ISSN 0103-9954

SAZONALIDADE DO INCREMENTO EM DIÂMETRO DO TRONCO DE ÁRVORES DE *Eucalyptus grandis* PELO USO DE DENDRÔMETROS

SEASONAL INCREMENT IN TRUNK DIAMETER OF *Eucalyptus grandis* TREES APPLYING DENDROMETER BANDS

Carlos Roberto Sette Junior[1] Mario Tomazello Filho[2] José Luis Lousada[3] Jean Paul Laclau[4]

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a sazonalidade do incremento em diâmetro do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis* e sua relação com as variáveis climáticas e de fertilização nitrogenada e com lodo de esgoto. As árvores foram plantadas no espaçamento de 3 x 2 m e fertilizadas com nitrogênio (plantio, 6, 12, 18 meses) e lodo de esgoto (plantio e 8 meses), sendo selecionadas 20 árvores de eucalipto por tratamento, de acordo com a distribuição de área basal do povoamento, instalados dendrômetros de aço no DAP e mensurado o incremento em diâmetro de fevereiro/2006 a fevereiro/2008. Os resultados permitem concluir que houve efeito das variáveis climáticas na sazonalidade do incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto, sendo observado um período de defasagem (*lag*) de 28 dias para a resposta das árvores em relação às variáveis climáticas. Com relação ao efeito da fertilização, determinou-se que o incremento em diâmetro do tronco foi maior nas árvores de eucalipto com tratamento de lodo de esgoto em relação à adubação mineral com nitrogênio.

Palavras-chave: dendrômetros; eucalipto; fertilização; sazonalidade climática.

ABSTRACT

The present work aimed to evaluate the seasonal increment in diameter of *Eucalyptus grandis* trees for 24 months and its relationship with the climatic variables and fertilization with nitrogen and with sewer mud. The trees were planted in the spacing of 3 x 2 m and fertilized with nitrogen (planting, 6, 12, 18 months) and sewer mud (planting and 8 months). 20 trees were selected by treatment according witch the distribution of basal area and installed dendrometer bands at a 1.3 meter. The results showed a clear effect of the climatic variables on the seasonal increment in diameter of trees, being observed a delay period (lag) of 28 days for the answer of the trees in relation to the climatic variables. Regading to the fertilization effect, it was observed that the increment of trunk diameter was higher in the eucalypt trees with organic in relation to mineral fertilization with nitrogen.

Keywords: dendrometer; eucalypt; fertilization; seasonal climatic.

1. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Goiás, Rodovia Goiânia-Nova Veneza, Km 0, Caixa Postal 131, CEP 74690-900, Goiânia (GO). crsettejr@hotmail.com
2. Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Universidade de São Paulo, ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaca (SP). mtomazel@esalq.usp.br
3. Engenheiro Florestal, Dr., Pesquisador, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Apartado 1013, CEP 5001-801, Vila Real, Portugal. jlousada@utad.pt
4. Engenheiro Florestal, Dr., Pesquisador do Centre de Recherche Agronomique Pour le Développement (CIRAD), Montpellier, França. laclau@cirad.fr

Recebido para publicação em 05/10/2009 e aceito em 16/08/2011

INTRODUÇÃO

Os dendrômetros permanentes têm se mostrado indispensáveis na avaliação contínua e precisa do crescimento em circunferência do tronco das árvores de plantações florestais, submetidas a diferentes tratamentos silviculturais. A literatura especializada apresenta significativa variação de modelos de dendrômetros, com respeito aos materiais construtivos, sistemas e períodos de mensuração, precisão, transmissão de dados, etc. Os dendrômetros de fitas de aço foram os primeiros a serem utilizados nas pesquisas de avaliação do incremento do tronco, aliando o baixo custo dos materiais, facilidade de construção e elevada precisão das medidas (BOTOSSO e TOMAZELLO FILHO, 2001).

Diversos trabalhos têm utilizado, desde a década de 1960, os dendrômetros para a avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores de espécies tropicais e temperadas (MARIAUX, 1967, 1969 e 1970; DÉTIENNE et al., 1988; BOTOSSO e TOMAZELLO FILHO, 2001). Em plantações florestais de eucalipto os resultados das pesquisas com a aplicação de dendrômetros têm demonstrado a forte influência do manejo e das variáveis climáticas (ex.: precipitação, temperatura, etc.) na sazonalidade do crescimento em diâmetro do tronco das árvores (VALENZIANO e SCARAMUZZI, 1967; GREEN, 1969; MARIEN e THIBOUT, 1980; WIMMER et al., 2002a; LACLAU et al., 2003; SETTE JR. et al., 2010).

Por outro lado, a implantação de áreas experimentais com árvores de espécies de eucalipto visando à aplicação de fertilizantes químicos e orgânicos exige o monitoramento do regime hidrológico, do crescimento e desenvolvimento das árvores, da exportação de nutrientes e da sustentabilidade da produção de madeira. A implantação dos dendrômetros no tronco das árvores constitui-se em uma ferramenta importante dentre os equipamentos de monitoramento instalados nessa experimentação, permitindo avaliar a sazonalidade do incremento em circunferência do tronco e sua relação com as condições climáticas e efeito dos tratamentos de fertilização.

Dos experimentos implantados e em andamento no Brasil, destaca-se o de "Avaliação de processos de transferência e de balanço de água e de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus* sp com aplicações de nitrogênio e de biossólido: reflexos sobre a sustentabilidade", aprovado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo/FAPESP (LACLAU et al., 2007). Essa experimentação é importante face ao significativo aumento no tratamento sanitário do esgoto nas Estações de Tratamento-ETE produzindo quantidades crescentes de lodo de esgoto. Este resíduo, devido ao aumento populacional, constitui-se em recente problema ambiental, sendo depositado em aterros sanitários ou incinerado, gerando um impacto ambiental indesejável. No entanto, o lodo de esgoto pode ser utilizado nas condições brasileiras como fertilizante em plantações florestais, sendo uma das alternativas mais indicadas, considerando os aspectos sanitários, ambientais, silviculturais, sociais e econômicos (POGGIANI e SILVA, 2005).

Pelo exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a sazonalidade do incremento em diâmetro do tronco de árvores de *Eucalyptus grandis* pelo uso de dendrômetros e sua relação com as variáveis climáticas e com a fertilização orgânica e mineral.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado em abril/2004 na Estação Experimental de Itatinga, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP (23º10'S; 48º40'W; 857 m de altitude). O clima é caracterizado como mesotérmico úmido, com precipitação média de 1635 mm/ano e temperatura média de 12,8 e 19,4 ºC no mês mais frio e mais quente, respectivamente. O solo é Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média, formação Marília e grupo Bauru.

Espécie florestal e tratamentos

As árvores de *Eucalyptus grandis* foram plantadas no espaçamento de 3 x 2 m, com 3 tratamentos sendo, **T_1:** testemunha; **T_2:** aplicação de 120 kg ha^{-1} de N na forma de sulfato de amônia no plantio, 6, 12 e 18 meses; **T_3:** aplicação de 10 t ha^{-1} de lodo de esgoto + 50 Kg ha^{-1} de KCL no plantio e 8 meses; os Tratamentos 1 e 2 receberam 2000 kg ha^{-1} de calcário, 75 kg ha^{-1} de P_2O_5, 50 kg ha^{-1} de K_2O, 4,5 kg ha^{-1} de B, 45 kg ha^{-1} de FTE Br-12 e 45 Kg/ha^{-1} de Boro), em delineamento experimental em 4 blocos casualizados (LACLAU et al., 2007).

Seleção e instalação dos dendrômetros no tronco das árvores

Foram selecionadas 20 árvores de eucalipto/

tratamento, de acordo com a distribuição da área basal, em um total de 60 árvores. Fitas de aço inoxidável (12,7 x 0,15 mm; largura e espessura) foram cortadas no comprimento determinado pela soma do CAP (circunferência do tronco a 1,3 m) do tronco + 20 cm, necessários para a sobreposição e demarcação da escala (em mm) e do nônio (precisão de 0,2 mm) com um gabarito de metal (Figura 1A). As faixas dendrométricas, confeccionadas de acordo com a metodologia descrita por Botosso e Tomazello Filho (2001), foram tracionadas no tronco das árvores de eucalipto por uma mola de aço inoxidável (100 x 8 mm; comprimento e diâmetro) (Figura 1 B-C). A avaliação do incremento em circunferência do tronco, pela leitura do deslocamento das escalas sobrepostas da faixa dendrométrica, foi realizada a cada 14 dias, por um período de 24 meses (fevereiro de 2006 a fevereiro de 2008), no período da manhã e em um mesmo percurso. Os dados registrados foram transferidos para planilha eletrônica, transformados em diâmetro do tronco e analisados para determinar a correlação com os tratamentos de fertilização e as variações climáticas sazonais.

Coleta dos dados climáticos

A temperatura média, máxima e mínima (ºC), a precipitação acumulada (mm) e a umidade do solo (ton./ha) foram coletadas diariamente, no período de janeiro/2006 a fevereiro/2008, na Estação Meteorológica da Estação Experimental de Itatinga/SP. Os valores dos dados climáticos foram agrupados em períodos de 14 dias (soma da precipitação e média da temperatura e umidade do solo), coincidindo com a data da leitura das faixas dendrométricas, sendo utilizados na análise de correlação com o incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto.

Análise estatística

Foi aplicada a análise de variância (ANOVA) para verificar o efeito dos tratamentos e, quando significativa, o teste de Tukey a 95 % de probabilidade. Os valores de diâmetro do tronco das árvores de eucalipto foram correlacionados com os parâmetros climáticos e, através da regressão "stepwise", selecionadas as variáveis climáticas que explicam o incremento do tronco. Aplicou-se, também, a autorregressão para determinar o período de defasagem (*lag*) entre a resposta fisiológica do incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto e a ocorrência das variáveis climáticas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os incrementos máximos em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto ocorreram nos períodos de 8/2 a 12/7; 6/9 a 26/9; 18/10; 29/11 a 13/12/06, 24/7 e 12/11/07 e 8/2/08 (Tabela 1 e Figura 4A). Nos Tratamentos 1, 2 e 3, as maiores taxas de crescimento acumulado em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto (IAmáx) foram de 2,50; 1,71 e 1,87 cm (64, 61 e 62 % do incremento do tronco, respectivamente) nos 24 meses de monitoramento (Tabela 2), com destaque para março, maio e setembro de 2006, com valores mensais de 6,5 a 8,6 % do crescimento.

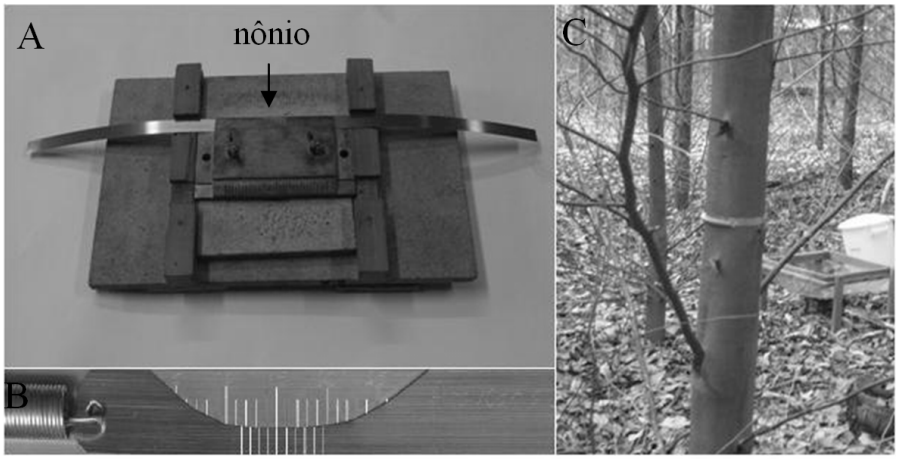

FIGURA 1: Confecção e instalação da faixa dendrométrica no tronco da árvore: (A) gabarito para gravação da escala. (B) sobreposição da escala. (C) faixa dendrométrica no tronco da árvore.

FIGURE 1: Preparation and installation of the dendrometer band: (A) form for recording of the scale. (B) scale. (C) dendrometer band installed in the tree.

TABELA 1: Incremento em diâmetro do tronco entre 2 datas de medição para as árvores de eucalipto a 1,3 metros de altura do tronco.
TABLE 1: Increment in the trunk diameter between 2 dates of measurements for eucalyptus trees.

Ano	Data	Tratamento		
		1	2	3
Diâmetro inicial (cm)		7,20 (1,40)	7,10 (2,16)	7,50 (1,80)
2006	8/2	0,14 a (0,04) (3,5)	0,09 b (0,05) (3,1)	0,03 c (0,03) (0,9)
	22/2	0,14 a (0,08) (3,5)	0,10 a (0,06) (3,5)	0,11 a (0,09) (3,6)
	8/3	0,16 a (0,05) (4,0)	0,10 b (0,07) (3,7)	0,12 ab (0,06)(4,0)
	22/3	0,16 a (0,05) (4,1)	0,11 a (0,07) (4,0)	0,14 a (0,07) (4,6)
	5/4	0,13 a (0,04) (3,3)	0,08 b (0,06) (3,0)	0,10 ab (0,07)(3,4)
	19/4	0,12 a (0,06) (3,0)	0,07 a (0,07) (2,6)	0,09 a (0,06) (3,1)
	3/5	0,15 a (0,09) (3,8)	0,10 a (0,07) (3,7)	0,11 a (0,07) (3,6)
	18/5	0,16 a (0,05) (4,0)	0,12 b (0,08) (4,4)	0,13 ab (0,06)(4,2)
	31/5	0,12 a (0,04) (3,0)	0,10 a (0,10) (3,4)	0,10 a (0,04) (3,3)
	14/6	0,11 a (0,04) (2,8)	0,04 b (0,09) (1,6)	0,07 ab (0,05)(2,3)
	28/6	0,12 a (0,02) (3,1)	0,07 b (0,04) (2,4)	0,08 b (0,03) (2,8)
	12/7	0,11 a (0,04) (2,9)	0,08 b (0,05) (2,7)	0,10 ab (0,04)(3,2)
	26/7	0,05 a (0,03) (1,3)	0,04 a (0,03) (1,3)	0,04 a (0,03) (1,2)
	9/8	0,06 a (0,02) (1,5)	0,04 a (0,02) (1,3)	0,05 a (0,02) (1,7)
	23/8	0,02 a (0,03) (0,4)	0,02 a (0,03) (0,6)	0,02 a (0,02) (0,5)
	6/9	0,12 a (0,03) (3,0)	0,08 b (0,05) (2,8)	0,10 ab (0,05)(3,2)
	26/9	0,14 a (0,04) (3,5)	0,11 b (0,06) (3,9)	0,13 ab (0,04)(4,4)
	4/10	0,03 a (0,02) (0,9)	0,04 a (0,03) (1,3)	0,03 a (0,02) (1,0)
	18/10	0,12 a (0,03) (3,0)	0,09 b (0,04) (3,1)	0,10 ab (0,03)(3,4)
	1/11	0,01 a (0,01) (0,3)	0,01 a (0,01) (0,3)	0,01 a (0,01) (0,2)
	16/11	0,04 a (0,02) (1,1)	0,03 a (0,03) (1,1)	0,03 a (0,02) (1,1)
	29/11	0,10 a (0,03) (2,6)	0,08 b (0,04) (2,7)	0,07 b (0,03) (2,3)
	13/12	0,13 a (0,03) (3,2)	0,09 b (0,06) (3,2)	0,08 b (0,04) (2,8)
	27/12	0,08 a (0,03) (2,0)	0,08 a (0,09) (3,0)	0,06 a (0,04) (2,0)
2007	10/1	0,05 a (0,03) (1,2)	0,04 a (0,03) (1,5)	0,03 a (0,03) (1,0)
	23/1	0,05 a (0,02) (1,2)	0,04 a (0,03) (1,2)	0,03 a (0,03) (0,9)
	7/2	0,05 a (0,03) (1,4)	0,04 a (0,03) (1,6)	0,04 a (0,03) (1,2)
	22/2	0,05 a (0,03) (1,4)	0,04 a (0,03) (1,5)	0,03 a (0,02) (1,1)
	7/3	0,07 a (0,05) (1,7)	0,04 a (0,04) (1,6)	0,04 a (0,03) (1,4)
	21/3	0,06 a (0,04) (1,6)	0,05 a (0,04) (1,6)	0,05 a (0,03) (1,5)
	4/4	0,05 a (0,03) (1,3)	0,04 a (0,03) (1,4)	0,04 a (0,04) (1,4)
	18/4	0,07 a (0,05) (1,7)	0,06 a (0,05) (2,3)	0,08 a (0,06) (2,7)
	2/5	0,07 a (0,04) (1,7)	0,06 a (0,04) (2,0)	0,07 a (0,04) (2,2)

Continua ...

TABELA 1: Continuação ...
TABLE 1: Continued ...

Ano	Data	Tratamento		
		1	2	3
	16/5	0,07 a (0,04) (1,7)	0,05 a (0,04) (1,9)	0,06 a (0,05) (2,0)
	30/5	0,09 a (0,05) (2,2)	0,05 a (0,05) (1,8)	0,06 a (0,05) (2,0)
	13/6	0,04 a (0,03) (1,1)	0,03 a (0,03) (1,3)	0,05 a (0,04) (1,5)
	28/6	0,02 a (0,02) (0,4)	0,01 a (0,01) (0,4)	0,02 a (0,02) (0,6)
	11/7	0,02 a (0,02) (0,4)	0,01 a (0,02) (0,5)	0,02 a (0,02) (0,5)
	24/7	0,11 a (0,06) (2,9)	0,06 b (0,06) (2,4)	0,08 ab (0,05) (2,7)
	7/8	0,06 a (0,05) (1,6)	0,05 a (0,05) (1,8)	0,06 a (0,04) (1,9)
	21/8	0,00 a (0,00) (0,1)	0,00 a (0,00) (0,1)	0,00 a (0,00) (0,1)
	4/9	0,00 a (0,00) (0,0)	0,00 a (0,00) (0,0)	0,00 a (0,00) (0,0)
	18/9	0,00 a (0,01) (0,0)	0,00 a (0,02) (0,0)	0,00 a (0,02) (0,1)
	2/10	0,01 a (0,02) (0,2)	0,01 a (0,01) (0,2)	0,01 a (0,02) (0,4)
	16/10	0,01 a (0,02) (0,3)	0,00 a (0,01) (0,0)	0,00 a (0,01) (0,1)
	30/10	0,04 a (0,03) (0,9)	0,03 a (0,04) (1,2)	0,03 a (0,03) (1,1)
	12/11	0,09 a (0,05) (2,4)	0,06 a (0,04) (2,2)	0,06 a (0,03) (2,0)
	26/11	0,07 a (0,04) (1,7)	0,05 a (0,05) (1,7)	0,06 a (0,05) (1,9)
	10/12	0,03 a (0,03) (0,8)	0,02 a (0,04) (0,9)	0,03 a (0,03) (0,8)
	26/12	0,02 a (0,02) (0,6)	0,01 a (0,01) (0,4)	0,01 a (0,01) (0,3)
2008	7/1	0,04 a (0,04) (1,0)	0,04 a (0,03) (1,4)	0,04 a (0,02) (1,2)
	22/1	0,05 a (0,04) (1,3)	0,04 a (0,04) (1,3)	0,04 a (0,04) (1,4)
	8/2	0,09 a (0,08) (2,3)	0,06 a (0,05) (2,2)	0,06 a (0,06) (1,8)
	20/2	0,04 a (0,02) (1,0)	0,03 a (0,03) (1,2)	0,04 a (0,03) (1,2)
Diâmetro final (cm)		11,12 (1,91)	9,93 (2,26)	10,55 (1,95)

Em que: Médias seguidas de desvio padrão e porcentagem em relação ao incremento acumulado (IA); em uma mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05).

TABELA 2: Incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto.
TABLE 2: Increment in the trunk diameter of eucalypt trees.

Parâmetro (cm)	Tratamento		
	1	2	3
IA[1]	3,92 (0,05) (100)	2,83 (0,03) (100)	3,05 (0,04) (100)
IAmáx[2]	2,50 (0,02) (64)	1,71 (0,02) (61)	1,87 (0,03) (62)
IAmin[3]	0,21 (0,01) (5)	0,16 (0,01) (6)	0,18 (0,01) (6)
IMM[4]	0,07 (0,05)	0,05 (0,03)	0,06 (0,04)
IMAmáx[5]	0,13 (0,02)	0,09 (0,02)	0,09 (0,03)
IMAmín[6]	0,02 (0,01)	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)

Em que: Médias seguidas de desvio padrão e porcentagem dos incrementos acumulados máximo (IAmáx) e mínimo (IAmín) em relação ao incremento acumulado no período (IA); incremento em diâmetro do tronco acumulado no período: (i) total[1] (fev/2006 a fev/2008); (ii) de máximo crescimento[2] e (iii) de mínimo crescimento[3]; incremento médio em diâmetro do tronco/mês[4], no período de máximo[5] e mínimo[6] crescimento.

O maior incremento do tronco das árvores de eucalipto, nos meses de março e de setembro, relaciona-se com seu estádio fenológico (copa formada; folhas maduras com limbo expandido) e condições climáticas (disponibilidade de água, temperatura e horas luz/dia) resultando na produção de hormônios e carboidratos que, deslocando-se pelo floema, induzem aumento das divisões das células da camada cambial e do diâmetro do tronco. A taxa de crescimento em diâmetro do tronco das árvores no mês de maio, caracterizado pela baixa pluviosidade e redução da temperatura, é resultado da disponibilidade de água armazenada e disponível nas camadas mais profundas do solo, decorrente do período chuvoso da estação (Figura 2). Esse comportamento das árvores de eucalipto foi observado por Valenziano e Scaramuzzi (1967), no período de seca, atribuindo o crescimento satisfatório do seu tronco à disponibilidade de água para as raízes a vários metros de profundidade do solo.

Os incrementos mínimos em diâmetro do tronco das árvores ocorreram em 23/8; 4/10 e 1/11/06; 28/6 a 11/7; 21/8 a 16/10 e 10/12 a 26/12/07; 20/2/08 (Tabela 1 e Figura 4A). Nos tratamentos 1, 2 e 3, as menores taxas de incremento acumulado em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto (IAmin) foram de 0,21, 0,16 e 0,18 cm (5, 6 e 6 % do incremento do tronco, respectivamente) (Tabela 2).

No período de mínimo crescimento, a exceção de novembro/2006 e dezembro/2007, os níveis de precipitação foram limitantes ao crescimento do tronco das árvores, com valores acumulados e médios de 46,6 e 5,0 mm, respectivamente (Figura 3), verificado para espécies de eucalipto por Valenziano e Scaramuzzi (1967), Green (1969), Marien e Thibout (1980), Poole (1986), Pereira et al. (1986), Wimmer et al. (2002a) e Sette Jr. et al. (2010). Os meses de novembro/2006 e dezembro/2007 são caracterizados por precipitação de maior intensidade com 196 e 186 mm acumulados, respectivamente, e temperatura média de 25 ºC, observando-se o mesmo comportamento dos demais períodos de mínimo crescimento. A redução do crescimento em diâmetro do tronco de árvores de eucalipto no Congo foi observada por Laclau et al. (2007), dois meses após o início das primeiras chuvas da estação, interpretada como a alocação preferencial dos nutrientes e carboidratos para os meristemas apicais e formação de folhas e de raízes finas, em detrimento do meristema cambial do tronco.

A curva de tendência do crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto é comumente observada em plantações florestais, caracterizada por altas taxas de incremento no período inicial e estabilização com o avanço da idade (Figura 4B) em resposta ao aumento da competição dos fatores de crescimento (luz, água, nutrientes, etc.).

Os incrementos acumulados em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto indicam períodos de incremento baixo (23/8; 4/10 e 1/11/06; 28/6 a 11/7; 21/8 a 16/10 e 10/12 a 26/12/07; 20/2/08) e alto (8/2 a 12/7; 6/9 a 26/9; 18/10; 29/11 a 13/12/06, 24/7 e 12/11/07 e 8/2/08) (Figura 5, a exemplo da Figura 4a). Os Tratamentos 1 e 3 diferem do 2,

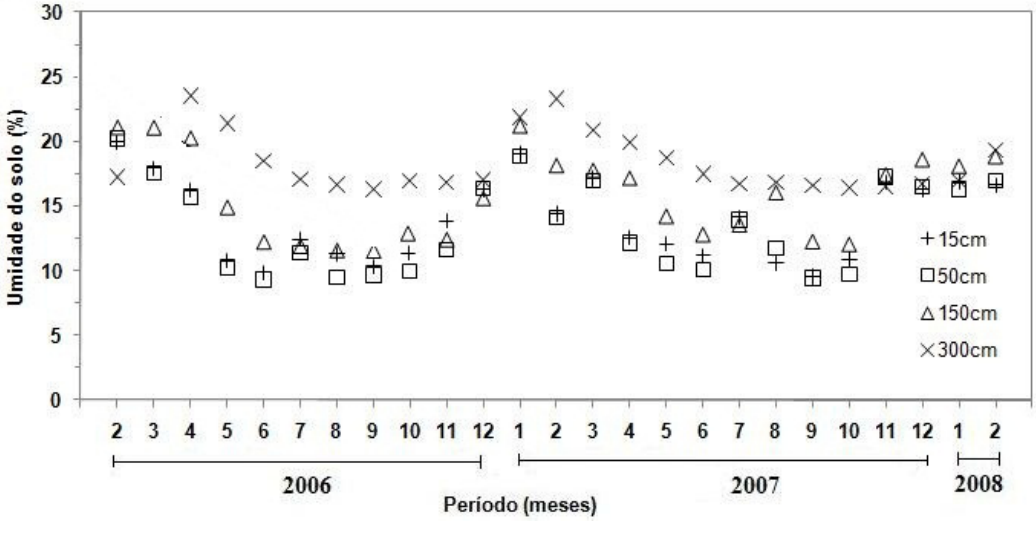

FIGURA 2: Umidade do solo da área experimental nas profundidades de 15, 50, 150 e 300 cm.
FIGURE 2: Soil moisture of the experimental area in depths of 15, 50, 150 and 300 cm.

pela diferença dos diâmetros iniciais e das taxas de incremento do tronco das árvores. Nos períodos de baixo crescimento do tronco das árvores de eucalipto observa-se a formação de camadas de crescimento (Figura 6; exemplo T1) principalmente no final do 24º e 36º meses, em função da indução da sazonalidade da atividade cambial pela variação das condições climáticas; o câmbio forma anéis de crescimento de lenho tardio, com vasos de menor diâmetro nos períodos de estresse hídrico (Figura 6). Wimmer et al. (2002a) e Wimmer (2002b) destacaram que o aumento do déficit de água no solo reduz o diâmetro dos vasos das árvores de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens*, com menor densidade do lenho formado no início da estação e seu aumento no final da estação de crescimento. Segundo Downes (1997) e Downes et al. (2000) o valor de densidade do lenho é resultado da frequência/dimensões dos vasos e da largura/espessura da parede das fibras.

As correlações das variáveis climáticas e do incremento em diâmetro do tronco das árvores foram muito baixas, exceto para a umidade do solo, medianamente correlacionada (Tabelas 3-4). A umidade do solo na camada 0-300 cm de profundidade mostrou melhor correlação (R=0,40 e significativa a 5 % de probabilidade) com o incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto.

As árvores de eucalipto respondem em crescimento do tronco após um período de tempo da ocorrência da precipitação, sendo importante considerar esta defasagem (*lag*). Pela aplicação da autorregressão determinou-se o período de defasagem entre a variável climática-incremento em diâmetro do tronco; o coeficiente de correlação (R) foi mais alto com 28 dias de antecedência para as variáveis climáticas, com a precipitação e a temperatura média passando de 0,33 para 0,61 e de 0,12 para 0,59, respectivamente, após a defasagem (Tabela 4). Das variáveis climáticas relacionadas com o crescimento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto, através de regressão "stepwise", foi selecionada a umidade do solo (camada 0-300 cm) para a composição do modelo de regressão.

Nos 3 tratamentos de adubação, as maiores taxas e diferenças no incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto ocorreram no início das mensurações e da estação, principalmente, de fevereiro-junho/2006, característicos dos 2 meses finais (estação chuvosa) e 3 meses iniciais (estação seca). Nos demais meses e de julho-outubro, com baixos níveis de precipitação, os tratamentos de fertilização mostraram significativa redução no incremento do tronco (Tabela 1; Figura 4A).

As árvores de eucalipto do Tratamento 1 (testemunha, sem adubação nitrogenada)

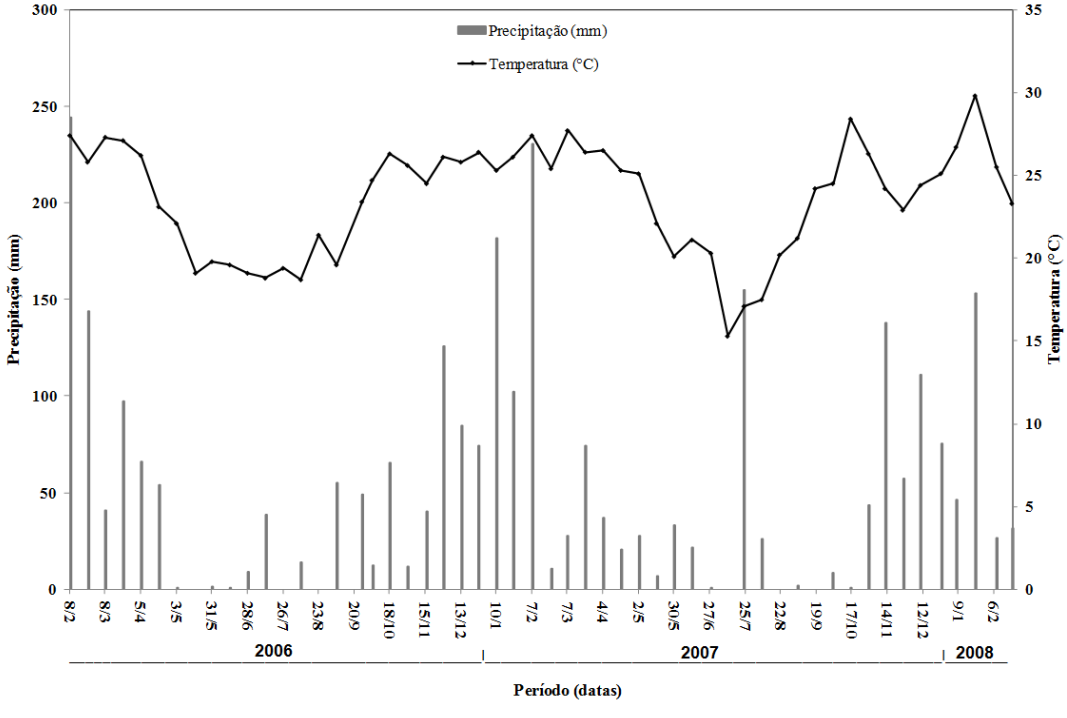

FIGURA 3: Precipitação e temperatura média da área experimental.
FIGURE 3: Precipitation and average temperature of the experimental area.

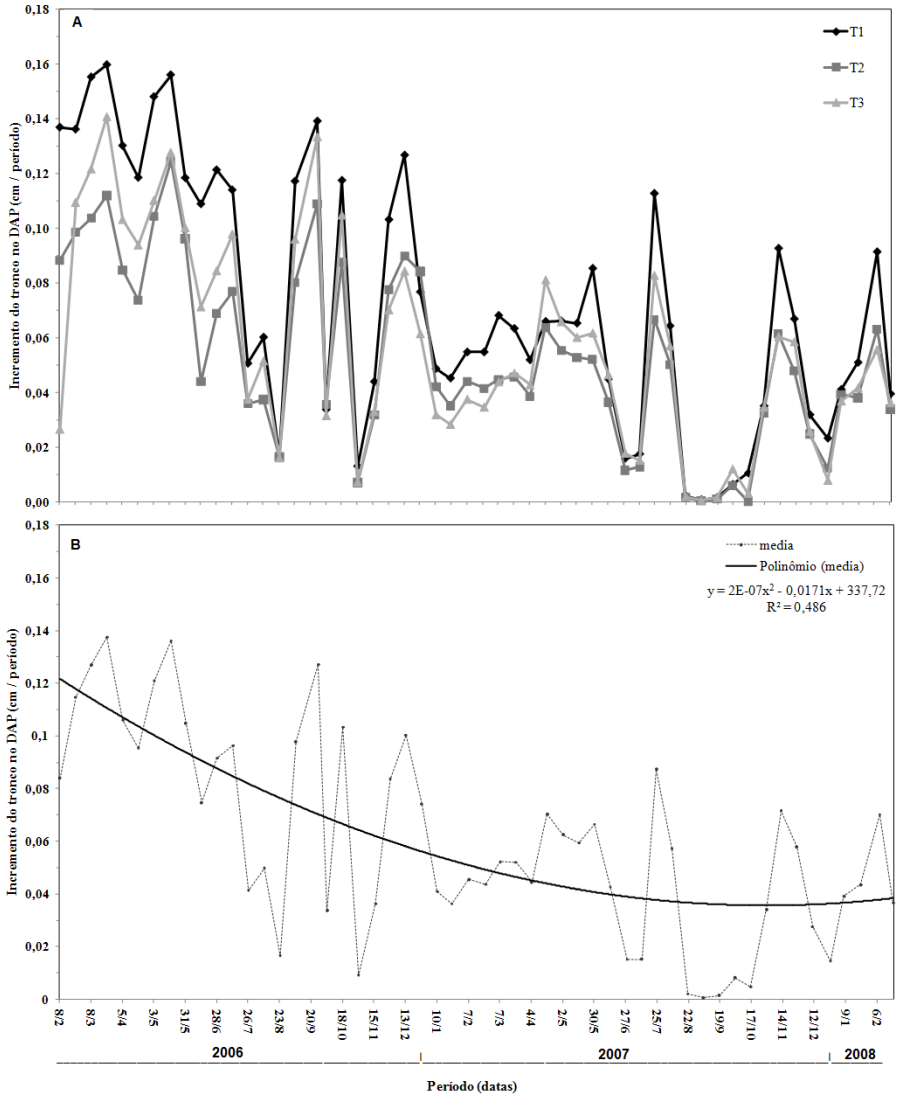

FIGURA 4: Incremento em DAP (A) e curva de tendência média (B) das árvores de eucalipto.
FIGURE 4: Increment in DBH (A) and it curves of mean tendency (B) of eucalypt trees.

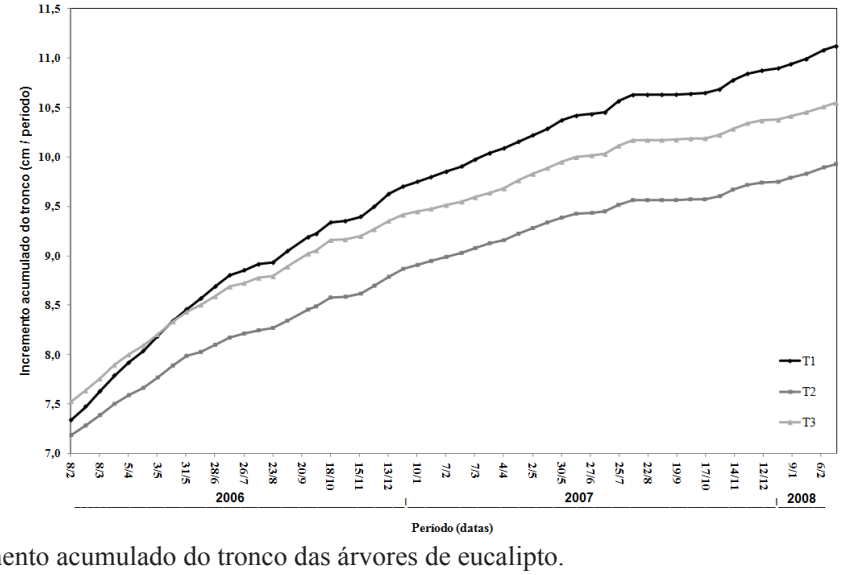

FIGURA 5: Incremento acumulado do tronco das árvores de eucalipto.
FIGURE 5: Accumulated trunk increment of eucalypt trees.

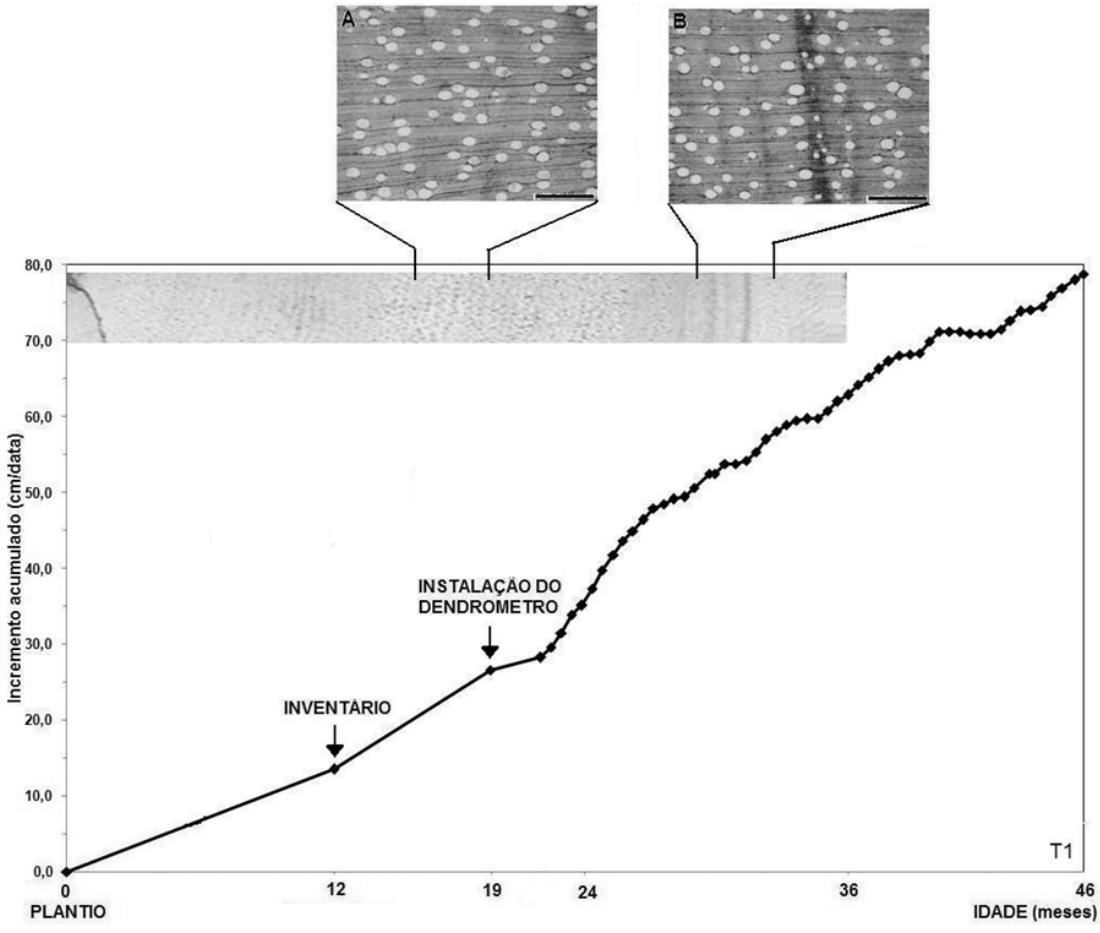

FIGURA 6: Incremento médio acumulado do tronco das árvores de eucalipto no tratamento testemunha e seção transversal macroscópica do lenho (até 36 meses) e seções transversais microscópicas, produzido em período normal (A) e com déficit hídrico (B).

FIGURE 6: Accumulated trunk increment of eucalypt trees in the control treatment and macroscopic cross-section of wood (until 36 month) and microscopic cross-sections produced when normal (A) and drought (B).

apresentaram taxas de crescimento em diâmetro do tronco superiores e significativas, principalmente, em relação ao Tratamento 2, no período inicial das mensurações (fevereiro a dezembro de 2006). No 2° ano do monitoramento do crescimento do tronco, a diferença entre tratamentos cai significativamente devido, provavelmente, ao aumento da competição entre as árvores (Tabela 1).

O incremento acumulado (IA) em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto nos Tratamentos 1, 2 e 3 foi de 3,92, 2,83 e de 3,05 cm, respectivamente. Os demais parâmetros de incremento em diâmetro do tronco das árvores indicam a superioridade do Tratamento 1, para os períodos de máximo (IAmáx) e de mínimo (IAmín) crescimento, incremento médio mensal (IMM) nos 24 meses e nos períodos de máximo (IMMmáx) e de mínimo (IMMmín) crescimento (Tabela 2).

O diâmetro e o volume do tronco (calculado a partir de equações de cubagem) e as variações (Δ) (cm/m^3 e %) das árvores de eucalipto dos 3 tratamentos nos períodos inicial (fevereiro/2006) e final (fevereiro/2008) indicam valores de que o Tratamento 1 de 4,3 cm-0,05 m³, superiores e não significativos em relação aos Tratamentos 2 e 3, com 3,1 cm-0,04 m^3 e 3,2 cm-0,04 m^3, respectivamente; em valores percentuais esses aumentos foram de 60-216, 44-154 e 43-149 %, para os Tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente (Tabela 5). Os inventários florestais conduzidos de forma sistemática por Laclau et al. (2007) mostraram uma nítida resposta à adubação nitrogenada no 1º ano, sem alteração do potencial da fertilidade do solo e com uma resposta temporária das árvores, com as mesmas tendências observadas com os dendrômetros.

A área do experimento foi ocupada por 60 anos com plantações de eucalipto sem a reposição dos nutrientes exportados do solo, sendo que

TABELA 3: Coeficientes de correlação e significância entre umidade do solo e incremento em diâmetro do tronco.
TABLE 3: Correlation coefficients (R) and significance between the soil humidity and the increment in the diameter of eucalypt trees.

Parâmetro	coef. de correlação (R)	significância (5 %)
$U_{(0-15)}$	0,37	0,007
$U_{(0-50)}$	0,33	0,017
$U_{(0-150)}$	0,31	0,027
$U_{(0-300)}$	0,40	0,004

Em que: $U_{(0-15)}$: umidade do solo na camada 0-15 cm; $U_{(0-50)}$: umidade do solo na camada 0-50 cm; $U_{(0-150)}$: umidade do solo na camada 0-150 cm; $U_{(0-300)}$: umidade do solo na camada 0-300 cm.

TABELA 4: Coeficientes de correlação (R) entre as variáveis climáticas e o incremento em diâmetro do tronco antes e depois da defasagem.
TABLE 4: Correlation coefficients (R) among the climatic variables and the trunk increment before and after the delay.

Parâmetro	Coeficiente de correlação (R)	
	antes	depois
$U_{(0-15)}$	0,37*	0,49*
$U_{(0-50)}$	0,33*	0,45*
$U_{(0-150)}$	0,31*	0,42*
$U_{(0-300)}$	0,40*	0,46*
$Temp_{média}$	$0,12^{ns}$	0,59*
$Temp_{máx.}$	$0,13^{ns}$	0,60*
$Temp_{mín.}$	$0,10^{ns}$	0,50*
Precipitação	0,33*	0,61*

Em que: ^{ns} = não significativo; * = significativo a 5 % de probabilidade.

TABELA 5: Diâmetro e volume do tronco das árvores de eucalipto no período inicial (22 meses) e final (46 meses).
TABLE 5: Diameter and volume of eucalypt trees at the initial (22 months) and final (46 months).

Parâmetro	Período	Tratamento		
		1	2	3
Diâmetro do tronco (cm)	inicial	7,2 **a** (1,4)	7,1 **a** (2,2)	7,5 **a** (1,8)
	final	11,5 **a** (2,5)	10,2 **a** (3,7)	10,7 **a** (3,0)
	Δ	4,3	3,1	3,2
	%	60	44	43
Volume (m³)	inicial	0,0223 **a** (0,0094)	0,0232 **a** (0,0142)	0,0248 **a** (0,0133)
	final	0,0704 **a** (0,0323)	0,0589 **a** (0,0377)	0,0618 **a** (0,0365)
	Δ	0,0481	0,0357	0,037
	%	216	154	149

Em que: Médias seguidas de desvio padrão; em uma mesma linha, médias seguidas de pelo menos uma letra igual não diferem significativamente (p>0,05); Δ - variação do diâmetro e volume do tronco das árvores do inicio ao final do período de monitoramento; % - porcentagem da variação (Δ) em relação ao diâmetro e volume inicial.

os maiores incrementos (embora nem sempre significativos) em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto do Tratamento 1 podem ser resultado da absorção do N existente no solo, que não foi utilizado pela plantação anterior de eucalipto de baixa produtividade (com pouca exportação de N na biomassa), além da possibilidade de deposições atmosféricas. Essas diferenças em crescimento do tronco não se relacionam com a densidade de raízes finas que se mostrou similar para as árvores de eucalipto até o 24º mês, nos 3 tratamentos (Figura 7).

Na literatura (BARROS et al., 1990; GONÇALVES et al.,1997; GONÇALVES et al., 2001) menciona-se que, em regiões tropicais e subtropicais, as plantações de eucalipto de rápido crescimento de 1ª rotação não responderam à fertilização com N, em função das fontes naturais de N e pela mineralização do solo orgânico suficientes para suprir a demanda das árvores. Contudo, as árvores de eucalipto manejadas intensivamente podem responder à aplicação de N após algumas rotações devido à alta taxa de exportação e sua possível exaustão das reservas naturais no solo orgânico (GONÇALVES et al., 2001).

As árvores de eucalipto do Tratamento 3 (aplicação de 10 t/ha de lodo de esgoto) comparadas com as do Tratamento 2 (aplicação de 120 kg N/ha) apresentaram maior crescimento, de modo geral, apesar de não significativo, corroborando autores como McNab e Bery (1985), Souza Vaz (2000) e Rocha et al. (2002) pela contínua e elevada disponibilidade de nutrientes do lodo de esgoto no decorrer do processo de mineralização. Poggiani et al. (2000) enfatizam que o lodo de esgoto, em relação à adubação mineral, libera lenta e continuamente os nutrientes para o solo e sistema radicular das árvores, sendo vantajosa em culturas de ciclos longos.

CONCLUSÕES

Na avaliação do incremento em diâmetro do tronco de árvores de eucalipto com dendrômetros, submetidos a tratamentos silviculturais de nutrição mineral e orgânica (biossólido) detectou-se o efeito da sazonalidade climática, induzindo períodos de máximo e de mínimo crescimento. Os resultados das medições com os dendrômetros demonstraram um período de defasagem (*lag*) de 28 dias para a resposta em incremento em diâmetro das árvores de eucalipto às variáveis climáticas. Após o período de defasagem, a precipitação e a temperatura média apresentaram significativa influência na sazonalidade do incremento em diâmetro do tronco das árvores de eucalipto. Com relação ao efeito

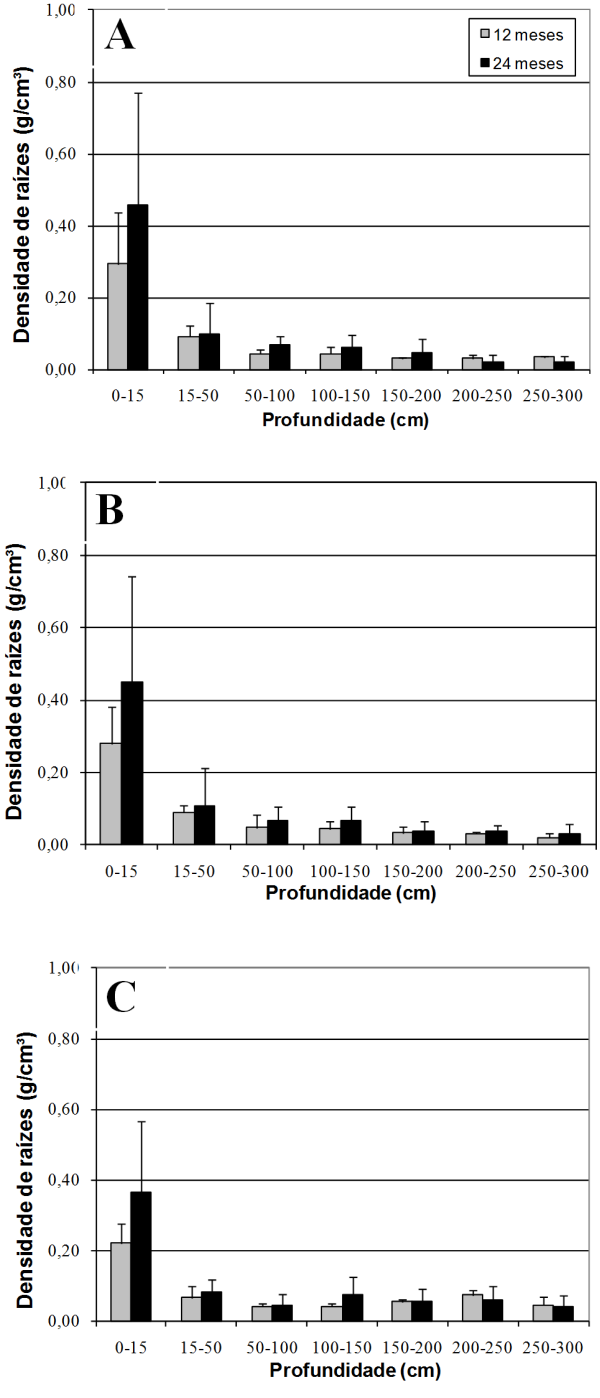

FIGURA 7: Densidade de raízes a diferentes profundidades (0-300 cm): Tratamento 1 (A); 2 (B) e 3 (C). Fonte: Laclau et al. (2007).

FIGURE 7: Density of roots to different depths (0-300 cm): Treatment 1 (A); 2 (B) and 3 (C). Source: Laclau et al. (2007).

da fertilização, determinou-se que o incremento em diâmetro do tronco foi maior nas árvores de eucalipto com a aplicação de lodo de esgoto em relação à adubação mineral com nitrogênio.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento desta pesquisa e a Estação Experimental de Itatinga/SP do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP pelo apoio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F; NEVES, J. C. L. Fertilização e Correção do solo para o plantio de Eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L., (Ed). **Relação Solo-Eucalipto**. Viçosa, Ed. Folha de Viçosa, 1990, p.127-186.

BOTOSSO, P. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELLA, W. **Indicadores ambientais:** conceitos e aplicações. São Paulo: EDUC, 2001. Cap.7, p.145-171.

DÉTIENNE, P. et al. Rythmes de croissance de quelques essences de Guyane Français. **Bois et Forêts dês Tropiques**, Nogent-sur-Marne, v. 217, p. 63-76, jul./set.1988.

DOWNES, G. M. et al. The commercial cambium: understanding the origin of wood property variation In: SAVIDGE, R. A. et al. **Cell and Molecular Biology of Wood Formation**. Oxford: BIOS Sci, 2000. p. 325–336.

DOWNES, M. et al. **Sampling plantation** *Eucalyptus* **– for wood and fibre properties**. Australia: CSIRO, 1997.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Soil and stand management for short-rotation plantations In: NAMBIAR, E. K. S., BROWN, A. G. (Ed.). **Management of Soil, Water, and Nutrients in Tropical Plantation Forests**. Canberra 1997, p. 379–418. (Aciar, Monograph, 43).

GONÇALVES, J. L. M., MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p.601–616, 2001.

GREEN, J. W. Continuous measurements of radial variation in *Eucalyptus panciflora* Sieb. Ex. Spreng. **Australian Journal of Botany**, Australia, v. 17, p. 191-198, feb. 1969.

LACLAU, J. P. et al. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savana ecosystem in Congo: chemical composition of rainfall, troughfall and stemflow solutions. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.176, n.1/3, p.105-119, mar. 2003.

LACLAU, J. P. et al. **Processos de transferência e balanço de água e de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus* sp. que receberam aplicações de nitrogênio e de biossólido: reflexos sobre a sustentabilidade**. 2007. 65p. Relatório apresentado a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP

MACNAB, W. H.; BERY, C. R. Distribution of aboveground in three pine species planted on a devasted site amended with sewage sludge or inorganic fertilizer. **Forest Science**, Bethesda, v. 31, n. 2, p. 373-382, 1985.

MARIAUX, A. Les cernes dans les bois tropicaux Africains, nature et pi.riodiciti.. **Bois For & Trop**. Nogent-sur-Marne, v. 113, p. 23-37, 1967.

MARIAUX, A. La périodicité de formation des cernes dans le bois de I´Oukoume. **Bois et Forêts dês Tropiques,** Nogent-sur-Marne, v.131, p.37-50, 1970.

MARIAUX, A. La périodicité des cernes dans les bois de limba. **Bois et Forêts dês Tropiques**, Nogent-sur-Marne, v.128, p.39-53, 1969.

MARIEN, J. N.; THIBOUT, H. Les *Eucalyptus* en France: rythmes de croissance en fonction des conditions climatiques. **Recherches Sylvicoles**. Paris, p. 273-299. 1980.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento do *Eucalyptus* spp.: Níveis críticos de implantação e manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 105-111, 1986.

PEREIRA, J. S. et al. Seasonal and diurnal patterns in leaf gas exchange of *Eucalyptus globulus* trees growing in Portugal. **Canadian Journal Forest Resource**. v. 16, p.177-184, jan./abr. 1986.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap.

8, p. 163-178.

POGGIANI, F.; SILVA, P. H. M. Biossólido aumenta produtividade de eucaliptos. **Revista Visão Agrícola,** Piracicaba, n. 4, p. 105-107, dez. 2005.

POOLE, D. J. Diameter growth of 4-7 year old *Eucalyptus regnans*. **N. Z. Forestry**, Nova Zelandia, v. 31, n.1, p. 23-24, 1986.

ROCHA, F. T. et al. Variação da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus grandis* aos sete anos de idade. In: ENCONTRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURA DA MADEIRA, 7., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: 2002. p.1-10.

SETTE JR, C. R. et al. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. HILL. Ex. MAIDEN e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista Árvore**. v. 34, n. 6, 2010.

SOUZA VAZ, L. **Crescimento inicial, fertilidade do solo e nutrição de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido**. 2000. 41 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

VALENZIANO, S.; SCARAMUZZI, G. Preliminary observations on the seasonal diameter growth of *Eucalyptus camaldulensis* and *E. viminalis*. In: WORLD SYMPOSIUM ON MAN-MADE FORESTS AND THEIR INDUSTRIAL IMPORTANCE, 1967, Canberra. **Anais…** Canberra: Wood and Agriculture Organization of the United Nations, 1967. p.1923-1933.

WIMMER, R. High-resolution analysis of radial growth and wood density in *Eucalyptus nitens*, grown under different irrigation regimes. **Annales Forest Sciences**, França, v.59, n. 5-6, p.519-524, jul/oct 2002b

WIMMER, R.; DOWNES G. M.; EVANS, R. Temporal variation of microfibril angle in *Eucalyptus nitens* grown in different irrigation regimes. **Tree Physiology,** Canada, v.22, n.7, p. 449-457, May 2002a.