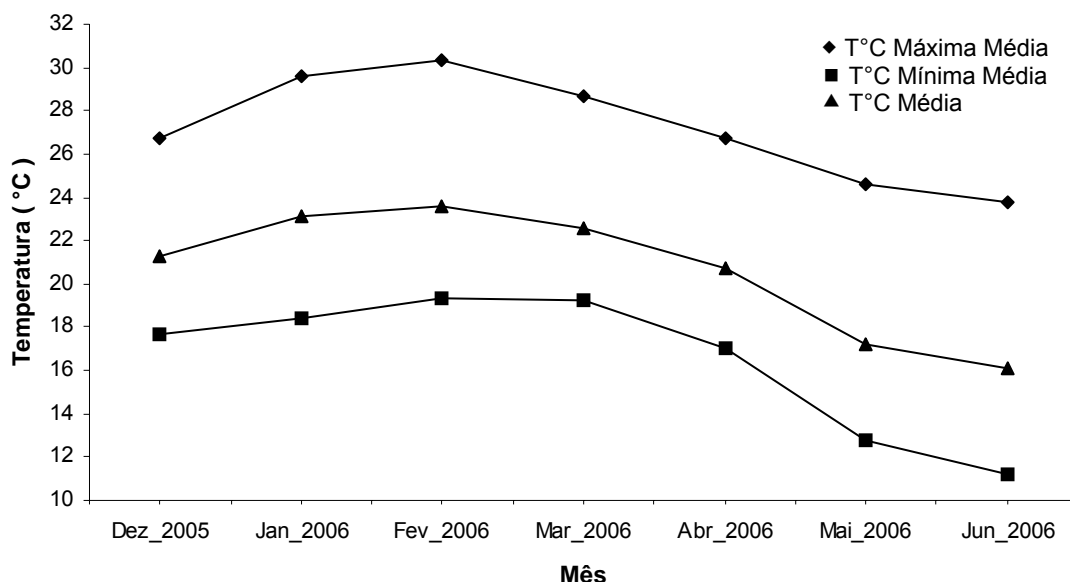
## Material e Métodos

O ensaio experimental foi conduzido no Setor de Agrostologia do Departamento de Zootecnia, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa/MG, no período de Dezembro/2005 a Junho/2006. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Forragicultura do Departamento de Zootecnia e no Laboratório de Anatomia Vegetal do Departamento de Biologia Vegetal.

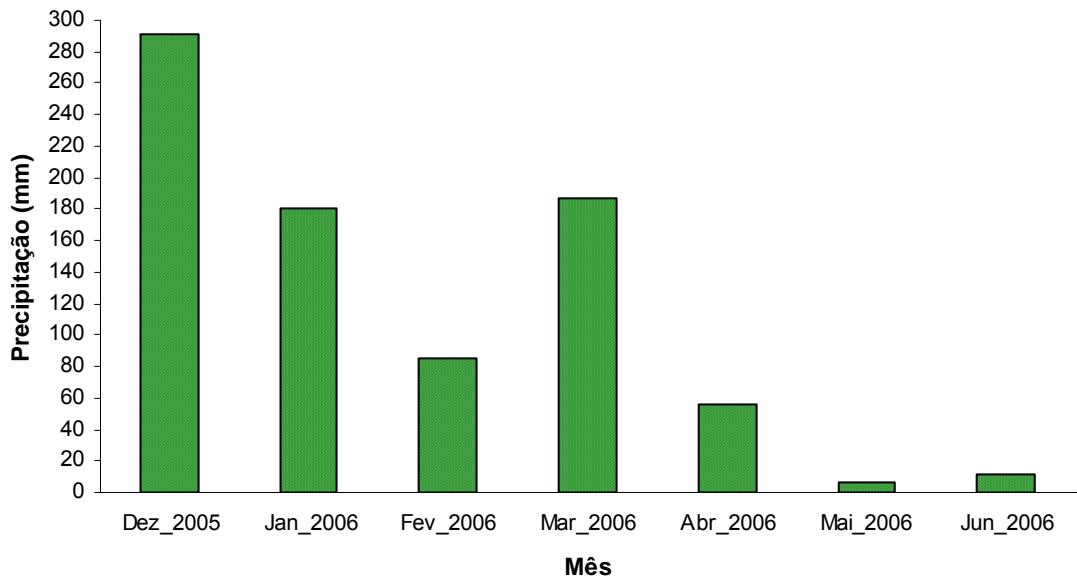
O município de Viçosa está localizado na região da Zona da Mata mineira, numa altitude de 651 m acima do nível do mar, com 20° 45' 40" de latitude sul e 42° 52' 40" de longitude oeste. O tipo climático, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cwa. A precipitação média anual é de 1221 mm, caracterizada por uma distribuição estacional, com estações seca e chuvosa bem definidas.

As temperaturas máximas, mínimas e médias mensais, bem como a precipitação total ao longo do período experimental, em Viçosa/MG, estão apresentadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

O estudo foi conduzido em área levemente declivosa, até então cultivada com *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk.



**Figura 1.** Temperaturas máximas, mínimas e médias durante o período experimental, em Viçosa-MG.



**Figura 2.** Precipitação total durante o período experimental, em Viçosa-MG.

No estudo, foram utilizadas duas espécies forrageiras, uma gramínea e uma leguminosa, em monocultivo. A gramínea avaliada foi a braquiária (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk), já estabelecida na área, e a leguminosa utilizada foi o amendoim forrageiro (*Arachis pintoii* cv. Amarillo).

Os tratamentos foram caracterizados por três níveis de sombreamento artificial, de acordo com o delineamento em blocos completamente casualizados, com três repetições, constituindo nove unidades experimentais (parcelas) de 4 m<sup>2</sup>, para cada espécie forrageira.

Os níveis de sombreamento artificial foram: 0 (pleno sol), 50 e 70%. Os níveis de 50 e 70% foram obtidos por meio de estruturas de sombreamento artificial, dispostas no campo sobre as parcelas experimentais. As estruturas foram construídas com estacas de madeira e tubos de PVC, sendo cobertas por telas pretas de polipropileno (sombrite) permitindo 50% de transmissão luminosa (sombrite 50%) e 30% de transmissão luminosa (sombrite 70%). Cada estrutura de sombreamento (4 x 2m) foi montada sobre duas parcelas experimentais, uma com gramínea e outra com leguminosa, cultivadas lado a lado.

Antes da delimitação das parcelas experimentais e montagem das estruturas de sombreamento foi feito um corte de rebaixamento e uniformização da braquiária estabelecida na área, utilizando-se roçadeira costal

motorizada. Na seqüência, a área das parcelas foi delimitada utilizando-se estacas de madeira.

Levando-se em conta que a gramínea avaliada no ensaio experimental já encontrava-se estabelecida, apenas as parcelas destinadas à leguminosa foram preparadas para semeadura. Nestas parcelas foi aplicado herbicida a base de glifosato, visando-se a eliminação de todas as plantas existentes na área. Em seguida, o solo foi revolvido manualmente, com o uso de enxadas, para uniformizar a parcela e facilitar a semeadura.

O amendoim forrageiro foi semeado em 21 de dezembro de 2005. A semeadura foi feita em sulcos de aproximadamente 3 cm de profundidade e com espaçamento de 20 cm entre sulcos, utilizando-se 20 kg de sementes por hectare. No sulco de plantio foram aplicados 100 kg/ha de  $P_2O_5$ , na forma de superfosfato simples. As parcelas foram irrigadas diariamente, garantindo condições favoráveis para germinação das sementes. Após a germinação e emergência do amendoim forrageiro foram montadas as estruturas de sombreamento dentro de cada bloco, sobre as respectivas parcelas da gramínea e da leguminosa.

As estruturas de sombreamento, com 1,10m de altura, foram construídas com seis estacas de madeira, sobre as quais foi colocada uma armação retangular feita com tubos de PVC, coberta com a tela de sombrite correspondente a cada tratamento. As telas de sombrite foram presas nas estruturas, obtendo-se uma fração excedente de tela nas laterais, visando diminuir a penetração de luz direta nas parcelas nos horários de menor ângulo da luz solar incidente, como no início da manhã e final da tarde. Estas frações excedentes foram presas de forma que em uma das laterais da estrutura fosse possível a abertura e remoção parcial do sombrite, permitindo-se os tratos culturais e a coleta de dados nas parcelas.

Para início do período experimental realizou-se um segundo corte de uniformização das plantas de *B. decumbens*, no dia 27 de janeiro de 2006.

Após o corte foi feita a adubação de cobertura, aplicando-se nas parcelas da gramínea 50 kg/ha de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio. Foram aplicados ainda 100 kg de  $P_2O_5$ /ha e 70 kg de  $K_2O$ /ha, na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Nas parcelas da leguminosa a adubação de cobertura foi feita apenas com potássio (70 kg de  $K_2O$ /ha), uma vez que o fósforo já havia sido aplicado nos sulcos, no momento

da sementeira. Ao longo do período experimental, após cada corte para avaliação das plantas, repetiu-se a adubação de cobertura nas parcelas, utilizando-se as mesmas quantidades de adubo citadas anteriormente.

O controle de plantas daninhas e pragas nas parcelas foi feito periodicamente, e nas ruas entre as parcelas, a altura das plantas foi controlada utilizando-se roçadeira.

O período de avaliação das plantas foi dividido em ciclos de crescimento, sendo que cada ciclo foi concluído com o corte das mesmas.

Durante os ciclos de crescimento, as plantas de todos os tratamentos foram monitoradas quanto à interceptação de luz pelo dossel, em intervalos semanais. Para avaliação da interceptação luminosa nas parcelas utilizou-se o sensor linear LI – 191SA, de um metro de comprimento, acoplado a um medidor de luz LI – 250, ambos da marca LI-COR, com o qual foram feitas leituras da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) tanto acima (uma leitura) quanto na base do dossel (cinco leituras). O percentual de interceptação luminosa foi calculado como a quantidade de RFA interceptada (RFA acima do dossel menos aquela na base do dossel) dividida pela RFA acima do dossel e, multiplicando-se o resultado por 100. As leituras foram realizadas sem as coberturas de sombreamento em dias de céu claro.

Quando a interceptação luminosa das plantas de um dos tratamentos atingia o valor médio de 95% da luz solar incidente, era feita a coleta de material vegetal para avaliações laboratoriais. Para a *Brachiaria decumbens*, foram realizados três cortes de avaliação, em 25 de fevereiro, 26 de março e 16 de junho de 2006, que corresponderam ao primeiro, segundo e terceiro cortes, respectivamente. Já o *Arachis pintoi*, foi submetido a dois cortes, o primeiro no dia 23 de março e o segundo no dia 13 de maio de 2006.

Após as coletas para avaliações laboratoriais, as plantas de todas as parcelas foram submetidas a corte de uniformização a uma altura de 10 e 3 cm acima do nível do solo, respectivamente, para gramínea e leguminosa.

Para determinação da área foliar específica da gramínea, coletou-se uma amostra de 10 perfilhos por parcela, cortados ao nível do solo. Todas as lâminas foliares foram removidas dos perfilhos e os valores de área foliar determinados por meio de um medidor de área foliar da marca Delta -T Devices Ltda, no Laboratório de Forragicultura do Departamento de Zootecnia/UFV. Após medição da área foliar as lâminas foram levadas para estufa a 65°C por

72 horas determinando-se seu peso seco. Para a leguminosa, foram colhidas 20 folhas (4 folíolos/folha) por parcela. Todos os folíolos foram destacados e feita a medição da área foliar. Na seqüência, os folíolos foram levados para estufa para determinação do peso seco.

Para as avaliações anatômicas das espécies, foram coletadas duas lâminas foliares (gramínea) e duas folhas com quatro folíolos cada (leguminosa) por parcela. Na gramínea, coletou-se a folha mais jovem completamente expandida presente no perfilho e, na leguminosa, a folha mais jovem e completamente desenvolvida da planta principal.

A porção mediana das folhas de ambas as espécies foi cortada em segmentos de aproximadamente 1 cm de comprimento, sendo estes fixados em FAA<sub>50</sub> (formaldeído: ácido acético glacial: etanol, 5:5:90), por 48 horas (Johansen, 1940). Em seguida, as amostras foram retiradas da solução fixadora, lavadas e armazenadas em solução de etanol 70% (Johansen, 1940). Para confecção das lâminas permanentes, porções da folha foram desidratadas em série etílica e incluídas em historesina (metacrilato). Seções transversais de folha, com 5 µm de espessura, foram dispostas sobre lâminas histológicas, coradas com azul de toluidina (O'Brien et al., 1964), e a montagem feita com Permount.

Para determinação da densidade estomática nas faces adaxial e abaxial das lâminas foliares, utilizou-se a técnica de diafanização (Handro, 1964, modificado), onde porções de folha de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup> foram clarificadas utilizando-se hipoclorito de sódio a 20%, coradas com violeta cristal e a montagem das lâminas feita com Permount.

Foram obtidas imagens digitalizadas do material contido nas lâminas, através de um fotomicroscópio Olympus AX70. Essas imagens foram avaliadas utilizando-se o programa computacional Image-Pro Plus 4.5.

A contagem de estômatos nas faces adaxial e abaxial da folha foi feita utilizando-se dez campos de área conhecida por folha, evitando-se a região da nervura central e das margens da folha.

Nas imagens de seção transversal das lâminas foliares de *Brachiaria decumbens* foram avaliadas a espessura da folha, distância entre feixes vasculares (DFV), área total da seção transversal e proporção de epiderme adaxial (%EAD), epiderme abaxial (%EAB), células buliformes (%CB), bainha do feixe vascular (%BFV), esclerênquima (%ESC), feixe vascular (%FV) e

mesofilo (%MES). Nas seções transversais das folhas de *Arachis pintoi* avaliou-se a espessura da folha, espessura dos parênquimas paliçádico e lacunoso, distância entre feixes vasculares, área total da seção transversal e proporção de epiderme adaxial (%EAD), epiderme abaxial (%EAB), feixe vascular (%FV), espaços intercelulares (%EIC) e mesofilo (%MES).

Os dados da gramínea e da leguminosa foram analisados separadamente. Os resultados obtidos foram interpretados estatisticamente por meio de análises de variância e de regressão. Os modelos que melhor explicaram o comportamento das variáveis foram escolhidos com base no coeficiente de determinação ajustado; pela significância da regressão e da falta de ajustamento, testados pelo teste F; pela significância dos coeficientes de regressão, testada pelo teste “t”, com nível de significância aceitável de até 5% de probabilidade.

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando-se os procedimentos GLM (General Linear Models) e REG disponíveis no pacote estatístico SAS (SAS, 1990).

### **Resultados e Discussão**

A área foliar específica (área de folha (cm<sup>2</sup>)/massa de folha(g)) do amendoim forrageiro e da braquiária aumentou significativamente e de forma linear ( $P < 0,05$ ) em função do incremento nos níveis de sombra, em todos os cortes avaliados (Tabelas 1 e 2). Em média, o aumento foi de 18 e 25% nas plantas de amendoim forrageiro e de 34 e 41% na braquiária, sob 50 e 70% de sombra, respectivamente.

Allard et al. (1991) também observaram aumento linear na área foliar específica (AFE) da gramínea *C<sub>3</sub> Festuca arundinacea* submetida a diferentes níveis de sombra. No trabalho de Lin et al. (2001), as espécies forrageiras avaliadas apresentaram aumento significativo na AFE, quando se desenvolveram sob 50% de sombra, em relação às plantas que se desenvolveram a pleno sol.

Em condições de baixa irradiância, as plantas investem relativamente maior proporção de fotoassimilados e outros recursos no aumento da área foliar, apresentando maior AFE e folhas com menor densidade de massa. Geralmente estas alterações têm por objetivo aumentar a captação da luz

**Tabela 1.** Área foliar específica (AFE), densidade estomática (estômatos mm<sup>-2</sup>), espessura de folha, espessura de parênquima paliçádico (PP) e lacunoso (PL), distância entre feixes vasculares (DFV) e proporção de diferentes tecidos na seção transversal de folhas de amendoim forrageiro submetido a três níveis de sombreamento (EAD: epiderme adaxial; EAB: epiderme abaxial; MES: mesofilo; FV: feixe vascular; EIC: espaços intercelulares).

Variáveis	Sombreamento (%)			Regressão
	0	50	70	
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	241,3	274,7	294,7	Y = 240,4729 + 0,7439*x; r <sup>2</sup> = 0,82
Estômatos EAD mm <sup>-2</sup>	316,5	254,7	234,5	Y = 315,9521 - 1,1844***x; r <sup>2</sup> = 0,89
Estômatos EAB mm <sup>-2</sup>	213,3	181,7	163,0	Y = 214,0453 - 0,7014*x; r <sup>2</sup> = 0,87
Espessura folha (µm)	206,0	202,5	185,0	ns
Espessura PP (µm)	82,6	73,9	65,6	Y = 83,2177 - 0,2289***x; r <sup>2</sup> = 0,94
<b>Corte 1</b> Espessura PL (µm)	87,8	93,3	86,6	ns
DFV (µm)	178,4	228,7	183,3	ns
EAD (%)	7,7	7,9	8,8	ns
EAB (%)	7,6	7,1	7,9	ns
MES (%)	56,0	57,1	55,3	ns
FV (%)	18,5	13,3	14,3	ns
EIC (%)	10,0	13,7	14,6	Y = 10,3963 + 0,0594*x; r <sup>2</sup> = 0,63
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	213,4	263,2	274,8	Y = 214,5131 + 0,8993***x; r <sup>2</sup> = 0,99
Estômatos EAD mm <sup>-2</sup>	335,5	276,2	229,5	Y = 338,4128 - 1,4511***x; r <sup>2</sup> = 0,86
Estômatos EAB mm <sup>-2</sup>	227,6	183,7	165,8	Y = 227,7128 - 0,8828**x; r <sup>2</sup> = 0,79
Espessura folha (µm)	170,7	164,9	171,2	ns
Espessura PP (µm)	71,5	65,5	63,9	Y = 71,4162 - 0,1100*x; r <sup>2</sup> = 0,86
<b>Corte 2</b> Espessura PL (µm)	68,7	70,7	78,2	ns
DFV (µm)	198,8	174,0	174,6	ns
EAD (%)	9,1	8,5	8,5	ns
EAB (%)	7,7	8,2	8,0	ns
MES (%)	61,1	58,3	55,6	ns
FV (%)	15,1	15,1	15,3	ns
EIC (%)	7,0	9,9	12,7	Y = 6,7853 + 0,0773**x; r <sup>2</sup> = 0,84

Significativo: \*\*\* 0,1%; \*\* 1%; \* 5%. Não significativo: ns

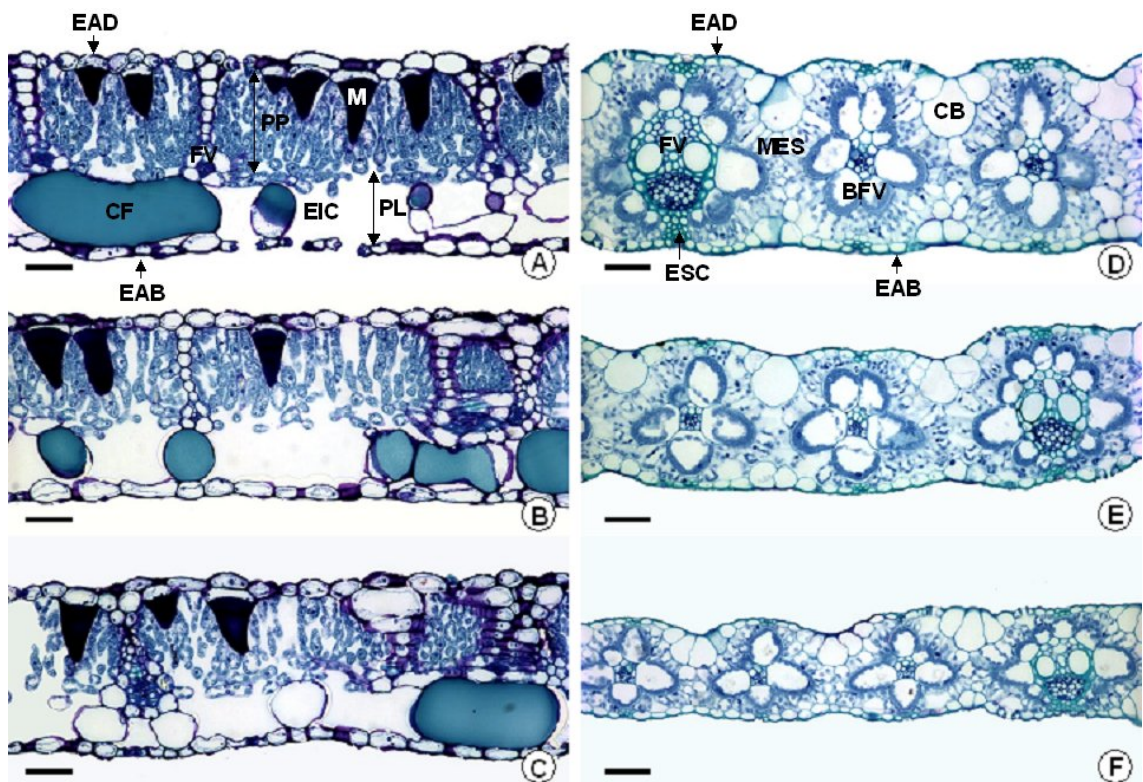
incidente, aumentando a eficiência fotossintética da planta (Lambers et al., 1998). De acordo com Evans & Poorter (2001), o aumento da AFE é o fator mais importante na maximização do ganho de carbono por unidade de massa foliar, sob condições de baixa luminosidade.

O aumento da AFE geralmente implica na redução da espessura da folha (Björkmann, 1981; Lambers et al., 1998). Nas folhas de braquiária, o aumento da AFE foi acompanhado por redução linear (P<0,05) na espessura da folha, com os níveis crescentes de sombra. Já a espessura das folhas de amendoim

**Tabela 2.** Área foliar específica (AFE), densidade estomática (nº estômatos mm<sup>-2</sup>), espessura de folha, distância entre feixes vasculares (DFV) e proporção de diferentes tecidos na seção transversal de folhas de braquiária submetida a três níveis de sombreamento. (EAD: epiderme adaxial; EAB: epiderme abaxial; CB: células buliformes; MES: mesofilo; BFV: bainha do feixe vascular; ESC: esclerênquima; FV: feixe vascular).

Variáveis	Sombreamento (%)			Regressão	
	0	50	70		
<b>Corte 1</b>	AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	218,9	302,1	319,9	Y = 220,8860 + 1,4851***x; r <sup>2</sup> = 0,85
	Estômatos EAD mm <sup>-2</sup>	209,0	160,3	155,0	Y = 207,1171 - 0,8099***x; r <sup>2</sup> = 0,94
	Estômatos EAB mm <sup>-2</sup>	190,5	141,1	125,7	Y = 190,5154 - 0,9271***x; r <sup>2</sup> = 0,99
	Espessura folha (µm)	169,2	146,4	135,3	Y = 169,4995 - 0,4798*x; r <sup>2</sup> = 0,81
	DFV (µm)	127,5	151,9	139,7	Y = 127,5413 + 1,2704**x - 0,0157**x <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> = 0,99
	EAD (%)	16,1	14,9	14,2	ns
	EAB (%)	8,4	8,2	8,2	ns
	CB (%)	12,8	11,6	11,0	ns
	MES (%)	40,3	36,9	39,0	ns
	BFV (%)	27,8	32,5	31,3	Y = 27,7700 + 0,2077**x - 0,0022*x <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> = 0,97
	ESC (%)	1,4	1,4	1,2	ns
	FV (%)	6,1	6,1	6,0	ns
	<b>Corte 2</b>	AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	240,9	316,8	335,2
Estômatos EAD mm <sup>-2</sup>		204,4	158,0	147,9	Y = 203,3470 - 0,8309***x; r <sup>2</sup> = 0,96
Estômatos EAB mm <sup>-2</sup>		181,0	135,0	132,2	Y = 178,9598 - 0,7387**x; r <sup>2</sup> = 0,76
Espessura folha (µm)		162,1	135,3	124,3	Y = 162,1091 - 0,5391***x; r <sup>2</sup> = 0,87
DFV (µm)		130,4	140,5	136,1	ns
EAD (%)		16,0	15,2	14,6	ns
EAB (%)		8,9	8,5	8,3	ns
CB (%)		11,5	12,0	10,9	ns
MES (%)		38,6	37,4	38,2	ns
BFV (%)		28,3	31,2	21,5	ns
ESC (%)		1,3	1,2	1,1	ns
FV (%)		6,9	6,4	6,3	Y = 6,8933 - 0,0085*x; r <sup>2</sup> = 0,78
<b>Corte 3</b>		AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	170,4	223,6	235,7
	Estômatos EAD mm <sup>-2</sup>	222,1	130,4	124,9	Y = 218,0983 - 1,4738***x; r <sup>2</sup> = 0,95
	Estômatos EAB mm <sup>-2</sup>	171,2	150,2	132,1	Y = 172,4359 - 0,5326**x; r <sup>2</sup> = 0,79
	Espessura folha (µm)	149,5	105,9	104,4	Y = 147,4834 - 0,6885**x; r <sup>2</sup> = 0,86
	DFV (µm)	119,2	124,0	122,5	ns
	EAD (%)	19,3	18,4	18,1	ns
	EAB (%)	11,3	9,3	10,8	ns
	CB (%)	16,6	13,0	14,4	Y = 16,5933 - 0,1724**x + 0,0020*x <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> = 0,95
	MES (%)	34,5	31,5	32,6	ns
	BFV (%)	27,7	31,5	29,4	ns
	ESC (%)	1,4	1,5	1,3	ns
	FV (%)	5,7	7,8	7,6	ns

Significativo: \*\*\* 0,1%; \*\* 1%; \* 5%. Não significativo: ns



**Figura 3.** Seção transversal de folhas de amendoim forrageiro (A, B, C) e braquiária (D, E, F) submetidas a três níveis de sombreamento (0, 50 e 70%, respectivamente). BFV = bainha do feixe vascular; CB = célula buliforme; CF = idioblasto contendo compostos fenólicos; EAB = epiderme abaxial; EAD = epiderme adaxial; EIC = espaço intercelular; ESC = esclerênquima; FV = feixe vascular; M = idioblasto com mucilagem; MES = mesofilo; PL = parênquima lacunoso; PP = parênquima paliçádico; Barra = 50  $\mu$ m.

forageiro não sofreu alteração significativa com o sombreamento (Tabelas 1 e 2; Figura 3).

Apesar da não alteração na espessura total das folhas, no amendoim forrageiro a espessura do parênquima paliçádico diminuiu linearmente ( $P < 0,05$ ) com o sombreamento crescente. Por outro lado, a espessura do parênquima lacunoso não foi alterada pelos tratamentos (Tabela 1). Assim, a proporção de parênquima lacunoso aumentou em relação ao mesofilo total, nas folhas sombreadas.

Segundo Lambers et al. (1998), a espessura do parênquima lacunoso é similar quando se compara folhas de sol e de sombra, enquanto que a espessura do parênquima paliçádico geralmente é menor nas folhas de sombra, com células menores e em menor número.

A proporção relativamente maior de parênquima lacunoso nas folhas sombreadas aumenta a absorção de luz pela folha devido a sua maior dispersão

interna (Vogelmann et al., 1996). Nas folhas dorsiventrais, como as do amendoim forrageiro, o mesofilo lacunoso, com suas células de arranjo irregular e maior proporção de espaços intercelulares, aumenta a distância percorrida pela luz dentro das folhas através de sua reflexão nas interfaces gás/líquido (Lambers et al., 1998).

De acordo com Ivanova & P'yankov (2002), a maior proporção de parênquima lacunoso representa uma forma de aclimatação da fotossíntese ao sombreamento, uma vez que suas células promovem melhor dispersão da luz. Estas células são adaptadas para absorver luz difusa, cuja proporção é maior na sombra (Healey et al., 1998).

O aumento da AFE das folhas de amendoim forrageiro, apesar da não redução na espessura das folhas pode ser explicado, em parte, pelo incremento linear ( $P < 0,05$ ) na proporção de espaços intercelulares nas folhas sombreadas, nos dois cortes avaliados (Tabela 1). Isto pode ter contribuído para a redução da densidade de massa foliar, e conseqüentemente para o aumento da AFE.

Alterações na espessura da epiderme, volume das células mesofilicas, número de camadas de mesofilo, quantidade de espaços intercelulares no mesofilo, espessura das nervuras ou espessura da parede celular, podem promover modificações na espessura da folha. Da mesma forma, a densidade dos tecidos pode ser afetada por estas variáveis, bem como pelos constituintes citoplasmáticos ou pelas diferentes proporções dos tipos celulares. Assim, alterações em qualquer uma destas características pode simultaneamente alterar tanto a espessura quanto a densidade das folhas (Meziane & Shipley, 1999).

As alterações na AFE podem ser causadas por variações na espessura da folha e, ou, na densidade de massa foliar ( $\text{kg m}^{-3}$ ) (Witkowski & Lamont, 1991). Dentre as causas para a menor densidade de massa foliar estão a maior proporção de espaços intercelulares na folha e/ou a menor proporção de material denso, como lignina ou tecido esclerenquimático (Van Arendonk & Poorter, 1994).

A redução da espessura do parênquima paliçádico sob sombra, que implica na redução do tamanho e/ou número de suas células, também pode ter contribuído para a diminuição da densidade da folha e maior AFE do amendoim forrageiro.

De acordo com Terashima et al. (2001), a resistência à difusão de CO<sub>2</sub> na folha diminui sua eficiência fotossintética, não apenas por diminuir a concentração de CO<sub>2</sub> no interior da folha mas também por aumentar a fotorrespiração. Assim, é vantajoso para a folha minimizar a resistência à difusão de CO<sub>2</sub>. Nas folhas sob sombra, características como a menor espessura do parênquima paliçádico, o menor número e/ou tamanho das células, bem como a maior proporção de espaços intercelulares, podem representar uma tentativa de diminuir a resistência à difusão de gases (CO<sub>2</sub>) no interior da folha, buscando aumentar sua eficiência fotossintética.

A distância entre os feixes vasculares (DFV) não foi afetada pelos tratamentos nas folhas de amendoim forrageiro. Nas folhas de braquiária a DFV só foi alterada significativamente pelos níveis de sombra no primeiro corte, apresentando aumento quadrático ( $P < 0,01$ ), o que pode confirmar a expansão da área foliar sob sombra.

A densidade estomática (nº estômatos mm<sup>-2</sup>) nas faces adaxial e abaxial das folhas de amendoim forrageiro e braquiária diminuiu linearmente ( $P < 0,05$ ) com o incremento nos níveis de sombra, em todos os cortes avaliados (Tabelas 1 e 2; Figuras 4 e 5). Em ambas as espécies o número de estômatos foi maior na epiderme adaxial da folha.

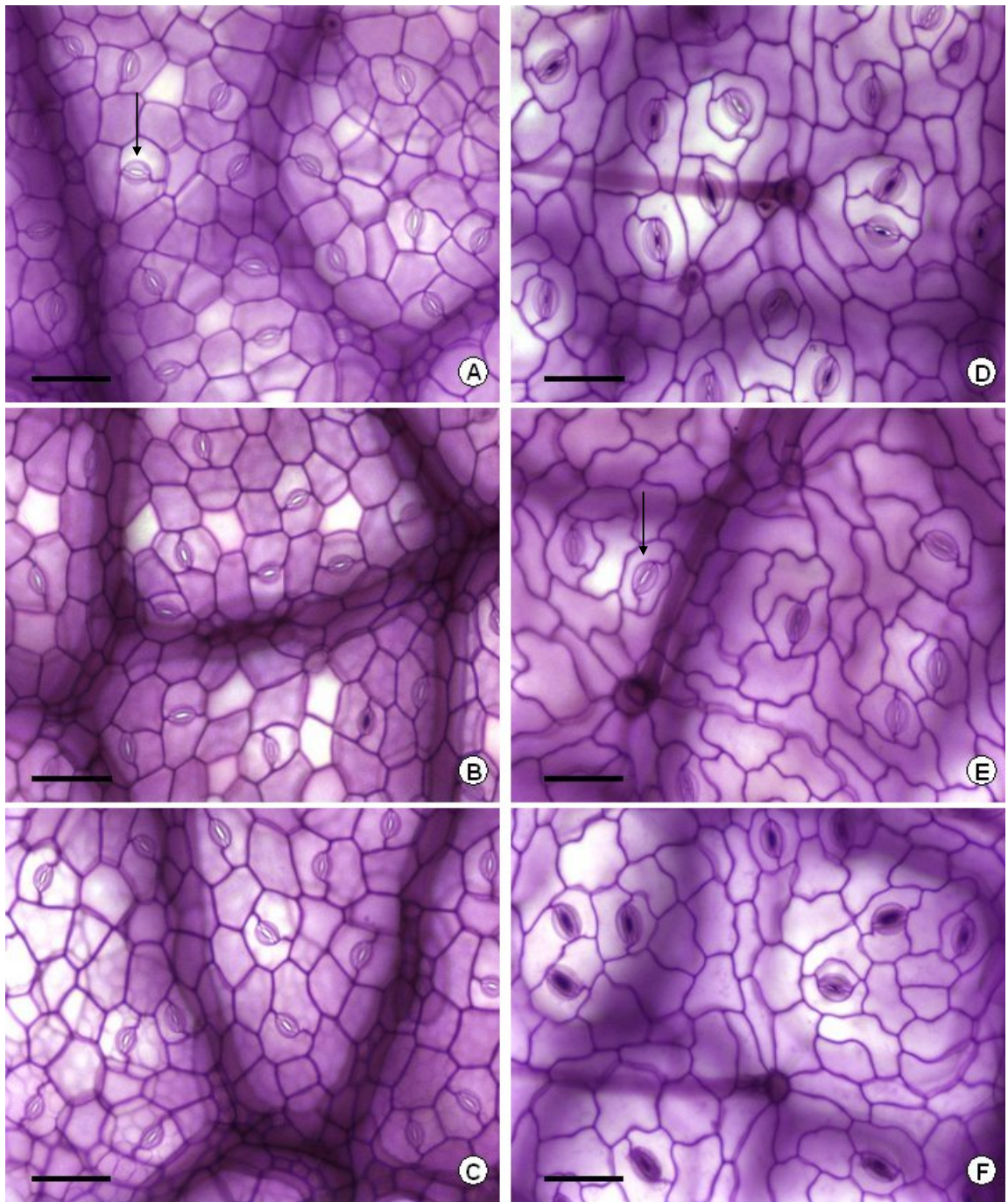
Nas folhas de amendoim forrageiro, o número de estômatos na epiderme adaxial diminuiu em média 19 e 29% sob os níveis de 50 e 70% de sombra, respectivamente, enquanto que na epiderme abaxial a redução foi de 17 e 25% para os mesmos níveis.

Na epiderme adaxial das folhas de braquiária a redução média na densidade estomática foi de 29 e 32% nos níveis de 50 e 70% de sombra,

respectivamente. O número de estômatos por unidade de área na epiderme abaxial diminuiu em média 21 e 28%, respectivamente, sob sombra de 50 e 70%.

Os resultados obtidos estão de acordo com o que foi observado para outras espécies, onde geralmente se verifica maior densidade estomática com a elevação da irradiância (Wilkinson & Beard, 1975; Allard et al., 1991; Morais et al., 2004; Lima Jr. et al., 2006).

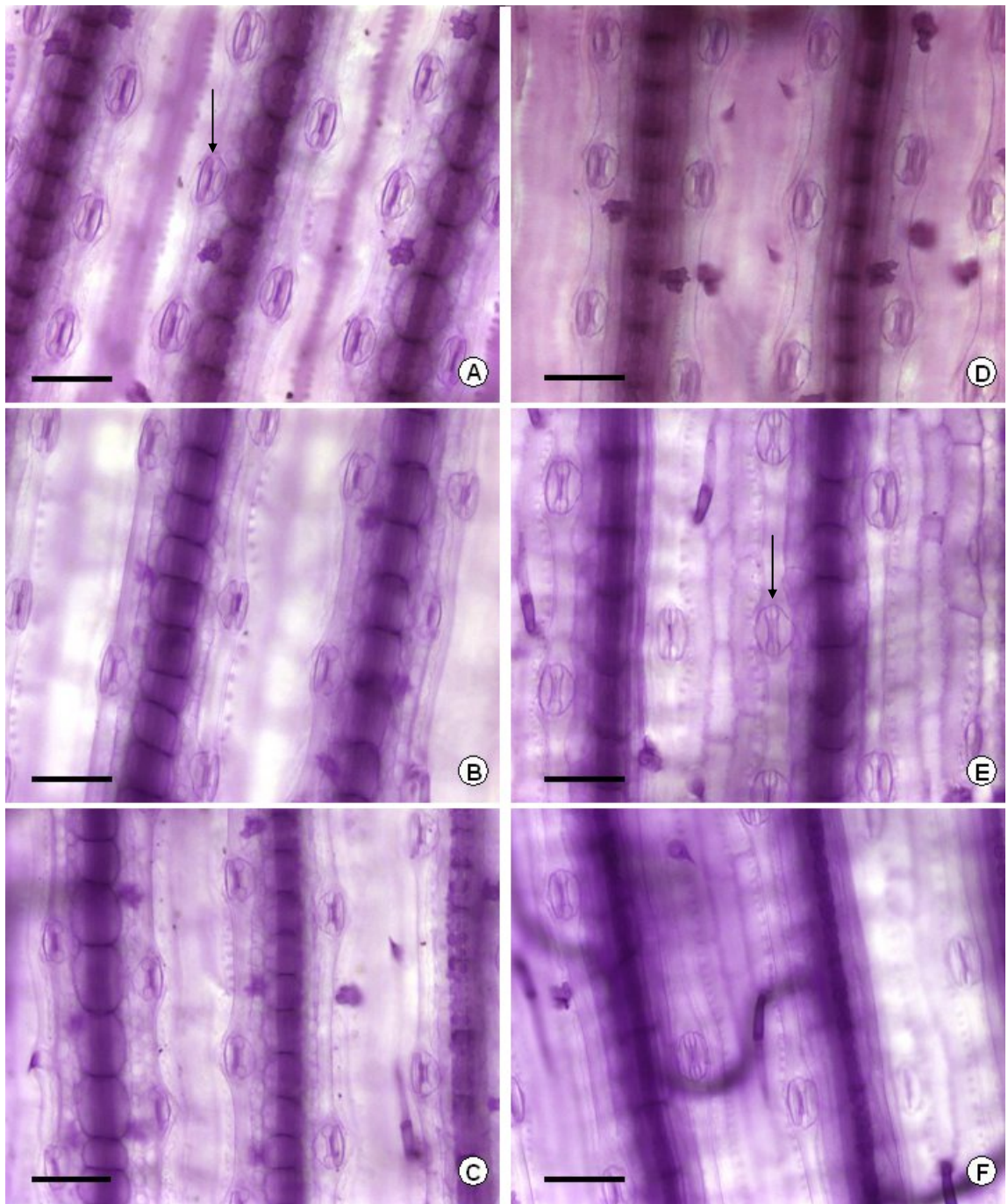
No trabalho de Allard et al. (1991), os autores observaram que sob baixa irradiância (30%), a densidade estomática nas folhas de festuca foi 17 ou 24%



**Figura 4.** Epiderme adaxial (A, B, C) e abaxial (D, E, F) de folhas de amendoim forrageiro submetido a três níveis de sombreamento (0, 50 e 70%, respectivamente). (Barra = 50  $\mu\text{m}$ ; Seta = estômato).

menor que sob alta irradiância (pleno sol), com maior redução na epiderme abaxial.

A densidade estomática está relacionada com a capacidade fotossintética das folhas, uma vez que quanto maior o número de estômatos  $\text{mm}^{-2}$ , menor é a resistência à difusão de gases na folha. Assim, a menor densidade estomática pode contribuir para menor taxa fotossintética das folhas sob sombra (Lima Jr.



**Figura 5.** Epiderme adaxial (A, B, C) e abaxial (D, E, F) de folhas de braquiária submetida a três níveis de sombreamento (0, 50 e 70%, respectivamente). (Barra = 50  $\mu$ m; Seta = estômato).

et al., 2006). Contudo, o aumento da área foliar das plantas sombreadas pode compensar, pelo menos em parte, a menor densidade de estômatos.

Nas folhas de amendoim forrageiro, por exemplo, em ambos os cortes o número total de estômatos por folíolo, na epiderme adaxial, aumentou em média 21 e 14% sob 50 e 70% de sombra, respectivamente. Na epiderme abaxial, o aumento foi de 18 e 26%, no primeiro corte, para as plantas submetidas a 50 e 70% de sombra, respectivamente.

No que diz respeito à área ocupada pelos diferentes tecidos na seção transversal das folhas, as duas espécies avaliadas apresentaram comportamento diferenciado em função dos tratamentos (Tabelas 1 e 2).

Apesar do aumento na proporção de espaços intercelulares nas folhas de amendoim forrageiro (Tabela 1; Figura1), a área ocupada pelos diferentes tecidos não foi afetada significativamente ( $P>0,05$ ) pelo incremento nos níveis de sombra (Tabela 1).

Outros estudos, com diferentes espécies, confirmam a maior proporção de espaços intercelulares nas folhas sombreadas (Paiva & Guimarães, 2001; Morais et al., 2004; Lima Jr. et al., 2006). Este aumento na proporção de espaços intercelulares facilita a absorção da luz e casualiza sua direção, melhorando sua captação pelos cloroplastos (Ivanova & P'yankov, 2002).

Nas folhas de braquiária os tratamentos afetaram a proporção dos diferentes tecidos de forma distinta nos três cortes estudados (Tabela 2).

A proporção de mesofilo, esclerênquima, epiderme adaxial e epiderme abaxial nas seções transversais de folha, não foi afetada de forma significativa ( $P>0,05$ ) pelos tratamentos, em nenhum dos cortes. No trabalho de Allard et al. (1991), no qual os autores avaliaram os efeitos de três níveis de sombra (0; 40 e 70%) sobre a anatomia foliar de festuca, verificou-se que as proporções de epiderme, células buliformes, feixes vasculares e mesofilo na seção transversal de folhas foram similares entre os tratamentos.

No primeiro corte, as folhas de braquiária apresentaram aumento quadrático ( $P<0,05$ ) na proporção de bainha do feixe vascular (BFV), com o aumento nos níveis de sombra, observando-se maior proporção de BFV nas folhas sob 50% de sombra.

Deinum et al. (1996) não observaram variação significativa na proporção de BFV nas folhas de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* var. Trichoglume, submetidas a diferentes níveis de intensidade luminosa.

A BFV, característica de gramíneas  $C_4$ , exerce papel importante no processo fotossintético destas espécies, pois suas células contêm a enzima Rubisco, responsável pela refixação, via ciclo de Calvin, do  $CO_2$  inicialmente fixado pela enzima PEP-carboxilase nas células do mesofilo. Este processo em duas etapas, que consiste da assimilação inicial do carbono no mesofilo e na redução fotossintética do carbono na BFV, serve para inibir a fotorrespiração, através da concentração de  $CO_2$  no local onde ocorre a enzima Rubisco

(Dengler et al., 1994). O aumento do tamanho destas células pode ter por objetivo aumentar a eficiência fotossintética das plantas sob sombra, onde a disponibilidade de luz é limitante para o processo de fixação de carbono.

Nas folhas de braquiária coletadas por ocasião do segundo corte, observou-se redução linear ( $P < 0,05$ ) da área ocupada pelos feixes vasculares, em função dos níveis crescentes de sombra.

O sombreamento pode causar redução na proporção dos tecidos vascular e de sustentação, além de redução na espessura da parede celular (Buxton & Casler, 1993; Dickson, 2000; Berlyn & Cho, 2000). Isto se deve em parte a menor densidade de nervuras devido a expansão da área foliar sob sombra (Dickson, 2000). No presente estudo, apesar da não alteração da DFV no segundo corte, a densidade de nervuras e conseqüentemente de feixes vasculares foi um pouco menor na sombra, observando-se em média 7; 6,5 e 6,5 feixes nas folhas a pleno sol e sob 50 e 70% de sombra, respectivamente.

A temperatura elevada e o déficit hídrico podem causar aumento na espessura e lignificação da parede celular de plantas cultivadas a pleno sol (Buxton & Casler, 1993) e de acordo com Van Arendonk & Poorter (1994) o maior investimento em compostos de parede celular, aumenta a resistência das folhas e permite o crescimento sob condições adversas. Como na sombra geralmente se observa menor temperatura e maior teor de umidade no solo (Belsky et al., 1993; Wilson, 1996), isto pode ter contribuído para a redução da proporção de feixes vasculares nas folhas sombreadas em relação às folhas a pleno sol.

Avaliando as respostas anatômicas de duas gramíneas de clima temperado à redução na intensidade de luz, Wilkinson & Beard (1975) verificaram menor proporção de tecido vascular e de sustentação nas plantas de *Poa pratensis* submetidas ao sombreamento.

As gramíneas tropicais *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* var. Trichoglume, submetidas a diferentes níveis de intensidade luminosa, apresentaram menor número de células esclerenquimáticas, com menor espessura de parede celular, sob baixa luminosidade. Já a proporção de tecido vascular variou pouco em função dos níveis de luz, mas suas células também apresentaram menor espessura de parede celular secundária sob sombra (Deinum et al., 1996).

A redução quadrática ( $P < 0,05$ ) na área ocupada pelas células buliformes nas folhas de braquiária em função do sombreamento, no terceiro corte, com menor proporção sob 50% de sombra, pode estar relacionada com a função que estas células exercem. As células buliformes são células epidérmicas volumosas responsáveis pela função motora de enrolar as folhas (Dickson, 2000), reduzindo a área de transpiração foliar em resposta às condições ambientais (Larcher, 2000). Assim, em ambientes sombreados, com maior disponibilidade de água e menores níveis de irradiância, fatores que contribuem para a menor perda de água por transpiração, a menor proporção de células buliformes se justificaria pelo fato destas células serem menos exigidas.

### **Conclusões**

O *Arachis pintoii* e a *Brachiaria decumbens* apresentaram mudanças na AFE e na anatomia foliar quantitativa quando submetidas ao sombreamento, demonstrando a plasticidade anatômica das espécies às variações na intensidade luminosa. Estas mudanças podem contribuir para maior captação da luz disponível, manutenção de atividade fotossintética satisfatória e bom desenvolvimento das plantas em ambientes sombreados.

De modo geral, a *Brachiaria decumbens* apresentou maior plasticidade anatômica foliar que o *Arachis pintoii*, quando submetida ao sombreamento.

## Referências Bibliográficas

- ALLARD, G.; NELSON, C.J.; PALLARDY, S.G. Shade effects on growth of tall fescue: leaf anatomy and dry matter partitioning. **Crop Science**, v.31, p.163-167, 1991.
- BELSKY, A.J.; MWONGA, S.M.; AMUNDSON, R.G. et al. Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environment in high- and low-rainfall savannas. **Journal of Applied Ecology**, v.30, p.143-155, 1993.
- BERLYN, G.P.; CHO, J. Light, moisture, and nutrient use by plants. In: Ashton, M.S., Montagnini, F. (Eds.) **The silvicultural basis for agroforestry systems**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.9-39.
- BJÖRKMAN, O. Responses to different quantum flux densities. In: LANGE, O.L.; NOBEL, P.S.; OSMOND, C.B. et al. (Eds.) **Physiological plant ecology I: Responses to the physical environment**. Berlin: Springer-Verlag, 1981. p.57-107.
- BOARDMAN, N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.38, p.355-377, 1977.
- BUXTON, D.R.; CASLER, M.D. Environmental and genetic effects on cell wall composition and digestibility. In: JUNG, H.G.; BUXTON, D.R.; HATFIELD, R.D. et al (Eds.) **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison: American Society of agronomy, 1993. p.685-714.
- CASTRO, C.R.T.; GARCIA, R.; CARVALHO, M.M. et al. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.5, p.919-927, 1999.
- DEINUM, B.; SULASTRI, R.D.; ZEINAB, M.H.J. et al. Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* var. *Trichoglume*). **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v.44, p.111-124, 1996.
- DENGLER, N.G.; DENGLER, R.E.; DONNELLY, P.M. et al. Quantitative leaf anatomy of C3 and C4 grasses (Poaceae): bundle sheath and mesophyll surface area relationships. **Annals of Botany**, v.73, p.241-255, 1994.
- DICKSON, W.C. **Integrative plant anatomy**. San Diego: Academic Press, 2000, 533p.
- EVANS, J.R.; POORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant, Cell and Environment**, v.24, p.755-767, 2001.
- GARCIA, R., COUTO, L. Silvopastoral systems: emergent technology of sustainability. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANIMAL PRODUCTION UNDER GRAZING, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: DZO/UFV, 1997. p.281-302.
- HANDRO, W. Contribuição ao estudo da venação e anatomia foliar das Amarantáceas dos Cerrados. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.36, n.4, p.479-499, 1964.
- HEALEY, K.D., RICKERT, K.G., HAMMER, G.L., et al. Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced

- under shade. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.49, p.665-672, 1998.
- HERNANDEZ, M.; ARGEL, P.J.; IBRAHIM, M.A. et al. Pasture Production, diet selection and liveweight gains of cattle grazing *Brachiaria brizantha* with or without *Arachis pintoii* at two stocking rates in the Atlantic Zone of Costa Rica. **Tropical Grasslands**, v.29, p.134-141, 1995.
- IVANOVA, L.A.; P'YANKOV, V.I. Structural adaptations of the leaf mesophyll to shading. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.49, n.3, p.419-431, 2002.
- JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill Book Co. Inc., 1940, 423p.
- KRETSCHMER Jr., A.E.; PITMAN, W.D. Germplasm resources of tropical forage legumes. In: SOTOMAYOR-RÍOS, A.; PITMAN, W.D. (Eds) **Tropical forage plants: development and use**. Boca Raton: CRC Press, 2000, p.251-268.
- LAMBERS, H.; CHAPIM III, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer, 1998. 540p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531p.
- LIMA Jr., E.C.; ALVARENGA, A.A.; CASTRO, E.M. et al. Aspectos fisiológicos de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. Submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v.30, n.1, p.33-41, 2006.
- LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F.; et al. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forages species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, v.59, p.269-281, 2001.
- MEZIANE, D.; SHIPLEY, B. Interacting determinants of specific leaf area in 22 herbaceous species: effects of irradiance and nutrient availability. **Plant, Cell and Environment**, v.22, p.447-459, 1999.
- MORAIS, H.; MEDRI, M.E.; MARUR, C.J. et al. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.47, n.6, p.863-871, 2004.
- O'BRIEN, T.P.; FEDER, N.; McCULLY, M.E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, v.59, n.2, p.368-373, 1964.
- OGUSHI, R.; HIKOSAKA, K.; HIROSE, T. Leaf anatomy as a constraint for photosynthetic acclimation: differential responses in leaf anatomy to increasing growth irradiance among three deciduous trees. **Plant, Cell and Environment**, v.28, p.916-927, 2005.
- PAIVA, L.C.; GUIMARÃES, R.J. Efeitos dos níveis de irradiância sobre a anatomia foliar de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 27., 2001. p.110-112.
- PANDEY, S.; KUSHWAHA, R. Leaf anatomy and photosynthetic acclimation in *Valeriana jatamansi* L. grown under high and low irradiance. **Photosynthetica**, v.43, n.1, p.85-90, 2005.
- SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT User's Guide**. Version 6.4 ed., V1, Cary:SAS Institute Inc. 1990. 943p.

- SHELTON, H.M.; HUMPRHEYS, L.R.; BATELLO, C. Pastures in the plantations of Asia and the Pacific: performance e prospects. **Tropical Grasslands**, v.21, n.4, p.159-168, 1987.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2.ed. Sunderland: Sinauer Associates, 1998. 792p.
- TERASHIMA, I.; MIYAZAWA, S.; HANBA, Y. Why are sun leaves thicker than shade leaves? – Consideration based on analyses of CO<sub>2</sub> diffusion in the leaf. **Journal of Plant Research**, v.114, p.93-105, 2001.
- VALENTIM, J.F.; ANDRADE, C.M.S. Perspectives of grass-legume pastures for sustainable animal production in the tropics. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41., 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: SBZ/Embrapa Gado de Corte, 2004. p.142-154.
- VAN ARENDONK, J.J.C.M.; POORTER, H. The chemical composition and anatomical structure of leaves of grass species differing in relative growth rate. **Plant, Cell and Environment**, v.17, p.963-970, 1994.
- VOGELMAN, T.C.; NISHIO, J.N.; SMITH, W.K. Leaves and light capture: Light propagation and gradients of carbon fixation within leaves. **Trends in Plant Science**, v.1, p.65-70, 1996.
- WILKINSON, J.F.; BEARD, J.B. Anatomical responses of “Merion” Kentucky Bluegrass and “Pennlawn” Red Fescue at reduced light intensities. **Crop Science**, v.15, p.189-194, 1975.
- WILSON, J.R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pastures grasses in a subtropical environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.47, p.1075-1093, 1996.
- WITKOWSKI, E.T.F.; LAMONT, B.B. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. **Oecologia**, v.88, p.486-493, 1991.

## CAPÍTULO 2

### **Características morfológicas, estruturais e produtividade de forrageiras tropicais submetidas ao sombreamento**

**RESUMO:** As características morfológicas, estruturais e a produção de matéria seca (PMS) da braquiária (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk) e do amendoim forrageiro (*Arachis pintoii* cv. Amarillo) foram avaliadas em resposta a diferentes níveis de sombreamento artificial (0, 50 e 70%), com o objetivo de se determinar as respostas destas forrageiras às variações no ambiente luminoso. Utilizou-se o delineamento em blocos completamente casualizados, com três repetições. Foram realizados três e dois cortes, respectivamente, para avaliação das plantas de braquiária e amendoim forrageiro, ao longo do período experimental. As duas espécies apresentaram alterações morfológicas e estruturais significativas em função dos tratamentos, que por sua vez afetaram a PMS das forrageiras submetidas ao sombreamento. O amendoim forrageiro apresentou queda significativa ( $P < 0,001$ ) na PMS com o sombreamento, apenas no segundo corte. Na braquiária, a PMS apresentou redução linear significativa ( $P < 0,01$ ) nos dois primeiros cortes avaliados. No terceiro corte da braquiária, apesar de não significativa estatisticamente, a PMS foi maior sob 50% de sombra. O sombreamento crescente estimulou aumento significativo ( $P < 0,05$ ) do comprimento de pecíolos, colmos e lâminas foliares, juntamente com a altura média do dossel, nas espécies avaliadas, em todos os cortes estudados. Os níveis crescentes de sombra também promoveram diminuição linear ( $P < 0,001$ ) da densidade populacional de perfilhos ( $n^{\circ} m^{-2}$ ) no dossel de braquiária, em todos os cortes avaliados. Por outro lado, o peso médio dos perfilhos só foi afetado de modo significativo no terceiro corte, observando-se aumento linear ( $P < 0,01$ ) com o incremento nos níveis de sombra. De modo geral, a proporção de folhas e caules/colmos e conseqüentemente a relação folha:caule/colmo, tanto da gramínea quanto da leguminosa, não foram afetadas significativamente ( $P > 0,05$ ) pelos tratamentos. A área foliar específica, a área foliar por folíolo e a área foliar por perfilho apresentaram aumento significativo ( $P < 0,05$ ) com o incremento dos níveis de sombra. Já o índice de área foliar (IAF) não foi alterado pelos tratamentos nas forrageiras estudadas, exceto no segundo corte do amendoim forrageiro, onde

se observou redução linear ( $P < 0,05$ ) do IAF com o aumento do sombreamento. Tanto o amendoim forrageiro como a braquiária apresentaram alterações morfológicas e estruturais, características de plantas tolerantes ao sombreamento, demonstrando que são forrageiras com bom potencial para uso em sistemas silvipastoris onde o nível de transmissão luminosa fique em torno de 50% da radiação fotossinteticamente ativa.

**Palavras-chave:** *Arachis pintoii*, área foliar, *Brachiaria decumbens*, IAF, perfilhos, relação folha:caule.

## Introdução

Dentre as alternativas para formação e exploração de sistemas agropecuários sustentáveis, os sistemas agroflorestais se destacam como opção produtiva e economicamente viável.

Os sistemas silvipastoris, modalidade dos sistemas agroflorestais, que integram árvores, plantas forrageiras e animais herbívoros numa mesma área (Garcia & Couto, 1997), oferecem como vantagem a diversificação de culturas, produção de madeira e alimento, controle de erosão e aumento da fertilidade do solo (Belsky et al., 1993). Estes sistemas também podem contribuir para a proteção da biodiversidade, criação de habitat para a vida selvagem, melhoria da qualidade da água e do solo e seqüestro de grandes quantidades de carbono (McGregor et al., 1999).

O objetivo principal do estabelecimento de sistemas silvipastoris é maximizar a produtividade através das interações positivas entre as plantas que compõem o sistema, ao mesmo tempo que se tenta evitar a competição entre as espécies vegetais (Mou et al., 1997).

Nos sistemas silvipastoris, a sombra criada pelas árvores modifica significativamente o microclima do sub-bosque, afetando a quantidade e a qualidade da forragem produzida (Lin et al., 1999). Assim, o sucesso destes sistemas depende da escolha de espécies capazes de se adaptar às condições impostas pelo ambiente. No caso das espécies forrageiras, não basta que estas sejam tolerantes ao sombreamento, é necessário também que tenham boa capacidade produtiva e sejam adaptadas ao manejo e as condições edafoclimáticas da região (Garcia & Andrade, 2001).

O nível de irradiância é o principal fator ecológico que influencia o crescimento das plantas. As plantas respondem aos diferentes níveis de irradiância através de adaptações genéticas e aclimatação fenotípica. A aclimatação fenotípica às condições de radiação do ambiente ocorre principalmente durante o crescimento e diferenciação dos órgãos de assimilação, resultando em alterações morfológicas, histológicas, ultraestruturais e bioquímicas, as quais condicionam o comportamento da planta. Tanto o nível de irradiância quanto a composição espectral da luz afetam o desenvolvimento das espécies vegetais (Lambers et al., 1998).

O sombreamento causado pelas árvores promove redução na quantidade da radiação incidente e na qualidade espectral da luz (relação vermelho:

vermelho-extremo) (Feldhake, 2001), causando mudanças significativas na morfologia das plantas forrageiras (Lin et al., 2001).

As principais respostas morfológicas das plantas sombreadas têm por objetivo evitar a sombra e maximizar a captação de luz pelos órgãos assimiladores (Lambers et al., 1998). Dentre as principais, pode-se destacar: aumento da relação parte aérea: raiz, alongamento de caules, pecíolos e entrenós, alongamento da lâmina foliar em gramíneas, redução da ramificação e perfilhamento, redução no número de folhas, aumento da área foliar específica, bem como alterações na relação folha: caule e no ângulo de inclinação das folhas.

As alterações morfológicas que ocorrem em plantas forrageiras sombreadas representam mecanismos de aclimatação ao seu ambiente luminoso, e podem permitir a planta tolerar diferentes níveis de sombra. Assim, a capacidade de uma espécie em desenvolver um ou mais destes mecanismos irá determinar sua capacidade de crescer em ambientes sombreados e portanto seu potencial de uso em sistemas silvipastoris (Fernández et al., 2004).

As características morfológicas de plantas que se desenvolvem sob sombra também podem afetar a quantidade e a qualidade da forragem produzida (Kephart & Buxton, 1993; Castro et al., 1999; Lin et al., 2001; Paciullo et al., 2007) sendo este mais um motivo para avaliação do efeito do sombreamento sobre o potencial de utilização de forrageiras em sistemas silvipastoris.

Uma vez que conhecer e entender as alterações morfológicas e estruturais que afetam o crescimento e a produção das plantas pode auxiliar na seleção de espécies mais adaptadas e tolerantes ao sombreamento, bem como na elaboração de práticas de manejo que otimizem a produtividade de plantas forrageiras em sistemas silvipastoris, desenvolveu-se um estudo com o objetivo de avaliar as características morfológicas, estruturais e a produção de MS de duas forrageiras tropicais submetidas a três níveis de sombreamento artificial.

## **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido no Setor de Agrostologia do Departamento de Zootecnia, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa/MG, no período

de Dezembro/2005 a Junho/2006. As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Forragicultura do Departamento de Zootecnia.

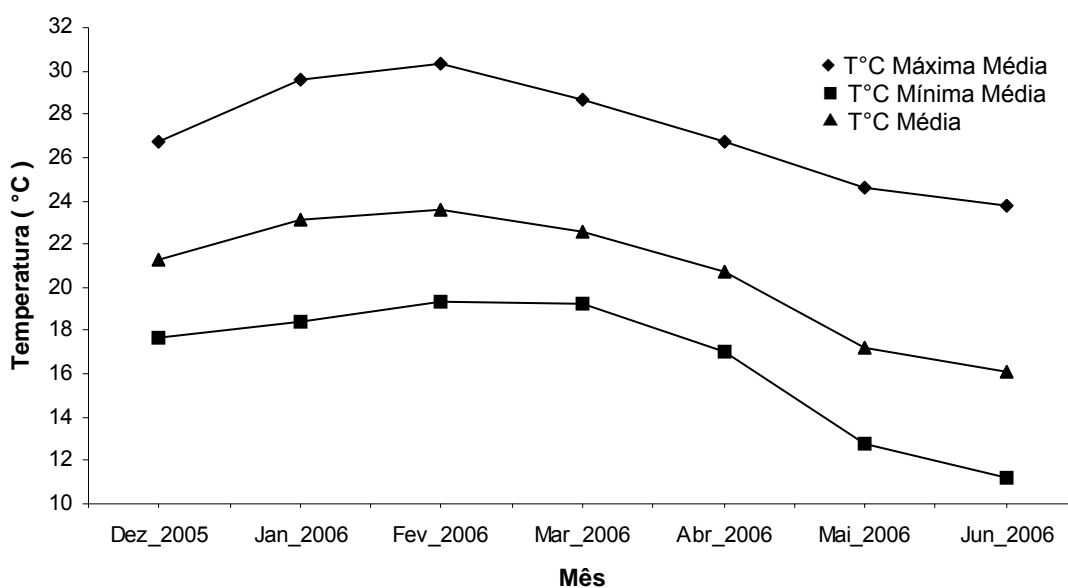
O município de Viçosa está localizado na região da Zona da Mata mineira, numa altitude de 651 m acima do nível do mar, com 20° 45' 40" de latitude sul e 42° 52' 40" de longitude oeste. O tipo climático, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cwa. A precipitação média anual é de 1221 mm, caracterizada por uma distribuição estacional, com estações seca e chuvosa bem definidas.

As temperaturas máximas, mínimas e médias mensais, bem como a precipitação total ao longo do período experimental, em Viçosa/MG, estão apresentadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

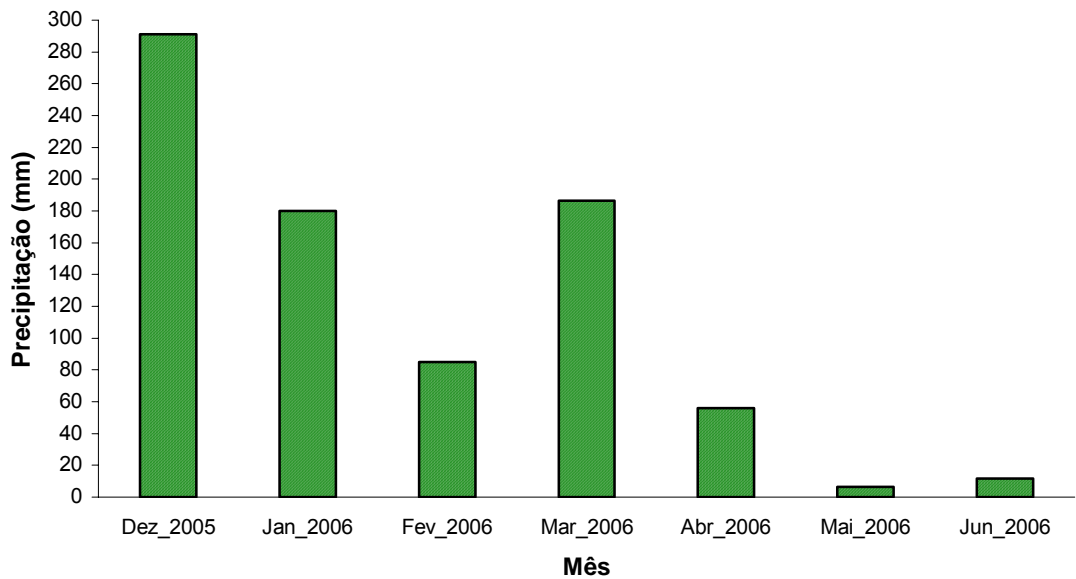
O estudo foi conduzido em área levemente declivosa, até então cultivada com *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk.

No estudo, foram utilizadas duas espécies forrageiras, uma gramínea e uma leguminosa, em monocultivo. A gramínea avaliada foi a braquiária (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk), já estabelecida na área, e a leguminosa utilizada foi o amendoim forrageiro (*Arachis pintoii* cv. Amarillo).

Os tratamentos foram caracterizados por três níveis de sombreamento artificial, de acordo com o delineamento em blocos completamente casualizados, com três repetições, constituindo nove unidades experimentais (parcelas) de 4 m<sup>2</sup>, para cada espécie forrageira.



**Figura 1.** Temperaturas máximas, mínimas e médias durante o período experimental, em Viçosa-MG.



**Figura 2.** Precipitação total durante o período experimental, em Viçosa-MG.

Os níveis de sombreamento artificial foram: 0 (pleno sol), 50 e 70%. Os níveis de 50 e 70% foram obtidos por meio de estruturas de sombreamento artificial, dispostas no campo sobre as parcelas experimentais. As estruturas foram construídas com estacas de madeira e tubos de PVC, sendo cobertas por telas pretas de polipropileno (sombrite) permitindo 50% de transmissão luminosa (sombrite 50%) e 30% de transmissão luminosa (sombrite 70%). Cada estrutura de sombreamento (4 x 2m) foi montada sobre duas parcelas experimentais, uma com gramínea e outra com leguminosa, cultivadas lado a lado.

Antes da delimitação das parcelas experimentais e montagem das estruturas de sombreamento foi feito um corte de rebaixamento e uniformização da braquiária estabelecida na área, utilizando-se roçadeira costal motorizada. Na seqüência, a área das parcelas foi delimitada utilizando-se estacas de madeira.

Levando-se em conta que a gramínea avaliada no ensaio experimental já encontrava-se estabelecida, apenas as parcelas destinadas à leguminosa foram preparadas para semeadura. Nestas parcelas foi aplicado herbicida a base de glifosato, visando-se a eliminação de todas as plantas existentes na área. Em seguida o solo foi revolvido manualmente, com o uso de enxadas, objetivando-se uniformizar a parcela e facilitar a semeadura.

O amendoim forrageiro foi semeado em 21 de dezembro de 2005. A semeadura foi feita em sulcos de aproximadamente 3 cm de profundidade e com espaçamento de 20 cm entre sulcos, utilizando-se 20 kg de sementes por hectare. No sulco de plantio foram aplicados 100 kg/ha de  $P_2O_5$ , na forma de superfosfato simples. As parcelas foram irrigadas diariamente, garantindo condições favoráveis para germinação das sementes. Após a germinação e emergência do amendoim forrageiro foram montadas as estruturas de sombreamento dentro de cada bloco, sobre as respectivas parcelas da gramínea e da leguminosa.

As estruturas de sombreamento, com 1,10m de altura, foram construídas com seis estacas de madeira, sobre as quais foi colocada uma armação retangular feita com tubos de PVC, coberta com a tela de sombrite correspondente a cada tratamento. As telas de sombrite foram presas nas estruturas, obtendo-se uma fração excedente de tela nas laterais, visando diminuir a penetração de luz direta nas parcelas nos horários de menor ângulo da luz solar incidente, como no início da manhã e final da tarde. Estas frações excedentes foram presas de forma que em uma das laterais da estrutura fosse possível a abertura e remoção parcial do sombrite, permitindo-se os tratos culturais e a coleta de dados nas parcelas.

Para início do período experimental realizou-se um segundo corte de uniformização das plantas de *B. decumbens*, no dia 27 de janeiro de 2006.

Após o corte foi feita a adubação de cobertura, aplicando-se nas parcelas da gramínea 50 kg/ha de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio. Foram aplicados ainda 100 kg de  $P_2O_5$ /ha e 70 kg de  $K_2O$ /ha, na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Nas parcelas da leguminosa a adubação de cobertura foi feita apenas com potássio (70 kg de  $K_2O$ /ha), uma vez que o fósforo já havia sido aplicado nos sulcos no momento da semeadura. Ao longo do período experimental, após cada corte para avaliação das plantas, repetiu-se a adubação de cobertura nas parcelas, utilizando-se as mesmas quantidades de adubo citadas anteriormente.

O controle de plantas daninhas e pragas nas parcelas foi feito periodicamente, e nas ruas, entre as parcelas, a altura das plantas foi controlada utilizando-se roçadeira.

O período de avaliação das plantas foi dividido em ciclos de crescimento, sendo que cada ciclo foi concluído com o corte das mesmas.

Durante os ciclos de crescimento, as plantas de todos os tratamentos foram monitoradas quanto a interceptação de luz pelo dossel, em intervalos semanais. Para avaliação da interceptação luminosa nas parcelas utilizou-se o sensor linear LI – 191SA, de um metro de comprimento, acoplado a um medidor de luz LI – 250, ambos da marca LI-COR, com o qual foram feitas leituras da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) tanto acima (uma leitura) quanto na base do dossel (cinco leituras). O percentual de interceptação luminosa foi calculado como a quantidade de RFA interceptada (RFA acima do dossel menos RFA na base do dossel) dividida pela RFA acima do dossel, e multiplicando-se o resultado por 100. As leituras foram realizadas sem as coberturas de sombreamento em dias de céu claro.

Quando a interceptação luminosa das plantas de um dos tratamentos atingia o valor médio de 95% da luz solar incidente era feita a coleta de material vegetal para avaliações laboratoriais. Para a *Brachiaria decumbens*, foram realizados três cortes de avaliação, em 25 de fevereiro, 26 de março e 16 de junho de 2006, que corresponderam ao primeiro, segundo e terceiro cortes, respectivamente. Já o *Arachis pintoii*, foi submetido a dois cortes, o primeiro no dia 23 de março e o segundo no dia 13 de maio de 2006.

A coleta de material das parcelas foi realizada utilizando-se quadros de amostragem de 0,24 m<sup>2</sup> (60 x 40 cm). Coletou-se uma amostra por parcela, cortando-se as plantas a 10 cm (gramínea) ou 3 cm (leguminosa) acima do nível do solo. Após as coletas para avaliações laboratoriais, as plantas de todas as parcelas foram submetidas a corte de uniformização a uma altura de 10 e 3 cm acima do nível do solo, respectivamente, para gramínea e leguminosa.

Todo o material proveniente do quadro de amostragem foi pesado e na seqüência retirou-se uma sub-amostra para contagem do número de perfilhos na gramínea e posterior separação das frações lâmina foliar, colmo e material morto (gramínea), ou folhas, caule e material morto (leguminosa). As frações de planta foram pesadas e levadas para estufa de ventilação forçada a 65°C por 72 horas. Após secagem, as amostras foram pesadas para determinação da produção de matéria seca, peso médio dos perfilhos, porcentagem de folhas e de colmo/caule e material morto.

Para determinação da área foliar específica da gramínea, coletou-se uma amostra de 10 perfilhos por parcela, cortados ao nível do solo. Todas as

lâminas foliares foram removidas dos perfilhos e os valores de área foliar determinados através de um medidor de área foliar da marca Delta –T Devices Ltda, no Laboratório de Forragicultura do Departamento de Zootecnia/UFV. Nesta amostra também foi feita a avaliação do comprimento do colmo e da folha mais jovem completamente expandida. Após medição da área foliar as lâminas foram levadas para estufa a 65°C por 72 horas determinando-se seu peso seco. Na leguminosa, foram coletados 20 folhas (4 folíolos/folha) em cada parcela para determinação do comprimento médio dos pecíolos, área foliar e AFE.

O índice de área foliar (IAF) do dossel da gramínea foi calculado através da área foliar média por perfilho e da densidade populacional de perfilhos. Para a leguminosa o IAF foi calculado com base na relação entre área foliar, peso foliar e proporção de folhas na massa total de forragem colhida.

Os dados da gramínea e da leguminosa foram analisados separadamente. Os resultados obtidos foram interpretados estatisticamente por meio de análises de variância e de regressão. Os modelos que melhor explicaram o comportamento das variáveis foram escolhidos com base no coeficiente de determinação ajustado; pela significância da regressão e da falta de ajustamento, testados pelo teste F; pela significância dos coeficientes de regressão, testada pelo teste “t”, com nível de significância aceitável de até 5% de probabilidade.

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando-se os procedimentos GLM (General Linear Models) e REG disponíveis no pacote estatístico SAS (SAS, 1990).

## **Resultados e Discussão**

As duas espécies forrageiras avaliadas apresentaram alterações morfológicas e estruturais significativas em função dos tratamentos (Tabelas 1 e 2). Estas alterações por sua vez afetaram a produção de matéria seca tanto do amendoim forrageiro quanto da braquiária submetidos ao sombreamento.

O amendoim forrageiro apresentou queda significativa ( $P < 0,001$ ) na produção de matéria seca (MS) com o sombreamento, apenas no segundo corte (Tabela 1). Na média dos dois cortes a redução na produção foi de 24 e 28% sob os níveis de 50 e 70% de sombra, respectivamente, em comparação ao tratamento a pleno sol.

**Tabela 1.** Características morfológicas, estruturais e produção de matéria seca (PMS) de amendoim forrageiro submetido a três níveis de sombreamento (AMD: altura média do dossel; RFC: relação folha:caule; AFE: área foliar específica; AF: área foliar; IAF: índice de área foliar).

Variáveis	Sombreamento (%)			Regressão	
	0	50	70		
<b>Corte 1</b>	PMS (kg ha <sup>-1</sup> )	1752,1	1386,1	1448,3	ns
	AMD (mm)	86,7	120,6	127,3	Y = 87,5556 + 0,6000**x; r <sup>2</sup> = 0,96
	Comp. Pecíolo (mm)	49,7	64,3	69,7	Y = 49,7350 + 0,2872***x; r <sup>2</sup> = 0,91
	Folha (%)	63,9	71,4	65,7	ns
	Caule (%)	36,2	28,6	34,3	ns
	RFC	1,9	2,5	2,0	ns
	AF folíolo <sup>-1</sup> (cm <sup>2</sup> )	6,1	9,0	10,0	Y = 6,1220 + 0,0549***x; r <sup>2</sup> = 0,97
	AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	241,3	274,7	294,7	Y = 240,4729 + 0,7439*x; r <sup>2</sup> = 0,82
	IAF	2,7	2,7	2,8	ns
<b>Corte 2</b>	PMS (kg ha <sup>-1</sup> )	1774,8	1304,5	1067,8	Y = 1781,2222 - 9,9667***x; r <sup>2</sup> = 0,89
	AMD (mm)	72,7	103,3	107,4	Y = 74,5556 + 0,4667***x; r <sup>2</sup> = 0,91
	Comp. Pecíolo (mm)	37,4	53,2	54,7	Y = 38,0479 + 0,2594***x; r <sup>2</sup> = 0,94
	Folha (%)	70,0	70,9	69,1	ns
	Caule (%)	30,0	29,1	30,9	ns
	RFC	2,3	2,4	2,3	ns
	AF folíolo <sup>-1</sup> (cm <sup>2</sup> )	4,3	6,6	7,1	Y = 4,3719 + 0,0362***x; r <sup>2</sup> = 0,90
	AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	213,4	263,2	274,8	Y = 214,5131 + 0,8993***x; r <sup>2</sup> = 0,99
	IAF	2,6	2,4	2,0	Y = 2,6857 - 0,0080*x; r <sup>2</sup> = 0,67

Significativo: \*\*\* 0,1%; \*\* 1%; \* 5%. Não significativo: ns

No trabalho de Andrade & Valentim (1999), realizado no Acre, a produção de biomassa aérea do *Arachis pintoii* BRA – 031143 sofreu queda linear em função dos níveis crescentes de sombra no período chuvoso, e aumento linear no período seco. Na média dos dois períodos, as plantas submetidas a 30, 50 e 70% de sombra produziram, respectivamente, 8, 14 e 15% menos biomassa aérea, quando comparadas com a testemunha.

Andrade et al. (2004), em estudo conduzido na cidade de Rio Branco/AC, verificaram que no período chuvoso, o *Arachis pintoii* BRA – 031143 submetido a 30, 50 e 70% de sombra, apresentou decréscimo na taxa de acúmulo de MS de 31, 51 e 72%, respectivamente, em relação à condição a pleno sol. Já para o *Arachis pintoii* cv. Belmonte os níveis de sombra de 30, 50 e 70% causaram redução de 5, 26 e 60%, respectivamente, nas taxas de acúmulo de MS em relação à testemunha.

**Tabela 2.** Características morfológicas, estruturais e produção de matéria seca (PMS) da braquiária submetida a três níveis de sombreamento (AMD: altura média do dossel; PMP: peso médio do perfilho; DPP; densidade populacional de perfilhos; RFC: relação folha:colmo; AFE: área foliar específica; IAF: índice de área foliar).

Variáveis	Sombreamento (%)			Regressão
	0	50	70	
PMS (kg ha <sup>-1</sup> )	2867,3	2436,0	1864,3	Y = 2918,4444 – 13,2333**x; r <sup>2</sup> = 0,78
AMD (mm)	392,3	542,7	537,3	Y = 392,0000 + 5,3681**x – 0,0471*x <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> = 0,98
DPP (nº m <sup>-2</sup> )	1677,0	1186,0	866,0	Y = 1693,1025 – 11,2526***x; r <sup>2</sup> = 0,96
PMP (g MS)	0,7	0,7	0,6	ns
Comp. Lâmina (mm)	198,3	308,7	320,2	Y = 198,3333 + 3,3721**x – 0,0233*x <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> = 0,99
Comp. Colmo (mm)	246,5	398,8	428,8	Y = 250,4658 + 2,6897***x; r <sup>2</sup> = 0,97
<b>Corte 1</b> Lâmina (%)	57,2	52,4	53,8	ns
Colmo (%)	42,8	47,6	46,1	ns
Material Morto (%)	0,0	0,0	0,0	ns
RFC	1,3	1,1	1,2	ns
AF perfilho <sup>-1</sup> (cm <sup>2</sup> )	56,4	92,9	93,7	Y = 56,4467 + 1,2195***x – 0,0098*x <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> = 0,98
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	218,9	302,1	319,9	Y = 220,8860 + 1,4851***x; r <sup>2</sup> = 0,85
IAF	3,6	3,9	3,2	ns
PMS (kg ha <sup>-1</sup> )	2938,0	1726,3	889,3	Y = 2983,5299 – 28,3077***x; r <sup>2</sup> = 0,95
AMD (mm)	380,7	511,0	455,7	Y = 380,6667 + 6,4681***x – 0,0771**x <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> = 0,98
DPP (nº m <sup>-2</sup> )	1702,3	946,3	515,0	Y = 1718,8633 – 16,6077***x; r <sup>2</sup> = 0,95
PMP (g MS)	0,4	0,5	0,4	ns
Comp. Lâmina (mm)	199,8	294,3	269,0	Y = 199,8000 + 4,1400***x – 0,0450***x <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> = 0,94
Comp. Colmo (mm)	219,5	318,8	256,9	Y = 219,5333 + 5,6165**x – 0,0726**x <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> = 0,94
<b>Corte 2</b> Lâmina (%)	58,8	62,2	66,8	ns
Colmo (%)	35,0	35,9	30,0	ns
Material Morto (%)	6,2	1,8	2,6	ns
RFC	1,7	1,8	2,3	ns
AF perfilho <sup>-1</sup> (cm <sup>2</sup> )	54,3	87,6	70,4	Y = 54,2800 + 1,7565*x – 0,0218*x <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> = 0,86
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	240,9	316,8	335,2	Y = 242,4154 + 1,3799***x; r <sup>2</sup> = 0,93
IAF	4,4	3,5	2,0	Y = 4,5361 – 0,0310***x; r <sup>2</sup> = 0,85
PMS (kg ha <sup>-1</sup> )	2257,2	3033,2	1948,2	ns
AMD (mm)	240,0	620,0	606,0	Y = 239,6667 + 13,5281**x – 0,1184*x <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> = 0,97
DPP (nº m <sup>-2</sup> )	1222,7	823,0	560,0	Y = 1236,2051 – 9,1885***x; r <sup>2</sup> = 0,87
PMP (g MS)	0,3	0,7	0,8	Y = 0,3523 + 0,0074**x; r <sup>2</sup> = 0,88
Comp. Lâmina (mm)	128,4	267,6	290,3	Y = 132,6299 + 2,4039***x; r <sup>2</sup> = 0,95
Comp. Colmo (mm)	128,8	374,2	395,7	Y = 138,6026 + 4,0241***x; r <sup>2</sup> = 0,92
<b>Corte 3</b> Lâmina (%)	46,8	51,6	51,7	ns
Colmo (%)	31,8	39,7	40,3	Y = 32,3326 + 0,1236*x; r <sup>2</sup> = 0,79
Material Morto (%)	21,4	8,2	8,6	Y = 21,3933 – 0,4691**x + 0,0041*x <sup>2</sup> ; R <sup>2</sup> = 0,96
RFC	1,5	1,3	1,3	ns
AF perfilho <sup>-1</sup> (cm <sup>2</sup> )	27,3	90,6	101,8	Y = 29,0666 + 1,1038**x; r <sup>2</sup> = 0,92
AFE (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	170,4	223,6	235,7	Y = 171,5978 + 0,9575***x; r <sup>2</sup> = 0,94
IAF	2,3	3,8	2,6	ns

Significativo: \*\*\* 0,1%; \*\* 1%; \* 5%. Não significativo: ns

Na braquiária, a produção de matéria seca apresentou redução linear significativa ( $P < 0,01$ ) nos dois primeiros cortes avaliados (Tabela 2). No primeiro corte a queda na produção foi de 15 e 35% e no segundo de 41 e 69%, respectivamente para os níveis de 50 e 70% de sombra em relação ao tratamento a pleno sol.

Castro et al. (1999) verificaram redução de 31 e 46% na produção de MS da *Brachiaria decumbens* sob 30 e 60% de sombra artificial. Já Paciullo et al. (2007), avaliando as características morfológicas de *Brachiaria decumbens* em um sistema silvipastoril, observaram queda de 53% na produção de forragem do sub-bosque sob 65% de sombra e de 8% sob 35% de sombra.

A maior magnitude de redução da produção de MS da braquiária em função do incremento nos níveis de sombra, no segundo corte, pode estar ligada à maior nebulosidade observada durante o período de crescimento das plantas, o que pode ter potencializado o efeito negativo da sombra.

De acordo com os dados climáticos da estação meteorológica da UFV a nebulosidade foi 34 e 60% maior no mês de março, período do segundo corte, em comparação aos períodos do primeiro e terceiro cortes, respectivamente. A maior cobertura de nuvens no céu diminui a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa que atinge as plantas de um dossel (Larcher, 2000), afetando principalmente aquelas que já estão sob condições sombreadas, pois diminui ainda mais a disponibilidade de luz para seu crescimento.

No terceiro corte da braquiária, a produção de matéria seca não apresentou variação significativa entre os tratamentos. Contudo, observou-se tendência de aumento sob 50% de sombra (Tabela 2). Este fato pode estar relacionado com a época do corte, realizado no mês de junho (período seco) quando os níveis de precipitação foram bastante reduzidos (Figura 2), o que pode ter contribuído para a maior produção sob sombra, devido ao maior teor de umidade no solo. O mesmo não ocorreu sob 70% de sombra, provavelmente por este ser um nível bastante elevado de sombreamento, o que limita a produção das plantas mesmo sob condições microclimáticas favoráveis.

De acordo com Humphreys (1994) e Wilson (1996), o maior teor de umidade no solo, associado com a temperatura mais moderada do solo sob sombra, pode resultar numa maior rapidez da taxa de mineralização do

nitrogênio, da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem do nitrogênio, quando comparado com o que ocorre a pleno sol.

A maior disponibilidade de nitrogênio em solos sob sombra natural ou artificial tem sido relatada em vários trabalhos, e estes relatos geralmente estão associados com ambientes sob restrição hídrica (Wilson & Wild, 1995).

Apesar de algumas plantas forrageiras serem mais tolerantes ao sombreamento que outras, de modo geral, a diminuição da intensidade luminosa provoca redução na produtividade das plantas (Ericksen & Whitney, 1981), uma vez que a sombra impõe limitações à sua atividade fotossintética. A aclimação morfológica das forrageiras à baixa irradiância representa uma estratégia adaptativa para compensar, pelo menos em parte, a menor taxa fotossintética por unidade de área foliar.

Alterações no ambiente luminoso de um dossel forrageiro podem ser caracterizadas tanto em termos quantitativos quanto qualitativos. Não apenas a quantidade de luz, mas também a qualidade espectral da luz (menor relação vermelho:vermelho extremo) que atinge o sub-bosque de um sistema silvipastoril, podem influenciar a morfologia das plantas (Feldhake, 2001).

No presente estudo, diferente do que ocorre em sub-bosques florestais, as coberturas de sombrite forneceram sombra neutra às plantas (Stuefer & Huber, 1998), uma vez que não modificaram a composição espectral da radiação transmitida. Assim, as alterações morfológicas e estruturais observadas neste trabalho se devem, principalmente, às mudanças na quantidade de radiação incidente.

A altura média do dossel (AMD) do amendoim forrageiro e da braquiária aumentou de forma linear ( $P < 0,01$ ) e quadrática ( $P < 0,05$ ), respectivamente, com o sombreamento crescente, em todos os cortes avaliados (Tabelas 1 e 2). Para a braquiária, a maior altura do dossel foi observada sob 50% de sombra (Tabela 2).

O aumento da AMD sob sombra, está diretamente relacionado com o maior comprimento do pecíolo, colmo e lâmina foliar das plantas submetidas ao sombreamento. O comprimento do pecíolo das plantas de amendoim forrageiro aumentou linearmente ( $P < 0,001$ ) em função dos tratamentos (Tabela 1). Já o comprimento do colmo das plantas de braquiária aumentou linearmente ( $P < 0,01$ ) no primeiro e terceiro cortes, com o sombreamento crescente, e de forma quadrática ( $P < 0,01$ ) no segundo corte, observando-se maior

comprimento do colmo sob 50% de sombra. O comprimento da lâmina foliar da braquiária apresentou incremento quadrático ( $P < 0,05$ ) nos dois primeiros cortes e linear ( $P < 0,01$ ) no terceiro corte, em função dos níveis crescentes de sombra (Tabela 2).

A maior altura das plantas de *Arachis pintoii* submetidas ao sombreamento também foi observado no trabalho de Andrade & Valentim (1999). Marcuvitz & Turkington (2000) e Garcez Neto (2006) verificaram incrementos significativos no comprimento do pecíolo das leguminosas trevo branco e trevo vermelho, respectivamente, com o sombreamento.

Estudos realizados com gramíneas de clima temperado e tropical também confirmam o maior comprimento de colmos e lâminas foliares em plantas sombreadas, contribuindo para a maior altura do dossel (Castro et al., 1999; Lin et al., 2001; Garcez Neto, 2006; Peri et al., 2007).

As plantas geralmente respondem às condições ambientais sub-ótimas através de redução na taxa de crescimento e alterações na alocação de nutrientes para minimizar a limitação do crescimento causada por determinado fator individual. O comprimento de caules e pecíolos de plantas sombreadas é bastante aumentado, juntamente com o aumento da área foliar específica e redução da área foliar total e da espessura da folha (Lambers et al., 1998).

Estas alterações morfológicas sob sombra têm por objetivo compensar a deficiência de luz (Samarakoon et al., 1990), uma vez que a baixa disponibilidade de radiação afeta primeiramente a fotossíntese, que por sua vez pode reduzir o suprimento de carbono para o crescimento (Lambers et al., 1998).

O maior comprimento de caules e pecíolos pode representar um esforço da planta para aumentar o acesso à luz disponível (Peri et al., 2007), promovendo melhor arranjo espacial das folhas e fazendo com que as plantas interceptem e utilizem a luz de forma mais eficiente (Lin et al., 2001).

As plantas podem se aclimatar ao seu ambiente luminoso através de diferentes estratégias e em diferentes níveis. Elas podem alterar a arquitetura do dossel, modificando sua capacidade de interceptar a luz disponível. Estes mecanismos de aclimação podem permitir que as plantas tolerem diferentes níveis de sombra (Fernández et al., 2004).

A maior altura do dossel de braquiária sob 50% de sombra, apesar de em média o comprimento de colmos e lâminas foliares ter sido maior sob 70% de

sombra (Tabela 2), pode estar relacionado com a posição mais ereta das lâminas foliares naquele tratamento. O maior comprimento de lâminas foliares, juntamente com a maior área foliar específica e a menor espessura das folhas (Capítulo 1) sob 70% de sombra, pode ter colaborado para a maior flexibilidade e maior curvatura destas folhas sob sombra, diminuindo a altura média do dossel.

Outro fator que pode interferir na AMD é o ângulo de inclinação das folhas. Peri et al. (2004), observaram que o aumento concomitante da AFE e do comprimento da lâmina foliar da gramínea *Dactylis glomerata* reduziu o ângulo foliar médio do dossel com o sombreamento. No estudo realizado por Paciullo et al. (2007), os autores observaram que as plantas de *Brachiaria decumbens* que se desenvolveram sob a copa de árvores em sistema silvipastoril, apresentavam arquitetura foliar mais horizontal em relação àquelas desenvolvidas sob radiação solar plena, o que contribuiu para o aumento da interceptação luminosa, apesar do baixo valor de IAF. De acordo com Fernández et al (2004), sob sombra, as folhas apresentam ângulo de inclinação mais horizontal para aumentar a eficiência de interceptação da radiação incidente, fato que pode concorrer para a menor altura do dossel.

Os níveis crescentes de sombra também promoveram diminuição linear ( $P < 0,001$ ) da densidade populacional de perfilhos ( $n^{\circ} m^{-2}$ ) no dossel de braquiária, em todos os cortes avaliados. Por outro lado, o peso médio dos perfilhos (PMP) só foi afetado de modo significativo no terceiro corte, observando-se aumento linear ( $P < 0,01$ ) com o incremento nos níveis de sombra (Tabela 2). Este aumento no peso dos perfilhos pode estar relacionado com o aumento significativo e linear ( $P < 0,001$ ) no comprimento da lâmina foliar e do colmo sob níveis crescentes de sombra.

A gramínea *Dactylis glomerata* apresentou queda na população de perfilhos (Peri et al., 2007) e no peso do perfilho quando submetida a níveis crescentes de sombra (Belesky, 2005a). Garcez Neto (2006), trabalhando com gramíneas de clima temperado, observou queda na densidade populacional de perfilhos em plantas sombreadas, ocorrendo contudo, uma leve compensação entre o peso e o número de perfilhos entre as espécies.

A menor densidade populacional de perfilhos (DPP) está relacionada com a menor quantidade de radiação que penetra no dossel forrageiro, uma vez que esta promove a ativação de gemas axilares e basais para formação de novos

perfilhos (Bahmani et al., 2000). Além disso, sob baixa irradiância, o suprimento reduzido de fotoassimilados é alocado preferencialmente para os perfilhos existentes, em detrimento as gemas axilares (Robson et al., 1988), inibindo a produção de novos perfilhos.

Como a produção de forragem é produto da densidade populacional de perfilhos e do peso do perfilho (Valentine & Matthew, 2000), a diminuição da DPP em função do sombreamento e a não alteração do peso médio dos perfilhos da braquiária, ajuda a explicar a menor produção desta gramínea sob sombra, nos dois primeiros cortes. No terceiro corte, apesar da redução na DPP, o aumento do peso médio do perfilho com o incremento dos níveis de sombra, pode justificar em parte a não alteração significativa da produção de matéria seca entre os tratamentos.

A proporção de folhas e caule e, conseqüentemente, a relação folha:caule na biomassa aérea do amendoim forrageiro não foram afetadas significativamente ( $P > 0,05$ ) pelos tratamentos. Por outro lado, a área foliar específica ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ) e a área foliar por folíolo aumentaram de forma linear ( $P < 0,05$ ) com o sombreamento. Apesar do aumento na área foliar por folíolo, o índice de área foliar (IAF) do amendoim forrageiro não foi significativamente afetado pelos tratamentos no primeiro corte e sofreu redução linear ( $P < 0,05$ ) com o aumento do sombreamento, no segundo corte (Tabela 1).

Nas plantas de braquiária as proporções de lâmina foliar e colmo, bem como a relação lâmina:colmo não foram afetadas pelos tratamentos, exceto no terceiro corte, onde a proporção de colmo aumentou linearmente ( $P < 0,05$ ) com o sombreamento, sem contudo afetar a relação lâmina:colmo. A área foliar por perfilho aumentou de modo significativo ( $P < 0,05$ ) com o sombreamento, assim como a área foliar específica (AFE). Já o IAF da braquiária não sofreu alterações em função dos tratamentos, no primeiro e terceiro corte, mas apresentou redução linear no segundo corte, com o incremento nos níveis de sombra (Tabela 2).

No estudo de Paciullo et al. (2007), a *Brachiaria decumbens* também apresentou folhas maiores e mais delgadas e aumento da AFE sob sombreamento natural, evidenciando a maior eficiência de utilização da radiação disponível pelas plantas.

Allard et al. (1991), também observaram aumento linear na AFE da gramínea *C<sub>3</sub> Festuca arundinacea* submetida a diferentes níveis de sombra. No

trabalho de Lin et al. (2001), as espécies forrageiras avaliadas apresentaram aumento significativo na área foliar por lâmina e por folíolo sob sombra. Já a AFE das plantas aumentou quando estas se desenvolveram sob 50% de sombra, em relação às plantas que se desenvolveram a pleno sol.

Belesky (2005b), trabalhando com a gramínea *Dactylis glomerata* sob diferentes níveis de sombra, concluiu que o aumento da AFE observado nas plantas sob sombra e o padrão de alocação de recursos para produção de folhas, sugerem que esta espécie é capaz de sustentar a produção de folhas quando submetida simultaneamente ao estresse luminoso e à desfolhação.

Garcez Neto (2006) também observou aumento da AFE das gramíneas *Lolium perenne* e *Dactylis glomerata* e da leguminosa *Trifolium pratense*, quando submetidas ao sombreamento.

Em condições de baixa irradiância, as plantas investem relativamente maior proporção de fotoassimilados e outros recursos no aumento da área foliar, apresentando maior AFE e folhas com menor densidade de massa. Geralmente estas alterações têm por objetivo aumentar a captação da luz incidente, aumentando a eficiência fotossintética da planta (Lambers et al., 1998). De acordo com Evans & Poorter (2001), o aumento da AFE é o fator mais importante na maximização do ganho de carbono por unidade de massa foliar, sob condições de baixa luminosidade.

O IAF é uma medida estrutural importante para caracterizar a interceptação luminosa e o potencial de produção de plantas em diferentes ambientes (Hikosaka, 2005), sendo que alguns estudos com plantas forrageiras verificaram a redução do IAF em dosséis de plantas sombreadas (Wong & Stür, 1995; Garcez Neto, 2006).

No presente estudo as espécies avaliadas não apresentaram grandes variações no IAF sob sombra. A redução no IAF do amendoim forrageiro, no segundo corte, apesar do aumento da área foliar por folíolo, pode estar relacionado com a redução no número total de folhas das plantas sombreadas, em função do menor número de ramificações. Na sombra, a ramificação das plantas é reduzida em função do aumento da dominância apical, diminuindo a área foliar total da planta (Lambers et al., 1998).

Como o IAF em gramíneas é produto da densidade populacional de perfilhos e da área foliar por perfilho (Matthew et al., 2000), o aumento da área foliar por perfilho, apesar da redução na DPP sob sombra, pode ter contribuído

para a não alteração do IAF da braquiária no primeiro e terceiro corte. Já no segundo corte, o aumento na área foliar por perfilho não foi capaz de compensar a significativa redução na DPP, contribuindo para a maior redução da PMS da gramínea sob sombra. No primeiro e terceiro corte da braquiária, a redução média na DPP foi de 31 e 51%, sob 50 e 70% de sombra, enquanto que no segundo corte a redução foi de 44 e 69%, respectivamente. De acordo com Peri et al. (2007), a redução na intensidade luminosa e as alterações na qualidade da luz sob sombra, promovem redução no perfilhamento e conseqüentemente diminuem o IAF de gramíneas.

Em função da quantidade bastante reduzida, a produção de material morto não pôde ser calculada nos cortes do amendoim forrageiro e no primeiro corte da braquiária. No segundo corte da braquiária, a proporção de material morto não foi afetada pelos tratamentos, mas apresentou resposta quadrática ( $P < 0,05$ ) em função dos níveis crescentes de sombra, no terceiro corte (Tabela 2). A proporção de material morto foi 62 e 60% menor sob os níveis de 50 e 70% de sombra, respectivamente, quando comparada ao tratamento a pleno sol.

Wilson et al. (1990) verificaram maior proporção de folhas verdes e menor de material morto nas plantas de *Paspalum notatum* crescendo no sub-bosque de *Eucalyptus grandis*. Em estudo com sombreamento artificial, Castro et al. (1999) também observaram redução no acúmulo de material morto de algumas gramíneas tropicais. Os autores sugerem que a redução no acúmulo de material morto em plantas sombreadas, ou a sua não alteração, pode estar relacionada com as condições microclimáticas do ambiente sombreado, como o maior teor de umidade do solo e as temperaturas mais amenas.

No estudo de Cruz (1997), o autor constatou redução no acúmulo de tecidos mortos da gramínea tropical *Dichanthium aristatum* submetida ao sombreamento crescente, sugerindo que as plantas priorizam as folhas verdes na alocação de carbono e nitrogênio sob sombra.

De acordo com Reich et al (1991), as espécies tolerantes à sombra apresentam maior longevidade das folhas, ou seja, mantêm suas folhas verdes por um período mais longo e aumentam seu potencial de retorno fotossintético, compensando a redução da radiação incidente.

## **Conclusões**

As alterações morfológicas e estruturais do amendoim forrageiro e da braquiária são típicas de plantas tolerantes ao sombreamento, demonstrando sua aclimação ao ambiente de baixa luminosidade.

Tanto o *Arachis pinto* cv. Amarillo quanto a *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk são forrageiras com bom potencial para uso em sistemas silvipastoris onde o nível de transmissão luminosa fica em torno de 50% da radiação fotossinteticamente ativa.

## Referências Bibliográficas

- ALLARD, G.; NELSON, C.J.; PALLARDY, S.G. Shade effects on growth of tall fescue: leaf anatomy and dry matter partitioning. **Crop Science**, v.31, p.163-167, 1991.
- ANDRADE, C.M.S.; VALENTIM, J.F. Adaptação, produtividade e persistência de *Arachis pintoi* submetido a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.3, p.439-445, 1999.
- ANDRADE, C.M.S.; VALENTIM, J.F.; CARNEIRO, J.C. et al. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.3, p.263-270, 2004.
- BAHMANI, I.; HARZARD, L.; VARLET-GRANCHER, C. et al. Differences in tillering of long- and short-leaved Perennial Ryegrass genetic lines under full light and shade treatments. **Crop Science**, v.40, p.1095-1102, 2000.
- BELESKY, D.P. Growth of *Dactylis glomerata* along a light gradient in the central Appalachian region of the eastern USA: I. Dry matter production and partitioning. **Agroforestry Systems**, v.65, p.81-90, 2005a.
- BELESKY, D.P. Growth of *Dactylis glomerata* along a light gradient in the central Appalachian region of the eastern USA: II. Mechanisms of leaf dry matter production. **Agroforestry Systems**, v.65, p.91-98, 2005b.
- BELSKY, A.J.; MWONGA, S.M.; AMUNDSON, R.G. et al. Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environment in high- and low-rainfall savannas. **Journal of Applied Ecology**, v.30, p.143-155, 1993.
- CASTRO, C.R.T.; GARCIA, R.; CARVALHO, M.M. et al. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.5, p.919-927, 1999.
- CRUZ, P. Effect of shade on the carbon and nitrogen allocation in a perennial tropical grass, *Dichanthium aristatum*. **Journal of Experimental Botany**, v.48, n.306, p.15-24, 1997.
- ERIKSEN, F.I.; WHITNEY, A.S. Effect of light intensity on growth of some tropical forage species. I. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. **Agronomy Journal**, v.73, p.427-433, 1981.
- EVANS, J.R.; POORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant, Cell and Environment**, v.24, p.755-767, 2001.
- FELDHAKE, C.M. Microclimate of a natural pasture under planted *Robinia pseudoacacia* in central Appalachia, West Virginia. **Agroforestry Systems**, v.53, p.297-303, 2001.
- FERNÁNDEZ, M.E.; GYENGE, J.E.; SCHLICHTER, T.M. Shade acclimation in the forage grass *Festuca pallenscens*: biomass allocation and forage orientation. **Agroforestry Systems**, v.60, p.159-166, 2004.
- GARCEZ NETO, A.F. **Avaliação fisiológica, morfológica e estrutural de forrageiras de clima temperado sob diferentes regimes de luminosidade**. Viçosa: UFV, 2006. 102p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.

- GARCIA, R.; ANDRADE, C.M.S. Sistemas silvipastoris na região sudeste. In: SISTEMAS AGROFLORESTAIS PECUÁRIOS: OPÇÕES DE SUSTENTABILIDADE PARA ÁREAS TROPICAIS E SUBTROPICAIS. Juiz de Fora. **Anais...** Brasília: FAO, 2001.
- GARCIA, R.; COUTO, L. Silvopastoral systems: emergent technology of sustainability. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANIMAL PRODUCTION UNDER GRAZING, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: DZO/UFV, 1997. p.281-302.
- HIKOSAKA, K. Leaf canopy as a dynamic system: Ecophysiology and optimality in leaf turnover. **Annals of Botany**, v.95, p.521-533, 2005.
- HUMPHREYS, L.R. **Tropical forages: Their role in sustainable agriculture.** New York: Longman Scientific & Technical, 1994. 193p.
- KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R. Forage quality response of C3 and C4 perennial grasses to shade. **Crop Science**, v.33, p.831-837, 1993.
- LAMBERS, H.; CHAPIM III, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology.** New York: Springer, 1998. 540p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: RiMa, 2000. 531p.
- LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F., et al. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. **Agroforestry Systems**, v.44, p.109-119, 1999.
- LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F.; et al. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forages species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, v.59, p.269-281, 2001.
- MARCUVITZ, S.; TURKINGTON, R. Differential effects of light quality, provided by different grass neighbours, on the growth and morphology of *Trifolium repens* L. (white clover). **Oecologia**, v.125, p.293-300, 2000.
- MATTHEW, C.; ASSUERO, S.G.; BLACK, C.K. et al. Tiller dynamics of grazed swards. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; MORAES, A. et al. (Eds.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology.** Wallingford: CAB International, 2000. p.127-150.
- McGREGOR, E.; MACKAY, A.; DODD, M. et al. Silvopastoralism using tended poplars on New Zealand hill country: The opportunities. In: PROCEEDINGS OF THE NEW ZEALAND GRASSLAND ASSOCIATION, 61., 1999. p. 85.
- MOU, P.; MENDEZ-DELGADO, A.; BURGER, J.A. et al. 1997. Modeling light, water, and nutrient allocation in a silvopastoral system. In: PROCEEDINGS OF NORTH AMERICAN CONFERENCE ON AGROFORESTRY, 5., 1997, Ithaca. **Proceedings...** Ithaca, 1997. p.2-6.
- PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M.; et al. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42. n.4, p.573-579, 2007.
- PERI, P.L.; MOOT, D.J.; LUCAS, R.J. et al. 2004. Morphological and anatomical adaptations of Cocksfoot leaves grown under different fluctuating light regimes in New Zealand. In: PROCEEDINGS OF THE 1<sup>ST</sup> WORLD CONGRESS OF AGROFORESTRY, 1., 2004, Orlando. **Proceedings...** Orlando, 2004. p.390.

- PERI, P.L.; LUCAS, R.J.; MOOT, D.J. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. **Agroforestry Systems**, v.70, p.63-79, 2007.
- REICH, P.B.; UHL, C.; WALTERS, M.B. et al. Leaf life-span as a determinant of leaf structure and function among 23 amazonian tree species. **Oecologia**, v.86, p.16-24, 1991.
- ROBSON, M.J.; RYLE, G.J.A.; WOLEDGE, J. The grass plant – its form and function. In: JONES, M.B.; LAZENBY, A. (Eds.) **The grass crop**. London: Chapman & Hall, 1988. p.25-83.
- SAMARAKOON, S.P.; WILSON, J.R.; SHELTON, H.M. Growth, morphology, and nutritive quality of shaded *Stenotaphrum secundatum*, *Axonopus compressus*, and *Pennisetum clandestinum*. **Journal of Agricultural Science**, v.114, p.161-169, 1990.
- SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT User's Guide**. Version 6.4 ed., V1, Cary:SAS Institute Inc. 1990. 943p.
- STUEFER J.F.; HUBER, H. Differential effects of light quantity and spectral light quality on growth, morphology and development of two stoloniferous *Potentilla* species. **Oecologia**, v. 117, p.1-8, 1998.
- VALENTINE, I.; MATTHEW, C. Plant growth, development and yield. In: WHITE, J., HODGSON, J. (Eds) **New Zealand Pasture and Crop Science**. Auckland: Oxford University Press, 2000. p.11-27.
- WILSON, J.R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pastures grasses in a subtropical environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.47, p.1075-1093, 1996.
- WILSON, J.R.; HILL, K.; CAMERON, D.M. et al. The growth of *Paspalum notatum* under the shade of a *Eucalyptus grandis* plantation canopy or in full sun. **Tropical Grasslands**, v.24, p.24-48, 1990.
- WILSON, J.R.; WILD, D.W.M. Nitrogen availability and grass yield under shade environments. In: MULLEN, B.F.; SHELTON, H.M. (Eds) **Integration of ruminants into plantation systems in southeast Asia**. ACIAR Proceedings N° 64, Canberra, 1995. p.42-48.
- WONG, C.C.; STÜR, W.W. Mechanisms of persistence in tropical forages to defoliation under shade. In: MULLEN, B.F., SHELTON, H.M. (Eds) **Integration of ruminants into plantation systems in southeast Asia**. ACIAR Proceedings N° 64, Canberra, 1995. p.37-41.

## CAPÍTULO 3

### Valor nutritivo de forrageiras tropicais submetidas ao sombreamento

**Resumo:** As características químico-bromatológicas e a digestibilidade da braquiária (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk) e do amendoim forrageiro (*Arachis pintoii* cv. Basilisk) foram avaliadas em resposta a diferentes níveis de sombreamento artificial (0, 50 e 70%), com o objetivo de se determinar alterações no valor nutritivo destas forrageiras, em função das variações no ambiente luminoso. Utilizou-se o delineamento em blocos completos ao acaso, com três repetições. Foram realizados três e dois cortes, respectivamente, para avaliação das plantas de braquiária e amendoim forrageiro, ao longo do período experimental. Foram avaliados os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e minerais, os constituintes de parede celular e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS). O teor de MS das duas espécies avaliadas foi reduzido ( $P < 0,05$ ) com o aumento dos níveis de sombra. Tanto o amendoim forrageiro quanto a braquiária, apresentaram incremento ( $P < 0,05$ ) no teor de PB em função do sombreamento. Contudo, este aumento não foi significativo no segundo corte do amendoim forrageiro. As plantas de amendoim forrageiro, submetidas a níveis crescentes de sombra, apresentaram incremento ( $P < 0,05$ ) nos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). Na braquiária, o sombreamento crescente não causou alterações significativas ( $P > 0,05$ ) nos constituintes de parede celular, no primeiro corte. Já as plantas coletadas no segundo corte apresentaram queda linear ( $P < 0,05$ ) nos conteúdos de FDN e FDA, com o incremento nos níveis de sombra. No terceiro corte da gramínea, o sombreamento promoveu incremento ( $P < 0,05$ ) nos teores de FDA. A DIVMS da gramínea e da leguminosa não foi afetada de modo significativo ( $P > 0,05$ ) em nenhum dos cortes, apresentando, contudo, tendência de aumento nas plantas de braquiária sob sombra. O teor dos macronutrientes cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K), não apresentou variação uniforme entre as espécies e cortes avaliados, mas de modo geral, o conteúdo destes minerais, quando alterado, aumentou em função dos níveis crescentes de sombra. As espécies avaliadas apresentarem variações em sua composição químico-bromatológica em função dos tratamentos. No entanto, os coeficientes de

digestibilidade não foram afetados de forma significativa pelo incremento nos níveis de sombra. Tanto o amendoim forrageiro quanto a braquiária são espécies com grande potencial para produção de forragem de qualidade em sistemas silvipastoris.

**Palavras-chave:** *Arachis pintoj*, *Brachiaria decumbens*, digestibilidade, parede celular, proteína bruta, minerais.

## Introdução

O valor nutritivo das forrageiras, definido em função de sua composição química e digestibilidade potencial, depende de fatores químicos, físicos e estruturais inerentes à planta (Moore, 1994), sendo que todos, de alguma forma, são influenciados por fatores externos como o clima.

O ambiente luminoso, sob o qual as plantas se desenvolvem, afeta sua produção, persistência e valor nutritivo (Johnson et al., 2002). Isto faz com que as plantas que crescem em ambientes sombreados, como em sub-bosques de sistemas silvipastoris, apresentem variações na qualidade da forragem produzida, em comparação às plantas que se desenvolvem a pleno sol.

Nos sistemas silvipastoris, a presença de árvores promove modificações no microclima do sub-bosque que incluem a redução dos níveis de radiação solar, alterações na qualidade do espectro luminoso, temperaturas mais amenas, maior umidade, menores taxas de evapotranspiração e maiores níveis de umidade no solo (Lin et al., 2001).

Os fatores ambientais que sofrem alterações sob sombra podem desencadear mudanças nas características anatômicas, morfológicas e na composição química das plantas forrageiras, uma vez que estas são capazes de responder de forma diferente às mudanças no nível de irradiância, (Deinum et al., 1996; Lin et al., 2001; Belesky, 2005; Belesky et al., 2006; Peri et al., 2007; Paciullo et al., 2007), o que por sua vez pode afetar a qualidade da forragem produzida.

Os efeitos da sombra sobre o valor nutritivo das plantas dependem tanto da espécie forrageira considerada quanto do nível de sombreamento sob o qual as plantas se desenvolvem. As plantas respondem de forma diferente tanto fisiológica quanto morfológicamente aos níveis de luz e variam consideravelmente em relação a sua tolerância ao sombreamento (Boardman, 1977).

A grande maioria dos estudos avaliando o efeito da sombra sobre o valor nutritivo da forragem têm sido conduzidos com gramíneas. Estudos envolvendo leguminosas forrageiras, principalmente aquelas tropicais, ainda são escassos, mas tornam-se cada vez mais necessários em virtude do potencial de algumas espécies em contribuir para a melhoria da qualidade da forragem produzida em sub-bosques de sistemas silvipastoris.

As mudanças que ocorrem na composição química de forrageiras sob sombra variam em função da espécie avaliada e do nível de sombra utilizado, sendo que os resultados de pesquisas apresentam, muitas vezes, resultados conflitantes. Assim, não é possível generalizar o comportamento de diferentes espécies sob sombra.

O teor de proteína bruta (PB) ou o conteúdo de nitrogênio (N), geralmente aumenta em plantas sombreadas (Wilson, 1996; Deinum et al., 1996; Garcez Neto, 2006; Paciullo et al., 2007), mas esta tendência é maior em gramíneas do que em leguminosas (Lin et al., 2001).

Com o aumento dos níveis de sombra, o teor de carboidratos solúveis nas plantas diminui (Belesky et al., 2006), e geralmente ocorre aumento concomitante do conteúdo de parede celular e redução da digestibilidade, tanto em forrageiras tropicais quanto temperadas (Castro et al., 1996; Lin et al., 2001; Johnson et al., 2002). Alguns estudos também relatam o aumento do teor de lignina sob sombra, fator que contribui para a redução da digestibilidade (Senanayake 1995).

Contrariando os resultados citados anteriormente, alguns trabalhos evidenciam a redução do conteúdo de parede celular e aumento da digestibilidade de plantas sombreadas (Kephart & Buxton, 1993; Deinum et al., 1996; Paciullo et al., 2007).

O teor de minerais nas plantas também pode ser influenciado pelos níveis de luz, ocorrendo, em geral, aumento dos níveis de macro-nutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio, sob sombra (Castro et al., 1999; Peri et al., 2007).

Face à necessidade de se selecionar espécies com potencial para uso em sistemas silvipastoris, além do desenvolvimento de práticas de manejo adequadas para se otimizar a quantidade e qualidade da forragem produzida, desenvolveu-se um estudo com o objetivo de se avaliar o valor nutritivo das forrageiras *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Arachis pintoi* cv. Amarillo, submetidas a níveis crescentes de sombra.

### **Material e Métodos**

O ensaio experimental foi conduzido no Setor de Agrostologia do Departamento de Zootecnia, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa/MG, no período de Dezembro/2005 a Junho/2006. As análises

laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Forragicultura e Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia.

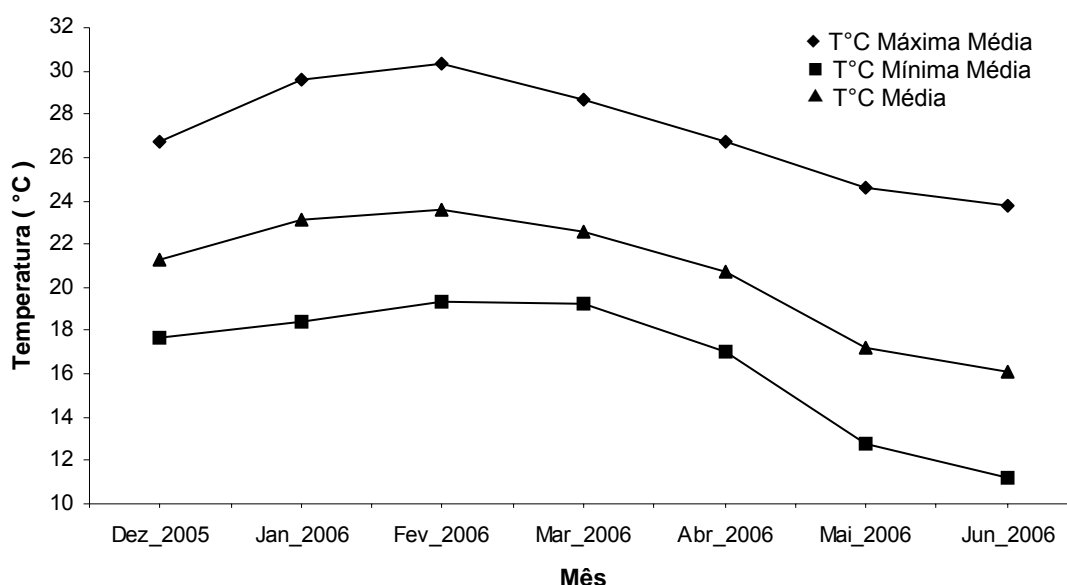
O município de Viçosa está localizado na região da Zona da Mata mineira, numa altitude de 651 m acima do nível do mar, com 20° 45' 40" de latitude sul e 42° 52' 40" de longitude oeste. O tipo climático, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cwa. A precipitação média anual é de 1221 mm, caracterizada por uma distribuição estacional, com estações seca e chuvosa bem definidas.

As temperaturas máximas, mínimas e médias mensais, bem como a precipitação total ao longo do período experimental, em Viçosa/MG, estão apresentadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

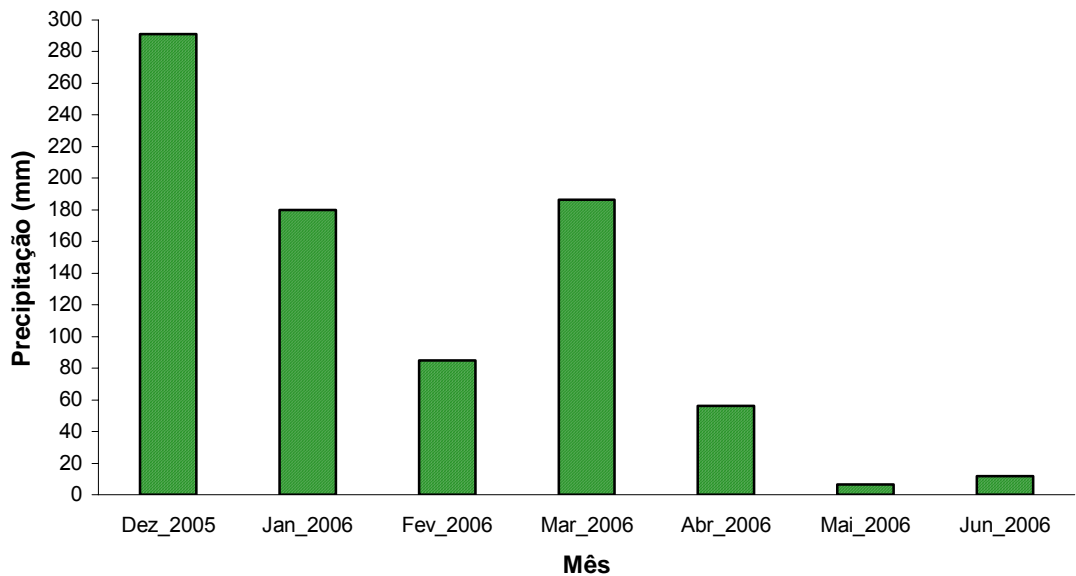
O estudo foi conduzido em área levemente declivosa, até então cultivada com *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk.

No estudo, foram utilizadas duas espécies forrageiras, uma gramínea e uma leguminosa, em monocultivo. A gramínea avaliada foi a braquiária (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk), já estabelecida na área, e a leguminosa utilizada foi o amendoim forrageiro (*Arachis pintoii* cv. Amarillo).

Os tratamentos foram caracterizados por três níveis de sombreamento artificial, de acordo com o delineamento em blocos completamente casualizados, com três repetições, constituindo nove unidades experimentais (parcelas) de 4 m<sup>2</sup>, para cada espécie forrageira.



**Figura 1.** Temperaturas máximas, mínimas e médias durante o período experimental, em Viçosa-MG.



**Figura 2.** Precipitação total durante o período experimental, em Viçosa-MG.

Os níveis de sombreamento artificial foram: 0 (pleno sol), 50 e 70%. Os níveis de 50 e 70% foram obtidos por meio de estruturas de sombreamento artificial, dispostas no campo sobre as parcelas experimentais. As estruturas foram construídas com estacas de madeira e tubos de PVC, sendo cobertas por telas pretas de polipropileno (sombrite) permitindo 50% de transmissão luminosa (sombrite 50%) e 30% de transmissão luminosa (sombrite 70%). Cada estrutura de sombreamento (4 x 2m) foi montada sobre duas parcelas experimentais, uma com gramínea e outra com leguminosa, cultivadas lado a lado.

Antes da delimitação das parcelas experimentais e montagem das estruturas de sombreamento foi feito um corte de rebaixamento e uniformização da braquiária estabelecida na área, utilizando-se roçadeira costal motorizada. Na seqüência, a área das parcelas foi delimitada utilizando-se estacas de madeira.

Levando-se em conta que a gramínea avaliada no ensaio experimental já encontrava-se estabelecida, apenas as parcelas destinadas à leguminosa foram preparadas para semeadura. Nestas parcelas foi aplicado herbicida a base de glifosato, visando-se a eliminação de todas as plantas existentes na área. Em seguida o solo foi revolvido manualmente, com o uso de enxadas, objetivando-se uniformizar a parcela e facilitar a semeadura.

O amendoim forrageiro foi semeado em 21 de dezembro de 2005. A semeadura foi feita em sulcos de aproximadamente 3 cm de profundidade e com espaçamento de 20 cm entre sulcos, utilizando-se 20 kg de sementes por hectare. No sulco de plantio foram aplicados 100 kg/ha de  $P_2O_5$ , na forma de superfosfato simples. As parcelas foram irrigadas diariamente, garantindo condições favoráveis para germinação das sementes. Após a germinação e emergência do amendoim forrageiro foram montadas as estruturas de sombreamento dentro de cada bloco, sobre as respectivas parcelas da gramínea e da leguminosa.

As estruturas de sombreamento, com 1,10m de altura, foram construídas com seis estacas de madeira, sobre as quais foi colocada uma armação retangular feita com tubos de PVC, coberta com a tela de sombrite correspondente a cada tratamento. As telas de sombrite foram presas nas estruturas, obtendo-se uma fração excedente de tela nas laterais, visando diminuir a penetração de luz direta nas parcelas nos horários de menor ângulo da luz solar incidente, como no início da manhã e final da tarde. Estas frações excedentes foram presas de forma que em uma das laterais da estrutura fosse possível a abertura e remoção parcial do sombrite, permitindo-se os tratos culturais e a coleta de dados nas parcelas.

Para início do período experimental realizou-se um segundo corte de uniformização das plantas de *B. decumbens*, no dia 27 de janeiro de 2006.

Após o corte foi feita a adubação de cobertura, aplicando-se nas parcelas da gramínea 50 kg/ha de nitrogênio, na forma de sulfato de amônio. Foram aplicados ainda 100 kg de  $P_2O_5$ /ha e 70 kg de  $K_2O$ /ha, na forma de superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Nas parcelas da leguminosa a adubação de cobertura foi feita apenas com potássio (70 kg de  $K_2O$ /ha), uma vez que o fósforo já havia sido aplicado nos sulcos no momento da semeadura. Ao longo do período experimental, após cada corte para avaliação das plantas, repetiu-se a adubação de cobertura nas parcelas, utilizando-se as mesmas quantidades de adubo citadas anteriormente.

O período de avaliação das plantas foi dividido em ciclos de crescimento, sendo que cada ciclo foi concluído com o corte das plantas. Durante os ciclos de crescimento, as plantas de todos os tratamentos foram monitoradas quanto a interceptação de luz pelo dossel, em intervalos semanais. Para avaliação da interceptação luminosa nas parcelas utilizou-se o

sensor linear LI – 191SA, de um metro de comprimento, acoplado a um medidor de luz LI – 250, ambos da marca LI-COR, com o qual foram feitas leituras da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) tanto acima (uma leitura) quanto na base do dossel (cinco leituras). O percentual de interceptação luminosa foi calculado como a quantidade de RFA interceptada (RFA acima do dossel menos aquela na base do dossel) dividida pela RFA acima do dossel, e multiplicando-se o resultado por 100. As leituras foram realizadas sem as coberturas de sombreamento em dias de céu claro .

Quando a interceptação luminosa das plantas de um dos tratamentos atingia o valor médio de 95% da luz solar incidente era feita a coleta de material vegetal para avaliações laboratoriais. Para a *Brachiaria decumbens*, foram realizados três cortes de avaliação, em 25 de fevereiro, 26 de março e 16 de junho de 2006, que corresponderam ao primeiro, segundo e terceiro cortes, respectivamente. Já o *Arachis pintoi*, foi submetido a dois cortes, o primeiro no dia 23 de março e o segundo no dia 13 de maio de 2006.

A coleta de material das parcelas foi realizada utilizando-se quadros de amostragem de 0,24 m<sup>2</sup> (60 x 40 cm). Coletou-se uma amostra por parcela, cortando-se as plantas a 10 cm (gramínea) ou 3 cm (leguminosa) acima do nível do solo. Após as coletas para avaliações laboratoriais, as plantas de todas as parcelas foram submetidas a corte de uniformização a uma altura de 10 e 3 cm acima do nível do solo, respectivamente, para gramínea e leguminosa.

Após coleta no campo, todo o material proveniente dos quadros de amostragem foi pesado e em seguida foram retiradas sub-amostras de peso conhecido, colocadas em sacos de papel e levadas para estufa de ventilação forçada a 65°C por 72 horas. Após secagem as amostras foram pesadas para determinação da produção de matéria seca, e em seguida moídas, utilizando-se peneira com malha de 1 mm, em moinho tipo Willey, sendo destinadas às análises químico-bromatológicas.

Para determinação do valor nutritivo das forrageiras, foram avaliados os teores de matéria seca (MS), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose, celulose, lignina, proteína bruta (PB), minerais e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS), utilizando-se os procedimentos descritos por Silva & Queiroz (2002).

Os dados da gramínea e da leguminosa foram analisados separadamente. Os resultados obtidos foram interpretados estatisticamente por meio de análises de variância e de regressão. Os modelos que melhor explicaram o comportamento das variáveis foram escolhidos com base no coeficiente de determinação ajustado; pela significância da regressão e da falta de ajustamento, testados pelo teste F; pela significância dos coeficientes de regressão, testada pelo teste “t”, com nível de significância aceitável de até 5% de probabilidade.

A análise estatística dos dados foi realizada utilizando-se os procedimentos GLM (General Linear Models) e REG disponíveis no pacote estatístico SAS (SAS, 1990).

### **Resultados e Discussão**

O teor de matéria seca das duas espécies avaliadas foi afetado pelos tratamentos, sendo o efeito da sombra mais acentuado na gramínea.

No amendoim forrageiro, o teor de matéria seca das plantas diminuiu de forma quadrática ( $P < 0,05$ ) com o aumento dos níveis de sombra, apenas no segundo corte, observando-se menor teor de MS sob 50% de sombra (Tabela 1). A braquiária apresentou queda linear ( $P < 0,001$ ) no teor de matéria seca, com o sombreamento crescente, nos três cortes avaliados (Tabela 2).

Nos trabalhos de Eriksen & Whitney (1981), Deinum et al. (1996) e Castro et al. (1999), os autores também observaram redução no teor de matéria seca de forrageiras submetidas ao sombreamento.

O menor teor de MS pode ser atribuído às menores taxas de transpiração das plantas em ambientes sombreados (Volenec & Nelson, 2003), resultando numa maior concentração de água nos tecidos. Isto pode explicar, em parte, a menor produção de matéria seca das plantas sob sombra (Capítulo 2).

Tanto o amendoim forrageiro quanto a braquiária, apresentaram incremento ( $P < 0,05$ ) no teor de PB em função dos níveis crescentes de sombra (Tabelas 1 e 2). Contudo, este aumento não foi significativo no segundo corte do amendoim forrageiro.

O teor de PB do amendoim forrageiro foi em média 11% maior sob 50 e 70% de sombra. Na braquiária o teor de PB aumentou em média 45 e 67% sob os níveis de 50 e 70% de sombra, em relação às plantas a pleno sol.

**Tabela 1.** Composição químico-bromatológica e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) de amendoim forrageiro submetido a três níveis de sombra (MS: matéria seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido).

Variáveis	Sombreamento (%)			Regressão	
	0	50	70		
Corte 1	MS (%)	15,2	14,2	15,0	ns
	PB (%)	17,1	19,0	19,9	$Y = 17,3432 + 0,0325*x; r^2 = 0,51$
	FDN (%)	52,1	56,1	56,6	$Y = 52,3274 + 0,0602*x; r^2 = 0,85$
	FDA (%)	33,0	36,1	36,7	$Y = 33,1097 + 0,0543*x; r^2 = 0,85$
	Hemicelulose (%)	19,1	20,1	19,2	ns
	Celulose (%)	23,9	25,3	25,4	ns
	Lignina (%)	4,9	4,9	5,1	ns
	DIVMS (%)	82,4	82,5	80,4	ns
	Ca (%)	1,7	2,1	1,9	$Y = 1,7266 + 0,0163*x - 0,0002*x^2; R^2 = 0,77$
	Mg (%)	0,21	0,22	0,22	ns
	P (%)	0,22	0,21	0,23	ns
	K (%)	2,5	2,6	2,7	ns
	Corte 2	MS (%)	19,2	17,5	18,8
PB (%)		19,5	21,7	21,1	ns
FDN (%)		50,5	52,8	55,8	$Y = 50,1824 + 0,0708*x; r^2 = 0,81$
FDA (%)		28,0	32,8	33,8	$Y = 28,1702 + 0,0850*x; r^2 = 0,97$
Hemicelulose (%)		22,4	19,9	22,0	ns
Celulose (%)		20,6	23,5	25,4	$Y = 20,4872 + 0,0664*x^2; r^2 = 0,90$
Lignina (%)		4,3	4,6	4,9	$Y = 4,3037 + 0,0071*x; r^2 = 0,82$
DIVMS (%)		81,5	82,4	79,4	ns
Ca (%)		1,7	1,7	1,8	ns
Mg (%)		0,21	0,21	0,21	ns
P (%)	0,18	0,21	0,22	$Y = 0,1811 + 0,0006*x; r^2 = 0,78$	
K (%)	1,8	2,5	2,4	$Y = 1,7873 + 0,0263*x - 0,0003*x^2; R^2 = 0,99$	

Significativo: \*\*\* 0,1%; \*\* 1%; \* 5%. Não significativo: ns

De acordo com Wilson (1996), a maior disponibilidade de nitrogênio (N) no solo de ambientes sombreados contribui para o maior teor de PB das plantas em função da redução na luminosidade.

Deinum et al. (1996) e Paciullo et al. (2007), trabalhando com gramíneas de clima tropical, bem como Lin et al. (2001), Belesky et al. (2006) e Peri et al. (2007), avaliando gramíneas de clima temperado, também verificaram maior teor de PB nas plantas submetidas ao sombreamento.

Além de ser afetado pela maior taxa de mineralização e ciclagem de N em ambientes sombreados, o maior teor de PB pode estar associado ao menor tamanho das células sob sombra. De acordo com Kephart & Buxton (1993), a

**Tabela 2.** Composição químico-bromatológica e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) de braquiária submetida a três níveis de sombra (MS: matéria seca; PB: proteína bruta; FDN: fibra em detergente neutro; FDA: fibra em detergente ácido).

Variáveis	Sombreamento (%)			Regressão	
	0	50	70		
<b>Corte 1</b>	MS (%)	15,1	11,9	10,5	$Y = 15,1189 - 0,0649^{***}x; r^2 = 0,98$
	PB (%)	10,5	13,6	15,0	$Y = 10,5062 + 0,0637^{**}x; r^2 = 0,85$
	FDN (%)	68,1	69,4	69,5	ns
	FDA (%)	37,2	37,9	39,2	ns
	Hemicelulose (%)	32,2	31,5	30,3	ns
	Celulose (%)	30,6	30,8	30,6	ns
	Lignina (%)	3,0	2,9	2,7	ns
	DIVMS (%)	81,0	81,6	80,7	ns
	Ca (%)	0,45	0,42	0,43	ns
	Mg (%)	0,14	0,11	0,17	$Y = 0,1445 - 0,0033^{**}x + 0,0001^{**}x^2; R^2 = 0,91$
	P (%)	0,20	0,21	0,27	$Y = 0,1969 + 0,0008^*x; r^2 = 0,61$
	K (%)	2,9	3,6	3,8	$Y = 2,9218 + 0,0123^{**}x; r^2 = 0,94$
<b>Corte 2</b>	MS (%)	16,5	13,0	12,8	$Y = 16,3815 - 0,0551^{***}x; r^2 = 0,91$
	PB (%)	10,9	16,0	20,1	$Y = 10,6177 + 0,1260^{***}x; r^2 = 0,96$
	FDN (%)	70,7	67,1	65,0	$Y = 70,7983 - 0,0801^*x; r^2 = 0,85$
	FDA (%)	35,1	34,5	31,5	$Y = 35,4802 - 0,0443^*x; r^2 = 0,62$
	Hemicelulose (%)	35,6	32,5	33,5	ns
	Celulose (%)	29,5	28,8	26,1	$Y = 29,7875 - 0,0416^*x; r^2 = 0,61$
	Lignina (%)	2,8	2,8	2,8	ns
	DIVMS (%)	78,7	79,8	80,1	ns
	Ca (%)	0,51	0,45	0,49	ns
	Mg (%)	0,15	0,14	0,18	$Y = 0,1516 - 0,0018^{***}x + 0,00003^{***}x^2; r^2 = 0,99$
	P (%)	0,22	0,25	0,27	ns
	K (%)	2,9	3,5	3,6	ns
<b>Corte 3</b>	MS (%)	29,2	23,1	21,8	$Y = 29,0327 - 0,1085^{***}x; r^2 = 0,95$
	PB (%)	5,5	8,7	9,6	$Y = 5,5674 + 0,0592^{***}x; r^2 = 0,98$
	FDN (%)	70,9	70,3	70,4	ns
	FDA (%)	34,2	36,0	36,5	$Y = 34,3078 + 0,0318^*x; r^2 = 0,84$
	Hemicelulose (%)	36,7	34,3	33,9	$Y = 36,5842 - 0,0403^*x; r^2 = 0,87$
	Celulose (%)	26,8	28,4	28,2	ns
	Lignina (%)	3,2	3,2	3,9	ns
	DIVMS (%)	67,4	73,1	72,0	ns
	Ca (%)	0,67	0,75	0,62	ns
	Mg (%)	0,23	0,17	0,16	$Y = 0,2307 - 0,0010^{**}x; r^2 = 0,79$
	P (%)	0,18	0,22	0,22	ns
	K (%)	1,9	2,4	2,5	$Y = 1,8903 + 0,0089^*x; r^2 = 0,69$

Significativo: \*\*\* 0,1%; \*\* 1%; \* 5%. Não significativo: ns

menor espessura de folha e o menor tamanho das células, juntamente com a manutenção do teor de N por célula podem ter efeito concentrador.

Niinemets (1999), verificou que o aumento na concentração de nitrogênio nas plantas pode estar correlacionado com a redução na densidade e espessura das folhas e com o aumento da área foliar específica sob sombra.

Segundo Evans & Poorter (2001), a aclimação das plantas aos ambientes com luminosidade reduzida é caracterizada pela maior alocação de N para os pigmentos protéicos envolvidos na fotossíntese, bem como pela maior AFE.

As folhas de amendoim forrageiro apresentaram maior AFE e provavelmente menor densidade de folha sob sombra. Já na braquiária submetida ao sombreamento, observou-se maior AFE e menor espessura de folha (Capítulo 1). Estas características podem ter contribuído para o maior teor de PB das plantas em ambiente sombreado.

No presente estudo, como observado por Lin et al. (2001), o aumento no teor de PB da leguminosa foi de menor magnitude que o observado na gramínea submetida ao sombreamento crescente, confirmando o menor efeito da sombra sobre o teor de PB de leguminosas.

A leguminosa *Arachis glabrata* apresentou redução na porcentagem de PB tanto nas folhas quanto nos caules, quando submetida à luminosidade reduzida (Johnson et al., 2002). Já Lin et al. (2001) não verificaram alteração significativa no teor de PB de leguminosas tropicais e de clima temperado submetidas a 50 e 80% de sombra, quando comparadas às plantas que se desenvolveram a pleno sol.

Alguns autores sugerem que o aumento ou redução do teor de PB ou N em plantas sombreadas, está relacionado com sua maior ou menor tolerância ao sombreamento, respectivamente. Wong et al. (1985), sugerem que leguminosas tolerantes ao sombreamento mantêm um balanço adequado entre as frações folha e caule em ambientes sombreados, ao mesmo tempo que as não-tolerantes geralmente reduzem a relação folha:caule sob sombra. Já Izaguirre-Mayoral et al. (1995), concluíram que as leguminosas tolerantes ao sombreamento apresentam altas taxas de nodulação e fixação de N sob sombra, fatores estes que influenciam o conteúdo de N da planta.

Como o amendoim forrageiro apresentou aumento no teor de PB, ao mesmo tempo que não sofreu variação significativa na relação folha:caule sob

sombra (Capítulo 2), pode-se concluir que estas características indicam tolerância desta espécie ao sombreamento.

Os constituintes de parede celular foram afetados de forma diferente em função das espécies e dos cortes estudados (Tabelas 1 e 2).

No primeiro corte do amendoim forrageiro os conteúdos de hemicelulose, celulose e lignina não foram afetados de forma significativa pelos tratamentos, contudo, os teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) aumentaram linearmente ( $P < 0,05$ ) com os níveis crescentes de sombra. No segundo corte, os teores de celulose, lignina, FDN e FDA aumentaram de modo linear ( $P < 0,05$ ) com o sombreamento crescente (Tabela 1).

O teor de FDN da leguminosa aumentou em média 6 e 9%, e o de FDA 13 e 16%, sob os níveis de 50 e 70% de sombra, respectivamente, em relação ao tratamento a pleno sol.

Lin et al. (2001), observaram aumento ou não alteração dos teores de FDN e FDA de diferentes leguminosas submetidas a níveis crescentes de sombra. No estudo de Johnson et al. (2002), a leguminosa *Arachis glabrata* apresentou aumento no conteúdo de FDN e redução na DIVMS quando submetida a baixos níveis de luminosidade. No entanto, de acordo com os autores, a redução no valor nutritivo da forrageira não foi significativa a ponto de limitar seu uso como cultura de sub-bosque.

Nas plantas de braquiária, o sombreamento crescente não causou alterações significativas ( $P > 0,05$ ) nos constituintes de parede celular, no primeiro corte. As plantas coletadas no segundo corte apresentaram queda linear ( $P < 0,05$ ) nos conteúdos de celulose, FDN e FDA, com o incremento nos níveis de sombra. O teor de FDN foi reduzido em 5 e 8%, e o de FDA em 2 e 10%, sob 50 e 70% de sombra, respectivamente, em relação às plantas a pleno sol (Tabela 2).

Carvalho et al. (2002), avaliando gramíneas tropicais sob sombra natural, não verificaram alterações no conteúdo de FDN, mas a DIVMS foi significativamente mais alta sob sombra. No trabalho de Kephart & Buxton (1993), os autores observaram redução no teor de FDN com a redução dos níveis de luz, o que contribuiu para o aumento da digestibilidade de gramíneas  $C_3$  e  $C_4$  sombreadas. Já Paciullo et al. (2007), apesar de não constatarem mudanças nos teores de FDA e lignina de *Brachiaria decumbens* crescendo

sob sombra natural, verificaram queda nos teores de FDN e incremento da DIVMS das plantas sombreadas.

A redução nos teores de FDN e FDA em plantas sombreadas pode estar relacionada com a menor disponibilidade de fotoassimilados para o desenvolvimento de parede celular secundária, reduzindo a concentração dos constituintes de parede celular (Kephart & Buxton, 1993).

De acordo com Deinum et al. (1996), o maior teor de FDN das plantas sob condições de alta luminosidade, pode estar associado à maior proporção de tecido esclerenquimático, cujas células apresentam paredes mais espessas do que em condições de sombra. O sombreamento pode causar redução na proporção dos tecidos condutor e de sustentação, além de redução na espessura da parede celular (Buxton & Casler, 1993; Berlyn & Cho, 2000).

Para a *Brachiaria decumbens*, a redução dos teores de FDN e FDA das plantas que se desenvolveram sob sombra, no segundo corte, pode estar relacionada com a menor proporção de feixe vascular e esclerênquima na seção transversal de folhas nas plantas sombreadas (Capítulo 1).

No terceiro corte da gramínea, apesar da não alteração nos teores de FDN, celulose e lignina, os teores de FDA e hemicelulose apresentaram aumento e redução linear ( $P < 0,05$ ), respectivamente, com o aumento dos níveis de sombra (Tabela 2). O aumento no teor de FDA ficou em torno de 5 e 7% para os níveis de 50 e 70% de sombra.

A redução no teor de hemicelulose se justifica pelo fato de esta variável ser calculada pela diferença entre os teores de FDN e FDA. Como o teor de FDN não foi alterado e o teor de FDA aumentou, o conteúdo de hemicelulose diminuiu com o incremento nos níveis de sombra.

Alguns estudos relatam o aumento dos constituintes de parede celular em plantas forrageiras submetidas ao sombreamento, e isto geralmente resulta em redução da DIVMS da forragem (Senanayake, 1995; Lin et al., 2001).

O aumento do conteúdo de parede celular sob sombra pode estar associado com a redução no teor de carboidratos não estruturais (amido, açúcares solúveis) (Belesky et al., 2006), levando a um aparente aumento da fração parede celular (Norton et al., 1991). Isto pode explicar o aumento da FDN e a redução nos coeficientes de digestibilidade das plantas sob sombra.

O aumento dos teores de FDN e FDA do amendoim forrageiro sob sombra, provavelmente está relacionado com uma redução no conteúdo de

carboidratos solúveis nas plantas, uma vez que a proporção dos diferentes tecidos na seção transversal de folhas não foi afetada pelos tratamentos (Capítulo 1).

No terceiro corte da braquiária, contudo, a não alteração dos teores de FDN indicam que provavelmente o conteúdo de carboidratos solúveis não foi afetado pela sombra. No entanto, os aumentos dos teores de celulose sob 50 e 70% de sombra e de lignina sob 70% de sombra, apesar de não significativos estatisticamente, podem ter contribuído para o incremento da FDA nas plantas sombreadas.

Apesar do diferente comportamento dos constituintes de parede celular nos três cortes avaliados, a DIVMS da braquiária não foi afetada de modo significativo ( $P > 0,05$ ) em nenhum deles, apresentando, contudo, tendência de aumento sob sombra, principalmente no segundo e terceiro cortes (Tabela 2). Da mesma forma, a DIVMS, tanto no primeiro quanto no segundo corte do amendoim forrageiro, não foi alterada significativamente ( $P > 0,05$ ) pelos tratamentos (Tabela 1).

Norton et al. (1991) e Peri et al. (2007), avaliaram, respectivamente, gramíneas de clima tropical e temperado submetidas ao sombreamento, e também não observaram efeito significativo da sombra sobre os coeficientes de digestibilidade.

A não alteração da DIVMS das plantas de braquiária e amendoim forrageiro submetidas a níveis crescentes de sombra pode ser um indicativo de que as variações no conteúdo de parede celular das plantas não foram de grande magnitude, ou significativas, a ponto de afetar os coeficientes de digestibilidade.

O teor dos macronutrientes cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K), não apresentou variação uniforme entre as espécies e cortes avaliados, mas de modo geral, o conteúdo destes minerais, quando alterado, aumentou em função dos níveis crescentes de sombra (Tabelas 1 e 2).

As plantas submetidas a maiores níveis de luminosidade podem apresentar diluição dos minerais em função da maior produção de MS a pleno sol (Eriksen & Withney, 1981). Também de acordo com Peri et al. (2007), a razão para o maior teor de macronutrientes em plantas sombreadas pode ser o fato de que estas apresentam menor teor de matéria seca, ou maior conteúdo de água, que as plantas a pleno sol. Além disso, a mineralização ativa da

matéria orgânica do solo em ambientes sombreados pode contribuir para a maior disponibilidade de minerais sob sombra.

### **Conclusões**

As forrageiras *Arachis pinto* cv. Amarillo e *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk apresentarem variações em sua composição químico-bromatológica em função dos tratamentos. No entanto, os coeficientes de digestibilidade das duas espécies não foram afetados de forma significativa pelo incremento nos níveis de sombra.

## Referências Bibliográficas

- ANDRADE, C.M.S.; VALENTIM, J.F. Adaptação, produtividade e persistência de *Arachis pintoi* submetido a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.3, p.439-445, 1999.
- ANDRADE, C.M.S.; VALENTIM, J.F.; CARNEIRO, J.C. et al. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.3, p.263-270, 2004.
- BELESKY, D.P. Growth of *Dactylis glomerata* along a light gradient in the central Appalachian region of the eastern USA: I. Dry matter production and partitioning. **Agroforestry Systems**, v.65, p.81-90, 2005.
- BELESKY, D.P.; CHATTERTON, N.J.; NEEL, J.P.S. *Dactylis glomerata* growing along a light gradient in the central Appalachian region of the eastern USA: III. Nonstructural carbohydrates and nutritive value. **Agroforestry Systems**, v.67, p.51-61, 2006.
- BERLYN, G.P.; CHO, J. Light, moisture, and nutrient use by plants. In: Ashton, M.S., Montagnini, F. (Eds.) **The silvicultural basis for agroforestry systems**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.9-39.
- BOARDMAN, N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.38, p.355-377, 1977.
- BUXTON, D.R.; CASLER, M.D. Environmental and genetic effects on cell wall composition and digestibility. In: JUNG, H.G.; BUXTON, D.R.; HATFIELD, R.D. et al (Eds.) **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison: American Society of agronomy, 1993. p.685-714.
- CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.P.; XAVIER, D.F. Início do florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condições de sombreamento natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.5, p.717-722, 2002.
- CASTRO, C.R.T., GARCIA, R., CARVALHO, M.M. et al. Efeitos do sombreamento na composição mineral de gramíneas forrageiras tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, p.1959-1968, 2001.
- CASTRO, C.R.T.; GARCIA, R.; CARVALHO, M.M. et al. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.5, p.919-927, 1999.
- DEINUM, B.; SULASTRI, R.D.; ZEINAB, M.H.J. et al. Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* var. *Trichoglume*). **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v.44, p.111-124, 1996.
- ERIKSEN, F.I.; WHITNEY, A.S. Effect of light intensity on growth of some tropical forage species. I. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. **Agronomy Journal**, v.73, p.427-433, 1981.
- EVANS, J.R.; POORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant, Cell and Environment**, v.24, p.755-767, 2001.
- GARCEZ NETO, A.F. **Avaliação fisiológica, morfológica e estrutural de forrageiras de clima temperado sob diferentes regimes de**

- luminosidade**. Viçosa: UFV, 2006. 102p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- HUMPHREYS, L.R. **Tropical forages: Their role in sustainable agriculture**. New York: Longman Scientific & Technical, 1994. 193p.
- IZAGUIRRE-MAYORAL, M.L.; VIVAS, A.I.; OROPEZA, T. New insights into the symbiotic performance of native tropical legumes: I. Analysis of the response of thirty-seven native legume species to artificial shade in a neotropical savanna. **Symbiosis**, v.19, p. 111-129, 1995.
- JOHNSON, S.E.; SOLLENBERBER, L.E.; ANDRADE, I.F. et al. Nutritive value of rhizoma peanut growing under varying levels of artificial shade. **Agronomy Journal**, v.94, p.1071-1077, 2002.
- KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R. Forage quality response of C3 and C4 perennial grasses to shade. **Crop Science**, v.33, p.831-837, 1993.
- LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F.; et al. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forages species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, v.59, p.269-281, 2001.
- MOORE, J.E. Forage quality indices: development and application. In: Fahey Jr., G.C. (Ed.) **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: ASA, CSSA/SSSA, 1994. p. 967-998.
- NIINEMETS, Ü. Components of leaf dry mass per area – thickness and density – alter leaf photosynthetic capacity in reverse directions in woody plants. **New Phytologist**, v.144, p.35-47, 1999.
- NORTON, B.W.; WILSON, J.R.; SHELTON, H.M. et al. The effect of shade on forage quality. In: SHELTON, H.M.; STÜR, W.W. (Eds) **Forages for plantation crops**. ACIAR Proceedings N° 32, Canberra, 1991. p.83-88.
- PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B.; AROEIRA, L.J.M.; et al. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42. n.4, p.573-579, 2007.
- PERI, P.L.; LUCAS, R.J.; MOOT, D.J. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. **Agroforestry Systems**, v.70, p.63-79, 2007.
- SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT User's Guide**. Version 6.4 ed., V1, Cary:SAS Institute Inc. 1990. 943p.
- SENANAYAKE, S.G.J.N. The effects of different light levels on the nutritive quality of four natural tropical grasses. **Tropical Grasslands**, v.29, p.111-114, 1995.
- SILVA, D.J., QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: UFV, 2002. 235p.
- WILSON, J.R. Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by pastures grasses in a subtropical environment. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.47, p.1075-1093, 1996.
- WILSON, J.R.; WILD, D.W.M. Nitrogen availability and grass yield under shade environments. In: MULLEN, B.F.; SHELTON, H.M. (Eds) **Integration of ruminants into plantation systems in Southeast Asia**. ACIAR Proceedings N° 64, Canberra, 1995. p.42-48.

WONG, C.C.; SHARUDIN, M.A.M.; RAHIM, H. Shade tolerance of some tropical forages for integration with plantations: II. Legumes. **Mardi Research Bulletin**, v.13, p.249-269, 1985.

## CONCLUSÕES GERAIS

As características anatômicas, morfológicas e estruturais do *Arachis pintoi* e da *Brachiaria decumbens* foram modificadas pelo sombreamento, o que, por sua vez, afetou a produção de matéria seca e a composição químico-bromatológica destas espécies, sem contudo alterar sua digestibilidade.

As mudanças anatômicas e morfológicas destas forrageiras sob sombra, indicam sua capacidade de aclimação a ambientes com baixos níveis de irradiância, uma vez que estas mudanças aumentam a captação da luz disponível, garantindo sua sobrevivência e desenvolvimento satisfatório.

As espécies avaliadas no presente estudo são passíveis de utilização em sistemas silvipastoris onde o nível de transmissão de luz fique em torno de 50% da radiação fotossinteticamente ativa incidente, uma vez que nestas condições a produção de matéria seca das plantas pode ser considerada satisfatória.

As alterações sofridas pelas plantas forrageiras, na tentativa de se adaptar aos ambientes com baixos níveis de irradiância, devem ser levadas em consideração no que diz respeito a definição de estratégias de manejo em sistemas silvipastoris, uma vez que afetam a estrutura e o padrão de desenvolvimento do pasto e conseqüentemente o consumo de forragem pelos animais.

## APÊNDICE



**Figura 1.** Vista parcial da área experimental com as estruturas de sombra.



**Figura 2.** Parcelas de *A. pinto* e *B. decumbens* sob 50% de sombra.



**Figura 3.** Parcelas de *A. pinto* e *B. decumbens* sob 70% de sombra.



**Figura 4.** *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk cultivada a pleno sol (1º corte).



**Figura 5.** *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk cultivada sob 50% de sombra (1º corte).



**Figura 6.** *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk cultivada sob 70% de sombra (1º corte).



**Figura 7.** *Arachis pinto* cv. Amarillo cultivado a pleno sol (1º corte).



**Figura 8.** *Arachis pinto* cv. Amarillo cultivado sob 50% de sombra (1° corte).



**Figura 9.** *Arachis pinto* cv. Amarillo cultivado sob 70% de sombra (1° corte).