



## **OCORRÊNCIA NATURAL DE “SLIP PLANES” NA PAREDE CELULAR DE FIBRAS DE MADEIRA DE *Eucalyptus* sp**

**José Tarcísio LIMA<sup>1</sup>, Cíntia PADILHA<sup>1</sup>; Jordão Cabral MOULIN<sup>1</sup>; Selma Lopes GOULART<sup>1</sup>**

1 – Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil

**Resumo:** Devido a tensões de compressão que a árvore está naturalmente sujeita, a madeira de *Eucalyptus* pode apresentar deformações (slip plane) na parede celular de fibras. Tais slip planes podem ser causas iniciais em um processo de enfraquecimento da madeira. Dependendo do nível das tensões, tais deformações podem evoluir para zonas de deformações microscópicas de compressão e posteriormente para os chamados “favos de mel”. A madeira que apresenta defeitos como esses, quando sujeita a alguns esforços, pode romper-se bruscamente, o que dependendo da estrutura pode resultar em grandes riscos. Os objetivos deste trabalho foram identificar os “slip planes” na parede celular das fibras, verificar sua intensidade de ocorrência natural e associar a magnitude dessa ocorrência com o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática. Foram utilizados cinco clones de *Eucalyptus* sp, sendo que cada clone foi representado por quatro árvores. Obteve-se seções tangenciais no micrótomo, nas quais foram possíveis a identificação dos slip planes na parede celular das fibras. Os slip planes foram encontrados tanto em madeira comprimida (cerne interno) como em madeira tracionada (alburno) no tronco das árvores. Foi verificada uma tendência clara de redução do MOR com o aumento do número de slip planes.

**Palavras-chave:** kinks, deformação, parede celular.

**Abstract:** Due to compressive stresses as the tree is naturally subject, *Eucalyptus* wood can present deformations (slip plane) in the cell wall fibers. Such deformation can be initial causes in a timber weakening process. Depending on the level of the stresses, slip planes may progress to microscopic compression creases and subsequently to the so-called "honeycomb". The timber with defects such as these, when subjected to some efforts may break abruptly, depending on the structure which can result in great risks. Thus, the objectives of this study were to identify the slip planes in the cell wall of the fibers, to verify their natural occurrence intensity and correlating the occurrence and magnitude to the modulus of rupture (MOR) and the modulus of elasticity (MOE) in static bending. Five clones of *Eucalyptus* were used, each represented by four trees. In the microtome tangential sections were obtained, in which were possible to identify the slip planes in the cell wall of the fibers. The slip planes were found in both compressed wood (inner heartwood) and in the tensioned wood (sapwood) of the stem of trees. A clear tendency to reduction in MOR was seen with the increase in the number of slip planes, however, for the rigidity appears that beyond a certain number of slip planes the MOE is not affected.

**Keyword:** kinks, deformation, cell wall.



## 1. Introdução

Em face do surgimento de demanda mais exigente, em termos de qualidade, por madeira serrada de eucalipto faz-se necessário que investigações sejam conduzidas de forma a identificar matéria prima de mais alto nível, bem como no sentido de propor explicações para a possíveis reduções nessa qualidade.

Em diversas utilizações estruturais da madeira, as propriedades mecânicas são fundamentais na definição da qualidade. Vários fatores afetam as propriedades mecânicas da madeira: densidade, umidade, temperatura, ângulo da grã, estrutura anatômica e outras (BODIG e JAYNE, 1982; KOLLMANN e CÔTÉ, 1968). Robinson (1920) foi pioneiro em relatar que deformações na parede celular, conhecido na língua inglesa por slip plane ou kink, são as causas iniciais em processo de enfraquecimento da madeira e o surgimento dessas deformações são por causadas por forças de compressão. Dependendo do nível das tensões, tais deformações poderiam evoluir para zona de deformação, sendo o acúmulo de slip planes em fibras vizinhas e posteriormente para os chamados “favos de mel”. A madeira que apresenta defeitos como esses, quando sujeita a alguns esforços, pode romper-se bruscamente, o que dependendo da estrutura pode resultar em riscos desastrosos devido à formação de cerne-quebradiço (DINWOODIE, 1970). Na Figura 1 pode ser visualizado fibras com presença de slip planes.

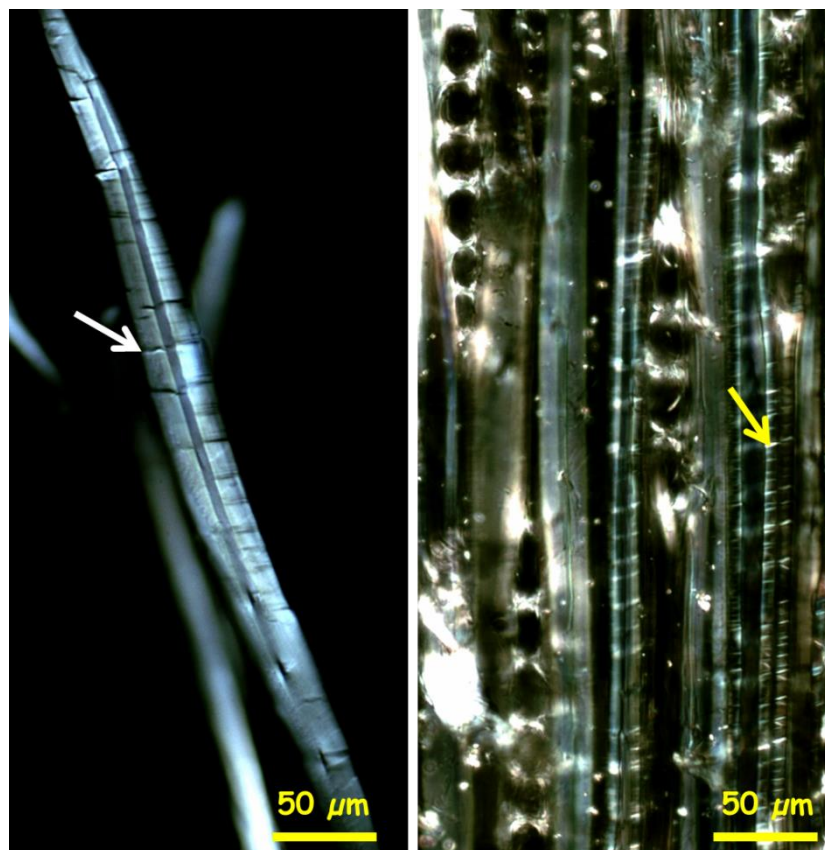


Figura 1. Fibra da madeira de *Eucalyptus* sp. com presença de slip planes.



Robinson (1920) e Dinwoodie (1966) informam que os slip planes na parede celular podem originar-se naturalmente na árvore como resultado da ação de ventos, choques mecânicos ou mesmo de tensões de crescimento. Wilkins e Alexiou (1991) sugerem que a intensidade das tensões de crescimento estariam correlacionadas com o número dos slip planes da parede celular em madeira de eucalipto. É sabido que os *Eucalyptus* estão sujeitos a elevadas tensões de crescimento, o que ressalta a necessidade de avaliação dessa característica por serem danosas para o processamento e utilização da madeira. Assim, a intensidade dos slip planes registrados na extensão radial do caule pode ser indicativo dos níveis de tensões a que esse caule está sujeito e que pode suportar.

O objetivo deste trabalho foi verificar a intensidade de ocorrência natural de “slip planes” na parede das fibras de madeira de *Eucalyptus* sp e associar a classificação dos slip planes com o módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática.

## 2. Material e métodos

Para se ter informações sobre a ocorrência natural dos slip planes na parede da fibra, madeira de clones de *Eucalyptus* sp, não tensionada artificialmente foi investigada. Nesse caso, foram utilizados cinco clones, todos procedentes de Aracruz (ES), sendo três de híbridos naturais de *Eucalyptus grandis*, com idade variando de 11 a 15 anos; um de híbrido natural de *E. saligna*, com idade de 15 anos e um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, com idade de 8,5 anos. Cada clone foi representado por quatro árvores. De cada árvore ao nível do dap foram retirados os discos e posteriormente extraídos três blocos amostrados em três posições (alburno, cerne externo e cerne interno) ao longo do raio lenhoso, visando representar tanto as tensões de tração quanto as de compressão a que o tronco está naturalmente sujeito. Os diâmetros dos discos variaram de 23 a 35 cm.

Simultaneamente à amostragem para realização das análises anatômicas, da mesma amostra foram retirados corpos-de-prova para determinação do módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática, segundo norma ASTM D143-52 (1981).

Para observação dos slip planes, pequenos blocos de 1cm<sup>3</sup> foram completamente saturados em água destilada e seccionados em micrótomo para produzir seções longitudinais-tangenciais. Visando eliminar a possibilidade de indução de slip planes durante a preparação das lâminas no micrótomo as seções foram retiradas com 10 µm de espessura, cortadas com ângulo horizontal da faca menor que 5° e um pequeno ângulo de corte conforme recomendação de Dinwoodie (1966).

As lâminas, em número de dez por posição radial, foram analisadas em microscópio de luz polarizada. Os slip planes quando visualizados na seção longitudinal, foram classificados em poucos, médios e muitos, conforme discriminado na Tabela 1 abaixo. Esta classificação foi baseada em uma pré-amostragem, realizada com a mesma madeira.

Tabela 1. Classificação dos slip planes ao longo da seção tangencial

Classe	Condição do campo do microscópio
Poucos	Abaixo de 50% tomado por slip planes
Médios	Em torno de 50% tomado por slip planes
Muitos	Totalmente tomado por slip planes



Os valores de módulo de ruptura e de módulo de elasticidade foram associados graficamente com a intensidade de ocorrência de slip planes na parede das fibras na madeira, sendo atribuído peso 1 para poucos slip planes, peso 2 para um número médio de slip planes e peso 3 para muitos slip planes. Para obter o número relativo de dobras em cada posição, estes pesos foram somados para possibilitar a relação entre número relativo de slip planes por clones.

### 3. Resultados e discussão

Os resultados que se referem ao teste de flexão estática para determinação do Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) nas posições do alburno, cerne externo e cerne interno estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Módulo de elasticidade e Módulo de ruptura em clones de *Eucalyptus*.

Clone	Árvore	Módulo de elasticidade (kgf/cm <sup>2</sup> )			Módulo de Ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> )		
		Alburno	Cerne externo	Cerne interno	Alburno	Cerne externo	Cerne interno
1	1	87171	85317	63138	1201	1114	921,82
	2	82951	80390		1147	1137	
	3	78022	75898	65360	1152	1039	853,17
	4	83906	68476	58386	1186	970	706,07
	Média	<b>83013</b>	<b>56405</b>	<b>62295</b>	<b>1172</b>	<b>1065</b>	<b>827</b>
2	1	72203	69406	63886	1064	475	
	2	65286	64509	72027	823	970	961,00
	3	75991	60754		1181	804	1157,18
	4	76134	65701		1113	1039	
	Média	<b>72404</b>	<b>65093</b>	<b>67957</b>	<b>1046</b>	<b>822</b>	<b>1059</b>
3	1	90947	75769	46430	1.389,91	1206	
	2	104157	75769	75543	1495	965	604,89
	3	82252	74595	52803	1171	1010	1078,726
	4	77366	69967	55378	1245	1127	813,94
	Média	<b>88681</b>	<b>74026</b>	<b>57539</b>	<b>1326</b>	<b>1078</b>	<b>832</b>
4	1	78900	57755		1255	941	666,85
	2	76451		50834	1201		
	3	73088	46678		1171	755	883,15
	4	86406	73517		1284	1137	
	Média	<b>78712</b>	<b>59317</b>	<b>50834</b>	<b>1228</b>	<b>945</b>	<b>775</b>
5	1	62778			1010		
	2	57473	59228	61612	867	804	
	3	56465		50253	1000		882
	4	65252	50786		1005	848	838
	Média	<b>60492</b>	<b>55007</b>	<b>55933</b>	<b>971</b>	<b>826</b>	<b>860</b>

Conforme descrito nas tabelas, observa-se um aumento dos valores do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura no alburno. Resultados semelhantes foram encontrados por Lima (1999), para a madeira de *Eucalyptus*.

A classificação do número de slip planes e os valores médios de MOE e MOR são apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

De acordo com a Tabela 3 a presença de slip planes mostrou-se variável entre e dentro dos diferentes clones estudados.

Tabela 3. Classificação de “slip planes” para as posições de alburno, cerne externo e cerne interno de clones de *Eucalyptus* sp.

Clone	Alburno	Cerne externo	Cerne interno
1	Muitos	Muitos	Médios
2	Muitos	Muitos	Muitos
3	Poucos	Poucos	Médios
4	Médios	Muitos	Muitos
5	Médios	Médios	Muitos

A exceção ficou para o clone 2 que apresentou uma quantidade grande de slip planes nas três posições radiais amostradas. É interessante notar a ocorrência de slip planes na madeira de alburno em todos os clones, fato raramente mencionado na literatura técnica. Normalmente, a madeira externa de um tronco está sujeita a força de tração, enquanto que a madeira interna, como consequência, está sujeita à compressão. Como a formação de slip plane é decorrente de forças de compressão agindo sobre o lenho, como ação de ventos, choques mecânicos ou mesmo de tensões de crescimento (ROBINSON, 1920; DINWOODIE, 1966), é possível inferir que no alburno, esta formação pode estar associada com a ação de ventos ou com a queda da árvore no momento de seu corte, como sugere Dinwoodie (1966).

Lima et al. (2012) também verificaram presenças de slip planes na parede celular da fibra da madeira presente na região externa da tora de *Eucalyptus* não tensionada artificialmente, corroborando com as presenças de slip planes observadas na região do alburno do presente trabalho. Na região interna da tora foram observados maiores valores de slip planes no trabalho de Lima et al. (2012), isto pode ser explicado pelas forças de compressão que atuam sobre este lenho.

Diferentemente das propriedades mecânicas mostradas na Tabela 1 o número relativo de slip planes não apresentou uma tendência de acréscimo ou redução com a posição radial de amostragem no tronco.

Pela análise de variância do módulo de elasticidade (Tabela 4) em função do clone, árvore e posição de amostragem dentro do tronco, foi constatado que existe diferença estatística significativa do MOE em função tanto do clone ( $P=0,046$ ) como da posição radial de amostragem (0,0001). Entre árvores não foi observada diferença estatística significativa. A mesma tendência foi encontrada para módulo de ruptura (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância para o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR).

Fonte	GL	Quadrado médio	
		MOE	MOR
Clone	4	456300593*	75321*
Árvore	3	218795412	8076
Posição	2	1663575986*	374156*
Erro	39	171027654	25910
Total	48		

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade, QM = quadrado médio, \* = significativo a 5% de probabilidade.

Existe uma tendência de redução do módulo de elasticidade (MOE) com o aumento do número de slip planes, uma vez que após determinado número de slip planes pode-se observar que o MOE não foi mais afetado (Figura 2).

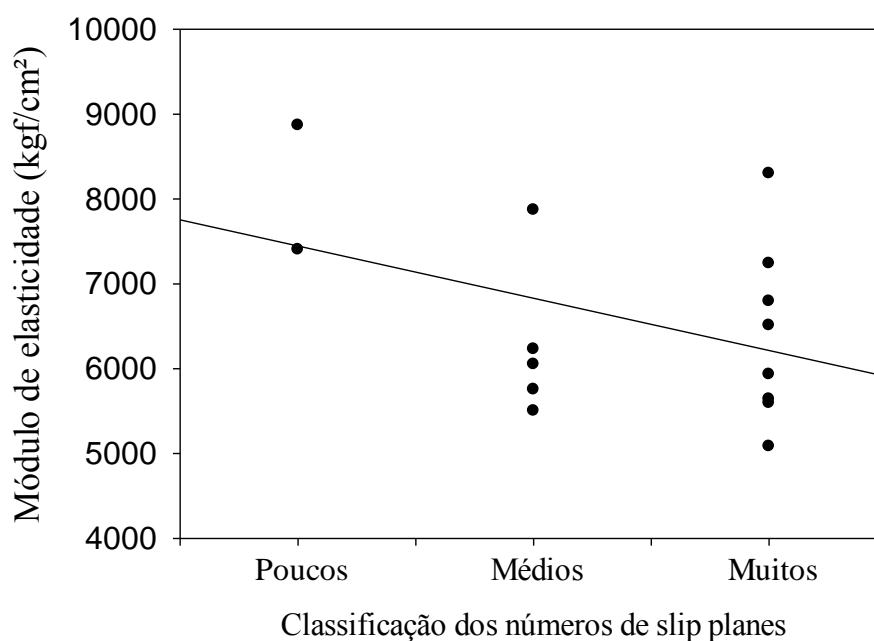


Figura 2. Relação entre classificação de slip planes na parede celular da madeira de *Eucalyptus* e o módulo de elasticidade.

Existe uma tendência de redução do módulo de ruptura com o aumento do número de dobras como pode ser observado na Figura 3.

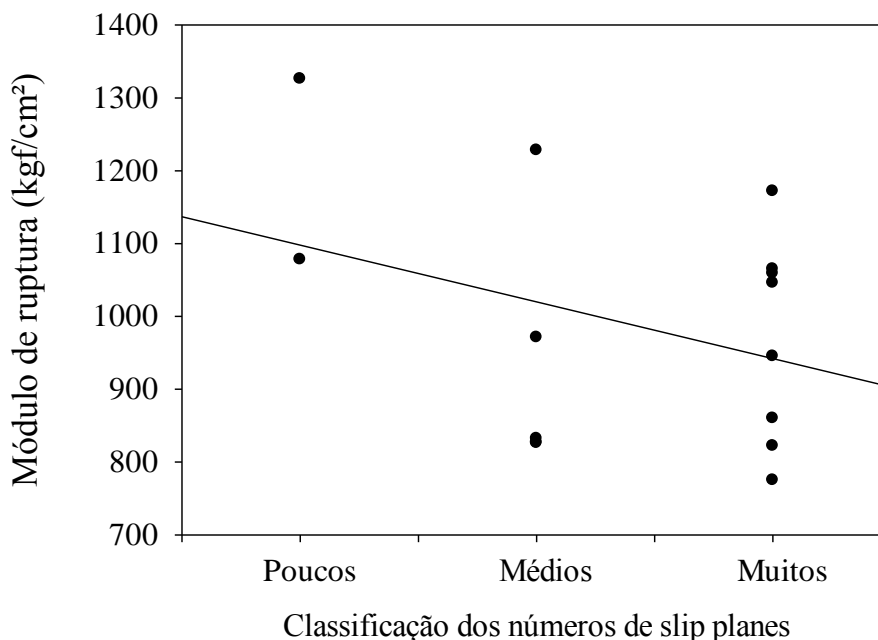


Figura 3. Relação entre classificação de slip planes na parede celular da madeira de *Eucalyptus* e o módulo de ruptura.

#### 4. CONCLUSÕES

Foram encontrados slip planes nas paredes celular das fibras em madeira não tensionada artificialmente em todos os clones.

Os slip planes foram encontrados tanto em madeira comprimida (cerne interno) como em madeira tracionada (alburno) no tronco das árvores.

Diferentemente do módulo de elasticidade (MOE) e do módulo de ruptura (MOR), não foi observada uma tendência de comportamento do número de slip planes no sentido medula-casca.

Existe uma tendência de redução do módulo de ruptura (MOR) com o aumento do número de slip planes, entretanto, para o módulo de elasticidade (MOE) parece que além de determinado número de dobras o MOE não é mais afetado.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao apoio da CAPES, do CNPq e da FAPEMIG por conceder recursos financeiros para aquisição de suplementos fundamentais para a realização desse trabalho, bem como viabilizar a participação no II CBCTEM

#### 6. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM D143-52. Standard methods of testing small clear specimens of timber. In: Annual Book of ASTM Standards. Part 22. Wood; Adhesives. ASTM, Philadelphia, p 59-116, 1981.



BODIG, J.; JAYNE, B. A. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold. New York, 1982, p.712.

DINWOODIE, J. Induction of cell wall dislocations during the preparation of microscope sections of wood. NATURE, v. 212, p. 525-527, 1966.

DINWOODIE, J. M. Brashness in timber and its significance. Journal of the Institute of WOOD SCIENCE, v. 28, p. 3-11, 1970.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ Jr, W. A. Principles of wood science and technology. V1, Solid wood. Springer Verlag, New York, 1968, p. 592.

LIMA, J. T. Clonal variation in the solid wood properties of Eucalyptus. 1999. 276 p. Doutorado (Tese em Ciência e Tecnologia da Madeira). University of Wales, Bangor.

LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P. R. G. Occurrence of natural slip planes in *Eucalyptus* wood. In: IUFRO CONFERENCE DIVISION 5: FOREST PRODUCTS, Lisboa. Anais...Lisboa: International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), 2012.

ROBINSON, W. The microscopical features of mechanical strains in timber and the bearing of these on the structure of the cell-wall in plants. PH. TRANS. ROYAL SOC, v. 200, p. 49-82, 1920.

WILKINS, A. P.; ALEXIOU, P. N. (1991). Relationship between fiber cell-wall deformations and longitudinal growth strain: a research note. WOOD AND FIBER SCIENCE, v. 23, n. 3, p. 358-362, 1991.