

DEFORMAÇÃO RESIDUAL LONGITUDINAL (DRL) E TANGENCIAL (DRT) EM SEIS CLONES DE *Eucalyptus* spp.

Paulo Fernando Trugilho¹, José Tarcísio Lima¹, Franciane Andrade de Pádua²,
Lívia de Carvalho Soragi³, Carlos Rogério Andrade³

(recebido: 19 de outubro de 2005; aceito: 30 de junho de 2006)

RESUMO: As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam altos níveis de tensões de crescimento. Essas tensões são esforços mecânicos gerados durante o crescimento da árvore que ajudam a manter o equilíbrio da copa, em resposta a agentes ambientais (luz, vento e inclinação do terreno) e silviculturais (desbaste, poda e densidade de plantio). As tensões de crescimento são responsáveis pelas rachaduras de topos, em toras e tábuas, e pelos empenamentos após o desdobro. Visou-se com o presente trabalho avaliar a magnitude das tensões de crescimento, medidas pela deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT), ao redor da circunferência dos troncos de árvores vivas de seis clones de *Eucalyptus* spp., aos 10,5 anos de idade, e verificar o efeito da parcela de plantio. Os clones pertencem a VMM-AGRO e são procedentes de um teste clonal implantado na fazenda Bom Sucesso, localizada em Vazante-MG. Na avaliação experimental adotou-se o modelo inteiramente casualizado disposto em esquema fatorial com dois fatores (clone e parcela) e três repetições. Pelos resultados obtidos observou-se que a DRL média foi de 0,093 mm e a DRT média foi de 0,025 mm. Verificou-se que, para a DRL, os efeitos de clone e parcela de plantio foram significativos e o efeito da interação foi não significativo. Para a DRT os efeitos de parcela e interação foram não significativos e o efeito de clone foi não significativo. Os clones 44, 58 e 47 foram os que apresentaram os menores níveis e melhores distribuições de DRL, enquanto que, para a DRT, foram os clones 27, 44 e 58. Os clones 44 e 58 foram os que apresentaram a melhor distribuição e o menor nível de tensões de crescimento, sendo considerados os clones potenciais para a produção de madeira serrada ou sólida.

Palavras-Chave: Tensão de crescimento, madeira, *Eucalyptus*.

LONGITUDINAL RESIDUAL AND TANGENTIAL STRAIN (LRS AND LRT) IN SIX *Eucalyptus* spp. CLONES

ABSTRACT: The species of *Eucalyptus* genus present high levels of growth stress. These stresses are mechanical efforts generated during the tree growth to help maintaining the balance of the cup, in response to environmental (light, wind and inclination of the land) and silvicultural agents (pruning, thinning and planting density). The growth stresses are responsible for the cracks of tops, in logs and boards, and for the warp after the breaking down. This research evaluated the level of growth stress, measured by the longitudinal residual and tangential strain (DRL and DRT), around the circumference of the trunks of alive trees of six clones of *Eucalyptus* spp., at the age of 10.5 years, and verified the effect of the planting parcel. The clones belong to VMM-AGRO, and they are coming from a clonal test area implanted in the Bom Sucesso farm, located in Vazante-MG. For evaluating the experiment, the model adopted was the completely randomized one disposed in factorial outline with two factors (clone and portion) in three repetitions. The results indicated that the average LRS was 0.093 mm and that the average LRT was 0.025 mm. It was verified that, for LRS, the clone effects and planting parcel were significant, while the interaction effect was not significant. For LRT the parcel and interaction effect were significant, while clone effect was not significant. Clones 44, 58 and 47 presented the smallest levels and better distributions of LRS, while, the clones 27, 44 and 58 presented the highest LRS levels. The clones 44 and 58 presented the best distribution and the smallest level of growth stress and may be considered potentially apt for producing sawn wood or solid wood.

Key words: Growth stress, wood, *Eucalyptus*.

1 INTRODUÇÃO

Além dos usos tradicionais, como, por exemplo, produção de polpa celulósica, chapas de fibra, carvão e lenha, o gênero *Eucalyptus* vem se destacando também para usos mais nobres como na indústria

moveleira e da construção civil. O grande potencial do eucalipto para usos mais nobres é devido a sua diversidade de espécies, alta capacidade de geração de clones e híbridos. Esta diversidade permite a introdução do gênero em programa de melhoramento genético, de condução da floresta, de manejo e uso

¹Professores do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – trugilho@ufla.br, jtlima@ufla.br

²Doutoranda do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – franpadua@zipmail.com.br

³Discentes do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – liviasoragi@yahoo.com.br, rogerio_ufla@yahoo.com.br

de tecnologias adequadas de processamento e usinagem, que se mostrem eficientes na solução ou diminuição de defeitos, tais como as rachaduras de topo e empenamentos, em toras e tábuas. Defeitos estes provocados em grande parte pelas tensões de crescimento, a qual é uma característica que contribui significativamente com a depreciação do valor da madeira.

O efeito das tensões de crescimento pode ser observado nas toras após o abate das árvores e, principalmente, nas tábuas, durante as operações de desdobro em serraria. O resultado dessas tensões reflete-se na diminuição do rendimento em madeira serrada e até mesmo, em certos casos, provocando a sua inutilização na indústria de transformação, levando a aumento dos custos de produção. Os efeitos negativos provocados pelas tensões de crescimento limitam, em muito, a utilização da madeira do gênero *Eucalyptus* para a produção de madeira serrada de qualidade. Defeitos como as rachaduras e os empenamentos são causados por estas tensões internas de crescimento, as quais são liberadas por ocasião do abate da árvore.

Segundo Souza (2002), as tensões de crescimento são esforços mecânicos gerados durante o crescimento da árvore que ajudam a manter o equilíbrio da copa, em resposta a agentes ambientais (luz, vento e inclinação do terreno) e agentes silviculturais (desbaste, poda e densidade do plantio).

As tensões de crescimento são definidas, de acordo com a Sociedade Americana e Floresta, como tensões encontradas nos troncos lenhosos verdes e que segundo Rech & Silva (2001a,b) trata-se de um mecanismo apresentado pelas folhosas arbóreas para que permaneçam eretas.

As tensões de crescimento se constituem em tensões associadas ao crescimento normal da árvore, tendo sua origem na camada cambial. Tais tensões possuem magnitude variada, podendo ser de tração ou compressão em função da localização dentro do xilema e de sua direção de atuação: longitudinal, tangencial e radial (SEVERO, 2002).

Embora os eucaliptos autodesenvolvam, em geral, elevados níveis de tensões de crescimento, algumas de suas espécies, como, por exemplo, *E. muellerana*, apresentam fracos indícios destas tensões (HASLETT, 1988).

Podem ocorrer grandes variações nas intensidades das tensões de crescimento ao longo da circunferência da árvore (GUENEAU & SAURAT, 1976; NICHOLSON, 1973; NICHOLSON et al., 1975, citados por SCHACHT et al., 1998), o que tem sido explicado pela inclinação do fuste (NICHOLSON, 1973, citado por SCHACHT et al., 1998), pela variação do ângulo da grã na madeira (ARCHER, 1979, citado por SCHACHT et al., 1998), pelos fatores relacionados à presença de madeira de reação (JOUREZ, 1997; WALKER, 1993, citados por SCHACHT et al., 1998), ou mesmo pela tortuosidade do fuste (DINWOODIE, 1966, citado por SCHACHT et al., 1998), especialmente quando a curvatura ocorre em dois planos perpendiculares.

De acordo com Schacht et al. (1998), a variação na intensidade dessas tensões ao longo da altura do fuste, tem sido controversa. Pode ser crescente até uma altura de cerca de 7m (CHAFE, 1981; YAO, 1979) com posterior declínio até os 11 m (YAO, 1979), decrescente até os 11 ou 12 m (PURNELL, 1988; SKOLMEN, 1974), estritamente crescente ou uniforme, conforme diversas citações de Kubler (1987).

As causas dos elevados níveis de tensões de crescimento ainda não são bem entendidas, embora existam evidências fortes que estejam ligadas ao genótipo, idade, tamanho da tora, taxa de crescimento e inclinação dos troncos (RECH & SILVA, 2001a,b).

As tensões de crescimento estão presentes em troncos de muitas árvores, porém, seu impacto é bem maior em folhosas do que em coníferas, por isso é caracterizado como fenômeno de folhosas (LATORRACA & ALBUQUERQUE, 2000).

A seleção de material com menores níveis de tensão de crescimento e com melhor distribuição na circunferência do tronco deve ser priorizada nos programas de melhoramento genético florestal. Para isso existe a necessidade da avaliação dos níveis de tensões de crescimento circunferenciais no tronco das árvores ainda vivas.

Dentro deste contexto, com o presente trabalho, objetivou-se avaliar a magnitude das tensões de crescimento, medida pela deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT), ao redor da circunferência dos troncos de árvores vivas de seis clones de *Eucalyptus* spp., aos 10,5 anos de idade, e verificar o efeito da parcela de plantio.

2 MATERIAL DE MÉTODOS

2.1 Material biológico

No presente estudo foram utilizados seis clones do gênero *Eucalyptus*, aos 10,5 anos de idade, plantados no espaçamento 10 x 4 m. Tais clones são provenientes de testes clonais instalados pela Votorantim Metais (VMM-AGRO).

2.2 Local de experimentação

Os experimentos foram instalados na Fazenda Riacho, propriedade da Votorantim Metais (VMM-AGRO). Esta fazenda está localizada no município de Paracatu, Minas Gerais. A latitude é de aproximadamente 17°36'09" S e a longitude de 46°42'42" O de Greenwich, com altitude de 550 m.

O clima é do tipo Aw, tropical úmido de savana, com inverno seco e verão chuvoso, segundo a classificação de Köppen. Apresenta temperatura média anual de 24°C e precipitação média anual de 1450 mm.

2.3 Amostragem

A deformação residual longitudinal (DRL) e a tangencial (DRT) foram medidas nas árvores em pé, em 3 indivíduos por clone a 1,3 m de altura do solo (diâmetro a altura do peito – DAP). A DRL e a DRT foram determinadas em duas parcelas no teste clonal. Os clones foram previamente selecionados fenotipicamente como os de maior produtividade volumétrica, melhor forma do fuste e de boas condições fitossanitárias.

Para a fixação do extensômetro, as árvores foram aneladas para a formação do painel de medição. O aparelho foi fixado em quatro pontos (norte, sul, leste e oeste) do tronco à altura DAP, ou seja, foram obtidas quatro leituras por árvore, simultaneamente da DRL e DRT. Na Figura 1, mostra-se o aparelho utilizado na medição da DRL e DRT. Esse aparelho foi desenvolvido a partir de modificação no equipamento do CIRAD-Forêt, o qual mede somente a DRL.

2.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado disposto em esquema fatorial, com dois fatores, e três repetições (árvore-amostra).

O modelo estatístico associado a esse experimento é:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + P_j + (CP)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que, $i = 1, 2, \dots, c$ (clone); $j = 1, 2, \dots, p$ (parcela); $k = 1, 2, \dots, r$ (repetição); $N = chr$ (número de observações experimentais); Y_{ijk} = é a i -ésima observação da j -ésima parcela na k -ésima repetição; m = média geral; C_i = efeito do i -ésimo nível do fator C (clone); efeito fixo; P_j = efeito do j -ésimo nível do fator P (parcela de plantio); efeito fixo; CP_{ij} = efeito da interação entre o i -ésimo nível do fator C e o j -ésimo nível do fator P; efeito fixo; ε_{ijk} = erro experimental.



Figura 1 – Detalhes do extensômetro usado na medição da deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT).

Figure 1 – Details of the extensometer used in the measurement of the longitudinal residual and tangential (DRL and DRT) strain.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, apresenta-se os valores médios e o teste de comparação múltipla para a deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT), bem como os coeficientes de variação dentro dos clones e das parcelas de plantio. Pode-se verificar que os valores médios da DRL e DRT foram, respectivamente, de 0,093 mm e 0,025 mm, com coeficiente de variação de 34,22% e 62,88%. Observa-se, ainda, que o clone 27 apresentou as

menores variações, tanto de DRL como de DRT, dentro de clones e das parcelas de plantio, porém foi o de maior magnitude de DRL média (0,116 mm). A variação da DRT foi elevada, tanto dentro de clones como dentro de parcelas, e maiores que a variação

da DRL, exceto para o clone 47, dentro da parcela 1. De modo geral, a parcela 1 apresentou maior variação que a parcela dois, tanto para a DRL como a DRT. O valor médio de DRL está de acordo com o encontrado por Souza (2002).

Tabela 1 – Valores médios, coeficientes de variação e o teste de comparação múltipla para a deformação residual longitudinal (DRL) e tangencial (DRT).

Table 1 – Average Values, coefficient of variation and the multiple comparison test for the residual longitudinal and tangential (DRL and DRT) strain.

Clone	Parcela	DRL (mm)	DRT (mm)	Clone DRL (mm)	Clone DRT (mm)
16	1	0,073 (27,47)	0,031 B a (42,74)	0,093 b (30,49)	0,027 a (37,08)
	2	0,114 (16,28)	0,023 a a (20,67)		
26	1	0,107 (46,96)	0,055 A a (61,50)	0,125 a (32,61)	0,034 a (92,76)
	2	0,144 (17,86)	0,013 a b (31,66)		
27	1	0,105 (12,66)	0,021 B a (34,67)	0,116 a (16,78)	0,025 a (28,70)
	2	0,128 (15,62)	0,029 a a (18,75)		
44	1	0,057 (35,77)	0,021 B a (47,40)	0,066 b (27,13)	0,017 a (45,66)
	2	0,075 (15,48)	0,014 a a (23,20)		
47	1	0,083 (31,82)	0,037 B a (19,61)	0,082 b (23,47)	0,028 a (40,92)
	2	0,081 (18,33)	0,019 a a (21,65)		
58	1	0,079 (12,74)	0,023 B a (47,02)	0,074 b (15,96)	0,017 a (55,48)
	2	0,069 (19,02)	0,011 a a (22,43)		
Geral	1	0,084 a (34,51)	0,031 a (59,45)	0,093 (34,22)	0,025 (62,88)
	2	0,102 b (32,21)	0,018 b (40,35)		

Valores entre parênteses se referem aos coeficientes de variação.

Médias seguidas de mesma letra e mesma fonte, em cada coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Letras em negrito maiúsculas testam o efeito de clone dentro da parcela 1 e, letras em negrito minúsculas testam o efeito de clone dentro da parcela 2. As letras minúsculas e sem negrito testam o efeito das parcelas dentro dos clones.

Pela Tabela 2, apresenta-se o resumo da análise de variância para o delineamento experimental adotado. Pode-se verificar que, para a DRL, os efeitos de clone e parcela foram significativos, respectivamente a 1% e 5% de probabilidade, e que o efeito de interação (clone x parcela) foi não-significativo. Para a DRT o efeito de clone foi não-significativo e que os efeitos de parcela e interação foram significativos a 1% e 5%, respectivamente. O coeficiente de variação experimental foi elevado para a DRT (48,70%), e mediano para a DRL (24,63%). Estes valores de coeficiente de variação indicam que se deve aumentar o tamanho da amostra avaliada, ou seja, o número de clones ou o de árvores por clone.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância para o delineamento experimental adotado.

Table 2 – Summary of the variance analysis for the adopted experimental design.

FV	GL	QM_DRL	QM_DRT
Clone (C)	5	0,003353**	0,000267ns
Parcela (P)	1	0,002756*	0,001640**
C x P	5	0,000638ns	0,000404*
Resíduo	24	0,000525	0,000147
Total	35		
CV (%)		24,63	48,70

CV = coeficiente de variação experimental; FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; QM_DRL e QM_DRT = quadrado médio para a DRL e DRT, respectivamente
 **, * e ns significativo a 1%, 5% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade.

Como o efeito da interação (clone x parcela) foi significativo para a DRT procedeu-se o seu desdobramento e avaliou o efeito de clone dentro de parcela e o efeito de parcela dentro de clone. Nas Tabelas 3 e 4, apresenta-se o resumo da análise de variância para os desdobramentos da interação.

Pela Tabela 3 observa-se que existe diferença estatística somente entre os clones, para os níveis de DRT, dentro da parcela 1. Na parcela 2 não foi observada diferença estatística entre os clones pesquisados. O clone 26 foi o que apresentou diferença estatística entre os demais clones.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância para o desdobramento do efeito de clone dentro de parcela.

Table 3 – Summary of the variance analysis for separating clone effect from parcel effect.

FV	GL	QM_DRT
Clone/Parcela 1	5	0,000532 *
Clone/Parcela 2	5	0,000139 ns
Resíduo	24	0,000147

FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; QM_DRT = quadrado médio para a DRT
 * e ns = significativo e não-significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para o desdobramento do efeito de parcela dentro de clone

Table 4 – Summary of variance analysis for separating parcel effect from clone effect.

FV	GL	QM_DRT
Parcela/Clone 16	1	0,000104 ns
Parcela/Clone 26	1	0,002646 **
Parcela/Clone 27	1	0,000088 ns
Parcela/Clone 44	1	0,000096 ns
Parcela/Clone 47	1	0,000523 ns
Parcela/Clone 58	1	0,000204 ns
Resíduo	24	0,000147

FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; QM_DRT = quadrado médio para a DRT.

** e ns = significativo a 1% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade.

Pela Tabela 4 observa-se que somente o clone 26 apresentou diferença estatística, a 1% de probabilidade, para o efeito de parcela dentro de clone. Este mesmo clone foi o que apresentou o maior nível de DRT dentro da parcela 1 e na média geral.

As Figuras 2 e 3 ilustram a distribuição da tensão periférica de crescimento longitudinal (DRL) e tangencial (DRT) em torno do tronco e a variação existente entre os clones e entre as parcelas de plantio.

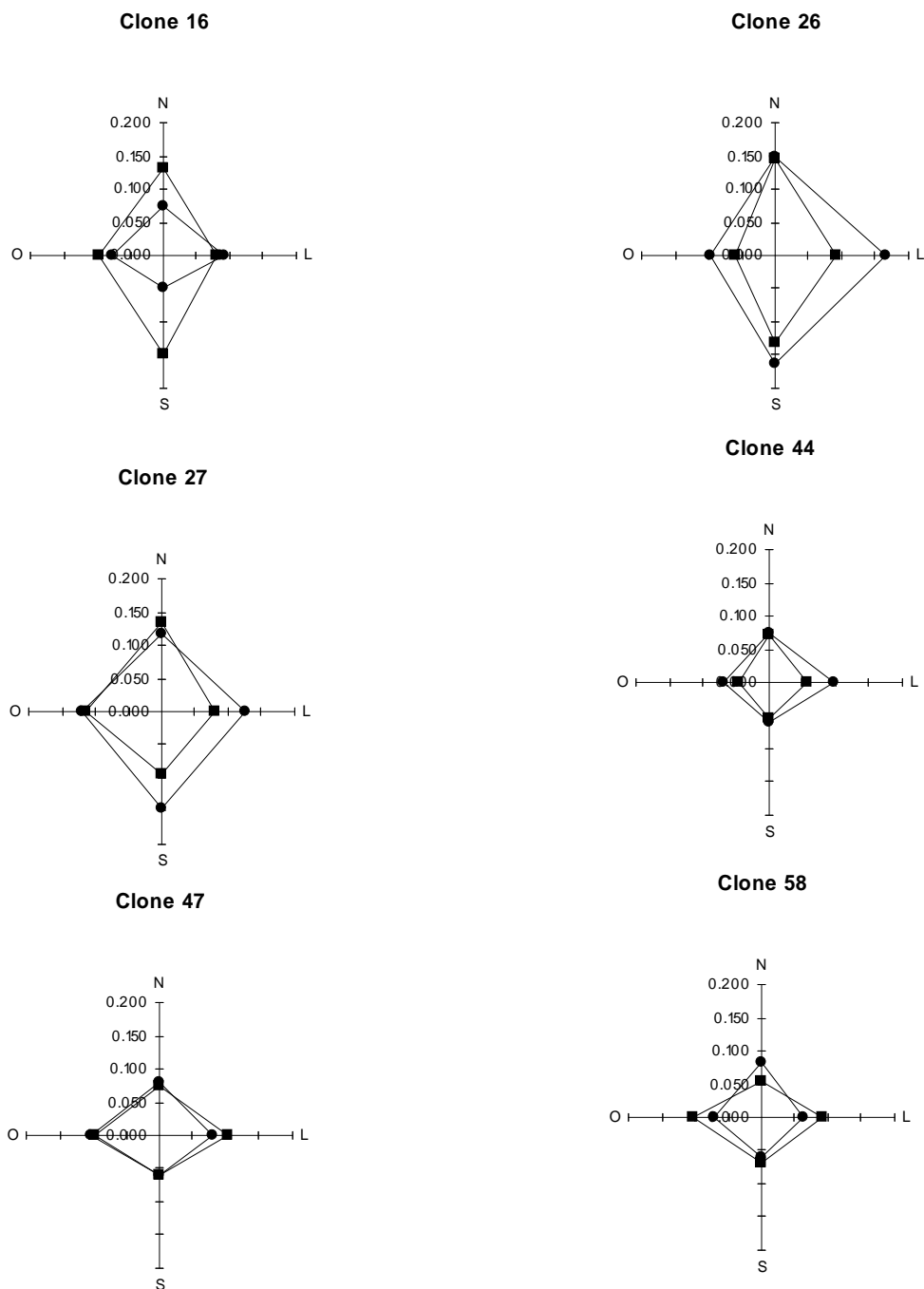


Figura 2 – Distribuição da tensão periférica de crescimento longitudinal (DRL, em mm) em torno do tronco, na parcela 1 (■) e 2 (●).

Figure 2 – Distribution of the outlying of longitudinal growth stress (DRL, in mm) around the stem, in parcel 1 (■) and parcel 2 (●).

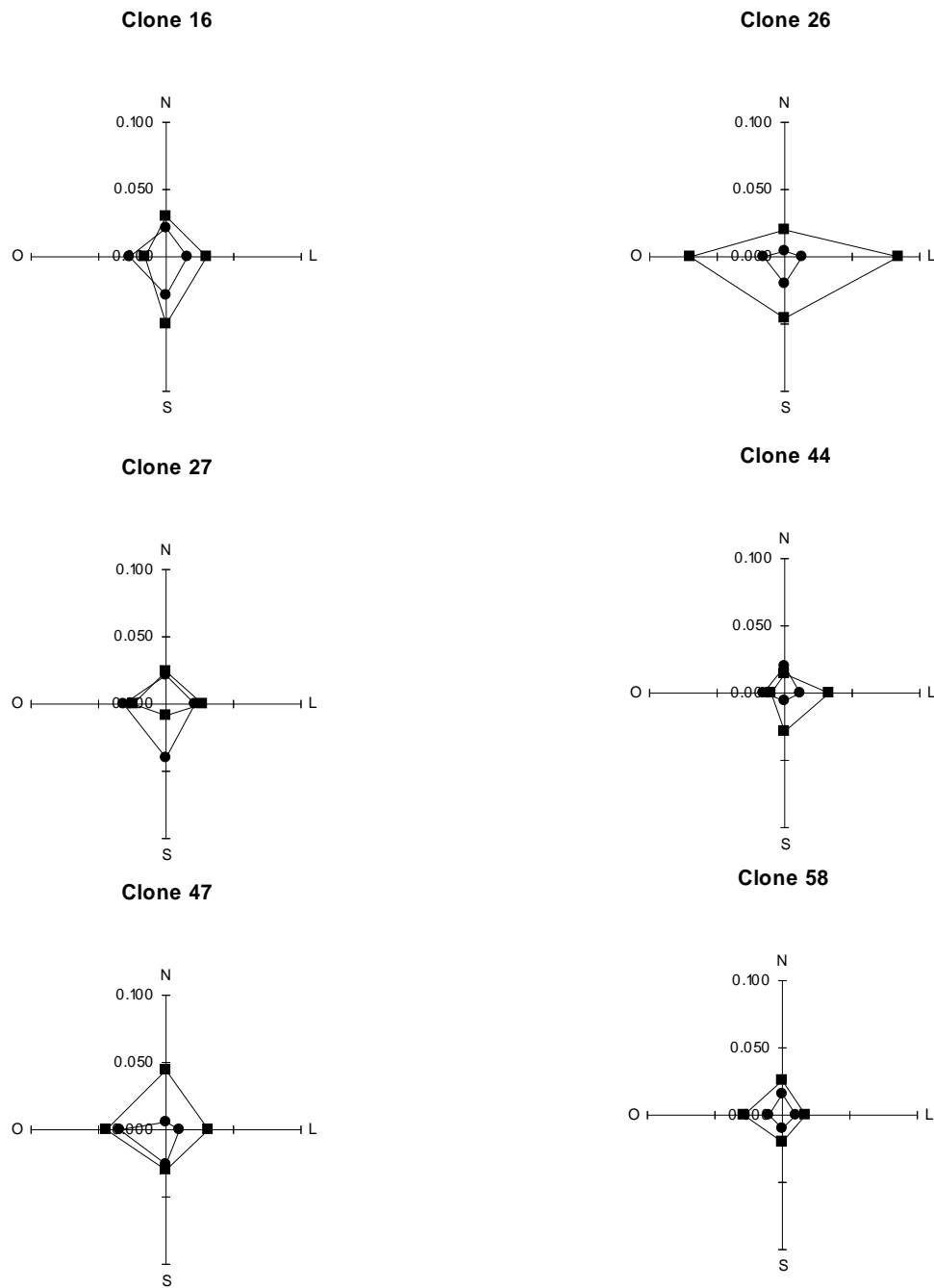


Figura 3 – Distribuição da tensão periférica de crescimento tangencial (DRT, em mm) em torno do tronco, na parcela 1 (■) e 2 (●).

Figure 3 – Distribution of the outlying of tangential growth stress (DRT, in mm) around the trunk, in parcel 1 (■) and parcel 2 (●).

Observa-se que os clones 44, 47 e 58 apresentam baixa magnitude e uma melhor distribuição da tensão em torno do tronco e os clones 16, 26 e 27 apresentam uma distribuição mais irregular e em maior magnitude no sentido norte (N) e sul (S), podendo indicar a presença de madeira de reação, ou seja, madeira de tração.

Pela Figura 3, pode-se verificar que o comportamento dos clones, em relação da distribuição das tensões de crescimento tangencial, foi bem diferenciado dentro das parcelas e apresentaram distintas magnitudes. Nesse aspecto os clones 44 e 58 foram os que apresentaram as menores magnitudes nas duas parcelas de plantio, com destaque especial para o clone 58, onde existe um equilíbrio aparente dessa deformação.

4 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que:

Na média a DRT (0,025 mm) foi 3,72 vezes menor que a DRL (0,093 mm).

A análise de variância, para a DRL, indicou que os efeitos de clone e parcela foram significativos e o efeito da interação foi não-significativo. Para a DRT os efeitos de parcela e interação foram significativos e o efeito de clone foi não-significativo.

Os clones 27 e 58 apresentaram variação similar de DRL, sendo que o clone 58 apresentou o menor valor (0,074 mm). Os clones 44 e 58 foram os que apresentaram os menores valores de DRT (0,017 mm).

Os clones 44, 58 e 47 foram os que apresentaram os menores níveis e melhores distribuições de DRL, enquanto que, para a DRT, foram os clones 27, 44 e 58.

Os clones 44 e 58 foram os que apresentaram a melhor distribuição e o menor nível de tensões de crescimento, sendo considerados os clones potenciais para a produção de madeira serrada ou sólida.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAFE, S. C. Variations in longitudinal growth stress, basic density and modulus of elasticity with height in the tree. **Australian Forest Research**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 79-82, 1981.

HASLETT, A. N. A guide to handling and grade-sawing plantation-grown eucalypts. **Forest Research Institute Bulletin**, [S.l.], n. 142, p. 1-72, 1988.

KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forest Products Abstracts**, [S.l.], v. 10, n. 3, p. 61-119, 1987.

LATORRACA, J. V. F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, [S.l.], v. 7, n. 1, p. 279-291, jan./dez. 2000.

PURNELL, R. C. Variation in wood properties of *Eucalyptus nitens* in a provenance trial on the eastern transvaal highveld in South Africa. **South African Forestry Journal**, [S.l.], n. 144, p. 10-22, 1988.

RECH, C.; SILVA, J. C. Melhoramento genético para a qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, São Paulo, p. 48-54, set. 2001a. Edição especial.

RECH, C.; SILVA, J. C. Características intrínsecas da madeira. **Revista da Madeira**, São Paulo, p. 60-65, set. 2001b. Edição especial.

SEVERO, E. T. D. Avanço no desdobro e secagem da madeira de eucalyptos. In: SÓLIDOS DE EUCALIPTO: AVANÇOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS, 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 188-196.

SCHACHT, L.; GARCIA, J. N.; VENCOSKY, R. Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, [S.l.], v. 54, p. 55-68, 1998.

SKOLMEN, R. G. Lumber potential of 12-year-old saligna eucalyptus trees in Hawaii. **Forest Service**, [S.l.], n. 288, p. 1-7, 1974.

SOUZA, M. A. M. **Deformação Residual Longitudinal (DRL) causada pelas tensões de crescimento em clones de híbridos de Eucalyptus**. 2002. 72 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

YAO, J. Relationships between height and growth stresses within and among white ash, water oak, and shagbark hickory. **Wood science**, [S.l.], v. 11, n. 4, p. 246-251, 1979.