

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DA FERTILIZAÇÃO E DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA
NA PRODUTIVIDADE FLORESTAL E NA EFICIÊNCIA DO USO DA
LUZ DE POVOAMENTOS CLONAIIS DE *EUCALYPTUS* SPP. EM
BOCAIÚVA, MG.**

MARÌA CECILIA ARREVILLAGA LLERAS

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU – SP

Agosto, 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CÂMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DA FERTILIZAÇÃO E DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA
NA PRODUTIVIDADE FLORESTAL E NA EFICIÊNCIA DO USO DA
LUZ DE POVOAMENTOS CLONAIIS DE *EUCALYPTUS* SPP. EM
BOCAIÚVA, MG.**

MARÌA CECILIA ARREVILLAGA LLERAS

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Stape

Co-Orientador: Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Campus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU – SP

Agosto, 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO
DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
- LAGEADO- BOTUCATU (SP)

Arrevillaga Lleras, Maria Cecilia, 1987-
A774e Efeito da fertilização e da disponibilidade hídrica na
produtividade florestal e na eficiência do uso da luz de
povoamentos clonais de *Eucalyptus* spp. em Bocaiúva, MG /
Maria Cecilia Arrevillaga Lleras. - Botucatu : [s.n.],
2015
ix , 84 f. : ils. color., grafs., tabs.
Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2015
Orientador: José Luiz Stape
Coorientador: Iraê Amaral Guerrini
Inclui bibliografia
1. Eucalipto. 2. Estresse hídrico. 3. Sensoriamento
remoto. I. Stape, José Luiz. II. Guerrini, Iraê Amaral.
III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita
Filho"(Campus de Botucatu).Faculdade de Ciências Agrônô-
micas de Botucatu. IV. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE BOTUCATU
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÔNICAS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EFEITO DA FERTILIZAÇÃO E DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA PRODUTIVIDADE FLORESTAL E NA EFICIÊNCIA DO USO DA LUZ DE POVOAMENTOS CLONAIIS DE *Eucalyptus* spp. EM BOCAIUVA, MG

AUTORA: MARIA CECILIA ARREVILLAGA LLERAS

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE LUIZ STAPE

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. IRAE AMARAL GUERRINI

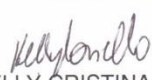
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSE LUIZ STAPE

Ciências Florestais / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Usp


Profa. Dra. MAGALI RIBEIRO DA SILVA

Dep de Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu


Profa. Dra. KELLY CRISTINA TONELLO

Departamento de Engenharia Florestal / Universidade Federal de São Carlos

Data da realização: 19 de agosto de 2015.

**"Quando pensávamos que tínhamos todas as respostas, de repente, mudaram
todas as perguntas"**

Mario Benedetti

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. José Luiz Stape, pela confiança e oportunidade.

Ao Prof. Iraê Amaral Guerrini, pelo apoio incondicional desde a minha chegada no Brasil.

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) e ao Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal pela oportunidade na minha formação acadêmica, profissional e humana.

Ao pessoal da Pós-graduação da FCA, pela paciência e consultoria com os trâmites administrativos durante estes anos. Sem vocês não teria conseguido nem me inscrever no primeiro dia!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF) pelo total apoio.

Aos pesquisadores Clayton Alcarde Alvares e Otávio Camargo Campoe por sempre estarem dispostos a ajudar.

Às meninas da República Albergue, especialmente: Sayuri, Natalia, Talitha, Roberta, Letícia, Priscila e Flávia pela amizade, companheirismo, paciência, apoio e muito incentivo. Graças a vocês eu sempre me senti em casa.

Aos amigos que tive a sorte de conhecer no caminho: Rafaela, Jessica, Tulio, Yesid, Zé Leonardo, Thaís, Valeria e Eloá.

À minha mãe pela confiança, carinho e o apoio incondicional. Você é o meu exemplo de vida.

Ao meu professor e amigo Omar Carrero, pela amizade, ensinamento, paciência e atenção durante esta minha etapa. Jamais imaginei que o trabalho que começou em "Caño Zancudo" ia me permitir chegar até aqui.

Ao Nicolas, por alegrar cada dia da minha vida.

E a todos aqueles que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste trabalho: ¡MUCHAS GRACIAS!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	01
SUMMARY	02
1. INTRODUÇÃO	03
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	07
2.1. Uso do gênero <i>Eucalyptus</i> no Brasil	07
2.2. Produtividade do <i>Eucalyptus</i> spp.	08
2.3. Fatores que influenciam a produtividade em povoamentos de eucalipto.....	09
2.3.1. Disponibilidade de nutrientes.....	09
2.3.2. Disponibilidade hídrica	11
2.3.3. Pragas e doenças	12
2.4. Indicadores ecofisiológicos de resposta	13
2.4.1. Índice de Área Foliar	13
2.4.2. Eficiência do uso da luz	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Caracterização geral da área de estudo.....	17
3.1.1. Localização geográfica	17
3.1.2. Clima	18
3.1.3. Geologia e relevo.....	19
3.1.4. Hidrografia	19
3.1.5. Vegetação e fauna regional.....	20
3.2. Levantamento de dados.....	20
3.2.1. Material genético	20
3.2.2. Tamanho das parcelas e preparo do solo	21
3.2.3. Delineamento experimental	21
3.2.3.1. Experimento 1	21
3.2.3.2. Experimento 2	23
3.2.4. Avaliações climáticas	25
3.2.4.1. Déficit de pressão de vapor	25

3.2.4.2. Balanço hídrico	26
3.2.5. Avaliações dendrométricas	27
3.2.5.1. Crescimento em biomassa de madeira	27
3.2.5.2. Altura dominante e índice de sitio	30
3.2.6. Avaliações fisiológicas	31
3.2.6.1. Determinação do índice de área foliar	31
3.2.6.2. Determinação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR)	35
3.2.6.3. Eficiência do uso da luz	35
3.2.7. Análises estatísticas	36
4. RESULTADOS	37
4.1. Avaliações climáticas.....	37
4.2. Balanço hídrico	41
4.3. Avaliações Biométricas	42
4.3.1. Crescimento no período 2007 - 2008	46
4.4. Avaliações Ecofisiológicas	47
4.4.1. Radiação fotossinteticamente ativa	47
4.4.2. Índice de área foliar	48
4.4.3. Radiação fotossinteticamente ativa absorvida	51
4.4.4. Eficiência do uso da luz	53
5. DISCUSSÃO	57
6. CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS	64
APÊNDICE	72

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Doses totais dos fertilizantes aplicados para cada tratamento no final do experimento 1 (Kg do elemento por hectare)	22
Tabela 2. Doses totais dos fertilizantes aplicados nas parcelas do Experimento 2 (Kg do elemento por hectare)	24
Tabela 3. Equação para cálculo de matéria seca do tronco	30
Tabela 4. Equação para estimação do IAF com base no NDVI	34
Tabela 5. Valores de DAP médio (DAPmed), altura média (Hmed), altura dominante (Hdom), volume (V), incremento médio anual (IMA), incremento médio anual relativo (IMAr), matéria seca do fuste (MSfuste), y matéria seca relativa do fuste (MSr fuste) aos 7 anos.....	43
Tabela 6. Valores de DAP médio (DAPmed), altura média (Hmed), altura dominante (Hdom), volume (V), incremento médio anual (IMA), incremento médio anual relativo (IMAr), matéria seca do fuste (MSfuste), y matéria seca relativa do fuste (MSr fuste) aos 7 anos.....	44
Tabela 7. Valores de matéria seca em janeiro de 2007 (MSfuste2007), dezembro de 2008 (MSfuste2008), incremento em volume (Δ MSfuste), e resposta relativa dos tratamentos (RT) para cada tratamento dos Experimentos 1 e 2	46
Tabela 8. Índice de área foliar registrado aos 25, 32, 37 e 44 meses para os Experimentos 1 e 2.....	50
Tabela 9. Radiação fotossinteticamente ativa aos 25, 32, 37 e 44 meses para os Experimentos 1 e 2.....	52
Tabela 10 - Eficiência do uso da luz (g MJ^{-1}) no período de janeiro a dezembro de 2008 para os Experimentos 1 e 2	54

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localização geográfica do estado de Minas Gerais, Brasil (esquerda) e localização do município Bocaiúva (em vermelho, direita)	18
Figura 2. Mapa das fazendas da Vallorec inseridas na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Modificado de Oliveira (2012)	19
Figura 3. Esquema das parcelas do experimento	21
Figura 4 - Níveis de disponibilidade hídrica. A= Controle, 848 mm água ano ⁻¹ . B = Irrigado, 1550 mm água ano ⁻¹	22
Figura 5. Croqui Experimento 1. C: Controle; T1: Fertilização tradicional com irrigação; T2: Fertilização extra sem irrigação; T3: Fertilização extra com irrigação	23
Figura 6. Níveis de disponibilidade hídrica. A= Redução de água da chuva, 594 mm água ano ⁻¹ ; B= Controle, 848 mm água ano ⁻¹ ; C = Irrigado, 1550 mm água ano ⁻¹	24
Figura 7. Croqui Experimento 2. C: Controle; Ta: Parcela com irrigação; Tb: Parcela com redução da água de chuva	25
Figura 8. A: Corte das árvores com motosserra. B: Medição das toras; C: Medição da copa como parte das atividades de cubagem rigorosa realizada em julho de 2013	28
Figura 9. A: Disco de eucalipto coletado no DAP; B: Pesagem dos discos úmidos; C: Discos no dessecador após serem removidos da estufa	29
Figura 10. A: Pontos de medição do IAF dentro da parcela; B: Medição do IAF na parcela com redução da água de chuva; C: Medição do IAF dentro do povoamento; D: Ceptometro (ACCUPAR – 80, Decagon Devices Inc., Pulman, USA)	31
Figura 11. A: Ensaio BEPP, Blocos 3 e 4 do Experimento 1. Fonte: Google Earth v.1.5.1559 (Outubro, 15. 2013) Fazenda Corredor, Bocaiúva, Minas Gerais. 17° 20'11''S, 43° 50'35''. [jan 12, 2015]. B: Fazenda Corredor, imagem LANDSAT 7 ETM+	32
Figura 12. Correlação entre o IAF medido em Julho de 2013 e o NDVI calculado através do análise de imagens de satélite LANDSAT 5 ETM+	34
Figura 13. Precipitação pluviométrica mensal (PPT) da empresa Vallourec, e temperatura máxima, média e mínima da Estação Meteorológica Carbonita, no período de janeiro de 2005 até fevereiro de 2012. Plantio em fevereiro de 2005	38

Figura 14. Precipitação (mm), temperatura média (°C), umidade relativa do ar (%) às 12 e 18 horas (UR 12 e UR 18) e o déficit de pressão de vapor (DPV - kPa) às 12 e 18 horas (DPV 12 e DPV 18) registrados desde janeiro de 2007 até dezembro de 2008 40

Figura 15. Balanço hídrico normal, realizado pelo método de Thornthwaite e Mather (1995), para o período de janeiro de 2005 até fevereiro de 2012, considerando a capacidade de água disponível no solo de 320 mm; amostrados o excedente hídrico (EXC) e o déficit hídrico (DEF) no tratamento controle (A) e irrigado (B), do Experimento 1..... 41

Figura 16. Balanço hídrico normal, realizado pelo método de Thornthwaite e Mather (1995), para o período de janeiro de 2005 até fevereiro de 2012, considerando a capacidade de água disponível no solo de 320 mm; amostrados o excedente hídrico (EXC) e o déficit hídrico (DEF) no tratamento com redução de água da chuva (A) controle (B) e irrigado (C), do Experimento 2 42

Figura 17. Incremento corrente anual dos tratamentos: controle não irrigado (C), controle irrigado (T1), fertilizado não irrigado (T2), e fertilizado irrigado (T3) correspondentes ao Experimento 1 (A); e controle (C), irrigado (Ta), e redução de água de chuva (Tb), correspondentes ao Experimento 2 (B), ao longo de 7 anos 45

Figura 18 - Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2008 48

Figura 19 - Índice de área foliar (IAF) estimado da parcela controle (C) do Experimento 1 e 2, a partir das imagens dos satélites LANDSAT 5 TM+ e LANDSAT 7 ETM+, e precipitação pluviométrica registrada para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2008 49

Figura 20 - Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (APAR) média no período entre janeiro de 2007 e dezembro de 2008 51

Figura 21 - Representação gráfica da interação entre os fatores Disponibilidade hídrica x Fertilização, para valores de radiação fotossinteticamente ativa absorvida, registrados no período de janeiro a dezembro de 2008 53

Figura 22 - Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa (MJ m^{-2}), o índice de área foliar aproximado (m^2 de folha m^{-2} de solo) e a eficiência do uso da luz (g MJ^{-1}) registrada no ano 2008 para o Experimento 1 55

Figura 23 - Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa (MJ m^{-2}), o índice de área foliar aproximado (m^2 de folha m^{-2} de solo) e a eficiência do uso da luz (g MJ^{-1}) registrada no ano 2008 para o Experimento 2 55

EFEITO DA FERTILIZAÇÃO E DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA PRODUTIVIDADE FLORESTAL E NA EFICIÊNCIA DO USO DA LUZ DE POVOAMENTOS CLONAIS DE *EUCALYPTUS* SPP. EM BOCAIÚVA, MG. Botucatu, 2015. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autora: MARIA CECILIA ARREVILLAGA LLERAS

Orientador: DR. JOSE LUIZ STAPE

Co - Orientador: DR. IRAE AMARAL GUERRINI

RESUMO

A disponibilidade de água e nutrientes são os fatores abióticos que tem maior influência no crescimento de plantações nos trópicos. O projeto BEPP estabeleceu no ano 2001 uma rede experimental instalada em oito locais do Brasil, cujo objetivo foi determinar as taxas de crescimento potencial em plantações de eucalipto quando as limitações nutricionais e hídricas são removidas. A unidade florestal da empresa Vallourec incorporou-se ao projeto no ano 2005, estabelecendo na região de Bocaiúva (MG) dois experimentos compostos por quatro clones de interesse comercial. O primeiro foi estabelecido seguindo um esquema fatorial 2x2, avaliando dois níveis de disponibilidade hídrica (controle e irrigado) e de fertilização (tradicional e extra). No segundo, avaliou-se a influência da disponibilidade hídrica no crescimento incorporando mais um tratamento: redução da água de chuva, e mantendo as doses de fertilização da empresa. Dados climáticos foram extraídos da estação meteorológica Carbonita (INMET) localizada na região. Para atingir os objetivos do trabalho, foi desenvolvida uma equação para o cálculo de matéria seca do fuste com base na cubagem rigorosa feita em 2013. Através de técnicas de sensoriamento remoto foi feito o processamento de imagens do satélite LANDSAT 5 TM+ e LANDSAT 7 ETM+ estimando o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Área Foliar (IAF) mensal para cada tratamento no período entre 2007 e 2008. Tratamentos com irrigação apresentaram incrementos de 62% em matéria seca quando comparados com o tratamento controle. A fertilização extra não influenciou o crescimento, indicando que as demandas nutricionais foram supridas com a fertilização da empresa. No Experimento 1, não houve diferenças significativas no IAF entre tratamentos. No Experimento 2, a diminuição de 16% do IAF do tratamento com redução da água de chuva gerou 23% de perdas no crescimento em madeira. A eficiência do uso da luz (EUL) variou entre 0,72 e 0,73 g MJ⁻¹ nos tratamentos sem irrigação, e entre 1,41 e 1,66 g MJ⁻² nos tratamentos irrigados. A diferença no crescimento entre os tratamentos irrigados e não irrigados foi o resultado do aumento significativo na eficiência do uso da luz.

Palavras chave: Índice de área foliar; APAR; Sensoriamento remoto; NDVI.

EFFECTS OF FERTILIZATION AND WATER AVAILABILITY ON PRODUCTIVITY AND LIGHT USE EFFICIENCY IN CLONAL STANDS OF EUCALYPTUS SPP. IN BOCAIUVA, MG. Botucatu, 2015. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARIA CECILIA ARREVILLAGA LLERAS

Advisor: DR. JOSE LUIZ STAPE

Co - Advisor: DR. IRAE AMARAL GUERRINI

SUMMARY

The availability of water and nutrients are the abiotic factors that have most influence on the growth of plantations in the tropics. The BEPP project established in 2001 an experimental network installed in eight locations in Brazil, aimed to determining the potential growth rates in eucalyptus plantations when the nutritional and water limitations are removed. The forest department of the company "Vallourec" joined the project in 2005, establishing in the region of Bocaiúva (MG) two experiments, including four clones of commercial interest. The first experiment was established following a 2x2 factorial design, evaluating two levels of water availability (control and irrigated) and fertilization (traditional and extra). The second experiment evaluated the influence of water availability incorporating one more treatment: reduction of rainwater, while kept the traditional doses of fertilizer of the company. Climatic data were obtained from the meteorological station Carbonita (INMET) located in the region. In order to achieve the objectives of this study, biomass equations were developed based on cubing. Through remote sensing techniques, we analyzed and processed de satellite images from LANDSAT 5 TM + and LANDSAT 7 ETM +; estimating the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Leaf Area Index (LAI) for each month, during 2007 and 2008. Irrigation treatments showed increases of 62% dry matter when compared to the control treatment. Extra doses of fertilization did not influence growth, indicating that the nutritional demands were satisfied with the traditional fertilization rate of the company. Experiment 1 did not registered significant differences in LAI between treatments. In Experiment 2, a decrease of 16% of the LAI showed in the irrigated plots, generated 23% of losses in timber growing. The light use efficiency (LUE) varied between 0.72 and 0.73 g MJ⁻¹ in the treatments without irrigation, and between 1.41 and 1.66 g MJ⁻² in the irrigated treatments. The difference in growth between irrigated and non-irrigated treatments was the result of significant increase in the efficiency of light use.

Keywords: Leaf Area Index, APAR; Remote sensing, NDVI.

1. INTRODUÇÃO

Mundialmente, há um aumento na demanda de produtos florestais devido a fatores como o crescimento econômico global, o aumento da população, as novas políticas energéticas (que incluem o uso de biocombustíveis) e as leis e políticas ambientais (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA - FAO, 2011).

Por esta razão, o estabelecimento de plantações florestais tem tido um aumento significativo como estratégia para satisfazer a demanda de produtos de origem florestal, sendo as espécies do gênero *Eucalyptus* umas das mais plantadas por suas características de rápido crescimento e ampla adaptabilidade, permitindo a sua colonização ao redor do mundo (MORA; GARCIA, 2000).

No Brasil, o *Eucalyptus* foi introduzido em 1904 e atualmente é utilizado tanto na indústria de papel e celulose, quanto na produção de carvão vegetal, painéis de madeira, madeira tratada, cavacos, lenha industrial, serrados e outros produtos sólidos (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBA, 2014), por isso as empresas florestais investem constantemente em pesquisas nas áreas de melhoramento genético, solos e nutrição com o objetivo de melhorar a produtividade, conseguindo atingir nas últimas décadas incrementos significativos que vão desde $12 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ até $60 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$.

(STAPE et al., 2001). No entanto, mesmo com os avanços na área de fertilização e manejo florestal, a produtividade de muitas florestas encontra-se ainda abaixo da sua produtividade potencial (FERREIRA; STAPE, 2009). Dentro os diversos fatores que atuam como agentes limitantes do crescimento das plantas, a disponibilidade de água (GONÇALVES et al., 1990; STAPE et al., 2004) e a baixa fertilidade dos solos (NEVES et al., 2008) são considerados como os mais influentes no crescimento das plantações florestais.

Em povoamentos de *Eucalyptus regnans* no sul de Tasmânia, Ringrose e Nielsen (2005) observaram que a aplicação de nitrogênio permitiu ter um aumento no volume de madeira de $125 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ a $281 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Champion e Scholes (2007) obtiveram através de adubação intensiva incrementos substanciais na altura das plantações de *E. grandis* estabelecidos na África do Sul.

Ryan et al. (2010) determinou que o aumento na disponibilidade de água gera mudanças na eficiência fotossintética e na interceptação da luz, aumentando a produtividade primária neta até 27%. Na região nordeste do Brasil em um estudo conduzido por Stape et al. (2004) foi constatado que a cada 100 mm de acréscimo de chuva havia um ganho de aproximadamente $2,3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em produtividade e $0,3 \text{ m}^2$ de folha m^{-2} de solo de IAF. Resultados similares foram apresentados em outros estudos reportando incrementos em biomassa associados com uma maior disponibilidade de água (PEREIRA; PALLARDY, 1989; OLBRICH et al., 1992; HUNTER, 2001).

Em situações de baixa disponibilidade de água a queda na produção de biomassa ocorre: (i) como resultado do fechamento dos estômatos, seguido da diminuição das taxas de transpiração e de fixação de carbono (RAD et al., 2011); (ii) ou porque ocorre uma diminuição na área foliar e, conseqüentemente,

a planta começa a interceptar menos radiação solar, diminuir a taxa fotossintética e, finalmente, reduzir a produção de matéria seca (NAMBIAR; SANDS, 1993).

Nas ultimas décadas, devido aos altos custos da terra, tem sido promovido o estabelecimento de plantações florestais em regiões com limitações de recursos naturais pouco atrativas para o desenvolvimento agrícola, mas onde o custo da terra é menor. Consequentemente, existe um alto interesse em avaliar os processos que influenciam o crescimento e desenvolvimento dos povoamentos sob essas condições. O tipo de resposta às condições ambientais, depende diretamente da espécie e até do clone avaliado, uma vez que o crescimento e produtividade de um povoamento é o resultado da interação de vários processos onde a disponibilidade, aproveitamento e eficiência de uso dos recursos disponíveis trabalham juntos com fatores de grande relevância tais como a capacidade fotossintética e o índice de área foliar (STAPE et al., 2004). Por tudo isto, existe a necessidade de realizar estudos no nível fisiológico buscando entender o comportamento e resposta dos plantios ante diversos cenários.

O projeto BEPP (Brazil Eucalyptus Potential Productivity) coordenado pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), teve como objetivo principal estudar os principais fatores que limitam a produtividade de determinados clones comerciais de eucalipto com a finalidade de identificar as relações existentes entre a produção de madeira e o uso dos recursos naturais, ou seja, entender e quantificar os fatores que influenciam a produtividade e o tipo de respostas dos clones (STAPE et al., 2010).

No estado de Minas Gerais, especificamente nos plantios de eucalipto pertencentes à empresa Vallourec na região de Bocaiúva, foi estabelecido no ano 2005 um ensaio experimental como parte do BEPP, onde foi avaliado anualmente o crescimento de quatro clones sob diferentes condições de disponibilidade de água (precipitação pluviométrica, com irrigação e com redução da água de chuva) e de nutrientes (fertilização tradicional da empresa, fertilização extra).

Com base nesse ensaio os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar o crescimento dos clones de eucalipto sob os diferentes regimes de adubação e disponibilidade hídrica; (ii) avaliar a influência da adubação e da disponibilidade de água

sob o índice de área foliar; (iii) analisar a eficiência do uso da luz sob os diferentes regimes de adubação e disponibilidade hídrica.

No decorrer do trabalho foram testadas as seguintes hipóteses:

I. A maior produtividade se apresenta nos clones dos tratamentos com irrigação.

II. Os clones sob tratamento de fertilização extra têm maior crescimento do que aqueles com fertilização tradicional.

III. O crescimento dos clones têm uma relação linear com o índice de área foliar.

IV. Os clones sob tratamento de fertilização extra e irrigação possuem maior eficiência do uso da luz.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Uso do gênero *Eucalyptus* no Brasil.

O gênero *Eucalyptus*, é originário da Austrália e da Indonésia e tem mais de 600 espécies de plantas, das quais um grande número possui ampla facilidade de adaptação e capacidade de produzir madeira para distintos usos (CAMPINHOS, 1999). O plantio desta espécie no Brasil foi introduzido no 1904 com o objetivo de suprir as necessidades de lenha, postes e dormentes para abastecer as estradas de ferro que seriam construídas pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro no Sudeste do país. Posteriormente, na década de 1950, começaram a se estabelecer plantios com o fim de fornecer matéria prima para a indústria de papel e celulose. Nas décadas seguintes, devido ao programa de incentivos fiscais ao reflorestamento apresentado pelo governo federal, houve uma expansão dos povoamentos, investindo-se em melhorias na manutenção e no desenvolvimento tecnológico (MORA; GARCIA, 2000).

Atualmente, as plantações de eucalipto no Brasil ocupam aproximadamente 5,5 milhões de hectares com o objetivo de fornecer matéria prima às empresas de papel e celulose, madeira para a produção de carvão vegetal, painéis de madeira, madeira tratada, cavacos, lenha industrial, serrados e outro produtos sólidos, tanto para consumo interno como para exportação (IBA, 2014).

Avanços com relação ao estabelecimento e desenvolvimento tecnológico dos povoamentos de eucalipto tem ocorrido nas últimas décadas, especialmente nas áreas de genética e silvicultura, em parte, como resultado de parcerias entre as empresas e as universidades do setor florestal, destacando-se o aumento da produtividade média e o estabelecimento bem sucedido em regiões caracterizadas por períodos de seca constantes. Porém, o futuro desta espécie no país depende da compreensão da sensibilidade dos clones e os tipos de resposta ante variações nos regimes hídricos, térmicos e nutricionais devido à colonização de novas áreas tradicionalmente consideradas com restrições para plantio, assim como a correta seleção de novos clones baseados nas características ecofisiológicas para tolerar os estresses abióticos sem comprometer a produtividade desejada (INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS - IPEF, 2014).

2.2 Produtividade do *Eucalyptus* spp.

Na região tropical, a produtividade dos povoamentos florestais possui um alto dinamismo, variando de acordo com a idade, densidade de plantio, fertilidade do solo e a espécie plantada (BINKLEY et al., 1997). A diferença na produção de biomassa em madeira, de um povoamento para outro, pode ser resultado tanto dos padrões de alocação, quanto da disponibilidade de recursos; assim como de uma maior captura ou maior eficiência para produção dos recursos disponíveis (BINKLEY et al., 2004).

No caso das plantações de eucalipto, os ganhos na produtividade registrados nas últimas décadas surgiram inicialmente devido a melhoras nas práticas silviculturais e à seleção mais acurada do material genético (PALLETT; SALE, 2004) permitindo obter incrementos médios anuais de $12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na década de 1960 até $20\text{--}60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ atualmente (CAMPINHOS, 1999; STAPE et al., 2001).

No Brasil, os ciclos de corte dos povoamentos de eucalipto tendem a ser entre 6 e 8 anos quando usados para energia, celulose ou para produção de lenha para construção, conduzindo entre dois e quatro ciclos de rebrota de acordo com as características de fertilidade e textura do solo (GONÇALVES et al., 2008) e conseguindo atingir uma produtividade média de $38,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (IBA, 2014).

Contudo, a produtividade dos povoamentos tropicais é um fator altamente variável. O êxito no desenvolvimento das plantações geralmente ocorre quando existe uma ampla informação sobre as condições ambientais do local e uma acurada seleção das espécies a serem plantadas, procurando-se entender a ecofisiologia da produção, ou seja, como os fatores ambientais interagem com a fisiologia das espécies para obter os ganhos desejados na produção (GHOLZ; LIMA, 1997).

Para identificar o mecanismo de resposta ecofisiológica que se encontra atuando no crescimento e produtividade das plantações de eucalipto, existem alguns indicadores, tais como o índice de área foliar e a eficiência do uso da luz, que permitem entender o comportamento dos povoamentos com relação à disponibilidade dos recursos tanto hídricos, quanto nutricionais.

2.3 Fatores que influenciam a produtividade em povoamentos de eucalipto

2.3.1 Disponibilidade de nutrientes

A adubação é uma das estratégias mais comuns utilizadas para atingir a capacidade produtiva da cultura (NEVES et al., 2008). Ao incorporar adubos num povoamento, os nutrientes são disponibilizados na solução do solo e absorvidos pelas raízes, começando a atuar em diversos processos, promovendo o crescimento e desenvolvimento das plantas. Por exemplo, o nitrogênio e o magnésio, são componentes da clorofila e conhecidos ativadores de enzimas; o fósforo faz parte dos nucleotídeos e é um armazenador de energia; o potássio atua no transporte de elétrons nos tilacóides, assim como no controle estomático e osmótico das plantas, entre outros (MALAVOLTA, 2006; ZHAO et al., 2001).

Um adequado balanço nutricional pode ter como resultado um aumento na produtividade das plantações quando limitadas pelo suprimento de um ou mais nutrientes (STAPE et al., 2004b). O aumento da produtividade ocorre, em parte, pelas mudanças na translocação dos produtos fotossintetizados, das partes radiculares para as aéreas, contribuindo com o aumento da produção de madeira (RYAN et al., 2010).

Segundo Gonçalves (1995), os nutrientes que geram uma maior resposta em crescimento em povoamentos de eucalipto e pinus são: $P > N > K > Ca > Mg$, especialmente se a adubação é feita em povoamentos estabelecidos sob solos arenosos e com limitações na disponibilidade de água. No entanto, não existe um padrão de adubação definido. Sgarbi (2002) nas regiões de Capão Bonito e Jacareí, no estado de São Paulo, determinou que os nutrientes mais limitantes para o crescimento do eucalipto foram o boro, o fósforo e o nitrogênio.

Levando em consideração que a colheita de madeira no Brasil é feita em ciclos de rotações sucessivas e que a maioria dos povoamentos encontram-se estabelecidos em solos de baixa fertilidade natural, é fundamental realizar uma correta recomendação de adubação com o fim de garantir a disponibilidade nutricional nas futuras rotações (SGARBI, 2002). Porém, as características e quantidades de adubo a serem aplicados dependem tanto das necessidades nutricionais da espécie quanto da reação dos adubos com o solo, a sua eficiência e até de fatores econômicos (GONÇALVES, 1995).

No caso de plantações florestais em grande escala, mesmo quando a aplicação de adubos minerais é realizada só durante a época de plantio e no primeiro ano de estabelecimento, a adubação é uma das operações de maior custo, sendo necessário o planejamento acurado das doses de nutrientes a aplicar e conhecer a margem de resposta em crescimento.

O ganho em produtividade como resultado de uma adubação intensiva foi avaliado por Stape et al. (2006) através da metodologia de parcelas gêmeas. Este delineamento é uma alternativa para a avaliação da produtividade real, obtida por adubação tradicional, e a produtividade potencial, bem como os nutrientes que limitam o crescimento dos plantios (ZANI, 2011). Em povoamentos de eucalipto estabelecidos no estado de São Paulo, Stape et al. (2006) registrou ganhos em produtividade de até $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ mediante uma adubação intensiva. Desta forma, é possível basear a tomada de decisões entre o aumento da produção através da compra de novos terrenos florestais ou mediante o aumento da produtividade dos povoamentos já existentes.

2.3.2 Disponibilidade hídrica

A disponibilidade do recurso hídrico é considerado por alguns autores como um dos fatores mais limitantes ao crescimento florestal nas regiões tropicais (GONÇALVES et al., 1990; STAPE et al., 2004b; GONÇALVES et al., 2008).

Quando o solo encontra-se seco ocorre uma interação com o déficit de pressão de vapor (DPV), influenciando a condutância estomática e reduzindo a capacidade de absorção de nutrientes (LANDSBERG, 2003). Diferentemente dos cultivos agrícolas onde a irrigação é comum, nas plantações florestais o aporte de água do solo depende principalmente da precipitação, e em locais onde a distribuição da precipitação é sazonal, a disponibilidade hídrica pode ser limitada (BRUIJNZEEL, 1997)

No caso das plantações de eucalipto, a precipitação tem uma relação direta com o crescimento das árvores (STAPE et al., 2004a; LANDSBERG; SANDS, 2011). Carrero (2012) mostrou que o aumento da precipitação nos plantios de eucalipto na Venezuela promoveu o crescimento dos povoamentos, mas uma vez atingida a assíntota na diferença entre a evapotranspiração potencial e a real, as taxas de crescimento começaram a decrescer. Esse fenômeno ocorre porque, uma vez suprida a demanda de água das árvores, o seu crescimento fica limitado por outros fatores (genéticos, nutricionais, entre outros) (CARRERO, 2012).

Stape et al. (2004a) constatou ao longo de um gradiente climático que a cada 100 mm de acréscimo de chuva havia um ganho de aproximadamente $2,3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em produtividade e $0,3 \text{ m}^2$ de folha m^{-2} de solo de IAF na região nordeste do

Brasil. Resultados similares foram apresentados em outros estudos reportando incrementos em biomassa associados com uma maior disponibilidade de água (PEREIRA; PALLARDY, 1989; OLBRICH et al., 1992; HUNTER, 2001).

Os plantios jovens tendem a responder mais e com maior rapidez ao aumento quantidade de água disponível, porém, são mais sensíveis aos períodos de seca (CARRERO, 2012). Geralmente, povoamentos no estágio inicial apresentam uma maior superfície foliar (maior IAF) e menores sistemas radiculares o que limita a sua absorção de água (ZANI, 2011), no entanto, cada resposta depende diretamente da espécie e do clone avaliado.

Stape et al. (2008) determinou que o aumento em biomassa em um plantio de eucalipto como consequência dos efeitos da irrigação resultaram em 67% de aumento na eficiência do uso da luz, 18% nas diferenças na alocação do carbono e aumento de 15% no índice de área foliar. Por outro lado, uma planta abaixo das condições ideais de disponibilidade de água pode apresentar uma diminuição da sua área foliar e consequentemente, interceptar menor radiação solar, diminuir a taxa fotossintética e finalmente, diminuir a produção de matéria seca (NAMBIAR; SANDS, 1993).

O crescimento em raiz constitui uma estratégia primordial para planta, especialmente em regiões de baixa disponibilidade hídrica. Christina et al. (2011) registrou em Itatinga (estado de São Paulo), crescimentos quase simétricos entre a biomassa acima e abaixo do solo de povoamentos de *Eucalyptus* spp., observando aos 3,5 anos de idade, árvores com altura média de 19,2 m e raízes de até 15,8 m de profundidade. Nesse experimento, após os 3m de profundidade, as raízes finas encontradas representaram menos de 10% do total, porém, o rápido crescimento das raízes em solos profundos pode explicar as altas taxas de evapotranspiração registradas pela espécie, observando-se a capacidade de atingir a água armazenada nos horizontes mais profundos (Christina et al., 2011).

2.3.3 Pragas e doenças

O estabelecimento de grandes extensões contíguas de povoamentos florestais resultam um atrativo para o desenvolvimento de insetos-praga e doenças. No Brasil, existem registros de ocorrência de lepidópteros desfolhadores desde a década de 1940. A lagarta *Sarcina violascens* foi observada em plantios de *Eucalyptus tereticornis* no Rio de Janeiro em 1948; na Bahia, em 1985, 250 ha de *E. cloeziana* foram atacados por

Oxydia vesulia e a presença de *Eacles imperialis magnifica* foi registrada em 1990 em povoamentos de *E. grandis* no Espírito Santo (ZANUNCIO et al., 1993). Mesmo com o monitoramento e o controle químico ou biológico, hoje em dia o ataque de insetos como: psilídeo de concha (*Glycaspis brimblecombei*), percevejo bronzeado (*Thaumastocoris peregrinus*), besouro amarelo (*Costalimaita ferruginea*), trips (Thysanoptera), cupins, e as formigas cortadeiras (*Acromyrmex* spp., *Atta* spp.) constituem um risco permanente que ameaça a salubridade das plantações e pode gerar a produzir perdas consideráveis na produção e produtividade dos plantios florestais (FURTADO; WILCKEN, 2011).

Igualmente, em povoamentos clonais de eucalipto, resulta indispensável a acurada seleção do material genético com a finalidade de identificar variedades o indivíduos mais resistentes a doenças tais como: murcha de cerotocystis, causada pelo fungo *Ceratocystis fimbriata*; o cancro do eucalipto (*Cryphonectria cubensis*) e a mancha de cilindrocladium (*Cylindrocladium candelabrum*) ou de micosferela (*Mycosphaerella* sp.) entre outras (EMBRAPA, 2001).

2.4 Indicadores ecofisiológicos de resposta

2.4.1 Índice de Área Foliar

O índice de área foliar (IAF) é definido por Watson (1947) como a área total de um lado da folha por unidade de superfície projetada no solo (m^2 de folha m^{-2} de solo). Relacionado com várias funções da dinâmica solo-planta-atmosfera, o IAF é considerado um componente chave nos ciclos biogeoquímicos dos ecossistemas devido a sua participação nos processos de troca de água e CO_2 da floresta (BRÉDA, 2003; OLIVAS et al., 2013). No entanto, este é um parâmetro extremamente dinâmico, que tende a mudar de acordo com a idade da espécie, a estação do ano e as condições nutricionais ou de disponibilidade hídrica, refletindo consequentemente na produtividade (BRÉDA, 2003).

Segundo Binkley et al. (2002) a assimilação máxima de carbono num povoamento ocorre quando ele atinge o seu maior IAF; após esse ponto, a taxa de crescimento decai. No caso das plantações de eucalipto, a rápida formação de novas estruturas nos primeiros estágios da planta traz consigo um aumento da massa foliar até estabilizar com o fechamento do dossel (BATTAGLIA et al., 1998). O declínio na quantidade de folhas após o fechamento do dossel é o resultado das mudanças na partição de fotoassimilados desde as folhas até o tronco (LANDSBERG; SANDS, 2011). A

sazonalidade é um fator que também influencia o IAF; em climas temperados, a variação do IAF se relaciona com os padrões de temperatura de cada estação, enquanto nas florestas tropicais, os padrões de chuva e a disponibilidade hídrica são as variáveis que mais influenciam as mudanças do IAF (BEADLE, 1997).

Existem diversos métodos para medir o IAF podendo ser classificados em diretos e indiretos (XAVIER; SOARES; ALMEIDA, 2002). Os métodos diretos consistem na obtenção das medidas de interesse diretamente das folhas através de colheita de biomassa e queda de folheto (DUFRENE; BREDA, 1995, LE MAIRE et al., 2011); enquanto nos métodos indiretos, a área foliar é inferida mediante observações de outras variáveis através de relações alométricas (XAVIER et al., 2002), utilizando-se instrumentos baseados na medição da atenuação de radiação pelo dossel, tais como fotografias hemisféricas ou sensores ópticos (LI-COR LAI-2000 Plant Canopy Analyzer, Decagon AccuPAR) (LE MAIRE et al., 2011, OLIVAS et al., 2013) assim como fazendo uso de sensoriamento remoto (BEADLE, 1997; LE MAIRE et al., 2011; GANGULY et al., 2012).

No caso das plantações comerciais de eucalipto é comum observar o uso dos métodos indiretos para o cálculo do IAF, embora considerados menos acurados quando comparados com os diretos, por serem menos laboriosos e mais econômicos (OLIVAS et al., 2013). A importância da estimativa deste parâmetro radica na relação existente entre o IAF e os processos de fotossíntese, transpiração, respiração, interceptação de energia e água da floresta (OLIVAS et al., 2013).

O dossel de uma floresta delimita a produção e ao mesmo tempo, é um reflexo dos processos que estão ocorrendo dentro dela (BEADLE, 1997). Incrementos no IAF tem sido registrados em povoamentos adubados (NAMBIAR, 1990, SMETHURTS et al., 2003; CARRERO, 2012) e com acréscimo da água disponível (STAPE et al., 2004a) enquanto, durante períodos de seca prolongada, a queda de folheto gera diminuições (BEADLE, 1997).

Do mesmo modo, mudanças no IAF refletem diretamente na produtividade. A medida que aumenta a área de interceptação de luz, aumenta também a eficiência da radiação fotossinteticamente ativa absorvida - APAR (do inglês Absorbed

Photosynthetic Active Radiation) de produzir biomassa em madeira (kg MJ^{-1}) (BINKLEY et al., 2004).

Em um estudo apresentado por Smethurst et al. (2003) em povoamentos de 5-8 anos de idade de *Eucalyptus nitens* estabelecidos na Tasmânia, Austrália, a aplicação de adubos até os 6 anos de idade gerou aumentos no IAF de até 3.1 unidades, apresentando uma alta correlação entre o crescimento da biomassa do tronco e os incrementos de IAF. Mínimos crescimentos em biomassa do tronco foram registrados nos povoamentos com IAF de 2m^2 de folha m^{-2} de solo; por outro lado, as taxas de crescimento em biomassa do tronco diminuíram em povoamentos com IAF maior de $6,5\text{m}^2$ de folha m^{-2} de solo.

2.4.2 Eficiência do uso da luz

A luz é um recurso crítico para as plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004). O crescimento e desenvolvimento das espécies depende da quantidade de luz absorvida pelo aparelho fotossintético e sua eficiência para produzir carboidratos, os quais serão alocados nos diferentes tecidos (BINKLEY et al., 2004).

Aproximadamente 50% da radiação solar recebida pela biosfera encontra-se na faixa espectral entre 380-710 nm que é a utilizada pelas plantas para o processo de fotossíntese. Essa radiação é denominada "radiação fotossinteticamente ativa" ou PAR (*Photosynthetic Active Radiation*) (LARCHER, 2006). A radiação marca o início do processo fotoquímico estimulando a abertura dos estômatos e a atividade da enzima de carboxilação Rubisco (POTIS, 2003). Taxas baixas e altas de radiação podem trazer como consequência uma diminuição da produtividade; seja por baixos ganhos de carbono ou por danos causados por fotoinibição (LAMBERS et al., 2008), por isso a eficiência no uso desse recurso é de grande interesse.

A quantidade de biomassa aérea produzida por unidade de luz interceptada pelo aparelho fotossintético é conhecida como eficiência do uso da luz (EUL) ou modelo épsilon (CAMPOE, 2012) e é influenciada por fatores tais como o estresse hídrico, nutricional e as condições climáticas do ambiente.

Práticas de silvicultura intensiva geram incrementos na EUL (CARRERO, 2012). Em um experimento apresentado por Stape (2002) com povoamentos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, a produtividade primária bruta teve um incremento de 6,1 a 11,3 kg m⁻² ano⁻¹ no tratamento com irrigação, e a porcentagem de luz interceptada pelo dossel registrou um aumento de 63 a 71%. Embora tenha existido um incremento na porcentagem de luz interceptada, esse incremento foi, em proporção, menor do que o aumento da produção primária bruta, indicando o aumento na eficiência na produção de biomassa (BINKLEY et al., 2004).

Em povoamentos com irrigação, a eficiência do uso dos recursos tende a aumentar já que as folhas conseguem fixar uma maior quantidade de carbono por unidade de luz interceptada, quando comparadas com folhas que apresentam fechadura de estômatos em situações de déficit hídrico (BINKLEY et al., 2004). Porém, o aumento da produção de madeira, pode ser o resultado do incremento na EUL, diferenças na alocação dos carboidratos, ou de ambos (RYAN et al., 2010).

Campoe et al. (2013) ao longo de um gradiente de produtividade de povoamentos clonais de eucalipto, demonstraram valores de EUL 37% maiores em árvores dominantes (20% maiores que a média) quando comparados com os suprimidos (20% menores). Povoamentos mais produtivos podem ser o resultado de maiores taxas de fotossínteses por APAR, ou de variações na alocação de carboidratos, armazenando maiores proporções de fotoassimilados no tronco (STAPE et al., 2008, RYAN et al., 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização geral da área de estudo

3.1.1 Localização geográfica

O estudo usou a rede experimental do projeto Brazil *Eucalyptus* Potential Productivity (BEPP) coordenado pelo Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). Utilizou-se um ensaio localizado dentro da Fazenda Corredor pertencente à unidade florestal da empresa Vallourec, subsidiária da Vallourec Tubos do Brasil S.A. A área esta localizada na região norte do estado de Minas Gerais, no município de Bocaiúva, 17°20'55'' S e 43°51'37'' W (Figura 1) que dista 369,0 km da capital do estado, Belo Horizonte, pela rodovia federal BR-135 (BRASIL, 2005).

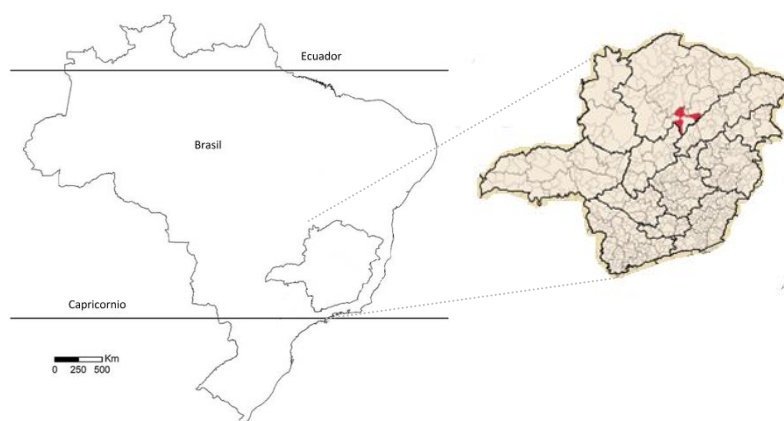


Figura 1 - Localização geográfica do estado de Minas Gerais, Brasil (esquerda) e localização do município Bocaiúva (em vermelho, direita).

A fazenda Corredor possui um área total de 10.156 ha com uma área efetiva de plantio de 6.749 ha (66,7%). As Áreas de Reserva Legal e de Preservação Permanente somam 2.900 ha, representando 28,55 % da área total e 42,97% em relação à área efetiva de plantio. As estradas e corpos de água somam 505 ha.

3.1.2 Clima

Baseado no sistema internacional de classificação climática de Koppen-Geiger o clima da região é caracterizado como Aw = tropical com estação seca no inverno (ALVARES et al., 2013). É altamente estacional, caracterizado por apresentar temperatura média mensal ao longo do ano superior a 18° C, e por registrar nos meses de inverno, uma taxa de precipitação inferior a 100 mm. Em Minas Gerais, o clima AW tem

ocorrência ao noroeste do estado, abrangendo planícies, planaltos e a depressão da bacia do rio São Francisco (ALVARES et al., 2013).

Na região de Bocaiúva, a estação seca ocorre nos meses de abril a setembro, e a úmida vai de outubro a março. A temperatura média anual é de 23,6 °C, registrando-se uma média de 20,5 °C na estação seca, e 25 °C na estação úmida. A precipitação média anual é de 848 mm; dos quais, 92% (780 mm aproximadamente) concentram-se principalmente nos meses de outubro a março, e o restante tem ocorrência em forma de chuvas rápidas e dispersas ao longo do período seco. A evapotranspiração potencial (ETP) é de aproximadamente 1.221 mm ao ano, enquanto o déficit de pressão de vapor (DPV) médio registrado no local é de 1,30 kPa (STAPE et al., 2010).

3.1.3 Geologia e relevo

Os solos da região fazem parte do cratón de São Francisco (ALMEIDA, 1977), cujo embasamento é constituído por terrenos metamórficos de idade arqueana de alto grau (gnaisses, granitóides e granulitos formados entre 3,85 bilhões de anos e 2,5 bilhões de anos atrás) (BIZZI et al., 2003). A fazenda Corredor encontra-se localizada numa região de coberturas detríticas, em parte colúvio-eluviais e, eventualmente, lateríticas (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERIAS, 2003). Os sedimentos foram formados de cascalho fino, areia, material siltico-argiloso, porções limonitizadas, e concreções ferruginosas (BRASIL, 2005).

O tipo de solo presente na área do experimento corresponde a um Latossolo Vermelho. Segundo a EMBRAPA (2006) é um solo mineral, não-hidromórfico, que apresenta horizonte latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, e com profundidade superior a 2 m. A altitude média da fazenda é de 905 m, com relevo suave ondulado (OLIVEIRA, 2012).

3.1.4 Hidrografia

Todas as fazendas correspondentes a Vallourec encontram-se inseridas na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Enquanto que, a fazenda Corredor localiza-se entre as sub-bacias hidrográficas do rio Jequitinhonha e dos rios Jequitai e Pacuí, com uma área de 662,85 ha e 9.492,99 ha respectivamente (Figura 2) (OLIVEIRA, 2012).

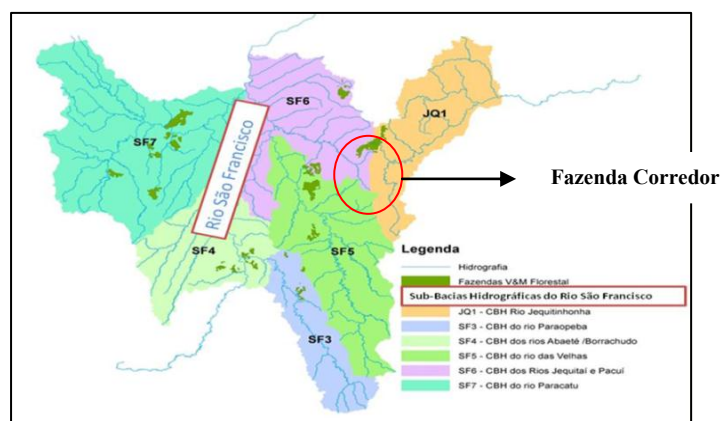


Figura 2 - Mapa das fazendas da Vallorec inseridas na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Modificado de Oliveira (2012).

3.1.5 Vegetação e fauna regional

A vegetação nativa presente na zona corresponde ao bioma Cerrado sentido estrito, formação savana, a região se caracteriza pela presença de árvores de porte baixo, tortuosas e com ramificações irregulares (RIBEIRO; WALTER, 1998). A flora compõe-se principalmente por dois estratos de espécies heliófilas: as lenhosas, cuja altura varia entre 3 a 5m de altura, apresentam súber espesso, e sistemas radiculares ricos em raízes pivotantes, que podem atingir mais de 10 m de profundidade; e as gramíneas, formadas por espécies predominantemente perenes, com raízes superficiais e órgãos subterrâneos de resistência (EINTEN, 2001). No bioma Cerrado tem sido identificadas mais de 10 mil espécies vegetais das quais cerca de 4.400 são endêmicas (RIBEIRO; WALTER, 2008; EMBRAPA, 2008)

A fauna do bioma Cerrado caracteriza-se pela presença de animais invertebrados, sendo quase 98% das espécies animais presentes na região. Entre os vertebrados identificados, destacam-se: a jiboia (*Boa constrictor*), a cascavel (*Crotalus durissus*), a ema (*Rhea americana*), a siriema (*Cariama cristata*), o urubu de cabeça amarela (*Cathartes burrovianus*) o urubu preto (*Coragyps atratus*), o cachorro de mato (*Cerdocyon thous*), o tatu-canastra (*Priodontes maximus*) entre outros; sendo em sua maioria (a exceção das aves) de hábito noturno. Entre os invertebrados, os cupins, da Ordem Isoptera; as saúvas da Ordem Hymenoptera, e os gafanhotos, da Ordem Orthoptera, são de grande importância ao servir de alimento para alguns predadores, por exemplo (INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS, 2014).

3.2 Levantamento de dados

3.2.1 Material genético

Utilizaram-se quatro clones do gênero *Eucalyptus* desenvolvidos pela Vallourec e escolhidos por serem amplamente plantados e de grande interesse comercial. O primeiro clone selecionado, denominado VM1, é um híbrido de *Eucalyptus urophylla* (S.T.Blake) x *Eucalyptus camaldulensis* (Dehnh), enquanto os outros três, denominados VM3, VM4 e MN463, são híbridos de *Eucalyptus urophylla* (S.T.Blake) x *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden). De acordo a previas avaliações desenvolvidas pela empresa, os clones VM1 e MN463, possuem o melhor desempenho e a melhor capacidade de resposta ao aumento na disponibilidade de recursos (em termos de rapidez e produção). Contrariamente, o VM3 é um clone altamente sensível ao ataque de pragas e doenças.

3.2.2 Tamanho das parcelas e preparo do solo

A parcela útil foi de 36 arvores, distribuídas em 6 linhas x 6 plantas, com espaçamento de 3m x 3m (324 m²). Duas linhas de bordadura foram usadas (Figura 3).

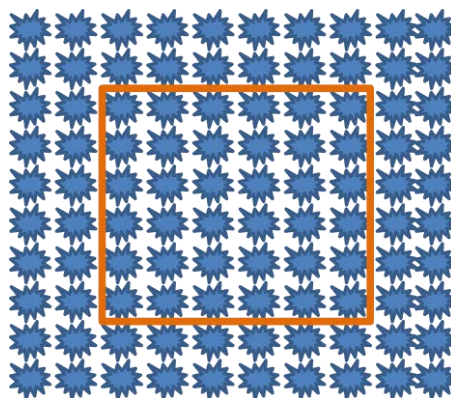


Figura 3 - Esquema das parcelas do experimento.

O preparo do solo foi feito de acordo com os parâmetros da empresa; passando uma grade de 26 polegadas na linha de plantio e fazendo a plantação mecanizada com a ajuda de um sulcador de 40 cm. Capina manual e aplicações de herbicida foram realizadas na área, sempre que necessário, a fim de diminuir a competição entre os clones de eucalipto e as plantas daninhas por nutrientes e água.

3.2.3 Delineamento experimental

3.2.3.1 Experimento 1

Em fevereiro de 2005 foi estabelecido o Experimento 1. O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial 2x2 com dois níveis de adubação: tradicional e extra; e dois níveis hídricos: não irrigado e irrigado.

O sistema de irrigação foi por microaspersão (Figura 4) e teve início desde o estabelecimento do experimento. Foram usados aspersores de 20 cm de altura e aplicados 40 mm de lâmina de água por semana.



Figura 4 - Níveis de disponibilidade hídrica. A= Controle, 848 mm água ano⁻¹. B = Irrigado, 1550 mm água ano⁻¹

A adubação tradicional foi feita de acordo ao padrão da empresa, aplicando no estabelecimento das parcelas a dose total de fósforo (P) no fundo da cova. Posteriormente, na lateral da planta foi aplicado a metade da dose de nitrogênio (N), 1/3 da dose de potássio (K), e o total das doses de cálcio (Ca), magnésio (Mg) conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Doses totais dos fertilizantes aplicados para cada tratamento no final do experimento 1 (Kg do elemento por hectare).

FERTILIZAÇÃO	N	P	K	Ca	Mg	B
--------------	---	---	---	----	----	---

Tradicional kg ha ⁻¹	79	55	66	280	60	6
Extra kg ha ⁻¹	444	160	369	280	60	8

No terceiro mês depois do plantio, foi aplicada a segunda metade do N, 2/3 da dose de K, e 1/3 do Boro. Para finalizar, no mês de setembro (7 meses após o estabelecimento do experimento) foi aplicada a última dose de K e o resto do B.

A combinação dos fatores no Experimento 1 gerou quatro tratamentos identificados de acordo com a seguinte nomenclatura: C= parcela controle, apresenta fertilização tradicional sem irrigação; T1= fertilização tradicional com irrigação; T2= fertilização extra sem irrigação; T3= fertilização extra com irrigação (Figura 6). Foram feitas quatro repetições (Figura 5). Devido a limitações na disponibilidade de áreas para estabelecer o experimento, as repetições foram implantadas dentro do mesmo povoamento, plantando um clone diferente em cada repetição (VM1, VM3, VM4 e MN463) gerando consequentemente um confundimento entre os blocos e o material genético. Embora o desenho do experimento não permitisse estatisticamente gerar resultados por clone, os resultados apresentam o padrão de resposta médio do material genético plantado em quase 90% da totalidade da fazenda.

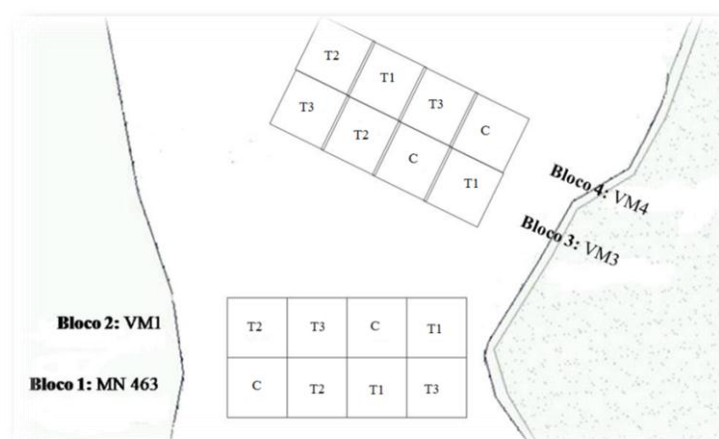


Figura 5 - Croqui Experimento 1. C: Controle; T1: Fertilização tradicional com irrigação; T2: Fertilização extra sem irrigação; T3: Fertilização extra com irrigação.

3.2.3.2 Experimento 2

No Experimento 2, o delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com três tratamentos de acordo com a disponibilidade de água: controle ou não irrigado (C); irrigado (Ta), e com redução da água de chuva (Tb) (Figura 6); e duas repetições. Os tratamentos C e Ta foram estabelecidos no ano 2005, junto com o Experimento 1. Em janeiro de 2007 foram instaladas as estruturas correspondes ao tratamento de redução de água de chuva Tb, iniciando dois anos após os outros para não comprometer a sobrevivência das árvores ao induzir uma situação de déficit hídrico nos primeiros estágios após plantio.



Figura 6 - Níveis de disponibilidade hídrica. A= Redução de água da chuva, 594 mm água ano⁻¹; B= Controle, 848 mm água ano⁻¹; C = Irrigado, 1550 mm água ano⁻¹

A redução da água de chuva foi feita através da instalação de estruturas de aproximadamente 1,20 m de altura, formadas por telhas de cimento amianto, distribuídas nas entre linhas da parcela útil cobrindo 30% da superfície da parcela com a finalidade de remover 30% da precipitação efetiva.

A adubação nesse tratamento foi a tradicional da empresa, segundo a Tabela 2, aplicada no mesmo esquema do Experimento 1.

Tabela 2 - Doses totais dos fertilizantes aplicados nas parcelas do Experimento 2 (Kg do elemento por hectare).

FERTILIZAÇÃO	N	P	K	Ca	Mg	B
Tradicional kg ha ⁻¹	79	55	66	280	60	2

Similar ao primeiro experimento, houve confundimento entre o material genético e o bloco. Foram selecionados os clones MN463 e VM1 (Figura 7) por apresentarem maior velocidade de resposta à disponibilidade de água segundo a experiência empírica da empresa.

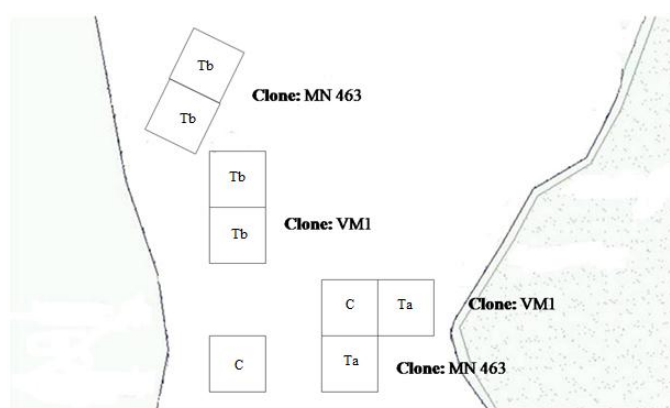


Figura 7 - Croqui Experimento 2. C: Controle; Ta: Parcela com irrigação; Tb: Parcela com redução da água de chuva.

3.2.4 Avaliações climáticas

Os dados climáticos diários de temperatura média, máxima e mínima (°C), de umidade relativa do ar (%), irradiância e precipitação pluviométrica (mm) foram obtidos a partir da avaliação dos dados de três estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) presentes na região: Carbonita, Itamarandiba e Juramento. A Vallourec forneceu os dados de precipitação coletados pela empresa durante o período de 2005 até 2014. Com base nesse registro, foi feita uma análise de correlação de Pearson dos dados de precipitação das três estações meteorológicas. A estação de Carbonita, localizada aproximadamente a 90 km da fazenda Corredor, apresentou a maior correlação dos dados (0,9233) quando comparados com a precipitação registrada pela empresa; portanto, foram utilizados os dados climáticos diários fornecidos por ela.

3.2.4.1 Déficit de pressão de vapor

A determinação do déficit de pressão de vapor (DPV), definido como a diferença entre a pressão de saturação de vapor (e_s) e a pressão real de vapor (e_a) durante um período determinado foi feita de acordo com as seguintes equações, descritas por Tetens (1930):

$$e_s = 0,6108 \exp \frac{17,27 T_{max}}{T_{max} + 273,7} \quad (1)$$

$$e_a = e_s (UR\% 100) \quad (2)$$

Em que: e_s = pressão de saturação do vapor à temperatura do ar (kPa); T_{max} = temperatura máxima do ar (°C); e_a = pressão real de vapor (kPa); e_s = pressão de saturação do vapor à temperatura do ar (kPa), UR = umidade relativa do ar (%)

Uma vez calculados ambos fatores, o DPV foi determinado com a seguinte fórmula:

$$DPV = e_s - e_a \quad (3)$$

Em que: e_a = pressão real de vapor (kPa); e_s = pressão de saturação do vapor à temperatura do ar (kPa)

3.2.4.2 Balanço hídrico

Para avaliar a influência da disponibilidade de água para cada tratamento (irrigado, não irrigado e com redução da água de chuva), estimou-se o balanço hídrico mensal pelo método de Thornthwaite e Mather (1995), através do programa BHnorm (ESALQ, 2005) elaborado em planilha eletrônica por Rolim et al. (1998).

A capacidade de retenção de água dos solos foi calculada considerando o teor de argila de 420 g kg^{-1} e profundidade de 2,5 m, segundo a equação proposta por Alvarez (2011) para Latossolos do Distrito Florestal de Capão Bonito:

$$CAD = -0,0216 (x^{0,8133}) + 6,4967 e^{\left(\frac{-170,5459}{x}\right)} \quad (4)$$

Em que: CAD = Capacidade de água disponível (mm cm^{-1}), x = teor de argila (g kg^{-1}).

Foi realizado o cálculo da capacidade de armazenamento de água disponível no solo através da equação proposta por Alvarez (2011) para Latossolos:

$$CAD = -0,0216 (x^{0,8133}) + 6,4967 e^{\left(\frac{-170,5459}{x}\right)} \quad (21)$$

Em que: CAD = Capacidade de água disponível (mm cm^{-1}), x = teor de argila (g kg^{-1}).

$$CAD = 1,28 \text{ mm cm}^{-1}$$

3.2.5 Avaliações dendrométricas

O inventário florestal foi realizado, em ambos experimentos, trimestralmente (nos meses de janeiro, abril, julho e outubro). Mensuraram-se as circunferências à altura do peito (CAP a 1,3 m) e a altura total (h) de todas as árvores da parcela útil.

O cálculo de volume foi feito através da seguinte equação:

$$V_{total} = DAP^2 * \frac{\pi}{4} * h * f \quad (5)$$

Em que: V_{total} = volume comercial estimado com casca, DAP = diâmetro à altura do peito com casca (cm), h = altura total (m), f = fator de forma (0,5).

Foi calculado o incremento corrente anual (ICA), a partir do segundo ano de estabelecimento dos experimentos (2007) com a finalidade de acompanhar o crescimento da floresta ao longo do experimento:

$$ICA = Vol_t - Vol_{t-1} \quad (6)$$

Em que: ICA = incremento corrente anual, Vol_t = volume do talhão no período t ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), Vol_{t-1} = volume do talhão no período $t-1$ ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

3.2.5.1 Crescimento em biomassa de madeira.

O crescimento do povoamento foi calculado como a diferença no estoque de matéria seca do fuste durante o período 2007 e 2008:

$$\Delta MS_{fuste} = MS_{fuste\ f} - MS_{fuste\ i} \quad (7)$$

Em que: ΔMS_{fuste} = crescimento em matéria seca do fuste ($Mg\ ha^{-1}$); $MS_{fuste\ f}$ = matéria seca do fuste no ano 2009 ($Mg\ ha^{-1}$); $MS_{fuste\ i}$ = matéria seca do fuste no ano 2007 ($Mg\ ha^{-1}$).

A resposta dos tratamentos foi calculada como a diferença de crescimento entre a parcela controle e as parcelas com tratamentos.

$$RT = \Delta MS_{fuste\ t} - \Delta MS_{fuste\ c} \quad (8)$$

Em que: RT = resposta aos tratamentos ($Mg\ ha^{-1}$); $\Delta MS_{fuste\ t}$ = crescimento em matéria seca do fuste da parcela com tratamento ($Mg\ ha^{-1}$); $\Delta MS_{fuste\ c}$ = crescimento em matéria seca do fuste da parcela controle ($Mg\ ha^{-1}$).

Para a determinação da MS_{fuste} foi feita cubagem rigorosa em agosto de 2013. Foram selecionadas 6 árvores com diâmetro médio, para cada bloco, com exceção do bloco 3 (clone VM3) o qual foi desconsiderado por apresentar alta mortalidade como resultado de um ataque do fungo *Ceratocystis* sp no ano 2008.

Cada árvore selecionada, foi derrubada e medida (Figura 8). Calculou-se o volume das toras seguindo a fórmula de volume do parabolóide truncado de Smalian:

$$V = \frac{\pi}{4} * \frac{(D1+D2)^2}{2} * L \quad (9)$$

Em que: V = volume do torete (m^3); $D1$ = diâmetro da extremidade inferior do torete (m); $D2$ = diâmetro da extremidade superior do torete (m); L = comprimento do torete (m).



Figura 8 - A: Corte das árvores com motosserra. B: Medição das toras; C: Medição da copa como parte das atividades de cubagem rigorosa realizada em julho de 2013.

Para a determinação da densidade básica da madeira (DBM), foram coletados discos a 1,3 m de altura para ser posteriormente analisados em laboratório seguindo o método da balança hidrostática (FOELKEL et al., 1971). Os discos colhidos foram seccionados em quatro partes, selecionando duas peças representativas. Cada peça foi colocada em tanques de saturação.

Mediu-se o peso saturado e o peso submerso e posteriormente, foram secas em estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 2$ até atingir massa constante (Figura 9). Após determinar a massa seca, foi feito o cálculo da determinação da densidade básica:

$$DBM = \frac{ms}{(mi - mu)} * \rho \quad (10)$$

Em que DBM = densidade básica da madeira sem casca (g cm^{-3}); ms = massa da amostra seca em estufa a $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ (g); mi = massa da amostra imersa (g), mu = massa da amostra úmida (g), ρ = densidade da água (g cm^{-3})

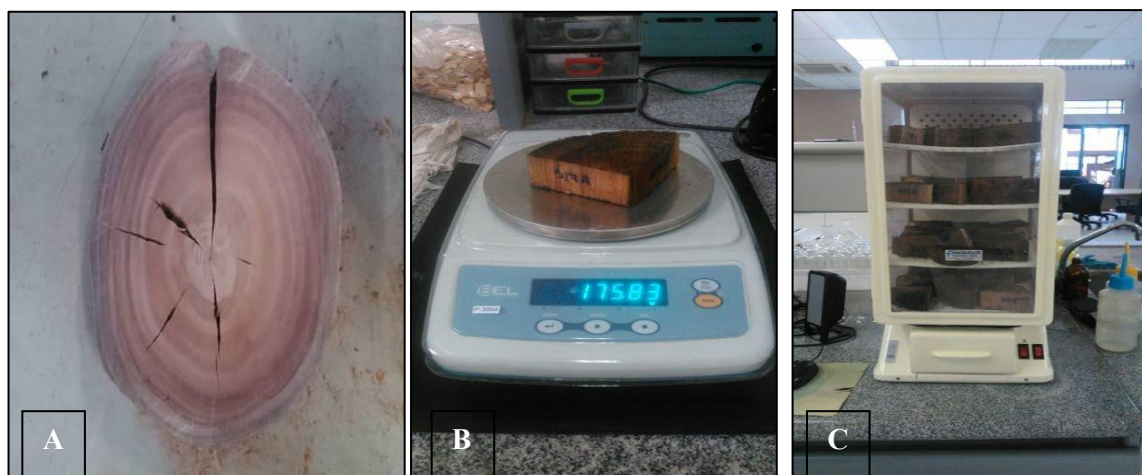


Figura 9 - A: Disco de eucalipto coletado no DAP; B: Pesagem dos discos umidos; C: Discos no dessecador após serem removidos da estufa.

A biomassa de cada árvore foi determinada através da multiplicação de seu volume pela densidade básica da madeira

$$MS_{fuste} = DBM * 1000 * V \quad (11)$$

Em que: MS_{fuste} = biomassa de madeira seca do tronco da árvore (kg); DBM = densidade básica representativa da árvore ($g\ cm^{-3}$); V = volume estimado da árvore de acordo com a fórmula de Smalian (m^3). A constante 1000 faz parte da transformação de $g\ cm^{-3}$ em $kg\ m^{-3}$ para a obtenção da biomassa em kg.

Com base na biomassa das árvores da cubagem rigorosa, foi desenvolvida uma equação alométrica para o cálculo da matéria seca do fuste para cada tratamento (Tabela 3).

Tabela 3 - Equação para cálculo de matéria seca do tronco.

Equação	N	R ²	R ² aj.	Valor-p
$MS = Ln\ -2,1812 + DAP1,7658 + H^{1,4550}$	18	0,958	0,952	4.783e-11 **

Ln = logaritmo em base 10; MS = matéria seca do tronco; DAP = Diâmetro a altura do peito (cm); H = altura total (m). ** Diferença altamente significativa a 99% de probabilidade.

3.2.5.2 Altura dominante e índice de sítio

A altura dominante (H_{dom}) da parcela é definida como a média das alturas das 100 árvores de maior diâmetro por hectare (ASSMANN; DAVIS, 1970) e é usada como indicador da capacidade de sítio devido a sua alta correlação com a produtividade do povoamento e pouca suscetibilidade aos desbastes (FINGER, 2005).

A capacidade de sítio, também chamada: índice de sítio, pode se definir como o potencial para a produção de madeira (ou outro produto), de um determinado local, para uma determinada espécie ou clone (CLUTTER et al., 1983). Mudanças na disponibilidade de recursos, pode ter como resultado, variações ou não na capacidade de sítio num local.

Para o cálculo de H_{dom} , tanto no Experimento 1 quanto no Experimento 2, foram selecionados as 3 árvores de maior diâmetro em cada parcela, na idade de 7 anos, baseado no tamanho da parcela útil (324 m^2). Posteriormente foi obtida a média da altura dominante para cada tratamento.

3.2.6 Avaliações ecofisiológicas

3.2.6.1 Determinação do índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) foi mensurado no mês de julho de 2013. A medição foi feita pelo método indireto através de um Ceptômetro (ACCUPAR – 80, Decagon Devices Inc., Pulman, USA). Foi medido o PAR incidente (I_o) em uma área aberta livre de qualquer impedimento entre a sonda do aparelho e a radiação solar. Imediatamente depois, foram tomadas as medições da PAR transmitida (I) no interior do povoamento, coletando-se 6 pontos por parcela, três na linha e três na entrelinha (Figura 10).

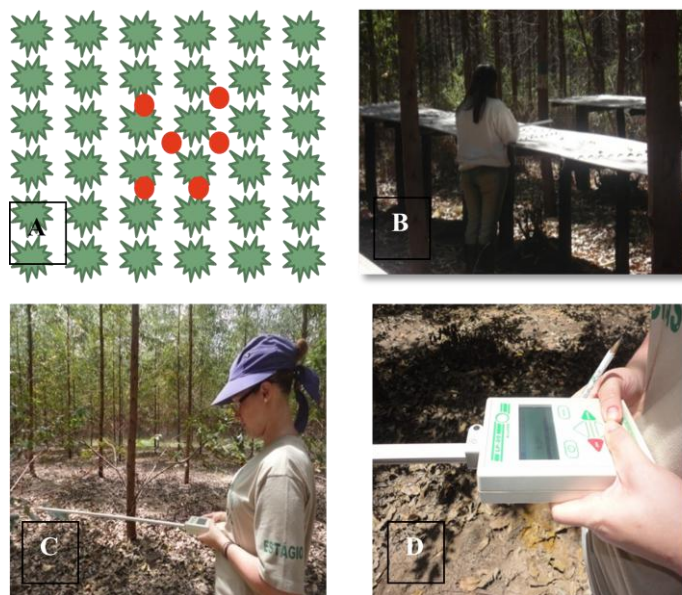


Figura 10 - A: Pontos de medição do IAF dentro da parcela; B: Medição do IAF na parcela com redução da água de chuva; C: Medição do IAF dentro do povoamento; D: Ceptómetro (ACCUPAR – 80, Decagon Devices Inc., Pulman, USA)

O cálculo de IAF foi feito com base nas medições do I_0 e I através da equação de Beer-Lambert (GIUNTI NETO, 2007):

$$IAF = - \left(\frac{1}{k} \right) \ln \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (12)$$

Em que: IAF= Índice de área foliar; I_0 = PAR incidente; I = PAR transmitida; k = coeficiente de extinção da luz (assumido como 0.5) (GIUNTI NETO, 2007).

Para determinar os valores mensais de IAF durante o período de estudo foi utilizado sensoriamento remoto. Este tipo de análise vem sendo utilizado para estimar parâmetros ecofisiológicos como quantidade de nitrogênio, clorofila e índice de área foliar, especialmente em florestas monoespecíficas (WARING et al., 2010). Os índices de vegetação gerados pela análise de imagens de satélite baseiam-se na absorção seletiva da radiação pelo dossel da floresta analisada, gerando distintos valores de refletância. A refletância capturada pelo sensor do satélite, pode se categorizar em bandas, sendo que a banda vermelha (0,6 - 0,7 μm) corresponde à longitude associada à absorção de energia da clorofila; e a banda infravermelha (0,7 - 1,2 μm), associa-se aos processos na estrutura interna da folha (FLORES et al., 2006).

As imagens do satélite LANDSAT 5 TM+ e LANDSAT 7 ETM+, foram obtidas através do Serviço Geológico dos Estados Unidos (<http://glovis.usgs.gov/>) (em inglês: United States Geological Survey- USGS) e possuíam a correção do terreno do nível 1 que permite uma maior precisão geométrica e topográfica (WOODCOCK et al., 2008). A calibração e o processamento das imagens foi feito no ESRI® ArcMap™ 10.0 (Figura 11), adotando a projeção *Universal Transverso de Mercator*, zona 23 sul.

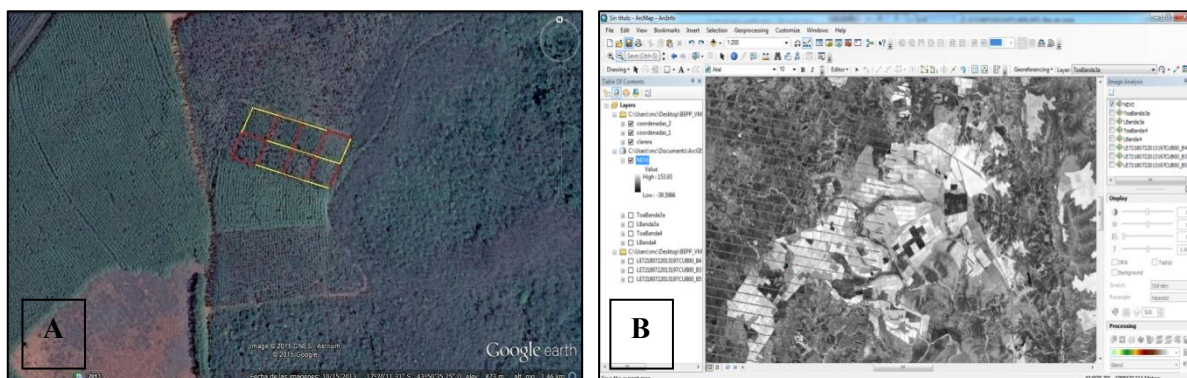


Figura 11 - A: Ensaio BEPP, Blocos 3 e 4 do Experimento 1. Fonte: Google Earth v.1.5.1559 (Outubro, 15. 2013) Fazenda Corredor, Bocaiuva, Minas Gerais. 17° 20'11''S, 43° 50'35''. [jan 12, 2015]. B: Fazenda Corredor, imagem LANDSAT 7 ETM+.

Realizou-se a correção radiométrica dos dados capturados pelos satélites LANDSAT 5 TM+ e LANDSAT 7 ETM+, transformando os valores digitais de cada pixel (DN) em magnitudes físicas de radiância:

$$L = \left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{255 - 1} \right) * DN + L_{\min} \quad (13)$$

Sendo que: L = radiância espectral capturada pelo sensor do satélite LANDSAT 7 ETM+ para a banda ; L_{max} = coeficiente de calibração máxima da banda (W m⁻² sr⁻¹ μm⁻¹); L_{min} = constante de calibração mínima da banda (W m⁻² sr⁻¹ μm⁻¹); DN = número digital da imagem (0 a 255). Informação fornecida pelo USGS.

A radiância espectral de cada banda representa a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, do ângulo de captura e do comprimento de onda, medida e armazenada nos sensores do satélite (BORATTO; GOMIDE, 2013). Porém, a superfície terrestre apresenta uma refletância isotrópica que

também deve ser considerada nas correções da imagem. Com base na radiância espectral calculada (L), calcula-se a refletância no topo da atmosfera:

$$\rho = \frac{L * d^2}{E_i(\theta) * \cos(\theta)} \quad (14)$$

Sendo que: ρ = refletância espectral da banda ao topo da atmosfera; L = radiância espectral capturada pelo sensor do satélite LANDSAT 7 ETM+; d = distância terra - sol (expressada em radianes e calculada como $d=1-.0167 * \cos(2 * (\text{dia Juliano} - 3)/365)$; $E_i(\theta)$ = irradiância solar, θ = ângulo zenital solar.

Após as correções radiométricas, foi calculado o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI). O NDVI é um indicador da quantidade e condição da vegetação calculado através da análise das refletividades das bandas infravermelho próximo e vermelho (no LANDSAT 5 TM+ e LANDSAT 7 ETM+ correspondentes às bandas 4 e 3 respectivamente) (ROUSE et al., 1973):

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (15)$$

Sendo que: NDVI = índice de vegetação de diferença normalizada, ρ_4 e ρ_3 = valor da refletância das banda 4 e 3 do LANDSAT 7ETM+.

Para cada parcela do experimento, foi determinado o valor do NDVI e correlacionado com o IAF medido em Julho de 2013 (Figura 12).

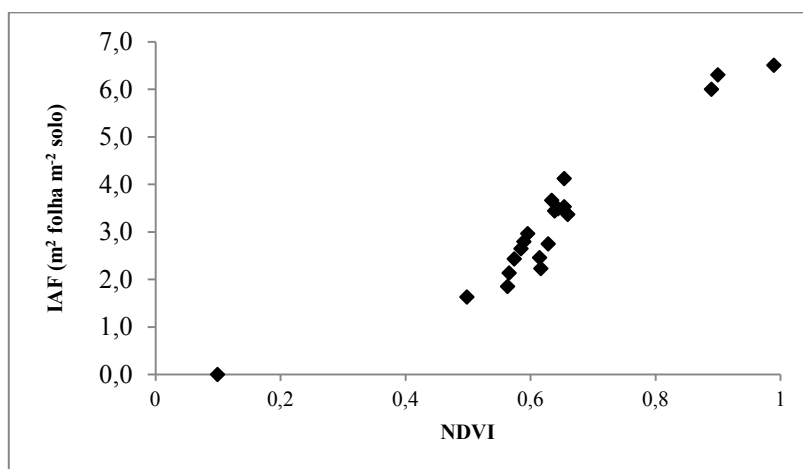


Figura 12 - Correlação entre o IAF medido em Julho de 2013 e o NDVI calculado através do análise de imagens do satélite LANDSAT 5 ETM+.

Com o coeficiente de correlação de Pearson de 0,9032, e assumindo que o comportamento do IAF no solo segue a mesma tendência do NDVI (SPANNER et al., 1990; TURNER et al., 1999), foi determinada uma equação para a estimação do IAF com base no NDVI (Tabela 4).

Tabela 4 - Equação para estimação do IAF com base no NDVI

Equação	N	R²	R² aj.	Valor-p
IAFe = (6,99 * NDVI) - 1,1184	16	0,8158	0,0,8061	2,075e-08 **

IAFe = índice de área foliar estimado; NDVI = índice de vegetação de diferença normalizada. ** diferencia estatisticamente significativa a 99% de probabilidade.

Observa-se a relação linear entre o índice de vegetação de diferença normalizada e o índice de área foliar, tal como descrito por Xavier e Vettorazzi (2004).

3.2.6.2 Determinação da radiação fotossinteticamente ativa e radiação fotossinteticamente ativa absorvida

Para a determinação da radiação fotossinteticamente ativa, ou PAR, foi necessário corrigir o valor de radiação solar global (Qg) por um fator $p = 0,5$, sendo que:

$$PAR = 0,5 Qg \quad (16)$$

No caso deste trabalho, a radiação solar global foi calculada a partir dos dados de insolação solar diária, latitude do local e fotoperíodo obtidas através da estação meteorológica Carbonita, de acordo com as seguintes equações:

$$Q_o = 37,59 * d(t - s) * (0,01745 * w * \sin f * \sin d + \cos f * \cos d * \sin) \quad (17)$$

$$Q_g = (0,29 * \cos (f * 0,01745) + 0,52 * \left(\frac{i}{s}\right)) * Q_o \quad (18)$$

Em que: Q_o = radiação solar extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); Q_g = radiação solar global ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); $d(t-s)$ = distância relativa terra - sol; w = ângulo horário em graus; f = latitude em graus do local; d = declinação solar em graus; i = insolação; s = fotoperíodo.

A radiação fotossinteticamente ativa absorvida foi calculada através da Lei de Lambert-Beer, seguindo a equação (LANDSBERG; SANDS, 2011):

$$APAR = PAR * (1 - \exp^{-k*IAF}) \quad (19)$$

Em que: $APAR$ = radiação fotossinteticamente ativa absorvida ($\text{MJ m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$); PAR = radiação fotossinteticamente ativa ($\text{MJ m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$); k = coeficiente de extinção da luz; IAF = índice de área foliar ($\text{m}^2 \text{ folha m}^{-2} \text{ solo}$).

3.2.6.3 Eficiência do uso da luz

A eficiência do uso da luz foi calculada para cada tratamento, para o período de janeiro de 2007 a janeiro de 2009, dividindo o crescimento em matéria seca do fuste, pela somatória da radiação fotossinteticamente ativa absorvida ($APAR$) registrada nesse período:

$$EUL = \frac{\Delta MS_{\text{fuste}}}{\sum APAR} \quad (20)$$

Em que: EUL = eficiência do uso da luz (g MJ^{-1}), ΔMS_{fuste} = crescimento em matéria seca do fuste ($\text{Mg. ha}^{-1} \text{ período}^{-1}$), $\sum APAR$ = somatória do PAR registrado período de janeiro de 2007 a janeiro de 2009 ($\text{MJ}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ período}^{-1}$).

3.2.7 Análises estatísticas

Foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson entre os valores de precipitação registrados pela estação Carbonita, Itamarandiba, Juramento e os

dados coletados pela Vallourec. Igualmente, foi avaliada a correlação através do coeficiente de Pearson entre o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Área Foliar (IAF); assim como a relação entre o IAF e a matéria seca do fuste para os Experimento 1 e 2.

A equação para a estimação do IAF foi desenvolvida através da análise de regressão múltipla, enquanto a equação para a estimativa de matéria seca do fuste foi ajustada através de uma regressão não linear.

Realizaram-se análises de variância (ANOVA) por tratamento e suas interações, para as variáveis IAF, APAR e EUL. No caso de efeitos significativos, foram utilizados testes de comparação de médias pelo método de Tukey (Tukey's studentized range test, HSD) com nível de significância de 0,05.

Todas as análises foram calculadas através do pacote estatístico R Project (R Core Team, 2013).

4. RESULTADOS

4.1 Avaliações climáticas

Na Figura 13 é possível observar a sazonalidade da precipitação pluviométrica presente na região, concentrando 90% da precipitação anual nos meses de outubro a março, correspondentes ao período chuvoso; enquanto nos meses mais secos, de abril a setembro, apresentam-se chuvas isoladas que não excedem os 50 mm mensais.

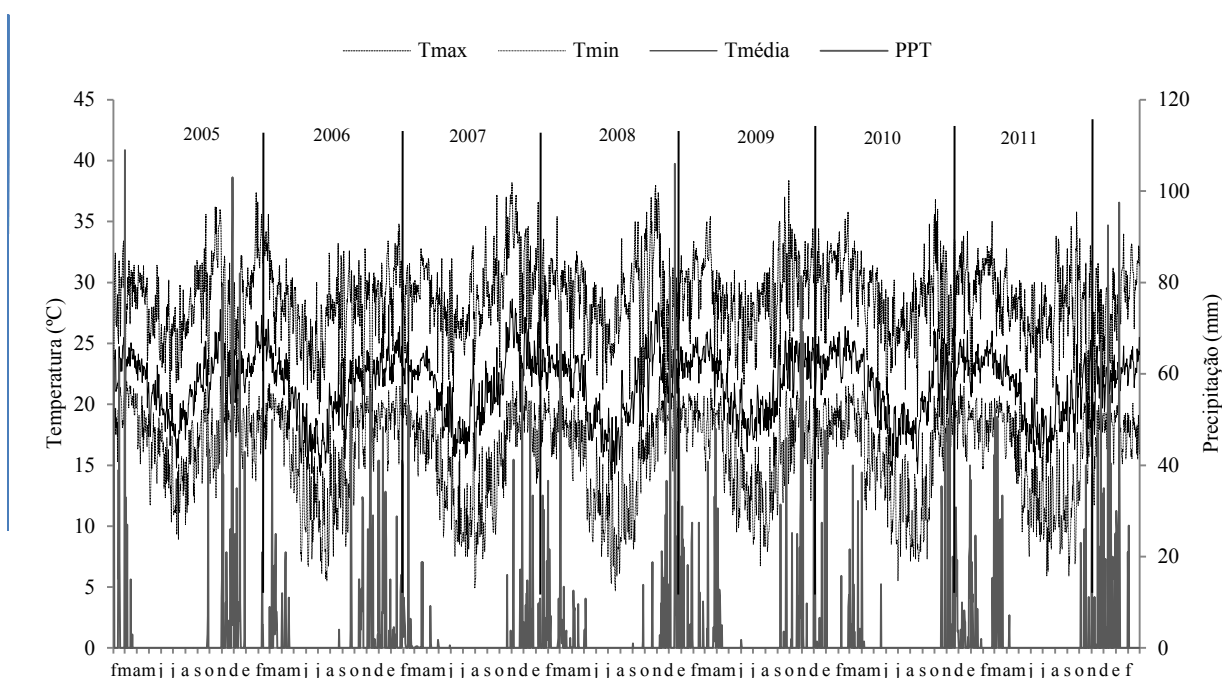


Figura 13 - Precipitação pluviométrica mensal (PPT) da empresa Vallourec, e temperatura máxima, média e mínima da Estação Meteorológica Carbonita, no período de janeiro de 2005 até fevereiro de 2012. Plantio em fevereiro de 2005.

A precipitação média anual registrada durante o experimento foi de 1096 mm ano^{-1} , sendo 2007 o ano que apresentou a precipitação pluviométrica mais baixa, $683,8 \text{ mm}$; e a mais alta, de 1297 mm , ocorreu no ano 2011. Com relação ao período chuvoso, a temperatura média registrada ao longo do experimento foi de $23,2^\circ\text{C}$; oscilando entre $29,8^\circ\text{C}$ e $18,3^\circ\text{C}$; enquanto, no período seco, a temperatura média foi de $19,7^\circ\text{C}$; com variações entre $27,6^\circ\text{C}$ e $13,4^\circ\text{C}$.

Nos anos 2005 e 2006, a precipitação pluviométrica anual foi entre 20 e 30 % acima da média estimada para a região (848 mm) (Stape et al., 2010); porém, foram seguidos de um ano atipicamente seco, em que a precipitação média anual foi 62% menor do que a média. Esse padrão de comportamento ocorreu novamente nos anos 2008 e 2009, que embora tenham apresentado chuvas dentro dos valores esperado para a região, foram seguidos em 2010 por um ano de baixa precipitação.

Considerando essas oscilações na precipitação pluviométrica ao longo do experimento, foi selecionado o período entre janeiro de 2007 e dezembro de 2008 como base para as avaliações climáticas, biométricas e ecofisiológicas, com a finalidade de

incorporar na análise a influência dos períodos de seca, mais extrema, que periodicamente atingem à região.

No período seco, entre o início de abril até final de setembro de cada ano, o acúmulo de precipitação foi de apenas 15 mm, no ano 2007, e 80 mm no 2008; com temperatura média de 19°C em ambos anos (Figura 14a). No período úmido, correspondente aos meses de outubro até final de março, o acúmulo de precipitação foi de 738 mm em 2007 e 1020 mm em 2008, com temperatura média de 24 e 23°C respectivamente (Figura 14b).

A umidade relativa do ar (UR) foi registrada diariamente em dois horários, as 12:00 e as 18:00 (Figura 14c). Houve variações na UR ao longo do ano. No período entre janeiro de 2007 e dezembro de 2008, a UR média mensal no período seco foi de 61%, enquanto o valor mensal no período úmido foi de 71%. Valores mais altos relacionam-se com o começo das chuvas nos meses de outubro e novembro.

O déficit de pressão de vapor oscilou de acordo com o horário de medição (12:00 e 18:00), registrando-se valores médios mensais de 0,37 kPa no período seco, e 0,52 kPa, no período úmido (Figura 14d). Observou-se a alta influência da temperatura, precipitação e umidade relativa do ar (UR) no seu comportamento. Em ambos os anos avaliados, houve um aumento na temperatura média a partir do mês de setembro e, conseqüentemente, incrementos no DPV, chegando a atingir valores máximos de 1,54 kPa (novembro de 2007). No entanto, o começo do período chuvoso e o aumento da UR influenciaram o DPV de tal forma que, mesmo com a presença de maiores temperaturas (como resultado do verão), o DPV diminuiu, ressaltando a importância das avaliações do DPV ao longo do ano já que altos valores de DPV e situações de estresse hídrico podem desencadear o fechamento estomático, (TAIZ, ZEIGER, 2004).

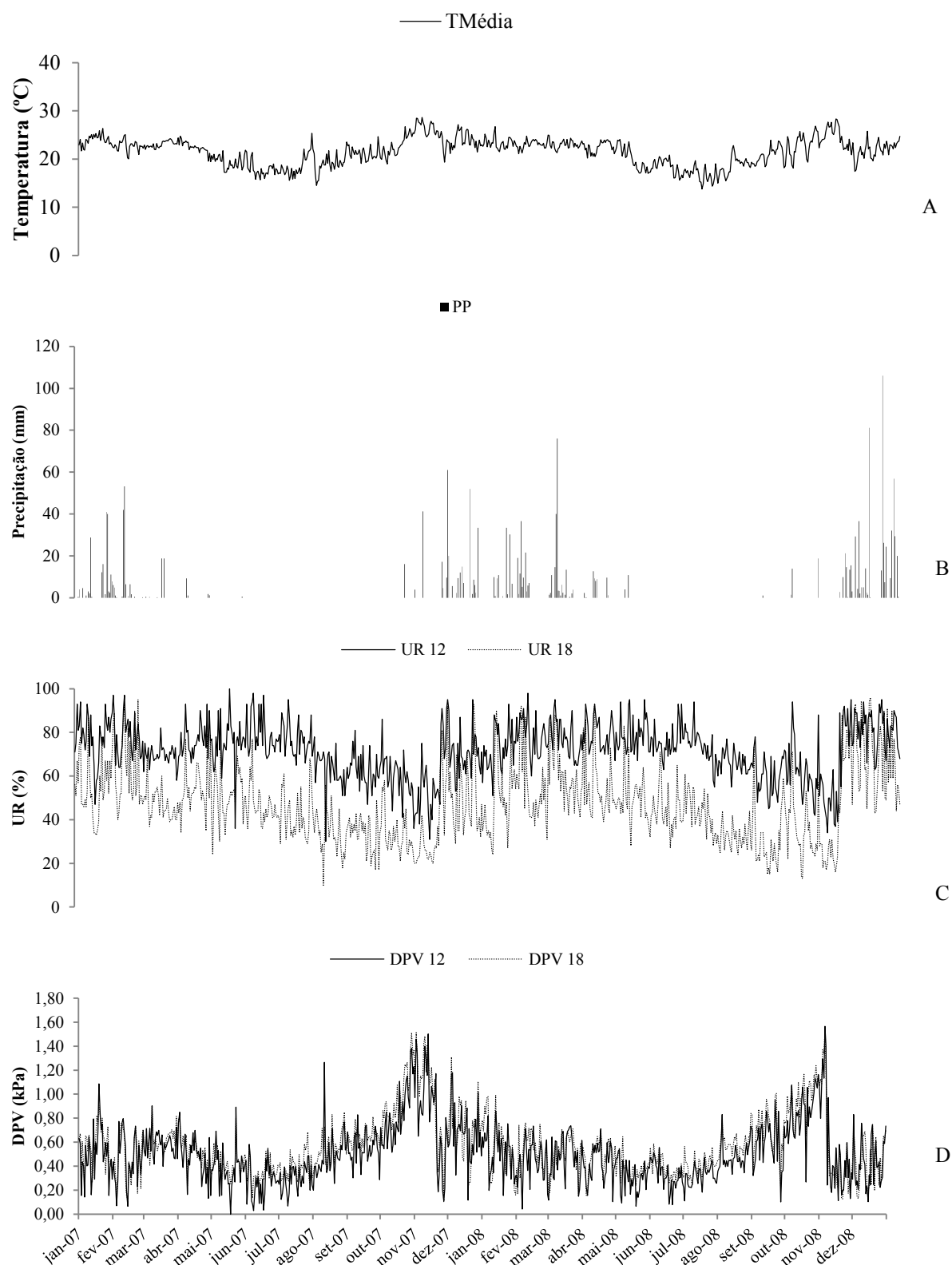


Figura 14 - Precipitação (mm), temperatura média (°C), umidade relativa do ar (%) às 12 e 18 horas ($UR\ 12$ e $UR\ 18$) e o déficit de pressão de vapor (DPV - kPa) às 12 e 18 horas ($DPV\ 12$ e $DPV\ 18$) registrados desde janeiro de 2007 até dezembro de 2008.

4.2 Balanço hídrico

Simulou-se o balanço hídrico normal para o Experimento 1 (Figura 15) observando-se a influência da sazonalidade da precipitação e das condições edáficas da fazenda Corredor no armazenamento de água na região. O tratamento controle apresenta em média 7 meses de déficit hídrico para cada ano, a exceção do ano 2007, onde a forte seca registrada trouxe como resultado 10 meses de déficit hídrico. No caso do tratamento irrigado, o aumento da disponibilidade hídrica conseguiu compensar a perda de água por evapotranspiração, mantendo o excedente de água no solo ao longo do experimento.

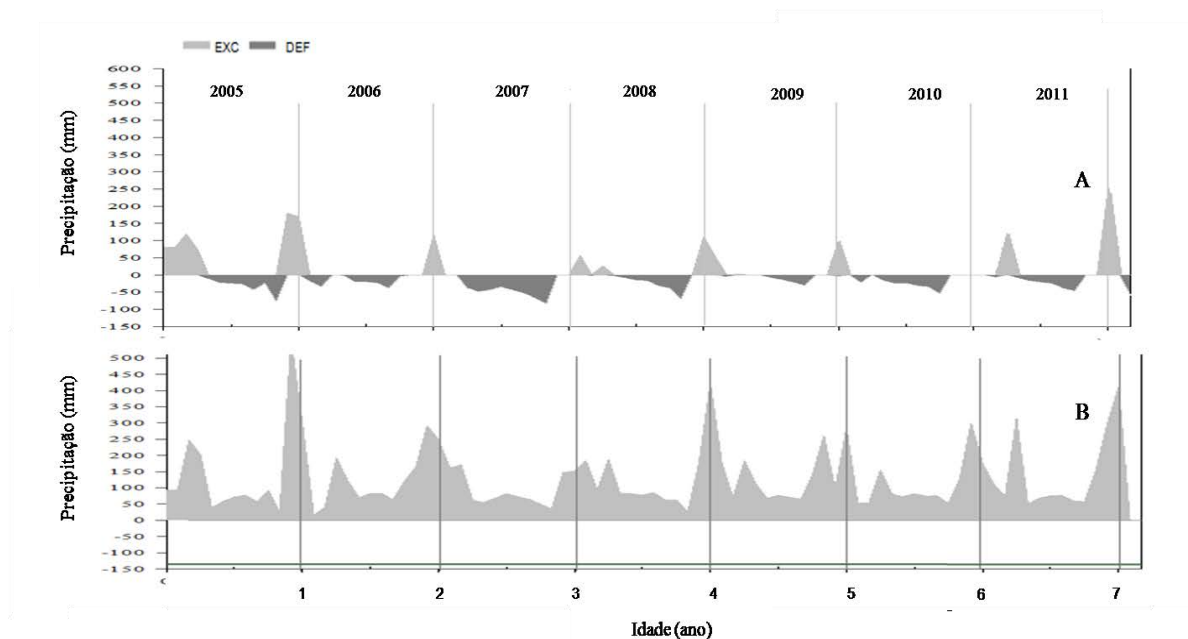


Figura 15 - Balanço hídrico normal, realizado pelo método de Thornthwaite e Mather (1995), para o período de janeiro de 2005 até fevereiro de 2012, considerando a capacidade de água disponível no solo de 320 mm; amostrados o excedente hídrico (EXC) e o déficit hídrico (DEF) no tratamento controle (A) e irrigado (B), do Experimento 1.

No Experimento 2 (Figura 16), os tratamentos controle e irrigado comportaram-se de maneira similar ao Experimento 1. O tratamento de redução de água da chuva, o qual teve início no ano 2007, apresentou déficit hídrico médio anual de - 291 mm, até o final do ano 2011.

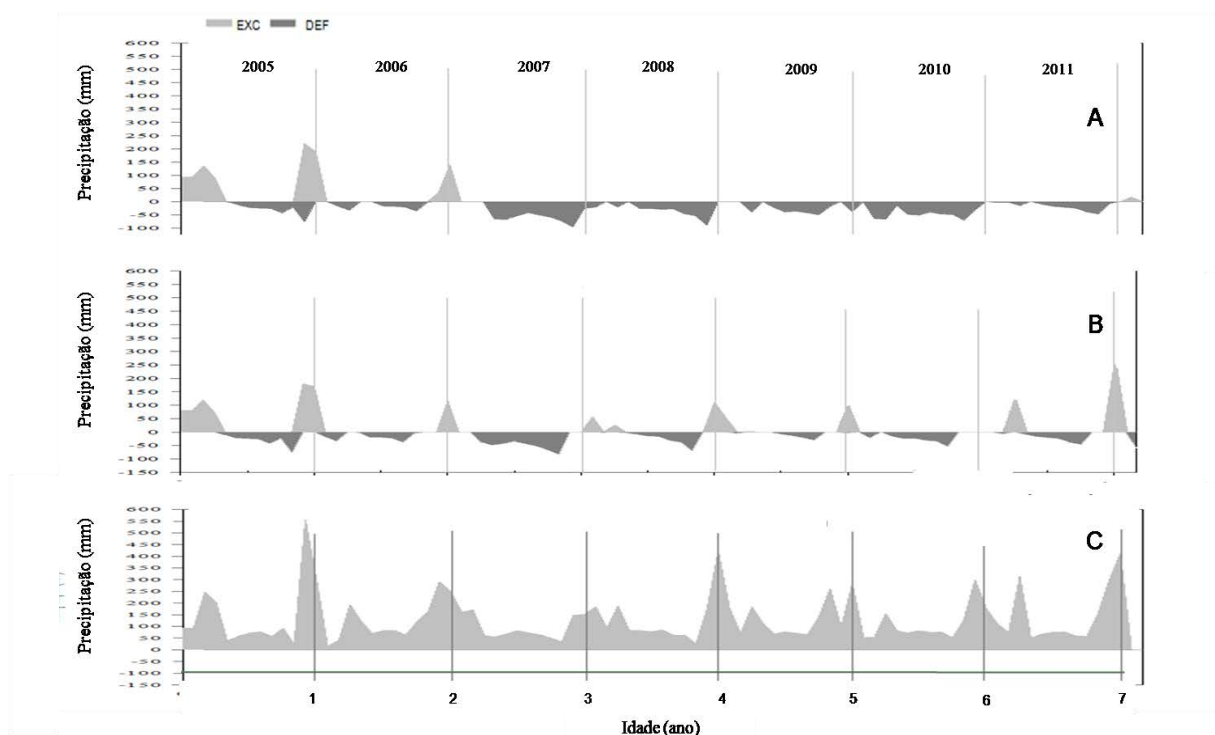


Figura 16 - Balanço hídrico normal, realizado pelo método de Thornthwaite e Mather (1995), para o período de janeiro de 2005 até fevereiro de 2012, considerando a capacidade de água disponível no solo de 320 mm; amostrados o excedente hídrico (EXC) e o déficit hídrico (DEF) no tratamento com redução de água da chuva (A) controle (B) e irrigado (C), do Experimento 2.

4.3 Avaliações Biométricas

Aos 7 anos de idade, os tratamentos com irrigação (T1, T3) correspondentes ao Experimento 1 apresentaram destaque na produtividade, produzindo mais de 60% de matéria seca no fuste, quando comparados com o tratamento controle (C) (Tabela 5). Observou-se também que, o tratamento T2 apresentou 10% a mais de produção de matéria seca no fuste que o tratamento controle.

Tabela 5 - Valores de DAP médio (DAPmed), altura média (Hmed), altura dominante (Hdom), volume (V), incremento médio anual (IMA), incremento médio anual relativo (IMAr), matéria seca do fuste (MSfuste), y matéria seca relativa do fuste (MSr fuste) aos 7 anos.

TRAT	Fertilização / Água	DAP med (cm)	Hmed (m)	Hdom (m)	V (m ³ ha ⁻¹)	IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	IMA r (%)	MS fuste (Mg ha ⁻¹)	MSr fuste (%)
Experimento 1									
C	Tradicional, nao irrigado	16.0	25.6	26.2	245.0 a	35.0 a	0	104.6 a	0
T1	Tradicional, irrigado	18.9	29.4	30.0	390.3 b	55.8 b	59	171.2 b	62
T2	Extra, nao irrigado	16.3	26.7	27.5	265.1 a	37.9 a	8	115.3 a	10
T3	Extra, irrigado	18.8	29.2	29.7	384.7 b	54.9 b	57	167.7 b	60
Experimento 2									
Tb	Redução água de chuva	15.1	24.5	26.0	210.5 a	30.5 a	-14	89.4 a	-15
C	Controle	16.0	25.6	26.2	245.0 a	35.5 a	0	104.6 a	0
Ta	Irrigado	18.9	29.4	30.0	390.3 b	56.6 b	59	171.2 b	64

Tratamentos: controle não irrigado (C), controle irrigado (T1), fertilizado não irrigado (T2), e fertilizado irrigado (T3) correspondentes ao Experimento 1, e controle (C), irrigado (Ta), e redução de água de chuva (Tb), correspondentes ao Experimento 2. Valores com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P=0.05$).

A Hdom também apresentou diferenças entre tratamento. Ao comparar os valores de Hdom entre as parcelas C e T1, a parcela irrigada apresentou uma média de 4 m a mais; o que se interpreta como um aumento de 4m no índice de sitio (IS) como resposta ao aumento da disponibilidade de água. Igualmente, as parcelas com adubação extra (T2 e T3), apresentaram aumentos de 1 e 3 m no IS, quando comparadas com a parcela C.

Stape et al. (2004) registrou valores de matéria seca do fuste similares, entre 79,7e 94,6 Mg ha⁻¹, para *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* num gradiente geográfico na região nordeste do Brasil. O incremento médio anual de 35 e 38 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ para as parcelas C e T2, e de 55 a 56 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, para os tratamento T1 e T3, concordam com os dados apresentados por Mora e Garcia (2000) onde se afirma que no Brasil, a produtividade média anual pode chegar a atingir entre 45 e 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ nos melhores locais.

No experimento 2, a produção de matéria seca do fuste nas árvores do tratamento com irrigação (Ta) foi 64% maior quando comparada com o tratamento controle (C). Contrariamente, a parcela com redução de água de chuva (Tb), produz 15 % menos matéria seca do que C, como consequência do déficit hídrico imposto pelo tratamento.

Os valores de Hdom entre Tb e C, foi de 26 m, em ambos tratamentos. No caso do tratamento Ta, as árvores apresentaram uma média de 4 m a mais na Hdom ao serem comparadas com o tratamento controle; ou seja, similar ao apresentado no Experimento 1, houve um aumento de 4 no índice de sitio (IS) como resposta ao aumento na disponibilidade de água na parcela.

Quando separadas por fatores, as parcelas do Experimento 1 com fertilização extra não apresentaram diferenças significativas quando comparadas com as parcelas com fertilização tradicional (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores de DAP médio (DAPmed), altura média (Hmed), altura dominante (Hdom), volume (V), incremento médio anual (IMA), incremento médio anual relativo (IMAr), matéria seca do fuste (Msfuste), y matéria seca relativa do fuste (MSr fuste) aos 7 anos.

TRAT	DAPmed	Hmed	Hdom	V	IMA	MS fuste
	(cm)	(m)	(m)	(m ³ ha ⁻¹)	(m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)
Fertilização						
Fertilização Tradicional	17.45	27,5	28,1	317,65 a	45,4 a	137,9 a
Fertilização Extra	17.55	27,95	28,6	324,9 a	46,4 a	141,5 a
Disponibilidade Hídrica						
Não Irrigado	16.2	26.2	26.9	255.1 a	36.4 a	109.9 a
Irigado	18.0	28.4	29.1	346.7 b	49.5 b	151.4 b

Valores com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P=0.05$).

Contrariamente, foi observada a influencia da irrigação sob o crescimento das parcelas, registrando-se ganhos de ate 34% em matéria seca do fuste quando comparados os tratamentos com e sem irrigação.

No Experimento 1, O ICA máximo ocorre nos tratamentos com irrigação: T1 e T3 aos 3 anos de idade, atingindo valores de 88 e 89 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ respectivamente (Figura 17A). Esses valores são similares aos calculados por Almeida et al. (2007), através do modelo de simulação 3-PG (LANDSBERG; WARING, 1997) em híbridos de *Eucalyptus grandis*, onde ao serem removidas as condições de limitação hídricas, foi possível obter incrementos médios de até 95 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$.

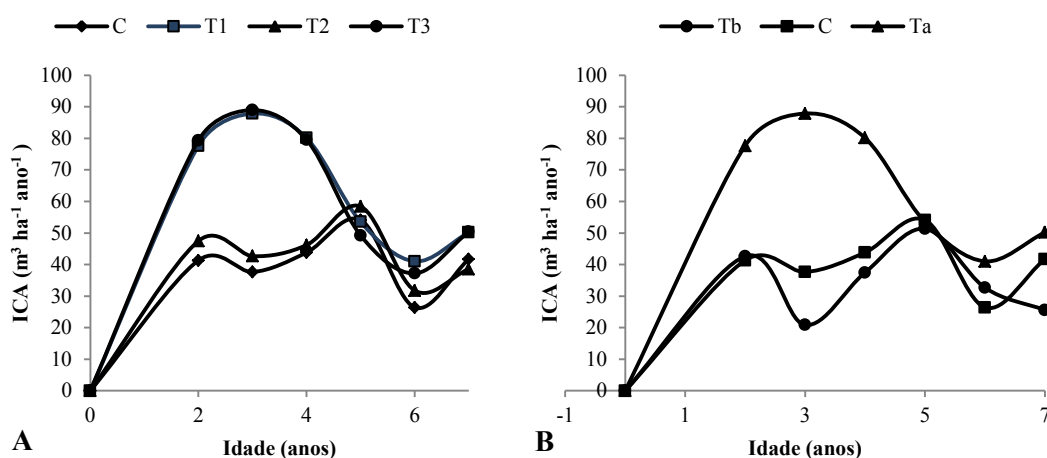


Figura 17 - Incremento corrente anual dos tratamentos: controle não irrigado (C), controle irrigado (T1), fertilizado não irrigado (T2), e fertilizado irrigado (T3) correspondentes ao Experimento 1 (A); e controle (C), irrigado (Ta), e redução de água de chuva (Tb), correspondentes ao Experimento 2 (B), ao longo de 7 anos.

Já no caso dos tratamentos sem irrigação (C, T2), pode-se observar a influência da baixa disponibilidade de água, registrando-se valores de ICA entre 54 e 58 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$. Igualmente, é possível observar que o ICA máximo para esses tratamentos ocorre aos 5 anos de idade, como consequência dos períodos de baixa precipitação que ocorreram no ano de 2007 e 2010 (526 e 601 mm respectivamente) ao longo do experimento.

O declínio esperado no crescimento após o fechamento do dossel ocorreu a partir do quarto ano para os tratamentos, T1 e T3, seguindo o mesmo padrão observado por Stape et al. (2010) para povoamentos clonais de eucalipto no Brasil. No caso dos tratamentos C e T2, o aumento na disponibilidade hídrica no ano 2008 como

consequência das altas precipitações registradas nesse ano, gera um aumento momentâneo no ICA, para finalmente decrescer a partir do quinto ano.

No caso do Experimento 2 (Figura 17B), como esperado, o ICA máximo tem lugar no tratamento com irrigação (Ta), atingindo um valor de $88 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no terceiro ano do experimento. O ICA máximo do tratamento com redução de água de chuva (Tb) foi $51 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, atingido no ano 5. Ao igual do que no Experimento 1, o ICA dos tratamentos Tb e C demonstraram ser susceptível à precipitação, variando a sua tendência no terceiro e quinto ano do experimento, quando foram registradas os valores mais baixos de precipitação.

4.3.1 Crescimento no período 2007 - 2008

A resposta dos tratamentos em ambos experimentos foi avaliada como a diferença no estoque de matéria seca do fuste, durante o período entre janeiro de 2007 e dezembro de 2008 (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores de matéria seca em janeiro de 2007 (MSfuste2007), dezembro de 2008 (MSfuste2008), incremento em volume (Δ MSfuste), e resposta relativa dos tratamentos (RT) para cada tratamento dos Experimentos 1 e 2.

TRAT.	Fertilização / Água	MSfuste2007 (Mg ha ⁻¹)	MSfuste 2008 (Mg ha ⁻¹)	Δ MSfuste (Mg ha ⁻¹)	RT (%)
Experimento 1					
C	Tradicional, não irrigado	15,23	51,16	35,96 (3,98) a	0
T1	Tradicional, irrigado	28,87	106,80	77,93 (16,8) b	116
T2	Extra, não irrigado	17,60	59,38	41,78 (15,19) a	16
T3	Extra, irrigado	30,69	102,12	71,42(18,34) b	98
Experimento 2					
Tb	Redução de água da chuva	39,7	102,6	62,9 (8,2) a	-23
C	Controle	49,0	142,2	92,7 (11,7) a	0
Ta	Irrigado	78,8	248,5	169,8 (30,9) b	108

Tratamentos: controle não irrigado (C), controle irrigado (T1), fertilizado não irrigado (T2), e fertilizado irrigado (T3) correspondentes ao Experimento 1; e controle (C), irrigado (Ta), e redução de água de chuva (Tb), correspondentes ao Experimento 2. Valores com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P=0.05$). Entre parêntesis o desvio padrão ($n= 16$).

Ao analisar o incremento em matéria seca (ΔMS_{fuste}) e a resposta dos tratamentos (RT) entre os anos 2007 e 2008 (Tabela 8) pode-se observar que, no Experimento 1, os tratamentos com irrigação (T1 e T3) apresentaram, estatisticamente, a maior resposta em produção de matéria seca, quando comparados com o tratamento controle, com diferença de crescimento de mais de 98%. O tratamento T2, mesmo quando sua resposta foi 16 % maior do que C, não apresentou diferenças estatisticamente significativas. Segundo Gonçalves et al. (2008), as duas maiores restrições de produtividade em povoamentos de eucalipto (em ordem de importância) são: o déficit hídrico e a deficiência nutricional. No caso do Experimento 1, fica evidenciado que o crescimento dos povoamentos encontra-se fortemente limitado pela disponibilidade hídrica. No caso dos tratamentos com fertilização extra, era esperado um aumento no crescimento dos povoamentos em comparação com a fertilização tradicional, como resultado das altas doses de adubo aplicado (FERREIRA; STAPE, 2009), no entanto, as parcelas não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, o que permite assumir que as necessidades nutricionais encontra-se satisfeitas com a dose de fertilização própria da empresa (STAPE et al., 2010).

No Experimento 2, a resposta em crescimento de matéria seca do fuste dos tratamentos (RT) foi 108% maior no tratamento Ta quando comparado com o tratamento controle (C). No caso do tratamento Tb, houve uma perda de 23% no crescimento de matéria seca, porém, esta diferença não foi estatisticamente significativa.

4.4 Avaliações Ecofisiológicas

4.4.1. Radiação fotossinteticamente ativa

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) apresenta o padrão de sazonalidade comum das regiões tropicais, observando-se maiores valores no verão, e menores no inverno, como resultado da inclinação dos raios solares de acordo à localização do experimento a 17° de latitude sul. (Figura 18). Os valores mensais médios foram de 283 e 275 MJ m⁻² mês⁻¹ no período seco, e 315 e 299 MJ m⁻² mês⁻¹ no período úmido para os anos 2007 e 2008 respectivamente. Note que, os meses entre junho e setembro de 2008 (período seco), apresentaram altos valores de PAR; considerando que não houve precipitação

pluviométrica nesses meses, o aumento do PAR pode ser explicado pela diminuição na nebulosidade nesses meses.

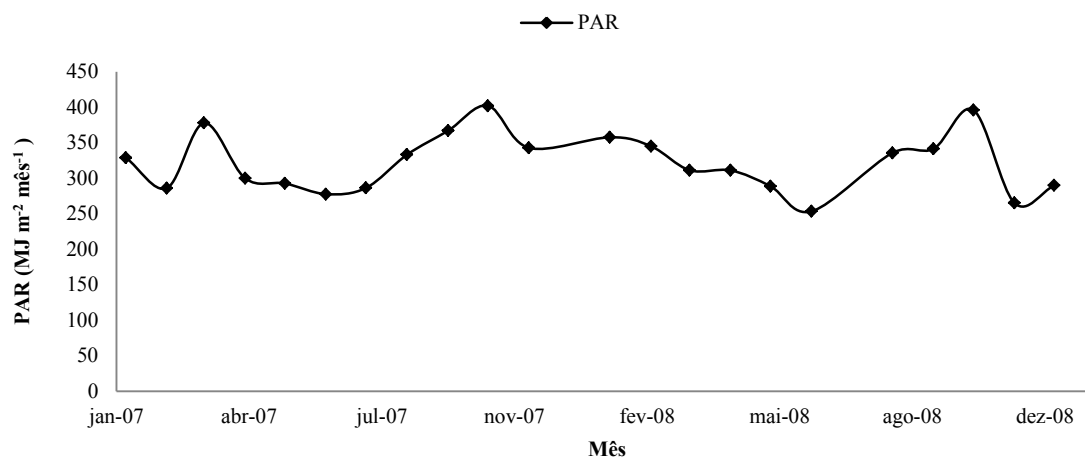


Figura 18 - Radiação fotossinteticamente ativa (PAR) para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2008.

De acordo com a proximidade entre as parcelas do Experimento 1 e 2, foi utilizado o mesmo valor calculado de PAR diário - PAR mensal para a análise dos indicadores ecofisiológicos tanto no Experimento 1 quanto no Experimento 2.

4.4.2 Índice de área foliar

Na Figura 19 é possível observar variações no IAF ao longo do período de janeiro de 2007 a dezembro de 2008, relacionadas com a distribuição sazonal da precipitação. Os valores médios de IAF oscilaram entre 1,3 m² folha m⁻² solo, registrado em fevereiro de 2008, e 3,7 m² de folha m⁻² de solo em junho de 2007. A média durante todo o período avaliado foi de 2,7 m² de folha m⁻² de solo. Estes valores, para esta idade, estão em concordância com os valores de IAF relatados por Kallarackal e Somen (1997), Xavier et al. (2002) e Nouvellon et al. (2010).

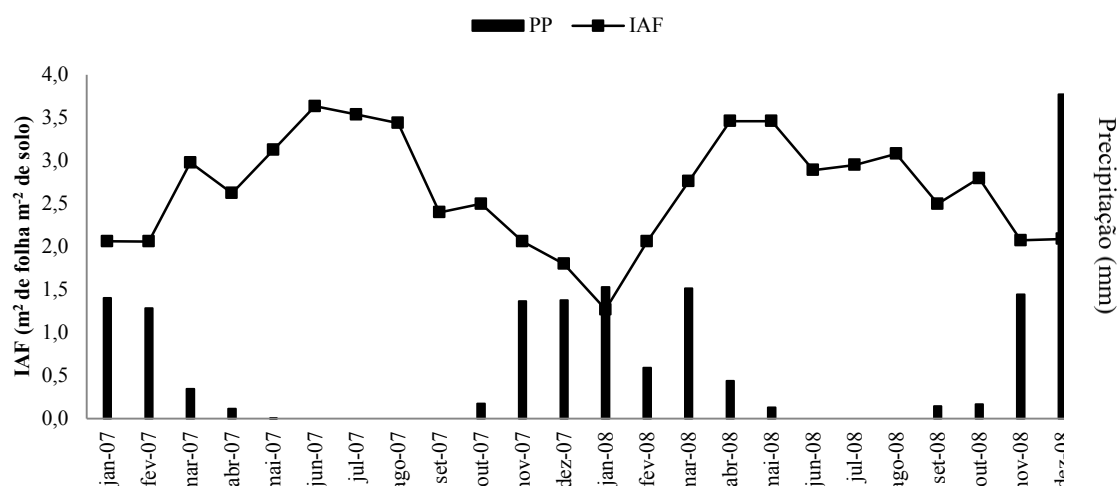


Figura 19 - Índice de área foliar (IAF) estimado da parcela controle (C) do Experimento 1 e 2, a partir das imagens dos satélites LANDSAT 5 TM+ e LANDSAT 7 ETM+, e precipitação pluviométrica registrada para o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2008.

Quanto aos valores médios de índice de área foliar (IAF) estimado para as parcelas do Experimento 1, nos meses de março e outubro de 2007, e março e outubro de 2008, foram constatadas diferenças significativas nos valores de índice de área foliar (IAF) em função dos meses de avaliação (Tabela 8). Considerando que o IAF apresenta padrões de comportamento sazonais intrinsecamente relacionados com os períodos de chuva e seca (ZANI, 2011), a diminuição do IAF no mês de outubro de 2007 provavelmente ocorreu como resposta à baixa disponibilidade hídrica típica desse período na região.

Tabela 8 - Índice de área foliar registrado aos 25, 32, 37 e 44 meses para os Experimentos 1 e 2.

TRAT	Fertilização / Água	IAF (m ² de folha m ⁻² de solo)			
		mar-2007	out-2007	mar-2008	out-2008
Experimento 1					
C	Tradicional, nao irrigado	2,9 (0,2) a	2,5 (0,6) a	2,8 (0,1) a	2,8 (0,6) a
T1	Tradicional, irrigado	2,9 (0,1) a	2,6 (0,2) a	3,0 (0,1) a	3,0 (0,2) a
T2	Extra, nao irrigado	3,0 (0,1) a	2,7 (0,4) a	3,0 (0,1) a	3,0 (0,2) a
T3	Extra, irrigado	2,9 (0,2) a	2,7 (0,6) a	2,9 (0,1) a	2,9 (0,6) a
média		2,9 b	2,6 a	2,9 b	2,9 b
Experimento 2					
Tb	Redução de água da chuva	2,2 (0,1) b	1,9 (0,1) b	2,6 (0,5) b	2,6 (0,1) b
C	Controle	2,9 (0,1) a	2,6 (0,2) a	3,0 (0,1) a	3,0 (0,2) a
Ta	Irrigado	2,9 (0,2) a	2,5 (0,6) a	2,8 (0,1) a	2,8 (0,6) a
média		2,6 b	2,3 a	2,8 b	2,8 b

Tratamentos: controle não irrigado (C), controle irrigado (T1), fertilizado não irrigado (T2), e fertilizado irrigado (T3) correspondentes ao Experimento 1; e controle (C), irrigado (Ta), e redução de água de chuva (Tb), correspondentes ao Experimento 2. Valores com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P=0.05$). Entre parêntesis o desvio padrão ($n= 12$).

Quando comparado o comportamento do IAF entre tratamentos, pode-se observar que, no Experimento 1, não houve diferenças estatísticas entre as parcelas diferentemente do apresentado por Carrero (2012) e Ryan et al. (2010), ou seja, os níveis de disponibilidade hídrica x fertilização não influenciaram o desenvolvimento do IAF no período avaliado. No caso do Experimento 2, percebe-se que a redução em 30% da água de chuva (tratamento Tb) trouxe como resultado a diminuição relativa de 16% nos valores de IAF. Esta diferença entre o IAF do tratamento Tb e o tratamento controle (C), embora estatisticamente significativa, é consideravelmente menor quando comparada com as reduções de até 74% observadas por Stape et al. (2008) em povoamento clonais de eucalipto, como resposta aos períodos de seca.

4.4.3 Radiação fotossinteticamente ativa absorvida

Como constatado na Figura 20, a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (APAR) apresenta padrão de comportamento similar à radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e ao índice de área foliar (IAF) calculados para o período entre janeiro de 2007 e dezembro de 2008 (Figuras 16 e 17). Valores máximos de APAR ($278 \text{ MJ m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$) foram registrados nos meses de março e outubro de 2007, e em dezembro de 2008 o valor mínimo ($161 \text{ MJ m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$).

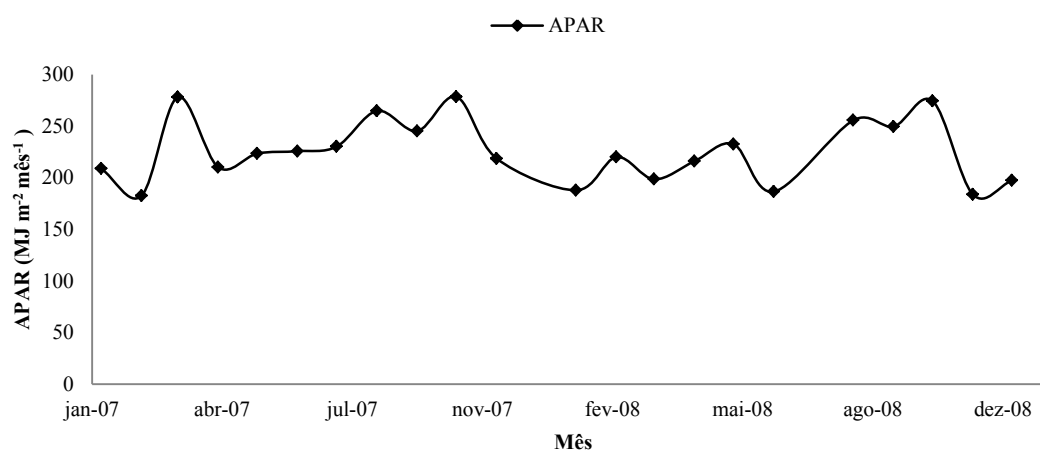


Figura 20 - Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (APAR) média no período entre janeiro de 2007 e dezembro de 2008.

A Tabela 9 mostra que a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR) calculada para cada tratamento foi diferente estatisticamente, com relação à data de avaliação, mas não entre tratamentos, no Experimento 1. Este comportamento ocorreu porque no mês de março de 2008 a APAR registrada foi de $207 \text{ MJ m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$; enquanto nos meses de março e outubro de 2007, e outubro de 2008 foi de 256, 254 e $250 \text{ MJ m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ respectivamente. Essa diferença gerou valores de APAR significativos entre as datas. Entretanto, não houve diferenças entre tratamentos, provavelmente como resultado dos valores estatisticamente similares de IAF registrados para o mesmo período.

Tabela 9 - Radiação fotossinteticamente ativa aos 25, 32, 37 e 44 meses para os Experimentos 1 e 2.

TRAT	Fertilização / Água	APAR (MJ m ⁻² mes ⁻¹)			
		mar-2007	out-2007	mar-2008	out-2008
Experimento 1					
C	Tradicional, não irrigado	252,9 (7,2) a	252,6 (40,5) a	206,1 (7,6) a	249,2 (39,9) a
T1	Tradicional, irrigado	255,9 (4,9) a	266,9 (6,3) a	211,8 (3,5) a	263,3 (6,2) a
T2	Extra, não irrigado	256,1 (9,9) a	237,6 (20,4) a	206,7 (3,8) a	234,3 (20,1) a
T3	Extra, irrigado	257,5 (7,5) a	259,3 (14,2) a	204,2 (4,3) a	255,8 (14,0) a
	média	255,6 b	254,1 b	207,2 a	250,7 b
Experimento 2					
Tb	Redução de água da chuva	237,4 (2,9) b	208,5 (1,3) b	211,1 (20,3) b	237,5 (6,6) b
C	Controle	252,9 (7,2) a	252,6 (40,5) a	206,1 (7,6) a	249,2 (39,9) a
Ta	Irrigado	255,9 (4,9) a	266,9 (6,3) a	211,8 (3,5) a	263,3 (6,2) a
	média	248,7 b	242,7 b	209,7 a	250,0 b

Tratamentos: controle não irrigado (C), controle irrigado (T1), fertilizado não irrigado (T2), e fertilizado irrigado (T3) correspondentes ao Experimento 1; e controle (C), irrigado (Ta), e redução de água de chuva (Tb), correspondentes ao Experimento 2. Valores com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P=0.05$). Entre parêntesis o desvio padrão ($n= 12$).

Com relação ao Experimento 2, a APAR calculada foi menor para o tratamento com redução da água de chuva (Tb) quando comparado aos demais tratamentos. Assim como ocorreu no Experimento 1, houve diferenças estatísticas entre as datas de avaliação, como resultado dos valores de PAR registrados nos meses de março e outubro de 2007, e março e outubro de 2008.

Foi analisada a interação dos fatores: Disponibilidade hídrica x Fertilização, avaliados no Experimento 1, sobre o APAR (Figura 21).

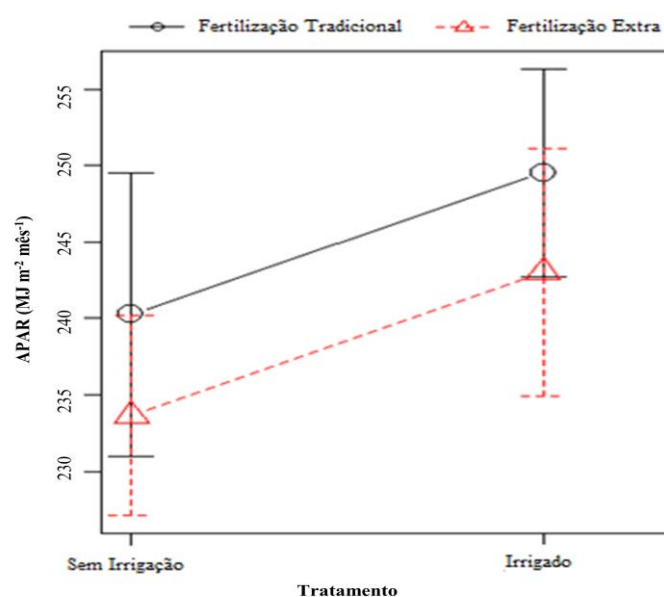


Figura 21 - Representação gráfica da interação entre os fatores Disponibilidade hídrica x Fertilização, para valores de radiação fotossinteticamente ativa absorvida, registrados no período de janeiro a dezembro de 2008.

A interação representada na Figura 20 mostra que o tratamento com fertilização extra possui o mesmo padrão de resposta ante a disponibilidade hídrica do que o tratamento com fertilização tradicional da empresa, sem existir interação entre ambos os fatores. As parcelas com fertilização extra, apresentam maiores valores de APAR do que as parcelas com fertilização tradicional, mas essa resposta não foi estatisticamente significativa de acordo com os resultados da Tabela 9.

4.4.4 Eficiência do uso da luz

A eficiência do uso da luz é considerada uma ferramenta de grande importância na interpretação de estudos comparativos (BEADLE, 1997) e, no caso deste trabalho, foi utilizada para complementar a análise da influência de dois níveis de disponibilidade hídrica e de fertilização sobre povoamentos clonais de *Eucalyptus* spp.

Os valores apresentados na Tabela 10 revelam que houve diferenças significativas na eficiência do uso da luz (EUL) entre os tratamentos com irrigação (T1 e T3) e os não irrigados (C e T2) correspondentes ao Experimento 1. No caso das parcelas C e T2, os valores obtidos foram 30% menores do que os observados por

Stape et al. (2008) em povoamentos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* (entre 1 g MJ⁻¹ e 2,4 g MJ⁻¹). Diferenças na EUL podem ser explicadas pela disponibilidade hídrica suficiente, pois nessa condição, plantios agrícolas tendem a ser mais eficientes quanto ao uso do APAR (GOWER et al., 1999).

Tabela 10 - Eficiência do uso da luz (g MJ⁻¹) no período de janeiro a dezembro de 2008 para os Experimentos 1 e 2.

TRAT.		Eficiência do uso da luz (g MJ ⁻¹)
		Janeiro a dezembro de 2008
Experimento 1		
C	Tradicional, não irrigado	0,73 (0,05) a
T1	Tradicional, irrigado	1,66 (0,11) b
T2	Extra, não irrigado	0,72 (0,22) a
T3	Extra, irrigado	1,41 (0,18) b
Experimento 2		
Tb	Redução de água da chuva	0,55 (0,1) a
C	Controle	0,73 (0,1) a
Ta	Irrigado	1,66 (0,1) b

Tratamentos: não irrigado (C), controle irrigado (T1), fertilizado não irrigado (T2), e fertilizado irrigado (T3) correspondentes ao Experimento 1; e controle (C), irrigado (Ta), e redução de água de chuva (Tb), correspondentes ao Experimento 2. Valores com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P=0.05$). Entre parêntesis o desvio padrão ($n=12$).

No Experimento 2, diferenças estatísticas foram observadas entre o tratamento irrigado (Ta) e os não irrigados (C e Tb). No entanto, é importante ressaltar que, mesmo com a redução de 30% da precipitação efetiva, as parcelas do tratamento com redução de água da chuva não apresentaram diferenças significativas na EUL, podendo-se afirmar que o déficit hídrico não comprometeu a eficiência do uso do recurso luz, ao menos no ano 2008.

Na relação entre a radiação fotossinteticamente ativa (APAR) e a eficiência do uso da luz (EUL) (Figura 22) é possível observar que os tratamentos T1, T2 e T3 apresentaram em média no ano 2008 maiores valores de APAR do que o tratamento controle (C), mas apenas os tratamentos com irrigação (T1 e T3) apresentaram incrementos na eficiência do uso da luz. Ou seja, a irrigação trouxe como resultado incrementos tanto no APAR quanto na EUL.

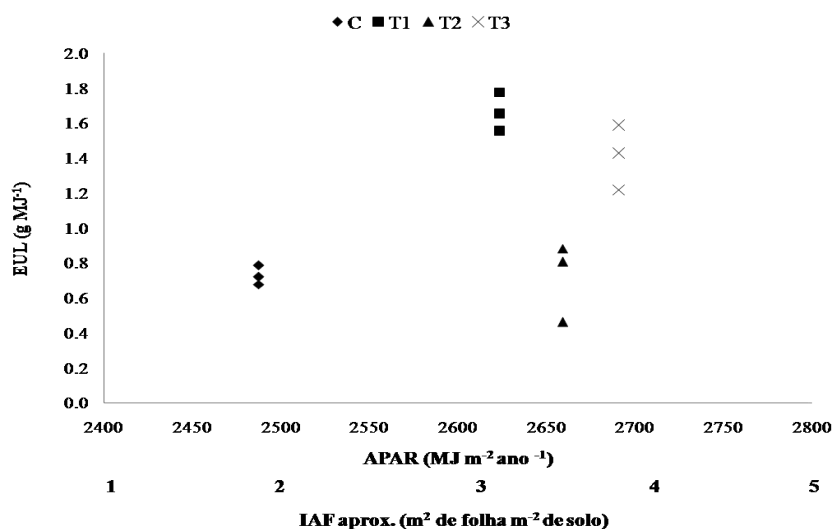


Figura 22 - Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa (MJ m²), o índice de área foliar aproximado (m² de folha m⁻² de solo) e a eficiência do uso da luz (g MJ⁻¹) registrada no ano 2008 para o Experimento 1.

No Experimento 2 (Figura 23) embora o tratamento Tb tenha apresentado maiores valores de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR), a sua eficiência do uso da luz foi similar à do tratamento controle.

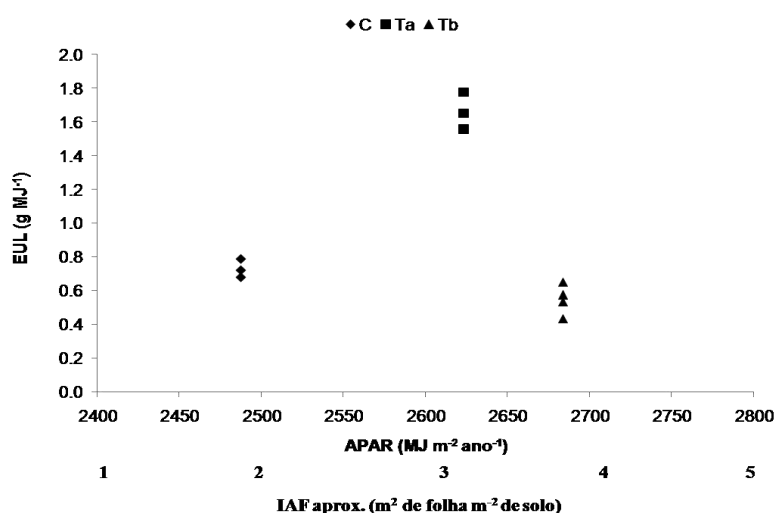


Figura 23 - Relação entre a radiação fotossinteticamente ativa (MJ m²), o índice de área foliar aproximado (m² de folha m⁻² de solo) e a eficiência do uso da luz (g MJ⁻¹) registrada no ano 2008 para o Experimento 2.

No tratamento Ta, observa-se o aumento na eficiência do uso da luz como resultado da maior disponibilidade hídrica, conforme ao descrito por Binkley et al. (2004), em que maior disponibilidade hídrica pode ter aumentos na fotossíntese e nos carboidratos disponíveis para o crescimento em matéria seca do fuste.

5. DISCUSSÃO

No final do período avaliado, o crescimento em matéria seca das parcelas do tratamento com irrigação foi 62% maior do que nos tratamentos sem irrigação, corroborando a influência da disponibilidade hídrica na produção e produtividade de um povoamento (STAPE et al., 2010). Considerando que a habilidade das árvores em adquirir água em profundidade é pouco conhecida, é importante considerar a variação do armazenamento da água no solo, ao longo do tempo, no planejamento de uma plantação florestal (CHRISTINA et al., 2011)

O crescimento em biomassa como resposta à irrigação têm sido reportado para eucalipto em vários estudos (LINDER, 1985; PEREIRA; PALLARDY, 1989, MADEIRA et al., 2002; STAPE et al., 2008) e, embora a irrigação não seja uma estratégia operacionalmente viável para a maioria das florestas (STAPE et al., 2010), o potencial de resposta dos clones ao efeito de maior disponibilidade hídrica deve ser levado em consideração ao realizar as atividades de preparo do solo, colheita, manejo de resíduos e demais práticas silviculturais (GONÇALVES et al., 2002).

No caso deste trabalho, não foi estatisticamente possível avaliar o comportamento por clone, devido ao confundimento entre o material genético e os blocos, porém o comportamento médio por clone registrou perdas de até 15% no crescimento em matéria seca do fuste quando comparados os tratamentos controle e com redução da água

de chuva (Tb) do Experimento2. Embora tenha havido uma diminuição do crescimento, as perdas registradas não foram estatisticamente significativas, o que nos permite inferir que, mesmo com o déficit hídrico induzido no tratamento Tb, os clones usados encontram-se adaptados às condições de seca presentes na região. Essa idéia é confirmada pelo índice de sitio, que é o mesmo para ambos tratamentos (IS=26), apesar da marcada condição de estresse hídrico do tratamento com redução de água da chuva. Caso contrário, nos tratamentos com irrigação, o IS aumenta de 26 para 30, reafirmando a resposta positiva do aumento na disponibilidade de água sobre os povoamentos.

No Experimento 1, além de avaliar o comportamento do povoamento frente a dois níveis de disponibilidade hídrica, avaliou-se duas doses de fertilizantes: a tradicional da empresa e a fertilização extra. Segundo Gonçalves e Mello (2000), solos com reduzidos estoque de água e nutrientes apresentam menor produção de biomassa da parte aérea quando comparada com solos com maior estoque de recursos; portanto, se esperaria que, com o aumento nas doses de fertilização, houvesse incrementos em biomassa. No entanto, os tratamentos com fertilização extra não apresentaram respostas significativamente diferentes quando comparados com os tratamentos com fertilização tradicional, assumindo-se que as necessidades nutricionais foram supridas com a dose tradicional (STAPE et al., 2010). Igualmente, no Experimento 1, não houve interação entre a fertilização e a disponibilidade hídrica; condição que foi registrada também por Madeira et al. (2002), Campion et al. (2006), e Stape et al. (2010), permitindo inferir que, quando não existem demandas nutricionais, cada fator atua independentemente um do outro (STAPE et al., 2010).

Além da disponibilidade de recursos, o crescimento de uma floresta relaciona-se diretamente com a sua área foliar (GONÇALVES et al., 2008), a eficiência com a qual é feita a fotossíntese (LINDER, 1985) e os padrões de alocação dos produtos fotossintetizados (RYAN et al., 2010). Sendo que a maioria dos processos que influenciam o crescimento e a produtividade dos plantios florestais, ocorrem no dossel (LOWMAN; NADKARNI, 1995). Fatores como a radiação e o índice de área foliar devem ser estudados para entender o comportamento e as limitações que afetam uma plantação (CAMPOE, 2008).

O sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizado na análise da cobertura vegetal com a finalidade de caracterizar a vegetação em classes fisionômicas,

e quantificar os parâmetros biofísicos entorno dela, através do processamento de imagens de satélite (SOUSA; PONZONI, 1998). O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) baseia-se na quantificação da refletância em função da absorção da radiação pelos pigmentos fotossintetizantes (BORATO; GOMIDE, 2013). Devido a sua alta correlação com o índice de área foliar (IAF) (de 90% neste estudo) resulta uma técnica de grande utilidade quando não se têm acesso a outro métodos de avaliação do IAF (BEADLE, 1997).

No Experimento 1, o índice de área foliar calculado nos meses de março e outubro de 2007, e março e outubro de 2008, não apresentou diferenças significativas entre tratamentos, e sim entre as datas avaliadas, observando-se a influência da sazonalidade dos períodos de chuva sobre os povoamentos da região. No caso dos tratamentos sem irrigação, a diminuição de 14% no IAF no mês de outubro 2007 pode ser relacionada com o período de seca que teve lugar na região entre os meses de maio e agosto; destacando que o ano 2007 foi o ano de menor precipitação pluviométrica registrado ao longo do experimento. No entanto, o tratamento T3 também apresentou uma redução significativa no IAF, o que nos leva a inferir que houve fechamento estomático como resultado do aumento no déficit de pressão de vapor, comprometendo a captura de carbono e o processo de fotossíntese do povoamento.

Partindo do princípio de que as atividades de silvicultura geram mudanças no índice de área foliar (NAMBIAR, 1990), esperavam-se variações no IAF entre os tratamentos do Experimento 1, como resultado da alteração da disponibilidade dos recursos (água e nutrientes), porém, todos os tratamentos apresentaram valores estatisticamente similares no período avaliado. Por outro lado, o crescimento em matéria seca do fuste dos tratamentos com irrigação foi significativamente diferente quando comparado com os tratamentos não irrigados, o que quer dizer que com o mesmo índice de área foliar, os tratamentos irrigados atingiram incrementos em biomassa 62% maiores do que os sem irrigação.

No caso do Experimento 2, diferenças estatísticas no IAF foram observadas quando comparado o IAF do tratamento de redução da água de chuva (Tb) com os tratamento controle (C) e irrigado (Ta). As parcelas do tratamento Tb apresentaram uma redução de 16% no IAF, trazendo como resultado 23% de perdas em crescimento no ano 2008.

A relação linear entre a matéria seca produzida e a quantidade de energia interceptada pelas folhas foi observada por Stape et al. (2004) em povoamentos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* ao nordeste do Brasil, tal como foi descrito por Monteith (1972). No entanto, no caso deste trabalho, o padrão de comportamento do índice de área foliar não consegue explicar a diferença de crescimento dos tratamentos com e sem irrigação, tanto no Experimento 1 quanto no Experimento 2.

Segundo Binkley et al. (2004), uma maior disponibilidade hídrica gera aumentos na fotossíntese e nos carboidratos disponíveis para o crescimento em matéria seca do fuste, aumentando a eficiência de uso do recurso energético. Contrariamente, em situações de baixa disponibilidade de recurso, a partição de carbono para a biomassa de madeira tende a diminuir, enquanto o fluxo de carboidratos abaixo da superfície do solo aumenta (LITTON et al., 2007), esta abordagem pode explicar a estratégia das plantas com limitações na disponibilidade hídrica.

Com relação à EUL (MONTEITH, 1972), os valores registrados no Experimento 1 oscilaram entre 0,72 e 0,73 g MJ⁻¹ para os tratamentos sem irrigação, e entre 1,41 e 1,66 g MJ⁻² nos tratamentos irrigados, observando-se incrementos de mais de 95% na EUL como resposta ao aumento na disponibilidade hídrica, assim como foram reportados em povoamento de *Eucalyptus* spp. por Stape et al. (2008); Ryan et al. (2010); e Stape et al. (2010). A correlação positiva entre o crescimento dos povoamentos e o aumento na eficiência do uso da luz ocorre já que a EUL depende diretamente da taxa de assimilação fotossintética por unidade de área foliar, fator altamente influenciado pela disponibilidade hídrica, fitossanidade das folhas, e as condições nutricionais e ambientais da região (ZANI, 2011).

Assim, com base no crescimento registrado no ano 2008, e considerando que tanto o índice de área foliar quanto o APAR não apresentaram diferenças estatísticas entre tratamentos, é possível inferir que a diferença no crescimento entre os tratamentos irrigados e não irrigados foi o resultado do aumento na eficiência do uso do recurso luz. Sabe-se que folhas com suficiente disponibilidade hídrica fixam maiores quantidades de carbono por unidade de luz interceptada (BINKLEY et al., 2004), quando comparadas com folhas submetidas a estresses hídricos, as quais tendem a fechar os estômatos para evitar a perda de água na transpiração (LAMBERS et al., 2008). Aumentos no crescimento como resultado de maior disponibilidade hídrica foi observado também

por Ryan et al. (2010), em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de 3 a 5 anos de idade estabelecidos no Brasil, onde a irrigação gerou um aumento em 18% na produção de biomassa em madeira. Nesse experimento, o incremento em biomassa como resposta à irrigação foi de 27%, 5% devido ao aumento na radiação fotossinteticamente ativa absorvida, 11% pelo aumento no IAF e 8% devido às mudanças na partição de carboidratos (RYAN et al., 2010).

No caso deste trabalho, seria requerido outros tipos de avaliações para poder identificar a influência relativa de cada um dos processos que atuam na mudança da eficiência do uso da luz; porém, foi possível observar a atuação da disponibilidade hídrica na produtividade dos povoamentos (LINDER, 1985; CAMPION et al., 2006; STAPE et al., 2008), e a importância da avaliação da dinâmica do dossel, e o uso de indicadores tais como o índice de área foliar e a eficiência do uso da luz para entender a dinâmica das florestas e melhorar a estimativa da sua produtividade (STAPE, 2002)

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no estudo sobre a influência da disponibilidade hídrica e dois níveis de fertilização sobre o índice de área foliar e a eficiência do uso da luz em povoamentos clonais de *Eucalyptus* spp. estabelecidos na região de Bocaiúva, Minas Gerais, ao longo de 7 anos, pode-se concluir que:

- Os povoamentos com irrigação apresentaram maior crescimento em biomassa do fuste do que os tratamentos sem irrigação;

- A aplicação de fertilização extra não influenciou o crescimento em matéria seca, nem o índice de área foliar, indicando que a fertilização tradicional da empresa satisfaz as necessidades nutricionais do povoamento;

- Não houve interação entre a disponibilidade hídrica e aplicação de doses extra de fertilizantes;

- Reduções de 30% na disponibilidade da água de chuva, podem gerar diminuições de até 16% no crescimento em biomassa de fuste;

- O índice de área foliar mostrou-se pouco relacionado com o crescimento do povoamento, indicando que existem outros fatores ecofisiológicos que influenciam o desenvolvimento das florestas;

- Aumentos na disponibilidade hídrica resultaram em incrementos de mais de 100% na eficiência do uso da luz (EUL); contrariamente, a redução do recurso hídrico, não influenciou significativamente a EUL.

- O sucesso da eucaliptocultura em regiões com restrição hídrica será dependente da identificação de clones que possam manter o IAF durante a seca para “ativá-lo” durante o período úmido.

Assim, retornando as hipóteses, temos:

- I. A maior produtividade será apresentada nos clones dos tratamentos com irrigação. **Corroborada.**
- II. Os clones sob tratamento de fertilização extra terão maior crescimento do que aqueles com fertilização tradicional. **Rejeitada.**
- III. O crescimento dos clones terá uma relação linear com o índice de área foliar. **Rejeitada em quase totalidade, exceto para o IAF do tratamento com redução de água da chuva.**
- IV. Os clones sob tratamento de fertilização extra e irrigação possuirão maior eficiência do uso da luz. **Corroborada para os tratamentos com irrigação; rejeitada para os tratamento de fertilização extra.**

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. O cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.4, p.349-364, 1977.

ALMEIDA, A. et al. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 251, p. 10-21, 2007.

ALVARES, C. Mapeamento e modelagem edafoclimática da produtividade de plantações de *Eucalyptus* no sul do Estado de São Paulo. 280f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

ALVARES, C. et al. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, Hamburg, v. 113, p. 407-427, 2013.

ASSMANN, E.; DAVIS, P. **The principles of forest yield study: Studies in the Organic Production, Structure, Increment and Yield of Forest Stands**. Oxford: Pergamon Press. 1970, 506p.

BATTAGLIA, M. et al. Prediction of leaf area index in eucalypt plantations: effects of water stress and temperature. **Tree Physiology**, Victoria, v. 18, p. 521-528, 1998.

BEADLE, C. Dynamics of leaf and canopy development. In: NAMBIAR, E.; BROWN, A. **Management of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 169–212.

BINKLEY, D.; O'CONNELL, A.; SANKARAN, K. Stand Development and Productivity. In: NAMBIAR, E.; BROWN, A. **Management of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 419-442.

BINKLEY, D. et al. Age-related decline in forest ecosystem growth: an individual-tree, stand-structure hypothesis. **Ecosystems**, New York, v. 5, p. 58-67, 2002.

BINKLEY, D.; STAPE, J.; RYAN, M. Thinking about resource use efficiency in forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 5–16, 2004.

BIZZI, L. et al. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: Texto, mapas e SIG**. Brasília: Serviço Geológico do Brasil, 2003. 643p.

BORATTO, I.; GOMIDE, R. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: EPIPHANIO, J.; GALVÃO, L. (Ed.) **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnostico do Município de Bocaiuva-MG. 2005. 245p.

BREDA, N. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, p. 2403 - 2417, 2003.

BRUIJNZEEL, L. Hydrology of forest plantations in the tropics. In: NAMBIAR, E.; BROWN, A. **Management of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 169–212.

CAMPINHOS, E. Sustainable plantations of high-yield Eucalyptus trees for production of fiber: the Aracruz case. **New Forests**, Amsterdam, v.17, p.129-143, 1999.

CAMPION, J.; NKOSANA, M.; SCHOLLES, M. Biomass and N and P pools in above and below-ground components of an irrigated and fertilized *Eucalyptus grandis* stand in South Africa. **Australian Forestry**, Yarralumia, v. 69, p. 48–57, 2006.

CAMPION, L.; SCHOLLES, J. Diagnosing foliar nutrient dynamics of *Eucalyptus grandis* in KwaZulu-Natal, South Africa, using optimal element ratios and the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). **Southern Hemisphere Forestry Journal**, Menlo Park, v.69, p. 137-150, 2007.

CAMPOE, O. **Efeito de praticas silviculturais sobre a produtividade primaria liquida de madeira, o índice de área foliar e a eficiência do uso da luz em plantios de restauração da Mata Atlântica**. 121f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CAMPOE, O. **Ecologia da produção e da competição intra-especifica do *Eucalyptus grandis* ao longo de um gradiente de produtividade no Estado de São Paulo**. 121f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

CAMPOE, O. et al. Stem production, light absorption and light use efficiency between dominant and non-dominant trees of *Eucalyptus grandis* across a productivity gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 288, p. 14–20, 2013.

CARRERO, O. **Effects of Intensive Silviculture on the Productivity of Eucalyptus in Venezuelan Llanos and a Probabilistic Analysis of its Profitability**. 213 p. Tese (Doutorado em Forestry and Environmental Resources), North Carolina State University, Raleigh, 2012.

CHRISTINA, M. et al. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. **Ecosphere**, New York, v.2, p. 1-10, 2011.

CLUTTER, J. et al. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Wiley, 1983. 333p.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS. **Mapa Geológico**. 2003. Disponível em: <<http://www.codemig.com.br/uploads/mapag.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2014.

DUFRENE, E.; BRED, N. Estimation of deciduous forest leaf area index using direct and indirect methods. **Oecologia**, Berlin, v. 104, p. 156-162, 1995.

EINTEN, G. **Vegetação natural do Distrito Federal**. Brasília, DF: SEBRAE/DF, 2001. 162p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). **Doenças do eucalipto no sul do Brasil**: Identificação e controle. Circular Técnica 45. 2001. Disponível em:

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/circtec45_000hlqykp8u02wx7ha0rww4wonsph0mi.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006. 2. ed. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (EMBRAPA). **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.1. ed., v. 1, 410p.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ". **Planilha eletrônica BHnorm**. 2005. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br>>. Acesso em: 12 sep. 2014.

ESRI. **ArcGIS Desktop**: Release 10. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2011.

FERREIRA, J.; STAPE, J. Productivity gains by fertilization in *Eucalyptus urophylla* clonal plantations across gradients in site and stand conditions. **Southern Forest**, Menlo Park, v.71, p. 253-258, 2009.

FINGER, C. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, 2005. 286 p.

FLORES, F. et al. Using multispectral satellite imagery to estimate leaf area and response to silvicultural treatments in loblolly pine stands. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 36, p. 1587-1596, 2006.

FOELKEL, C.; BRASIL, M.; BARRICHELO, L. Métodos para determinação de densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. IPEF, Piracicaba, n. 2/3, p. 65-74, 1971.

FURTADO, E.; WILCKEN, C. Principais doenças e pragas em plantios de eucalipto no Brasil. Câmara Setorial de Florestas Plantadas. 2011. Disponível em:

<http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Florestas_plantadas/12RO/App_Doen%C3%A7as_e_Pragas.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2015.

GANGULY, S. et al. Generating global Leaf Area Index from Landsat: Algorithm formulation and demonstration. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 122, p. 185-202, 2012.

GHOLZ, H.; LIMA, W. The Ecophysiological Basis for Productivity in the Tropics. In: NAMBIAR, E.; BROWN, A. **Management of Soil, Nutrients and Water in Tropical Plantation Forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 213-246.

GIUNTI NETO, C. **Calibração do uso de fotos hemisféricas, do LAI-2000 e do Ceptômetro para estimativa do Índice de Área Foliar em plantações de *Eucalyptus***. Relatório de Estágio Profissionalizante em Eng.Florestal. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007. 62 p.

GONÇALVES, J.; DEMATTE, J.; COUTO, H. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *E.saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e media no Estado de São Paulo. Piracicaba: **IPEF**, v.43/44, p. 24-39, 1990.

GONÇALVES, J. Recomendações de Adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Típicas da Mata Atlântica. Piracicaba: **USP Documentos Florestais**, v. 15, p. 1-23, 1995.

GONÇALVES, J.; MELLO, S. O sistema radicular das arvores. In: GONÇALVES, J.; MIRANDA, S. Nutrição e Fertilidade Florestal. Piracicaba: **IPEF**, 2000, p. 219-268.

GONÇALVES, J. et al. Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo. In: GONÇALVES, J.; STAPE, J. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: **IPEF**, 2002. 498p.

GONÇALVES, J. et al. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forest**, Menlo Park, v. 70, p. 105-118, 2008.

GOWER, T.; KUCHARIK, C.; NORMAN, J. Direct and indirect estimation of leaf area index, APAR and net primary production of terrestrial ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 70, p. 29-51, 1999.

HUNTER, I. Above ground biomass and nutrient uptake of three tree species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* and *Dalbergia sissoo*) as affected by irrigation and fertilizer, at 3 years of age, in southern India. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.144, p. 189–199, 2001.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ARVORES (IBA). **Relatório IBA 2014**. Disponível em: <http://www.iba.org/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2015.

INSTITUTO DE BIOCENCIAS (IB). **Aspectos do Cerrado: Fauna**. Disponível em: <http://eco.ib.usp.br/cerrado/aspectos_fauna.htm>. Acesso em: 25 out. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF). **TECHS**. Disponível em: <<http://www.ipef.br/techs/>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

KALLARACKAL, J.; SOMEN, C. Water use of *Eucalyptus tereticornis* stands of differing density in southern India. **Tree Physiology**, Victoria, v. 17, p. 195-204, 1997.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F.; PONS, T. **Plant physiological ecology**. New York: Springer, 2008. 604 p.

LANDSBERG, J. **Physiology in forest models**: History and the future. FBMIS, 2003. p. 49-63.

LANDSBERG, J.; WARING, R. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 95, p. 209-228, 1997.

LANDSBERG, J.; SANDS, P. **Physiological ecology of forest production**: principles, processes and models. London: Academic Press, 2011. 331 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 531p.

LE MAIRE, G. et al. Modis NDVI time-series allow the monitoring of *Eucalyptus* plantation biomass. **Remote Sensing of Environmental**, Amsterdam, v. 115, p. 2617-2625, 2011.

LINDER, S. Potential and actual production of Australian forest stands. In: LANDSBERG, J.; PARSONS, W. (Ed.) **Research for Forest Management**. Melbourne: CSIRO, 1985, p. 11-35.

LITTON, C.; RAICH, J.; RYAN, M. Carbon allocation in forest ecosystems. **Global Change Biology**, Urbana, v. 13, p. 2089-2109, 2007.

LOWMAN, M.; NADKARNI, N. **Forest canopies**. San Diego: Academic Press, 1995, 624p.

MADEIRA, M. et al. Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill. plantations induced by different water and nutrient availability. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.171, p. 75-85, 2002.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638p.

MONTEITH, J. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.9, p. 747-766, 1972.

MORA, A.; GARCIA, C. **A Cultura do Eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura. 2000. p. 114.

NAMBIAR, E. Interplay between nutrients, water, root growth and productivity in young plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 30, p. 213-232, 1990.

NAMBIAR, E.; SANDS, R. Competition for water and nutrients in plantations. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.23, p. 1955-1968, 1993.

NEVES, J. et al. Monitoramento nutricional e recomendação de adubação. **ANAIS: I Encontro Brasileiro de Silvicultura**. p. 51-50, 2008.

NOUVELLON, Y. et al. Within-stand and seasonal variation of specific leaf area in a clonal Eucalyptus plantation in the Republic of Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1796-1807, 2010.

OLBRICH, B. et al. The Water Use Characteristics of Four Eucalyptus Clones in the Mkuzi Irrigation Trail. **CSIR WNNR**, Division of Forest Science and Technology, pp. 1–40, 1992.

OLIVAS, P. et al. Comparison of direct and indirect methods for assessing leaf area index across a tropical rain forest landscape. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 177, p. 110 – 116, 2013.

OLIVEIRA, A. **Auditoria de certificação**: Manejo Florestal - Princípios, critérios e indicadores para plantações florestais. Rio de Janeiro: Bureau Veritas, 2012.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). **Situación de los bosques del mundo**. 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/013/i2000s/i2000s.pdf>>. Acesso em: 21 ago 2013.

PALLET, R.; SALE, G. The relative contributions of tree improvement and cultural practice toward productivity gains in *Eucalyptus* pulpwood stands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 33–43, 2004.

PEREIRA, J.; PALLARDY, S. Water stress limitations to tree productivity. In: PEREIRA, J.; LANDSBERG, J. (Ed.) **Biomass Production by Fast-Growing Trees**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1989, pp. 37–56.

POTIS, A. Rubisco activase - Rubisco's catalytic chaperone. **Photosynthesis Research**, Oxford, v. 75, p. 11-27, 2003.

R CORE TEAM R: A language and environment for statistical computing. (2013). Disponível em: <<http://www.R-project.org/>> Acesso em: 13 ago. 2013.

RAD, M. et al. Effects of different soil moisture regimes on leaf area index, specific leaf area and water use efficiency in Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) under dry climatic conditions. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 10, p. 294-300, 2011.

RIBEIRO, J.; WALTER, B. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.; ALMEIDA, S. (Eds.) **Cerrado ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998. p.289-556.

RIBEIRO, J.; WALTER, B. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. p. 153- 212. In: SANO, S.; ALMEIDA, S.; RIBEIRO, J. (Ed.) **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, v.1, p. 153-212.

RINGROSE, C.; NIELSEN, W. Growth response of *Eucalyptus regnans* and soil changes following periodic fertilization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 69, p.1806-1812, 2005.

RYAN, M. et al. Factors controlling Eucalyptus productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1695-1703, 2010.

ROLIM, G.; SENTELHAS, P.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCELTM para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, p. 133-137, 1998.

ROUSE, J. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Third ERTS Symposium Proceedings**, NASA, Washington, v. 1, p. 309-317, 1973.

SGARBI, F. **Produtividade do *Eucalyptus* sp. em função do estado nutricional e da fertilidade do solo em diferentes regiões do estado de São Paulo**. 114 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SMETHURTS, P. et al. Fertilizer effects on LAI and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 176, p. 531-542, 2003.

SOUSA, C.; PONZONI, F. Avaliação de índices de vegetação e de bandas TM/Landsat para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de *Pinus* spp. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9. 1998, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998, p. 1549-1560.

SPANNER, M. et al. Remote sensing of temperate coniferous forest leaf area index: the influence of canopy closure, understory vegetation, and background reflectance. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v.33, p.97-112, 1990.

STAPE, J.; GONÇALVES, J.; GONCALVES, A. Relationships between nursery practices and field performance for *Eucalyptus* plantations in Brazil: a historical overview and its increasing importance. **New Forests**, Amsterdam, v. 22, p.19-41, 2001.

STAPE, J. **Production ecology of clonal Eucalyptus plantations in northeastern Brazil**. 225f. Thesis (Ph.D. in Forest Sciences), Colorado State University, Fort Collins, 2002.

STAPE, J.; BINKLEY, D.; RYAN, M. *Eucalyptus* production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 17-31, 2004a.

STAPE, J. et al. Water use, water limitation, and water use efficiency in a Eucalyptus plantation. **Bosque**, Valdivia, v. 25, p. 35-41, 2004b.

STAPE, J. et al. A twin-plot approach to determine nutrient limitation and potential productivity in *Eucalyptus* plantations at landscape scales in Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 223, p. 358-362, 2006.

STAPE, J.; BINKLEY, D.; RYAN, M. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 920-930, 2008.

STAPE, J. et al. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1684–1694, 2010.

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

TETENS, O. Über einige meteorologische. **Zeitschrift für Geophysik**, v. 6, p. 297-309, 1930.

THORNTHWAITE, C.; MATHER, J. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.

TURNER, D. et al. Relationships between leaf area index and Landsat TM Spectral Vegetation Indices across three temperate zone sites. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v.70, p.52-68, 1999.

WATSON, D. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, Oxford, v. 11, p. 41-76, 1947.

WARING, R.; COOPS, N.; LANDSBERG, J. Improving predictions of forest growth using the 3-PGS model with observations made by remote sensing. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1722-1729, 2010.

WOODCOCK, C. et al. Free access to Landsat imagery. **Science**, v. 320, 2008.

XAVIER, A.; SOARES, J.; ALMEIDA, A. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, p. 421-427, 2002.

XAVIER, A.; VETTORAZZI, C. Monitoring leaf area index at watershed level through NDVI from LANDSAT-7/ETM+ data. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, p. 243-252, 2004.

ZANI, C. **Aprimoramentos, teste e uso do modelo 3-PG em plantios clonais de Eucalyptus no nordeste do estado de São Paulo**. Tese. 172 f. Tese (Doutorado) - Programa de Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

ZANUNCIO, J. et al. Lepidópteros coletados com emprego de armadilhas luminosas, em povoamento de eucalipto na Região de Montes Claros, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 17, n. 1, p. 60-68, 1993.

ZHAO, D.; OOTERHUIS, D.; BEDNARZ, C. Influences of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content and chloroplast ultrastructure of cotton plants. **Photosynthetica**, Amsterdam, v. 39, p. 103-109, 2001.

APÊNDICE

Apêndice 1.

Balanço hídrico com precipitação normal segundo o método de Thornthwaite e Matter para os tratamentos controle do experimento 1 e 2.

			T	P	P - interceptado	N	ETP			P-ETP			ARM	ALT	ETR	DEF	EXC	
Ano	Mes	No. Dias	oC	mm		horas	I	a	Thornthwaite	mm	INÍCIO	NEG-AC	mm	mm	mm	mm	mm	
2005	Jan	31	23,1	198		184	12,9	10,1	2,5	104	80	0	320	0	104	0	80	
	Fev	28	23,1	230		214	12,5	10,1	2,5	95	119	0	320	0	95	0	119	
	Mar	31	23,6	195		181	12,1	10,5	2,5	107	74	0	320	0	107	0	74	
	Abr	30	22,7	0		0	11,6	9,9	2,5	90	-90	-90	242	-78	78	11	0	
	Mai	31	20,5	0		0	11,2	8,5	2,5	70	-70	-160	194	-48	48	23	0	
	Jun	30	19,1	0		0	11,0	7,6	2,5	56	-56	-216	163	-31	31	25	0	
	Jul	31	18,0	0		0	11,1	7,0	2,5	50	-50	-266	139	-24	24	27	0	
	Ago	31	20,4	0		0	11,5	8,4	2,5	71	-71	-337	112	-28	28	43	0	
	Set	30	22,1	55		51	11,9	9,5	2,5	87	-36	-372	100	-12	63	24	0	
	Out	31	24,0	11		10	12,4	10,8	2,5	114	-104	-477	72	-28	38	76	0	
	Nov	30	21,8	557		518	12,8	9,3	2,5	90	428	Início	0	320	248	90	0	180
	Dez	31	22,0	286		266	13,0	9,4	2,5	97	169	0	320	0	97	0	169	
Acumulado				1532												-229	624	
2006	Jan	31	23,8	0		0	12,9	10,6	2,4	113	-113	-113	225	-95	95	18	0	
	Fev	28	25,1	31		29	12,5	11,5	2,4	117	-88	-201	171	-54	83	34	0	
	Mar	31	23,1	180		167	12,1	10,2	2,4	103	65	-98	235	65	103	0	0	
	Abr	30	21,6	80		74	11,6	9,2	2,4	81	-7	-105	230	-5	79	2	0	
	Mai	31	18,8	0		0	11,2	7,4	2,4	58	-58	-164	192	-38	38	20	0	
	Jun	30	17,3	0		0	11,0	6,6	2,4	46	-46	-209	166	-26	26	20	0	
	Jul	31	16,9	0		0	11,1	6,3	2,4	45	-45	-254	145	-22	22	23	0	
	Ago	31	20,0	4		4	11,5	8,1	2,4	69	-65	-319	118	-27	30	38	0	
	Set	30	20,5	71		66	11,9	8,5	2,4	74	-8	-327	115	-3	69	5	0	
	Out	31	21,9	138		128	12,4	9,3	2,4	92	36	-239	151	36	92	0	0	

	Nov	30	22,0	276	257	12,8	9,4	2,4	93	163		-5	315	163	93	0	0
	Dez	31	23,3	251,5	234	13,0	10,3	2,4	113	121	Início	0	320	5	113	0	116
		Acumulado		1032											-160		116
2007	Jan	31	24,0	158	147	12,9	10,7	2,5	114	33		-358	104	33	114	0	0
	Fev	28	22,7	144,6	134	12,5	9,9	2,5	91	43		-247	148	43	91	0	0
	Mar	31	23,1	38,8	36	12,1	10,2	2,5	101	-65	Início	-312	121	-27	63	38	0
	Abr	30	22,3	13,2	12	11,6	9,6	2,5	86	-74		-386	96	-25	37	49	0
	Mai	31	19,4	0,6	1	11,2	7,8	2,5	61	-60		-446	79	-16	17	44	0
	Jun	30	17,6	0	0	11,0	6,7	2,5	46	-46		-491	69	-11	11	35	0
	Jul	31	18,7	0	0	11,1	7,3	2,5	55	-55		-546	58	-11	11	44	0
	Ago	31	19,5	0	0	11,5	7,8	2,5	63	-63		-609	48	-10	10	52	0
	Set	30	21,1	0	0	11,9	8,9	2,5	77	-77		-686	38	-10	10	67	0
	Out	31	23,8	19,8	18	12,4	10,6	2,5	112	-93		-779	28	-9	28	84	0
	Nov	30	24,8	153,6	143	12,8	11,3	2,5	123	19		-611	47	19	123	0	0
	Dez	31	24,1	155,2	144	13,0	10,8	2,5	120	24		-480	71	24	120	0	0
		Acumulado		684											-412		0
2008	Jan	31	23,0	172,2	160	12,9	10,1	2,4	104	56		0	320	0	104	0	56
	Fev	29	23,3	66,6	62	12,5	10,3	2,4	98	-36		-36	286	-34	96	2	0
	Mar	31	22,8	170,4	158	12,1	10,0	2,4	99	59		0	320	34	99	0	26
	Abr	30	22,6	49,4	46	11,6	9,8	2,4	90	-44		-44	279	-41	87	3	0
	Mai	31	19,0	14,8	14	11,2	7,5	2,4	59	-45		-90	242	-37	51	9	0
	Jun	30	18,0	0	0	11,0	6,9	2,4	49	-49		-139	207	-35	35	15	0
	Jul	31	16,7	0	0	11,1	6,2	2,4	43	-43		-182	181	-26	26	17	0
	Ago	31	19,6	0	0	11,5	7,9	2,4	65	-65		-247	148	-33	33	32	0
	Set	30	21,3	16,2	15	11,9	9,0	2,4	80	-65		-312	121	-27	42	38	0
	Out	31	24,5	18,8	17	12,4	11,1	2,4	120	-103		-415	87	-33	51	70	0
	Nov	30	22,8	162,6	151	12,8	10,0	2,4	102	49		-272	137	49	102	0	0
	Dez	31	22,5	424,2	395	13,0	9,7	2,4	103	292	Início	0	320	183	103	0	109

		Acumulado		1095											-185	190	
2009	Jan	31	23,3	169,6	158	12,9	10,3	2,5	107	51		0	320	0	107	0	51
	Fev	28	24,1	49,8	46	12,5	10,8	2,5	105	-59	Início	-59	266	-54	100	5	0
	Mar	31	24,0	179	166	12,1	10,7	2,5	111	56		0	320	54	111	0	2
	Abr	30	21,8	70,6	66	11,6	9,3	2,5	81	-16		-16	305	-15	81	0	0
	Mai	31	19,3	0	0	11,2	7,8	2,5	60	-60		-76	253	-52	52	8	0
	Jun	30	18,7	2	2	11,0	7,4	2,5	53	-51		-126	216	-37	39	14	0
	Jul	31	19,0	0	0	11,1	7,5	2,5	56	-56		-183	181	-35	35	22	0
	Ago	31	19,5	0	0	11,5	7,8	2,5	62	-62		-245	149	-32	32	30	0
	Set	30	23,0	114,2	106	11,9	10,1	2,5	95	11		-222	160	11	95	0	0
	Out	31	23,1	253,2	235	12,4	10,2	2,5	104	132		-30	292	132	104	0	0
	Nov	30	23,4	81,6	76	12,8	10,4	2,5	107	-31		-61	265	-27	103	4	0
	Dez	31	23,1	282,2	262	13,0	10,2	2,5	109	154		0	320	55	109	0	98
		Acumulado		1202											-83	152	
2010	Jan	31	24,2	45,6	42	12,9	10,9	2,4	118	-75		-77	251	-69	111	7	0
	Fev	28	24,3	36,4	34	12,5	10,9	2,4	108	-74		-151	200	-52	86	22	0
	Mar	31	23,8	147,2	137	12,1	10,6	2,4	110	27		-110	227	27	110	0	0
	Abr	30	21,9	39,8	37	11,6	9,4	2,4	83	-46		-156	196	-30	67	16	0
	Mai	31	20,2	14	13	11,2	8,3	2,4	68	-55		-212	165	-31	44	24	0
	Jun	30	17,5	0	0	11,0	6,7	2,4	46	-46		-257	143	-22	22	24	0
	Jul	31	18,3	0	0	11,1	7,1	2,4	53	-53		-310	121	-22	22	31	0
	Ago	31	18,0	0	0	11,5	7,0	2,4	53	-53		-363	103	-18	18	34	0
	Set	30	20,9	0	0	11,9	8,7	2,4	76	-76		-438	81	-22	22	54	0
	Out	31	23,1	112,4	105	12,4	10,2	2,4	104	0		-437	82	0	104	0	0
	Nov	30	22,4	287,6	267	12,8	9,7	2,4	96	171		-75	253	171	96	0	0
	Dez	30	23,7	176,3	164	13,0	10,6	2,4	116	48		-20	301	48	116	0	0
		Acumulado		859											-211	0	
2011	Jan	31	23,1	94,8	88	12,9	10,1	2,3	106	-18		-18	303	-17	106	0	0
	Fev	28	24,1	57,6	54	12,5	10,8	2,3	107	-54		-71	256	-47	100	7	0

	Mar	31	23,0	308,6	287	12,1	10,1	2,3	102	185		0	320	64	102	0	121
	Abr	30	21,9	7,2	7	11,6	9,4	2,3	85	-78		-78	250	-70	76	9	0
	Mai	31	18,9	0	0	11,2	7,5	2,3	60	-60		-138	208	-43	43	17	0
	Jun	30	18,2	0	0	11,0	7,1	2,3	52	-52		-190	176	-31	31	21	0
	Jul	31	17,6	0	0	11,1	6,7	2,3	51	-51		-241	151	-26	26	25	0
	Ago	31	19,7	0	0	11,5	8,0	2,3	67	-67		-309	122	-29	29	39	0
	Set	30	20,0	0	0	11,9	8,2	2,3	71	-71		-379	98	-24	24	46	0
	Out	31	21,4	123	114	12,4	9,0	2,3	89	26		-305	123	26	89	0	0
	Nov	30	21,0	271	252	12,8	8,8	2,3	85	167		-31	291	167	85	0	0
	Dez	31	22,0	410,3	382	13,0	9,5	2,3	99	282	Início	0	320	29	99	0	253
	Acumulado			1273												-164	374
2012	Jan	31	22,6	256,8	239	12,9	9,8	0,8	131	126		-299	126	-194	131	0	0
	Fev	28	23,4	26,8	25	12,5	10,3	0,8	118	-92	Início	-390	94	-31	58	60	0
	Acumulado			284												-60	0

Apêndice 2.

Balanço hídrico com precipitação normal e irrigação segundo o método de Thornthwaite e Matter para os tratamentos irrigados dos experimento 1 e 2.

			T	P base	P Inter + Irrigado	N				ETP	P-ETP				ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
Ano	Mes	No. Dias	oC	mm	mm	horas	I	a	Thornthwaite	mm	INÍCIO	NEG-AC	mm	mm	mm	mm	Mm		
2005	Jan	31	23,1	198	198	12,9	10,1	0,5	104	94	Início	0	320	0	104	0	94		
	Fev	28	23,1	230	342	12,5	10,1	0,5	95	247		0	320	0	95	0	247		
	Mar	31	23,6	195	309	12,1	10,5	0,5	107	202		0	320	0	107	0	202		
	Abr	30	22,7	0	128	11,6	9,9	0,5	90	38		0	320	0	90	0	38		
	Mai	31	20,5	0	128	11,2	8,5	0,5	70	58		0	320	0	70	0	58		
	Jun	30	19,1	0	128	11,0	7,6	0,5	56	72		0	320	0	56	0	72		
	Jul	31	18,0	0	128	11,1	7,0	0,5	50	78		0	320	0	50	0	78		
	Ago	31	20,4	0	128	11,5	8,4	0,5	71	57		0	320	0	71	0	57		
	Set	30	22,1	55	179	11,9	9,5	0,5	87	92		0	320	0	87	0	92		
	Out	31	24,0	11	138	12,4	10,8	0,5	114	24		0	320	0	114	0	24		
	Nov	30	21,8	557	646	12,8	9,3	0,5	90	556		0	320	0	90	0	556		
	Dez	31	22,0	286	394	13,0	9,4	0,5	97	297		0	320	0	97	0	297		
Acumulado				1532														0	1817
2006	Jan	31	23,8	0	128	12,9	10,6	0,5	113	15	Início	0	320	0	113	0	15		
	Fev	28	25,1	31	157	12,5	11,5	0,5	117	40		0	320	0	117	0	40		
	Mar	31	23,1	180	295	12,1	10,2	0,5	103	193		0	320	0	103	0	193		
	Abr	30	21,6	80	202	11,6	9,2	0,5	81	121		0	320	0	81	0	121		
	Mai	31	18,8	0	128	11,2	7,4	0,5	58	70		0	320	0	58	0	70		
	Jun	30	17,3	0	128	11,0	6,6	0,5	46	82		0	320	0	46	0	82		
	Jul	31	16,9	0	128	11,1	6,3	0,5	45	83		0	320	0	45	0	83		
	Ago	31	20,0	4	132	11,5	8,1	0,5	69	63		0	320	0	69	0	63		

	Set	30	20,5	71	194	11,9	8,5	0,5	74	120		0	320	0	74	0	120
	Out	31	21,9	138	256	12,4	9,3	0,5	92	164		0	320	0	92	0	164
	Nov	30	22,0	276	385	12,8	9,4	0,5	93	291		0	320	0	93	0	291
	Dez	31	23,3	252	362	13,0	10,3	0,5	113	249		0	320	0	113	0	249
	Acumulado			1032												0	1492
2007	Jan	31	24,0	158	275	12,9	10,7	0,5	114	161		0	320	0	114	0	161
	Fev	28	22,7	145	262	12,5	9,9	0,5	91	171	Início	0	320	0	91	0	171
	Mar	31	23,1	39	164	12,1	10,2	0,5	101	63		0	320	0	101	0	63
	Abr	30	22,3	13	140	11,6	9,6	0,5	86	54		0	320	0	86	0	54
	Mai	31	19,4	1	129	11,2	7,8	0,5	61	68		0	320	0	61	0	68
	Jun	30	17,6	0	128	11,0	6,7	0,5	46	82		0	320	0	46	0	82
	Jul	31	18,7	0	128	11,1	7,3	0,5	55	73		0	320	0	55	0	73
	Ago	31	19,5	0	128	11,5	7,8	0,5	63	65		0	320	0	63	0	65
	Set	30	21,1	0	128	11,9	8,9	0,5	77	51		0	320	0	77	0	51
	Out	31	23,8	20	146	12,4	10,6	0,5	112	35		0	320	0	112	0	35
	Nov	30	24,8	154	271	12,8	11,3	0,5	123	147		0	320	0	123	0	147
	Dez	31	24,1	155	272	13,0	10,8	0,5	120	152		0	320	0	120	0	152
	Acumulado			684												0	1124
2008	Jan	31	23,0	172	288	12,9	10,1	0,5	104	184		0	320	0	104	0	184
	Fev	29	23,3	67	190	12,5	10,3	0,5	98	92		0	320	0	98	0	92
	Mar	31	22,8	170	286	12,1	10,0	0,5	99	187	Início	0	320	0	99	0	187
	Abr	30	22,6	49	174	11,6	9,8	0,5	90	84		0	320	0	90	0	84
	Mai	31	19,0	15	142	11,2	7,5	0,5	59	83		0	320	0	59	0	83
	Jun	30	18,0	0	128	11,0	6,9	0,5	49	79		0	320	0	49	0	79
	Jul	31	16,7	0	128	11,1	6,2	0,5	43	85		0	320	0	43	0	85
	Ago	31	19,6	0	128	11,5	7,9	0,5	65	63		0	320	0	65	0	63
	Set	30	21,3	16	143	11,9	9,0	0,5	80	63		0	320	0	80	0	63
	Out	31	24,5	19	145	12,4	11,1	0,5	120	25		0	320	0	120	0	25
	Nov	30	22,8	163	279	12,8	10,0	0,5	102	177		0	320	0	102	0	177

	Dez	31	22,5	424	523	13,0	9,7	0,5	103	420		0	320	0	103	0	420
		Acumulado		1095												0	1542
2009	Jan	31	23,3	170	286	12,9	10,3	0,5	107	179		0	320	0	107	0	179
	Fev	28	24,1	50	174	12,5	10,8	0,5	105	69		0	320	0	105	0	69
	Mar	31	24,0	179	294	12,1	10,7	0,5	111	184	Início	0	320	0	111	0	184
	Abr	30	21,8	71	194	11,6	9,3	0,5	81	112		0	320	0	81	0	112
	Mai	31	19,3	0	128	11,2	7,8	0,5	60	68		0	320	0	60	0	68
	Jun	30	18,7	2	130	11,0	7,4	0,5	53	77		0	320	0	53	0	77
	Jul	31	19,0	0	128	11,1	7,5	0,5	56	72		0	320	0	56	0	72
	Ago	31	19,5	0	128	11,5	7,8	0,5	62	66		0	320	0	62	0	66
	Set	30	23,0	114	234	11,9	10,1	0,5	95	139		0	320	0	95	0	139
	Out	31	23,1	253	363	12,4	10,2	0,5	104	260		0	320	0	104	0	260
	Nov	30	23,4	82	204	12,8	10,4	0,5	107	97		0	320	0	107	0	97
	Dez	31	23,1	282	390	13,0	10,2	0,5	109	282		0	320	0	109	0	282
		Acumulado		1202												0	1605
2010	Jan	31	24,2	46	170	12,9	10,9	0,5	118	53		0	320	0	118	0	53
	Fev	28	24,3	36	162	12,5	10,9	0,5	108	54		0	320	0	108	0	54
	Mar	31	23,8	147	265	12,1	10,6	0,5	110	155		0	320	0	110	0	155
	Abr	30	21,9	40	165	11,6	9,4	0,5	83	82	Início	0	320	0	83	0	82
	Mai	31	20,2	14	141	11,2	8,3	0,5	68	73		0	320	0	68	0	73
	Jun	30	17,5	0	128	11,0	6,7	0,5	46	82		0	320	0	46	0	82
	Jul	31	18,3	0	128	11,1	7,1	0,5	53	75		0	320	0	53	0	75
	Ago	31	18,0	0	128	11,5	7,0	0,5	53	75		0	320	0	53	0	75
	Set	30	20,9	0	128	11,9	8,7	0,5	76	52		0	320	0	76	0	52
	Out	31	23,1	112	233	12,4	10,2	0,5	104	128		0	320	0	104	0	128
	Nov	30	22,4	288	395	12,8	9,7	0,5	96	299		0	320	0	96	0	299
	Dez	30	23,7	176	292	13,0	10,6	0,5	116	176		0	320	0	116	0	176
		Acumulado		859												0	1305
2011	Jan	31	23,1	95	216	12,9	10,1	0,5	106	110		0	320	0	106	0	110

Apêndice 3.

Balanço hídrico com precipitação normal reduzida, a partir do segundo ano, segundo o método de Thornthwaite e Matter para o tratamento com redução da água de chuva do experimento 2.

Ano	Mes	No. Dias	T oC	P mm	P- 30 % mm	N horas	I	a	ETP Thornthwaite	P-ETP mm	INÍCIO	NEG-AC	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
2005	Jan	31	23,1	198	198	12,9	10,1	2,5	104	94		0	320	0	104	0	94
	Fev	28	23,1	230	230	12,5	10,1	2,5	95	135		0	320	0	95	0	135
	Mar	31	23,6	195	195	12,1	10,5	2,5	107	88		0	320	0	107	0	88
	Abr	30	22,7	0	0	11,6	9,9	2,5	90	-90		-90	242	-78	78	11	0
	Mai	31	20,5	0	0	11,2	8,5	2,5	70	-70		-160	194	-48	48	23	0
	Jun	30	19,1	0	0	11,0	7,6	2,5	56	-56		-216	163	-31	31	25	0
	Jul	31	18,0	0	0	11,1	7,0	2,5	50	-50		-266	139	-24	24	27	0
	Ago	31	20,4	0	0	11,5	8,4	2,5	71	-71		-337	112	-28	28	43	0
	Set	30	22,1	55	55	11,9	9,5	2,5	87	-32		-369	101	-11	66	21	0
	Out	31	24,0	11	11	12,4	10,8	2,5	114	-103		-472	73	-28	39	76	0
	Nov	30	21,8	557	557	12,8	9,3	2,5	90	467	Início	0	320	247	90	0	220
	Dez	31	22,0	286	286	13,0	9,4	2,5	97	189		0	320	0	97	0	189
Acumulado			1532														
																-225	727
2006	Jan	31	23,8	0	0	12,9	10,6	2,4	113	-113		-113	225	-95	95	18	0
	Fev	28	25,1	31	31	12,5	11,5	2,4	117	-86		-199	172	-53	84	33	0
	Mar	31	23,1	180	180	12,1	10,2	2,4	103	77		-80	249	77	103	0	0
	Abr	30	21,6	80	80	11,6	9,2	2,4	81	-1		-81	248	-1	81	0	0
	Mai	31	18,8	0	0	11,2	7,4	2,4	58	-58		-140	207	-41	41	17	0
	Jun	30	17,3	0	0	11,0	6,6	2,4	46	-46		-185	179	-28	28	18	0
	Jul	31	16,9	0	0	11,1	6,3	2,4	45	-45		-230	156	-23	23	21	0
	Ago	31	20,0	4	4	11,5	8,1	2,4	69	-65		-295	127	-29	33	36	0
	Set	30	20,5	71	71	11,9	8,5	2,4	74	-3		-298	126	-1	72	2	0

	Out	31	21,9	138	138	12,4	9,3	2,4	92	46		-199	172	46	92	0	0
	Nov	30	22,0	276	276	12,8	9,4	2,4	93	183		0	320	148	93	0	35
	Dez	31	23,3	252	252	13,0	10,3	2,4	113	139	Início	0	320	0	113	0	139
	Acumulado			1032												-145	174
2007	Jan	31	24,0	158	158	12,9	10,7	2,5	114	44		-582	52	44	114	0	0
	Fev	28	22,7	145	91	12,5	9,9	2,5	91	0		-582	52	0	91	0	0
	Mar	31	23,1	39	24	12,1	10,2	2,5	101	-77	Início	-658	41	-11	36	66	0
	Abr	30	22,3	13	8	11,6	9,6	2,5	86	-77		-736	32	-9	17	69	0
	Mai	31	19,4	1	0	11,2	7,8	2,5	61	-60		-796	27	-6	6	55	0
	Jun	30	17,6	0	0	11,0	6,7	2,5	46	-46		-842	23	-4	4	42	0
	Jul	31	18,7	0	0	11,1	7,3	2,5	55	-55		-896	19	-4	4	51	0
	Ago	31	19,5	0	0	11,5	7,8	2,5	63	-63		-959	16	-3	3	59	0
	Set	30	21,1	0	0	11,9	8,9	2,5	77	-77		-1036	13	-3	3	74	0
	Out	31	23,8	20	12	12,4	10,6	2,5	112	-99		-1135	9	-3	16	96	0
	Nov	30	24,8	154	97	12,8	11,3	2,5	123	-27		-1162	8	-1	98	26	0
	Dez	31	24,1	155	98	13,0	10,8	2,5	120	-23		-1185	8	-1	98	22	0
	Acumulado			684												-559	0
2008	Jan	31	23,0	172	108	12,9	10,1	2,4	104	4		-122	219	4	104	0	0
	Fev	29	23,3	67	42	12,5	10,3	2,4	98	-56	Início	-177	184	-35	77	21	0
	Mar	31	22,8	170	107	12,1	10,0	2,4	99	8		-163	192	8	99	0	0
	Abr	30	22,6	49	31	11,6	9,8	2,4	90	-59		-222	160	-32	64	27	0
	Mai	31	19,0	15	9	11,2	7,5	2,4	59	-50		-272	137	-23	32	27	0
	Jun	30	18,0	0	0	11,0	6,9	2,4	49	-49		-322	117	-20	20	30	0
	Jul	31	16,7	0	0	11,1	6,2	2,4	43	-43		-365	102	-15	15	28	0
	Ago	31	19,6	0	0	11,5	7,9	2,4	65	-65		-430	84	-19	19	46	0
	Set	30	21,3	16	10	11,9	9,0	2,4	80	-70		-500	67	-16	27	54	0
	Out	31	24,5	19	12	12,4	11,1	2,4	120	-108		-608	48	-19	31	89	0
	Nov	30	22,8	163	102	12,8	10,0	2,4	102	1		-604	48	1	102	0	0
	Dez	31	22,5	424	267	13,0	9,7	2,4	103	165		-130	213	165	103	0	0

																		-321		0					
Acumulado			1095																						
2009	Jan	31	23,3	170	107	12,9	10,3	2,5	107	0	Início	-214	164	0	107	0	0								
	Fev	28	24,1	50	31	12,5	10,8	2,5	105	-74		-287	130	-34	65	40	0								
	Mar	31	24,0	179	113	12,1	10,7	2,5	111	2		-282	133	2	111	0	0								
	Abr	30	21,8	71	44	11,6	9,3	2,5	81	-37		-319	118	-14	59	23	0								
	Mai	31	19,3	0	0	11,2	7,8	2,5	60	-60		-379	98	-20	20	40	0								
	Jun	30	18,7	2	1	11,0	7,4	2,5	53	-51		-430	83	-15	16	37	0								
	Jul	31	19,0	0	0	11,1	7,5	2,5	56	-56		-486	70	-13	13	43	0								
	Ago	31	19,5	0	0	11,5	7,8	2,5	62	-62		-549	58	-12	12	50	0								
	Set	30	23,0	114	72	11,9	10,1	2,5	95	-23		-572	54	-4	76	19	0								
	Out	31	23,1	253	160	12,4	10,2	2,5	104	56		-343	110	56	104	0	0								
	Nov	30	23,4	82	51	12,8	10,4	2,5	107	-56		-399	92	-17	69	38	0								
	Dez	31	23,1	282	178	13,0	10,2	2,5	109	69		-220	161	69	109	0	0								
Acumulado			1202																			-289		0	
2010	Jan	31	24,2	46	29	12,9	10,9	2,4	118	-89	Início	-460	76	-24	53	64	0								
	Fev	28	24,3	36	23	12,5	10,9	2,4	108	-85		-544	58	-18	41	67	0								
	Mar	31	23,8	147	93	12,1	10,6	2,4	110	-17		-561	55	-3	96	14	0								
	Abr	30	21,9	40	25	11,6	9,4	2,4	83	-58		-619	46	-9	34	49	0								
	Mai	31	20,2	14	9	11,2	8,3	2,4	68	-59		-679	38	-8	17	52	0								
	Jun	30	17,5	0	0	11,0	6,7	2,4	46	-46		-724	33	-5	5	40	0								
	Jul	31	18,3	0	0	11,1	7,1	2,4	53	-53		-777	28	-5	5	48	0								
	Ago	31	18,0	0	0	11,5	7,0	2,4	53	-53		-830	24	-4	4	48	0								
	Set	30	20,9	0	0	11,9	8,7	2,4	76	-76		-905	19	-5	5	71	0								
	Out	31	23,1	112	71	12,4	10,2	2,4	104	-34		-939	17	-2	73	32	0								
	Nov	30	22,4	288	181	12,8	9,7	2,4	96	85		-365	102	85	96	0	0								
	Dez	30	23,7	176	111	13,0	10,6	2,4	116	-5		-371	100	-2	113	4	0								
Acumulado			859																			-488		0	
2011	Jan	31	23,1	95	60	12,9	10,1	2,3	106	-46		-46	277	-43	103	3	0								

	Fev	28	24,1	58	36	12,5	10,8	2,3	107	-71		-117	222	-55	91	16	0
	Mar	31	23,0	309	194	12,1	10,1	2,3	102	93		-6	315	93	102	0	0
	Abr	30	21,9	7	5	11,6	9,4	2,3	85	-81		-86	245	-70	75	11	0
	Mai	31	18,9	0	0	11,2	7,5	2,3	60	-60		-146	203	-42	42	18	0
	Jun	30	18,2	0	0	11,0	7,1	2,3	52	-52		-198	172	-31	31	22	0
	Jul	31	17,6	0	0	11,1	6,7	2,3	51	-51		-249	147	-25	25	25	0
	Ago	31	19,7	0	0	11,5	8,0	2,3	67	-67		-316	119	-28	28	39	0
	Set	30	20,0	0	0	11,9	8,2	2,3	71	-71		-387	96	-24	24	47	0
	Out	31	21,4	123	77	12,4	9,0	2,3	89	-11		-398	92	-3	81	8	0
	Nov	30	21,0	271	171	12,8	8,8	2,3	85	86		-187	178	86	85	0	0
	Dez	31	22,0	410	258	13,0	9,5	2,3	99	159		0	320	142	99	0	17
Acumulado				1273												-189	17
2012	Jan	31	22,6	257	162	12,9	9,8	0,5	131	49		-602	49	-271	131	0	0
	Fev	28	23,4	27	17	12,5	10,3	0,5	118	-100	Início	-702	36	-13	32	87	0
Acumulado				284												-87	0