Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

A radiação fotossinteticamente ativa no manejo florestal otimiza o crescimento
de vegetação sob plantios de eucalipto

Leonardo Tardivo

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2017

Leonardo Tardivo
Engenheiro Agrônomo

**A radiação fotossinteticamente ativa no manejo florestal otimiza o crescimento de
vegetação sob plantios de eucalipto**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ NIVALDO GARCIA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais.
Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Tardivo, Leonardo

A radiação fotossinteticamente ativa no manejo florestal otimiza o crescimento de vegetação sob plantios de eucalipto / Leonardo Tardivo. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

62 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Radiação fotossinteticamente ativa 2. Eucalipto 3. Manejo florestal 4. Sistemas agroflorestais. I. Título

DEDICATÓRIA

À Deus, não para nós Senhor, não para nós, mas para a Glória do teu Nome.
À minha esposa Liliane pelo apoio e paciência durante esses anos de dedicação a ciência.
À minha família, aos que estão presentes, aos que já se foram e aos que estão por vir.
À ciência que busca incessantemente devendar os mistérios de Deus.

Dedico

À todos que de alguma forma contribuíram para meu trabalho.
Amigos, professores e funcionários.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Fundação CAPES pela bolsa de mestrado a mim outorgada.

Ao meu Orientador Professor José Nivaldo Garcia que me apoiou na iniciativa de estudar a radiação e a orientação dada.

Ao Professor Ciro Abbud Righi, pela experiência passada e pelo empréstimo do aparelho utilizado neste trabalho.

Ao Professor Paulo César Sentelhas, pelo tempo dedicado ao esclarecimento de dúvidas.

Ào meu mentor e amigo Professor Valdemar Antonio Demétrio, pela disposição em ajudar na correção deste trabalho e pela permissão de usar sua área para realização de experimentos. Também ao Maciel, funcionário do sítio.

À produtora rural e amiga Marina Goreti Sandin, pela permissão de usar sua área para a realização de experimentos.

Aos colegas de mestrado Júlia Fideles e Lucas Kelvin, por partilharem comigo a mesma caminhada, pelo apoio nas matérias e na execução dos experimentos.

Aos meus escudeiros da graduação Otávio Oliveira, Vinicius Felipe Momo e Jaqueline Morales, por escutarem o pouco que tenho para ensinar e pela ajuda na coleta de dados dos experimentos.

Às Estações Experimentais de Ciências Florestais de Anhembi e Itatinga representados pelos Engenheiros florestais João Carlos Teixeira Mendes e Rildo Moreira e Moreira, pelas informações prestadas e permissão para realizar os experimentos nelas.

Ao Laboratório de Propriedades Físicas e Processamento da Madeira, ao Técnico Luis Eduardo Facco, aos orientados de graduação e pós graduação.

Ao Professor Fernando Seixas, ao Sílvia José Gerolamo e ao Mauro Raser, pelo apoio da atividade extra-curricular de Esgrima Medieval na Atlética da ESALQ.

Aos docentes, funcionários e apoiadores da Pós-graduação de Recursos Florestais.

Aos funcionários do departamento de Recursos Florestais e Laboratório de Ecologia Aplicada,agradecimento especial a Lucilene C. Saldanha.

À empresa RNT Consultoria, pela oportunidade de experiência profissional.

Ao Grupo de Estágio Monte Olimpo pelas informações prestadas a respeito de seus experimentos.

*Certa vez perguntaram a Einstein sobre a definição da luz e ele respondeu:
“A luz... é a sombra de Deus...”.*

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	14
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. RADIAÇÃO SOLAR.....	19
2.2. SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM EUCALIPTO	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. RADIÔMETRO.....	27
3.2. MÉTODO DE LEITURA	27
3.3. CÁLCULO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR ATRAVÉS DA RADIAÇÃO FOTOSINTETICAMENTE ATIVA	29
3.4. CÁLCULO DA TAXA DE INTERCEPTAÇÃO DA RADIAÇÃO	30
3.5. CRITÉRIO DE CATEGORIZAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS NAS LINHAS E ENTRELINHAS DOS PLANTIOS DE EUCALIPTO	30
3.6. CALIBRAÇÃO DO APARELHO E CONVERSÃO DE UNIDADES	31
3.7. ESTAÇÕES EXPERIMENTAIS E POSTOS METEOROLÓGICOS DA ESALQ	32
3.8. EXPERIMENTO DE AVALIAÇÃO DE FILEIRA DUPLA ISOLADA BAIRRO FLORESTA, PIRACICABA-SP	32
3.9. EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO ENTRE ESPÉCIES NO BAIRRO ÁGUA BONITA, PIRACICABA-SP.....	33
3.10. EXPERIMENTO DE AVALIAÇÃO DE DESRAMA NO BAIRRO ÁGUA BONITA, PIRACICABA-SP.....	37
3.11. EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO ENTRE INTENSIDADES DE DESBASTE NA EECFI, ITATINGA-SP.....	38
3.12. EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO ENTRE ESPÉCIES NA EECFA, ANHEMBI-SP.....	39
3.13. ANÁLISE ESTATÍSTICA	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1. EXPERIMENTO DE AVALIAÇÃO DE FILEIRA DUPLA ISOLADA NO BAIRRO FLORESTA, PIRACICABA-SP:.....	41
4.2. EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO ENTRE ESPÉCIES NO BAIRRO ÁGUA BONITA, PIRACICABA-SP:	41
4.3. EXPERIMENTO DE AVALIAÇÃO DE DESRAMA NO BAIRRO ÁGUA BONITA, PIRACICABA-SP:.....	46
4.4. EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO ENTRE INTENSIDADES DE DESBASTE NA EECFI, ITATINGA-SP:.....	49
4.5. EXPERIMENTO DE COMPARAÇÃO ENTRE ESPÉCIES NA EECFA, ANHEMBI-SP:.....	50
5. CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS.....	57

RESUMO

A radiação fotossinteticamente ativa no manejo florestal otimiza o crescimento de vegetação sob plantios de eucalipto

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é uma das variáveis mais importantes para o crescimento e desenvolvimento de plantas, estejam elas localizadas, na terra, abaixo da água ou no espaço sideral. Quando se trata de sistemas agroflorestais a RFA é uma das variáveis mais importantes, por isso nesses sistemas existe a necessidade de criar na floresta as melhores condições para o desenvolvimento das culturas abaixo desta. Condições essas dependentes da escolha da espécie, do espaçamento e dos manejos silviculturais, refletindo diretamente na radiação disponível abaixo da floresta. Em pequenas propriedades rurais o eucalipto vêm sendo utilizado como um cultivo secundário à agricultura e por se tratar de uma cultura de longo prazo o cultivo do eucalipto enfrenta dificuldades em sua permanência nessas pequenas propriedades. Uma das alternativas é o seu uso em sistemas agroflorestais, de forma que se mantenha a produção agrícola e ao mesmo tempo a floresta de eucalipto. Este trabalho teve como objetivo estudar diferentes situações de plantios de eucalipto já estabelecidos e sua relação com a RFA, e através dela obter para os eucaliptos a Taxa de interceptação (TI) e Índice de área foliar (IAF) pela Lei de Lambert-Beer. Neste trabalho foram avaliados plantios de eucalipto tendo como variáveis: espécies e as práticas de manejo de desrama e desbaste contemplando os seguintes experimentos e resultados: Avaliação de fileira dupla isolada com espaçamento 3 x 2 m, com *E. urophylla* x *E. grandis* com 24 meses de idade (Piracicaba-SP) em que fileiras duplas apresentaram de condições RFA razoáveis nas entrelinhas (200 e $799 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e ideal nas linhas (maior que $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para o desenvolvimento de plantas nas entrelinhas e melhor nas linhas; Comparativo entre espécies de eucalipto com 60 meses de idade e espaçamento 3 x 2 m (Piracicaba-SP) em que nas entrelinhas as espécies *E. camaldulensis*, *E. robusta*, *E. grandis*, IPEF 137, *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. saligna* e nas as linhas *E. camaldulensis*, *E. robusta*, *E. grandis*, *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. saligna* apresentaram condições razoáveis de RFA para o desenvolvimento de plantas; Comparativo entre antes e depois da desrama em 7 espécies de eucalipto com 12 meses de idade e espaçamento 3 x 2 m (Piracicaba-SP) onde houve aumento da RFA depois da desrama na maioria dos casos, antes da desrama nas entrelinhas apenas as espécies H15 e *E. grandis* apresentaram condições razoáveis de RFA para o desenvolvimento de plantas, depois da desrama as espécies H15, I144 e *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. citriodora* apresentaram essas condições, nas linhas antes da desrama nenhuma das espécies apresentaram condições razoáveis de RFA, depois da desrama as espécies I144, H13, *E. urophylla* e *E. citriodora* apresentaram condições razoáveis de RFA para o desenvolvimento de plantas; Comparativo entre três intensidades de desbaste, 55%, 70% e 85%, em eucalipto *E. grandis* com 228 meses de idade e espaçamento original 3 x 2 m (Itatinga-SP) em que todas as intensidades apresentaram condições razoáveis de RFA para o desenvolvimento de plantas, sendo os melhores resultados obtidos nas linhas e entrelinhas da intensidade de 70%; Comparativo entre 24 espécies de eucalipto com 12 meses de idade e espaçamento 3 x 2 m (Anhembi-SP) cujos resultados nas entrelinhas as espécies *E. citriodora*, *E. pilularis*, *E. phaeothrica*, *E. microcorys*, *E. deglupta*, *E. paniculata*, *E. tereticornis*, *E. exserta*, *E. saligna*, *E. botryoides*, *E. grandis*, *E.*

urophylla, *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. pellita*, *E. propinqua*, *E. resinifera*, *E. dunni*, *E. robusta* e *E. camaldulensis* apresentaram condições razoáveis de RFA e as espécies *E. maculata*, *E. torelliodora* e *E. cloeziana* apresentaram condições ideais de RFA para o desenvolvimento de plantas, nas linhas as espécies *E. citriodora*, *E. pilularis*, *E. phaeothrica*, *E. microcorys*, *E. deglupta*, *E. paniculata*, *E. tereticornis*, *E. exserta*, *E. saligna*, *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. pellita*, *E. propinqua*, *E. resinifera*, *E. dunni*, *E. robusta* e *E. cloeziana* apresentaram condições razoáveis de RFA e as espécies *E. maculata*, *E. torelliodora* apresentaram condições ideais de RFA para o desenvolvimento de plantas. Conclui-se com esse trabalho que as espécies *E. camaldulensis*, *E. robusta*, *E. grandis*, *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. saligna* apresentaram condições razoáveis de RFA tanto aos 12 meses como aos 60 meses, porém, somente as espécies *E. maculata*, *E. torelliodora* e *E. cloeziana* com 12 meses apresentaram condições ideais de RFA; o desbaste teve efeito positivo no aumento da RFA com as intensidades de 70% e 85% em comparação com a de 55%; plantios de eucalipto em fileira dupla solitária permitem que a RFA seja transmitida pela copa das árvores com maior facilidade nas linhas e menor nas entrelinhas, ambas são favorecidas por não haverem fileiras de árvores em um dos lados. O cálculo do IAF pela Lei de Lambert-Beer permite a identificação dessa importante variável de forma rápida e não destrutiva. A utilização da Lei de Lambert-Beer na maioria dos casos estudados apresentou como resultado valores dentro do específico para o eucalipto 2 a 4,5 m² m⁻² (Foelkel, 2005).

Palavras-chave: Radiação fotossinteticamente ativa; Eucalipto; Manejo florestal; Sistemas Agroflorestais

ABSTRACT

The photosynthetically active radiation in forest management optimizes the growth of vegetation under Eucalyptus

The photosynthetically active radiation (PAR) is one of the most important variables for the growth and development of plants, whether they are located on the earth, under water or in outer space. When it comes to agroforestry systems PAR is one of the most important variables, so in these systems there is a need to create in the forest the best conditions for the development of the crops below it. These conditions depend on species selection, spacing and silvicultural management, directly reflecting the available radiation below the forest. In small farmers, eucalyptus has been used as a crop secondary to agriculture and because it is a long-term crop, eucalyptus cultivation faces difficulties in its permanence in these small farmers. One of the alternatives is its use in agroforestry systems, so as to maintain agricultural production and at the same time the eucalyptus forest. The objective of this work was to study different situations of eucalyptus plantations already established and their relationship with PAR, and through it to obtain for eucalyptus the Intercept Rate (IR) and Foliar Area Index (LAI) by Lambert-Beer Law. In this work, eucalyptus plantations were evaluated, with species variables and the practices of weed management and thinning, the following experiments and results were: Evaluation of an isolated double row with 3 x 2 m spacing with *E. urophylla* x *E. grandis* 24 months of age (Piracicaba-SP) in which double rows presented reasonable RFA conditions between the lines (200 and 799 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and ideal in the lines (greater than 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) for the development of plants between the lines and better in the lines; Comparison between eucalyptus species at 60 months of age and spacing 3 x 2 m (Piracicaba-SP) in which the species *E. camaldulensis*, *E. robusta*, *E. grandis*, IPEF 137, *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. urophylla* and *E. saligna* and in the lines *E. camaldulensis*, *E. robusta*, *E. grandis*, *E. urophylla* x *E. grandis* and *E. saligna* presented reasonable conditions of PAR for the development of plants; Comparison between before and after the pruning in 7 eucalyptus species at 12 months of age and spacing 3 x 2 m (Piracicaba-SP) where there was an increase in PAR after the pruning in the majority of cases, before trawling between the lines only the species H15, *E. grandis*, *E. urophylla*, and *E. citriodora* exhibited reasonable conditions of PAR for the development of plants. After pruning the species H15, I144 and *E. grandis*, *E. urophylla* and *E. citriodora* presented these conditions, in the lines before the pruning none of the species presented conditions After the pruning, species I144, H13, *E. urophylla* and *E. citriodora* presented reasonable conditions of RFA for the development of plants; Comparison between three intensities of thinning, 55%, 70% and 85%, in eucalyptus *E. grandis* with 228 months of age and original spacing 3 x 2 m (Itatinga-SP), where all intensities presented reasonable conditions of PAR for Development of plants, being the highest result obtained in the lines and between the lines of the intensity of 70%; Comparison between 24 species of eucalyptus at 12 months of age and spacing 3 x 2 m (Anhembi-SP), with results between the lines *E. citriodora*, *E. pilularis*, *E. phaeothrica*, *E. microcorys*, *E. deglupta*, *E. Paniculata*, *E. tereticornis*, *E. exserta*, *E. saligna*, *E. botryoides*, *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. pellita*, *E. propinqua*, *E. resinifera*, *E. dunni*, *E. robusta* and *E. camaldulensis* presented reasonable conditions of PAR and the species *E. maculata*, *E. torelliodora* and *E. cloeziana* presented ideal conditions of PAR for the development of plants, in the lines the

species *E. citriodora*, *E. pilularis*, *E. pylori*, *E. microcorys*, *E. deglupta*, *E. paniculata*, *E. tereticornis*, *E. exserta*, *E. saligna*, *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. pellita*, *E. propinqua*, *E. resinifera*, *E. dunni*, *E. robusta* and *E. cloeziana* presented reasonable conditions of RFA and *E. maculata* and *E. toreliodora* presented ideal conditions of PAR for the development of plants. It was concluded that *E. camaldulensis*, *E. robusta*, *E. grandis*, *E. urophylla* x *E. grandis* and *E. saligna* presented reasonable conditions of PAR at 12 months and at 60 months. The species *E. maculata*, *E. toreliodora* and *E. cloeziana* at 12 months presented ideal conditions of PAR; The thinning had a positive effect on the increase of PAR with the intensities of 70% and 85% compared to that of 55%; Solitary double row eucalyptus plantations allow the PAR to be transmitted through the tree canopy with greater ease in the lines and smaller between the lines, both are favored because there are no rows of trees on one side. The calculation of the IAF by the Lambert-Beer Law allows the identification of this important variable quickly and non-destructively. The use of the Lambert-Beer Law in the majority of the studied cases presented values within the specific for eucalyptus 2 to 4,5 m² m⁻² (Foelkel, 2005).

Keywords: Photosynthetically active radiation; Eucalyptus; Forest management; Agroforestry system

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. RADIÔMETRO ELETM COM SENSOR FOTOELÉTRICO ESPECÍFICO DE FRENTE (ESQUERDA) E DE VERSO (DIREITA).....	27
FIGURA 2. EXEMPLIFICAÇÃO DO MÉTODO DE LEITURA PARA OS TODOS OS EXPERIMENTOS COM ESPAÇAMENTO 3 X 2 M.	28
FIGURA 3. <i>E. UROPHYLLA</i> X <i>E. GRANDIS</i> FILEIRA DUPLA ISOLADA COM ESPAÇAMENTO 3 X 2 M, COBERTURA DO SOLO (ESQUERDA) E VISTA DE FORA (DIREITA) NO BAIRRO FLORESTA EM PIRACICABA-SP.	33
FIGURA 4. <i>E. CAMALDULENSIS</i> COBERTURA DO SOLO (ESQUERDA) E VISTA DO DOSSEL (DIREITA) NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	34
FIGURA 5. <i>E. ROBUSTA</i> COBERTURA DO SOLO (ESQUERDA) E VISTA DO DOSSEL (DIREITA) NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	34
FIGURA 6. <i>E. TORELLIANA</i> COBERTURA DO SOLO (ESQUERDA) E VISTA DO DOSSEL (DIREITA) NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	34
FIGURA 7. <i>E. UROPHYLLA</i> COBERTURA DO SOLO (ESQUERDA) E VISTA DO DOSSEL (DIREITA) NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	35
FIGURA 8. ESPÉCIES IPEF 137 COBERTURA DO SOLO (ESQUERDA) E VISTA DO DOSSEL (DIREITA) NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	35
FIGURA 9. <i>E. SALIGNA</i> COBERTURA DO SOLO (ESQUERDA) E VISTA DO DOSSEL (DIREITA) NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	35
FIGURA 10. <i>E. PROPINQUA</i> COBERTURA DO SOLO (ESQUERDA) E VISTA DO DOSSEL (DIREITA) NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	36
FIGURA 11. <i>E. GRANDIS</i> COBERTURA DO SOLO (ESQUERDA) E VISTA DO DOSSEL (DIREITA) NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	36
FIGURA 12. <i>E. UROPHYLLA</i> X <i>E. GRANDIS</i> COBERTURA DO SOLO (ESQUERDA) E VISTA DO DOSSEL (DIREITA) NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	36
FIGURA 13. ESPÉCIES ANTES DA DESRAMA (ESQUERDA) E DEPOIS DA DESRAMA (DIREITA) NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	37
FIGURA 14. <i>E. GRANDIS</i> COM GRAU DE DESBASTE DE 55% NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE CIÊNCIAS FLORESTAIS EM ITATINGA-SP.	38
FIGURA 15. <i>E. GRANDIS</i> COM GRAU DE DESBASTE DE 70% NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE CIÊNCIAS FLORESTAIS EM ITATINGA-SP.	38
FIGURA 16. <i>E. GRANDIS</i> COM GRAU DE DESBASTE DE 85% NA ESTAÇÃO EXPERIMENTAL DE CIÊNCIAS FLORESTAIS EM ITATINGA-SP.	39
FIGURA 17. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR ($M^2 M^{-2}$) NAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO, NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	42
FIGURA 18. TAXA DE INTERCEPTAÇÃO (%) NAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO NAS LINHAS E ENTRELINHAS, NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	42
FIGURA 19. RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA ($\mu\text{MOL } M^{-2} S^{-1}$) NAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO NAS LINHAS E ENTRELINHAS, NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	43
FIGURA 20. DIFERENÇA NO CRESCIMENTO DE GRAMÍNEAS ABAIXO DAS ESPÉCIES EM AMBAS AS FOTOS A ESPÉCIE <i>E. CAMALDULENSIS</i> (ESQUERDA) E <i>E. TORELLIANA</i> (DIREITA) NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	44
FIGURA 21. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR ($M^2 M^{-2}$) NAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO ANTES E DEPOIS DA DESRAMA, NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	46

FIGURA 22. TAXA DE INTERCEPTAÇÃO (%) NAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO ANTES E DEPOIS DA DESRAMA, NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	47
FIGURA 23. RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA ($\mu\text{MOL M}^{-2} \text{S}^{-1}$) NAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO NAS LINHAS E ENTRELINHAS, ANTES E DEPOIS DA DESRAMA, NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	48
FIGURA 24. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR ($\text{M}^2 \text{M}^{-2}$) NAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO, NA EECF EM ANHEMBI-SP.....	51
FIGURA 25. TAXA DE INTERCEPTAÇÃO (%) NAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO, NA EECF EM ANHEMBI-SP.....	52
FIGURA 26. RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA ($\mu\text{MOL M}^{-2} \text{S}^{-1}$) NAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO, NA EECF EM ANHEMBI-SP.	53
FIGURA 27. DIFERENÇA NO CRESCIMENTO INICIAL DAS ESPÉCIES <i>E. UROPHYLLA</i> X <i>E. GRANDIS</i> (ESQUERDA) E <i>E. CLOEZIANA</i> (DIREITA) NA EECF EM ANHEMBI-SP.	53

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. ANÁLISE DOS VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF), TAXA DE INTERCEPTAÇÃO (TI) E RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (RFA) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DOS PLANTIOS DE EUCALIPTO <i>E. UROPHYLLA</i> X <i>E. GRANDIS</i> COM 2 ANOS DE IDADE, ESPAÇAMENTO 3 X 2 M DUPLO ÚNICO NO BAIRRO FLORESTA EM PIRACICABA-SP.	41
TABELA 2. RESUMO DOS RESULTADOS DOS VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF); DA TAXA DE INTERCEPTAÇÃO (TI) E DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (RFA) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DE PLANTIOS DE 9 ESPÉCIES DE EUCALIPTO COM 60 MESES DE IDADE, ESPAÇAMENTO 3 X 2 M NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	45
TABELA 3. RESUMO DOS RESULTADOS DO COMPARATIVO DE ANTES DE DEPOIS DA DESRAMA DOS VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF); DA TAXA DE INTERCEPTAÇÃO (TI) E DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (RFA) NA LINHA E ENTRELINHAS DE PLANTIOS DE 7 ESPÉCIES DE EUCALIPTO COM 12 MESES DE IDADE, ESPAÇAMENTO 3 X 2 M NO BAIRRO ÁGUA BONITA EM PIRACICABA-SP.	49
TABELA 4. COMPARAÇÃO DE INTENSIDADE DE DESBASTE 55%, 70% E 85% SOBRE OS VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF); DA TAXA DE INTERCEPTAÇÃO (TI) E DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (RFA) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DE PLANTIOS DE EUCALIPTO <i>E. GRANDIS</i> COM 228 MESES DE IDADE, ESPAÇAMENTO ORIGINAL 3 X 2 M NA EECF EM ITATINGA-SP.	50
TABELA 5. RESUMO DOS RESULTADOS DOS VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF); DA TAXA DE INTERCEPTAÇÃO (TI) E DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA (RFA) NAS LINHAS E ENTRELINHAS DE PLANTIOS DE 24 ESPÉCIES DE EUCALIPTO COM 12 MESES DE IDADE, ESPAÇAMENTO 3 X 2 M NA EECF EM ANHEMBI-SP.	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RFA	Radiação fotossinteticamente ativa
IAF	Índice de área foliar
TI	Taxa de Interceptação
SAF	Sistema Agroflorestal
m	metros
nm	nanômetros
$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	micro mols por metro quadrado segundo
E.	Eucalyptus
EECFI	Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga
EECFA	Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi
<i>E. urograndis</i>	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus*, popularmente conhecido como "Eucalipto", designa o gênero de várias espécies vegetais originárias da Oceania, cujos centros de origem estão principalmente na Austrália e outras espécies em menor número na Nova Guiné, Indonésia, Filipinas e Timor (CIB, 2008).

As primeiras plantas de eucalipto foram trazidas ao Brasil no início do século XX (1904) pelo Engenheiro Agrônomo Edmundo Navarro de Andrade, que a serviço da Companhia Paulista de Estradas de Ferro foi até a Austrália com o objetivo de encontrar uma árvore com dupla aptidão: fornecer carvão para as locomotivas e madeira para os postes e dormentes das estradas de ferro na região Sudeste. Vendo o potencial do eucalipto, a Companhia Paulista iniciou em 1909 a construção do Horto Florestal de Rio Claro para expandir a produção de mudas e espécies do eucalipto. Inicialmente foram plantadas 144 espécies diferentes somando no total 38 milhões de árvores (MARTINI, 2004).

Economicamente o setor florestal brasileiro, até o ano de 1965, era pouco expressivo, tanto que as atividades de manejo das florestas plantadas e nativas eram insignificantes e realizadas, na sua grande maioria, em pequena escala e em condições de baixo emprego de tecnologia e gestão. A produção de carvão vegetal tinha como fonte de matéria-prima as florestas nativas. Nesta época, poucos empregos eram gerados e o país importava quase todo o produto florestal industrial. Além disso, não havia interesse por parte dos produtores rurais e empresários florestais em investir em projetos de reflorestamento devido, entre outras coisas, a baixa rentabilidade, ao longo prazo de maturação e aos riscos elevados. Com a política de incentivos fiscais ao reflorestamento, que vigorou de 1965 a 1988, ocorreu um crescimento significativo da área reflorestada no país. Os gêneros florestais que mais se destacaram foram *Pinus* e *Eucalyptus* devido ao rápido crescimento, à boa qualidade da madeira, à adaptabilidade ao clima e ao solo das regiões sul e sudeste. Com o fim dos incentivos fiscais, a taxa de aumento das áreas plantadas no Brasil praticamente foi nula, enquanto o aumento na demanda por madeira continuou crescente, passando a consumir madeiras de antigos povoamentos florestais a longas distâncias, rotulados anteriormente de inviáveis (VALVERDE et al., 2005).

Atualmente, frente à necessidade de conservação das matas nativas, devido a crescente pressão para conservação ambiental, e associada às características de crescimento

e adaptação do eucalipto, a produção voltou a ganhar força. Assim, iniciou-se a motivação para destinar essa produção também para madeira serrada em diversas aplicações (JANKOWSKY et al., 2000). Esta necessidade de reduzir o uso da madeira de florestas naturais tem no plantio de eucalipto uma alternativa rentável e ambientalmente conservacionista, além de uma base técnico-científica graças às evoluções tecnológicas e de manejo.

Dados do IBGE (2014) apontam que a área plantada com eucaliptos no Brasil atingiu 6.951.145 de hectares. Sendo que os estados com maior produção em ordem decrescente são: Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Bahia, Santa Catarina e Espírito Santo.

O principal motivo que direciona na escolha das espécies de eucalipto a ser plantada é a demanda do mercado por determinado produto. As espécies a serem escolhidas devem apresentar as melhores características para determinadas funções, que aliadas às características edafoclimáticas da região, resultarão no melhor retorno econômico. Segundo Angeli et al. (2005), as espécies indicadas em função do uso são:

Celulose: *E. alba*, *E. dunnii*, *E. globulus*, *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla* e *E. grandis* x *E. urophylla* (híbrido).

Lenha e carvão: *E. brassiana*, *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. crebra*, *E. deglupta*, *E. exserta*, *E. globulus*, *E. grandis*, *E. maculata*, *E. paniculata*, *E. pellita*, *E. pilularis*, *E. saligna*, *E. tereticornis*, *E. tessellaris* e *E. urophylla*.

Serraria: *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. dunnii*, *E. globulus*, *E. grandis*, *E. maculata*, *E. maidenii*, *E. microcorys*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. propinqua*, *E. punctata*, *E. resinifera*, *E. robusta*, *E. saligna*, *E. tereticornis* e *E. urophylla*.

Móveis: *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. deglupta*, *E. dunnii*, *E. exserta*, *E. grandis*, *E. maculata*, *E. microcorys*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. resinifera*, *E. saligna* e *E. tereticornis*.

Laminação: *E. botryoides*, *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. maculata*, *E. microcorys*, *E. pilularis*, *E. robusta*, *E. saligna* e *E. tereticornis*.

Caixotaria: *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. pilularis* e *E. resinifera*.

Construções: *E. alba*, *E. botryoides*, *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. deglupta*, *E. maculata*, *E. microcorys*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. resinifera*, *E. robusta*, *E. tereticornis* e *E. tessellaris*.

Dormentes: *E. botryoides*, *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. crebra*, *E. deglupta*, *E. exserta*, *E. maculata*, *E. maidenii*, *E. microcorys*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. propinqua*, *E. punctata*, *E. robusta* e *E. tereticornis*.

Postes: *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. maculata*, *E. maidenii*, *E. microcorys*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. punctata*, *E. propinqua*, *E. tereticornis* e *E. resinifera*.

Estacas e moirões: *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. paniculata*.

Óleos essenciais: *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. exserta*, *E. globulus*, *E. smithii* e *E. tereticornis*.

Dependendo da função econômica do plantio desejada, o cultivo de eucalipto torna-se rentável a médio ou a longo prazo, e durante o desenvolvimento da floresta há a necessidade por parte do produtor de obter renda a curto prazo para mantê-la e também arcar com os diversos custos da propriedade. Em alguns casos o produtor se vê limitado pela ocupação do solo pelo plantio do eucalipto e assim, uma alternativa para o ganho com a floresta em curto prazo pode ser feito por meio do desbaste ao longo dos anos até a colheita do eucalipto, porém, em pequenas áreas o ganho com o desbaste é pouco significativo, levando o produtor buscar outras alternativas de obtenção de recurso.

Muitos estudos têm sido realizados no intuito de explorar alternativas de ocupação do solo abaixo do eucalipto em sistemas agroflorestais, a fim de aproveitar a radiação que atravessa a floresta e as condições de microclima criadas pelas árvores. Em boa

parte dos estudos realizados com consórcio de eucalipto com espécies agrícolas, o espaçamento e a idade da floresta são as principais variáveis que influenciam os resultados de produtividade das culturas associadas as árvores. As variáveis idade e espaçamento são importantes pois elas determinam se haverá radiação suficiente para o desenvolvimento das plantas agrícolas associadas. No entanto, estudos com o objetivo de estudar a quantidade de radiação disponível para o desenvolvimento de culturas consorciadas, tendo como influência das variáveis de índice de área foliar e taxa de absorção de radiação das árvores são escassos. Além disso, o efeito das práticas de manejo de desrama e desbaste sobre a radiação restante abaixo das árvores também carece de maiores estudos.

Os objetivos deste trabalho foram determinar qual a influência das espécies, e das práticas de manejo de desrama e desbaste do eucalipto sobre quantidade de radiação fotossinteticamente ativa disponível para o desenvolvimento de vegetação sob a floresta e calcular o índice de área foliar e a taxa de interceptação de radiação das árvores utilizando a radiação fotossinteticamente ativa.

Tendo como hipótese base que as espécies de eucalipto, as práticas de desrama e desbaste têm influência sobre o índice de área foliar e na taxa de absorção das árvores, conseqüentemente alterando as quantidades de radiação fotossinteticamente ativa disponível para as plantas sob a floresta.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Radiação Solar

A irradiação solar, mais comumente chamada de radiação solar, quando considerada como uma onda, possui um comprimento e uma frequência. Ela também pode ser considerada como fluxo de partículas, chamado de fótons, ou quanta (TAIZ et al., 2015). A radiação solar é de todos os fatores ambientais o mais importante, responsável por regular a fotossíntese e, conseqüentemente, a sobrevivência das plantas, seu crescimento e adaptação (ABOUZIENA E ABD EL WAHED, 2013).

Abouziena e Abd El Wahed (2013) citaram que em todo o habitat a intensidade da luz varia temporalmente (sazonalmente e diariamente) e espacialmente (ZERVOUDAKIS et al., 2012). Assim, os vegetais desenvolveram aclimação e plasticidade para lidar com os regimes de luz variadas (ZHANG et al., 2003). A maioria das espécies de plantas têm a capacidade de desenvolver alterações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas em resposta às diferentes intensidades de luz (PAIVA et al., 2003; ZHANG et al., 2003; ZERVOUDAKIS et al., 2012). Chapman e Carter (1976) estabeleceram o limite mínimo para se ter uma resposta fototrópica, na maioria das plantas o mesmo encontra-se entre 100 e 200 foot candle (1 foot candle é de cerca de 10,764 Lux). Porém, intensidades de luz tão baixas quanto 10 lux (0,93 foot candle), que ocorre no crepúsculo, podem gerar uma resposta fototrópica (VERGARA, 1978).

De todo espectro da radiação solar, uma faixa merece destaque; a da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA). Essa faixa tem como característica ser visível e é responsável pela ativação da fotossíntese nas plantas. Citada por Taiz et al. (2015) como podendo ser medida por sensores que captam ondas de 400 a 700 nm, essa radiação pode ser expressa em função de energia (W m^{-2}) ou quanta ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (MCCREE, 1981) ou ainda, em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. É importante notar que o RFA é uma medida do tipo de irradiância. Na pesquisa sobre a fotossíntese, quando RFA é expressa em uma base quântica, muitas vezes é dado o termo espacial "densidade fluxo de fótons fotossintéticos". No entanto Holmes et al. (1985) sugeriu que o termo "densidade" seja retirado, porque no Sistema Internacional de Unidades pode significar a área ou volume.

A RFA sofre variações estacional e também pelo estado do tempo no local de coleta. Isso pode ser verificado quando é feita a relação da RFA com a Radiação Global: a variação sazonal e da cobertura do céu na relação entre a radiação fotossinteticamente ativa e global é da ordem de aproximadamente 50%, sendo menor no inverno (39,13%), período caracterizado, no local, por dias de céu aberto e maior no verão (44,07%) para dias nublados. (FRISINA et al., 1998).

A radiação solar é usada pelas plantas na fotossíntese para converter dióxido de carbono da atmosfera em componentes de carbono orgânico para seu crescimento, respiração e reprodução. O limite superior de conversão de energia em cultivos florestais é provavelmente em torno de 6% da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) baseado em resultados de experimentos agrícolas (Jarvis e Leverenz, 1983). Linder (1985) calculou que se toda radiação incidente (RFA) fosse interceptada e convertida em biomassa com uma conversão eficiente em 6%, o potencial de produção de biomassa (matéria seca acima do solo) na Austrália seria de $80 \text{ ton ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, em Hobart ($2,6 \text{ GJ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$) a $100 \text{ ton ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ no norte da Austrália ($3,7 \text{ GJ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$). Os máximos valores reportados de produtividade estão bem abaixo do potencial de produção estimado (CROMER, 1995).

A RFA é uma importante variável para as áreas da biologia, ecologia e agricultura, mas em dados meteorológicos de rotina a mesma não é observada, ou se existe essa observação, é levada em pouca consideração em relação a outras variáveis. O cálculo anterior de quantidade de RFA muitas vezes usado na metodologia em climatologia experimental mostra que a proporção de radiação fotossinteticamente ativa em relação à radiação global apresenta valores de 60%. A tendência de variação diária da RFA em um dia ensolarado apresenta um padrão de pico único mais alto ao meio-dia e baixo no começo da manhã e no final da tarde. Já em dias nublados, a variação diária RFA flutua enquanto existe mudanças de cobertura das nuvens, e a RFA em dias nublados é maior do que em dias de céu limpo. Também existe uma variação anual, uma tendência que é menor no inverno e na primavera, porém maior no verão e outono. As causas dessa variação nas medições está relacionada com a elevação solar, cobertura de nuvens, vapor de água e poeira em suspensão na atmosfera. Em alguns casos essas variações são muito complexas, sendo necessários mais estudos (LIU et al., 2007).

Sob a radiação solar direta, a RFA é de cerca de $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, embora os valores mais altos podem ser medidos em altitudes elevadas, sendo que esse valor correspondente em unidades de energia é de cerca de 400 W m^{-2} . (TAIZ et al., 2015).

De acordo com Baumgartner (1956) grande parte da radiação que ultrapassa o dossel está dentro da faixa do infravermelho, emitida pelos corpos, já a irradiância dentro da faixa do visível é mais restritiva que a infravermelha. Czarnowski e Slomka (1959) descobriram que no chão de uma floresta de pinheiros com 25 anos, a luz direta e a luz difusa pelo dossel não supera 50 % da luz original. Grande parte da luz que entra abaixo do dossel é difusa, já a direta é dispersa pela cultura e pela atmosfera (REIFSNYDER & LULL, 1965). A difusa é o resultado da suavização e reflexão da luz direta. Ela permite que algumas espécies de plantas se desenvolvam abaixo das árvores de uma floresta pois existem plantas adaptadas a essa situação como o caso da espécie *Euterpe edulis* (Jussara) que necessita da cobertura de árvores para seu desenvolvimento inicial.

Existem algumas espécies que são exigentes em radiação direta, porém a conversão da radiação fotossinteticamente ativa das culturas é baixa, não atingindo 1% para a maioria das mesmas. Em condições ótimas registram-se eficiências de 3 a 4% para plantas do tipo C3 e de 5% a 6% para plantas do tipo C4 (BERNARDES, 1987).

A produtividade de matéria seca em plantas madeireiras, assim como em culturas agrícolas temperadas, foi encontrada como sendo linearmente relacionada com a acumulação da energia radiante interceptada pela folhagem (Jarvis e Leverenz, 1983).

A produtividade real de uma cultura é determinada pela interação entre ambiente e fatores genéticos. Em comum com outras culturas, a produtividade de eucalipto plantado é diretamente relacionado com a quantidade de radiação solar interceptada pela folhagem do dossel. Muitos estudos têm demonstrado a forte relação entre produção de matéria seca e energia radiante interceptada pela folhagem, sendo evidente que qualquer incremento na produtividade de uma cultura florestal primeiramente necessita de um incremento no índice de área foliar, a fim de interceptar uma maior proporção de energia disponível. Porém, existem outras razões para o IAF ser menor do que o ótimo em casos particulares, pois, existe um número de outras limitações, sendo as principais: estresse nutricional, estresse hídrico, efeito da temperatura e propriedades físicas do solo. Essas limitações ambientais de crescimento do eucalipto podem ser melhoradas por tratamentos

silviculturais aplicados antes e depois do plantio, acrescentando assim a interceptação da radiação e crescimento (CROMER, 1995).

Em estudos agrícolas e florestais, a RFA pode ser utilizada para o cálculo de indireto de uma importante variável, o Índice de Área Foliar (IAF) razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$), através de um método indireto pela adaptação da lei de Lambert-Beer, onde pode-se estimar a transmissão da radiação em uma cultura, para isso requer o conhecimento da densidade do fluxo de radiação acima da mesma e abaixo da mesma e o fator conhecido como coeficiente de extinção da luz (LINDER, 1985).

Estudos relacionados com morfologia, anatomia e ecofisiologia vegetal, permite a obtenção de um indicador fundamental para a compreensão das respostas da planta a fatores ambientais específicos (LOPES et al., 2004; MORAES et al., 2013). Os métodos indiretos são os mais fáceis e a maneira mais rápida de estimação do IAF que vem sendo amplamente aplicado (NACKAERTS et al., 2000; WELLES & COHEN, 1996; SANCHES et al., 2008).

Borges (2009) cita que a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel é determinada considerando o índice de área foliar (IAF) e a RFA, mediante a utilização da lei de Beer. Além disso, a lei de Beer tem sido utilizada em vários modelos ecofisiológicos (Century, Cenw, Fullcam, G'day, Gendec, Grazplan, Linkages, e Promod) desenvolvidos na Austrália (WANG, 2001). Um simples modelo (lei de Lambert-Beer) é usado para estimar a transmissão da luz em uma cultura, que requer o conhecimento da densidade do fluxo de radiação acima da mesma, o índice de área foliar (IAF) da cultura e o fator conhecido como coeficiente de extinção da luz (LINDER, 1985). Segundo Borges (2009) a lei de Beer descreve simplificadamente o decréscimo exponencial da luz ao percorrer verticalmente toda extensão da cobertura vegetal. Em uma cobertura foliar razoavelmente homogênea, a atenuação da radiação pode ser calculada por meio da equação de extinção de luz (lei de Lambert-Beer) (LARCHER, 2004):

$$I_z = I_o \cdot e^{-K \cdot IAF}$$

Em que:

I_z = intensidade da radiação a uma determinada altura dentro da cobertura vegetal, RFA abaixo do dossel ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$);

I_o = intensidade da radiação no topo da cobertura vegetal, RFA acima do dossel ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$);

K = coeficiente de extinção, representa o grau de diminuição da radiação no interior da cobertura vegetal, seja por absorção ou espalhamento;

IAF = Índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$).

No entanto, o essa equação apresenta limitações, referentes ao coeficiente de extinção da luz (K), Queiroz (2013) citou que é frequente haver para a mesma espécie diferentes estimativas de valores de K, devido as diferenças na estrutura do copado, protocolos de amostragem, ângulos solar zenital e azimutal, ou, inclusivamente, nos métodos utilizados para o desenvolvimento dos modelos. Portanto, os valores de K são específicos para determinadas condições de avaliação e dificilmente a aplicação do modelo de Beer-Lambert com um valor de K calculado sob determinadas circunstâncias produzirá estimativas rigorosas do IAF numa situação em que as condições não sejam mantidas idênticas para árvores espaçadas. Assim, o valor de K poderá ser mais complicado do que a simples atribuição de um valor fixo, como é feito na forma mais geral da aplicação da Lei de Beer-Lambert. O autor conclui que é questionável que o K seja um só em função da espécie, como é geralmente considerado, ignorando as características do povoamento.

O total de energia no ambiente absorvida pelos dosséis das árvores é uma variável determinante da transpiração e fotossíntese, com aplicação em agricultura e estudos ambientais. Em espécies de árvores, é importante determinar as relações da energia radiante com as plantas, que dependem da geometria da copa das árvores e folhas,

densidade de área, espaçamento entre árvores e outros fatores que determinam as perdas e os ganhos de energia, as medições, bem como as estimativas complexas devido ao número de fatores envolvidos (Angelocci et al., 2004). Eloy et al. (2012) cita que a energia de radiação solar absorvida pelo dossel vegetativo é uma variável de grande importância, pois diversos processos fisiológicos das plantas relacionam-se diretamente com a quantidade de RFA, radiação global incidente e temperatura do ar, influenciando na eficiência do desenvolvimento das plantas (CARON, 2003). Além disso, a energia de radiação solar absorvida pelas plantas é fator determinante da taxa fotossintética e pode limitar a produção e o acúmulo de biomassa (PILAU, 2005).

Caron et al. (2012) citou que o conhecimento da interceptação da radiação luminosa pela copa das árvores sob espaçamentos variados permite ao silvicultor avaliar a necessidade e o planejamento adequados de intervenções, tais como roçadas, capinas ou uso de produtos químicos, possibilitando o melhor aproveitamento desses recursos. Nos espaçamentos menores, devido à rápida formação do dossel, a necessidade de tratamentos culturais é menor quando comparadas aos espaçamentos maiores. Esse fato também está relacionado com a disponibilidade de radiação luminosa, já que a quantidade dessa variável meteorológica para as plantas daninhas é diminuída à medida que ocorre o fechamento do dossel pela cultura.

Em alguns casos, parte da energia que passa pelas copas, é o suficiente para o desenvolvimento de plantas abaixo das árvores. Williams (1994) estabeleceu limites para o crescimento e desenvolvimento de plantas, ele afirmou que as plantas que crescem com irradiância maior que $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ exibem um crescimento e desenvolvimento RAZOÁVEL. Plantas que crescem entre 100 e $199 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ exibem um crescimento e desenvolvimento adequado, enquanto as plantas cultivadas com menos do que $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ exibem crescimento abaixo do adequado ou inadequado.

2.2. Sistemas agroflorestais com Eucalipto

Em um estudo com consórcio de eucalipto *E. grandis* no espaçamento de 3 x 2 metros com milho de Passos et al. (1992) teve como resultados: a interação que mais se destacou foi obtido com a intercalação de três fileiras de milho no plantio do eucalipto; a produção de grãos foi afetada pelo aumento do número de fileiras de milho; e os sistemas agroflorestais mostraram-se mais eficientes no uso da área, proporcionando uma redução na área plantada de até 66% e uma redução de até 20% no custo de implantação do eucalipto; o uso do sistema agroflorestal pode ser uma alternativa para a redução dos custos florestais, tanto para a empresa como para o produtor rural em programas de fomento florestal.

Schreiner e Baggio (1989) estudaram o sistema agroflorestal entre a soja (*Glycine max* L.) e o eucalipto, no espaçamento de 3 x 2 metros, concluiu-se que houve uma tendência para o incremento da altura do eucalipto no sistema consorciado.

Em outro estudo realizado por Schreiner (1989), com sistema agroflorestal de soja com o eucalipto (*E. grandis*) no espaçamento de 3 x 2 metros. Concluiu que, até dezoito meses da implantação, a soja não prejudicou o eucalipto e favoreceu o seu crescimento. O volume de madeira, nos sistemas consorciados, foi em média de $49,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, já o plantio solteiro foi de $37,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. As densidades de plantio não afetaram a soja mas, tenderam a uma maior produtividade de 1.734 kg/ha na densidade populacional de 400.000 plantas/ha. Além de que a soja incrementou 30% sobre o custeio. A soja também impediu o desenvolvimento das plantas daninhas sem afetar negativamente o eucalipto. Os melhores resultados em produtividade foram com cinco linhas de soja, espaçadas de 0,5 m entrelinhas de eucalipto.

Schreiner e Balloni (1989), realizaram um estudo do feijão com eucalipto (*E. grandis*) em espaçamento de 3 x 2 metros até 35 meses, e verificaram que a implantação da floresta não afetou a cultura agrícola, mas favoreceram seu crescimento. Ainda nesse período o volume de madeira dos sistemas agroflorestais, em média, foi de $150,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, e $125,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ no monocultivo do eucalipto. Não houve influencia na cultura do feijão, registrando uma tendência de aumento de produtividade quando a densidade chegou a 200 mil plantas ha^{-1} (917 kg ha^{-1}). Houve um retorno de 30% do capital investido.

Stape e Martini (1992), estudaram o consórcio de arroz com o *E. grandis* e *E. saligna*, e obtiveram como resultados: que o arroz mostrou-se apto para consorciação com o eucalipto; a consorciação do eucalipto com arroz aumentou a produção volumétrica em 5%, na idade de 52 meses, comparativamente ao plantio solteiro. A partir destes resultados a empresa do estudo passou a utilizar o sistema agrofloresta, constatando que: a produção florestal da consorciação, em escala comercial, foi superior ao plantio solteiro, tanto para o *E. grandis* como para o *E. saligna*, com a mesma tendência dos resultados experimentais, evidenciando-se os efeitos benéficos desta prática agroflorestal; a melhor produtividade apresentada pelo eucalipto resultou em uma melhor taxa interna de retorno e menor custo de produção para o plantio consorciado, para as duas espécies de eucalipto; os ganhos de produtividade também resultaram em menores custos de corte e a remoção da madeira em relação aos plantios solteiros.

Oliveira (2005) realizou vários experimentos envolvendo espécies de *Eucalyptus* e *Brachiaria brizantha* em diferentes arranjos estruturais de sistemas agrosilvipastoris. Em termos de matéria natural e matérias seca o melhor resultado obtido para a gramínea foi no espaçamento 3 x 3 + 10 metros. Em outro experimento para verificar quais foram as maiores alturas de eucalipto aos 18 meses em diversos espaçamentos no sistema silvipastoril, as alturas das plantas foram maiores nos espaçamentos mais adensados (3,33 x 2 m, 3,33 x 3 m e 5 x 2 m). Já aos 27 meses para medição da DAP (diâmetro na altura do peito) verificou-se maior DAP nos espaçamentos 10 x 4 m seguido de 10 x 3 m, mostrando assim a influência do espaçamento no diâmetro da árvore, sendo que o espaçamento é um fator importante na hora do plantio em sistema silvipastoril para determinar o produto final.

Fontan (2007) estudou a dinâmica de copa de dois clones de eucalipto em sistema agroflorestal, com espaçamento 9,5 x 4,0m submetidos a três níveis de desrama zero, um terço e um quarto. A primeira desrama foi realizada aos nove meses de idade das plantas em todos os tratamentos e a segunda aos 15 meses somente para os tratamentos com duas desramas, feito em 80% das árvores antes do plantio de culturas. Apresentou como resultados que o clone de *E.camaldulensis* x *E. grandis* (clone 58) teve melhores resultados em termos de transmissividade de RFA por possuir uma copa menos densa que o clone de *E.urophylla* x *E. grandis* (clone 19), permitindo que as plantas abaixo dos eucaliptos fossem mais beneficiadas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Radiômetro

O aparelho utilizado para a coleta da RFA abaixo do dossel das árvores foi o radiômetro ELETM com um único sensor fotoelétrico específico para a banda da radiação fotossinteticamente ativa (banda visível 400 nm a 700 nm). Ele possui um visor aonde apresenta as leituras instantaneamente em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, possui uma chave para lateral na qual se pode multiplicar e dividir o valor apresentado em 10. Não possui capacidade de armazenamento, portanto as leituras eram anotadas em caderno. Seu único sensor possui um ângulo de visão de 180°, necessitando ser constantemente nivelado em relação ao solo. Calibrado para sensor SKP 210.

Figura 1. Radiômetro ELETM com sensor fotoelétrico específico de frente (esquerda) e de verso (direita).

3.2. Método de Leitura

As leituras da RFA utilizando-se o sensor foram padronizadas de forma que tenham características iguais, as leituras foram realizadas com o sensor a uma altura de 1,20 metros em relação ao solo, altura essa equivalente à altura dos radiômetros nos postos meteorológicos. Observando o experimento por cima, vemos que as leituras nas linhas (L) foram feitas na metade da distância entre uma árvore e outra e nas entrelinhas (EL), as leituras foram feitas no centro do quadrilátero formado por quatro árvores (A), conforme ilustrado na Figura 2:

Figura 2. Exemplificação do método de leitura para os todos os experimentos com espaçamento 3 x 2 m.

Devido ao fato do aparelho disponível possuir apenas um sensor e não uma barra de sensores onde o resultado seria uma média entre os mesmos. Foram coletados neste trabalho vinte um a cinquenta pontos por dia de coleta, utilizando os valores médios em cada ponto coletado. Assim, foi feita uma média no campo em cada ponto coletado com um raio de 30 cm, para evitarmos o erro de coletar no ponto valores extremos, pois o sensor pode ficar encoberto por uma folha e/ou galho, ou ainda pegar um feixe de luz que passou diretamente sem qualquer cobertura.

As coletas foram feitas durante os anos de 2015 e 2016, foram feitas três a cinco repetições em cada experimento tentando englobar os períodos de primavera-verão e outono-inverno. Os horários das coletas ocorreram dentro do período das 10 às 16 horas, período esse de maior intensidade do sol para leituras mais consistentes, a fim de evitar horários pós amanhecer e perto do crepúsculo onde há ocorrência de uma maior quantidade de radiação difusa. Quanto às condições atmosféricas durante a coleta, foram selecionados dias com céu aberto, sem nuvens e com velocidade do vento baixa ou nula.

3.3. Cálculo do Índice de Área Foliar através da Radiação Fotossinteticamente Ativa

Neste estudo foi utilizado um método indireto de estabelecer o IAF através da Lei de Lambert-Beer, adaptada:

$$IAF = \frac{\ln (RFAb/RFAa)}{-K}$$

Em que:

IAF = Índice de área foliar ($m^2 m^{-2}$);

RFAa = radiação fotossinteticamente ativa acima do plantio de eucalipto, nesse caso, leituras das estações ($\mu mol m^{-2} s^{-1}$);

RFAb = radiação fotossinteticamente ativa dentro do cultivo do eucalipto, utilizando-se a média de leitura de linhas e entrelinhas ($\mu mol m^{-2} s^{-1}$);

K = coeficiente de extinção da luz, que representa o quanto da radiação é dispersada ao passar pela cobertura vegetal. Neste caso 0,50 (GAZARINI et al., 1990; SANDS e LANDSBERG, 2002; BORGES, 2009).

Foram considerados neste estudo os valores padrões de IAF específicos para a eucalipto 2 a $4,5 m^2 m^{-2}$ (FOELKEL, 2005).

3.4. Cálculo da Taxa de Interceptação da Radiação

Para o cálculo de Taxa de Interceptação de Radiação, foi utilizada a equação de Eloy et al. (2012):

$$\% \text{ interceptação} = [100 - (RFAb \times 100/RFAa)]$$

Em que:

% interceptação = Taxa de Interceptação;

RFAa = radiação fotossinteticamente ativa acima do plantio de eucalipto, nesse caso leituras das estações ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$);

RFAb = radiação fotossinteticamente ativa dentro do cultivo do eucalipto, utilizando-se a média de leitura de linhas e entrelinhas ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$);

3.5. Critério de categorização para o desenvolvimento de plantas nas linhas e entrelinhas dos plantios de eucalipto

De forma a enquadrar em categorias a radiação fotossinteticamente ativa para o crescimento e desenvolvimento de uma forma geral para plantas situadas abaixo dos plantios de eucalipto, foi adaptado o critério utilizado por Williams (1994):

Em que:

Menor do que $99 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ é enquadrada como **INSUFICIENTE** para uma resposta fototrópica.

Entre 100 e $199 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ é enquadrada como **MÍNIMA**;

Entre 200 e 799 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ é enquadrada como **RAZOÁVEL**;

Maior que 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ é enquadrada como **IDEAL** para cultivos agrícolas exigentes em radiação, como por exemplo, o milho (EMBRAPA, 2010);

Para fins de conclusão deste trabalho foram considerados como aptos apenas os plantios de eucalipto que sob suas copas em suas entrelinhas e linhas atingiram os valores de RFA iguais ou superiores a 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ categorizados como **RAZOÁVEL** e **IDEAL**.

3.6. Calibração do aparelho e conversão de unidades

A calibração do aparelho Radiômetro ELETM foi realizada pela comparação dos dados coletados a campo frente aos dados das estações meteorológicas da ESALQ mais próximas das áreas coletadas. Em média os valores coletados a campo pelo Radiômetro ELETM apresentaram valores inferiores quando comparados com os valores de referência das estações em: 32,37% nos experimentos realizados em Piracicaba; 34,33% no experimento realizado em Itatinga; e 22,15% no experimento de Anhembi, sendo assim todos os valores coletados foram corrigidos a partir desses valores.

O presente estudo coletou dados de três estações meteorológicas da ESALQ, localizadas nas cidades de Piracicaba, Anhembi e Itatinga, cidades estas no interior do estado de São Paulo.

Na estação meteorológica da ESALQ de Piracicaba, Anhembi e Itatinga, foram utilizados os dados de Radiação Solar Global (RG), considerando o valor de 0,47, proporção de RFA na RG (ASSIS E MENDEZ, 1989) e, posteriormente, fazendo a conversão de W m^{-2} em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, através do fator de conversão de 0,219.

3.7. Estações Experimentais e Postos Meteorológicos da ESALQ

A Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz' (ESALQ) campus da USP localizado em Piracicaba, conta com um Posto Meteorológico nas dependências do Departamento de Engenharia de Biosistemas. No Posto são coletadas várias informações meteorológicas, da qual se utilizaram dados da Radiação Fotossinteticamente Ativa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), coletados pela estação automática a cada 15 minutos. As coordenadas do posto são: Latitude: 22° 42' 30" S e Longitude: 47° 38' 00" O e Altitude de 546 metros.

A Estação Experimental de Ciências Florestais de Anhembi (EECFA) é parte integrante da ESALQ e localiza-se na cidade de Anhembi-SP e está localizada a 90 km de distância do campus da ESALQ em Piracicaba. A estação conta com um Posto Meteorológico e para este estudo foram utilizados os dados de Radiação Solar (W m^{-2}), coletados pela estação automática a cada 30 minutos. As coordenadas da Estação são: Latitude: 22°40' S e Longitude: 48°10' O e Altitude 455 metros.

A Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI) também é parte integrante da ESALQ e localiza-se na cidade de Itatinga-SP e está localizada a 180 km de distância do campus da ESALQ em Piracicaba. A estação conta com um Posto Meteorológico e para este estudo foram utilizados dados de Radiação Solar (W m^{-2}), coletados pela estação automática a cada 30 minutos.

As coordenadas da Estação são: 23°10' S e Longitude: 48°40' O e Altitude 850 metros.

3.8. Experimento de avaliação de fileira dupla isolada Bairro Floresta, Piracicaba-SP

Este experimento foi realizado em uma propriedade rural particular, localizada no bairro Floresta em Piracicaba, esta área possui alguns plantios de *E. urophylla* X *E. grandis*. Para este experimento foi selecionada uma área com eucaliptos de 24 meses de idade plantados em fila dupla isolada com espaçamento 3 x 2 m. As linhas de plantio estão no sentido norte -sul e o terreno é levemente inclinado para leste com aproximadamente 80 árvores e tamanho 120 x 2 m.

Figura 3. *E. urophylla* X *E. grandis* fileira dupla isolada com espaçamento 3 x 2 m, cobertura do solo (esquerda) e vista de fora (direita) no Bairro Floresta em Piracicaba-SP.

No experimento de 24 meses, o objetivo foi calcular o índice de área foliar, comparar as taxas de interceptação nas entrelinhas e linhas e classificar quanto à possibilidade de crescimento e desenvolvimento de plantas situadas abaixo do plantio de *E. urophylla* X *E. grandis*.

3.9. Experimento de comparação entre espécies no Bairro Água Bonita, Piracicaba-SP

Este experimento foi realizado em uma propriedade rural particular, localizada no bairro Água Bonita em Piracicaba, utilizada pelo Grupo Florestal Monte Olimpo (GFMO) da ESALQ para a realização de experimentos com espécies de eucaliptos.

Dentre eles foi selecionada para este experimento uma área com eucaliptos de 60 meses de idade, espaçamento 3 x 2 m, com nove espécies: *E. camaldulensis*, *E. robusta*, *E. torelliana*, *E. urophylla*, IPEF 137, *E. saligna*, *E. propinqua*, *E. grandis* e *E. urophylla* X *E. grandis*. As linhas de plantio estão no sentido sudoeste - nordeste e o terreno é plano, cada tratamento contendo aproximadamente 100 plantas e tamanho de 30 x 20 m. Neste experimento o objetivo foi comparar entre as espécies, os índices de área foliar, as taxas de interceptação nas entrelinhas e linhas, e classificar quanto à possibilidade de crescimento e desenvolvimento de plantas situadas abaixo dos plantios.

Figura 4. *E. camaldulensis* cobertura do solo (esquerda) e vista do dossel (direita) no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Figura 5. *E. robusta* cobertura do solo (esquerda) e vista do dossel (direita) no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Figura 6. *E. torelliana* cobertura do solo (esquerda) e vista do dossel (direita) no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Figura 7. *E. urophylla* cobertura do solo (esquerda) e vista do dossel (direita) no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Figura 8. Espécies IPEF 137 cobertura do solo (esquerda) e vista do dossel (direita) no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Figura 9. *E. saligna* cobertura do solo (esquerda) e vista do dossel (direita) no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Figura 10. *E. propinqua* cobertura do solo (esquerda) e vista do dossel (direita) no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Figura 11. *E. grandis* cobertura do solo (esquerda) e vista do dossel (direita) no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Figura 12. *E. urophylla* X *E. grandis* cobertura do solo (esquerda) e vista do dossel (direita) no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

3.10. Experimento de avaliação de desrama no Bairro Água Bonita, Piracicaba-SP

Este experimento foi realizado em uma propriedade rural particular, localizada no bairro Água Bonita em Piracicaba, utilizada pelo Grupo Florestal Monte Olimpo (GFMO) da ESALQ para a realização de alguns experimentos com espécies de eucaliptos.

Dentre eles foi selecionada para este experimento uma área com eucaliptos de 12 meses de idade, espaçamento 3 x 2 m, com sete espécies: *E. urophylla*, H13, *E. grandis*, H15, I144, *E. citriodora*, VT01. As linhas de plantio estão no sentido sudoeste - nordeste e o terreno é plano, cada tratamento contendo aproximadamente 100 plantas e tamanho de 30 x 20 m. A desrama foi realizada em 1/3 da copa e a medição foi realizada uma semana depois da desrama. Neste experimento o objetivo foi comparar as mudanças ocorridas após a desrama nas espécies, em relação aos índices de área foliar, as taxas de interceptação nas entrelinhas e linhas, e classificar quanto à possibilidade de crescimento e desenvolvimento de plantas situadas abaixo dos plantios.

Figura 13. Espécies antes da desrama (esquerda) e depois da desrama (direita) no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

3.11. Experimento de comparação entre intensidades de desbaste na EECFI, Itatinga-SP

Na área experimental de Itatinga foram coletadas informações de uma área de com *E. grandis* com 228 meses de idade e espaçamento original de 3 x 2 m antes do desbaste, cada tratamento com tamanho aproximado 60 x 60 m, as linhas de plantio estão no sentido leste - oeste e o terreno é plano. O talhão sofreu ao longo do tempo desbastes seletivos para retirada de madeira e atualmente o experimento está com três graus de desbaste: 55%, 70% e 85%.

Figura 14. *E. grandis* com grau de desbaste de 55% na Estação Experimental de Ciências Florestais em Itatinga-SP.

Figura 15. *E. grandis* com grau de desbaste de 70% na Estação Experimental de Ciências Florestais em Itatinga-SP.

Figura 16. *E. grandis* com grau de desbaste de 85% na Estação Experimental de Ciências Florestais em Itatinga-SP.

Neste experimento o objetivo foi comparar entre os três graus de desbaste, o índice de área foliar, às taxas de interceptação nas entrelinhas e linhas e classificar quanto à possibilidade de crescimento e desenvolvimento de plantas situadas abaixo dos plantios.

3.12. Experimento de comparação entre espécies na EECFA, Anhembi-SP

Na experimental de Anhembi foram coletadas informações de um arboreto com 24 espécies de eucalipto, a área de cada espécie estava isolada das outras, sendo todas com idade de 12 meses e espaçamento 3 x 2 m, as linhas de plantio estão no sentido sudoeste - nordeste e o terreno é plano, cada tratamento contendo aproximadamente 144 plantas e tamanho de 36 x 24 m. São elas: *E. maculata*, *E. cloeziana*, *E. citriodora*, *E. pilularis*, *E. toreliana*, *E. phaeothrica*, *E. microcorys*, *E. deglupta*, *E. paniculata*, *E. tereticornis*, *E. brassiana*, *E. camaldulensis*, *E. exserta*, *E. saligna*, *E. botryoides*, *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. urophylla X E.grandis*, *E. pellita*, *E. propinqua*, *E. resinifera*, *E. dunni*, *E.torelliodora* e *E. robusta*.

Neste experimento o objetivo foi comparar entre as espécies, os índices de área foliar, as taxas de interceptação nas entrelinhas e linhas, e classificar quanto à possibilidade de crescimento e desenvolvimento de plantas situadas abaixo dos plantios.

3.13. Análise Estatística

A análise estatística foi realizada com o auxílio do programa computacional R. Em todos os experimentos foi realizada a análise de variância ANOVA e posteriormente o Teste Tukey a 5% para identificar a diferença entre as médias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Experimento de avaliação de fileira dupla isolada no Bairro Floresta, Piracicaba-SP:

Na Tabela 1 se observa que a RFA nas entrelinhas, se enquadra na categoria RAZOÁVEL (entre 200 e 799 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e nas linhas se enquadra na categoria IDEAL (acima de 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Tabela 1. Análise dos valores médios do Índice de Área Foliar (IAF), Taxa de Interceptação (TI) e Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) nas linhas e entrelinhas dos plantios de eucalipto *E. urophylla* x *E. grandis* com 2 anos de idade, espaçamento 3 x 2 m duplo único no Bairro Floresta em Piracicaba-SP.

Tratamento	IAF ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) *	TI (%)	RFA na linha ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Entrelinhas	1,76	66,61a	552,59b
Linhas		46,3b	888,63a

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste Tukey (5%)

*Valores de referência de IAF 2 a 4,5 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ (Foelkel, 2005).

O arranjo de plantio em fileiras duplas permite uma maior entrada de radiação nas linhas que nas entre as linhas, devido às linhas ficarem expostas em um dos lados, enquanto nas entrelinhas existe uma maior cobertura dada à união das copas das árvores.

4.2. Experimento de comparação entre espécies no Bairro Água Bonita, Piracicaba-SP:

Na Figura 17 observa-se que a espécie *E. torelliana* apresentou valor de IAF maior do que o esperado para o eucalipto. As espécies *E. robusta* e *E. camaldulensis* apresentaram valores menores, valores de referência 2 a 4,5 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ (Foelkel, 2005).

Figura 17. Índice de Área Foliar (m² m⁻²) nas espécies de eucalipto, no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Os valores TI apresentados na Figura 18 mostra a diferença entre as espécies, e que a TI nas linhas é maior que nas entrelinhas.

Figura 18. Taxa de Intercepção (%) nas espécies de eucalipto nas linhas e entrelinhas, no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Nos valores de RFA observados na Figura 19, nas linhas, as espécies *E. camaldulensis*, *E. robusta*, *E. grandis*, *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. saligna* se enquadraram na categoria RAZOÁVEL (entre 200 e 799 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); as espécies *E. propinqua*, *E. urophylla* e IPEF 137 na categoria MÍNIMA (entre 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 199 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); e a espécie *E. torelliana* na categoria INSUFICIENTE (menor que 99 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Nas entrelinhas a RFA das espécies *E. camaldulensis*, *E. robusta*, *E. grandis*, IPEF 137, *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. saligna* se enquadraram na categoria RAZOÁVEL (entre 200 e 799 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); a espécie *E. propinqua* na categoria MÍNIMA (entre 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 199 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); e a espécie *E. torelliana* na categoria INSUFICIENTE (menor que 99 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), (Williams, 1994).

Figura 19. Radiação Fotossinteticamente Ativa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nas espécies de eucalipto nas linhas e entrelinhas, no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

A diversidade de valores das variáveis IAF e TI resultam em diferentes valores de radiação disponível abaixo da floresta. Um exemplo de dois extremos dessas diferença são *E. torelliana* (maior IAF e TI) versus *E. camaldulensis* (menor IAF e TI) conforme pode ser observado na Figura 23. A característica de folhas lanceoladas longas e estreitas do *E. camaldulensis* permite a passagem de radiação para um crescimento vigoroso de plantas abaixo da floresta, e no *E. torelliana* com folhas lanceoladas curtas e largas permitem que pouca radiação passe através do dossel, refletindo em crescimento ralo e/ou inexistente.

Figura 20. Diferença no crescimento de gramíneas abaixo das espécies em ambas as fotos a espécie *E. camaldulensis* (esquerda) e *E. torelliana* (direita) no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Analisando o experimento de influência de espécies com 9 espécies de eucalipto, espaçamento 3 x 2 metros e 60 meses de idade, conclui-se que algumas das espécies têm um IAF, TI e RFA similares e outros bem distintos. A similaridade ou distinção entre as espécies advêm das suas características físicas e morfológicas, que ao interagirem com o meio resultando nas variáveis analisadas, sendo as características mais marcantes nesses casos foram: O formato da folha lanceolado, que apesar de característico varia desde o mais estreito e alongado do *E. camaldulensis* até o mais largo e curto do *E. torelliana*; E a densidade de copa que resulta da quantidade de galhos, quantidade de folhas por ramo e formato da copa.

Também foi possível observar que nas espécies o IAF está atrelado com a TI, quando a variável IAF é relativamente alta a TI também apresenta valor alto.

Tabela 2. Resumo dos resultados dos valores médios do Índice de Área Foliar (IAF); da Taxa de Intercepção (TI) e da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) nas linhas e entrelinhas de plantios de 9 espécies de eucalipto com 60 meses de idade, espaçamento 3 x 2 m no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Tratamentos	IAF (m ² m ⁻²) *	TI nas linhas (%)	TI nas entrelinhas (%)	RFA nas linhas (μmol m ⁻² s ⁻¹) **	RFA nas entrelinhas (μmol m ⁻² s ⁻¹) **
<i>E. torelliana</i>	5,67a	95,62a	90,69a	42,63d	89,89d
<i>E. propinqua</i>	3,97b	87,15ab	82,05ab	120,79cd	166,43cd
<i>E. saligna</i>	3,57bc	80,01bc	70,99bc	212,47bc	306,71bc
<i>E. urophylla</i>	3,36bc	82,90bc	74,91bc	159,98bc	233,40cd
IPEF 137	3,01cd	78,66bcd	68,83bcd	195,58bc	289,20bc
<i>E. grandis</i>	2,45de	74,00cde	55,97de	240,81ab	409,90ab
<i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i>	2,07e	66,69e	60,79cde	231,17abc	230,34cd
<i>E. robusta</i>	1,87e	67,58de	46,76e	218,41bc	385,78ab
<i>E. camaldulensis</i>	1,72e	65,13e	47,23e	333,61a	504,99a

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem pelo **teste Tukey** (5%)

*Valores de referência de IAF 2 a 4,5 m² m⁻² (Foelkel, 2005).

**Valores de RFA: RAZOÁVEL (entre 200 e 799 μmol m⁻² s⁻¹) (Williams, 1994).

4.3. Experimento de avaliação de desrama no Bairro Água Bonita, Piracicaba-SP:

Após a realização da desrama espera-se uma diminuição nos valores de IAF e isso se confirmou na maioria dos casos com a exceção do *E. grandis* e H15 onde não houve diferença significativa, conforme observado na Figura 21. Nos casos das espécies VT 01 e *E. urophylla* que tinham o maior IAF, coincidentemente tiveram as maiores perdas de IAF depois da desrama. Porém, isso também ocorreu com a espécie *E. citriodora* que possuía o menor IAF antes da desrama e mesmo assim foi o terceiro com maior perda depois da desrama.

Figura 21. Índice de Área Foliar ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) nas espécies de eucalipto antes e depois da desrama, no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Após a realização da desrama também é esperado um decréscimo nos valores TI na linha, o que foi confirmado na maioria dos casos e apresentado na Figura 22. As espécies H15 e *E. grandis* não houve diferença significativa. Nas entrelinhas a diminuição da taxa foi confirmada na maioria dos casos, porém, em geral essa queda foi menor do que as ocorridas nas linhas, não superando os 13%. No caso das espécies H13 e *E. grandis* houve acréscimo na taxa, o que pode ser considerado adverso.

Figura 22. Taxa de Intercepção (%) nas espécies de eucalipto antes e depois da desrama, no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Na Figura 23 observa-se que a RFA nas linhas antes da desrama nas espécies H15, *E. grandis* e *E. citriodora* enquadraram-se na categoria MÍNIMA (entre $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $199 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); as outras espécies H13, I144, VT 01 e *E. urophylla* na categoria INSUFICIENTE (menor que $99 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Depois da desrama nas espécies H13, I144, VT 01, *E. urophylla* e *E. citriodora* as mesmas enquadraram-se na categoria RAZOÁVEL (entre 200 e $799 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); as espécies H15 e *E. citriodora* mantiveram-se na categoria MÍNIMA (entre $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $199 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

A radiação nas linhas das espécies *E. citriodora*, *E. urophylla* e VT 01 foram as que sofreram maior alteração após a desrama. No comparativo de antes e depois da desrama era esperado um aumento na média de radiação após a desrama, e isso foi confirmado na maioria dos casos, na espécie H15 não houve diferença significativa.

Na Figura 23 observa-se que a RFA antes da desrama nas entrelinhas nas espécies H15 e *E. grandis* enquadraram-se na categoria RAZOÁVEL (entre 200 e $799 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); as espécies I 144, H 13 e *E. citriodora* na categoria MÍNIMA (entre $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $199 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); as espécies VT 01 e *E. urophylla* na categoria INSUFICIENTE (menor que $99 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Depois da desrama nas entrelinhas nas espécies H15, I144 e *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. citriodora* enquadraram-se na categoria RAZOÁVEL (entre 200 e $799 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

s^{-1}); as espécies H13 e VT 01 na categoria MÍNIMA (entre $100 \mu\text{mol m}^{-2} s^{-1}$ e $199 \mu\text{mol m}^{-2} s^{-1}$), (Williams, 1994).

A radiação nas entrelinhas das espécies *E. citriodora*, e as espécies H15 e I144 foram as que sofreram maior alteração após a desrama. Também no comparativo de antes e depois da desrama nas entrelinhas era esperado um aumento na média de radiação após a desrama, e isso foi confirmado na maioria dos casos, a espécie *E. grandis* não houve diferença significativa.

Figura 23. Radiação Fotossinteticamente Ativa ($\mu\text{mol m}^{-2} s^{-1}$) nas espécies de eucalipto nas linhas e entrelinhas, antes e depois da desrama, no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Através deste experimento, conclui-se que a desrama na maioria dos casos contribuiu para diminuir o IAF e a TI, e aumentar a RFA. Alguns casos foram considerados exceção uma vez que houve aumento no IAF e da TI e diminuição RFA após a desrama, sendo necessário maiores estudos para justificar esses fenômenos. Conclui-se também que antes da desrama nas linhas nenhum dos eucaliptos estudados apresentaram condições ideais para o desenvolvimento de plantas, já após a desrama as espécies H13, I144, VT01, *E. urophylla* e *E. citriodora* conseguiram alcançar os valores tidos como ideais. Nas entrelinhas, antes da desrama, as espécies H15 e *E. grandis* apresentaram condições ideais para o desenvolvimento de plantas e após a desrama, além das espécies H15 e *E. grandis*, as

espécies I144, *E. urophylla* e *E. citriodora* também alcançaram valores de radiação dentro da categoria RAZOÁVEL.

Tabela 3. Resumo dos resultados do comparativo de antes de depois da desrama dos valores médios do Índice de Área Foliar (IAF); da Taxa de Interceptação (TI) e da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) na linha e entrelinhas de plantios de 7 espécies de eucalipto com 12 meses de idade, espaçamento 3 x 2 m no Bairro Água Bonita em Piracicaba-SP.

Tratamentos (antes e depois)	IAF (m ² m ⁻²) *	TI nas linhas (%)	TI nas entrelinhas (%)	RFA nas linhas (μmol m ⁻² s ⁻¹)	RFA nas entrelinhas (μmol m ⁻² s ⁻¹)
VT01 antes	4,90a	91,45a	91,02a	42,33d	44,45e
<i>E. urophylla</i> antes	4,37ab	90,19a	85,43ab	65,61d	97,43de
<i>E. grandis</i> depois	3,58bc	88,02ab	77,35abcd	133,59d	252,73bcd
H13 antes	3,56bc	86,55abc	74,31abcd	89,96d	171,82cde
I144 antes	3,56bc	85,01abcd	79,97abc	87,53d	116,91cde
H13 depois	3,36c	74,97bcde	84,10ab	290,98bc	184,84bcde
H15 depois	3,22cd	89,36a	64,78cde	107,84d	357,05b
VT01 depois	3,18cd	70,55e	85,18ab	368,59b	185,45bcde
H15 antes	3,16cd	81,93abcde	68,86bcd	147,42d	254,07bcd
<i>E. grandis</i> antes	3,04cd	83,01abcde	64,82cde	131,48d	272,31bc
I144 depois	2,97cd	72,26de	80,30abc	342,30b	243,07bcd
<i>E. citriodora</i> antes	2,37de	74,07cde	60,32de	128,43d	196,54bcde
<i>E. urophylla</i> depois	1,97ef	46,11f	70,36bcd	647,19a	355,90b
<i>E. citriodora</i> depois	1,33f	46,07f	48,37e	744,7a	712,95a

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste Tukey (5%)

*Valores de referência de IAF 2 a 4,5 m² m⁻² (Foelkel, 2005).

4.4. Experimento de comparação entre intensidades de desbaste na EECFI, Itatinga-SP:

A Tabela 4 refere-se à comparação de intensidade de desbaste nas variáveis IAF e TI, em que foi possível observar uma relação entre o aumento da intensidade com a diminuição dos valores de IAF e TI quando comparados 55% x 85% e 55% x 70%, porém, no caso de 70% x 85% não houve essa relação. A RFA nas três intensidades de desbaste nas linha e nas entrelinhas se enquadraram na categoria RAZOÁVEL (entre 200 e 799 μmol m⁻² s⁻¹), (Williams, 1994).

Tabela 4. Comparação de intensidade de desbaste 55%, 70% e 85% sobre os valores médios do Índice de Área Foliar (IAF); da Taxa de Interceptação (TI) e da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) nas linhas e entrelinhas de plantios de eucalipto *E. grandis* com 228 meses de idade, espaçamento original 3 x 2 m na EECF em Itatinga-SP.

Intensidade de desbaste	IAF (m ² m ⁻²) *	TI nas linhas (%)	TI nas entrelinhas (%)	RFA nas linhas (μmol m ⁻² s ⁻¹)	RFA nas entrelinhas (μmol m ⁻² s ⁻¹)
55%	4,06a	82,93a	86,96a	229,49c	260,26c
85%	3,17b	77,26b	74,93b	346,75b	382,30b
70%	3,07c	67,74c	70,44b	491,93a	450,77a

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste Tukey (5%)

*Valores de referência de IAF 2 a 4,5 m² m⁻² (Foelkel, 2005).

A análise deste experimento afirma que o desbaste têm influencia sobre a alteração das variáveis IAF, TI e RFA e ainda, que com o desbaste seletivo criasse espaços aleatórios no talhão, o que influenciou nas variáveis; o melhor resultado foi na intensidade de desbaste de 70% pois apresentou o maior valor de RFA em relação ao de 85% e 55%.

4.5. Experimento de comparação entre espécies na EECFA, Anhembi-SP:

Na Figura 24 observa-se que as espécies *E. tereticornis*, *E. saligna*, *E. citriodora*, *E. microcoris*, *E. cloeziana*, *E. torelliodora* e *E. maculata* apresentaram valores de IAF menores que o esperado para o eucalipto de 2 a 4,5 m² m⁻² (Foelkel, 2005). No caso das espécies *E. cloeziana*, *E. torelliodora* e *E. maculata*, durante o período de coleta, as árvores não chegavam a atingir 2 m de altura, não havendo contato entre as plantas, seja nas linhas ou nas entrelinhas; já as espécies *E. torelliana*, *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. brassiana* apresentaram contato de ramos nas linhas e nas entrelinhas refletindo em IAF maiores.

Figura 24. Índice de Área Foliar (m² m⁻²) nas espécies de eucalipto, na EECF em Anhembi-SP.

Os valores TI apresentados na Figura 25 conseguiram expor a velocidade de desenvolvimento das espécies e a forma com que cada uma ocupa o espaço que lhe é oferecido, na maioria das espécies a TI na linha foi maior que nas entrelinhas, com exceção das espécies *E. grandis*, *E. robusta*, *E. tereticornis*, *E. citriodora* e *E. microcorys*.

Figura 25. Taxa de Intercepção (%) nas espécies de eucalipto, na EECF em Anhembi-SP.

Na Figura 26 observa-se que a RFA nas linhas das espécies *E. maculata* e *E. torelliodora* se enquadra na categoria IDEAL (acima de $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); as espécies *E. cloeziana*, *E. citriodora*, *E. pilularis*, *E. phaeothrica*, *E. microcoris*, *E. deglupta*, *E. paniculata*, *E. tereticornis*, *E. exserta*, *E. saligna*, *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. pellita*, *E. propinqua*, *E. resinifera*, *E. dunni* e *E. robusta*, se enquadraram na categoria RAZOÁVEL (entre 200 e $799 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); as espécies *E. botryoides*, *E. camaldulensis*, *E. torelliana* e *E. brassiana* na categoria MÍNIMA (entre $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $199 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Nas entrelinhas das espécies *E. maculata*, *E. torelliodora* e *E. cloeziana* se enquadra na categoria IDEAL (acima de $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); as espécies *E. citriodora*, *E. pilularis*, *E. phaeothrica*, *E. microcoris*, *E. deglupta*, *E. paniculata*, *E. tereticornis*, *E. exserta*, *E. saligna*, *E. botryoides*, *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. urophylla* x *E. grandis* (*E. urograndis*), *E. pellita*, *E. propinqua*, *E. resinifera*, *E. dunni* e *E. robusta* e *E. camaldulensis* se enquadraram na categoria RAZOÁVEL (entre 200 e $799 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); as espécies, *E. torelliana* e *E. brassiana* na categoria MÍNIMA (entre $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $199 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), (Williams, 1994).

Figura 26. Radiação Fotossinteticamente Ativa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nas espécies de eucalipto, na EECF em Anhembi-SP.

Diante dos resultados obtidos neste experimento, conclui-se que existem similaridades e distinções entre as espécies e a característica que mais afetou as variáveis estudadas foi a velocidade de crescimento inicial das espécies. Os *E. torelliana*, *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. brassiana* possuíam um crescimento inicial rápido tanto horizontal na produção de ramos e folhas como vertical em altura das árvores, produzindo assim uma copa densa; diferentemente dos *E. cloeziana*, *E. torelliodora* e *E. maculata* que possuem um crescimento inicial lento, com altura e tamanho de copa reduzido.

Figura 27. Diferença no crescimento inicial das espécies *E. urophylla* x *E. grandis* (esquerda) e *E. cloeziana* (direita) na EECF em Anhembi-SP.

Tabela 5. Resumo dos resultados dos valores médios do Índice de Área Foliar (IAF); da Taxa de Interceptação (TI) e da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) nas linhas e entrelinhas de plantios de 24 espécies de eucalipto com 12 meses de idade, espaçamento 3 x 2 m na EECF em Anhembi-SP.

Tratamentos	IAF (m ² m ⁻²) *	TI nas linhas (%)	TI nas entrelinhas (%)	RFA nas linhas (μmol m ⁻² s ⁻¹)	RFA nas entrelinhas (μmol m ⁻² s ⁻¹)
<i>E. torelliana</i>	3,92a	86,60a	84,63a	155h	178i
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	3,84a	83,77a	81,49ab	268fgh	300ghi
<i>E. brassiana</i>	3,53ab	83,05ab	82,34ab	153h	160i
<i>E. camaldulensis</i>	3,06bc	77,98abcd	77,46abc	199gh	204hi
<i>E. propinqua</i>	3,06bc	77,33abcd	75,67abc	311efgh	333fghi
<i>E. resinifera</i>	3,02bc	79,03abc	75,06abc	287efgh	342efghi
<i>E. urophylla</i>	2,98bc	74,31abcd	72,06bcd	416def	453def
<i>E. pilularis</i>	2,90bcd	76,71abcd	76,32abc	270efgh	274ghi
<i>E. grandis</i>	2,87bcd	66,03de	77,05abc	555cd	375efgh
<i>E. dunni</i>	2,82bcd	74,24abcd	75,45abc	353efg	336efghi
<i>E. pellita</i>	2,69cd	71,48bcd	68,58cde	430de	473cde
<i>E. deglupta</i>	2,64cde	73,87abcd	70,89bcde	316efgh	352efghi
<i>E. robusta</i>	2,62cde	70,39bcd	73,60abc	291efgh	259ghi
<i>E. paniculata</i>	2,21de	66,79cde	65,11cdef	402defg	423defg
<i>E. phaeothriza</i>	2,17def	65,61de	65,75cdef	416def	415efg
<i>E. botryoides</i>	2,16defg	68,32bcde	53,66fg	159h	316fghi
<i>E. exserta</i>	2,14defg	66,66cde	64,39cdef	302efgh	323fghi
<i>E. tereticornis</i>	1,94efg	56,49ef	60,89defg	394defg	354efghi
<i>E. saligna</i>	1,94efg	65,68de	56,62efg	227fgh	288ghi
<i>E. citriodora</i>	1,35fgh	43,84fg	46,54g	651bc	620cd
<i>E. microcoris</i>	1,32gh	42,25fg	48,28g	700bc	627bc
<i>E. cloeziana</i>	0,67hi	31,25gh	24,94h	797ab	870a
<i>E. torelliodora</i>	0,51hi	23,07hi	21,72hi	932a	949a
<i>E. maculata</i>	0,23i	11,78i	9,94i	803ab	820ab

Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem pelo teste Tukey (5%)

*Valores de referência de IAF 2 a 4,5 m² m⁻² (Foelkel, 2005).

5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como contribuição explicitar as diferenças entre as espécies de eucalipto pelo Índice de Área Foliar e a Taxa de Interceptação, ambas específicas para cada uma delas, como consequência dessas variáveis cada espécie apresenta diferentes quantidades de Radiação Fotossinteticamente Ativa disponível para as plantas sob os plantios. Além disso, através desse estudo conseguimos quantificar o ganho de Radiação Fotossinteticamente Ativa após a desrama, contribuindo para reforçar a utilização dessa prática em Sistemas Agroflorestais; também contribuiu para avaliar a consequência da realização de diferentes desbastes em plantios de eucalipto com mais idade sobre a RFA.

Podemos concluir com esse trabalho que as espécies de eucalipto que poderiam ser sugeridas para compor os Sistemas Agroflorestais são: *E. camaldulensis*, *E. robusta*, *E. grandis*, *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. saligna*, pois, apresentaram condições razoáveis de RFA tanto aos 12 meses como aos 60 meses de idade. Porém, somente as espécies *E. maculata*, *E. torelliodora* e *E. cloeziana* com 12 meses apresentaram condições ideais de RFA.

Conclui-se também que espécies com valores de IAF e TI maiores, resultam numa menor quantidade de RFA disponível, pois, essas espécies tem a capacidade de interceptar maior quantidade de Radiação, portanto, devem ser evitadas em Sistemas Agroflorestais. No entanto, se escolhidas para o uso desde o plantio, um estudo prévio a fim de avaliar a quantidade de RFA deverá ser realizado. No caso de plantios já existentes e com pretensão de transformá-lo em Sistemas Agroflorestais, as práticas de desrama e desbaste deverão ser feitas em virtude de criar condições de RFA suficientes para o desenvolvimento da vegetação sob o plantio de eucalipto.

Quanto ao método de cálculo pela Lei de Lambert-Beer conclui-se que é uma forma ágil, indireta e não destrutiva de se obter o IAF e que na maioria dos cálculos realizados neste trabalho os valores de IAF apresentaram-se dentro da faixa de referência específica para o eucalipto de 2 a 4,5 m² m⁻². Porém, existe a necessidade de um estudo para obter os diferentes valores de coeficiente de extinção da luz para as diferentes espécies de eucalipto, assim o cálculo do Índice de Área Foliar pela Lei de Lambert-Beer se torna mais acurado.

Conclui-se ainda que o estudo da TI é importante para determinar o quanto de radiação disponível é interceptada pela copa das árvores do eucalipto e o quanto desta radiação resta para o crescimento de plantas abaixo da floresta, refletindo diretamente nos valores de RFA.

Diante de todas as avaliações realizadas, conclui-se que para aperfeiçoar Sistemas Agroflorestais é importante que no manejo florestal escolham-se as espécies com melhores características, além de realizar as práticas silviculturais de desrama e desbaste.

REFERÊNCIAS

- Abouziena HF, Abd El Wahed MS (2013) Production Capability of Wheat Cultivars under Low Light Intensity (Date Palm Shade) Conditions and Some Bioregulators. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(8): 5178. Disponível em: <<http://www.aensiweb.com/old/jasr/jasr/2013/5176-5188.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2016.
- Angeli A, Barrichelo, LEG, Müller PH (2005) Indicações para a escolha de espécies de *Eucaliptus*. Instituto de Pesquisas Florestais (IPEF). Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp>>. Acessado em: 29 set. 2016.
- Angelocci, LR, Vila Nova NA, Coelho Filho MA, Marin FR (2004) Measurements of net radiation absorbed by isolated acid lime trees (*Citrus latifolia* Tanaka) *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 79 (5): 699-703. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/120659/1/1381.PDF>>. Acessado em: 29 set. 2016.
- Assis FN, Mendez MEG (1989) Relação entre Radiação Fotossinteticamente Ativa e Radiação Global. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, julho 24(7): 800.
- Baumgartner A (1956) Untersuchungen über den Warmer - und Wasserhaushalt eines jungen Waldes. *Deut. Wetterdienstes Ber.* 5 : 4-53. Translation 3760 by Dr. E. Pincher, Victoria, Australia. 116, mimeograph.
- Bernardes MS (1987) Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: Castro P.; Ferreira SO; Yamada T; *Ecofisiologia da produção agrícola*. Piracicaba: Potafos. 13-48.
- Borges JS, (2009) Parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. *Dissertação de Mestrado*, Viçosa-MG, 6-44.
- Caron BO, (2003) Influência da temperatura do ar e radiação solar no acúmulo de fitomassa da alface. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, 11(2):275-283.
- Caron BO, Lamego FP, Souza VQ, Costa EC, Eloy E, Behling A, Trevisan R (2012) Interceptação da radiação luminosa pelo dossel de espécies florestais e sua relação com o manejo das plantas daninhas. *Ciência Rural*, 42(1): 75-82. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012000100013&lng=en&nrm=iso>. Acesso 29 set. 2016.

- Chapman SR, Carter LP (1976) Crop Production: Principles and Practices. San Francisco: WH Freeman and Company, 146-163.
- CIB (2008) Conselho de Informações sobre Biotecnologia. Guia do Eucalipto: Oportunidades para um Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: http://cib.org.br/wp-content/uploads/2011/10/Guia_do_Eucalipto_junho_2008.pdf. Acessado em: 07 mar. 2017.
- Cromer RN (1995) Environmental Limitations to Growth of Plantation Eucalipts. The Role of Eucalypts and Other Fast Growing Species : Proceedings of the Joint Australian/Japanese Workshop Held in Australia, 27-36.
- Czarnowski M, Slomka J (1959) Some remarks on the percolation of light through the forest canopy. Ecology 40: 312-315.
- Eloy E, Caron BO, Behling A, Elli EF, Gean CM (2012) Influência do espaçamento na interceptação de radiação do dossel vegetativo de espécies arbóreas. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8(14): 685. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/2552459-Influencia-do-espacamento-na-interceptacao-de-radiacao-do-dossel-vegetativo-de-especies-arboreas.html>>. Acesso em: 15 set. 2016.
- EMBRAPA (2010) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cultivo do Milho: Clima e Solo. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/climaesolo.htm>. Acesso em: 09 mar. 2017.
- Foelkel C (2005) Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. Eucalyptus Newsletter, n. 2, out.
- Fontan, ICI (2007) Dinâmica de copa e crescimento de clones de eucalipto submetidos a desramaem sistema agroflorestal. Dissertação de mestrado. Viçosa - MG, 1: 15.
- Frisina VA, Gomes EN, Pasqual PH, Escobedo JF (1998) Estimativa da Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) em função do Índice de Claridade (Kt). Congresso Brasileiro de Meteorologia, Edição X. Brasília. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/13-6e2606c16249ca60fc051bf1d231f317.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2017.

- Gazarini LC, Araujo MC, Borralho N, Pereira JS (1990) Plant area index in Eucalyptus globulus plantations determined indirectly by a light interception method. *Tree Physiology*, 7: 107-113.
- Holmes MG, Klein W H, Sager JC (1985) Photons, flux, and some light on philology. *Hort. Sci.* 20: 29–31.
- IBGE (2014) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=5930&z=p&o=31&i=P>>. Acesso em: 29 set. 2016.
- Jankowsky IP, Santos GRV, Andrade, A (2000) Secagem da madeira serrada de eucalipto. *Actas de XV Jornadas Forestales de Entre Rios. Concordia.* 2:1-13.
- Jarvis PG, Leverenz JW (1983) Productivity of temperate, deciduous and evergreen forests. 233-280. In Large O L, Nobel PS, Osmond CB, Ziegler H *Ecosystem processes: mineral cycling, productivity, and man's influence. Volume 12 D in Physiological plant ecology: new series.* Springer-Verlag, New York, USA.
- Larcher W (2004) *Ecofisiologia Vegetal: O ambiente das plantas.* Tradução de Carlos Henrique Britto de Assis Prado. Revisão de Carlos Henrique Britto de Assis Prado & Augusto Cesar Franco. 3 ed. São Carlos: RiMa, 2004. 518p.
- Linder S (1985) Potential and actual production in Australian forest stands. In *Research for Forest Management*, eds. Landsberg, J.J. & Parson, W. Melbourne 11-51.
- Liu J, Li S, Liang H, Jiang C, Wang B, Ma J (2007) Study on the Features of the Photosynthetic Active Radiation (PAR) with Experimentations and Measurements. *Jornal of Natural Resources.* Disponível em: <http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotl-ZRZX200705002.htm>. Acesso em: 15 set. 2016.
- Lopes MC, Andrade I, Pedroso V, Martins S (2004) Modelos empírico para estimativa da área foliar da videira na casta Jaen. *Ciência e Tecnologia Vitivinicultura*, 19(2): 61-75.
- Martini AJ (2004) O plantador de eucaliptos: A questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade. Tese de mestrado. 3-108. Disponível em:< <http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/martini,aj.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2016.

- McCree KJ (1981) Photosynthetically active radiation. In Encyclopedia of Plant Physiology, New Series, Vol. 12A, Large O L, Nobel PS, Osmond CB, Ziegler, eds., Springer, Berlin, 41–55.
- Moraes L, Santos LK, Wisser TZ, Krupek RA (2013) Avaliação da área foliar a partir de medidas lineares simples de cinco espécies vegetais sob diferentes condições de luminosidade. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, 11(4): 381. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/viewFile/2413/1221>>. Acesso em: 15 set. 2016.
- Nackaerts K, Coppin P, Muys B, Hermy M (2000) Sampling methodology for LAI measurements with LAI-2000 in small forest stands. Agric. For. Meteorol, 101(4): 247-250.
- Oliveira TK (2005) Sistema agrossilvipastoril com eucalipto e braquiária sob diferentes arranjos estruturais em área de Cerrado. Tese de Doutorado .Lavras: UFLA, 45-64-117.
- Paiva SEA, Isaias RMD, Aguiar Vale FH, Queiroz CGD (2003). The influence of light intensity on anatomical structure and pigment contents of *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. cv. *purpurea boom* (Commelinaceae) leaves. Braz .Arch. Biol. Techn., 46: 617-624.
- Passos CAM, Fernandes EN, Couto L (1992) Plantio consorciado de *Eucalyptus grandis* com milho no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2., 1991, Curitiba. Anais. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1:409-421.
- Pilau, F. G (2005) Saldo de radiação da copa de laranjeira num pomar e de renques de cafeeiros: medidas e estimativas. Tese de Doutorado, ESALQ Piracicaba, 92.
- Queiroz RJS (2013) Estimativa do Índice de Área Foliar em Povoamentos de Pinheiro Bravo recorrendo a Inventário Florestal, Detecção Remota e Sistema de Informação Geográfica. Tese de Mestrado. Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, 10-13. Disponível em: <http://repositorio.ipvc.pt/bitstream/123456789/1162/1/Rogério_Queiros_10450.pdf>. Acesso em: 15 set. 2016.
- Reifsnyder WE, Lull HW (1965) Radiant Energy in Relation to Forests. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Technical Bulletin 1344: 21-77.
- Sanches L, Reis de Andrade N, Nogueira JS, Biudes MS, Vourlitis GL (2008) Índice de área foliar em floresta de transição amazônia cerrado em diferentes métodos de estimativa. Ciência e Natura, UFSM, 30(1): 57 - 69.

- Sands PJ, Landsberg JJ (2002) Parameterization of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. *Forest Ecology and Management*, 163:273-292.
- Schreiner HG (1989) Culturas intercalares de soja em reflorestamentos de eucaliptos no Sul - Sudeste do Brasil. *Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo*, 18/19(jun./dez):1-10.
- Schreiner HG, Baggio AJ (1989) Sistemas agroflorestais no Sul - Sudeste do Brasil. In: TALLER SOBRE DISEÑO ESTADÍSTICO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE SISTEMAS AGROFORESTALES, Curitiba. Apuntes. Curitiba: EMBRAPA-CNPq; [Roma]: FAO, 45-73.
- Schreiner HG, Balloni EA (1989) Consórcio das culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) no Sudeste do Brasil. *Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo*, jun. 12:83-104.
- Stape JL, Martini EL (1992) Plantio consorciado de *Eucalyptus* e arroz na região de Itararé-SP. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL, 2., 1991, Curitiba. Anais. Colombo: EMBRAPA-CNPq, 1:155-169.
- Taiz L, Zeiger E, Møller IM, Murphy A (2015) Plant physiology and development, Topic 9.1: Working with Light. Disponível em: <<http://6e.plantphys.net/topic09.01.html>>. Acesso em: 15 set. 2016.
- Valverde RS, Soares NS, Silva ML, Jacovine LAG, Neiva SA (2005) Mercado da madeira de eucalipto no Brasil. *Revista da Madeira – REMADE*, e. 88, março. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=704&>. Acesso em: 29 set. 2016.
- Vergara BS (1978) Crop response to light variations. In: Gupta US, ed. *Crop Physiology*. New Delhi: Oxford & IB Publishing Co, 137-156.
- Wang YP, (2001) Modelling radiation absorption by plant canopies. *NEE WORKSHOP PROCEEDINGS*: 18-20.
- Welles JM, Cohen S (1996) Canopy structure measurement by gap fraction analysis using commercial instrumentation. *Journal of Experimental Botany*, 47: 1335-1347.
- Williams, P.H. 1994 Wisconsin Fast Plants, Seeing the Light: When growing Fast Plants, the more light the better. Disponível em: <http://www.fastplants.org/pdf/activities/seeing_the_light.pdf>. Acesso em: 15 set. 2016.

- Zervoudakis G, Salahas G, Kaspiris G, Konstantopoulou E (2012) Influence of light intensity on growth and physiological characteristics of common sage (*Salvia officinalis* L.). Arch. Biol. Technol., 55(1): 89-95.
- Zhang S, Ma K, Chen L (2003) Response of photosynthetic plasticity of *Paeonia suffruticosa* to changed light environments. Environ. Exper. Bot., 49: 121-133z.