6
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMADA, S.; UNTAO, S. **Fracture properties of bamboo.** Composites Part B: Engineering, 2001; 32: 451-459.

ANDERSON, T. L. **Fracture Mechanics.** Washington: CRC Press, 1995. pp. 8.

BARSOM, J. M.; ROLF, S. T. **Fracture and fatigue control in structures.** 2. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1987. pp. 10.

BROEK, D. **The practical use of fracture mechanics.** Dordrecht: Kluwer Academics Publishers, 1988. pp. 28.

CASTRO, J. T. P., MEGGIOLARO, M. A. **Fadiga sob cargas reais de serviço.** Rio de Janeiro: PUC - Rio, 2007 (Em publicação).

CETLIN, P. R.; SILVA, P. S.; PENNA, J. A. **Análise de fraturas.** São Paulo: Associação Brasileira de Metais ABM, 1978.

COELHO, C. **Análise experimental das propriedades dinâmicas dos bambus das espécies guadua, Dendrocalamus e áurea.** Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro. 2005.

FRIEDRICH, K. **Composites Materials Series. Application of Fracture Mechanics to Composite Material.** Netherlands: Elsevier, 1989.

GHAVAMI, K. **Application of bamboo as a low-cost construction material.** In: INTERNATIONAL BAMBOO WORKSHOP, 1988, Cochin. Bamboo Current Research, Singapore, Kerala Forest Research Institute and IDR, 1990: 270-279.

__ __. **Bambu: Um Material Alternativo na Engenharia.** Revista do Instituto de Engenharia, 1992; 492: 23-27.

__ __. **Bamboo: Functionally graded composite material.** Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing), 2003; 4: 1-10.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Propriedades mecânicas dos colmos dos bambus da espécie *Dendrocalamus giganteus,* para utilização na engenharia.** Rio de Janeiro: PUC - Rio, Publicação RMNC-1 Bambu 01/2001, 2001.

__ __. **Propriedades mecânicas dos colmos dos bambus das espécies: *Mosó* e *Guadua angustifólia* para utilização na engenharia.** Rio de Janeiro: PUC - Rio, Relatório Interno PIBIC, 2000.

GHAVAMI, K.; SOUZA, M. V. **Propriedades Mecânicas do Bambu.** Rio de Janeiro: PUC - Rio, Publicação RMNC-1 Bambu 01/2001, 2001.

GIBSON, R.F. **Principles of composite material mechanics.** New York: Mc. Graw Hill, 1994.

GONZALEZ, J. L. **Mecánica de Fractura.** 2. ed. México D.F.: Limusa, 2004.

HOJO, M.; KAGEYAMA, K.; TANAKA, K. **Prestandardization study on mode I interlaminar fracture toughness test for CFRP in Japan.** Composites, 1995; 26: 243-255.

ISI. **Fracture Toughness.** London: Brian W. Berry, 1977. pp. 23-25.

LIMA, J.; H.C.; XAVIER, A.C.; TOLEDO, R.D.F.; BARBOSA, N.P. **Estudo Teórico Experimental sobre a Aderência Bambu-Concreto.** Congresso Técnico - Cientifico de Engenharia Civil, Florianópolis, SC, Abril 1996, PP. 679-700.

LO, K.W. A. **Unified Model for Fracture Mechanics.** Engineering Fracture Mechanics, 1996; 54: 189-210.

MINDESS, S.; BENTUR, A. **Crack propagation in notched Wood specimens with differents grain orientations.** Wood Science and Technology, 1986. 20: 145-155.

MURAD, J. R. L. **As propriedades físicas, mecânicas e meso-estrutural do bambu Guadua weberbaueri do Acre.** 2005. 120 F. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

O'BRIEN, T.K. **Interlaminar fracture toughness: the long and winding road to standardization.** Composites Part B: Engineering, 1998; 29B: 57-62.

PATTON, M.; CRAMER, S. **Fracture mechanics: a tool for predicting wood component strength.** Forest Products Journal, 1987; 37 (7/8): 39-47.

REDDY, J. N. **Mechanics of laminated composites plates.** Washington: CRC Press, 1997. pp. 20-45.

SCHUECKER, C.; DAVIDSON, B. D. **Evaluation of the accuracy of the four-point bend end-notched flexure test for mode II delamination toughness determination.** Composites Science and Technology, 2000; 60: 2137-2146.

TANAKA, K.; KAGEYAMA, K.; HOJO, M. **Prestandardization study on mode II interlaminar fracture toughness test for CFRP in Japan.** Composites, 1995; 26: 257-267.

TASSINI J. A. **Análise da Perda Progressiva da Rigidez em Laminados Devido a Trincas Transversais na Matriz.** 2005. 149 f. Dissertação (Mestrado), Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2005.

WEGST U.G.K.; ASHBY, M. F. **The mechanical efficiency of natural materials.** Philosophical Magazine, 2004; 21: 2167-2181.

YOSHIHARA, H.; MASAMITSU, O. **Measurement of mode II fracture toughness of wood by the end-notched flexure test.** J Wood Sci, 2000; 46 (2): 273-278.

YOSHIHARA, H. **Mode II R-curve of wood measured by 4-ENF test.** Engineering Fracture Mechanics, 2004; 71: 2065-2077.

ZAMBRANO, H. **Efeito da Tensão Nominal no Tamanho e Forma da Zona Plástica.** 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

APÊNDICE A

As relações constitutivas $\sigma - \varepsilon$ podem ser expressas para um ponto de um material qualquer onde todos os termos de tensão (σ_{ij}) são relacionados aos nove termos de deformação de *Cauchy* (ε_{kl}), o que é expresso matricialmente como indica Equação (A.1), onde os 81 componentes C_{ijkl} correspondem aos elementos da matriz de rigidez do material, os subíndices ***ij*** e ***kl*** são referidos as tensões e as deformações respectivamente (Gibson, 1994).

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{31} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{32} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{21} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{1111} & C_{1122} & C_{1133} & C_{1123} & C_{1131} & C_{1112} & C_{1132} & C_{1113} & C_{1121} \\ C_{2211} & C_{2222} & C_{2233} & C_{2223} & C_{2231} & C_{2212} & C_{2232} & C_{2213} & C_{2221} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{2111} & C_{2122} & C_{2133} & C_{2123} & C_{2131} & C_{2112} & C_{2132} & C_{2113} & C_{2121} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} \\ \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{32} \\ \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} \end{Bmatrix} \quad \text{(A.1)}$$

Devido à simetria existente entre as tensões e as deformações, os elementos da matriz de rigidez são também simétricos da forma $C_{ijkl} = C_{jikl}$, $C_{ijkl} = C_{ijlk}$, assim, para um material anisotrópico, a matriz de rigidez é formada por 36 elementos, dos quais 21 são independentes, como o indica a Equação (A.2), na qual é aplicada uma mudança nos subindices para trabalhar de acordo com a notação de *Voigt-Kelivin* (Reddy, 1997), descrita a seguir.

$$11 \to 1, \quad 22 \to 2, \quad 33 \to 3, \quad 23 \to 4, \quad 13 \to 5, \quad 12 \to 6$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ & & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ & & & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ & SIM & & & C_{55} & C_{56} \\ & & & & & C_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix} \quad \text{(A.2)}$$

Levando em conta as possíveis formas de simetria que um material compósito pode apresentar, é fácil fazer simplificações na matriz de rigidez. O primeiro caso é aplicado para o um material *monoclínico*, definido como aquele cujas constantes elásticas C_{ij} de um ponto qualquer têm os mesmos valores que o ponto espelho com respeito a um plano definido, obtendo-se 20 componentes não nulas das quais 13 são independentes. Por exemplo, se o plano de simetria corresponde a $x_3 = z = 0$, a matriz de rigidez é definida pela Equação (A.3).

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & C_{16} \\ & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & C_{26} \\ & & C_{33} & 0 & 0 & C_{36} \\ & & & C_{44} & C_{45} & 0 \\ & SIM & & & C_{55} & 0 \\ & & & & & C_{66} \end{bmatrix} \qquad \text{(A.3)}$$

O segundo caso se refere à possibilidade de ter três planos de simetria mutuamente ortogonais onde não há interação entre tensões normais ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) e deformações cisalhantes ($\varepsilon_{23}, \varepsilon_{31}, \varepsilon_{12}$), e vice-versa. No entanto, o termo *ortotrópico* não é suficiente para descrever a forma da matriz de rigidez, a que depende do sistema de coordenadas usado. Assim, se os eixo principais coincidem com os eixo de simetria do material compósito, os componentes da matriz são reduzidos a 12 elementos não nulos, 9 deles independentes. Este material é chamado *especialmente ortotrópico* cuja matriz de rigidez é dada pela Equação (A.4).

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ & & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ & & & C_{44} & 0 & 0 \\ & SIM & & & C_{55} & 0 \\ & & & & & C_{66} \end{bmatrix} \qquad \text{(A.4)}$$

Quando as propriedades de um material *ortotrópico* ao longo de duas direções ortogonais são as mesmas, o material é denominado *transversalmente isotrópico,* obtendo-se os mesmos 12 elementos não nulos, mas só 5 independentes. Para este terceiro caso, a Equação (A.5) define a matriz de rigidez.

O caso mais simplificado corresponde aos materiais isotrópicos nos quais os três eixos coordenados são eixos de simetria e as propriedades elásticas são as mesmas para qualquer ponto. Para este caso a matriz de rigidez dada pela

Equação (A.6), tem 12 elementos não nulos e unicamente 2 componentes independentes.

$$[C]=\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ & & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ & & & (C_{22}-C_{23})/2 & 0 & 0 \\ & SIM & & & C_{66} & 0 \\ & & & & & C_{66} \end{bmatrix} \tag{A.5}$$

$$[C]=\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ & C_{11} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ & & C_{11} & 0 & 0 & 0 \\ & & & (C_{11}-C_{12})/2 & 0 & 0 \\ & SIM & & & (C_{11}-C_{12})/2 & 0 \\ & & & & & (C_{11}-C_{12})/2 \end{bmatrix} \tag{A.6}$$