

RADIAÇÃO SOLAR NO SUB-BOSQUE DE SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL COM EUCALIPTO EM DIFERENTES ARRANJOS ESTRUTURAIS

Tadário Kamel de Oliveira¹, Renato Luiz Grisi Macedo², Nelson Venturin², Soraya Alvarenga Botelho²,
Emílio Manabu Higashikawa³, Wagner Massote Magalhães⁴,

(recebido: 18 de janeiro de 2006; aceito: 27 de outubro de 2006)

RESUMO: A radiação solar no sub-bosque de povoamentos de eucalipto torna-se decisiva para implantação de culturas intercalares e consórcio com pastagens em sistemas agrossilvipastoris. Objetivou-se determinar a incidência e distribuição da densidade de fluxo de fótons, radiação solar global e iluminância no sub-bosque de diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com eucalipto. O experimento foi implantado em dezembro de 1999, em área de cerrado. Realizou-se o plantio de mudas clonais de um híbrido natural de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh com *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, em consórcio com arroz no primeiro ano, soja no segundo e pastagem de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu nos anos consecutivos. O delineamento utilizado foi blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, com cinco repetições. Nas parcelas, estudou-se o efeito dos arranjos 3,33 x 2 m, 3,33 x 3 m, 5 x 2 m, 10 x 2 m, 10 x 3 m, 10 x 4 m, (3 x 4)+7 m, (3 x 3)+10 m, (3 x 4)+10 m e (3 x 3)+15 m. As subparcelas corresponderam às avaliações na linha e entrelinha de plantio, realizadas aos 27, 38 e 54 meses. A radiação solar no sub-bosque varia em função dos arranjos. Nos 3,33 x 2 m e 3,33 x 3 m, o fechamento do dossel promove sombreamento geral do sub-bosque aos dois anos. Nos arranjos mais amplos, a distribuição espacial da radiação solar e o sombreamento variam com a época do ano.

Palavras-chave: Luz, qualidade, espaçamento, silvipastoril, *Eucalyptus* sp.

SOLAR RADIATION IN UNDERSTORY OF AGROSYLVOPASTORAL SYSTEM WITH EUCALYPT ON DIFFERENT SPACINGS

ABSTRACT: The solar radiation in understory of eucalypt stands can be the base to decide about the introduction of annual cropping and pastures in agrosylvopastoral systems. This study determined the levels and distribution of the photosynthetic photon flux density, global solar radiation and illuminance in understory of different spacings of agrosylvopastoral with eucalypt. The experiment was established in December 1999, in cerrado area. It was planted clone seedlings of a natural hybrid of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh with *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, intercropped with rice in the first year, soybean in the second and *Brachiaria brizantha* pasture in following years. The experimental design was randomized blocks, with five repetitions. The treatments were installed in split plots, with the primary treatments constituted by ten spacings of eucalypt stand: 3,33 x 2m, 3,33 x 3m, 5 x 2m, 10 x 2m, 10 x 3m, 10 x 4m, (3 x 3)+7m, (3 x 3)+10m, (3 x 4)+10m and (3 x 3)+15m. The secondary treatments were defined as evaluations in rows and in the space between rows, at 27, 38 and 54 months after planting. The solar radiation in eucalypt's understory changes according the spacing. The canopy closure in lowest spacings promote general shading in understory at two years old. In the highest spacings the space distribution of light and shade changes along of the year time.

Key words: light, quality, spacing, sylvopastoral system, *Eucalyptus* sp.

1 INTRODUÇÃO

Com relação ao efeito da radiação sobre a dinâmica de crescimento de plantas do gênero *Eucalyptus* e culturas em consórcio, poucas são as informações disponíveis. A quantificação da radiação incidente em diversas situações, tanto a fotossinteticamente ativa como a radiação solar global e o entendimento de seu efeito no funcionamento

de vários processos fisiológicos, são fundamentais para estabelecer-se uma expectativa de produção vegetal e também para que se possa propor práticas de manejo que possibilitem o melhor aproveitamento deste e de outros recursos (LEITE, 1996).

Em espaçamentos mais adensados da cultura do eucalipto, ou mesmo nos mais convencionais 3 x 2 m e 3 x 3 m, a partir de certa idade, não é possível introduzir culturas

¹Pesquisador da Embrapa/Acre – BR364, Km 14 – Cx. P. 321 – 69908-970 – Rio Branco, AC – tadario@cpafac.embrapa.br

²Professores do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – rlgri@ufla.br; venturin@ufla.br

³Discente do curso de Engenharia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – bacamarthe@yahoo.com.br

⁴Mestrando do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – wagner_mm@hotmail.com

intercalares nas entrelinhas, tendo em vista limitações de espaço, supressão física da serrapilheira, competição por água e nutrientes e ainda por baixa disponibilidade lumínica. No entanto, em arranjos mais amplos, o espaço nas entrelinhas torna-se uma vantagem para efetivação do consórcio. Há maior disponibilidade de água no solo (LEITE et al., 1997), podendo-se ainda recorrer à irrigação para as culturas intercalares, caso necessário. Além disso, em sítios de menor fertilidade, os nutrientes podem ser fornecidos mediante adubação, minimizando o efeito de competição. De tal modo que a radiação solar incidente sob o dossel torna-se fator altamente determinante da inserção de culturas agrícolas ou pastagem para a formação de sistemas silviagrícolas, agrossilvipastoris ou silvipastoris.

A quantidade de luz disponível para o crescimento das forrageiras que compõem um sistema silvipastoril é um dos fatores que determina a produção de forragem, sendo importante para sua sustentabilidade. Este fator está submetido, basicamente, a quatro tipos de controle: i) espaçamento, por meio da densidade arbórea e arranjo do plantio, ii) seleção de espécies com copa não muito densa, iii) desbaste e podas, e iv) forrageiras tolerantes ao sombreamento (ANDRADE et al., 2002).

O entendimento sobre a incidência de radiação solar no sub-bosque de povoamentos de eucalipto, sob espaçamentos variados, permite o planejamento mais adequado para a introdução de culturas intercalares temporárias e pastagens em sistemas agrossilvipastoris. Conduziu-se este trabalho com o objetivo de determinar a incidência e a distribuição da densidade de fluxo de fótons, radiação solar global e iluminância no sub-bosque de diferentes arranjos estruturais de sistema agrossilvipastoril com eucalipto, em três épocas, até 54 meses de idade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido na Fazenda Riacho, em área de cerrado, no noroeste de Minas Gerais (Paracatu-MG), situada a 17°36' de latitude Sul e 46°42' de longitude Oeste, com altitude de 550 m. O clima da região é tropical úmido de savana, tipo Aw, com inverno seco e verão chuvoso, conforme a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 22,6°C. A precipitação média anual é de 1450 mm, concentrada principalmente nos meses de novembro a fevereiro. O solo predominante na área é o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico.

O experimento foi instalado em dezembro de 1999, em um sistema agrossilvipastoril seqüencial, constituído pelo plantio de mudas clonais de um híbrido natural de *Eucalyptus*

camaldulensis Dehnh com *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, selecionado para produção de madeira para serraria (previsão de corte: 11-12 anos). Foi estabelecido o consórcio com arroz no primeiro ano, seguido de soja no segundo, sendo realizados todos os tratamentos culturais e silviculturais necessários para cada cultura, respeitando-se as suas respectivas recomendações técnicas (MACEDO & OLIVEIRA, 1996). Após as culturas agrícolas foi realizado em dezembro de 2001 o plantio de *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu, por meio de semeadura a lanço, utilizando-se 10 kg/ha.

O delineamento utilizado foi blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, com cinco repetições. Nas parcelas, estudou-se o efeito de dez arranjos estruturais do sistema agrossilvipastoril: 3,33 x 2 m, 3,33 x 3 m, 5 x 2 m, 10 x 2 m, 10 x 3 m, 10 x 4 m, (3 x 4)+7m, (3 x 3)+10 m, (3 x 4)+10 m e (3 x 3)+15 m. Na Tabela 1 apresenta-se a descrição das parcelas e os valores médios para altura de plantas e diâmetro à altura do peito, aos 27, 38 e 51 meses, sendo esta última três meses antes da avaliação de radiação solar. Os tratamentos das subparcelas corresponderam a avaliações realizadas na linha e na entrelinha de plantio, exatamente na parte central da parcela útil.

A determinação da radiação solar incidente em cada arranjo estrutural do sistema agrossilvipastoril, foi realizada em três ocasiões: abril de 2002 (27 meses pós plantio), fevereiro de 2003 (38 meses pós plantio) e junho de 2004 (54 meses pós-plantio). As medidas foram tomadas entre 11:00 h e 14:00 h, em dias com céu predominantemente claro (pouca ou nenhuma nebulosidade). Utilizando-se um medidor de radiação (LI-250 Light Meter – LI-COR), foram acoplados um quantômetro (LI-190SA Quantum Sensor – LI-COR), para medir a densidade de fluxo de fótons ($\text{mmol s}^{-1}\text{m}^{-2}$) (DFF), com sensibilidade para os comprimentos de onda entre 400 e 700 nm e com máxima sensibilidade na faixa do vermelho; LI-200SA Pyranometer Sensor, para radiação solar global (W.m^{-2}), sensível ao espectro de radiação entre 400 e 1100 nm, mais sensível no infravermelho, a 950 nm; e LI-210SA Photometric Sensor, para iluminância (klux), sensível aos comprimentos de onda de 400 a 700 nm, mas com pico de sensibilidade em 555 nm (LI-COR, 1991).

Os sensores foram posicionados a 0,50m de altura do solo e cada medida correspondeu ao valor médio da radiação incidente no sensor, medida durante 15 segundos. Determinaram-se também medidas a pleno sol em cada dia de avaliação.

Tabela 1 – Descrição do número de árvores e linhas da parcela útil, área útil por planta, número de árvores por hectare, altura de plantas (H) e diâmetro à altura do peito (DAP), para os diferentes arranjos estruturais do sistema agrossilvipastoril com eucalipto, aos 27, 38 e 51 meses.

Table 1 – Description of number of trees and lines of plot, area by plant, number of trees/hectare, height plants (H) and diameter at breast height (DAP), of different arrangements of agrossilvipastoral system with eucalypt, at 27, 38 and 51 months.

Arranjos Estruturais	Parcela útil*	AU/plt (m ²)	Nº árv/ha	27 meses		38 meses		51 meses	
				H (m)	DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)
3,33 x 2 m	6 linhas de 10 árvs	6,66	1500	12,17	8,94	15,72	10,46	19,27	11,83
3,33 x 3 m	4 linhas de 10 árvs	9,99	1000	13,23	10,65	15,43	12,14	20,59	14,00
5 x 2 m	4 linhas de 10 árvs	10,00	1000	13,22	10,34	15,53	11,90	20,93	13,58
10 x 2 m	2 linhas de 10 árvs	20,00	500	12,27	11,89	14,72	14,19	21,45	16,95
10 x 3 m	3 linhas de 5 árvs	30,00	333	12,12	13,16	15,14	16,19	22,44	20,20
10 x 4 m	2 linhas de 5 árvs	40,00	250	12,06	13,62	14,34	17,18	21,45	20,74
(3 x 4)+7 m	4 linhas de 5 árvs	20,00	500	12,17	11,08	13,88	13,93	21,35	16,50
(3 x 3)+10 m	4 linhas de 7 árvs	19,50	512	12,11	11,01	13,63	13,43	20,29	15,99
(3 x 4)+10 m	4 linhas de 4 árvs	26,00	385	10,23	11,78	13,86	14,53	20,48	17,47
(3 x 3)+15 m	4 linhas de 5 árvs	27,00	370	11,97	12,68	14,75	15,69	22,06	18,77

*A bordadura foi representada por uma linha de cada lado da parcela útil e duas plantas nas cabeceiras, em cada linha da parcela. árvs: árvores; AU/plt: área útil por planta.

Na última avaliação (54 meses), foram excluídos os arranjos 3,33 x 2 m e 3,33 x 3 m, em virtude do fechamento do dossel e sombreamento excessivo do sub-bosque.

As análises estatísticas foram realizadas separadamente para cada ano de avaliação. Os dados obtidos foram submetidos à análise de homogeneidade de variância, sendo transformados quando as variâncias apresentaram-se heterogêneas. Os dados de densidade de fluxo de fótons, radiação solar global e iluminância foram transformados em *Log x* para os três anos de avaliação. Posteriormente, foram feitas as análises de variância, fazendo-se os devidos desdobramentos quando necessário. Para os efeitos significativos de tratamentos da parcela (arranjos estruturais), aplicou-se às médias o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Para os efeitos significativos verificados nas subparcelas (linha e entrelinha de plantio), aplicou-se o teste t ($P < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que, aos 27, 38 e 54 meses após o plantio, houve diferença significativa da interação entre os arranjos estruturais e linha e entrelinha de plantio quanto à radiação solar no sub-bosque. Isso demonstra que a incidência da densidade de fluxo de fótons (DFF), da radiação solar global (RSG) e da iluminância (ILU) nas linhas e entrelinhas de plantio, depende da distribuição das árvores no povoamento.

Para a avaliação aos 27 meses, a DFF (Figura 1), na linha de plantio, foi maior nos arranjos 10 x 2 m, 10 x 3 m, 10 x 4 m, (3 x 4)+7 m e (3 x 4)+10 m. Nos arranjos mais adensados (3,33 x 2 m, 3,33 x 3 m e 5 x 2 m) e para as linhas duplas mais fechadas, (3 x 3)+10 m e (3 x 3)+15 m, o sombreamento foi mais intenso.

Quanto à entrelinha, os arranjos com maior DFF foram 10 x 3m, 10 x 4m, (3 x 4)+7m e (3 x 3)+15m. A DFF na entrelinha foi significativamente menor que na linha para os tratamentos 10 x 2 m e 10 x 3 m, sendo o inverso para 5 x 2 m e (3 x 3)+15 m. Nestes casos, em que o plantio é orientado no sentido leste-oeste e o dossel ainda não está fechado, espera-se a maior quantidade de radiação no centro da entrelinha e menor na linha. Contudo, em função da variação da altura solar ao longo do ano, não ocorre o padrão previsto. A transmissão de luz plena na entrelinha e com máximo de sombreamento na linha somente ocorre quando o sol está perpendicular à superfície, no local avaliado, ocasião em que a declinação solar corresponde à latitude do local (ANDRADE et al., 2002).

Os mesmos autores citaram que, para a região de cerrado em que foi realizado o presente estudo, a declinação solar torna-se igual à latitude local nos meses de novembro e fevereiro. O fato da avaliação aos 27 meses ter sido realizada no mês de abril de 2002 explica, em função da declinação solar, a transmissão diferenciada de DFF maior na linha que na entrelinha, em parte dos sistemas agrossilvipastoris analisados.

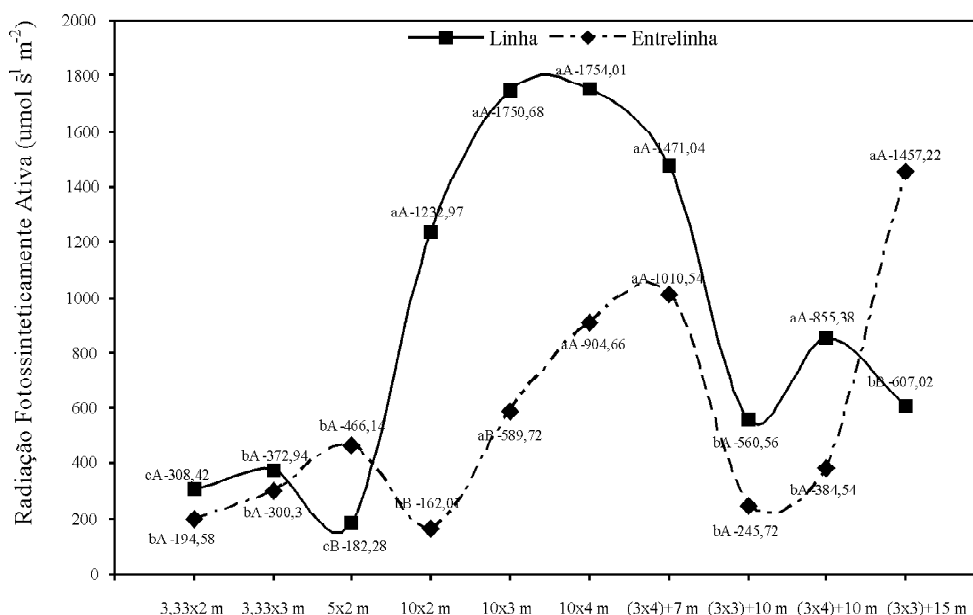


Figura 1 – Densidade de fluxo de fótons ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$) na linha e na entrelinha de plantio de diferentes arranjos estruturais de sistemas agrossilvipastoris com *Eucalyptus* sp., aos 27 meses após o plantio. (Para os arranjos, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott: $P < 0,05$. E para linha e entrelinha, médias com mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste *t*: $P < 0,05$).

Figure 1 – Photon flux density ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$) in rows and in space between rows of different arrangements of agrosilvipastoral system with eucalypt, at 27 months after planting. (For arrangements, averages followed by the same minuscule letter aren't different among themselves, by Scott-Knott test: $P < 0,05$. To rows and space between rows, averages followed by the same capital letter aren't different among themselves, by *t* test: $P < 0,05$).

Quanto à RSG (Figura 2), os maiores valores encontrados na linha de plantio foram para os arranjos 10 x 2 m, 10 x 3 m, 10 x 4 m, (3 x 3) + 10 m, (3 x 4) + 10 m e (3 x 3) + 15 m. Os valores para entrelinha foram superiores nos arranjos 5 x 2 m, 10 x 3 m, 10 x 4 m e (3 x 3) + 15 m. A RSG na entrelinha do 5 x 2 m foi maior que na linha, ocorrendo comportamento inverso para 10 x 2 m e (3 x 3) + 10 m. Os demais tratamentos foram iguais estatisticamente.

O comportamento da ILU (Figura 3) foi semelhante ao da DFF. A maior incidência na linha que na entrelinha de plantio ocorreu nos arranjos 10 x 2 m, 10 x 3 m, (3 x 3) + 10 m e (3 x 4) + 10 m. Resultados semelhantes, com maior luminosidade na linha do que na entrelinha, foram encontrados por Andrade et al. (2002), avaliando sistemas silvipastoris aos dois anos e meio.

Independente do tipo de radiação, os arranjos 3,33 x 2 m e 3,33 x 3 m apresentaram um sombreamento homogêneo do povoamento no sub-bosque, tanto na linha quanto na entrelinha, em decorrência da proximidade das

árvores e ao avançado fechamento das copas, a pouco mais de dois anos.

Quanto à avaliação aos 38 meses após o plantio (Figuras 4, 5 e 6), observou-se o comportamento padrão de transmissão de luz em sistemas silvipastoris citado por Andrade et al. (2002), ou seja, maior radiação na entrelinha e menor radiação na linha de plantio. A avaliação foi realizada em fevereiro de 2003. Neste mês, a declinação solar corresponde à latitude local, de forma que o sol fica perpendicular à entrelinha de plantio. Este período correspondeu ao final do período de chuvas no local do estudo (noroeste de Minas Gerais), de maneira que as disponibilidades lumínica e hídrica elevadas podem favorecer ao máximo o desenvolvimento dos constituintes da fase intermediária e final dos sistemas agrossilvipastoris estudados, especialmente as pastagens, geralmente gramíneas C_4 , altas conversoras de carbono em biomassa. Isto pode representar maior quantidade de forragem para os animais e otimização no uso dos recursos naturais.

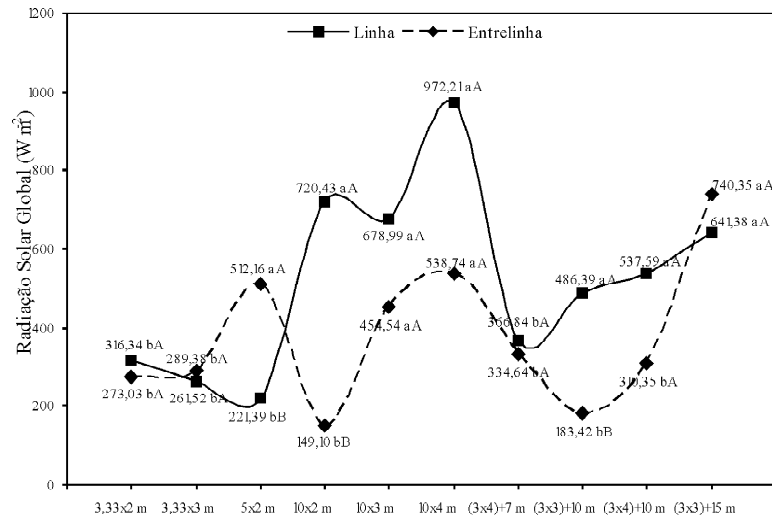


Figura 2 – Radiação solar global ($W m^{-2}$) na linha e na entrelinha de plantio de diferentes arranjos estruturais de sistemas agrossilvipastoris com *Eucalyptus* sp., aos 27 meses após o plantio. (Para os arranjos, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott: $P < 0,05$. E para linha e entrelinha, médias com mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste t : $P < 0,05$).

Figure 2 – Global solar radiation ($W m^{-2}$) in rows and in space between rows of different arrangements of agrosilvopastoral system with eucalypt, at 27 months after planting. (For arrangements, averages followed by the same minuscule letter aren't different among themselves, by Scott-Knott test: $P < 0,05$. To rows and space between rows, averages followed by the same capital letter aren't different among themselves, by t test: $P < 0,05$).

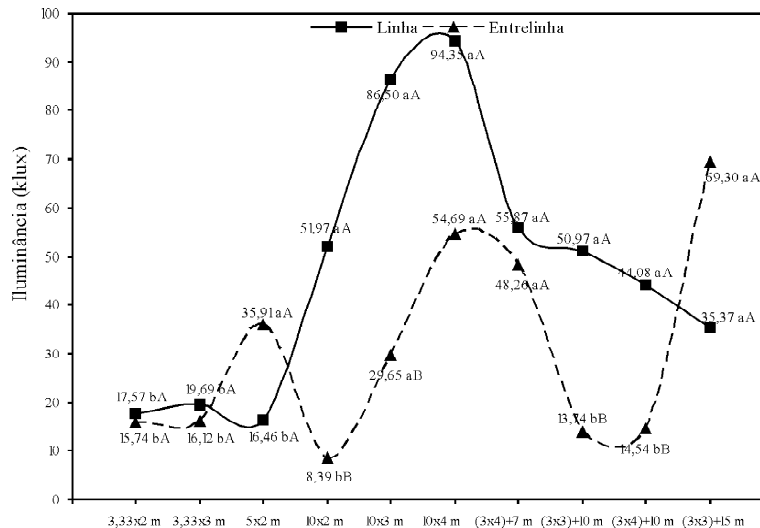


Figura 3 – Iluminância (klux) na linha e na entrelinha de plantio de diferentes arranjos estruturais de sistemas agrossilvipastoris com *Eucalyptus* sp., aos 27 meses após o plantio. (Para os arranjos, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott: $P < 0,05$. E para linha e entrelinha, médias com mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste t : $P < 0,05$).

Figure 3 – Illuminance (klux) in rows and in space between rows of different arrangements of agrosilvopastoral system with eucalypt, at 27 months after planting. (For arrangements, averages followed by the same minuscule letter aren't different among themselves, by Scott-Knott test: $P < 0,05$. To rows and space between rows, averages followed by the same capital letter aren't different among themselves, by t test: $P < 0,05$).

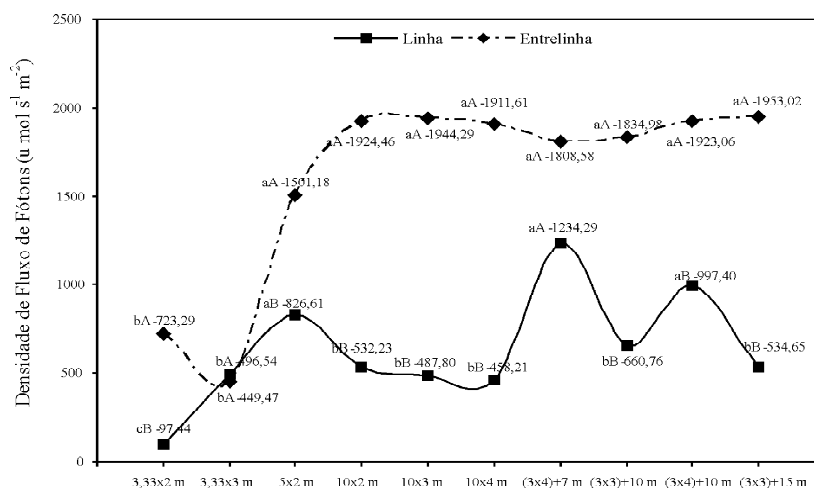


Figura 4 – Densidade de fluxo de fótons ($\mu\text{ mol s}^{-1}\text{ m}^{-2}$) na linha e na entrelinha de plantio de diferentes arranjos estruturais de sistemas agrossilvipastoris com *Eucalyptus* sp., aos 38 meses após o plantio. (Para os arranjos, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott: $P<0,05$. E para linha e entrelinha, médias com mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste t : $P<0,05$).

Figure 4 – Photon flux density ($\mu\text{ mol s}^{-1}\text{ m}^{-2}$) in rows and in space between rows of different arrangements of agrosilvopastoral system with eucalypt, at 38 months after planting. (For arrangements, averages followed by the same minuscule letter aren't different among themselves, by Scott-Knott test: $P<0,05$. To rows and space between rows, averages followed by the same capital letter aren't different among themselves, by t test: $P<0,05$).

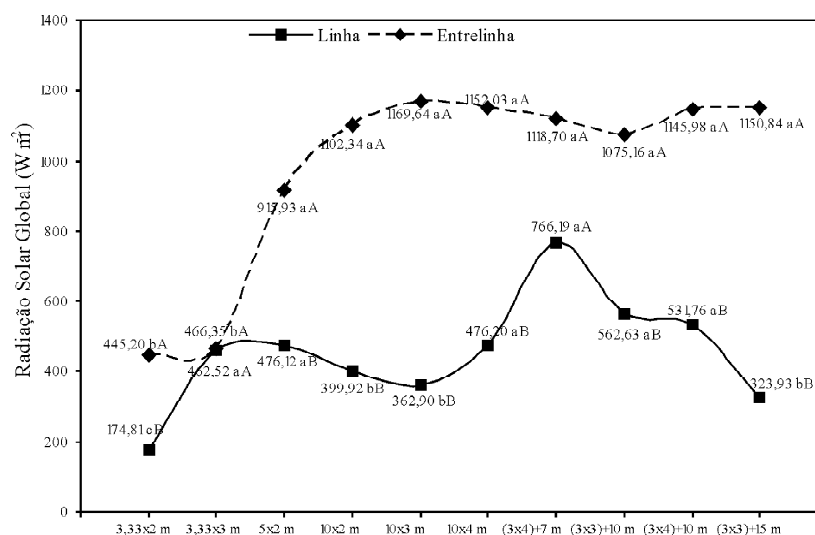


Figura 5 – Radiação solar global (W m^{-2}) na linha e na entrelinha de plantio de diferentes arranjos estruturais de sistemas agrossilvipastoris com *Eucalyptus* sp., aos 38 meses após o plantio. (Para os arranjos, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott: $P<0,05$. E para linha e entrelinha, médias com mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste t : $P<0,05$).

Figure 5 – Global solar radiation (W m^{-2}) in rows and in space between rows of different arrangements of agrosilvopastoral system with eucalypt, at 38 months after planting. (For arrangements, averages followed by the same minuscule letter aren't different among themselves, by Scott-Knott test: $P<0,05$. To rows and space between rows, averages followed by the same capital letter aren't different among themselves, by t test: $P<0,05$).

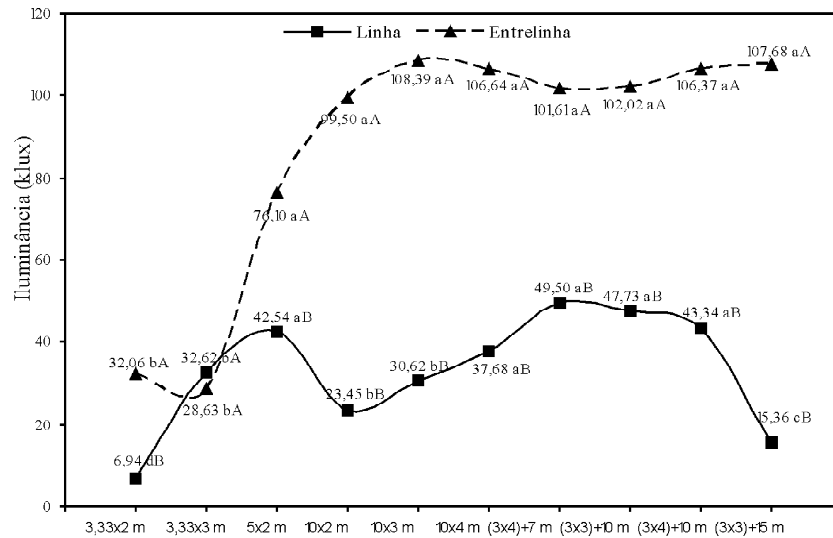


Figura 6 – Iluminância (klux) na linha e na entrelinha de plantio de diferentes arranjos estruturais de sistemas agrossilvipastoris com *Eucalyptus* sp., aos 38 meses após o plantio. (Para os arranjos, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott: $P < 0,05$. E para linha e entrelinha, médias com mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste t : $P < 0,05$).

Figure 6 – Illuminance (klux) in rows and in space between rows of different arrangements of agrosilvopastoral system with eucalypt, at 38 months after planting. (For arrangements, averages followed by the same minuscule letter aren't different among themselves, by Scott-Knott test: $P < 0,05$. To rows and space between rows, averages followed by the same capital letter aren't different among themselves, by t test: $P < 0,05$).

Em conformidade com os resultados obtidos neste estudo, a radiação fotossinteticamente ativa apresentou maior incidência na entrelinha de plantio em renques de *Grevillea robusta* (A. Cunn.), avaliados por Silva et al. (1999). Todavia, a produção de matéria seca da gramínea em consórcio foi maior sob a copa das grevílias, o que foi justificado pela interação mais positiva entre a luz e outros fatores de produção, como umidade, temperatura e fertilidade do solo mais próximo às árvores.

Tanto para DFF, quanto para RSG e ILU (Figuras 4, 5 e 6, respectivamente), a disponibilidade lumínica na entrelinha de plantio foi maior nos espaçamentos mais amplos.

Os arranjos 3,33 x 2 m e 3,33 x 3 m demonstraram um nível de interceptação de luz que manteve o sombreamento do sub-bosque semelhante ao apresentado aos dois anos (Figuras 1, 2 e 3). Estas constatações são semelhantes às de Acciaresi et al. (1994) e Leite et al. (1997).

Na linha de plantio, apenas o arranjo 5 x 2 m e aqueles com linha dupla mais aberta [(3 x 4)+7 m e (3 x 4)+10 m] tiveram DFF estatisticamente superior aos demais (Figura 4). A RSG e ILU (Figuras 5 e 6), avaliadas somente na linha de plantio, foram significativamente maiores para os 5 x 2 m, 10 x 4 m, (3 x 4)+7 m, (3 x 3)+10 m e (3 x 4)+10 m.

A avaliação aos 54 meses (Figuras 7, 8 e 9) revelou que a densidade de fluxo de fótons, a radiação solar global e a iluminância apresentaram comportamentos semelhantes. Foram maiores na entrelinha que na linha para os arranjos (3 x 3) + 10 m, (3 x 4) + 10 m e (3 x 3) + 15 m, enquanto os arranjos 5 x 2 m, 10 x 2 m, 10 x 3 m e 10 x 4 m revelaram um sombreamento padronizado em todo o povoamento, não havendo diferença significativa entre linha e entrelinha, provavelmente em função do crescimento e adensamento das copas aos quatro anos e meio. Para o 5 x 2 m, o fechamento do dossel e sombreamento total do sub-bosque poderia ser previsto aos quatro anos e meio. Já para os mais amplos, manteve-se o verificado aos 27 meses (Figuras 1, 2 e 3). Embora o plantio estivesse orientado no sentido leste-oeste, a posição do sol, em relação ao horizonte, fez com que a sombra das árvores fosse projetada na entrelinha e a base do fuste das plantas na linha de plantio fosse iluminada, justificando os resultados encontrados. Em decorrência da declinação solar em junho (ANDRADE et al., 2002), período de avaliação aos quatro anos e meio, a entrelinha (sombreada) manteve os valores semelhantes aos da linha de plantio.

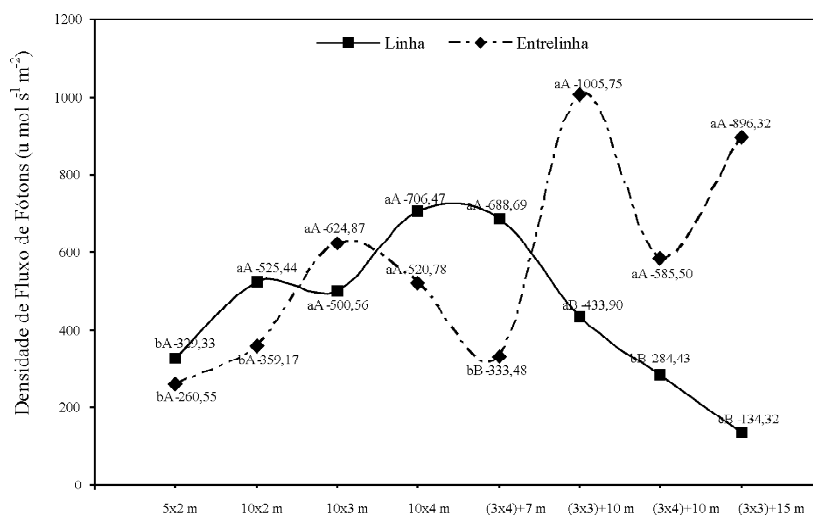


Figura 7 – Densidade de fluxo de fótons ($\mu\text{ mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) na linha e na entrelinha de plantio de diferentes arranjos estruturais de sistemas agrossilvipastoris com *Eucalyptus* sp., aos 54 meses após o plantio. (Para os arranjos, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott: $P < 0,05$. E para linha e entrelinha, médias com mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste t : $P < 0,05$).

Figure 7 – Photon flux density ($\mu\text{ mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) in rows and in space between rows of different arrangements of agrosilvopastoral system with eucalypt, at 54 months after planting. (For arrangements, averages followed by the same minuscule letter aren't different among themselves, by Scott-Knott test: $P < 0,05$. To rows and space between rows, averages followed by the same capital letter aren't different among themselves, by t test: $P < 0,05$).

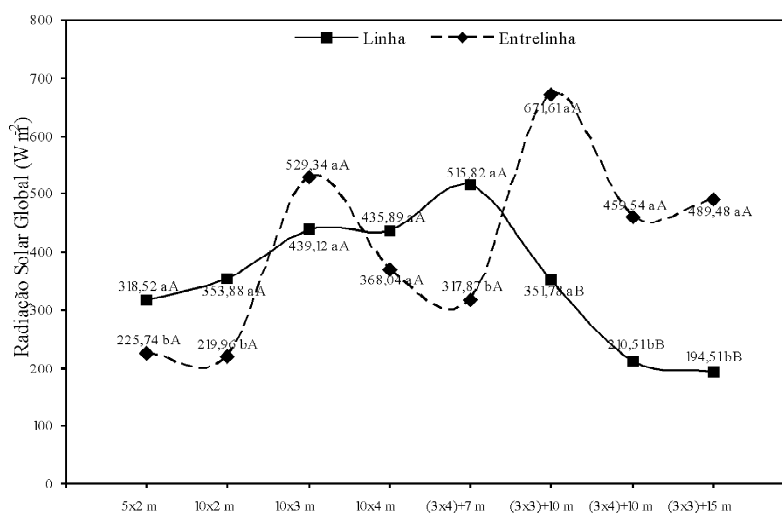


Figura 8 – Radiação solar global (W m^{-2}) na linha e na entrelinha de plantio de diferentes arranjos estruturais de sistemas agrossilvipastoris com *Eucalyptus* sp., aos 54 meses após o plantio. (Para os arranjos, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott: $P < 0,05$. E para linha e entrelinha, médias com mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste t : $P < 0,05$).

Figure 8 – Global solar radiation (W m^{-2}) in rows and in space between rows of different arrangements of agrosilvopastoral system with eucalypt, at 54 months after planting. (For arrangements, averages followed by the same minuscule letter aren't different among themselves, by Scott-Knott test: $P < 0,05$. To rows and space between rows, averages followed by the same capital letter aren't different among themselves, by t test: $P < 0,05$).

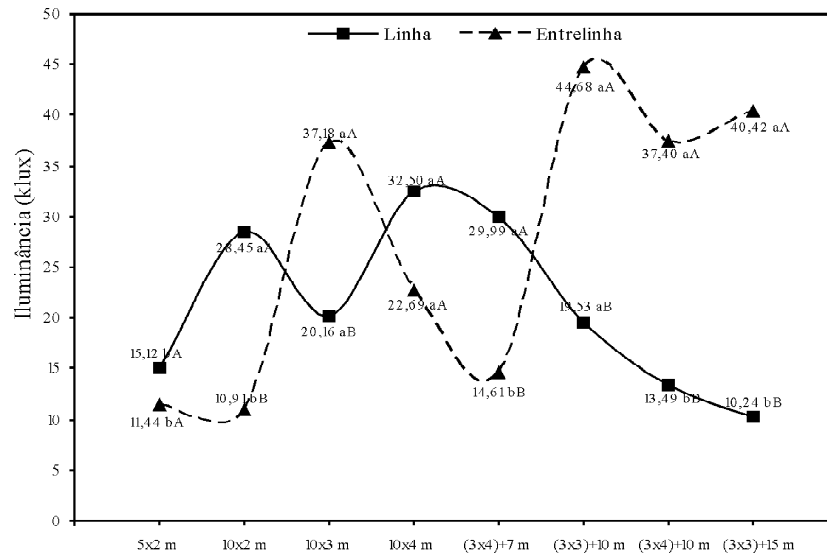


Figura 9 – Iluminância (klux) na linha e na entrelinha de plantio de diferentes arranjos estruturais de sistemas agrossilvipastoris com *Eucalyptus* sp., aos 54 meses após o plantio. (Para os arranjos, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott: $P < 0,05$. E para linha e entrelinha, médias com mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste t : $P < 0,05$).

Figure 9 – Illuminance (klux) in rows and in space between rows of different arrangements of agrosilvipastoral system with eucalypt, at 54 months after planting. (For arrangements, averages followed by the same minuscule letter aren't different among themselves, by Scott-Knott test: $P < 0,05$. To rows and space between rows, averages followed by the same capital letter aren't different among themselves, by t test: $P < 0,05$).

Em espaçamentos mais reduzidos da cultura florestal, o consórcio é influenciado pela disputa por espaço (tanto raízes como parte aérea), competição por água e nutrientes, sendo a disponibilidade lumínica um fator muito relevante para o melhor desempenho produtivo do sistema.

Tomando-se os valores de radiação nos arranjos $3,33 \times 2$ m e $3,33 \times 3$ m, aos 27 meses (Figuras 1, 2 e 3), como referência para indicativo da impossibilidade de consórcio nos espaçamentos mais amplos, em idades mais avançadas, pode-se dizer que o arranjo 5×2 m, aos quatro anos e meio, apresenta valores semelhantes e, portanto, nessas condições, o consórcio seria prejudicado. Embora em arranjos como 10×2 m os valores de radiação sejam também semelhantes, entre 27 e 54 meses ou até menores nesta última avaliação, não se pode deixar de considerar o espaço de dez metros na entrelinha, tanto mais eficiente para o consórcio quanto maior a tolerância da espécie de sub-bosque ao sombreamento, especialmente em se tratando de gramíneas forrageiras em sistemas agrossilvipastoris.

Na Tabela 2, apresenta-se a porcentagem em relação à medida a pleno sol da densidade de fluxo de fótons,

radiação solar global e iluminância, na linha e entrelinha dos arranjos de sistema agrossilvipastoral com eucalypto, aos 27, 38 e 54 meses após o plantio.

Somente para a avaliação aos 38 meses, realizada no mês de fevereiro, quando a declinação solar é correspondente à latitude local, a densidade de fluxo de fótons, radiação solar global e iluminância, na entrelinha dos espaçamentos mais amplos, foi 100% em relação às medidas tomadas a pleno sol.

Independente da época de avaliação, o arranjo com maior entrelinha [$(3 \times 3) + 15$ m] sempre apresentou maior luminosidade na entrelinha (acima de 60% de pleno sol), enquanto os demais variaram o percentual de radiação em função do espaçamento e do período de avaliação. O arranjo 10×4 m foi aquele em que a radiação apresentou desempenho mais aproximado ao $(3 \times 3) + 15$ m (Tabela 2).

Deve-se mencionar que em meses e arranjos nos quais a radiação na entrelinha é a totalidade da luminosidade a pleno sol, como aos 38 meses pós plantio, o sombreamento sob a copa das árvores na linha de plantio (Tabela 2) serviria de abrigo para os animais, tendo em vista que mesmo o gado zebuino (*Bos indicus*), adaptado a condições mais quentes em

comparação com o gado europeu (*Bos taurus*), busca proteção contra insolação direta (SILVA & MAZUCHOWSKI, 1999).

Tabela 2 – Porcentagem em relação à medida a pleno sol da densidade de fluxo de fótons (DFF), radiação solar global (RSG) e iluminância (ILU) na linha (L) e entrelinha (EL) de diferentes arranjos de sistema agrossilvipastoril com eucalipto, aos 27, 38 e 54 meses após o plantio.

Table 2 – Percentage of measurement at sun, to photon flux density (DFF), global solar radiation (RSG) and illuminance (ILU), in row (L) and in space between rows (EL), of different arrangements of agrossilvipastoral systems with eucalypt, at 27, 38 and 54 months after planting.

Porcentagem da radiação a pleno sol	27 meses após o plantio					
	DFF		RSG		ILU	
	L	EL	L	EL	L	EL
Arranjos						
3,33 x 2 m	17,2	10,8	32,5	28,1	18,5	16,6
3,33 x 3 m	20,8	16,7	26,9	29,7	20,8	17,0
5 x 2 m	10,2	25,9	22,7	52,6	17,3	37,9
10 x 2 m	68,7	9,0	74,0	15,3	54,8	8,8
10 x 3 m	97,5	32,8	69,8	46,7	91,2	31,3
10 x 4 m	97,7	50,4	99,9	55,4	99,5	57,7
(3 x 4)+7 m	81,9	56,3	37,7	34,4	58,9	50,9
(3 x 3)+10 m	31,2	13,7	50,0	18,8	53,7	14,5
(3 x 4)+10 m	47,6	21,4	55,2	31,9	46,5	15,3
(3 x 3)+15 m	33,8	81,2	65,9	76,1	37,3	73,1
	38 meses após o plantio					
	DFF		RSG		ILU	
	L	EL	L	EL	L	EL
Arranjos						
3,33 x 2 m	5,6	41,7	16,3	41,5	7,1	32,7
3,33 x 3 m	28,6	25,9	43,1	43,5	33,2	29,2
5 x 2 m	47,6	86,5	44,4	85,4	43,4	77,6
10 x 2 m	30,7	100,0	37,3	100,0	23,9	100,0
10 x 3 m	26,3	100,0	32,9	100,0	29,7	100,0
10 x 4 m	24,7	100,0	43,1	100,0	36,5	100,0
(3 x 4)+7 m	66,5	97,5	69,4	100,0	47,9	98,4
(3 x 3)+10 m	35,3	98,0	50,9	97,2	46,0	98,3
(3 x 4)+10 m	53,3	100,0	48,1	100,0	41,7	100,0
(3 x 3)+15 m	28,5	100,0	29,3	100,0	14,8	100,0
	54 meses após o plantio					
	DFF		RSG		ILU	
	L	EL	L	EL	L	EL
Arranjos						
3,33 x 2 m	-	-	-	-	-	-
3,33 x 3 m	-	-	-	-	-	-
5 x 2 m	29,9	23,6	50,5	35,8	26,0	19,7
10 x 2 m	47,7	32,6	56,1	34,9	48,9	18,7
10 x 3 m	45,4	56,7	69,7	84,0	34,6	63,9
10 x 4 m	64,1	47,3	69,2	58,4	55,8	39,0
(3 x 4)+7 m	54,9	26,6	69,3	42,7	46,0	22,4
(3 x 3)+10 m	35,1	81,3	46,7	89,1	29,8	68,1
(3 x 4)+10 m	23,0	47,3	27,9	61,0	20,5	57,0
(3 x 3)+15 m	10,9	72,4	25,8	65,0	15,6	61,6

Considerando que o sol encontra-se perpendicular às linhas de plantio aos 38 meses, a porcentagem da radiação solar na linha, em relação a pleno sol, permite uma inferência a respeito da densidade da copa do eucalipto. A passagem de 24% a 43% da DFF, RSG e ILU nas linhas dos arranjos 10 x 2 m, 10 x 3 m e 10 x 4 m, e acima de 43%, no 5 x 2 m, confirma a citação de Garcia & Couto (1997) e Silva (1999), sobre a vantagem de algumas espécies de eucalipto como componente arbóreo adequado para sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris, por permitir considerável passagem de luz para o sub-bosque.

A distribuição espectral da luz refletida e a que penetra pela copa das árvores depende da densidade das folhas. Se a copa da árvore é rala, a energia refletida é similar à reflectância do solo. Caso contrário, a energia solar refletida por uma copa densa é semelhante à reflectância de uma folha, fraca na radiação fotossinteticamente ativa (completamente absorvida) e forte na faixa do infravermelho próximo (BONHOMME, 1993), proporcionando resultados positivos quanto ao aproveitamento deste tipo de radiação pela espécie arbórea e tornando a luz no sub-bosque de menor qualidade fotossintética. Pode-se dizer que a radiação solar sob as linhas de plantio nos arranjos 5 x 2 m, 10 x 2 m, 10 x 3 m e 10 x 4 m, foi considerável aos 38 meses.

As linhas duplas nos arranjos (3 x 3)+10 m e (3 x 3)+15 m apresentaram padrão semelhante aos tratamentos em linhas simples, enquanto nos (3 x 4)+7 m e (3 x 4)+10 m, com linhas duplas mais amplas, a passagem pelo dossel foi de 41-69% da DFF, RSG e ILU. A radiação solar no sub-bosque do eucalipto em outras épocas do ano (avaliações aos 27 e 54 meses) também mostra-se satisfatória em comparação com a radiação à pleno sol (Tabela 2).

Sugere-se que sejam desenvolvidos outros trabalhos, desde a fase juvenil até idades mais avançadas dos plantios de eucalipto, inclusive com avaliações mensais em diferentes épocas do ano, utilizando-se sensores específicos para os diversos comprimentos de onda e que possam registrar a incidência de radiação durante todo o dia, com a finalidade de complementar estudos desta natureza, a respeito da quantidade e qualidade da radiação incidente no sub-bosque de povoamentos desta espécie florestal.

4 CONCLUSÕES

O valor médio da radiação solar no sub-bosque varia em função de diferentes arranjos do sistema agrossilvipastoril com eucalipto.

Em arranjos como 3,33 x 2 m e 3,33 x 3 m, aos dois anos, o fechamento do dossel de eucalipto promove um nível de interceptação da radiação distribuído de forma geral em todo o povoamento.

Nos arranjos em linhas simples ou dupla, com entrelinha de dez a quinze metros, o sombreamento na linha e entrelinha varia de acordo com a época do ano.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Companhia Mineira de Metais – CMM Agroflorestal, pela oportunidade de execução da pesquisa e pelo apoio incondicional na implantação e avaliação dos experimentos. Em especial ao diretor Vicente de Paula Silveira e aos técnicos Carlos Coelho e Celso Machado.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIARESI, H.; ANSÍN, O. E.; MARLATS, R. M. Sistemas silvopastoriles: efectos de la densidad arborea en la penetracion solar y produccion de forraje en rodales de alamo (*Populus deltoides* Marsh). **Agroforesteria en las Américas**, Turrialba, v. 1, n. 4, p. 6-9, 1994.

ANDRADE, C. M. S. de; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA, O. G. Transmissão de luz em sistemas silvipastoris com eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 19-23, jan./fev. 2002.

BONHOMME, R. The solar radiation: characterization and distribution in the canopy. In: VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R.; SINOQUET, H. **Crop structure and light microclimate**: characterization and applications. Paris: INRA, 1993. p. 17-28.

GARCIA, R.; COUTO, L. Sistemas silvipastoris: tecnologia emergente de sustentabilidade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM

PASTEJO, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1997. p. 447-471.

LEITE, F. P. **Crescimento, relações hídricas, nutricionais e lumínicas em povoamento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais**. 1996. 90 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

LEITE, F. P.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de; SANS, L. M. A.; FABRES, A. S. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-321, jul./set. 1997.

LI-COR. **LI-COR terrestrial radiation sensors, type AS**: instruction manual. Lincoln, 1991. 28 p.

MACEDO, R. L. G.; OLIVEIRA, A. D. de. **Sistemas agroflorestais**: considerações técnicas e econômicas. Lavras: DCF/UFLA, 1996. Projeto de Consultoria.

SILVA, J. M. S. da. **Estudo silvicultural e econômico do consórcio de *Eucalyptus grandis* com gramíneas sob diferentes espaçamentos em áreas acidentadas**. 1999. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

SILVA, V. P. da; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Sistemas silvipastoris**: paradigma dos pecuaristas para a agregação de renda e qualidade. Curitiba: Emater, 1999. 52 p. (Série informação técnica, 50).

SILVA, V. P. da; VIEIRA, A. R. R.; CARAMORI, P. H.; BAGGIO, A. J. A radiação fotossinteticamente ativa e a produção de pastagem em sistema silvipastoril. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. CD-ROM.