



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
DEPARTAMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS

**AVALIAÇÃO DA DUREZA JANKA, DENSIDADE E ESTABILIDADE DE QUATRO  
ESPÉCIES DE *Eucalyptus* IMPLANTADAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.**

RAFAEL BORBA LOPES XAVIER

ORIENTADOR

ALEXANDRE MONTEIRO DE CARVALHO

Seropédica, RJ  
Dezembro, 2008

RAFAEL BORBA LOPES XAVIER

**AVALIAÇÃO DA DUREZA JANKA, DENSIDADE E ESTABILIDADE DE QUATRO  
ESPÉCIES DE *Eucalyptus* IMPLANTADAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Sob orientação do professor

ALEXANDRE MONTEIRO DE CARVALHO

Seropédica, RJ  
Dezembro, 2008



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
DEPARTAMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS

**AVALIAÇÃO DA DUREZA JANKA, DENSIDADE E ESTABILIDADE DE QUATRO  
ESPÉCIES DE *Eucalyptus* IMPLANTADAS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.**

Monografia aprovada em: 18/12/2008

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alexandre Monteiro de Carvalho', is written above a horizontal line.

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho  
DPF/IF-UFRRJ  
(Orientador)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Natália Dias de Souza', is written above a horizontal line.

Prof. MSc. Natália Dias de Souza  
DPF/IF-UFRRJ  
(Membro Titular)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rosilei A. Garcia', is written above a horizontal line.

Prof. Dr. Rosilei A. Garcia  
DPF/IF-UFRRJ  
(Membro Titular)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta monografia à minha mãe, Maria Isilda Lopes Xavier, sem a qual nada disso seria possível.

E a dedico também à mulher da minha vida, Andressa Xavier de Oliveira.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me dar forças todos os dias de minha vida.

Agradeço também ao professor Alexandre Monteiro de Carvalho (meu orientador), por toda força, ajuda e dedicação empenhados para que este trabalho científico pudesse ser realizado.

E, agradeço ainda, a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, mais especificamente ao Departamento de Produtos Florestais do Instituto de Florestas, onde pude ter a chance de evoluir como pessoa e profissional.

## RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de analisar e avaliar a dureza de Janka, a densidade básica e aparente e a estabilidade dimensional (retratibilidade) de quatro espécies de *Eucalyptus* (*grandis*, *saligna*, *citriodora* e *pellitta*) implantadas no estado do Rio de Janeiro (Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e proximidades) e averiguar as correlações entre estas variáveis (com todos os dados e entre espécies). Os procedimentos seguiram a orientação da norma brasileira para projetos estruturais de madeira, ABNT NBR 7190:1997. Com relação às comparações estatísticas, foi feito um delineamento inteiramente casualizado, onde foram realizadas análises de variância e teste de comparação entre médias entre as espécies (Teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade). Para tais finalidades e processamento de dados, utilizou-se o programa estatístico Assistat. Pode-se, a partir disto, afirmar que as variáveis estudadas possuem uma estreita correlação, diretamente proporcional, em todas as espécies estudadas, onde a variável que dita as regras de correlação, de uma maneira geral, é a densidade. Quanto maior a densidade, maior a dureza e a estabilidade da madeira. Para a análise de correlações entre as variáveis estudadas neste trabalho (dureza Janka, densidade básica, densidade aparente e estabilidade dimensional) foram construídos gráficos, onde foram inseridas linhas de tendência e os coeficientes de correlação para o conjunto de dados das duas variáveis consideradas. No geral, percebeu-se que as quatro espécies estudadas apresentaram uma estreita relação diretamente proporcional entre as variáveis estudadas, o que corrobora com a teoria (literaturas) de que quanto maior a densidade da madeira, maior a dureza e estabilidade dimensional.

Palavras-chave: Densidade aparente, Densidade básica, Dureza Janka, Estabilidade dimensional, *Eucalyptus*, Retratibilidade.

## ABSTRACT

This work had the objective to analyze and to evaluate the Janka hardness, the basic specific gravity and specific gravity at 12% moisture content and the dimensional stability (volumetric shrinkage) of four species of Eucalyptus (*grandis*, *saligna*, *citriodora* and *pellita*) from plantation of the Rio De Janeiro state (Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro and neighborhoods) and to determine the correlations between all properties studied (with all the data and between species). The procedures had followed the orientation of the Brazilian norm for structural projects wooden, ABNT NBR 7190:1997. With regard to the statistical comparisons, a delineation was made entirely casualizado, where analyses of variance and test of comparison between averages between the species had been carried through (Test of averages of Tukey 5% of probability). For such purposes and data processing, the statistical program Assistat was used. It can, from this, to affirm that the studied variable possess a narrow correlation, directly proportional, in all the studied species, where the variable that said the correlation rules, in a general way, is the density. How much bigger the density, greater the hardness and the stability of the wood. For the analysis of correlations between the variable studied in this work (Janka hardness, basic specific gravity, specific gravity at 12% ,moisture content and dimensional stability) they had been constructed graphical, where they had been inserted lines of trend and the coefficients of correlation for the data set of the two considered variable. In the generality, one perceived that the four studied species had presented a narrow directly proportional relation between the studied variable, what it corroborates with the theory (literatures) of that how much bigger the density of the wood, greater the hardness and dimensional stability.

Key-words: Dimensional stability, Eucalyptus, Janka hardness, Specific gravity, Specific gravity at 12% moisture content, Volumetric shrinkage.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>x</b>
<b>1- INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2- OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
<b>3- REVISÃO DE LITERATURA... ..</b>	<b>3</b>
<b>4- MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>4</b>
<b>5- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>6</b>
<b>6- CONCLUSÃO.. ..</b>	<b>16</b>
<b>7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>18</b>
<b>ANEXO 1. Análises de variância.. ..</b>	<b>20</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Detalhes do segmento industrial de pisos de madeira no Brasil.....	<b>2</b>
<b>Figura 2.</b> Dispositivo utilizado no ensaio da Dureza Janka (no detalhe, visualiza-se a máquina de ensaio utilizada).....	<b>5</b>
<b>Figura 3.</b> Densidade aparente da madeira em função da dureza Janka (na direção normal às fibras).....	<b>9</b>
<b>Figura 4.</b> Densidade aparente da madeira em função da dureza Janka (na direção paralela às fibras).....	<b>10</b>
<b>Figura 5.</b> Densidade básica da madeira em função da dureza Janka (na direção normal às fibras).....	<b>11</b>
<b>Figura 6.</b> Densidade básica da madeira em função da dureza Janka (na direção paralela às fibras).....	<b>12</b>
<b>Figura 7.</b> Retratabilidade volumétrica da madeira em função da dureza Janka (na direção normal às fibras)..	<b>13</b>
<b>Figura 8.</b> Retratabilidade volumétrica da madeira em função da dureza Janka (na direção paralela às fibras).....	<b>14</b>
<b>Figura 9.</b> Densidade aparente da madeira em função da retratabilidade volumétrica..	<b>15</b>
<b>Figura 10.</b> Densidade básica da madeira em função da retratabilidade volumétrica.....	<b>16</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Estatística descritiva e teste de comparação das médias (Tukey) da dureza Janka das espécies estudadas (direção normal às fibras).....	<b>7</b>
<b>Tabela 2:</b> Estatística descritiva e teste de comparação das médias (Tukey) da dureza Janka das espécies estudadas (direção paralela às fibras)....	<b>7</b>
<b>Tabela 3:</b> Estatística descritiva e teste de comparação das médias (Tukey) da densidade básica das espécies estudadas.....	<b>7</b>
<b>Tabela 4:</b> Estatística descritiva e teste de comparação das médias (Tukey) da densidade aparente das espécies estudadas... ..	<b>8</b>
<b>Tabela 5:</b> Estatística descritiva e teste de comparação das médias (Tukey) da estabilidade dimensional (retratibilidade) das espécies estudadas... ..	<b>8</b>
<b>Tabela 6:</b> Análise de variância da dureza Janka (direção normal às fibras) das espécies estudadas.....	<b>20</b>
<b>Tabela 7:</b> Análise de variância da dureza Janka (direção paralela às fibras) das espécies estudadas.....	<b>20</b>
<b>Tabela 8:</b> Análise de variância da densidade aparente das espécies estudadas.. ..	<b>20</b>
<b>Tabela 9:</b> Análise de variância da densidade básica das espécies estudadas.....	<b>20</b>
<b>Tabela 10:</b> Análise de variância da estabilidade dimensional (retratibilidade) das espécies estudadas.....	<b>20</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A dureza de um material, de uma maneira geral, pode ser definida como a resistência que um corpo sólido apresenta à penetração de outro corpo sólido através da aplicação de uma determinada força. O método da dureza Janka consiste basicamente na determinação da tensão que, atuante em uma das faces de um corpo-de-prova prismático, produz a penetração de uma semi-esfera de aço com área diametral de 1 cm<sup>2</sup>. A dureza da madeira é medida nas direções normal e paralela às fibras.

A densidade, de uma forma geral, é a massa por unidade de volume de uma determinada substância. O seu respectivo cálculo é feito pela divisão da massa do objeto por seu volume. As duas formas mais usuais de determinação de densidade são a básica e a aparente.

A densidade básica é uma das características da madeira que melhor expressa sua qualidade para fins de seu respectivo uso. Em função disto, e de sua importância e facilidade de determinação se comparado a outros parâmetros de qualidade, a densidade básica tornou-se a característica mais estudada e difundida com relação às propriedades físico-mecânicas da madeira. Em termos de definição, a densidade básica é uma massa específica convencional definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado.

A densidade aparente, do ponto de vista prático, possui um maior interesse com relação à sua determinação devido ao fato desta ter a influência da porosidade da madeira e é feita com a determinação da massa e volume a um mesmo valor de teor de umidade, que para as condições internacionais é de 12% (OLIVEIRA, 1997). No que diz respeito à sua definição, a densidade aparente é a massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume de corpos-de-prova com teor de umidade de 12%.

A madeira, por ser um material anisotrópico, apresenta diferentes variações dimensionais, com a variação no teor de umidade da madeira, nas diferentes direções principais (HELLMEISTER, 1973). Em função disto, estabilidade dimensional (retratibilidade) da madeira é caracterizada pelas propriedades de retração e inchamento e é medida nos sentidos axial, radial e tangencial. A variação volumétrica é determinada em função das dimensões do corpo-de-prova nos estados saturado e seco.

Quanto ao gênero *Eucalyptus* e suas diversas espécies, elas vem sendo cada vez mais utilizadas para os mais diversos produtos de madeira em nosso país. Passada a fase de ênfase das pesquisas com o eucalipto serem voltadas prioritariamente para a área de celulose e papel, diversos trabalhos tem sido desenvolvidos no sentido de conhecer características importantes para produtos de madeira sólida.

Especificamente, a dureza da madeira possui uma grande importância para a indústria de pisos, onde algumas espécies de eucalipto já estão sendo utilizadas. Por estar sujeito ao arraste de móveis, pisoteio com diversos tipos de solados e saltos, queda de objetos e outras situações semelhantes, a formação dos pisos de madeira necessita de uma matéria-prima com valores de dureza específicos.

Na figura 1 são mostrados alguns detalhes das indústrias de pisos que estão atualmente inserindo espécies de *Eucalyptus* como fonte de matéria-prima.



**Figura 1.** Detalhes do segmento industrial de pisos de madeira no Brasil.

## 2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo geral, analisar e avaliar a dureza Janka, a densidade básica, a densidade aparente e a estabilidade dimensional (retratibilidade volumétrica) de quatro espécies de *Eucalyptus* (*E. grandis*, *E. saligna*, *E. citriodora*\* e *E. pellitta*) implantadas no estado do Rio de Janeiro.

Como objetivos específicos, o estudo procurou identificar relações entre as variáveis analisadas.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

Ultimamente, vários métodos vêm sendo adotados para a determinação da dureza de materiais, tais como: Dureza Janka, Dureza Brinell e Chalais-Mendon (KOLLMANN e CÔTÉ, 1968). Contudo, o teste de Janka tem sido adotado no Brasil com a finalidade de determinar a dureza de madeiras.

GERARD et. al. (1995) e CHIMELO (1980) afirmaram que a dureza da madeira se apresenta correlacionada com a retratibilidade e com a densidade (massa específica).

A densidade é uma das propriedades mais estudadas para a caracterização tecnológica da madeira, em função de sua facilidade de medição e sua estreita relação com outras propriedades da madeira.

BESLEY (1966), SOUZA et. al. (1986) e SHIMOYAMA e BARRICHELO (1991) apresentaram a densidade como um dos mais importantes parâmetros para avaliação da qualidade da madeira, por ser de fácil determinação e estar relacionada às demais características do material.

SHIMOYAMA e BARRICHELO (1991) afirmaram que todas as demais propriedades da madeira estão relacionadas à sua densidade, sendo esta o principal ponto de partida no estudo da madeira, para as mais diversas formas de utilização.

Conforme TSOUMIS (1991), a densidade é uma medida da quantidade de material na parede celular, presente em certo volume e é uma indicadora do volume de espaços vazios na madeira também.

Segundo PANSHIN e DE ZEEUW (1980) a densidade pode variar entre gêneros, espécies de um mesmo gênero, árvores de uma mesma espécie e até diferentes partes de uma única árvore ou de um pedaço de madeira.

OLIVEIRA et. al. e LIMA et. al. (2000) asseguraram que a densidade é uma boa indicadora de qualidade da madeira, em função de várias correlações com outras propriedades. A massa específica quando analisada de forma isolada não representa um parâmetro bom e seguro para uma definição de usos.

---

\* O *Eucalyptus citriodora* vem sendo considerado como pertencente ao gênero *Corymbia*, espécie *Corymbia citriodora*, por questões referentes ao não cruzamento com as espécies de eucalipto e características anatômicas e químicas diferenciadas. Neste estudo, como foram feitas comparações entre espécies, por conveniência, o *E. citriodora* ainda será considerado como pertencente ao gênero *Eucalyptus*.

Conforme destacam KOLLMANN e CÔTÉ (1968), as variações da densidade da madeira se devem às diferenças na estrutura anatômica e na quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume, conforme sua idade, genótipo, clima, localização geográfica e tratos silviculturais.

Já com relação à retratibilidade, a madeira é um material orgânico, de estrutura complexa e heterogênea, que diminui e aumenta suas dimensões, conforme a umidade do ambiente. Tal variação no teor de umidade interfere na geometria das peças e, por conseguinte, altera as características dos elementos estruturais.

DURLO e MARCHIORI (1992) afirmaram que as variações dimensionais e a anisotropia da madeira são características indesejáveis, limitando seu uso para diversas finalidades.

PANSHIN e DE ZEEUW (1980) e MOREIRA (1999) asseguram que as contrações ocorrem mais intensamente no sentido transversal das fibras do que no longitudinal, em função de sua característica anisotrópica.

Segundo VITAL e TRUGILHO (1997), as variações dimensionais, provocadas pelo inchamento e contração da madeira, ocorrem quando há flutuações na umidade da madeira abaixo do ponto de saturação das fibras.

Conforme TSOUMIS (1991), VITAL e TRUGILHO (1997) e ROCHA (2000), a magnitude da variação dimensional é frequentemente maior para madeiras de maior densidade, devido à maior quantidade de madeira por unidade de volume. Além disso, madeiras de maior massa específica, para um mesmo teor de umidade, contém mais água na parede celular.

MOREIRA (1999), em estudo com madeiras de várias espécies, verificou que as contrações radial e volumétrica aumentaram no sentido medula-casca, como um reflexo do aumento da massa específica.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

Com relação aos materiais estudados neste trabalho, foram utilizadas quatro espécies de *Eucalyptus* implantadas no estado do Rio de Janeiro, mais especificamente no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e proximidades. Tais espécies foram:

- *Eucalyptus grandis* - *Eucalyptus pellitta* - *Eucalyptus saligna* - *Eucalyptus citriodora*\*

Foram amostradas um total de 10 toretes de cada espécie, com dimensões de 80 cm de comprimento e aproximadamente 20 cm de diâmetro. Foram amostrados 2 toretes por árvore sendo ao todo abatidas 5 árvores de cada espécie para o estudo.

Para os ensaios de dureza Janka e de densidade aparente, foram utilizados 20 corpos-de-prova por espécie, com dimensões de 5x5x15cm. Já para os ensaios de densidade básica e estabilidade dimensional (retratibilidade), foram utilizados 10 corpos-de-prova por espécie, com dimensões de 2x3x5cm. Tais dimensões e seus respectivos parâmetros e padrões

seguiram as normas da ABNT NBR 7190:1997 (Associação Brasileira de Normas Técnicas) de projetos estruturais de madeira.

O ensaio da dureza Janka consiste na medição da tensão de penetração de uma esfera de aço nos corpos-de-prova até a profundidade igual ao seu raio de  $1\text{ cm}^2$ , em um período pré-determinado pela máquina universal mecânica UMC 300 da marca Pavitest® (máquina de teste) e seu respectivo dispositivo de dureza, com um sensor acoplado no mesmo. Tal sensor é o responsável pela finalização automática do teste e tem a intenção de propiciar resultados mais precisos (Figura 01). Este dispositivo foi recentemente adquirido pelo Departamento de Produtos Florestais, do Instituto de Florestas, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, e foi utilizado pela primeira vez ao longo desta pesquisa.



**Figura 2.** Dispositivo utilizado no ensaio da Dureza Janka (no detalhe, visualiza-se a máquina de ensaio utilizada).

Para os ensaios de dureza foi utilizada a célula de carga de 10 toneladas, com isso, conseguiu-se maximizar a precisão dos resultados. Os dados foram obtidos através de um software computacional, programa Pavitest Madeira, interligado à máquina de teste e apresentados em  $\text{kgf/cm}^2$ .

O ensaio da densidade aparente consistiu na medição e determinação da massa e volume dos corpos-de-prova com teores de umidade de aproximadamente 12%, que é a umidade de equilíbrio da madeira esperada após climatização em ambiente controlado, ajustado para condições de  $20^\circ\text{C}$  e umidade relativa de 65%. Foi utilizada uma balança gravimétrica para determinar o peso das amostras a 12% de umidade e o paquímetro digital

para a medição dos lados da seção transversal e comprimento do corpo-de-prova e seu respectivo volume, com os dados sendo calculados em  $\text{cm}^3$ .

Os corpos-de-prova foram imersos em um recipiente contendo água, com o propósito de que os mesmos ganhassem umidade até saturação, requerida para fins de procedimento de cálculos da densidade básica e suas peculiaridades.

O ensaio da densidade básica teve início com a determinação da massa seca dos corpos-de-prova. Para tal medição, os corpos-de-prova foram colocados em uma estufa com temperatura de aproximadamente  $120^\circ$  Celsius e foram deixados na mesma por 24 horas. Depois disso, mediu-se a massa seca através de uma balança gravimétrica, onde os resultados foram dados em gramas. Anteriormente, com o corpo-de-prova ainda saturado, determinou-se o volume saturado em função da medição dos lados da seção transversal e do comprimento, onde os mesmos foram obtidos através de um paquímetro digital, da marca Digimess®, onde os dados calculados foram apresentados em  $\text{cm}^3$ .

O ensaio de estabilidade dimensional (retratibilidade) teve como base a medição dos lados da seção transversal e do comprimento dos corpos-de-prova em seus estados saturado e seco. Mediu-se com um paquímetro digital as dimensões dos corpos-de-prova saturados e o resultado foi dado em  $\text{cm}^3$ . Posteriormente, com a finalidade de se avaliar a retratibilidade dos corpos-de-prova, através da medição da variação volumétrica, mediram-se os corpos-de-prova em seu estado seco. Isso foi possível devido ao fato de os mesmos terem sido colocados em uma estufa com temperatura de  $120^\circ$  Celsius por aproximadamente 24 horas. Foi utilizado o paquímetro digital, também, para a medição dos corpos-de-prova secos e os dados foram determinados em  $\text{cm}^3$ .

Após os devidos cálculos de variação volumétrica, através dos dados dos volumes saturado e seco das amostras estudadas, obteve-se a retratibilidade dos corpos-de-prova. Não obstante, é importante destacar que para o estudo da retratibilidade, os corpos-de-prova devem possuir umidade acima do ponto de saturação das fibras (30% de umidade).

Com relação às comparações estatísticas, foi considerado um delineamento inteiramente casualizado, onde foram realizadas análises de variância e teste de comparação entre as médias das espécies estudadas (Teste de Tukey a 5% de probabilidade). Para tais finalidades e processamento de dados, utilizou-se o programa estatístico Assistat, que consiste em um software livre desenvolvido pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) do Estado da Paraíba (SILVA e AZEVEDO 2002, 2006; SILVA 1996). As Tabelas com as análises de variância consideradas foram inseridas no Anexo 1.

Para a análise de correlações entre as variáveis estudadas neste trabalho (dureza Janka, densidade básica, densidade aparente e retratibilidade volumétrica) são apresentadas nas figuras 2 a 9, onde foram inseridas linhas de tendência e os coeficientes de correlação para o conjunto de dados das duas variáveis consideradas.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**



Nos resultados mostrados na Tabela 1, com relação à dureza Janka na direção normal às fibras, verificou-se a não diferenciação estatística entre as espécies de *E. grandis*, *E. pellitta* e *E. saligna*. O *E. citriodora* apresentou diferenciação estatística das demais.

**Tabela 1.** Estatística descritiva e teste de comparação das médias (Tukey) da dureza Janka das espécies estudadas (direção normal às fibras):

<b>Espécie</b>	<b>Média *</b>	<b>desv. pad.</b>	<b>C.V. (%)</b>
<i>E. grandis</i>	253,25 b	108,4818	42,84
<i>E. pellitta</i>	254,50 b	110,3952	43,38
<i>E. saligna</i>	285,55 b	76,9637	26,95
<i>E. citriodora</i>	474,05 a	125,6831	26,51

\* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Os valores encontrados para o coeficiente de variação foram elevados, acima de 20%, que é um valor de referência para experimentos na área florestal e madeireira. Tal fato pode ter ocorrido devido à quantidade não satisfatória de amostras utilizadas no experimento (números de corpos-de-prova). Quanto maior o número de amostras, menor o coeficiente de variação.

Para a dureza Janka na direção paralela às fibras, a espécie *Eucalyptus pellitta* apresentou menor coeficiente de variação em relação às demais (Tabela 2). Além disso, notou-se a não diferenciação estatística entre as espécies de *E. grandis*, *E. pellitta* e *E. citriodora* e a diferenciação do *E. saligna* com relação às demais espécies.

**Tabela 2.** Estatística descritiva e teste de comparação das médias (Tukey) da dureza de Janka das espécies estudadas (direção paralela às fibras):

<b>Espécie</b>	<b>Média *</b>	<b>desv. pad.</b>	<b>C.V. (%)</b>
<i>E. grandis</i>	372,45 a	139,2380	37,38
<i>E. pellitta</i>	425,55 a	70,2203	16,50
<i>E. saligna</i>	191,80 b	58,0921	30,29
<i>E. citriodora</i>	436,40 a	102,4492	23,48

\* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Para a densidade básica, os coeficientes de variação encontrados foram considerados baixos, todos menores que 20%. Com relação à comparação de médias entre as espécies, verificou-se que as espécies *E. pellitta* e *E. saligna* não apresentaram diferença estatística entre si e que a espécie *E. grandis* teve diferença estatística, assim como também o *E. citriodora* para com a mais baixa e a mais alta densidade básica, respectivamente (Tabela 3).

**Tabela 3.** Estatística descritiva e teste de comparação das médias (Tukey) da densidade básica das espécies estudadas:

<b>Espécie</b>	<b>Média *</b>	<b>desv. pad.</b>	<b>C.V. (%)</b>
----------------	----------------	-------------------	-----------------

<i>E. grandis</i>	0,380 c	0,0308	8,10
<i>E. pellitta</i>	0,599 b	0,0538	8,98
<i>E. saligna</i>	0,503 b	0,0236	4,68
<i>E. citriodora</i>	0,683 a	0,0349	5,12

\* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Para a variável densidade aparente, com exceção da espécie *Eucalyptus grandis*, todas as outras apresentaram coeficiente de variação abaixo de 20%. As espécies *Eucalyptus saligna* e *citriodora* foram as que apresentaram o menor coeficiente de variação.

Com relação à comparação estatística entre as médias, observou-se que as espécies de *E. pellitta* e *E. saligna* não apresentaram diferenciação estatística e o *E. grandis* e *citriodora* apresentaram diferenciação entre em relação às demais, conforme a Tabela 4.

**Tabela 4.** Estatística descritiva e teste de comparação das médias (Tukey) da densidade aparente das espécies estudadas:

Espécie	Média *	desv. pad.	C.V. (%)
<i>E. grandis</i>	0,613 c	0,1262	20,59
<i>E. pellitta</i>	0,761 b	0,0683	8,97
<i>E. saligna</i>	0,765 b	0,0436	5,70
<i>E. citriodora</i>	0,898 a	0,0513	5,72

\* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade.

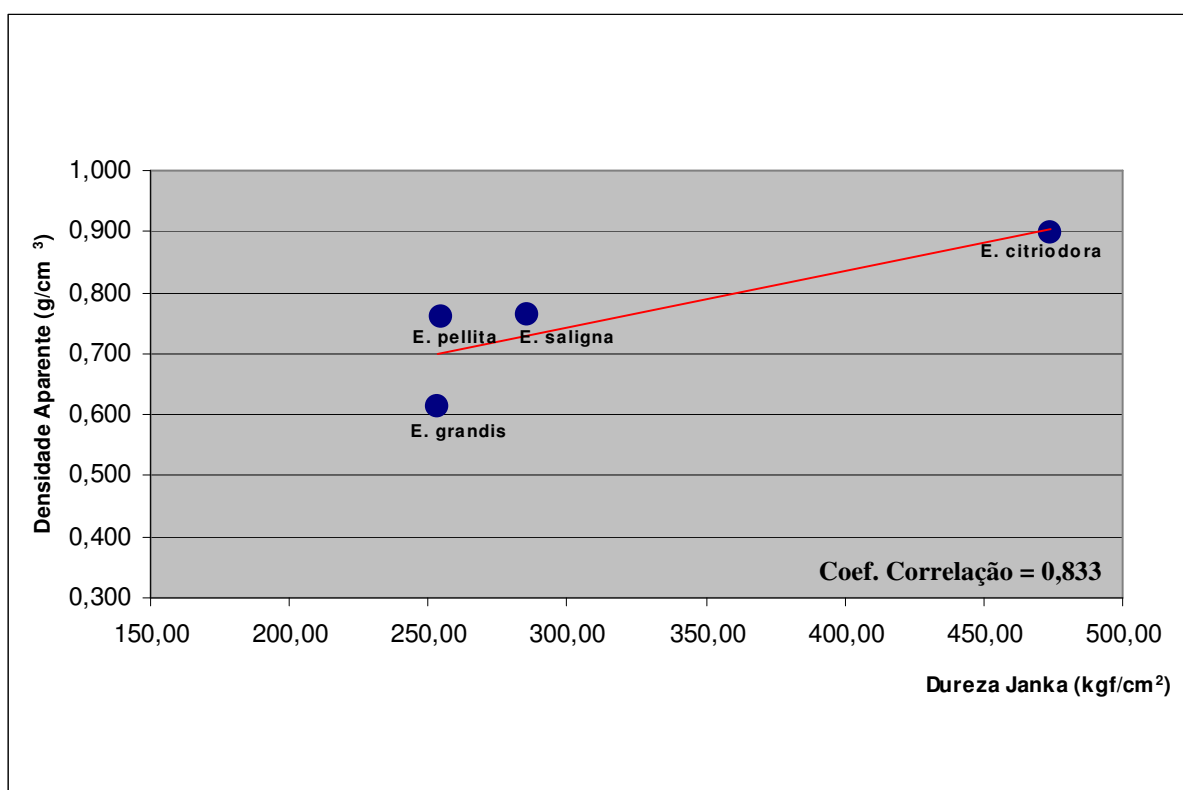
Foi observada maior retratibilidade volumétrica para o *E. saligna* em relação às demais espécies. Na comparação estatística entre as espécies, a estabilidade dimensional (retratibilidade), Tabela 5, apresentou diferenças estatísticas entre as espécies de *E. pellitta* e *citriodora* e que houve diferença entre o *E. grandis*, assim como também entre o *E. saligna* e as demais.

**Tabela 5.** Estatística descritiva e teste de comparação das médias (Tukey) da estabilidade dimensional (retratibilidade) das espécies estudadas:

Espécie	Média *	desv. pad.	C.V. (%)
<i>E. grandis</i>	13,53 c	3,1497	23,28
<i>E. pellitta</i>	18,56 b	2,0294	10,94
<i>E. saligna</i>	24,71 a	4,4395	17,97
<i>E. citriodora</i>	18,37 b	4,8249	26,26

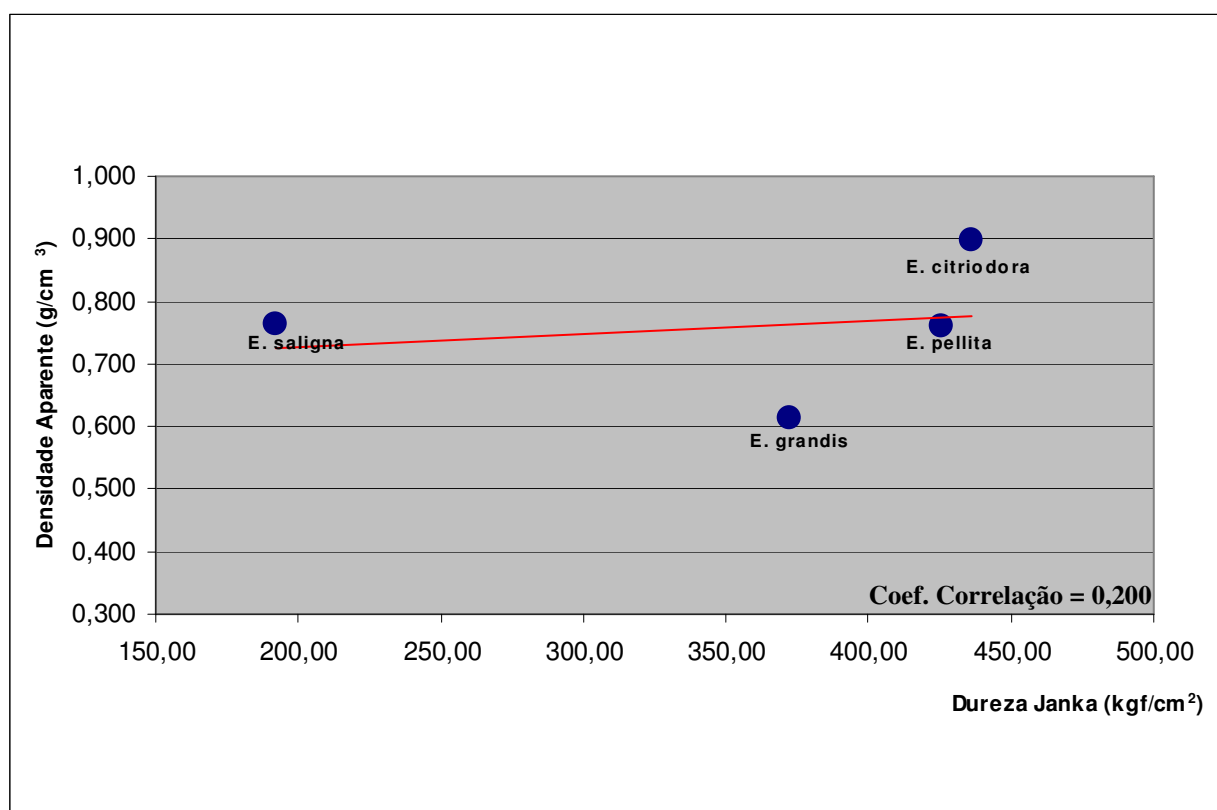
\* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Com relação à dureza Janka na direção normal às fibras e a densidade aparente, pode-se verificar uma tendência de aumento da dureza em função da densidade aparente das espécies consideradas (Figura 2). O coeficiente de correlação foi positivo e próximo a 1, indicando uma forte interação entre estas variáveis (0,833).



**Figura 3.** Densidade aparente da madeira em função da dureza Janka (na direção normal às fibras).

Já com relação à dureza Janka na direção paralela às fibras e a densidade aparente, pode-se visualizar também, através da linha de tendência, uma relação direta ou aumento proporcional entre as duas variáveis, porém numa menor escala, com coeficiente de correlação de 0,200. Quanto maior a dureza Janka na direção paralela às fibras, maior a densidade e vice-versa. A densidade está ligada principalmente a espessura da parede celular, como há uma maior proporção de parede celular por unidade de distância no sentido perpendicular (normal) às fibras, a resistência mecânica é maior. Isto se deve ao fato da maioria das células que compõe o lenho estarem no sentido axial. Na realidade, percebe-se que quem define esse padrão de tendência é a densidade de uma forma geral. KOLMANN & CÔTÉ (1968), pesquisando a influencia da densidade na dureza Janka, observaram que há uma relação forte entre esses parâmetros. As espécies apresentam uma tendência uniforme, mostrando que a dureza é diretamente proporcional à densidade da madeira. Podemos verificar isto através da Figura 3.

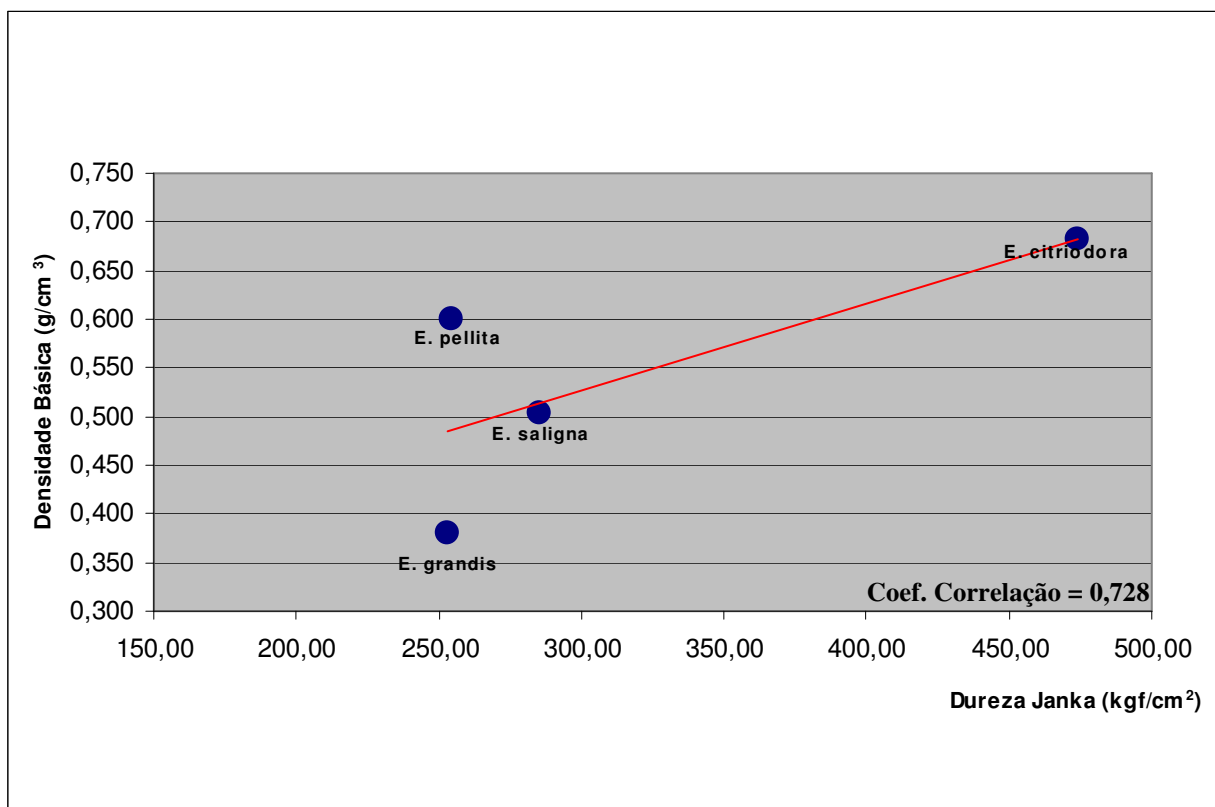


**Figura 4.** Densidade aparente da madeira em função da dureza Janka (na direção paralela às fibras).

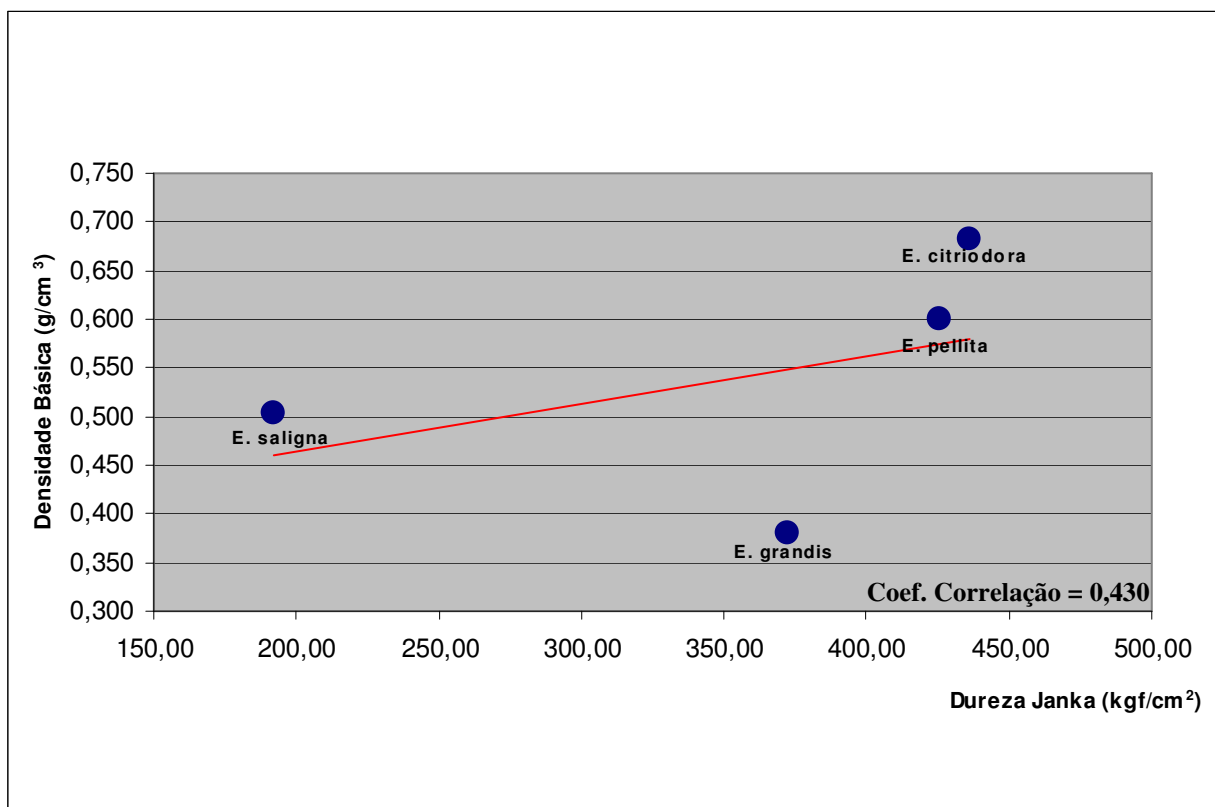
Com relação à dureza Janka em função da densidade básica, notou-se que à proporção que a densidade básica se eleva a dureza Janka também se eleva.

O coeficiente de correlação também indicou para esta interação relações positivas, sendo mais alta entre a densidade básica e a dureza na direção normal (0,728) e mais baixa considerando o ensaio de dureza na direção paralela às fibras (0,430).

Os dados comprovam que a dureza da madeira, expressa pela sua capacidade de oferecer maior ou menor resistência à penetração de uma semi-esfera, está estreitamente relacionada com a densidade. Podemos vislumbrar nas Figuras 4 e 5 esta estreita relação e o aumento da dureza Janka tanto na direção normal quanto na paralela às fibras para com a densidade básica.

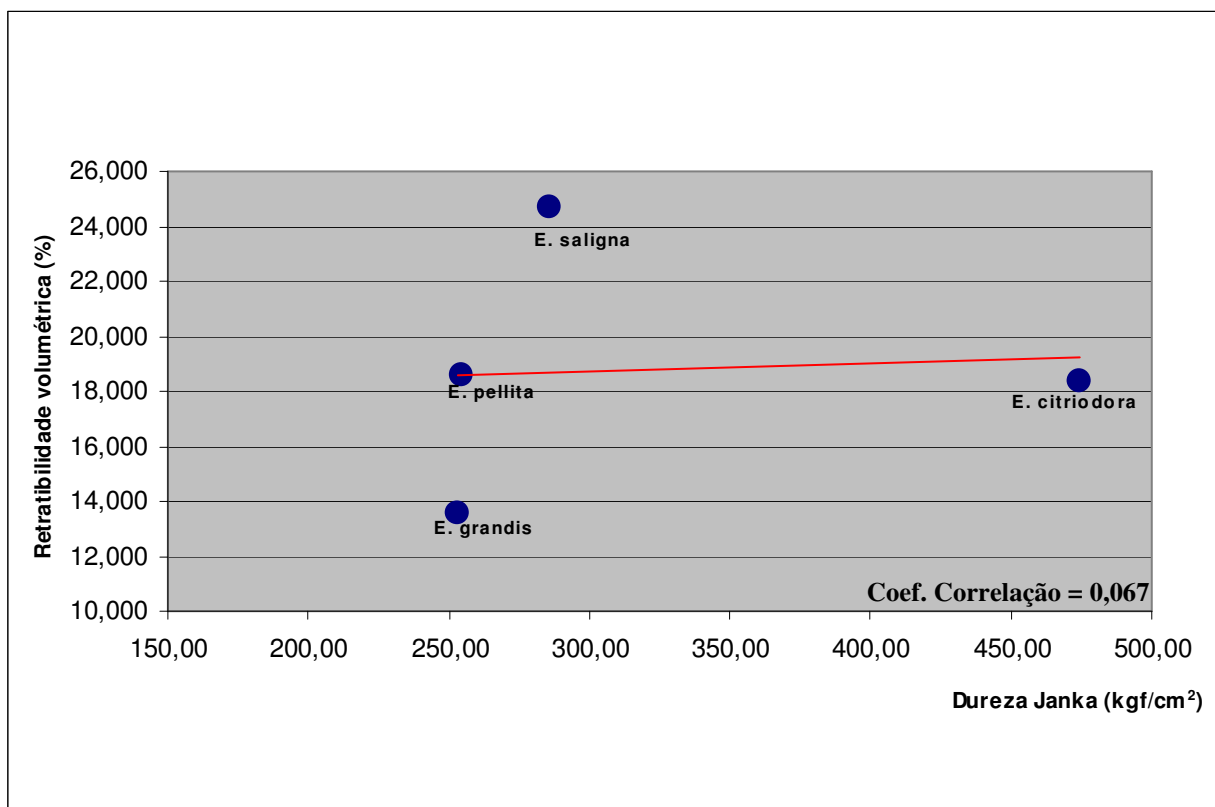


**Figura 5.** Densidade básica da madeira em função da dureza Janka (na direção normal às fibras).



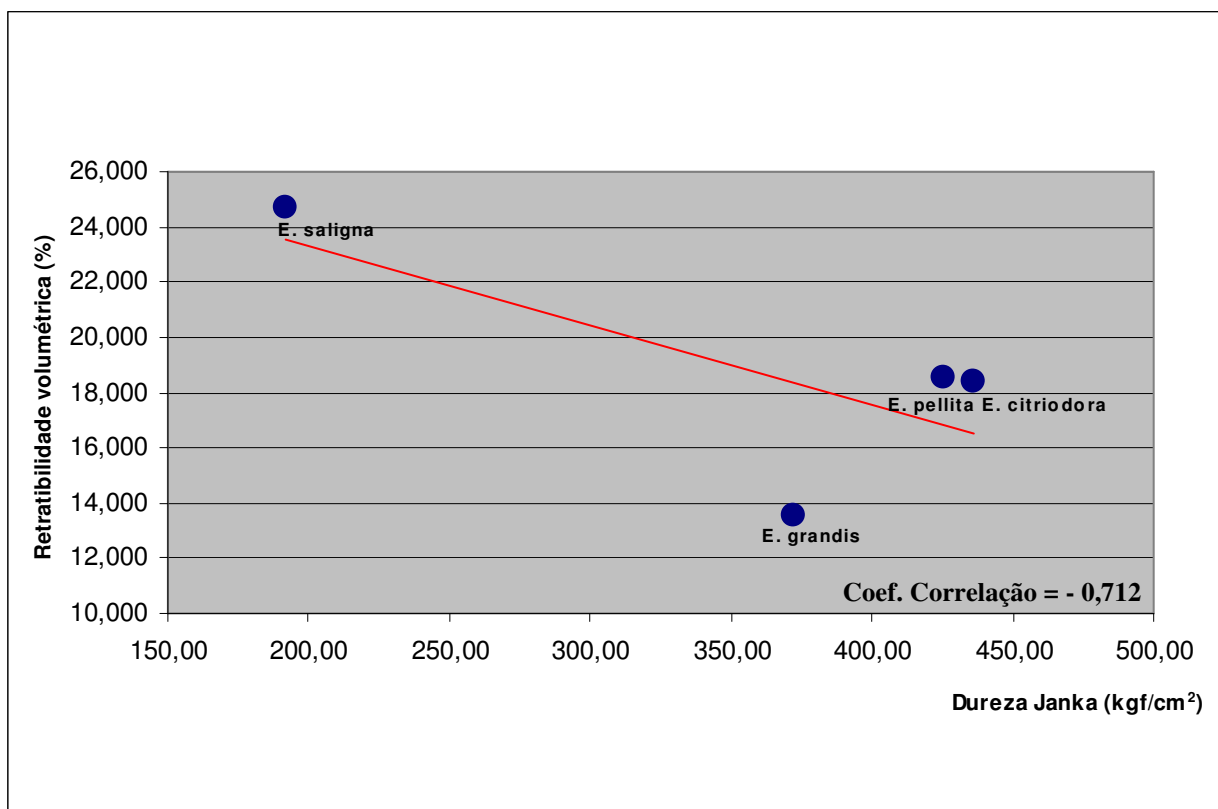
**Figura 6.** Densidade básica da madeira em função da dureza Janka (na direção paralela às fibras).

Analisando a relação entre a dureza Janka (na direção normal às fibras) e a estabilidade dimensional (retratibilidade), podemos visualizar através da Figura 6 uma baixa correlação entre elas, com um baixo coeficiente de correlação (0,067).



**Figura 7.** Retratibilidade volumétrica da madeira em função da dureza Janka (na direção normal às fibras).

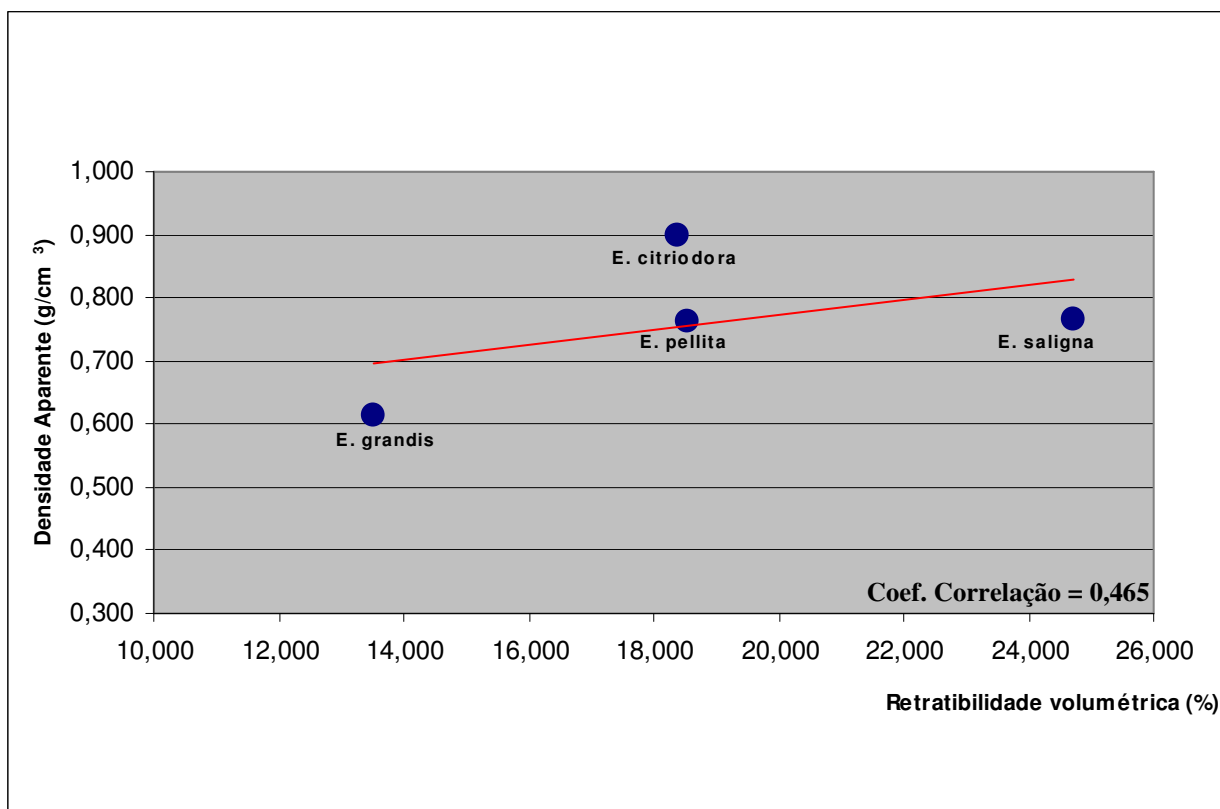
Contudo, quando foi considerada a direção paralela às fibras observou-se um comportamento inverso entre a interação da dureza Janka (na direção paralela às fibras) com a estabilidade dimensional (retratibilidade). A linha de tendência considerada foi influenciada pelo valor observado para o *E. saligna*, que apresentou uma menor dureza e uma alta retratibilidade. Os valores observados para as demais espécies foram coerentes com os demais resultados encontrados (Figura 7).



**Figura 8.** Retratibilidade volumétrica da madeira em função da dureza Janka (na direção paralela às fibras).

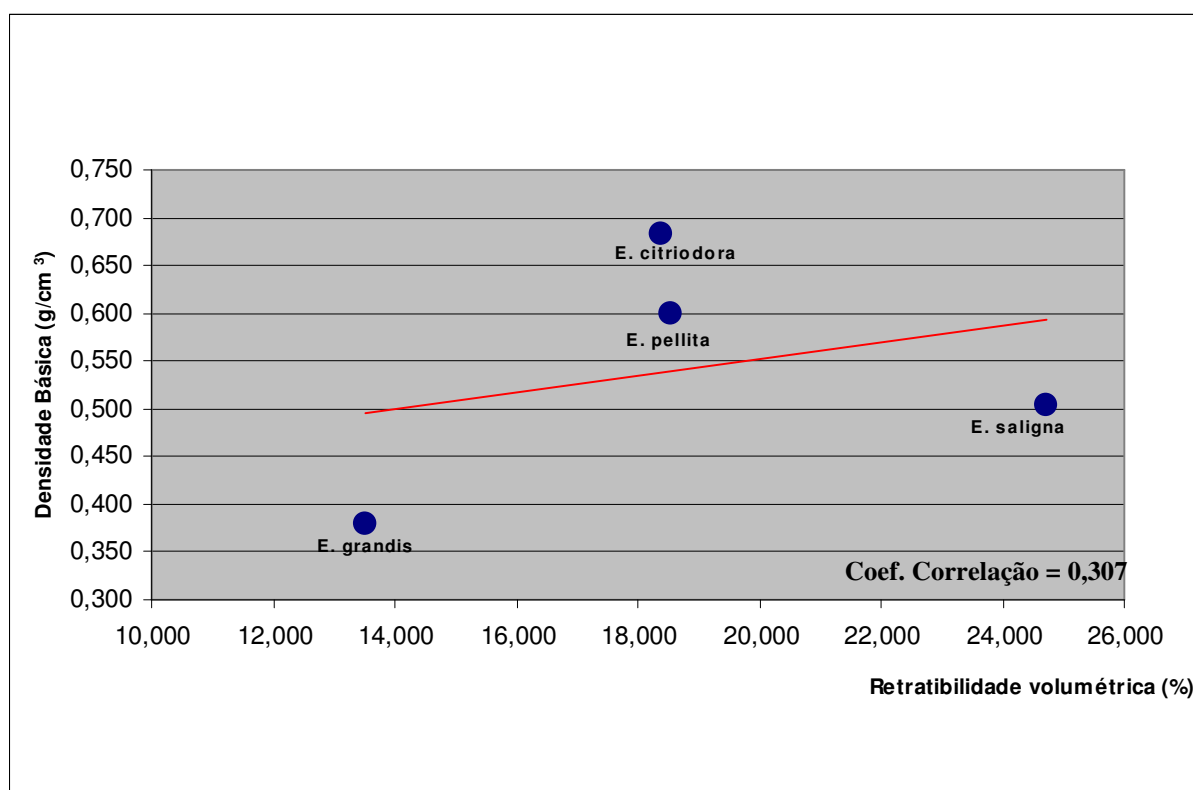
Nos resultados analisados para a densidade aparente em interação com a retratibilidade volumétrica das espécies estudadas, foram observadas tendências onde a retratibilidade aumenta em função do aumento da densidade (Figura 8).





**Figura 9.** Densidade aparente da madeira em função da retratibilidade volumétrica.

A mesma tendência discutida acima foi observada para a análise da interação entre a retratibilidade volumétrica e os valores de densidade básica (Figura 9).



**Figura 10.** Densidade básica da madeira em função da retratabilidade volumétrica.

## 6. CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos neste estudo foram possíveis as seguintes conclusões:

1) A análise de variância e os testes de comparação de médias demonstraram que, na dureza de Janka na direção normal às fibras, somente o *E. citriodora* apresentou diferenciação estatística entre as demais e na direção paralela, somente o *E. saligna*.

2) Para a densidade aparente, o *E. grandis* e o *citriodora* apresentaram diferenciação estatística quando comparado às demais espécies. Para a densidade básica, todas as espécies estudadas apresentaram diferenciação estatística entre si, com exceção do *E. pellitta e saligna*.

3) Com relação à estabilidade dimensional, (retratabilidade volumétrica), as espécies *E. grandis* e *saligna* apresentaram diferenciação estatística para com as demais espécies.

4) De modo geral, observou-se que as quatro espécies estudadas (*E. grandis, pellitta, saligna e citriodora*) apresentaram uma forte relação diretamente proporcional entre as variáveis estudadas (densidade, dureza e retratabilidade volumétrica), o que corrobora com a

teoria (literaturas) de que quanto maior a densidade da madeira, maior a dureza e retratibilidade volumétrica e vice-versa.

5) A correlação entre a dureza Janka, no sentido normal das fibras, com a densidade aparente, demonstra que estas duas variáveis apresentam uma forte correlação, diretamente proporcional, ou seja, quanto maior a densidade, maior a dureza e vice-versa (entre as espécies).

6) Notou-se esta mesma estreita relação para a densidade básica em função da dureza da madeira. Assim sendo, verificou-se que a densidade da madeira é um bom indicativo da sua dureza e da sua adaptabilidade aos usos onde esta característica é importante, como por exemplo, a indústria de pisos.

7) Já com relação à dureza Janka e a retratibilidade volumétrica, apesar da dureza na direção paralela às fibras ter indicado uma relação inversamente proporcional à retratibilidade, na sua normalidade, o correto seria afirmar que a retratibilidade e a dureza da madeira apresentam uma correlação diretamente proporcional como à encontrada em relação ao ensaio na direção normal às fibras.

8) As correlações entre as variáveis estudadas, tanto a densidade básica e aparente e retratibilidade volumétrica apresentaram uma forte relação, diretamente proporcional.

9) Pode-se, a partir destas conclusões, afirmar que as três variáveis estudadas (dureza, densidade e estabilidade dimensional) possuem uma forte correlação, diretamente proporcional, em todas as espécies estudadas (*E. grandis*, *pellitta*, *saligna* e *citriodora*), onde a variável que dita as regras de correlação, de uma maneira geral, é a densidade. Em suma, quanto maior a densidade, maior a dureza e a estabilidade da madeira.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projetos de estrutura de madeira**. Rio de Janeiro, 1997. (NBR-7190)

BESLEY, L. Importance, variation and measurement of wood density and moisture. **Pulp and Paper Research Institute of Canada**, n.489, p.I-30, 1966.

CHIMELO, J. P. **Development of a probability-based computerized characterization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods**. 1980. 206f. Tese (Doutoramento Virgínia Polytechnic Institute and State University), Blacksburg, 1980.

COPANT (1973) **Comissão Pan-americana de Normas Técnicas**, 30:1-009.

DURLO, M.A.; MARCHIORI, J.N.C. **Tecnologia da madeira: retratibilidade**. Santa Maria: CEPEF/FATEC, 1992. 33p. (Série técnica, 10).

GÉRARD, J. BAILLÈRES, H.; FOURNIER, M., THIBAUT, B. Qualité du bois chez les eucalyptus de plantation. Etude de variation de trois propriétés de référence. **Bois et Forêts des Tropiques**, Nancy, n. 245, p. 101–111, 1995.

HELLMEISTER, J. C. **Sobre a determinação das características físicas da madeira**. São Carlos, SP. 1973. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

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

LIMA, J. T.; BREESE, M.C.; CAHALAN, C.M. Variation in wood density and mechanical properties in *Eucalyptus* clones. In: THE FUTURE OF EUCALYPTUS FOR WOOD PRODUCTS. 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings...** Launceston: IUFRO. 2000, p. 282-291.

MOREIRA, W.S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 1999, 107f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

OLIVEIRA, J.T.S. **Caracterização da madeira de Eucalipto para a construção civil**. São Paulo, 1997. Iv. Tese (doutorado). Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology. 4a ed.** New York: McGraw Hill, 1980, 722p.

SHIMOYAMA, V.R.; BARRICHELO, L.E.G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus spp.* In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24, São Paulo, 1991. **Anais**. São Paulo : ABTCP, 1991.

Silva, F. de A. S. e. & Azevedo, C. A. V. de. A New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: Anais... Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p.393-396.

Silva, F. de A. S. e. & Azevedo, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.4,n.1, p71-78,2002.

Silva, F.de A.S.e. The ASSISTAT Software: statistical assistance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 6, Cancun, 1996. Anais... Cancun: American Society of Agricultural Engineers, 1996. p.294-298.

SOUZA, V.R; CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, n.33, p.65-72, 1986.

**TSOUMIS, G. science and technology of wood: Structure, properties and utilization** New York: Van Nostrand Reinold, 1991, 494p.

## ANEXO 1. Análises de variância

**Tabela 6.** Análise de variância da dureza de Janka (direção normal às fibras) das espécies estudadas:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Espécies	3	672480.23750	224160.07917	19.2799**
Resíduo	76	883622.65000	11626.61382	
Total	79	1556102.88750		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

**Tabela 7.** Análise de variância da dureza de Janka (direção paralela às fibras) das espécies estudadas:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Espécies	3	733772.33750	244590.77917	21.5358**
Resíduo	76	863163.65000	11357.41645	
Total	79	1596935.98750		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

**Tabela 8.** Análise de variância da densidade aparente das espécies estudadas:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	0.81383	0.27128	43.1523**
Resíduo	76	0.47778	0.00629	
Total	79	1.29161		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

**Tabela 9.** Análise de variância da densidade básica das espécies estudadas:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	0.50878	0.16959	120.7466**
Resíduo	36	0.05056	0.00140	
Total	39	0.55935		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )

**Tabela 10.** Análise de variância da estabilidade dimensional (retratibilidade volumétrica) das espécies estudadas:

F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	3	629.52679	209.84226	14.7168**
Resíduo	36	513.31169	14.25866	

Total                    39                    1142.83848  
\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )  
\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )