

# RELAÇÕES FUNCIONAIS ENTRE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE MADEIRAS TROPICAIS BRASILEIRAS

Henrique José Borges de Araújo\*

\*Eng. Florestal, M.Sc., Embrapa - henrique@cpafac.embrapa.br

Recebido para publicação: 20/03/2007 – Aceito para publicação: 03/05/2007

---

## Resumo

Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar as relações funcionais entre as propriedades físicas e mecânicas de 163 espécies de madeiras tropicais brasileiras e, também, oferecer recursos matemáticos que permitam estimá-las. Foram efetuadas avaliações das correlações e análises de regressão, sendo que os dados da amostra foram obtidos pelas normas de ensaio da COPANT. As propriedades utilizadas foram: densidade básica ( $\rho_{bas}$ ), contração tangencial ( $\epsilon_{r,3}$ ) e radial ( $\epsilon_{r,2}$ ), dureza Janka paralela ( $f_{H0}$ ) e transversal ( $f_{H90}$ ) às fibras, e as relativas à resistência a esforços mecânicos de compressão ( $f_{c0}$  e  $E_{c90}$ ), flexão estática ( $f_M$  e  $E_{M0}$ ), tração ( $f_{w90}$ ), fendilhamento ( $f_{v0}$ ) e cisalhamento ( $f_{s0}$ ). As correlações foram expressas pelo coeficiente de correlação linear de Pearson, e nas análises de regressão utilizou-se  $\rho_{bas}$  como variável independente. Foram realizadas análises das suposições estatísticas para ajuste das equações de regressão. As propriedades com as mais altas relações funcionais foram  $f_{c0}$ ,  $f_{H90}$ ,  $\rho_{bas}$ ,  $f_M$ ,  $f_{H0}$ ,  $E_{M0}$ ,  $f_{s0}$  e  $E_{c90}$ , e as com as mais baixas foram  $\epsilon_{r,3}$ ,  $\epsilon_{r,2}$ ,  $f_{w90}$  e  $f_{v0}$ . As análises de regressão possibilitaram a obtenção de equações satisfatórias para estimativas das propriedades físicas e mecânicas de madeiras de espécies brasileiras com as mais altas relações funcionais.

*Palavras-chave:* Madeira tropical; propriedades físicas da madeira; propriedades mecânicas da madeira; madeira; propriedades da madeira.

## Abstract

*Functional relationships among physical and mechanical properties of Brazilian tropical woods.* This study was done with the objective of evaluating the functional relationships among the physical and mechanical properties of 163 species of Brazilian tropical woods, and also to offer mathematical tools that allow the estimation of them. Evaluations of correlations and of regression analysis were done, and the data of the samples were obtained according to the COPANT standards. The properties used were: basic density ( $\rho_{bas}$ ), tangential ( $\epsilon_{r,3}$ ) and radial ( $\epsilon_{r,2}$ ) shrinkages, Janka hardness parallel ( $f_{H0}$ ) and crosssection ( $f_{H90}$ ) to the grain, and those properties related to the resistance to mechanical efforts of compression ( $f_{c0}$  and  $E_{c90}$ ), static bending ( $f_M$  and  $E_{M0}$ ), traction ( $f_{w90}$ ), cleavage ( $f_{v0}$ ) and shear ( $f_{s0}$ ). The correlations were expressed by the coefficient of linear correlation of Pearson and in the regression analysis  $\rho_{bas}$  was used as independent variable. Analysis of the statistical suppositions were carried out in order to do adjustments of the regression equations. The properties with the highest functional relationships were  $f_{c0}$ ,  $f_{H90}$ ,  $\rho_{bas}$ ,  $f_M$ ,  $f_{H0}$ ,  $E_{M0}$ ,  $f_{s0}$  and  $E_{c90}$  and the lowest were  $\epsilon_{r,3}$ ,  $\epsilon_{r,2}$ ,  $f_{w90}$  and  $f_{v0}$ . The regression analysis made possible the obtation of satisfactory equations for estimates of the physical and mechanical properties of Brazilian tropical wood species with the highest functional relationships.

*Keywords:* Tropical wood; physical properties; mechanical properties; wood; properties.

---

## INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas das madeiras (PFMM) é fundamental para definir adequadamente as aplicações a que serão destinadas e dimensionar, com segurança, as partes componentes de uma estrutura com esse material. Combinados a outros fatores (resistência à degradação biológica e abiótica, facilidade de processamento com ferramentas, valor econômico de mercado, estético, etc.), os parâmetros dessas propriedades permitem que as madeiras sejam classificadas em usos a que se mostram mais apropriadas, como, por exemplo, peças estruturais, ambientes internos e externos de habitações, mobílias, painéis e embalagens.

Relativamente às PFMM, a indicação de uma madeira para determinada aplicação considera atributos referentes ao seu peso, ao comportamento frente às condições ambientais (umidade, principalmente) e, também, aos limites de resistência mecânica correspondentes aos esforços a que estarão sujeitas nas situações de uso.

A mensuração das PFMM é efetuada através de ensaios de laboratório, utilizando equipamentos próprios a essa finalidade e seguindo normas que especificam os métodos, procedimentos, fórmulas de cálculo, formas e dimensões de corpos de prova, etc. As normas de ensaio mais empregadas mundialmente são as da American Society for Testing and Materials (ASTM), as da British Standard Institution (BSI), as da International Organization for Standardization (ISO) e as da Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT). No Brasil, existem as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Entre as principais propriedades físicas da madeira estão a massa específica (ou densidade), expressa pelo quociente entre a massa e o volume, e a instabilidade dimensional, representada pela variação das dimensões (linear e volumétrica) em função do teor de umidade. Dentre as propriedades mecânicas, destacam-se a resistência à ação de forças externas, tais como compressão, flexão, tração, cisalhamento e fendilhamento.

Muito embora já se tenha ensaiado um grande número de espécies de madeira, ainda restam muitas a serem estudadas. Araújo (2002), ao realizar extenso levantamento na literatura nacional e internacional acerca das PFMM de 197 espécies tropicais ocorrentes em uma área florestal no estado do Acre, na região Amazônica, encontrou o nome científico completo (gênero e espécie) de apenas 74 delas (37,5%), sendo que 113 espécies (57,4%) foram localizadas somente no nível de gênero, e 10 (5,1%) não foram encontradas na literatura. O levantamento de Araújo (2002) revelou uma significativa lacuna em pesquisas sobre madeiras amazônicas.

A fim de avaliar as relações funcionais existentes entre as PFMM de espécies tropicais brasileiras, procedeu-se o estudo de suas correlações e de suas dependências funcionais (análises de regressão). Este estudo, baseado em uma amostra de dados de 163 espécies, tem como objetivo conhecer o grau de correspondência entre essas propriedades e, ao mesmo tempo, oferecer recursos matemáticos (equações de regressão) que possibilitem estimativas para espécies ainda não estudadas.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Entre as PFMM, a massa específica (densidade) é a que mais se destaca. Essa propriedade tem relação direta com a composição química da madeira e revela a quantidade do material lenhoso da parede celular, estando, dessa maneira, estreitamente relacionada com outras propriedades (NAHUZ, 1974; RICHTER; BURGER, 1978). Devido à variação nas dimensões e proporção dos diversos tecidos da madeira, a massa específica pode variar de 0,13 a 1,40 g.cm<sup>-3</sup> entre as espécies, no entanto, a massa específica da matéria lenhosa sólida varia pouco, podendo-se admitir um valor médio de 1,50 g.cm<sup>-3</sup> para todas as madeiras (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

Neste trabalho, a massa específica é representada pela densidade básica. Segundo Lopes e Garcia (2002), a densidade básica da madeira é definida pela relação entre seu peso absolutamente seco e seu volume saturado (umidade acima do Ponto de Saturação das Fibras – PSF) e expressa em g.cm<sup>-3</sup>.

A densidade básica é de fácil obtenção e um dos principais parâmetros para aferir a qualidade da madeira, sendo um excelente índice para indicar seu emprego nas diversas finalidades (PANSHIN; ZEEUW, 1970). Em termos gerais, pode-se dizer que as variações da densidade básica entre espécies estão relacionadas às suas características anatômicas, como, por exemplo, o comprimento e largura da célula, espessura da parede celular, diâmetro do lume e proporção e distribuição dos tecidos no lenho (LOPES; GARCIA, 2002).

Como material estrutural, a madeira possui a desvantagem de ser heterogênea. Sequer amostras de uma mesma árvore apresentam valores das PFMM absolutamente iguais (BROWN *et al.*, 1949). Segundo Rocha (1994), a heterogeneidade da madeira se deve aos diversos tipos de células com funções específicas, ao fato de ser constituída de uma série de compostos químicos, orgânicos e inorgânicos, e também aos fatores que afetam o desenvolvimento das árvores, tais como clima, solo, local de crescimento e os de ordem genética.

Ainda que as PFMM tenham estreita relação com a massa específica, há outros importantes fatores de influência. O comportamento dimensional e a resistência a esforços mecânicos da madeira, além da dependência da quantidade de material celulósico na parede celular, relacionam-se com as

proporções e arranjos dos seus componentes estruturais anatômicos (fibrilar, parenquimatosos, etc.) e aos elementos não-estruturais, como extrativos e água (PANSHIN; ZEEUW, 1970; WANGAARD, 1950).

Arganbright (1971), avaliando a influência de extrativos nas propriedades da madeira de uma conífera norte-americana, constatou que a quantidade de extrativos é diretamente proporcional à resistência aos esforços mecânicos de compressão paralela às fibras e à resistência ao choque, porém, não altera os valores do módulo de ruptura à flexão estática e é inversamente proporcional aos valores do módulo de elasticidade à flexão estática. Garcia e Quirino (1993) constataram que a remoção de apenas 1,9% de extrativos da madeira de ipê (*Tabebuia* sp) ocasionou um decréscimo de 17,3% na resistência de ruptura à compressão paralela às fibras.

A presença da água afeta sobremaneira a resistência da madeira. As variações na umidade produzem diferenças na massa específica, resultando, portanto, em variações na resistência aos esforços mecânicos. Segundo Panshin e Zeeuw (1970), a resistência mecânica se altera inversamente com o conteúdo de umidade abaixo do PSF. Acima do PSF, têm-se evidenciado na literatura que as propriedades mecânicas da madeira permanecem estáveis quando ocorrem variações da umidade.

Além dos fatores mencionados, ainda há outros relevantes que influenciam as PFMM, podendo-se citar as proporções dos elementos da parede celular (celulose, hemiceluloses e lignina), a disposição dos vasos e porosidade, a posição da amostra no tronco da árvore, a direção das fibras (longitudinal e transversal) onde são aplicadas as forças externas e a idade da árvore (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; PANSHIN; ZEEUW, 1970; FOREST, 1974; RICHTER; BURGER, 1978; JANKOWSKY, 1979; SIAU, 1984; ROCHA *et al.*, 1988; GARCIA; QUIRINO, 1993; EVANS *et al.*, 2000).

Embora concisas, as informações bibliográficas apresentadas assinalam algumas particularidades fundamentais para melhor compreensão das madeiras em relação às PFMM. A primeira é de que é possível admitir que a massa específica é o melhor indicativo para definição dos usos condicionados à resistência a forças mecânicas, uma vez que a grande maioria das propriedades mecânicas está firmemente associada a essa propriedade. Além disso, a obtenção da massa específica não requer complexas e onerosas máquinas de ensaio e, desse modo, torna-se importante também sob o ponto de vista econômico, considerando-se que seus custos de ensaio em laboratório são reduzidos. Outro aspecto relevante diz respeito à influência da umidade. Na maior parte das situações de uso, a umidade do ar é um fator não controlável e inconstante e, em razão da higroscopicidade, a madeira tende ao equilíbrio com o ambiente, estando sujeita, portanto, a modificar com frequência os valores que as PFMM podem assumir.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Propriedades físicas e mecânicas utilizadas

Para o presente estudo, foram utilizadas doze PFMM, sendo três físicas e nove mecânicas (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades físicas e mecânicas das madeiras (PFMM) utilizadas no estudo.

Table 1. Physical and mechanical properties of wood (PFMM) used in the study.

Propriedade	Notação <sup>1</sup>	Unidade de medida	Teor de umidade <sup>2</sup>	
Físicas	1. Densidade básica	$\rho_{bas}$	$g \cdot cm^{-3}$	-
	2. Contração tangencial	$\epsilon_{r,3}$	%	-
	3. Contração radial	$\epsilon_{r,2}$	%	-
Mecânicas	4. Módulo de ruptura à flexão estática	$f_M$	MPa	12 %
	5. Módulo de elasticidade à flexão estática	$E_{M0}$	MPa	12 %
	6. Resistência à compressão paralela às fibras	$f_{c0}$	MPa	12 %
	7. Resistência no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras	$E_{c90}$	MPa	12 %
	8. Dureza Janka paralela às fibras	$f_{H0}$	N	12 %
	9. Dureza Janka transversal às fibras	$f_{H90}$	N	12 %
	10. Resistência à tração perpendicular às fibras	$f_{wt90}$	MPa	12 %
	11. Resistência ao fendilhamento	$f_{v0}$	MPa	12 %
	12. Resistência ao cisalhamento	$f_{s0}$	MPa	12 %

MPa: MegaPascal; N: Newton; <sup>1</sup>: conforme norma NBR 7190 (ABNT); <sup>2</sup>: refere-se ao teor de umidade do corpo de prova do respectivo ensaio.

As definições sumárias e as fórmulas de cálculo de cada PFMM são apresentadas na tabela 2. Tais informações foram adaptadas da norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO, 1997).

Tabela 2. Propriedades físicas e mecânicas utilizadas no estudo (adaptado de ASSOCIAÇÃO, 1997).  
Table 2. Physical and mechanical properties used in the study (adapted of ASSOCIAÇÃO, 1997).

Propriedade	Notação	Descrição sumária	Fórmula de cálculo	Componentes da fórmula
1. Densidade básica	$\rho_{bas}$	É uma massa específica convencional da madeira dada pelo quociente entre a massa seca em estufa (teor de umidade de 0%) e o volume verde (teor de umidade saturado).	$\rho_{bas} = \frac{Ms}{Vv}$	$\rho_{bas}$ = densidade básica, em g.cm <sup>-3</sup> . $Ms$ = massa seca em estufa, em g, ao t.u. de 0%. $Vv$ = volume verde, em cm <sup>3</sup> , ao t.u. saturado.
2. Contração tangencial	$\epsilon_{r,3}$	É a retração da dimensão da madeira na direção tangencial aos anéis de crescimento, ou na direção perpendicular aos raios, que ocorre quando o teor de umidade passa do saturado para 0% seco em estufa.	$\epsilon_{r,3} = \left( \frac{Lt_{sat} - Lt_{0\%}}{Lt_{sat}} \right) 100$	$\epsilon_{r,3}$ = contração tangencial, em %. $Lt_{sat}$ = dimensão da direção tangencial aos anéis de crescimento, em cm, ao t.u. saturado $Lt_{0\%}$ = dimensão da direção tangencial aos anéis de crescimento, em cm, ao t.u. de 0%.
3. Contração radial	$\epsilon_{r,2}$	É a retração da dimensão da madeira na direção longitudinal aos raios, ou na direção perpendicular aos anéis de crescimento, que ocorre quando o teor de umidade passa do saturado para 0% seco em estufa.	$\epsilon_{r,2} = \left( \frac{Lr_{sat} - Lr_{0\%}}{Lr_{sat}} \right) 100$	$\epsilon_{r,2}$ = contração radial, em % $Lr_{sat}$ = dimensão da direção longitudinal aos raios, em cm, ao t.u. saturado $Lr_{0\%}$ = dimensão da direção longitudinal aos raios, em cm, ao t.u. de 0 %
4. Módulo de ruptura à flexão estática	$f_M$	É a resistência à ruptura da madeira à flexão estática dada pelo quociente entre o máximo momento que pode atuar em um corpo de prova e o módulo de resistência elástico da seção transversal (dada por $b.h^2.6^{-1}$ , onde $b$ e $h$ são os lados) desse corpo de prova. É calculado com a hipótese da madeira ser um material elástico.	$f_M = \frac{M_{max}}{We}$	$f_M$ = módulo de ruptura à flexão estática, em N.m <sup>2</sup> , ou MPa, ao t.u. de 12%. $M_{max}$ = máximo momento, em Nm, atuante no corpo de prova. $We$ = módulo de resistência elástico, em m <sup>3</sup> .
5. Módulo de elasticidade à flexão estática	$E_{M0}$	É a rigidez da madeira à flexão estática dada pela carga aplicada no meio do vão livre (distância entre apoios) do corpo de prova. Para o cálculo, considera-se o quociente entre o produto da carga máxima aplicada pelo vão livre ao cubo e a flecha, ou deslocamento no meio do vão livre, provocado pela carga máxima aplicada na seção transversal do corpo de prova.	$E_{M0} = \frac{F_{max} L^3}{4fbh^3}$	$E_{M0}$ = módulo de elasticidade à flexão estática, em N.m <sup>2</sup> , ou MPa, ao t.u. de 12%. $F_{max}$ = carga máxima aplicada, em N. $L$ = vão livre, em m, do corpo de prova. $f$ = flecha, em m, no meio do vão livre do corpo de prova. $b$ e $h$ = lados da seção transversal, em m, no meio do vão livre do corpo de prova.
6. Resistência à compressão paralela às fibras	$f_{c0}$	É a resistência à ruptura da madeira à compressão paralela às fibras dada pelo quociente entre a máxima força de compressão que pode atuar na direção paralela às fibras de um corpo de prova e a área da sua seção transversal.	$f_{c0} = \frac{C_{max}}{A}$	$f_{c0}$ = resistência à compressão paralela às fibras, em N.m <sup>2</sup> , ou MPa, ao t.u. de 12%. $C_{max}$ = máxima força de compressão, em N. $A$ = área da seção transversal, em m <sup>2</sup> , do corpo de prova.
7. Resistência no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras	$E_{c90}$	É a resistência da madeira no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras dada pelo quociente entre a força no limite da proporcionalidade que pode atuar na direção perpendicular às fibras da madeira de um corpo de prova e a área da seção de aplicação da carga.	$E_{c90} = \frac{C}{A}$	$E_{c90}$ = resistência no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras, em N.m <sup>2</sup> , ou MPa, ao t.u. de 12%. $C$ = força de compressão, em N. $A$ = área da seção de aplicação da carga, em m <sup>2</sup> , do corpo de prova.
8. Dureza Janka paralela às fibras	$f_{H0}$	A dureza Janka paralela às fibras da madeira é determinada convencionalmente pela máxima força de compressão que atua na face paralela às fibras de um corpo de prova prismático e que produz a penetração da área da seção diametral de uma semi-esfera de aço de um centímetro quadrado na profundidade igual a seu raio.	$f_{H0} = Fp_{max}$	$f_{H0}$ = dureza Janka paralela às fibras da madeira, em N, ao t.u. de 12%. $Fp_{max}$ = máxima força de compressão atuante na face paralela às fibras, em N.
9. Dureza Janka transversal às fibras	$f_{H90}$	A dureza Janka transversal às fibras da madeira é determinada convencionalmente pela máxima força de compressão que atua na face transversal às fibras de um corpo de prova prismático e que produz a penetração da área da seção diametral de uma semi-esfera de aço de um centímetro quadrado na profundidade igual a seu raio.	$f_{H90} = Ft_{max}$	$f_{H90}$ = dureza Janka da madeira transversal às fibras, em N, ao t.u. de 12 % $Ft_{max}$ = máxima força de compressão atuante na face transversal às fibras, em N
10. Resistência à tração perpendicular às fibras	$f_{wt90}$	É a resistência à ruptura da madeira à tração perpendicular às fibras e dada pela máxima força de tração que pode atuar em um corpo de prova alongado com trecho central com área da seção transversal uniforme.	$f_{wt90} = \frac{Ftr_{max}}{A}$	$f_{wt90}$ = resistência à tração perpendicular às fibras, em N.m <sup>2</sup> , ou MPa, ao t.u. de 12%. $Ftr_{max}$ = máxima força de tração, em N. $A$ = área da seção transversal uniforme, em m <sup>2</sup> , do corpo de prova.

Propriedade	Notação	Descrição sumária	Fórmula de cálculo	Componentes da fórmula
11. Resistência ao fendilhamento	$f_{v0}$	É a resistência à ruptura da madeira ao fendilhamento e dada pela máxima força de fendilhamento que pode atuar na área da seção transversal crítica de um corpo de prova.	$f_{v0} = \frac{Ff_{max}}{A}$	$f_{v0}$ = resistência ao fendilhamento, em N.m <sup>-2</sup> , ou MPa, ao t.u. de 12%. $Ff_{max}$ = máxima força de fendilhamento, em N. $A$ = área da seção transversal crítica, em m <sup>2</sup> , do corpo de prova.
12. Resistência ao cisalhamento	$f_{s0}$	É a resistência à ruptura da madeira ao cisalhamento e dada pela máxima força de cisalhamento que pode atuar na área da seção transversal crítica de um corpo de prova.	$f_{s0} = \frac{Fc_{max}}{A}$	$f_{s0}$ = resistência ao cisalhamento, em N.m <sup>-2</sup> , ou MPa, ao t.u. de 12%. $Fc_{max}$ = máxima força de cisalhamento, em N. $A$ = área da seção transversal crítica, em m <sup>2</sup> , do corpo de prova.

t.u.: teor de umidade; N: Newton; MPa: MegaPascal.

### Amostragem

Os dados básicos foram obtidos a partir de uma amostra procedente de quatro publicações do Laboratório de Produtos Florestais/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (LPF/IBAMA) (IBAMA, 1997; INSTITUTO, 1981; INSTITUTO, 1988; SOUZA *et al.*, 1997). Tais dados foram determinados utilizando-se as normas da COPANT, as quais são praticamente iguais às da ASTM (INSTITUTO, 1988), sendo que as propriedades mecânicas foram obtidas com corpos de prova com um teor de umidade de 12%.

A amostra totalizou informações de 163 espécies tropicais brasileiras (Tabela 3), possuindo boa representação da variabilidade entre as madeiras (por exemplo, os dados de  $\rho_{bas}$  variam de 0,29 a 1,01 g.cm<sup>-3</sup>). Ainda que existam informações disponíveis em diferentes fontes bibliográficas acerca das PFMM de outras espécies brasileiras, o que possibilitaria expandir a amostra de dados, optou-se por obtê-las de apenas uma fonte, o LPF/IBAMA, por se considerar que, desse modo, os dados são dotados de maior homogeneidade, uma vez que foram obtidos pelos mesmos métodos de ensaio e, presumivelmente, pelas mesmas máquinas.

Visando uniformização aos padrões internacionais para PFMM, a unidade de medida das propriedades  $f_M$ ,  $f_{c0}$ ,  $E_{c90}$ ,  $f_{wt90}$ ,  $f_{v0}$  e  $f_{s0}$ , que é apresentada nas fontes bibliográficas em quilograma-força por centímetro quadrado (kgf.cm<sup>-2</sup>), foi convertida para MegaPascal (MPa), utilizando-se o fator 0,0980665. A unidade de medida de  $E_{M0}$ , que na origem é expressa em 1000 kgf.cm<sup>-2</sup>, foi convertida para MPa pelo fator 98,0665. A unidade de medida de  $f_{H0}$  e  $f_{H90}$ , que é apresentada em kgf, foi convertida para Newton (N) pelo fator 9,80665.

Tabela 3. Propriedades físicas e mecânicas de 163 espécies de madeiras tropicais brasileiras.

Table 3. Physical and mechanical properties of the 163 species of Brazilian tropical wood.

n	Nome usual	Nome científico	$\rho_{bas}$	$\epsilon_{r,3}$	$\epsilon_{r,2}$	$f_M$	$E_{M0}$	$f_{c0}$	$E_{c90}$	$f_{H0}$	$f_{H90}$	$f_{wt90}$	$f_{v0}$	$f_{s0}$
1	Abiu-branco	<i>Syzygiopsis oppositifolia</i> Ducke	0,65	7,8	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Abiu-casca-grossa	<i>Planchonella pachycarpa</i> Pires (ined.)	0,74	12,6	6,5	161,61	16867	82,57	10,98	12092	10719	4,61	8,04	16,77
3	Abiu-pitomba	<i>Sandwithiodoxa egregia</i> (Sandw.)Aubr. & Pellegr.	0,84	11,2	6,8	171,81	17554	88,95	14,71	14524	13121	5,69	8,83	19,02
4	Abiurana-branca	<i>Franchetella gongrijpii</i> (Eyma) Aubrév.	0,72	10,1	4,5	144,45	15298	75,51	12,55	11670	10660	4,81	7,85	17,65
5	Abiurana-seca	<i>Diploon venezuelana</i> Aubrév.	0,85	10,1	7,1	186,91	17750	96,40	19,42	11827	13102	3,14	5,39	19,61
6	Abiurana-vermelha	<i>Pouteria caimito</i> (R. & P.) Radlk.	0,88	9,4	5,3	168,48	17554	87,67	16,28	12798	12239	4,90	5,69	16,38
7	Açacu	<i>Hura crepitans</i> L.	0,39	5,2	3,7	67,67	8434	32,95	4,71	3844	2775	2,55	3,33	6,96
8	Achichá	<i>Sterculia speciosa</i> K. Schum.	0,49	10,6	5,2	90,52	13631	46,48	4,81	4992	4158	2,35	4,22	8,73
9	Açoita-cavalo	<i>Lueheopsis duckeana</i> Burret	0,62	9,5	4,6	123,17	14220	62,47	9,22	8865	7708	4,31	4,61	12,55
10	Amapá-amargoso	<i>Parahancornia amapa</i> (Huber) Ducke	0,46	6,8	3,7	89,04	11082	45,90	5,98	5296	3511	3,92	5,10	9,61
11	Amapá-doce	<i>Brosimum potabile</i> Ducke	0,53	-	-	97,18	10787	55,02	8,24	7247	5266	3,14	-	10,20
12	Amapá-doce/mururé-rana	<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	0,57	-	-	102,28	11278	56,98	8,04	7198	5560	2,94	-	10,00
13	Amoreira	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.	0,73	5,9	3,2	153,47	12651	86,10	22,36	11415	10611	5,30	6,86	15,59
14	Anani	<i>Symphonia globulifera</i> L.	0,58	7,9	4,5	109,25	13729	61,29	7,16	6669	5600	3,24	3,24	10,40
15	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	0,59	8,1	4,4	107,19	11768	59,72	8,83	8247	6276	4,02	-	10,89

n	Nome usual	Nome científico	$\rho_{bas}$	$\epsilon_{r,3}$	$\epsilon_{r,2}$	$f_M$	$E_{M0}$	$f_{c0}$	$E_{c90}$	$f_{H0}$	$f_{H90}$	$f_{wt90}$	$f_{v0}$	$f_{s0}$
16	Angelim-damata	<i>Hymenolobium sp.</i>	0,60	7,2	3,7	111,89	11866	56,29	11,18	8140	6325	4,71	5,49	13,04
17	Angelim-damata	<i>Hymenolobium modestum</i> Ducke	0,65	7,7	4,6	118,46	13239	59,92	10,49	7904	7326	3,82	5,39	13,73
18	Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	0,59	6,3	4,1	109,34	11572	52,27	11,28	7659	5786	3,82	-	12,26
19	Angelim-pedra	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	0,83	9,5	5,7	156,91	16966	85,61	14,81	14318	13543	3,82	6,57	17,65
20	Angelim-rajado	<i>Marmaroxylon racemosum</i> (Ducke) Killip. ex Record.	0,79	9,3	5,9	163,57	16377	79,14	18,93	14886	14131	2,84	-	17,26
21	Araracanga	<i>Aspidosperma desmanthum</i> Benth. ex Müell. Arg.	0,69	9,0	5,8	132,98	14612	67,86	11,87	9248	7816	2,94	5,49	12,65
22	Axixá	<i>Sterculia apeibophylla</i> Ducke	0,47	10,6	5,4	84,24	10493	46,09	4,90	4080	3050	3,14	4,61	8,83
23	Bacuri	<i>Platonia insignis</i> Mart.	0,67	8,1	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	Barrote	<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) O. Kuntze	0,75	9,8	5,0	123,56	14024	60,51	12,85	13876	12670	5,00	6,18	18,93
25	Breu/Amescl a	<i>Tratinickia cf. burseraefolia</i> Mart.	0,50	6,8	4,1	64,14	10983	45,11	5,79	5099	-	3,63	5,69	9,90
26	Breu/breu-branco-campo	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) March var. <i>brasiliense</i> Engl.	0,55	-	-	85,12	9807	48,05	6,77	4452	3903	5,39	-	9,81
27	Breu-manga	<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swartz	0,74	9,0	4,6	134,65	14318	76,39	15,20	12013	9650	6,47	6,86	17,95
28	Breu-manga/breu	<i>Protium sp.</i>	0,76	9,8	5,1	137,98	15495	78,94	11,57	12239	10307	4,71	6,57	17,85
29	Breu-preto	<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) O. Kuntze	0,77	9,9	5,1	122,49	13239	68,74	14,12	13582	11287	5,30	7,94	20,10
30	Breu-preto/breu	<i>Protium tenuifolium</i> (Engl.) Engl.	0,63	8,4	4,2	114,15	12651	63,25	9,22	8983	6747	4,90	5,98	14,61
31	Burra-leiteira	<i>Sapium marmieri</i> Huber	0,39	7,5	5,6	62,66	8924	32,56	3,73	2295	1442	2,75	3,73	6,57
32	Cabreuva-parda	<i>Myrocarpus frondosus</i> Allemão	0,78	7,0	4,4	154,16	15102	85,91	13,53	15289	13680	4,02	5,69	17,85
33	Caja	<i>Spondias lutea</i> L.	0,38	7,4	4,2	46,78	7747	30,89	3,73	2108	1196	2,84	3,43	5,79
34	Cajuaçu	<i>Anacardium giganteum</i> Hancock.	-	6,3	3,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	Cajuaçu	<i>Anacardium spruceanum</i> Benth.	0,42	6,0	2,9	64,14	9807	36,48	4,41	3825	2491	2,84	-	6,77
36	Canafistula	<i>Cassia fastuosa</i> Willd.	0,71	9,1	6,2	113,95	13141	72,18	12,75	12258	11121	3,24	4,61	14,42
37	Caraipé	<i>Licania octandra</i> (Hoffm. ex Roem. & Schult) O. Kuntze	0,77	11,9	6,1	161,03	17064	83,36	11,47	12199	12249	4,02	4,81	15,20
38	Castanha-arara/Munguba	<i>Joannesia heveoides</i> Ducke	0,39	-	-	63,65	8238	34,42	4,81	3844	2589	3,24	-	5,88
39	Castanha-de-cutia	<i>Couepia robusta</i> Huber	0,83	11,0	5,8	154,55	15593	78,85	19,02	13347	14259	3,92	5,79	13,04
40	Castanha-sapucaia	<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	0,84	8,0	5,6	149,94	14808	70,22	14,91	12994	12592	4,22	5,79	17,16
41	Castanheira	<i>Bertholletia excelsa</i> Humb. & Bonpl.	0,63	-	-	116,01	12553	58,35	9,90	8071	6541	4,22	-	11,47
42	Caucho	<i>Castilla ulei</i> Warb.	0,39	10,5	6,2	55,80	8924	36,77	3,63	2716	1393	1,86	2,94	5,88
43	Cedrorana	<i>Cedrelinga catenaeformis</i> Ducke	0,44	7,9	4,8	77,77	12847	46,58	3,63	3962	3785	4,51	-	7,16
44	Conduru	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	0,71	8,1	5,3	147,49	16377	76,59	12,36	10650	9346	3,92	5,69	12,55
45	Copaiba	<i>Copaifera duckei</i> Dwyer/C. reticulata Ducke	0,62	8,2	4,1	115,62	12062	58,84	9,71	8502	6512	4,31	-	11,96
46	Copaiba	<i>Copaifera langsdorfii</i> Desf.	-	6,7	4,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	Cuia	<i>Terminalia cf. argentea</i> Mart. & Zucc.	0,80	9,8	5,8	142,00	15396	84,63	12,85	15416	13965	4,41	5,88	17,65
48	Cuiarana	<i>Terminalia amazonica</i> (Gmel) Exell.	0,80	-	-	146,02	14024	77,96	14,02	11435	9944	5,20	-	13,93
49	Cumarú	<i>Dipteryx odorata</i> Willd.	0,91	8,4	5,4	172,99	17946	96,79	20,59	13131	15700	4,81	8,53	21,97
50	Cupiúba	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	0,71	8,4	4,5	131,41	14612	67,57	14,51	9993	8140	4,12	5,49	14,51
51	Envira	<i>Rollinia exsucca</i> (Dun.) A. DC.	0,52	8,8	3,2	89,63	11768	52,27	-	5286	3844	-	2,94	8,43
52	Envira-branca	<i>Xylopia nitida</i> Dun.	0,56	11,4	6,7	116,99	15887	62,08	5,69	6561	4972	2,26	4,71	8,43
53	Envira-preta	<i>Guatteria olivacea</i> R. E. Fries	0,51	9,3	4,4	98,26	12258	51,39	-	5806	4756	3,82	-	8,73
54	Envira-preta	<i>Guatteria procera</i> R. E. Fries	0,65	11,4	7,2	121,50	15298	69,14	5,39	7443	6531	2,65	4,90	10,49
55	Envira-preta	<i>Onychopetalum amazonicum</i> R. E. Fries	0,57	8,1	4,9	122,78	15004	65,21	6,47	6669	5600	2,35	5,00	10,20
56	Envira-preta	<i>Diclinanona calycina</i> (Diels) R.E. Fries	0,47	-	-	93,56	11082	48,84	-	5060	3952	3,04	-	7,45
57	Espinheiro-preto	<i>Acacia polyphylla</i> A. DC.	0,60	10,1	4,9	104,54	12945	57,86	8,53	6776	4864	3,43	6,37	11,47
58	Facira/louro-faia	<i>Roupala montana</i> Aubl.	0,77	12,3	6,3	158,28	16966	82,96	10,98	9571	9650	6,18	8,53	15,40
59	Fava-amargosa	<i>Vatairea paraensis</i> Ducke	0,78	9,8	4,8	148,37	15004	77,77	12,85	9159	9669	4,12	6,37	15,79
60	Fava-arara-tucupi/faveira	<i>Parkia paraensis</i> Ducke	0,44	7,6	3,5	73,55	11474	38,64	4,61	3913	3305	3,43	5,59	9,61

n	Nome usual	Nome científico	$\rho_{bas}$	$\epsilon_{r,3}$	$\epsilon_{r,2}$	$f_M$	$E_{M0}$	$f_{c0}$	$E_{c90}$	$f_{H0}$	$f_{H90}$	$f_{wt90}$	$f_{v0}$	$f_{s0}$
61	Fava-branca	<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i> (Willd.) Hochr.	0,48	7,5	5,1	95,91	11866	44,91	4,81	7306	5825	3,04	3,63	12,26
62	Fava-de-rosca	<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.	0,84	9,3	4,2	161,61	16769	78,65	14,81	9277	10434	5,49	7,94	17,36
63	Fava-folha-fina/timborena	<i>Piptadenia suaveolens</i> Miq.	0,76	8,3	5,1	146,90	15396	78,26	13,93	8806	9601	5,30	6,67	15,89
64	Fava-tamboril/tamboril	<i>Enterolobium maximum</i> Ducke	0,37	4,5	2,4	48,84	7649	37,66	4,12	3854	2824	2,26	3,14	8,83
65	Faveira	<i>Parkia oppositifolia</i> Spruce ex. Benth.	0,42	5,4	2,7	81,98	9512	34,81	5,49	4050	2854	3,14	3,82	9,41
66	Faveira bolacha	<i>Vatairea sericea</i> Ducke	0,71	8,4	4,5	135,43	14906	64,82	11,18	7649	7894	3,53	4,90	13,83
67	Faveira-bolota/faveira	<i>Parkia pendula</i> Benth. ex Walp.	0,50	7,8	3,8	84,73	11572	48,25	7,06	5345	4207	3,92	5,00	11,28
68	Faveira-branca	<i>Parkia multijuga</i> Benth.	0,38	7,0	2,9	60,61	8630	36,97	5,59	4011	2971	3,82	-	8,04
69	Faveira-folha-fina	<i>Piptadenia communis</i> Benth.	0,68	-	-	116,01	13435	68,65	11,47	7218	7424	3,73	-	13,14
70	Figueira	<i>Ficus insipida</i> Willd.	0,36	9,7	5,0	61,59	7943	37,66	3,92	2079	1196	1,96	3,04	6,47
71	Freijó	<i>Cordia bicolor</i> D.C.	0,49	-	-	81,30	11866	49,92	3,73	5619	4286	3,33	-	7,65
72	Freijó	<i>Cordia sagotii</i> I.M. Johnston	0,50	-	-	86,40	9807	47,86	-	5148	3923	3,43	-	7,55
73	Freijó/freijorge	<i>Cordia goeldiana</i> Huber	0,48	-	-	91,40	10199	50,70	6,08	5962	4433	3,04	-	8,34
74	Garapeira	<i>Apuleia molaris</i> Spruce ex. Benth.	0,75	10,1	6,5	124,74	12651	63,15	15,49	7306	8287	5,49	6,67	12,85
75	Glicia	<i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke	0,66	7,6	4,9	125,92	14906	65,02	10,20	8561	7433	3,33	4,51	13,44
76	Goiabão	<i>Pouteria pachycarpa</i> Pires	0,73	11,2	6,2	155,53	16377	74,04	11,57	15220	12817	5,79	6,28	18,14
77	Guariúba	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	0,60	6,2	3,1	108,85	12160	64,53	9,32	7836	6119	2,84	5,00	11,67
78	Ingá	<i>Inga alba</i> Willd.	0,62	9,6	4,0	120,72	13337	60,21	8,14	8463	6306	4,51	7,06	14,32
79	Ingá-de-porco	<i>Macrosamanea pedicellaris</i> (DC.) Kleinh.	0,49	7,6	4,3	97,28	11670	50,01	7,85	4746	4246	4,12	4,90	11,96
80	Ingarana	<i>Inga sp.</i>	0,58	9,6	4,1	157,99	15495	82,08	13,44	14867	12660	7,65	6,96	20,20
81	Ingarana/ingá	<i>Inga paraensis</i> Ducke	0,82	10,7	5,3	182,99	17946	83,36	14,42	14886	13631	-	-	21,38
82	Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl.) Nichols.	0,87	10,1	7,4	200,64	16573	100,13	24,61	16328	14426	-	-	16,57
83	Itaúba/itaúba-abacate	<i>Mezilaurus lindaviana</i> Schw. & Mez	0,68	-	-	114,74	12553	56,19	9,51	4433	4413	4,02	-	8,43
84	Itaúba-amarela/itaúba	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taubert ex Mez	0,70	-	-	112,19	12062	57,17	10,79	5394	5796	4,61	-	10,10
85	Janitá	<i>Brosimum alicastrum</i> Swartz	0,74	9,4	5,6	152,69	15985	86,20	11,18	11287	9159	4,41	6,86	14,81
86	Jará	<i>Pouteria sp.</i>	0,72	9,7	5,9	155,24	16867	78,85	12,85	12013	10758	4,81	6,86	13,14
87	Jutai-açu/jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i> L. var. <i>courbaril</i>	0,76	7,7	3,4	137,20	15593	75,81	13,83	12288	10944	6,67	7,45	19,02
88	Jutai-mirim/jatobá	<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	0,90	9,7	3,7	169,85	16966	94,73	18,83	16387	16867	6,47	7,16	23,14
89	Jutai-pororoca	<i>Dialium guianensis</i> (Aubl.) Sandw.	0,88	8,9	5,1	188,58	17162	90,42	21,87	16867	16122	4,41	7,16	22,36
90	Leiteiro	<i>Sapium aereum</i> Klotzch	0,40	7,8	4,2	70,02	9905	43,44	5,10	2726	1687	2,75	3,63	6,86
91	Louro-amarelo/louro	<i>Licaria rigida</i> (Kosterm.) Kosterm.	0,73	9,1	5,3	165,54	17554	85,51	12,75	10562	8983	5,30	5,59	16,77
92	Louro-canela/louro	<i>Ocotea neesiana</i> (Miq.) Kosterm.	0,55	7,7	4,2	107,97	11866	60,02	7,16	4933	4491	5,49	-	12,45
93	Louro-canela/louro	<i>Ocotea sp.</i>	0,63	7,8	3,6	119,74	14024	63,45	9,71	5237	5256	4,81	6,96	12,36
94	Louro-cunuaru	<i>Ocotea sp.</i>	0,59	6,9	4,3	126,70	13729	61,98	12,06	5560	5403	-	-	-
95	Louro-vermelho	<i>Nectandra rubra</i> Mez.	0,55	7,9	3,2	77,86	10689	49,92	4,81	3354	3364	2,94	-	7,35
96	Maminha-de-porca	<i>Zanthoxylon regnelianum</i> Engl.	0,50	8,6	5,8	106,60	10787	51,48	7,55	5129	3521	3,33	5,49	9,61
97	Mandioqueira	<i>Qualea cf. lancifolia</i> Ducke	0,58	-	-	107,58	12553	58,84	6,86	5747	4766	4,12	-	10,30
98	Mandioqueira áspera	<i>Qualea brevipedicellata</i> Stafleu	0,74	8,6	4,4	132,00	15593	79,83	14,22	11032	9630	2,26	4,81	13,14
99	Mandioqueira lisa	<i>Qualea albiflora</i> Warm.	0,57	9,5	5,3	107,38	12847	57,27	7,75	8296	6011	4,41	5,20	13,04
100	Mandioqueira-a-escamosa	<i>Qualea dinizii</i> Ducke	0,54	9,1	4,6	102,38	11376	51,39	8,14	-	2658	3,82	5,30	9,81
101	Mangabarana	<i>Pouteria anomala</i> (Pires) Penning.	0,73	9,1	5,7	161,71	15985	83,75	15,40	12553	10552	4,22	6,77	14,22
102	Maparajuba/maçaranduba	<i>Manilkara amazônica</i> (Huber) Standley	0,83	8,3	5,9	128,17	13533	63,55	15,20	8698	9101	5,59	4,31	15,98
103	Maragonçalo	<i>Pouteria obscura</i> (Huber) Baehni	0,64	7,4	4,4	124,45	13043	61,88	14,02	10042	7767	3,33	5,10	12,65
104	Maria-preta	<i>Zizyphus itacaiunensis</i> Fröes	0,80	9,9	6,9	156,61	16181	87,48	14,51	16357	14818	5,79	7,16	19,42
105	Marupá	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	0,37	6,8	4,8	64,04	7257	33,05	4,41	2707	1402	2,75	3,82	6,96

n	Nome usual	Nome científico	$\rho_{bas}$	$\epsilon_{r,3}$	$\epsilon_{r,2}$	$f_M$	$E_{M0}$	$f_{c0}$	$E_{c90}$	$f_{H0}$	$f_{H90}$	$f_{wt,90}$	$f_{v0}$	$f_{s0}$
106	Matamatá-ci	<i>Eschweilera sp.</i>	0,81	10,7	6,0	168,18	18927	86,40	17,95	14632	13631	-	8,73	20,50
107	Matamatá-vermelho	<i>Eschweilera amara</i> (Aubl.) Ndz.	0,76	10,3	4,9	141,02	14710	69,33	11,38	10895	10415	4,02	7,55	14,42
108	Melancieira	<i>Alexa grandiflora</i> Ducke	0,60	-	-	109,25	13043	58,25	9,41	7532	6335	4,71	-	11,96
109	Miraúba	<i>Mouriri callocarpa</i> Ducke	0,88	11,1	7,1	188,29	17162	94,44	21,97	17603	17936	5,79	6,37	18,63
110	Morototó	<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne & Planch.	0,41	9,1	6,7	71,10	11082	39,72	4,51	4795	3511	3,82	6,08	10,40
111	Morototó	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Lecne Planch	0,48	9,1	6,7	71,10	11082	39,72	4,51	4795	3511	3,82	-	10,40
112	Muiracatiara	<i>Astronium lecoitei</i> Ducke	0,79	7,6	4,6	136,41	15004	82,38	13,83	8738	9591	5,39	6,18	16,77
113	Muiracatiara	<i>Astronium ulei</i> Mattick	0,71	8,1	4,3	115,23	13435	69,14	13,63	8140	7492	5,39	7,85	16,77
114	Muiracatiara/guaritá	<i>Astronium gracile</i> Engl.	0,73	8,0	5,3	130,72	15985	70,12	9,81	8247	7747	4,61	6,96	16,77
115	Muirapixuna	<i>Cassia scleroxylon</i> Ducke	1,01	8,2	3,6	180,83	16377	96,30	22,75	14543	15279	3,24	7,26	19,91
116	Muiratinga	<i>Maquira sclerophylla</i> (Ducke) C.C. Berg.	0,57	-	-	110,72	11278	60,61	8,43	8257	6178	3,92	-	11,96
117	Munguba-terra-firme	<i>Eriotheca longipedicellata</i>	0,45	9,8	4,5	87,77	10395	47,66	5,88	6178	4599	3,53	-	8,14
118	Mururé	<i>Brosimum acutifolium</i> Huber	0,67	9,1	5,0	137,49	14220	76,98	14,71	14347	13504	4,12	5,39	15,98
119	Parapará	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don.	0,31	8,2	5,4	55,11	8728	30,69	3,04	3295	1883	2,84	-	5,98
120	Parinari	<i>Parinari excelsa</i> Sabine	0,75	10,2	5,3	145,92	16181	81,49	15,40	13082	11219	5,59	5,30	14,71
121	Pau-amarelo	<i>Euxylophora paraensis</i> Huber	0,69	7,8	6,5	126,90	13729	69,43	11,96	12435	10993	4,12	5,69	17,75
122	Pau-branco	<i>Drypetes variabilis</i> Uittien	0,71	11,3	5,8	143,86	15887	72,47	12,36	12896	11199	4,22	6,77	16,18
123	Pau-jacaré	<i>Laetia procera</i> (Poepp.) Eichl.	0,68	12,0	5,1	120,33	15396	66,88	9,71	11229	9709	6,28	7,35	16,18
124	Pau-santo	<i>Zollernia paraensis</i> Huber	0,97	9,6	5,0	187,80	17848	95,52	26,97	14612	14504	4,61	5,00	18,44
125	Pente-de-macaco	<i>Apeiba echinata</i> Gaertn.	0,36	-	-	51,88	6669	31,77	4,41	3825	2481	2,94	-	6,18
126	Pequiá	<i>Caryocarp villosum</i> (Aubl.) Pers.	0,63	8,5	4,3	99,83	11180	46,48	9,32	4864	5041	5,49	5,69	12,16
127	Pracuúba-da-terra-firme	<i>Trichilia lecoitei</i> Ducke	0,90	8,2	4,4	157,69	16377	86,40	18,24	13062	14053	5,20	6,28	18,53
128	Preciosa	<i>Aniba canelilla</i> (H.B.K.) Mez.	0,92	8,2	6,4	183,87	17554	97,77	20,20	14710	14985	2,84	5,39	18,44
129	Quaruba	<i>Vochysia ferruginea</i> Mart.	0,41	10,7	5,0	66,10	7943	37,76	4,51	3158	-	2,35	3,53	7,16
130	Quarubarana/cedrinho	<i>Erismia uncinatum</i> Warm.	0,46	10,0	4,3	87,48	10787	49,72	5,59	5786	3864	3,04	3,73	7,85
131	Quarubá-rosa/quaruba	<i>Vochysia guianensis</i> Aubl.	0,54	11,5	5,0	121,31	14024	65,31	6,77	7777	6963	4,81	5,98	12,26
132	Quarubá-rosa/quaruba	<i>Vochysia melinonii</i> Beckmann	0,51	10,8	4,7	97,77	11866	53,84	5,00	6914	5737	4,22	6,86	11,77
133	Quarubá-rosa/quaruba	<i>Vochysia obidensis</i> (Hub.) Ducke	0,50	10,0	3,2	100,62	12454	52,96	5,98	6718	5247	4,22	5,69	10,30
134	Quarubá-verdad/quarub	<i>Vochysia maxima</i> Ducke	0,49	8,8	4,0	91,20	11180	47,56	5,69	5492	4717	3,43	5,00	10,00
135	Rosadinho	<i>Micropholis venulosa</i> (Mart. & Eichl.) Pierre	0,67	9,7	4,7	-	13925	64,92	10,00	9983	7649	3,92	5,88	14,42
136	Rosadinho	<i>Nemaluma anomala</i> (Pires) Pires (ined.)	0,75	9,4	6,3	162,69	15887	85,12	14,02	14347	11444	4,51	6,96	18,93
137	Roxinho	<i>Peltogyne paniculata</i> Benth.	0,81	8,1	5,1	187,11	17750	90,52	19,91	16181	15063	2,84	4,81	18,14
138	Seru	<i>Allantoma lineata</i> (Mart. ex Berg.) Miers	0,60	7,5	5,5	114,84	12749	57,96	11,28	4943	5129	3,04	5,00	-
139	Sorva	<i>Malouetia duckei</i> Mgf.	0,57	9,2	3,7	112,19	12651	59,23	9,71	8159	5913	6,37	5,98	14,61
140	Sucupira	<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.	0,85	9,0	6,0	182,11	17946	92,28	15,89	14847	15200	4,12	6,57	19,02
141	Sumaúma	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	0,29	5,5	2,7	29,32	4413	23,73	1,86	2314	1510	1,86	-	3,73
142	Tacacazeiro/achichá	<i>Sterculia pilosa</i> Ducke/S. <i>speciosa</i> K. Sch.	0,53	-	-	97,09	11768	50,80	5,00	6208	5070	4,02	-	9,22
143	Tachi-branco	<i>Sclerobium paraense</i> Huber	0,61	8,3	4,0	123,37	13435	64,43	11,28	10728	8728	4,71	6,67	17,36
144	Tachi-pitomba	<i>Sclerobium chrysophyllum</i> Poepp. & Endl.	0,61	8,0	4,2	114,74	13533	56,39	8,83	8345	6306	4,71	5,10	15,30
145	Tachi-pitomba	<i>Sclerobium poeppigianum</i> Baill.	0,65	8,1	4,2	128,76	13141	67,67	10,40	7983	6580	4,81	6,37	17,75
146	Tachi-preto/tachi	<i>Tachigalia cf. myrmecophila</i> Ducke	0,57	7,5	5,2	130,62	12945	57,47	8,83	8600	7875	3,73	6,08	14,12
147	Tachi-vermelho/tachirana	<i>Sclerobium aff. Chrysophyllum</i> Poepp. & Endl.	0,62	-	-	115,72	12258	59,13	10,98	7669	5953	4,71	-	13,44
148	Tamaquaré	<i>Caraipa densiflora</i> Mart.	0,63	9,9	6,5	129,25	14808	64,82	9,12	8698	6767	3,63	5,79	12,75
149	Tanimbuca	<i>Buchenavia capitata</i> Eichl.	0,70	11,6	5,9	107,68	12454	59,33	12,94	11111	7296	3,43	5,30	11,38
150	Tanimbuca	<i>Buchenavia huberi</i>	0,79	9,1	6,0	154,95	15298	83,65	-	13317	11631	4,51	-	16,38
151	Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	0,70	5,8	4,1	222,51	11572	78,55	13,63	9875	7384	5,20	-	12,55
152	Tatapiririca/maria-preta	<i>Tapiririca guianensis</i> Aubl.	0,50	-	-	83,06	10885	45,31	6,77	5345	3962	5,39	-	10,69



n	Nome usual	Nome científico	$\rho_{bas}$	$\epsilon_{r,3}$	$\epsilon_{r,2}$	$f_M$	$E_{M0}$	$f_{c0}$	$E_{c90}$	$f_{H0}$	$f_{H90}$	$f_{wt90}$	$f_{v0}$	$f_{s0}$
153	Tauari	<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke & R. Knuth	0,50	6,6	4,2	83,06	10885	44,62	6,28	5776	4599	3,73	4,81	10,40
154	Tauari	<i>Couratari guianensis</i>	0,52	6,1	3,6	104,05	11474	53,94	7,75	6521	5060	4,12	-	10,20
155	Tauari	<i>Couratari stellata</i> A. C. Smith	0,65	7,8	5,8	134,06	14318	69,14	11,57	8777	6963	4,51	-	12,85
156	Tento	<i>Ormosia paraensis</i> Ducke	0,67	10,3	4,7	122,78	14612	70,61	10,59	8659	8208	3,63	4,90	12,75
157	Tuturubá	<i>Pouteria oblanceolata</i> Pires	0,79	8,9	5,2	153,18	15396	77,86	13,73	13200	13004	4,02	5,00	15,98
158	Uchiliso/uchi	<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatr.	0,78	9,6	6,4	153,67	15298	74,82	13,04	13111	10385	6,18	4,71	18,73
159	Uchirana	<i>Vantanea parviflora</i> Lam.	0,86	10,3	8,2	169,85	17554	86,40	15,20	15436	13111	4,71	5,69	17,75
160	Ucuúba-da-terra-firme	<i>Virola michellii</i> Heckel	0,50	-	-	95,32	11866	51,19	4,90	6580	4629	4,81	-	9,90
161	Ucuubarana	<i>Osteophloeum platyspermum</i> (A. DC.) Warb.	0,50	7,4	3,6	88,06	12356	45,99	5,00	4354	3432	3,53	4,22	9,02
162	Ucuubarana	<i>Iryanthera grandis</i> Ducke	0,63	-	-	106,40	12454	59,72	8,14	5178	5315	4,61	-	9,61
163	Urucu-da-mata	<i>Bixa arborea</i> Huber	0,32	-	-	54,43	7551	35,79	3,92	3883	1942	2,35	-	6,28

Fontes: IBAMA (1997); INSTITUTO (1988); INSTITUTO (1981); Souza *et al.*, (1997). n: número seqüencial;  $\rho_{bas}$ : densidade básica, em  $g \cdot cm^{-3}$ ;  $\epsilon_{r,3}$ : contração tangencial, em %;  $\epsilon_{r,2}$ : contração radial, em %;  $f_M$ : módulo de ruptura à flexão estática, em MPa;  $E_{M0}$ : módulo de elasticidade à flexão estática, em MPa;  $f_{c0}$ : resistência à compressão paralela às fibras, em MPa;  $E_{c90}$ : resistência no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras, em MPa;  $f_{H0}$ : dureza Janka paralela às fibras, em N;  $f_{H90}$ : dureza Janka transversal às fibras, em N;  $f_{wt90}$ : resistência à tração perpendicular às fibras, em MPa;  $f_{v0}$ : resistência ao fendilhamento, em MPa;  $f_{s0}$ : resistência ao cisalhamento, em MPa.

### Software estatístico

As análises estatísticas das relações funcionais das PFMM foram realizadas através do programa computacional Statistical Analysis System – SAS (SAS INSTITUTE INC., 1993).

### Correlações

As correlações das PFMM deste estudo são expressas pelo coeficiente de correlação linear de Pearson ( $\alpha$ ). O  $\alpha$  é adimensional e dado pela expressão:

$$\alpha = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

Onde:  $\alpha$  = coeficiente de correlação linear de Pearson;  
n = número de observações de cada variável;  
 $x_i$  e  $y_i$  = valores i-ésimos das variáveis x e y, respectivamente;  
 $\mu_x$  e  $\mu_y$  = médias das variáveis x e y, respectivamente;  
 $\sigma_x$  e  $\sigma_y$  = desvios padrão das variáveis x e y, respectivamente.

Para cada propriedade foi determinado o coeficiente de correlação médio ( $\alpha_m$ ), o qual é calculado pela razão entre a soma dos  $\alpha$  de cada propriedade com o das demais e o número total de propriedades menos um, ou seja, onze. Embora sem muita validade estatística, os  $\alpha_m$  são aqui considerados índices que espelham o quanto as PFMM correlacionam-se umas com as outras em termos totais. É dado por:

$$\alpha_m = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \alpha p_i}{n-1}$$

Onde:  $\alpha_m$  = coeficiente de correlação médio;  
 $\alpha p_i$  = coeficientes de correlação linear da i-ésima PFMM;  
n = número de propriedades.

### Análises de regressão (equações de regressão)

Foi utilizado  $\rho_{bas}$  como variável independente para o ajuste das equações de regressão de todas as outras propriedades. Essa opção foi adotada em razão de sua já destacada importância, e também por ser a propriedade mais freqüente (menos ausente) nas fontes de dados consultadas. Além disso,  $\rho_{bas}$  é a

propriedade que apresenta um dos maiores  $\alpha_m$ , o que indica a sua adequação para fins de análises de regressão e, assim sendo, para estimativas. Vale citar que na literatura encontram-se vários exemplos do emprego da  $\rho_{bas}$  como variável independente em equações de regressão para estimativas de outras PFMM (BODIG; JAYNE, 1982; CHIMELO, 1980; NASCIMENTO *et al.*, 1997; ROCHA, 1994; USDA, 1999).

Os cálculos foram feitos utilizando o procedimento Guided Data Analysis (“Análise de Dados Guiada”) do programa SAS. Tal procedimento, além da análise de regressão propriamente dita, proporciona a avaliação de suposições estatísticas dos dados sob análise, permitindo identificar e corrigir as imperfeições ou violações estatísticas, tais como: a) escala dos dados da variável a ser estimada (efetua transformação logarítmica, raiz quadrada, inversa, etc.); b) indicação do modelo de equação mais apropriado (linear, quadrático ou cúbico); c) identificação e exclusão de *outliers* (valores discrepantes).

O procedimento Guided Data Analysis, ainda que, em algumas situações, indique modelos de equações de regressão mais complexos quando comparados aos exemplos encontrados na literatura, tem a vantagem de aumentar, devido às citadas correções estatísticas nos dados sob análise, a eficiência dessas equações para fins de estimativas.

Como critério para se saber se a equação ajustada representou adequadamente a relação funcional entre as variáveis, usou-se o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Estatística simples da amostra

Os parâmetros estatísticos simples dos dados da amostra são mostrados na tabela 4.

A variação do número de dados verificada se deve à falta de informação nas fontes consultadas (por exemplo: para  $\rho_{bas}$ , duas espécies não apresentaram a informação dessa propriedade, o que totalizou 161 observações efetivas).

O coeficiente de variação percentual (Cv%) revelou uma variabilidade acentuada das propriedades, sendo que o menor Cv% foi o de  $\epsilon_{r,3}$  (17,9 %) e o maior o de  $f_{H90}$  (52,4 %). Sob a ótica de representação da variação natural existente entre as espécies de madeira, a alta variabilidade dos dados da amostra utilizada pode ser interpretada como um aspecto positivo, pois significa que abrangeu espécies com boa proximidade da amplitude natural que as PFMM podem assumir, o que pode ser verificado pelos seus valores máximos e mínimos.

Tabela 4. Parâmetros estatísticos simples dos dados da amostra das propriedades físicas e mecânicas das madeiras (PFMM) do estudo.

Table 4. Simple statistical parameters of the data of the sample of the physical and mechanical properties of wood (PFMM) of the study.

Propriedade	n	Média	Desvio Padrão	CV%	Valor mínimo	Valor máximo
$\rho_{bas}$	161	0,63	0,15	24,3	0,29	1,01
$\epsilon_{r,3}$	140	8,78	1,57	17,9	4,50	12,60
$\epsilon_{r,2}$	140	4,92	1,10	22,3	2,40	8,20
$f_M$	158	120,25	36,95	30,7	29,32	222,51
$E_{M0}$	159	13318	2809	21,1	4413	18927
$f_{c0}$	159	63,67	17,63	27,7	23,73	100,13
$E_{c90}$	154	10,56	5,00	47,3	1,86	26,97
$f_{H0}$	158	8773,8	3958,4	45,1	2079	17603
$f_{H90}$	157	7730,15	4048,96	52,4	1196	17936
$f_{wt90}$	154	4,10	1,09	26,6	1,86	7,65
$f_{v0}$	115	5,71	1,33	23,3	2,94	8,83
$f_{s0}$	157	13,10	4,24	32,4	3,73	23,14

$\rho_{bas}$ : densidade básica, em  $g \cdot cm^{-3}$ ;  $\epsilon_{r,3}$ : contração tangencial, em %;  $\epsilon_{r,2}$ : contração radial, em %;  $f_M$ : módulo de ruptura à flexão estática, em MPa;  $E_{M0}$ : módulo de elasticidade à flexão estática, em MPa;  $f_{c0}$ : resistência à compressão paralela às fibras, em MPa;  $E_{c90}$ : resistência no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras, em MPa;  $f_{H0}$ : dureza Janka paralela às fibras, em N;  $f_{H90}$ : dureza Janka transversal às fibras, em N;  $f_{wt90}$ : resistência à tração perpendicular às fibras, em MPa;  $f_{v0}$ : resistência ao fendilhamento, em MPa;  $f_{s0}$ : resistência ao cisalhamento, em MPa; n: número de dados; Cv%: coeficiente de variação percentual.

## Correlações

A matriz dos coeficientes de correlação ( $\alpha$ ) das PFMM é apresentada na tabela 5.

Tabela 5. Matriz dos coeficientes de correlação ( $\alpha$ ) das propriedades físicas e mecânicas das madeiras (PFMM) do estudo.

Table 5. Matrix of the correlation coefficients ( $\alpha$ ) of the physical and mechanical properties of wood (PFMM) of the study.

Propriedade	$\rho_{bas}$	$\epsilon_{r,3}$	$\epsilon_{r,2}$	$f_M$	$E_{M0}$	$f_{c0}$	$E_{c90}$	$f_{H0}$	$f_{H90}$	$f_{wt90}$	$f_{v0}$	$f_{s0}$
$\rho_{bas}$	1 (161)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\epsilon_{r,3}$	0,3634** (138)	1 (140)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\epsilon_{r,2}$	0,4279** (138)	0,6387** (140)	1 (140)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$f_M$	0,9224** (158)	0,3572** (135)	0,4440** (135)	1 (158)	-	-	-	-	-	-	-	-
$E_{M0}$	0,8917** (159)	0,4991** (136)	0,5068** (136)	0,9061** (158)	1 (159)	-	-	-	-	-	-	-
$f_{c0}$	0,9416** (159)	0,3894** (136)	0,4394** (136)	0,9597** (158)	0,9238** (159)	1 (159)	-	-	-	-	-	-
$E_{c90}$	0,9124** (154)	0,2155* (133)	0,3213** (133)	0,8821** (153)	0,7733** (154)	0,8907** (154)	1 (154)	-	-	-	-	-
$f_{H0}$	0,8769** (158)	0,4030** (135)	0,4493** (135)	0,8864** (157)	0,8428** (158)	0,9061** (158)	0,8572** (153)	1 (158)	-	-	-	-
$f_{H90}$	0,9207** (157)	0,3926** (134)	0,4388** (134)	0,9019** (156)	0,8679** (157)	0,9290** (157)	0,8960** (152)	0,9724** (156)	1 (157)	-	-	-
$f_{wt90}$	0,5087** (154)	0,2441* (131)	0,0733 <sup>ns</sup> (131)	0,5024** (153)	0,4717** (154)	0,4946** (154)	0,4481** (150)	0,4887** (153)	0,4717** (152)	1 (154)	-	-
$f_{v0}$	0,6114** (115)	0,3477** (115)	0,1849* (115)	0,6185** (114)	0,6186** (115)	0,6213** (115)	0,5211** (114)	0,5813** (114)	0,5842** (113)	0,6849** (113)	1 (115)	-
$f_{s0}$	0,8820** (157)	0,3109** (134)	0,3393** (134)	0,8613** (156)	0,8443** (157)	0,8777** (157)	0,8342** (152)	0,9032** (156)	0,9110** (155)	0,6324** (153)	0,7191** (114)	1 (157)

$\rho_{bas}$ : densidade básica, em  $g.cm^{-3}$ ;  $\epsilon_{r,3}$ : contração tangencial, em %;  $\epsilon_{r,2}$ : contração radial, em %;  $f_M$ : módulo de ruptura à flexão estática, em MPa;  $E_{M0}$ : módulo de elasticidade à flexão estática, em MPa;  $f_{c0}$ : resistência à compressão paralela às fibras, em MPa;  $E_{c90}$ : resistência no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras, em MPa;  $f_{H0}$ : dureza Janka paralela às fibras, em N;  $f_{H90}$ : dureza Janka transversal às fibras, em N;  $f_{wt90}$ : resistência à tração perpendicular às fibras, em MPa;  $f_{v0}$ : resistência ao fendilhamento, em MPa;  $f_{s0}$ : resistência ao cisalhamento, em MPa; entre parênteses, o número de pares de dados utilizados para o cálculo do  $\alpha$ ; \*\*:  $\alpha$  significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $P < 0,01$  de  $H_0$ ); \*:  $\alpha$  significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $P < 0,05$  de  $H_0$ ); ns:  $\alpha$  não significativo ( $P > 0,05$  de  $H_0$ )

Para a maior parte das propriedades houve expressiva correlação. O máximo valor de  $\alpha$  encontrado foi o de  $f_{H0}$  vs.  $f_{H90}$  (0,9724), e o mínimo valor, estatisticamente significativo, foi o de  $\epsilon_{r,2}$  vs.  $f_{v0}$  (0,1849), mostrando quase inexistência de correlação. A correlação menos expressiva, além de ser a única sem significância estatística, foi a de  $\epsilon_{r,2}$  vs.  $f_{wt90}$  (0,0733). Em termos de propriedades físicas *versus* mecânicas, o maior valor de  $\alpha$  foi o de  $\rho_{bas}$  vs.  $f_{c0}$  (0,9416), e o menor, estatisticamente significativo, foi o mencionado para  $\epsilon_{r,2}$  vs.  $f_{v0}$ .

Os  $\alpha$  da densidade básica com as propriedades mecânicas, que variaram de 0,5087 ( $\rho_{bas}$  vs.  $f_{wt90}$ ) a 0,9416 ( $\rho_{bas}$  vs.  $f_{c0}$ ), mostraram-se, com exceção de  $f_{wt90}$  e  $f_{v0}$ , bastante altos, todos acima de 0,87. Esses resultados são compatíveis com os descritos por Paula *et al.* (1986) e Nascimento (1993), que encontraram, por regressão linear simples, para madeiras amazônicas secas a um teor de umidade (t.u.), valores do  $R^2$ , entre  $\rho_{bas}$  e as propriedades mecânicas  $f_M$ ,  $E_{M0}$ ,  $f_{c0}$ ,  $E_{c90}$  e  $f_{s0}$ , variando de 0,58 a 0,77 e 0,56 a 0,88, respectivamente. Vale lembrar que o valor do  $R^2$  em regressão linear simples é o quadrado do valor do  $\alpha$ .

A figura 1 representa os valores dos coeficientes de correlação médios ( $\alpha_m$ ) de cada propriedade, fornecendo uma visualização resumida dessas relações em termos totais.

As três propriedades com os maiores índices de  $\alpha_m$  foram  $f_{c0}$ ,  $f_{H90}$  e  $\rho_{bas}$ , sendo que  $f_{c0}$  apresentou o máximo valor (0,7612). As três com os menores índices foram  $\epsilon_{r,3}$ ,  $\epsilon_{r,2}$ , e  $f_{wt90}$ , sendo que  $\epsilon_{r,3}$  apresentou o mínimo valor (0,3783). As propriedades  $f_M$ ,  $E_{M0}$ ,  $f_{H0}$  e  $f_{s0}$  apresentaram significativos valores de  $\alpha_m$ , todos na casa dos 0,74. Já  $E_{c90}$  e  $f_{v0}$  revelaram índices moderados (0,6865 e 0,5539, respectivamente).

O resultado do  $\alpha_m$  de  $\rho_{bas}$  (0,7508) comprova que a massa específica da madeira tem estreitas relações com as outras propriedades, principalmente as mecânicas.

Pelo critério  $\alpha_m$ , os resultados mostram ser possível relacionar de maneira próxima à proporcionalidade (isto é, as variações do valor de uma propriedade correspondem aproximadamente às mesmas variações de outra) as PFMM melhor correlacionadas, quais sejam:  $f_{c0}$ ,  $f_{H90}$ ,  $\rho_{bas}$ ,  $f_M$ ,  $f_{H0}$ ,  $E_{M0}$ ,  $f_{s0}$  e  $E_{c90}$ . Tal possibilidade, no entanto, não é permitida para  $\epsilon_{r,3}$ ,  $\epsilon_{r,2}$ ,  $f_{wt90}$  e  $f_{v0}$ .

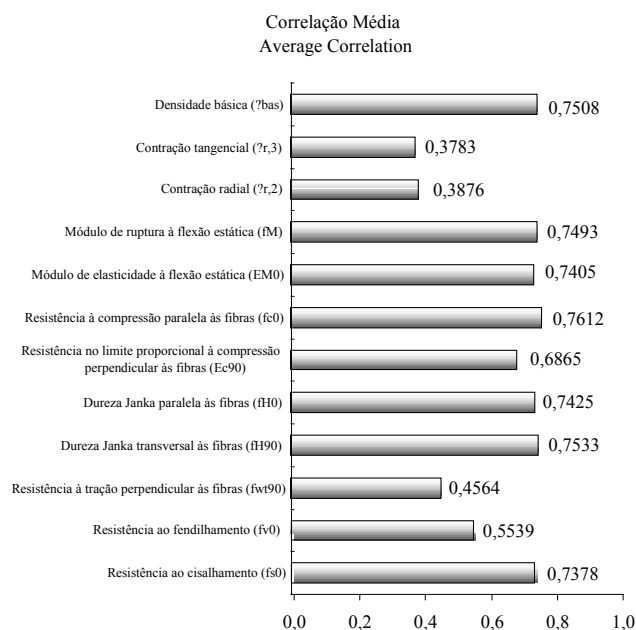


Figura 1. Coeficientes de correlação médios ( $\alpha_m$ ) das propriedades físicas e mecânicas das madeiras (PFMM) do estudo.

Figure 1. Averages correlation coefficients ( $\alpha_m$ ) of the physical and mechanical properties of wood (PFMM) of the study.

O  $\alpha_m$  de  $f_{v0}$  (0,5539) recomenda cautela para associá-la às outras PFMM, especialmente aquelas com as correlações mais baixas (a exemplo de  $\epsilon_{r,2}$ ,  $\epsilon_{r,3}$  e  $E_{c90}$ ).

Os  $\alpha_m$  de  $\epsilon_{r,3}$  (0,3783),  $\epsilon_{r,2}$  (0,3876) e  $f_{wt90}$  (0,4564) indicam, especialmente os dois primeiros, inconveniência do uso dessas propriedades para caracterizar ou inferir valores à grande maioria das outras PFMM. No caso de  $f_{wt90}$ , fazem-se ressalvas para  $f_{v0}$  ( $\alpha = 0,6849$ ) e  $f_{s0}$  ( $\alpha = 0,6324$ ).

Observou-se que, embora os seus  $\alpha_m$  tenham se mostrado bastante fracos, o  $\alpha$  de  $\epsilon_{r,3}$  e  $\epsilon_{r,2}$  é relativamente significativo (0,6387), sendo o mais alto entre as propriedades de contração e as outras, o que permite, de modo cauteloso, correlacioná-las.

Chimelo (1980), estudando 32 espécies amazônicas na condição verde (t.u. saturado), através de regressão linear, obteve um  $R^2$  de 0,02 e 0,09, respectivamente, nas relações entre  $\epsilon_{r,3}$  e  $\epsilon_{r,2}$  com  $\rho_{bas}$ , contra  $R^2$  variando de 0,63 a 0,78 nas relações entre propriedades mecânicas  $f_M$ ,  $E_{M0}$ ,  $E_{c90}$  e  $f_{s0}$  com  $\rho_{bas}$ . Rocha (1994), estudando 150 espécies amazônicas, tanto na condição verde como no t.u. de 12%, também por regressão linear, obteve  $R^2$  de 0,08 para  $\rho_{bas}$  vs.  $\epsilon_{r,3}$  e 0,22 para  $\rho_{bas}$  vs.  $\epsilon_{r,2}$ , enquanto que os  $R^2$  de  $\rho_{bas}$  com propriedades mecânicas  $f_M$ ,  $E_{M0}$ ,  $E_{c90}$  e  $f_{s0}$  variaram entre 0,58 e 0,77.

Neste estudo, os baixos valores de  $\alpha$  das propriedades de contração com  $\rho_{bas}$ , que foram de 0,3634 ( $\epsilon_{r,3}$  vs.  $\rho_{bas}$ ) e 0,4279 ( $\epsilon_{r,2}$  vs.  $\rho_{bas}$ ), bem como os altos  $\alpha$  entre  $\rho_{bas}$  e as propriedades  $f_M$ ,  $E_{M0}$ ,  $E_{c90}$  e  $f_{s0}$ , que variaram entre 0,8820 ( $\rho_{bas}$  vs.  $f_{s0}$ ) e 0,9224 ( $\rho_{bas}$  vs.  $f_M$ ), confirmam as pesquisas de Chimelo (1980) e Rocha (1994), demonstrando que, de fato, as relações de  $\rho_{bas}$  com  $\epsilon_{r,3}$  e  $\epsilon_{r,2}$  são fracas, enquanto que com as propriedades mecânicas  $f_M$ ,  $E_{M0}$ ,  $E_{c90}$  e  $f_{s0}$  são, ao contrário, bastante consistentes.

### Análises de regressão (equações de regressão)

Para as análises de regressão, os dados básicos foram submetidos ao procedimento Guided Data Analysis do programa SAS, tendo  $\rho_{bas}$  como variável independente em relação às outras PFMM. De acordo com as características dos dados (distribuição, escala, etc.), a análise guiada do SAS indicou a

necessidade de transformação das variáveis dependentes, identificou e eliminou os *outliers* e apontou o modelo de equação mais apropriado a cada conjunto de observações (Tabela 6).

Tabela 6. Resultados das análises de suposições estatísticas dos dados para as equações de regressão utilizando o SAS Guided Data Analysis.

Table 6. Results of the analysis of statistical suppositions of the data for the regression equations using the SAS Guided Dates Analysis.

Propriedade	Transformação da variável dependente	Outliers eliminados	Modelo de equação apropriado	Equação a ajustar
$\epsilon_{r,3}$	sem transformação	0	Linear	$\epsilon_{r,3} = a + b \rho_{bas}$
$\epsilon_{r,2}$	sem transformação	0	Cúbica	$\epsilon_{r,2} = a + b \rho_{bas} + c \rho_{bas}^2 + d \rho_{bas}^3$
$f_M$	$\sqrt{f_M}$	2	Quadrática	$\sqrt{f_M} = a + b \rho_{bas} + c \rho_{bas}^2$
$E_{M0}$	sem transformação	0	Quadrática	$E_{M0} = a + b \rho_{bas} + c \rho_{bas}^2$
$f_{c0}$	sem transformação	2	Linear	$f_{c0} = a + b \rho_{bas}$
$E_{c90}$	Log $E_{c90}$	1	Quadrática	Log $E_{c90} = a + b \rho_{bas} + c \rho_{bas}^2$
$f_{H0}$	$\sqrt{f_{H0}}$	1	Cúbica	$\sqrt{f_{H0}} = a + b \rho_{bas} + c \rho_{bas}^2 + d \rho_{bas}^3$
$f_{H90}$	$\sqrt{f_{H90}}$	1	Cúbica	$\sqrt{f_{H90}} = a + b \rho_{bas} + c \rho_{bas}^2 + d \rho_{bas}^3$
$f_{wt90}$	Log $f_{wt90}$	0	Quadrática	Log $f_{wt90} = a + b \rho_{bas} + c \rho_{bas}^2$
$f_{v0}$	Log $f_{v0}$	0	Quadrática	Log $f_{v0} = a + b \rho_{bas} + c \rho_{bas}^2$
$f_{s0}$	$\sqrt{f_{s0}}$	1	Quadrática	$\sqrt{f_{s0}} = a + b \rho_{bas} + c \rho_{bas}^2$

$\rho_{bas}$ : densidade básica, em  $g.cm^{-3}$ ;  $\epsilon_{r,3}$ : contração tangencial, em %;  $\epsilon_{r,2}$ : contração radial, em %;  $f_M$ : módulo de ruptura à flexão estática, em MPa;  $E_{M0}$ : módulo de elasticidade à flexão estática, em MPa;  $f_{c0}$ : resistência à compressão paralela às fibras, em MPa;  $E_{c90}$ : resistência no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras, em MPa;  $f_{H0}$ : dureza Janka paralela às fibras, em N;  $f_{H90}$ : dureza Janka transversal às fibras, em N;  $f_{wt90}$ : resistência à tração perpendicular às fibras, em MPa;  $f_{v0}$ : resistência ao fendilhamento, em MPa;  $f_{s0}$ : resistência ao cisalhamento, em MPa; a, b, c e d: coeficientes de regressão das equações; Log: logaritmo de base 10.

As modificações propostas pelo procedimento Guided Data Analysis promoveram um ganho substancial no ajuste das equações de regressão, o que as torna melhores quanto às estimativas. Para efeito de comparação, efetuaram-se, com os mesmos dados, os cálculos de regressão linear simples (modelo genérico  $y = a + bx$ ), ou seja, sem as correções das imperfeições estatísticas prescritas pelo SAS. A tabela 7 apresenta os ganhos nos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) da regressão guiada do SAS em relação à regressão linear simples.

Tabela 7. Comparativo dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) obtidos por análises de regressão linear simples com os obtidos por análises de regressão utilizando o SAS Guided Data Analysis.

Table 7. Comparative of the coefficients of determination ( $R^2$ ) obtained by analysis of simple linear regression with those obtained by the regression analysis with the SAS Guided Dates Analysis.

Propriedade	$R^2$		Ganho absoluto	Ganho percentual
	Linear simples	SAS Guided Data Analysis		
$\epsilon_{r,3}$	0,132	0,132	-	-
$\epsilon_{r,2}$	0,183	0,220	0,037	20,2
$f_M$	0,851	0,902	0,051	6,0
$E_{M0}$	0,795	0,810	0,015	1,9
$f_{c0}$	0,887	0,907	0,020	2,3
$E_{c90}$	0,832	0,889	0,057	6,9
$f_{H0}$	0,769	0,814	0,045	5,9
$f_{H90}$	0,848	0,894	0,046	5,4
$f_{wt90}$	0,259	0,366	0,107	41,3
$f_{v0}$	0,374	0,477	0,103	27,5
$f_{s0}$	0,778	0,814	0,036	4,6

$\rho_{bas}$ : densidade básica, em  $g.cm^{-3}$ ;  $\epsilon_{r,3}$ : contração tangencial, em %;  $\epsilon_{r,2}$ : contração radial, em %;  $f_M$ : módulo de ruptura à flexão estática, em MPa;  $E_{M0}$ : módulo de elasticidade à flexão estática, em MPa;  $f_{c0}$ : resistência à compressão paralela às fibras, em MPa;  $E_{c90}$ : resistência no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras, em MPa;  $f_{H0}$ : dureza Janka paralela às fibras, em N;  $f_{H90}$ : dureza Janka transversal às fibras, em N;  $f_{wt90}$ : resistência à tração perpendicular às fibras, em MPa;  $f_{v0}$ : resistência ao fendilhamento, em MPa;  $f_{s0}$ : resistência ao cisalhamento, em MPa.

O ganho médio absoluto para as 10 PFMM que sofreram modificações foi de 0,052, cerca de 7,9%. Em termos individuais, os ganhos mais expressivos foram das propriedades  $f_{wt90}$ ,  $f_{v0}$  e  $\epsilon_{r,2}$ , que tiveram seus  $R^2$  aumentados em 41,3%, 27,5% e 20,2%, respectivamente.

As equações ajustadas com seus respectivos coeficientes de regressão (da equação) e de determinação ( $R^2$ ), bem como o número de observações (após a eliminação dos *outliers*) que geraram cada equação, são apresentadas na tabela 8.

Tabela 8. Equações de regressão ajustadas para estimativas das propriedades físicas e mecânicas das madeiras (PFMM) utilizando a densidade básica ( $\rho_{bas}$ ) como variável independente.

Table 8. Adjusted regression equations for estimates of the physical and mechanical properties of wood (PFMM) using the basic density ( $\rho_{bas}$ ) as independent variable.

Propriedade	Equação ajustada **	$R^2$	n
$\epsilon_{r,3}$	$\epsilon_{r,3} = 6,4526 + 3,6368 \rho_{bas}$	0,132	138
$\epsilon_{r,2}$	$\epsilon_{r,2} = 12,021 - 43,633 \rho_{bas} + 76,073 \rho_{bas}^2 - 39,532 \rho_{bas}^3$	0,220	138
$f_M$	$\sqrt{f_M} = 1,4169 + 19,844 \rho_{bas} - 7,517 \rho_{bas}^2$	0,902	156
$E_{M0}$	$E_{M0} = -1741,8 + 32414 \rho_{bas} - 12889 \rho_{bas}^2$	0,810	159
$f_{c0}$	$f_{c0} = -5,1558 + 108,55 \rho_{bas}$	0,907	157
$E_{c90}$	$\text{Log } E_{c90} = -0,1655 + 2,3153 \rho_{bas} - 0,7795 \rho_{bas}^2$	0,889	153
$f_{H0}$	$\sqrt{f_{H0}} = 68,329 - 191,0 \rho_{bas} + 553,09 \rho_{bas}^2 - 306,32 \rho_{bas}^3$	0,814	157
$f_{H90}$	$\sqrt{f_{H90}} = 44,812 - 129,76 \rho_{bas} + 454,44 \rho_{bas}^2 - 239,73 \rho_{bas}^3$	0,894	156
$f_{wt90}$	$\text{Log } f_{wt90} = -0,139 + 2,0218 \rho_{bas} - 1,2795 \rho_{bas}^2$	0,366	154
$f_{v0}$	$\text{Log } f_{v0} = -0,0103 + 1,9425 \rho_{bas} - 1,1534 \rho_{bas}^2$	0,477	115
$f_{s0}$	$\sqrt{f_{s0}} = 0,7111 + 5,7022 \rho_{bas} - 1,7949 \rho_{bas}^2$	0,814	156

$\rho_{bas}$ : densidade básica, em  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ;  $\epsilon_{r,3}$ : contração tangencial, em %;  $\epsilon_{r,2}$ : contração radial, em %;  $f_M$ : módulo de ruptura à flexão estática, em MPa;  $E_{M0}$ : módulo de elasticidade à flexão estática, em MPa;  $f_{c0}$ : resistência à compressão paralela às fibras, em MPa;  $E_{c90}$ : resistência no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras, em MPa;  $f_{H0}$ : dureza Janka paralela às fibras, em N;  $f_{H90}$ : dureza Janka transversal às fibras, em N;  $f_{wt90}$ : resistência à tração perpendicular às fibras, em MPa;  $f_{v0}$ : resistência ao fendilhamento, em MPa;  $f_{s0}$ : resistência ao cisalhamento, em MPa; \*\*: todos os modelos apresentaram, pelo teste F, significância ao nível de 1% de probabilidade ( $P < 0,01$  de  $H_0$ );  $R^2$ : coeficiente de determinação; n: número de pares de dados (observações) que gerou a equação; Log: logaritmo de base 10.

Como era de se esperar, o *ranking*, ou hierarquia, dos  $R^2$  das equações ajustadas foi praticamente o mesmo dos coeficientes de correlação linear ( $\alpha$ ) de  $\rho_{bas}$  com as demais propriedades (apresentados na Tabela 5). As mudanças de posição ocorridas foram somente de  $E_{M0}$  e  $f_{H0}$ , que inverteram a quinta e sétima posições, do *ranking* de  $\alpha$  para o de  $R^2$ , respectivamente.

As mudanças de posições hierárquicas e também do valor de  $R^2$ , em relação aos  $\alpha$  de  $\rho_{bas}$ , uma vez que não houve correspondência quadrática entre esses coeficientes, estão relacionados às alterações promovidas pelas análises das suposições estatísticas do programa SAS. Isso é comprovado pelos resultados da relação funcional de  $\epsilon_{r,3}$  com  $\rho_{bas}$ , pois foi o único caso em que a análise guiada do SAS não indicou qualquer alteração e, assim, a relação entre  $R^2$  e  $\alpha$  foi a esperada ( $\sqrt{R^2}$  de  $\epsilon_{r,3} = \alpha$  de  $\epsilon_{r,3} \therefore \sqrt{0,132} = 0,363$ ).

A maioria das equações de regressão apresentou um  $R^2$  que pode ser considerado satisfatório, ou seja, acima de 0,8. O maior valor encontrado foi o da equação para estimar  $f_{c0}$  ( $R^2 = 0,907$ ), e o menor valor foi o da equação para estimar  $\epsilon_{r,3}$  ( $R^2 = 0,132$ ), significando, respectivamente, o melhor e o pior desempenho dessas equações quanto à precisão de estimativas.

Como eram esperadas, as dependências funcionais de  $\rho_{bas}$  com as propriedades físicas de contração ( $\epsilon_{r,3}$  e  $\epsilon_{r,2}$ ) foram as mais baixas entre todas, e as com as propriedades mecânicas  $f_{wt90}$  e  $f_{v0}$  pouco significativas. Assim, as equações de  $\rho_{bas}$  com  $\epsilon_{r,3}$ ,  $\epsilon_{r,2}$ ,  $f_{wt90}$  e  $f_{v0}$  podem ser consideradas inviáveis para efeito de estimativas.

Quanto ao número de observações, ou pares de dados, usados para o ajuste de cada equação, houve variação entre um máximo de 159 para  $E_{M0}$ , e um mínimo de 115 para  $f_{v0}$ . Tal variação deveu-se à ausência de alguns dados nas fontes de consulta e à eliminação dos *outliers*.

Com relação aos *outliers*, foram seis os conjuntos de dados em que ocorreram. Dois conjuntos ( $f_M$  e  $f_{c0}$ ) tiveram a exclusão de duas observações, e quatro ( $E_{c90}$ ,  $f_{H0}$ ,  $f_{H90}$  e  $f_{s0}$ ) tiveram a exclusão de uma

observação. Em geral, a ocorrência de *outliers* se deu nos conjuntos de dados que apresentaram os maiores coeficientes de variação percentual (Cv%), concluindo-se que contribuíram para o valor desse coeficiente.

As figuras 2 e 3 exibem a dispersão dos dados e linhas de tendência das equações de regressão ajustadas. Em algumas situações (a exemplo das curvas de  $\rho_{bas}$  com  $f_M$  e  $E_{M0}$ ), a forma da dispersão gráfica dos dados mostra claramente que é justificada a indicação do modelo da equação (linear, quadrática ou cúbica) proposta pela análise guiada do programa SAS.

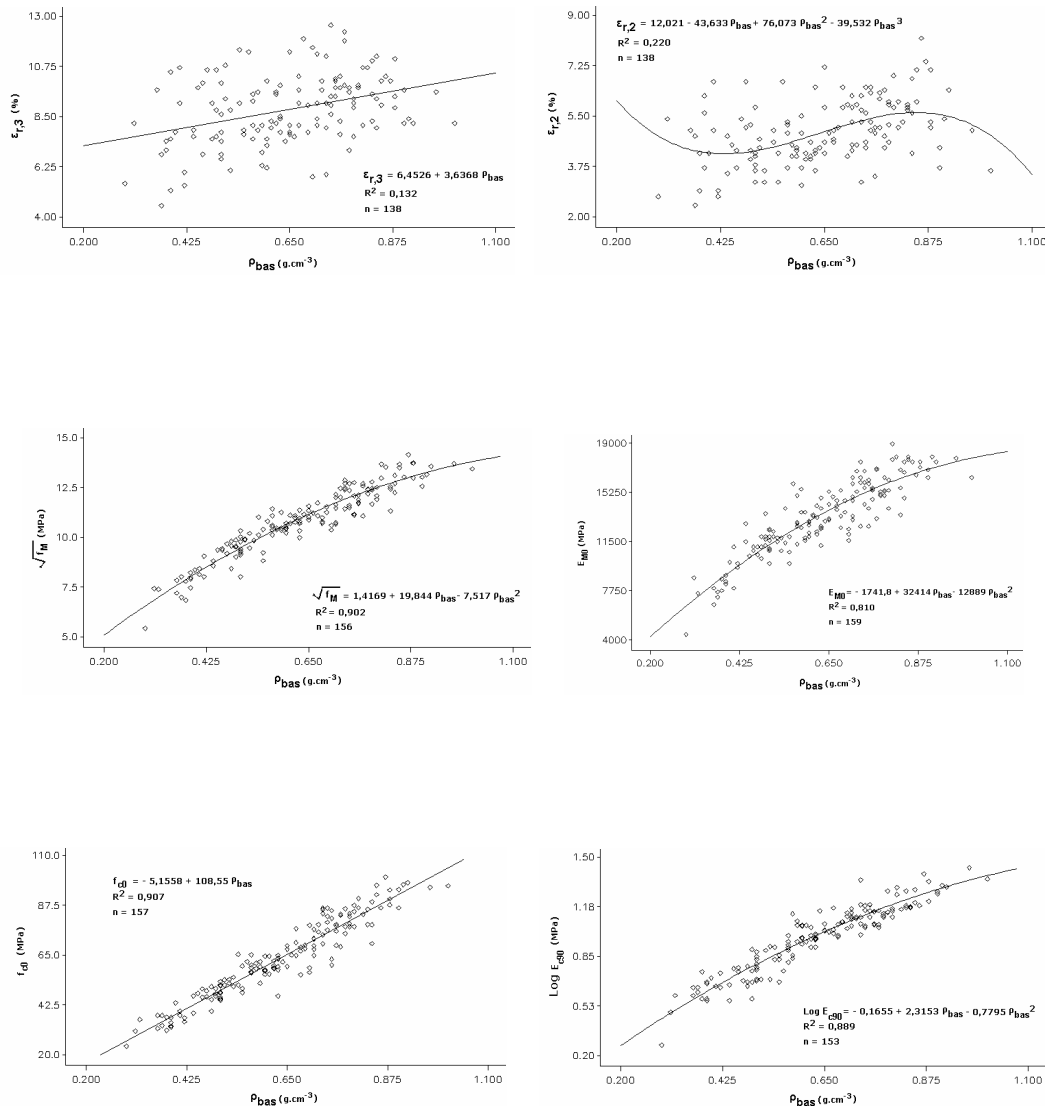


Figura 2. Dispersão dos dados e linha de tendência das equações de regressão para as propriedades  $\epsilon_{r,3}$  (contração tangencial),  $\epsilon_{r,2}$  (contração radial),  $f_M$  (módulo de ruptura à flexão estática),  $E_{M0}$  (módulo de elasticidade à flexão estática),  $f_{c0}$  (resistência à compressão paralela às fibras) e  $E_{c90}$  (resistência no limite proporcional à compressão perpendicular às fibras) em função da  $\rho_{bas}$  (densidade básica).

Figure 2. Dispersion of the data and tendency line of the regression equations for the properties  $\epsilon_{r,3}$  (tangential shrinkage),  $\epsilon_{r,2}$  (radial shrinkage),  $f_M$  (rupture module to the static bending),  $E_{M0}$  (module of elasticity to the static bending),  $f_{c0}$  (resistance to the parallel compression to the fibers) and  $E_{c90}$  (resistance in the proportional limit to the perpendicular compression to the fibers) in function of  $\rho_{bas}$  (basic density).

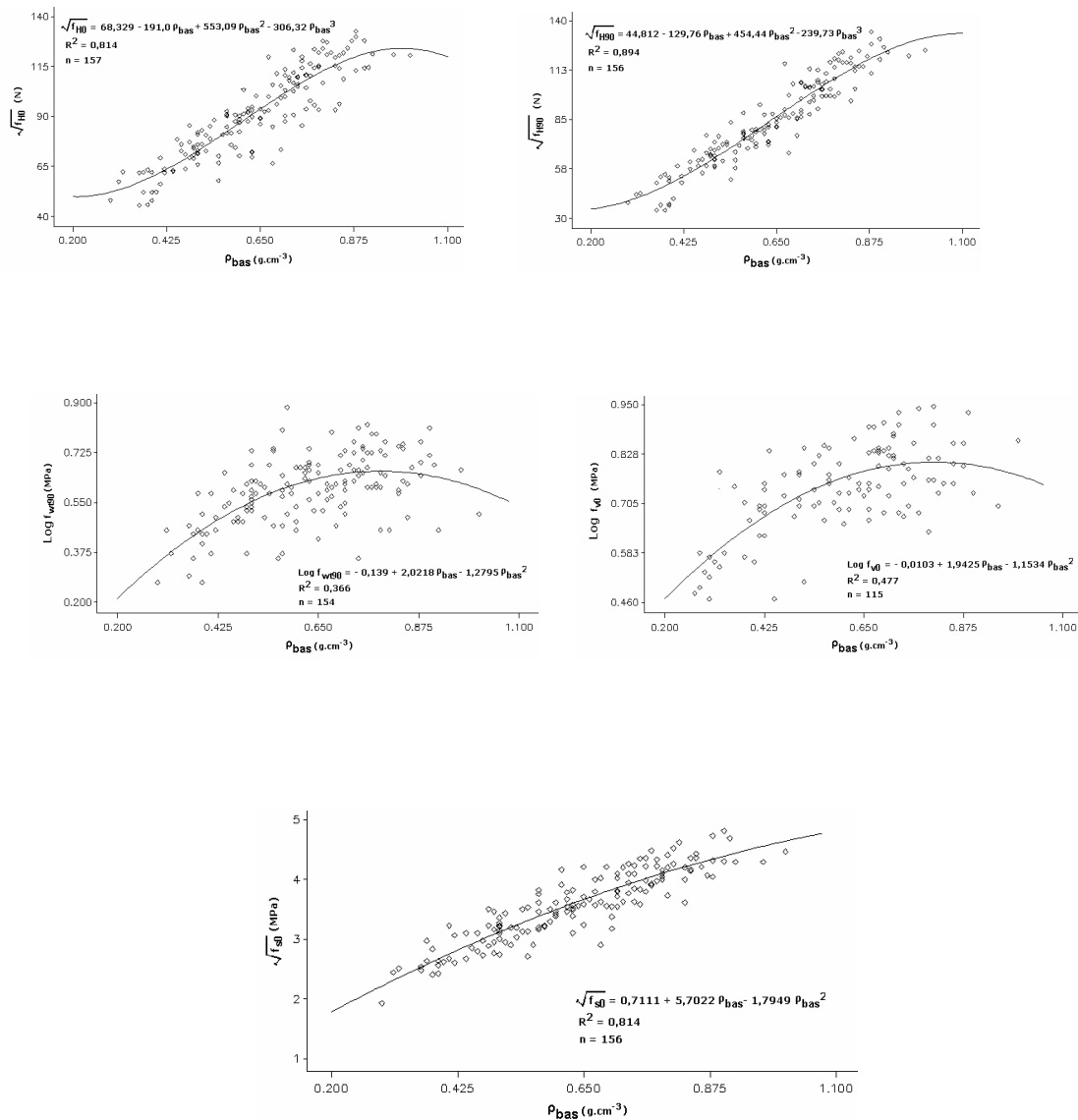


Figura 3. Dispersão dos dados e linha de tendência das equações de regressão para as propriedades  $f_{H0}$  (dureza Janka paralela às fibras),  $f_{H90}$  (dureza Janka transversal às fibras),  $f_{wt90}$  (resistência à tração perpendicular às fibras),  $f_{v0}$  (resistência ao fendilhamento) e  $f_{s0}$  (resistência ao cisalhamento) em função da  $\rho_{bas}$  (densidade básica).

Figure 3. Dispersion of the data and tendency line of the regression equations for the properties  $f_{H0}$  (Janka hardness parallel to the grain),  $f_{H90}$  (Janka hardness crosssection to the grain),  $f_{wt90}$  (resistance to the perpendicular traction to the fibers),  $f_{v0}$  (resistance to the cleavage) and  $f_{s0}$  (resistance to the shear) in function of  $\rho_{bas}$  (basic density).

## CONCLUSÕES

Para as propriedades que apresentaram altos valores nas suas relações funcionais ( $\alpha$  e  $R^2$ ), ou seja,  $\rho_{bas}$ ,  $f_M$ ,  $E_{M0}$ ,  $f_{c0}$ ,  $E_{c90}$ ,  $f_{H0}$ ,  $f_{H90}$  e  $f_{s0}$ , as análises de regressão possibilitaram a obtenção de equações satisfatórias para fins de estimativas dessas propriedades, sobretudo para a determinação das PFMM das espécies madeireiras brasileiras ainda não ensaiadas.



Por outro lado, os baixos valores de  $\alpha$  e  $R^2$  das propriedades de contração ( $\varepsilon_{r,3}$  e  $\varepsilon_{r,2}$ ), bem como das propriedades de resistência a forças de tração ( $f_{wt90}$ ) e fendilhamento ( $f_{v0}$ ), inviabilizam vínculos matemáticos correlatos com a maioria das outras propriedades e indicam que estas são influenciadas predominantemente por outros fatores, afora a quantidade do material lenhoso da madeira ( $\rho_{bas}$ ), a exemplo dos relacionados à anatomia e à presença de extrativos.

## AGRADECIMENTO

Ao Centro de Pesquisa Agroflorestal do Acre (CPAF-AC), uma das unidades amazônicas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela oportunidade de realização deste trabalho e pelo apoio financeiro concedido.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, H. J. B. **Agrupamento das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sob manejo florestal do Projeto de Colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. 168 f. Dissertação (Mestrado em Recursos florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2002.

ARGANBRIGHT, D. G. Influence of extractives on bending strength of redwood (*Sequoia sempervirens*). **Wood and Fiber**, Madison, v. 2, n. 4, 367-372, 1971.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

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

BROWN, H. P.; PANSIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of wood technology**: structure, identification, defects, and uses of the commercial wood of the United States. New York: McGraw-Hill, 1949. v. 1. 652 p.

CHIMELO, J. P. **Development of a probability-based computerization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods**. 202 f. Thesis - Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, 1980.

EVANS, J. L. W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, Madison, v. 50, n. 7/8, p. 75-87, 2000.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison: USDA, 1974. 1 v.

GARCIA, J. N.; QUIRINO, W. F. Influência dos extrativos solúveis em água na resistência à compressão paralela da madeira de ipê (*Tabebuia* sp.). In: Congresso Florestal Pan-Americano, 1., 1993, Curitiba.; Congresso Florestal Brasileiro, 7., 1993, Curitiba. **Anais....** Curitiba, 1993. 2 v. p. 647-650.

IBAMA. **Madeiras da Amazônia**: características e utilização. v. 3. Amazônia Oriental. Brasília, DF, 1997. 141 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia**: características e utilização: Floresta Nacional do Tapajós. Brasília, DF, 1981. v. 1. 113 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Madeiras da Amazônia**: características e utilização: Estação Experimental de Curuá-Una. Brasília, DF, 1988. v. 2. 236 p.

JANKOWSKY, I. P. **Influência da densidade básica e do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira**. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1979.

KOLLMANN, F. E. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**: solid wood. Berlin: Springer-Verlag; 1968. 592 p.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 62, p. 13-23, 2002.

NASCIMENTO, C. C.; GARCIA, J. N.; DIÁZ, M. P. Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas. **Madera y Bosques**, Veracruz, v. 3, n. 1, p. 33-52, 1997.

NAHUZ, M. A. R. **Some aspects of the introduction of lesser-known brazilian species to the European timber market**. Thesis (Magister) -, Department of Forestry and Wood Science, University College of North Wales, Bangor, 1974.

NASCIMENTO, C. C. **Variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras da Amazônia**. 129 f. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1993.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3. ed., New York: Mcgraw-Hill, 1970. v. 1. 705 p.

PAULA, E. V. C. M.; CABRAL, M. T. F. D.; NASCIMENTO, C. C.; ROCHA, J. S. Propriedades mecânicas de trinta e nove espécies de madeiras do Amazonas. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1986. 1 v.

RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. **Anatomia da Madeira**. 2. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1978. 78 p.

ROCHA, J. S.; PAULA, E. V. C. M.; SIQUEIRA, M. L. Flexão estática em amostras pequenas livres de defeitos. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 18, n. 1/2, p. 147-162, 1988.

ROCHA, J. S. A segurança de estruturas de madeira determinada a partir da variabilidade da densidade básica e de propriedades mecânicas de madeiras amazônicas. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1994.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT: User's Guide**: Version 6. 2. ed. Cary, 1993. 1022 p.

SIAU, J. F. **Transport processes in wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 223 p.

SOUZA, M. H.; MAGLIANO, M. M.; CAMARGOS, J. A. A.; SOUZA, M. R. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília, DF: IBAMA, 1997. 152 p.

USDA. **Wood handbook**: wood as engineering material. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. Forest Service, 1999. 473 p. (Agriculture Handbook, n. 72).

WANGAARD, F. F. **The mechanical properties of wood**. New York: J. Wiley, 1950. 377 p.