

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS**  
**AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**DISSERTAÇÃO**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DAS ESPÉCIES DE**  
**BAMBU *Phyllostachys aurea* E *Bambusa tuldoidea***  
**TERMORRETIFICADAS**

**Mayra Ferreira Alves de Oliveira**

**2012**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE DUAS ESPÉCIES DE  
BAMBU *Phyllostachys aurea* E *Bambusa tuldoides*  
TERMORRETIFICADAS**

**MAYRA FERREIRA ALVES DE OLIVEIRA**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Alexandre Miguel do Nascimento**

*e*

*Co-orientação da Professora*  
**Rosilei Aparecida Garcia**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Seropédica, RJ  
Maio de 2012

633.58

O48p

T

Oliveira, Mayra Ferreira Alves de,  
1985-

Propriedades físico-mecânicas de duas espécies de bambu *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* termorretrificadas / Mayra Ferreira Alves de Oliveira - 2012.

65 f. : il.

Orientador: Alexandre Miguel do Nascimento.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais.

Bibliografia: f. 45-50.

1. Bambú - Teses. 2. Bambu - Tratamento térmico - Teses. 3. Bambu - Propriedades mecânicas - Teses. 4. Bambu - Cor - Teses. I. Nascimento, Alexandre Miguel do, 1961- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E  
FLORESTAIS**

**MAYRA FERREIRA ALVES DE OLIVEIRA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 31/05/2012

---

Alexandre Miguel do Nascimento. Prof. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Roberto Carlos Costa Lelis. Prof. Dr. UFRRJ

---

Juarez Benigno Paes. Prof. Dr. UFES

## Dedico

*A Deus, por sua graça, poder e fidelidade.*

*A minha melhor amiga e irmã, Mayara,  
por me amar e me ensinar  
incansavelmente.*

*Aos meus pais, Mario Lucio e Yara, por  
serem a base forte na jornada da minha  
vida.*

*Ao meu amado, Parfait, por seu apoio e  
incentivo nesse estudo. E ainda por seu  
companherismo, dedicação e amor.*

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela oportunidade de realização do curso de pós-graduação em Ciências Ambientais e Florestais.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador professor Dr. Alexandre Miguel do Nascimento que teve grande peso na mudança para área de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais. Além do apoio e paciência nos ensinamentos e instruções tanto profissionais quanto pessoais que levarei por toda vida.

A minha co-orientadoraprofessora Dr<sup>a</sup> Rosilei A. Garcia por seus ensinamentos, atenção e paciência disponíveis sempre que precisei para tirar minhas dúvidas.

Ao professor Dr. Azarias Machado de Andrade pelo apoio e pelos ensinamentos na realização prática desse estudo.

Aos funcionários Dinaldo, Apolinário, Daniel, Lucas e Fagner “Baiano” do Laboratório de Processamento Mecânico da Madeira por toda ajuda na coleta e preparação do material para dar início ao trabalho.

As minhas amigas Sara e Luana, pelo acolhimento e carinho.

A minha vizinha Vânia e sua família por me abrigarem com tanto amor nos momentos finais da minha dissertação e ainda pelo carinho e ensinamentos cristãos.

Aos meus amigos Milene, Juliana, Elaine, Giseli, Miriam, Paula, Vitor “Monstrinho”, Cintia, Carlos Alho, Pablo, que nesses dois anos de pesquisa me apoiaram e ajudaram no laboratório, nos estudos, nas disciplinas, nos momentos de descontração.

A minha amiga Fernanda Ventorin pela amizade, pelos conselhos motivadores para meus estudos e minha vida.

Aos amigos e irmãos Valmirene, Patrícia, Pr. Aldomir, Pr. Guilherme, Mônica pelas incontáveis orações por minha vida.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma participaram desta importantíssima etapa de minha vida.

## RESUMO

OLIVEIRA, Mayra Ferreira Alves de. **Propriedades físico-mecânicas das espécies de bambu *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* termorretrificadas.** 2012. 52p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

Apesar das vantagens do bambu em termos de versatilidade e disponibilidade, o mesmo é um material higroscópico, apresentando problemas de instabilidade dimensional, além de apresentar baixa durabilidade frente ao ataque de fungos e insetos. Tratamentos termorretrificadores podem ser aplicados ao bambu visando melhorar sua instabilidade dimensional, entretanto, o tratamento também pode afetar a resistência mecânica e o aspecto estético do material. Neste contexto, o objetivo principal do trabalho foi avaliar algumas propriedades físicas e mecânicas de duas espécies de bambu, antes e após a termorretrificação, a e alteração da cor original após a termorretrificação. Foram utilizados colmos maduros de duas espécies: *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*. A termorretrificação foi realizada em um forno mufla elétrico laboratorial sob três temperaturas: 160, 180 e 200°C durante 15, 30 e 45 minutos. As análises colorimétricas foram realizadas com o auxílio de um espectrofotômetro de acordo com a *Comission International de L'Eclairage* - CIE no espaço CIE-L\*a\*b\*. As densidades básicas das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* foram de 0,53 g.cm<sup>-3</sup> e 0,70 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente. Na espécie *Phyllostachys aurea*, a contração volumétrica foi maior para a temperatura de 200°C, mas para *Bambusa tuldoides* foi menor para a mesma temperatura. A taxa de absorção de água para as amostras termorretrificadas foi de aproximadamente 50% menor para a espécie *Phyllostachys aurea* e de 60% para *Bambusa tuldoides*, quando comparada à testemunha. A temperatura de termorretrificação causou uma redução no teor de umidade de equilíbrio para ambas as espécies. A termorretrificação não afetou a resistência à compressão. Para a espécie *Bambusa tuldoides*, a resistência ao cisalhamento foi 47% menor para o maior tempo de tratamento (45 minutos) e 59% menor para a temperatura mais severa (200°C) em relação à testemunha. Para a espécie *Phyllostachys aurea*, a temperatura de 200°C causou uma redução de 31,5% na resistência ao cisalhamento em relação à testemunha. O módulo de elasticidade à flexão apresentou um ligeiro aumento com o aumento da temperatura. A variação do módulo de elasticidade à flexão para a espécie *Phyllostachys aurea* foi maior na temperatura de 180°C (36,29%), enquanto para a espécie *Bambusa tuldoides*, esta variável foi afetada tanto pelo tempo quanto pela temperatura de termorretrificação. A temperatura e o tempo de termorretrificação afetaram a cor de ambas as espécies.

**Palavras-chave:** propriedades físico-mecânicas do bambu, colorimetria, termorretrificação.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Mayra Ferreira Alves de. **Physical-mechanical properties of species of heat-treated bamboo *Phyllostachys aurea* and *Bambusa tuldoides***. 2012. 52p. Dissertation (Master in Environmental and Forestry Sciences). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

Despite the advantages of bamboo in terms of versatility and availability, it is a hygroscopic material, presenting problems of dimensional instability, besides its low durability against the attack of fungi and insects. Heat treatments can be applied to bamboo to improve its dimensional stability, however, the treatment can also affect the strength and aesthetic appearance of the material. In this context, the main objective of the study was to evaluate some physical and mechanical properties of two bamboo species, before and after heat treatment, a color change the original after heat treatment. We used mature culms of two species: *Bambusa tuldoides* and *Phyllostachys aurea*. The heat treatment was performed in a laboratory electric muffle furnace under three temperatures: 160, 180 and 200°C for 15, 30 and 45 minutes. The colorimetric analyzes were performed with the aid of a spectrophotometer according to the Commission International de L'Eclairage - CIE space CIE-L \* a \* b \*. The basic densities of species *Bambusa tuldoides* and *Phyllostachys aurea* were of 0.53 g.cm<sup>-3</sup> and 0.70 g.cm<sup>-3</sup>, respectively. In species *Phyllostachys aurea*, the shrinkage was greater for the temperature of 200 ° C, but for *Bambusa tuldoides* was lower for the same temperature. The rate of water absorption for the samples heat treatment was approximately 50% lower for the species *Phyllostachys aurea* and from 60% to *Bambusa tuldoides* compared to the control. The temperature heat treatment caused a reduction in equilibrium moisture content for both species. The heat treatment did not affect the compressive strength. For *Bambusa tuldoides*, the shear strength was 47% lower for longer treatment (45 minutes) and 59% lower for more severe temperature (200°C) compared with the control. For the species *Phyllostachys aurea*, a temperature of 200°C caused a reduction of 31.5% in shear strength compared to the control. The flexural modulus increased slightly with increasing temperature. The variation of the flexural modulus for the species *Phyllostachys aurea* was highest at the temperature of 180°C (36.29%), whereas for *Bambusa tuldoides*, this variable was affected both by temperature and by time heat treatment. The temperature and time of heat treatment affect the color of both species.

**Keywords:** physical and mechanical properties of bamboo, colorimetry, heat treatment.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Características da espécie <i>Phyllostachys aurea</i> . (A) Aspecto geral do bambu. (B) Detalhe dos colmos (Fonte: www.bambooweb.info).....	4
<b>Figura 2.</b>	Características da espécie de <i>Bambusa tuldoides</i> (A) Aspecto geral do bambu. (B) Detalhe do colmo (Fonte: www.bambooweb.info).....	5
<b>Figura 3.</b>	Estrutura subterrânea do bambu. (A) Rizoma leptomorfo ou alastrantes. (B) Rizoma paquimorfo ou entouceirantes (Fonte: VASCONCELLOS, 2012).....	6
<b>Figura 4.</b>	Seção longitudinal do colmo de bambu (Fonte: CRUZ, 2002).....	6
<b>Figura 5.</b>	Estrutura anatômica de colmos de <i>Phyllostachys edulis</i> , seção transversal (Fonte: LIESE, 1998).....	7
<b>Figura 6.</b>	Células parenquimáticas de <i>Phyllostachys viridiglaucescens</i> , com inclusões de amido - seção transversal (Fonte: LIESE, 1998). .....	8
<b>Figura 7.</b>	Efeito da termorretificação na estrutura anatômica da espécie <i>Dendrocallamus giganteus</i> . (A) Amostra controle com grande quantidade de amido na sua forma globular típica. (B) Amostra tratada a 140°C, na qual a estrutura das células permanece praticamente inalteradas. (C) Amostra tratada a 180°C com mudanças estruturais mais drásticas. (D) Amostra tratada a 180°C com células do parênquima severamente contraídas (Fonte: COLLA et al., 2011).....	12
<b>Figura 8.</b>	Efeito da termorretificação na estrutura anatômica da espécie <i>Dendrocallamus giganteus</i> . (A) Amostra tratada a 220°C apresentando fissuras nos grãos de amido. (B) Amostra tratada a 220°C com grãos de amido já se rompendo. (C) Amostra tratada a 260°C com um processo contínuo de degradação do parênquima. (D) Amostra tratada a 300°C apresentando uma estrutura semelhante ao carvão vegetal (Fonte: COLLA et al., 2011).....	13
<b>Figura 9.</b>	Diferença na cor das amostras termorretificadas de <i>Dendrocallamus giganteus</i> (Fonte: BERALDO et al. 2009).....	13
<b>Figura 10.</b>	(A) Povoamento de <i>Bambusa tuldoides</i> . (B) Coleta dos colmos de <i>Phyllostachys aurea</i> . (C) Colmos de <i>Bambusa tuldoides</i> seccionados nas dimensões dos ensaios físico-mecânicos.....	15
<b>Figura 11.</b>	(A) Amostras no interior do forno antes do tratamento de termorretificação. (B) Amostras no interior do forno após do tratamento de termorretificação.....	16
<b>Figura 12.</b>	Etapas do tratamento de termorretificação aplicado às espécies de bambu. 1: aquecimento até 100°C. 2: aumento da temperatura de 100°C até a temperatura de termorretificação. 3: tratamento de termorretificação. 4: resfriamento.....	16

<b>Figura 13.</b>	Amostra de cisalhamento da espécie <i>Phyllostachys aurea</i> acoplada ao dispositivo de madeira. (A) Vista frontal. (B) Vista superior. (C) Vista lateral esquerda.....	19
<b>Figura 14.</b>	Delineamento experimental.....	22
<b>Figura 15.</b>	Densidade aparente da espécie <i>Bambusa tuldoides</i> em função da temperatura de termorreificação.....	26
<b>Figura 16.</b>	Coeficiente de contração volumétrica das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função da temperatura de termorreificação.....	28
<b>Figura 17.</b>	Taxa de absorção de água das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorreificação.....	30
<b>Figura 18.</b>	Teor de umidade de equilíbrio das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorreificação.....	31
<b>Figura 19.</b>	Resistência à compressão das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função da temperatura de termorreificação.....	32
<b>Figura 20.</b>	Resistência ao cisalhamento da espécie <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo de termorreificação e das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorreificação.....	34
<b>Figura 21.</b>	Módulo de elasticidade das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo de termorreificação e da espécie <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo de termorreificação.....	35
<b>Figura 22.</b>	Variação do módulo de elasticidade das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorreificação.....	37
<b>Figura 23.</b>	Coordenada L* das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorreificação.....	38
<b>Figura 24.</b>	Coordenada a* das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorreificação.....	40
<b>Figura 25.</b>	Coordenada b* das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorreificação.....	41
<b>Figura 26.</b>	Alteração da cor da espécie <i>Phyllostachys aurea</i> para as diferentes condições de tempo e temperatura de termorreificação.....	42
<b>Figura 27.</b>	Alteração da cor da espécie <i>Bambusa tuldoides</i> para as diferentes condições de tempo e temperatura de termorreificação.....	43

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Resultados ordenados em ordem crescente dos valores de densidade básica obtidos para as espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> .....	23
<b>Tabela 2.</b>	Resultados obtidos para as densidades básica e aparente da espécie <i>Phyllostachys aurea</i> em função do tempo de termorretificação.....	24
<b>Tabela 3.</b>	Resultados obtidos para as densidades básica e aparente da espécie <i>Phyllostachys aurea</i> em função da temperatura de termorretificação.....	25
<b>Tabela 4.</b>	Resultados obtidos para as densidades básica e aparente da espécie <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo de termorretificação.....	25
<b>Tabela 5.</b>	Resultados obtidos para as densidades básica e aparente da espécie <i>Bambusa tuldoides</i> em função da temperatura de termorretificação.....	25
<b>Tabela 6.</b>	Resultados obtidos para o coeficiente de contração volumétrica das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorretificação.....	27
<b>Tabela 7.</b>	Resultados obtidos para a taxa de absorção de água das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorretificação.....	29
<b>Tabela 8.</b>	Resultados obtidos para o teor de umidade de equilíbrio das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e temperatura de termorretificação.....	30
<b>Tabela 9.</b>	Resultados obtidos para a resistência à compressão das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorretificação.....	32
<b>Tabela 10.</b>	Resultados obtidos para a resistência ao cisalhamento das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorretificação.....	33
<b>Tabela 11.</b>	Resultados obtidos do módulo de elasticidade das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorretificação.....	34
<b>Tabela 12.</b>	Resultados obtidos para a variação do módulo de elasticidade das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorretificação.....	36
<b>Tabela 13.</b>	Resultados obtidos para a coordenada L* das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorretificação.....	38

<b>Tabela 14.</b>	Resultados obtidos para a coordenada a* das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorretificação.....	39
<b>Tabela 15.</b>	Resultados obtidos para a coordenada b* das espécies <i>Phyllostachys aurea</i> e <i>Bambusa tuldoides</i> em função do tempo e da temperatura de termorretificação.....	41

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Generalidades sobre o bambu.....	3
2.2 Espécies estudadas.....	4
2.2.1 <i>Phyllostachys aurea</i> Rivière & C. Rivière.....	4
2.2.2 <i>Bambusa tuldoides</i> Munro.....	4
2.3 Características e propriedades do bambu.....	5
2.3.1 Características dos colmos.....	5
2.3.2 Propriedades físicas e mecânica do bambu.....	8
2.4 Tratamento de termorretificação.....	9
2.4.1 Características do material termorretificado.....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Coleta e preparo do material.....	15
3.2 Tratamento de termorretificação dos colmos.....	15
3.3 Ensaio das propriedades físicas.....	17
3.3.1 Densidade básica, aparente e teor de umidade de equilíbrio.....	17
3.3.2 Coeficiente de contração volumétrica e taxa de absorção de água.....	17
3.4 Ensaio das propriedades mecânicas.....	18
3.4.1 Resistência à compressão.....	18
3.4.2 Resistência ao cisalhamento.....	18
3.4.3 Módulo de elasticidade à flexão.....	19
3.5 Análises colorimétricas.....	20
3.6 Análises estatísticas.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 Propriedades físicas do bambu.....	23
4.1.1 Densidade básica e aparente.....	23
4.1.2 Coeficiente de contração volumétrica.....	26
4.1.3 Taxa de absorção de água.....	28
4.1.4 Teor de umidade de equilíbrio.....	30
4.2 Propriedades mecânicas do bambu.....	31
4.2.1 Resistência à compressão.....	31
4.2.2 Resistência ao cisalhamento.....	33
4.2.3 Módulo de elasticidade à flexão.....	34
4.3 Variação da cor do bambu.....	37
4.3.1 Coordenada L*.....	37
4.3.2 Coordenada a*.....	39
4.3.3 Coordenada b*.....	40
5 CONCLUSÕES.....	44
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXOS.....	51

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de recursos renováveis abre grande perspectiva de aptidão e sustentabilidade. O bambu, por exemplo, é um recurso florestal que apresenta desenvolvimento excepcional, podendo ser utilizado na indústria da construção por apresentar propriedades físico-mecânicas adequadas, quando respeitadas suas melhores orientações estruturais, e alta durabilidade, quando tratado com substâncias químicas preservativas ou à altas temperaturas, podendo ser uma alternativa interessante à madeira nativa, ao concreto e ao aço.

As pesquisas destinadas ao desenvolvimento tecnológico de materiais e processos de construções sustentáveis receberam nas últimas décadas investimentos crescentes, estimulados por agências governamentais, instituições de pesquisa e pelo setor privado de diversos países, como Colômbia e Filipinas, como estratégia de minimizar o uso de recursos não renováveis, economizar energia e reduzir perdas, visto que a indústria da construção civil (particularmente construção, operação e demolição de edifícios) é a atividade humana com maior impacto sobre o meio ambiente (CIB, 1997).

Em vários países asiáticos, como a Indonésia, mais precisamente na ilha de Bali, em 2010, foi construída uma Escola Ecológica com estrutura inteiramente de bambu. Ainda nessa ilha, há o maior edifício comercial construído inteiramente com bambu. Na província de Vinh Phuc, no Vietnã, pode-se ver um bom exemplo de arquitetura exclusivamente, com bambu. O projeto que tinha como objetivo principal explorar as oportunidades na área de projetos estruturais com bambu ganhou o Prêmio Internacional de Arquitetura do Chicago Athenaeum Museum, dos Estados Unidos.

Na América do Sul, também se encontra com facilidade construções de bambu. Alguns exemplos de construções com bambu foram idealizadas pelo arquiteto Simón Vélez, que utilizou o bambu para a construção de casas de baixo custo e resistentes aos abalos sísmicos. O arquiteto também projetou outras estruturas como o Museu do México e uma igreja privada em Cartagena, na Colômbia.

Nascido na Colômbia, Hidalgo Lopez é outro arquiteto que também tem sua vida dedicada ao bambu. Em seu primeiro projeto construiu um quiosque com 23 metros de diâmetro usando bambu.

No Brasil, o interesse na utilização do bambu vem crescendo tanto ao longo dos anos que agências financiadoras de pesquisas lançaram editais no intuito de incentivar pesquisas sobre esse material. O governo federal sancionou a Lei nº 12.484 de 8 de setembro de 2011, que dispõe sobre a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu e dá outras providências.

As espécies encontradas no Brasil são na sua maioria exóticas provenientes do continente asiático, tais como *Bambusa vulgaris*, *Bambusa tuldoides*, *Dendrocalamus strictus*, *Dendrocalamus giganteus* e *Phyllostachys aurea* (AZZINI et al., 1997). As espécies nativas concentram-se em alguns fragmentos da Mata Atlântica, e na Região Amazônica, notadamente no Estado do Acre com a espécie *Guadua taquara*. Entretanto, estudos mais aprofundados sobre este material são necessários.

Segundo Azzini et al. (1997), a planta apresenta elevada resistência físico-mecânica, além de leveza e flexibilidade. O bambu apresenta excepcional vigor vegetativo, que resulta no rápido desenvolvimento axial dos colmos (7,88 e 22,0 cm.dia<sup>-1</sup> para *Guadua angustifolia* e *Dendrocalamus giganteus*, respectivamente) e apresenta desenvolvimento máximo em altura no período de 80 a 110 dias.

No entanto, o bambu é um material higroscópico, que perde e ganha umidade de acordo com a umidade relativa do ambiente até atingir sua umidade de equilíbrio higroscópico

e também é suscetível ao ataque de fungos apodrecedores e insetos, e de difícil tratamento com preservativos (LIESE, 1998; WANG et al., 1998).

Diversos materiais usados na construção civil necessitam de investimentos nos processos de tratamento. Como exemplo, temos o aço, que necessita de uma camada protetora para evitar a oxidação; o concreto que exige uma impermeabilização, evitando agressões proporcionadas quimicamente por intempéries; e a madeira que precisa de secagem e preservação. O bambu para garantir sua durabilidade e prolongar sua vida útil não seria diferente, já que esse material possui altos teores de amido em suas células parenquimáticas, o que o torna atrativo ao ataque de insetos (coleópteros) e fungos após a coleta.

Existem vários métodos de tratamento de bambu, tais como os métodos tradicionais de cura na touceira, por imersão em água, por ação do fogo e por ação de fumaça. Há também os processos químicos, tais como imersão em sais hidrossolúveis, substituição da seiva por sais hidrossolúveis pela transpiração e ainda os tratamentos sob pressão. Em autoclave e o método de Boucherie modificado. Cada um desses métodos tem suas peculiaridades e restrições, e o mais usado para larga escala é o tratamento sob pressão, apesar do método de autoclave ser principalmente usado em taliscas e ripas. Já o método de Boucherie modificado tem restrições quanto a utilização de elementos químicos preservativos que são agressivos ao ambiente.

Nos últimos anos houve um crescente interesse em pesquisas sobre o processo de modificação térmica da madeira por causa dos benefícios proporcionados ao produto e ao forte apelo ambiental já que não são utilizados produtos químicos. A termorretificação é um processo em que o calor é aplicado ao material, provocando o início da degradação de seus componentes químicos fundamentais, sobretudo as hemiceluloses, que são os mais sensíveis à ação do calor, resultando na obtenção de um produto sólido, com características diferenciadas, quando comparado ao material em condições normais, algumas delas podendo se tornar interessantes para determinadas aplicações (BRITO et al., 2006).

Dessa forma, a termorretificação surge como uma alternativa para melhorar a utilização de madeiras e materiais lignocelulósicos com características indesejáveis do ponto de vista tecnológico, diversificando seus usos e ampliando seu potencial econômico. De tal modo, o tratamento também pode ser aplicado às espécies de bambu, que apesar da grande disponibilidade, sofrem limitações quanto ao seu amplo emprego, por causa de inadequação de uma ou mais propriedades para fins específicos.

O grau das modificações sofridas pelos polímeros constituintes da madeira e do bambu e, conseqüentemente, os efeitos do tratamento de termorretificação nas propriedades desses materiais são condicionados por fatores como temperatura e duração do tratamento, taxa de aquecimento, atmosfera circundante, como uso de pressão, água ou apenas ar quente e também da sua interação com a espécie utilizada. Da mesma maneira, esses fatores condicionam os efeitos negativos, advindos do emprego de temperaturas elevadas, que promovem a degradação da estrutura interna da madeira assim como do bambu e, conseqüente, perda de resistência mecânica.

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da termorretificação nas propriedades físico-mecânicas e a alteração da cor das espécies de bambu *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades sobre o bambu

Botanicamente, o bambu pertence à família Gramineae (Poaceae), sub-família Bambusoideae, apresenta-se com aproximadamente 45 gêneros e mais de 1.300 espécies distribuídas pelo mundo, concentrando-se na Ásia e ilhas adjacentes e, no Hemisfério Ocidental, desde o sul dos Estados Unidos até a Argentina e Chile (HIDALGO LOPEZ, 2003).

Segundo Londoño (2002), o Brasil conta com a maior diversidade e mais alto índice de florestas endêmicas de bambu em toda a América Latina, contando com 137 espécies em 17 gêneros, o que representa 32% das espécies e 85% dos gêneros da América Latina. Os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Bahia e Paraná possuem a maior diversidade de florestas de bambu, sendo a Floresta Atlântica a principal responsável por essa diversidade, estendendo-se desde a Paraíba até o Rio Grande do Sul.

Erroneamente, o bambu é considerado como uma árvore, entretanto, trata-se de uma herbácea lenhosa gigante. É uma planta predominantemente tropical e de crescimento mais rápido do que qualquer outra planta do planeta, necessitando em média de 3 a 6 meses para atingir sua altura máxima, de até 30 m (JARAMILLO, 1992).

Os bambus nascem com o diâmetro que terão por toda a sua vida. Este diâmetro é maior na base e vai diminuindo, com a altura, em direção ao topo, mas nunca aumenta com o passar dos anos, o que ocorre normalmente com as espécies arbóreas. Atinge o seu diâmetro máximo por volta do quarto ou quinto ano após o plantio. O comprimento de seus internós aumenta da base até o meio do colmo, diminuindo em direção ao topo, tendo em média de 20 a 35 cm, na maioria das espécies (PEREIRA & BERALDO, 2007).

Não há nenhuma outra espécie florestal que possa competir com o bambu em velocidade de crescimento e de aproveitamento por área (JARAMILLO, 1992). Por se tratar de uma planta tropical, perene, renovável e que produz colmo anualmente sem necessidade de replantio, o bambu apresenta um grande potencial agrícola. Além disso, é um eficiente sequestrador de carbono e apresenta ótimas características físicas, químicas e mecânicas.

Atualmente, o bambu vem sendo reconhecido como uma espécie florestal de grande valor, em decorrência de suas amplas possibilidades agrônômicas e tecnológicas, tais como matéria-prima fibrosa industrial, artesanal e como material estrutural para construções rurais. Como matéria-prima industrial a maior utilização do bambu é para de celulose, papel e energia.

Apesar das suas excelentes propriedades e do interesse crescente pela sua utilização por parte de pesquisadores e empresários, o potencial do bambu tem sido pouco explorado. Entre as principais qualidades do bambu está a rápida propagação e o crescimento acelerado da planta. O bambu cresce 30% mais rápido do que as espécies de árvores consideradas de rápido crescimento, e graças a esse crescimento vigoroso, seu rendimento em peso por hectare ao ano é 25 vezes maior que o da madeira. Isto significa que o bambu é um recurso renovável, o que não ocorre com outros materiais, que estão se tornando escassos e já ameaçam inviabilizar alguns sistemas de produção por falta de matéria prima e conseqüente aumento dos preços (CRUZ, 2002).



## 2.2 Espécies estudadas

### 2.2.1 *Phyllostachys aurea* Rivière & C. Rivière

A espécie *Phyllostachys aurea* Rivière & C. Rivière, conhecida vulgarmente como cana-da-Índia, vara de pescar ou bambu-jardim, é nativa da China, mas também é encontrada no Japão, Taiwan, América Central e América do Sul. Esta espécie pertence à família Poacea, sub família Bambusoideae, tribo Bambuseae, subtribo Shibataeinae. É uma das espécies mais conhecidas em todo o mundo e a que melhor tem se adaptado ao clima temperado, por causa dos seus rizomas leptomorfos. Sua altura varia em média de 6 a 12 m e o diâmetro entre 2 e 7 cm. Seus colmos são verdes quando jovens tornando-se amarelo-esverdeados com o passar do tempo. O comprimento dos internódios aumenta da base para o topo (OHRNBERGER, 1999 citado por CRUZ, 2002) (Figura 1).

No Brasil é uma das espécies mais utilizadas para a fabricação de móveis, varas de pescar e estruturas trançadas. Diferentemente da Ásia, aqui ela é usada em detrimento das espécies de diâmetros maiores. Sua aplicação se deve à alta resistência ao ataque de *Dinoderus minutus*, inseto que ataca bambus, e por causa de se curvar facilmente quando suas fibras são expostas ao aquecimento. Segundo Cruz (2002), é uma espécie pouco estudada do ponto de vista de suas propriedades físicas, mecânicas e mesoestruturais.



**Figura 1.** Características da espécie *Phyllostachys aurea*. (A) Aspecto geral do bambu. (B) Detalhe dos colmos (Fonte: [www.bambooweb.info](http://www.bambooweb.info)).

### 2.2.2 *Bambusa tuldoides* Munro

A espécie *Bambusa tuldoides* possui colmos de paredes grossas em relação ao seu diâmetro, dando ao mesmo uma resistência mecânica alta (ALVES et al., 2003 citado por TEIXEIRA, 2006). O diâmetro varia de 3 a 8 cm e sua altura de 8 a 12 m. Tem cor verde, e também uma variedade amarela, apresenta uma notável linearidade em seus colmos. É bastante empregada no Vietnã para produção de móveis. No Brasil, é conhecida em algumas regiões como bambu crioulo e é uma das espécies preferidas como tutor no cultivo de tomate e para cercados (SILVA, 2005).

Segundo Nascimento (2002), a espécie apresenta valores de resistência à compressão paralela às fibras variando de 65,8 a 88,2 MPa, e de resistência ao cisalhamento de 11,5 a 15,8 MPa. O valor médio de resistência à compressão dessa espécie pode ser comparado ao da madeira de aroeira do sertão (*Astronium urundeuva*). O mesmo autor encontrou valores de compressão equivalente a 75,4 MPa para *Bambusa tuldoides*, enquanto Brotero (1956) obteve valores de 77,1 MPa a 15% de umidade para a madeira de aroeira do sertão. O valor médio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras encontrado por Nascimento (2002), de 13,8 MPa para essa espécie de bambu foi similar ao valor médio obtido também por Brotero (1956) para a madeira de ipê-roxo (*Tecoma inpetiginosa*) de 14,2 MPa. Em relação à densidade, Nascimento (2002) encontrou valores de 0,65 a 0,82 g.cm<sup>-3</sup>, com média de 0,71 g.cm<sup>-3</sup>, valores estes, que o autor afirma serem comparáveis aos encontrados em madeiras de folhosas tropicais.



**Figura 2.** Características da espécie de *Bambusa tuldoides*. (A) Aspecto geral do bambu. (B) Detalhe do colmo (Fonte: [www.bambooweb.info](http://www.bambooweb.info)).

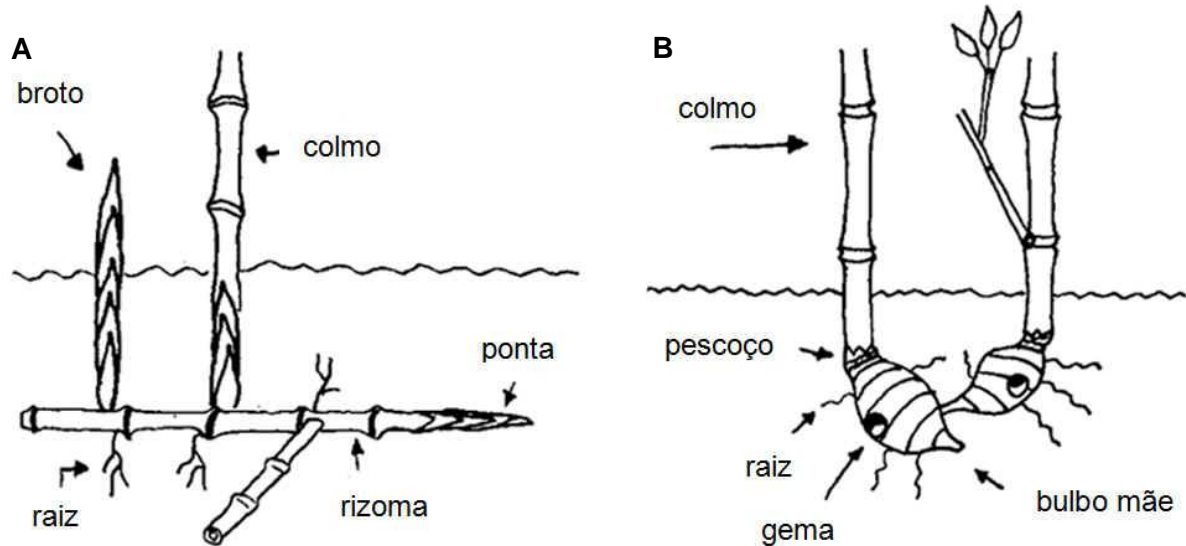
## 2.3 Características e propriedades do bambu

### 2.3.1 Características dos colmos

Assim com as árvores, o bambu é constituído de duas partes, uma aérea e outra subterrânea. A parte aérea é chamada de colmo, sendo normalmente oca, enquanto a parte subterrânea é formada por rizomas (caules subterrâneos) e raízes.

Referente ao sistema radicular, os bambus classificam-se em três grupos. O primeiro grupo é dos paquimorfos ou entouceirantes (ex.: *Bambusa*, *Guadua* e *Dendrocalamus*), os quais são de origem tropical, apresentam-se em forma de bulbo com rizomas curtos e grossos com gemas laterais, e geram um colmo no pescoço do rizoma. As moitas são compactas, e geralmente se encontra dificuldades ao caminhar entre os bambus (HIDALGO LOPEZ, 2003) (Figura 3).

O segundo grupo é dos leptomorfos ou alastrantes (ex.: *Phyllostachys*, *Arundinaria* e *Sasa*), os quais apresentam rizomas que se desenvolvem no solo de forma a ocupar grandes áreas. O terceiro grupo é chamado de anfipodiais, que combinam características dos dois tipos (*Chusquea*), conforme observado por Hidalgo Lopez (1974).

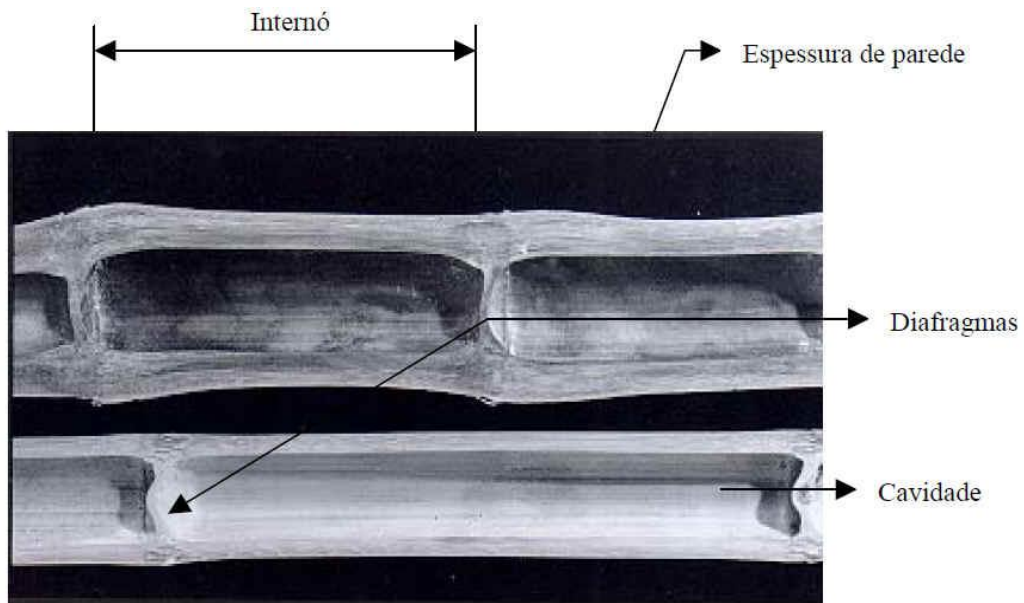


**Figura 3.** Estrutura subterrânea do bambu. (A) Rizoma leptomorfo ou alastrantes. (B) Rizoma paquimorfo ou entouceirantes (Fonte: VASCONCELLOS, 2012).

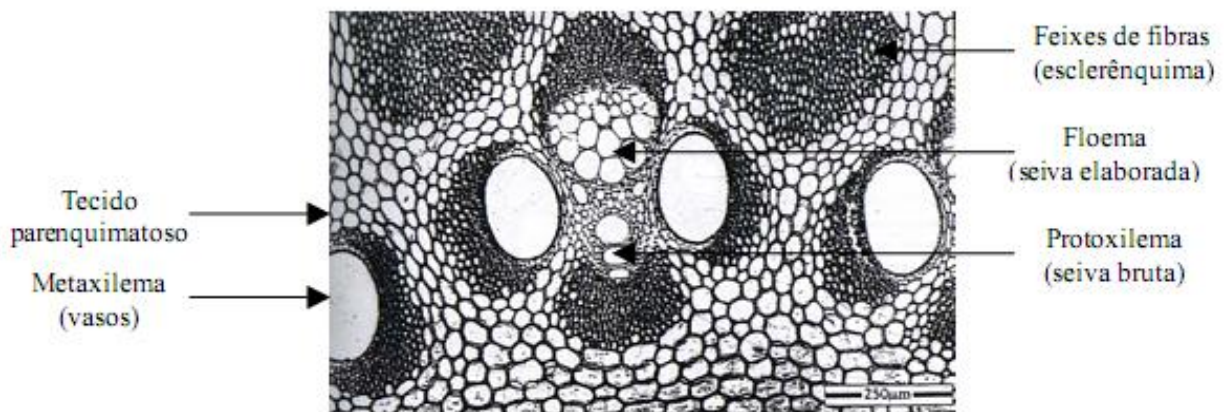
A estrutura anatômica dos colmos é relativamente simples, já que os bambus, diferentemente das árvores não apresentam crescimento secundário. Entretanto, sua estrutura determina suas propriedades tecnológicas. Assim, a importância em entender sua composição química e anatômica.

Os colmos apresentam um formato cilíndrico, normalmente ocos, sendo caracterizados pelos nós e nos internós ou internódios, as células são orientadas axialmente. Por se tratarem de peças ocas, os nós promovem a conexão transversal com a parede do colmo via diafragma (Figura 4). Por causa da ausência de elementos radiais no bambu, movimento de distribuição transversal de nutrientes ou líquidos é dificultado (LIESE, 1998).

O tecido do colmo é composto por células parenquimáticas, onde estão embebidos os feixes fibrovasculares compostos de vasos (metaxilema), tubos de seiva e células acompanhantes (floema) e fibras (Figura 5). Geralmente, apresentam-se na proporção de 52% de parênquima, 40% de fibras e 8% de vasos (GROSSER & LIESE, 1971).



**Figura 4.** Seção longitudinal do colmo de bambu (Fonte: CRUZ, 2002).

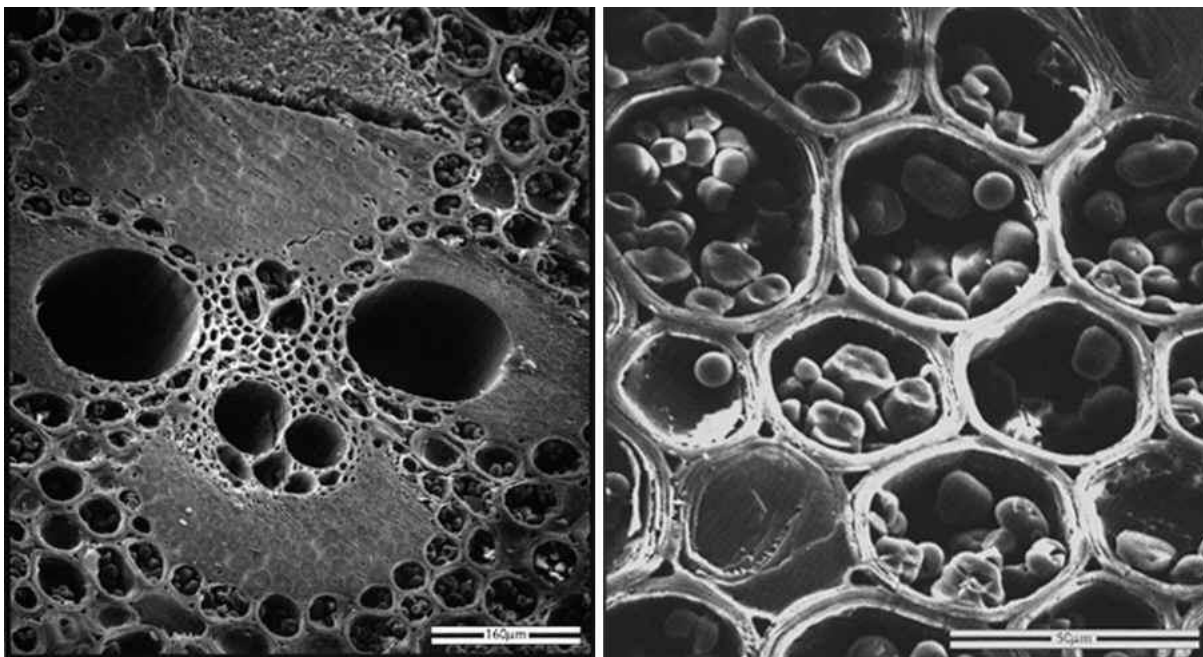


**Figura 5.** Estrutura anatômica de colmos de *Phyllostachys edulis*, seção transversal (Fonte: LIESE, 1998).

Segundo Beraldo & Zoulalian (1995), a estrutura anatômica do bambu proporciona resistência por causa da concentração de fibras na região externa e flexibilidade por causa da concentração de vasos e células de parênquima na região interna.

As células de parênquima dos nós e diafragmas têm alto teor de amido (Figura 6), e as fibras e o protoxilema podem apresentar também inclusões de amido (LIESE, 1998). O amido fornece energia para o espessamento das paredes celulares e é altamente atrativo a organismos xilófagos, conferindo ao bambu uma baixa durabilidade natural.

Nas células pode-se observar a presença de perfurações (“pits” ou pontoações), de fundamental importância para que seja eficiente a transferência transversal de líquidos. Segundo Lepage (1986), essas características anatômicas são responsáveis pela penetração do óleo durante o processo de tratamento térmico com óleo quente, pois, embora os elementos de vasos sejam bem mais permeáveis, o fluxo lateral é restrito pela ausência de células radiais.



**Figura 6.** Células parenquimáticas de *Phyllostachys viridiglaucescens*, com inclusões de amido em seção transversal (Fonte: LIESE, 1998).

Os estômatos, com suas células-guarda, estão uniformemente distribuídas ao longo da epiderme, embora mais comum na porção basal do colmo do que no alto. Eles são quase quadrangulares em vista frontal. Muitas células parenquimáticas de paredes finas, existem no âmbito dos estômatos. Abaixo da epiderme encontra-se a hipoderme, composta de várias camadas de células de paredes espessas esclerenquimáticas.

A composição compacta do córtex e do revestimento de cera evitam a perda de água do colmo, semelhante à casca de árvores. Ela também impede que a captação lateral de líquidos, o que restringe o tratamento por imersão simples em conservantes químicos (LIESE, 1980, 1997; WU 1994).

Segundo alguns autores, dentre eles, Liese (1998) e Hidalgo Lopez (2003), o teor de lignina e a espessura das paredes celulares afetam as propriedades físicas e mecânicas do bambu. O processo de lignificação do *Phyllostachys heterocycla* foi estudado por ITOH (1990), acompanhando o desenvolvimento de colmos até a idade de 2 anos. Segundo o autor, a lignificação ocorre do ápice para a base e de fora para dentro do colmo. As células da epiderme e as fibras antecedem o parênquima neste contexto, o qual só é intensamente lignificado após o surgimento das hastes laterais.

### 2.3.2 Propriedades físicas e mecânicas do bambu

O estudo das propriedades físicas do bambu é de grande importância para a área da construção civil, já que a densidade influencia a resistência mecânica, a qual é afetada pela umidade.

As alterações dimensionais do bambu, causadas pela desorção e, ou, adsorção de água, estão entre as propriedades físicas mais importantes, afetando e limitando consideravelmente o seu uso industrial em vários ramos de utilização. Contrações elevadas podem trincar o bambu, e expor o seu interior à infestação de agentes patogênicos, comprometendo sua durabilidade. Os colmos jovens apresentam contrações maiores que os colmos já maduros, com cerca de 3 a 4 anos de idade (HIDALGO LOPEZ, 1974). A retratibilidade é influenciada

ainda pelo estágio de maturação das fibras e densidade dos feixes fibrovasculares, e os colmos mais velhos apresentam-se mais estáveis.

A massa específica do bambu aumenta da camada interna para a externa, e ao longo do colmo, conforme constatado por diversos autores (LIESE, 1998; HIDALGO LOPEZ, 2003). Nascimento et al. (2002) estudaram o *Bambusa tuldoides* e concluíram que ocorre um aumento de densidade da base para o ápice do colmo, uma diminuição do teor de umidade da base para o ápice e maiores contrações na área basal, em função de sua menor massa específica, ao contrário do que acontece com as angiospermas dicotiledôneas.

O teor de umidade é definido como a porcentagem entre a massa de água contida no bambu pela massa do bambu seco. O teor de umidade é um fator importante que define as propriedades mecânicas do bambu. Segundo Lee et al. (1994), citado por Berndsen (2008), o teor de umidade e a resistência à flexão e compressão mostravam variações significantes do estado verde ao seco.

O conhecimento prévio das diferentes propriedades mecânicas do bambu pode servir de subsídio para os projetistas, no que tange a atribuição de funções específicas para cada espécie, no contexto da construção civil. Por exemplo, espécies com elevada resistência à compressão poderiam ser utilizadas como apoios, enquanto aquelas que se comportam bem à tração podem ser empregadas como tirantes.

As propriedades mecânicas dos colmos de bambu devem ser observadas de acordo com os seguintes fatores; clima, topografia, solo, altitude, idade do colmo e a parte do colmo em questão, ou seja, se a amostra é de nó ou internódio, se provém da base, meio ou ápice, e ainda se é referente à parte interna ou externa da parede do colmo (HIDALGO LOPEZ, 2003). Zhou (1981) também afirmou que as propriedades mecânicas dos colmos de bambu são determinadas pela sua massa específica, a qual varia, em média de 0,50 a 0,90 g.cm<sup>-3</sup>.

O bambu, assim como a madeira, é um material heterogêneo e anisotrópico, ou seja, apresenta módulos de elasticidade que variam conforme o sentido de aplicação das cargas. Segundo Hidalgo Lopez (1974), a resistência à compressão do bambu é aproximadamente 4 vezes menor que a resistência à tração, sendo o módulo de elasticidade à compressão ligeiramente inferior ao módulo de resistência à tração.

A idade dos colmos também afeta as suas propriedades mecânicas. Salgado et al. (1994) afirmaram que os colmos maduros apresentam melhor resistência à flexão e à compressão, em relação a colmos jovens, por tratarem-se de peças já totalmente lignificadas.

Apesar de todas as vantagens, o uso do bambu fica comprometido pela sua baixa durabilidade natural. De acordo com Liese (1998), o bambu não produz substâncias tóxicas durante sua vida diferentemente da maioria das árvores, o que favorece a sua degradação por agentes biológicos. Os principais organismos responsáveis pela degradação da madeira são fungos, insetos, térmitas e coleópteros, moluscos e crustáceos (HIGHLEY, 1999). Dentre estes, os coleópteros podem causar graves prejuízos econômicos, destacando-se o gênero *Dinoderus sp* para o caso específico do bambu.

## **2.4 Tratamento de termorreificação**

Existem algumas limitações quando se trabalha com a madeira e materiais lignocelulósicos, sendo a maioria associada às propriedades higroscópicas em combinação com a anisotropia de contração e inchamento, além da degradação biológica, também relacionada às alterações no teor de umidade (JOHANSSON, 2008). Apesar de existir há séculos, o tratamento térmico ou termorreificação é uma metodologia que vem ganhando destaque nas últimas décadas, sendo assim bastante utilizada para a melhoria das limitações tecnológicas desses materiais.

Segundo Rodrigues (2009), o tratamento térmico dado à madeira, varia desde a secagem (eliminação de umidade) até a gaseificação (produção de gás), e, no gradiente entre esses dois extremos, há eliminação e formação de diversas substâncias, segundo reações simples e complexas, resultando em alterações químicas, físicas e mecânicas tão mais significativas com o aumento da temperatura.

A termorretificação é um processo em que o calor é aplicado e que provoca o início da degradação de seus componentes químicos fundamentais, sobretudo as hemiceluloses, que são os mais sensíveis à ação do calor, resultando na obtenção de um produto sólido, com características diferenciadas, quando comparado com madeira em condições normais, algumas delas podendo tornar-se interessantes para aplicações diferenciadas da madeira (BRITO et al., 2006).

Segundo Brown et al. (1952), a degradação térmica da madeira pode ser dividida em quatro fases. A primeira fase situa-se entre a temperatura ambiente e 100°C, na qual ocorre uma baixa liberação de gases, com produção de água e óleos voláteis, e uma pequena quantidade de ácido acético e traços de metanol. A segunda fase é caracterizada pela formação de ácido pirolenhoso, ocorre entre 100 e 175°C. Nesta fase ocorre a liberação de água higroscópica e de constituição, e a última acarreta uma degradação irreversível da madeira. A terceira fase situa-se entre 175 e 350°C, na qual ocorre, em geral a decomposição das hemiceluloses. Essa fase é caracterizada por reações exotérmicas e pela formação da maioria dos destilados (alcatrão) e liberação de gases inflamáveis. A quarta fase, com temperatura acima de 350°C, ocorre após a finalização das reações exotérmicas e início da formação do carvão vegetal. A decomposição da celulose ocorre entre 330 e 370°C e o início da degradação da lignina em temperaturas acima de 370°C, quando o carvão vegetal é produzido.

A madeira termorretificada é obtida pelo princípio da termodegradação de seus constituintes químicos, na ausência de oxigênio ou forte deficiência de ar. É definida também como o produto de uma pirólise controlada, interrompida, antes de atingir o patamar das reações exotérmicas (as quais se iniciam aproximadamente à 275°C), quando tem início a combustão espontânea da madeira (BORGES & QUIRINO, 2004).

Segundo Rodrigues (2009), em face às inúmeras vantagens que a termorretificação traz às propriedades da madeira, vários processos, em escala industrial, têm sido desenvolvidos em vários países europeus, sendo eles o Thermowood® na Finlândia, Retification® e Bois Perdure® na França, Oil Heat Treatment (OHT) na Alemanha e Plato® Wood nos Países Baixos.

O aquecimento da madeira na presença de ar tende a promover reações de degradação pois a taxa de degradação térmica é dependente da atmosfera circundante, especialmente com relação a presença ou ausência de oxigênio. Esteves et al. (2008) explicam que isso ocorre porque o ácido acético, produzido nesse processo, atua como um catalizador das reações de depolimerização, e isso é possível em função do alto conteúdo de ácido acético liberado num ambiente oxidante. Existem interações não apenas entre os componentes encontrados dentro da madeira, mas também interações entre a madeira e a atmosfera de tratamento.

O resultado do tratamento térmico é altamente dependente da presença de oxigênio e água. A presença do primeiro levará a reações de oxidação, que podem ser prevenidas pelo tratamento em uma atmosfera inerte como óleo, nitrogênio, água ou vapor. O uso de vapor é um modo eficiente e econômico de criar uma atmosfera inerte, mas que também influencia as reações que ocorrem durante o tratamento (JOHANSSON, 2008).

Segundo Severo & Tomaselli (2003), em alta umidade relativa, a madeira degrada-se predominantemente por hidrólise ácida e a taxa de degradação, nesse caso, é maior que a degradação térmica ou pirolítica. A água faz com que sejam quebrados os grupos acetilas,

com a formação de ácido acético, responsável pela degradação da madeira. Deve-se, no entanto, considerar que o excesso de água reduz a quantidade de oxigênio no ar, podendo retardar a reação da hidrólise.

Apesar do tratamento de termorretificação ser mais aplicado à madeira, alguns estudos têm sido realizados nos últimos anos sobre a aplicação desse tratamento em materiais alternativos tal como o bambu (BERALDO, 2009; MANALO & ACDA, 2009; COLLA et al., 2011).

#### **2.4.1 Características do material termorretificado**

O tratamento de termorretificação agrega alterações físicas e mecânicas ao material tratado. Estudos sobre o efeito da termorretificação nas propriedades mecânicas tanto em madeira quanto em bambu mostram que há um decréscimo na sua resistência mecânica em função da perda de massa provocada pelo tratamento.

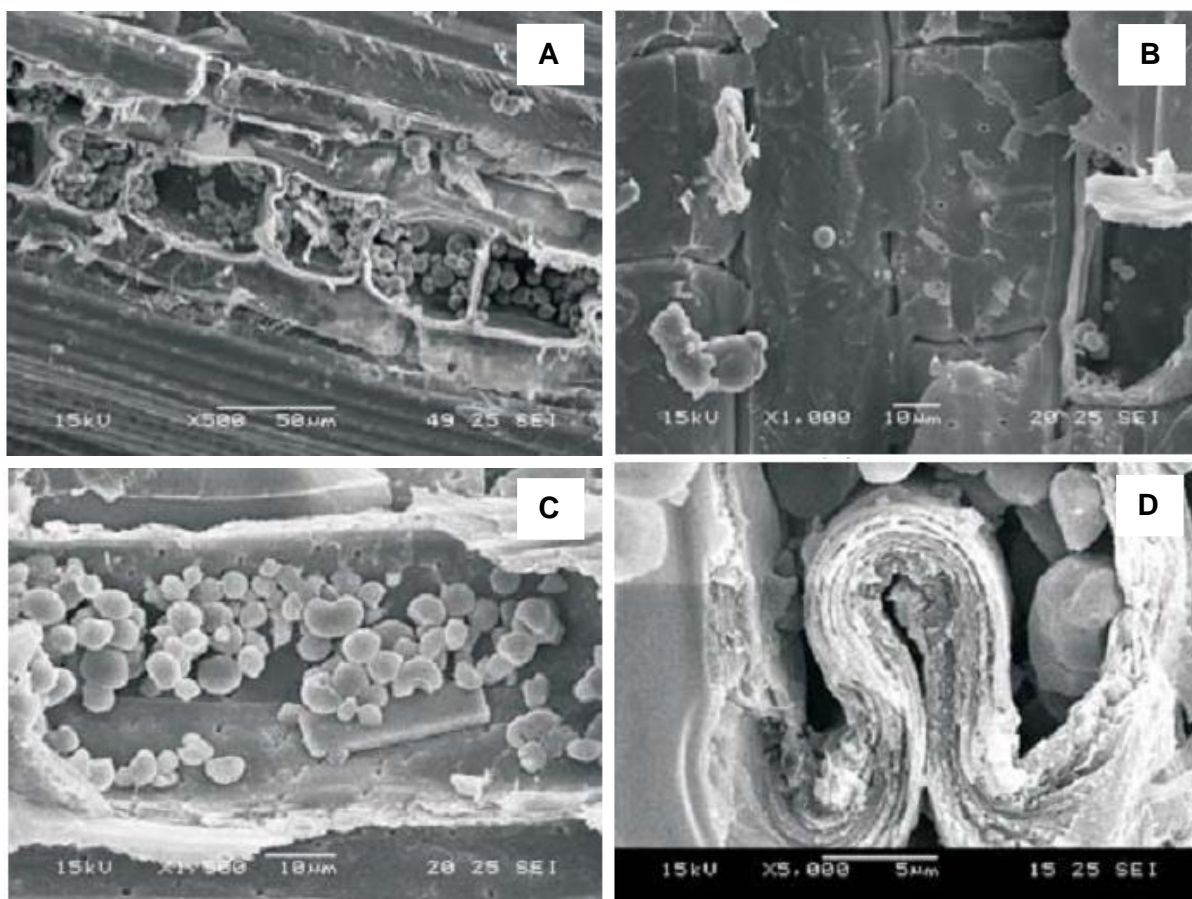
Manalo & Acda (2009) estudaram o efeito da termorretificação pelo processo OHT nas propriedades mecânicas de três espécies de bambu filipino (*Bambusa blumeana*, *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper*) tratadas a 160 e 200°C durante 30 e 120 minutos. Os autores observaram uma redução nas propriedades mecânicas, ou seja, no módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tenacidade.

Por outro lado, inúmeros trabalhos mostram que a termorretificação melhora a estabilidade dimensional e a durabilidade biológica das madeiras e dos bambus por causa da degradação térmica do seu constituinte mais hidrocópico, as hemiceluloses, e as novas interações químicas entre os polímeros da lignina e de celulose e os produtos gerados durante a degradação térmica.

Beraldo et al. (2009) avaliaram o efeito da termorretificação nas propriedades físicas e mecânicas de taliscas de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* e observaram que o bambu termorretificado tem potencial para ser utilizado em diversas aplicações dependendo da temperatura do tratamento, por causa das melhorias na estabilidade dimensional.

Colla et al. (2011) estudaram os efeitos da termorretificação nas propriedades físico-mecânicas do *Dendrocallamus giganteus* e por meio de microscopia eletrônica foi possível observar as mudanças anatômicas no bambu nas diferentes temperaturas de tratamento (Figuras 7 e 8).

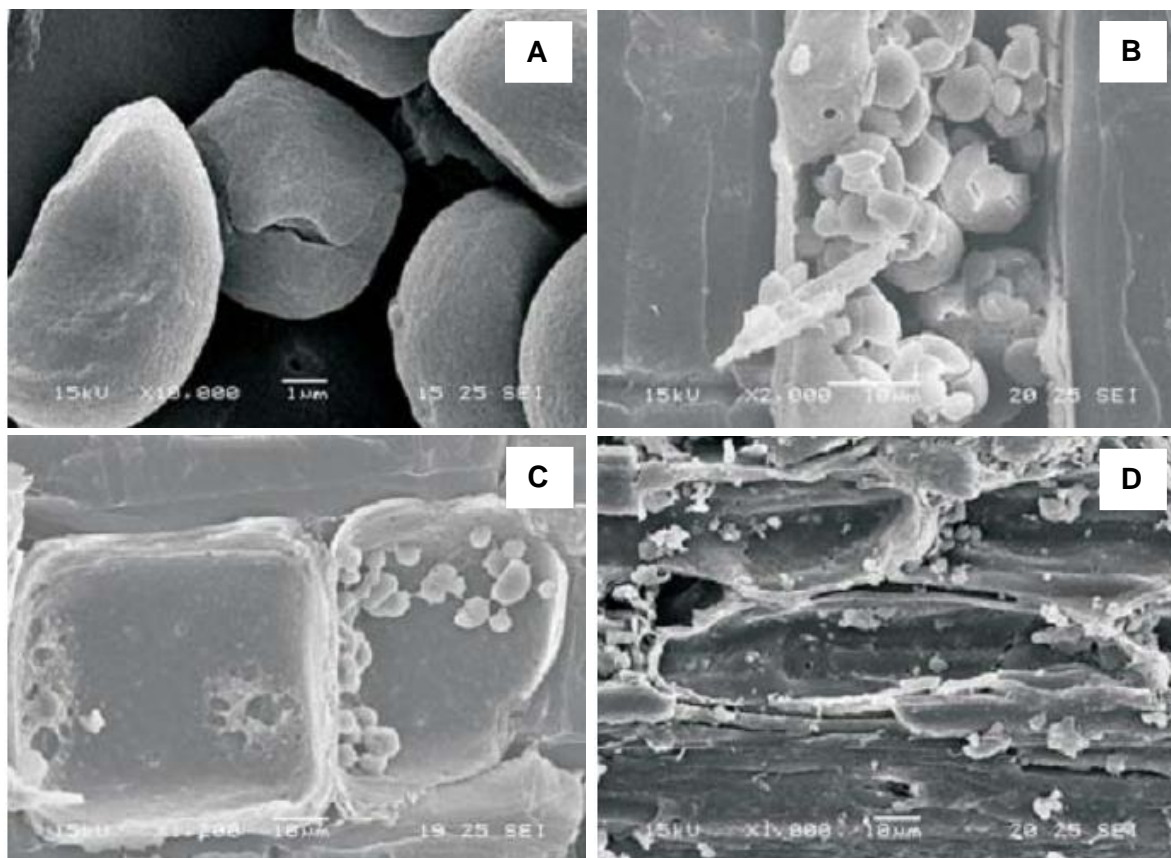




**Figura 7.** Efeito da termorretificação na estrutura anatômica da espécie *Dendrocallamus giganteus*. (A) Amostra não termorretificada com grande quantidade de amido na sua forma globular típica. (B) Amostra tratada a 140°C, na qual a estrutura das células permanece praticamente inalteradas. (C) Amostra tratada a 180°C com mudanças estruturais mais drásticas. (D) Amostra tratada a 180°C com células de parênquima colapsadas (Fonte: COLLA et al., 2011).

Além dessas propriedades, a termorretificação também causa alterações na cor original do material. Com o tratamento, a cor é modificada adquirindo uma tonalidade mais escura e que muitas vezes é justificada pela formação de produtos resultantes da degradação das hemiceluloses e de outros componentes (SEHISTEDT-PERSSON, 2003; SUNDQVIST, 2004; BERALDO et al., 2009). A maioria dos estudos relacionados à alteração da cor do material após a termorretificação está relacionado à madeira, sendo poucos os trabalhos que abordam a alteração da cor do bambu. Entretanto, segundo os resultados obtidos por Beraldo et al. (2009), o bambu apresenta um comportamento similar à madeira, ou seja, um escurecimento crescente com o aumento da temperatura.

A alteração da cor do bambu *Dendrocallamus giganteus* após várias temperaturas de termorretificação constam na Figura 9.



**Figura 8.** Efeito da termorretificação na estrutura anatômica da espécie *Dendrocallamus giganteus*. (A) Amostra tratada a 220°C apresentando fissuras nos grãos de amido. (B) Amostra tratada a 220°C com grãos de amido já rompido. (C) Amostra tratada a 260°C com um processo contínuo de degradação do parênquima. (D) Amostra tratada a 300°C apresentando uma estrutura semelhante ao carvão vegetal (Fonte: COLLA et al., 2011).



**Figura 9.** Diferença na cor das amostras termorretificadas de *Dendrocallamus giganteus* (Fonte: BERALDO et al., 2009).

A composição química do bambu é alterada quando o material é submetido ao tratamento térmico. De acordo com Kamdem et al. (2002), a degradação química da madeira ocorre na seguinte ordem: hemicelulose, celulose e lignina. Segundo Tjeerdsma & Militz (2005), a hemicelulose é hidrolisada mais facilmente que a celulose, em outras palavras, a quebra de uma cadeia de hemicelulose não reduz tanto a resistência do bambu como a quebra de cadeia de celulose (SALIM & WAHAB, 2008).

Salim & Wahab (2008) estudaram o efeito da termorretificação na composição química espécie de bambu *Gigantochloa scortechinii* e observaram que o teor de celulose do bambu tratado termicamente reduziu 2,9% no tratamento de 140°C a 30 minutos, 3,8% no tratamento de 180°C a 30 minutos, 5,1% no tratamento a 180°C por 60 minutos e 14,1% a 220°C por 60 minutos, quando comparado ao material não tratado. Estes resultados mostram que a degradação da celulose do bambu aumenta com a temperatura e o tempo de tratamento.

A celulose do bambu é considerada o elemento que mais influencia na sua resistência. Sundqvist (2004) afirmou que a degradação da celulose pode contribuir para a perda de resistência mecânica em madeira tratadas termicamente. Isso ocorre porque a estrutura da celulose é alterada, sendo a parte amorfa provavelmente a primeira a ser hidrolisada, deixando um resíduo de celulose com um grau reduzido de polimerização e aumento da cristalinidade. Diferentes condições do processo de termorretificação, tais como temperatura e tempo, podem influenciar a taxa de degradação da celulose (BOONSTRA & TJEERDSMA, 2005).

Segundo Salim & Wahab (2008), não há nenhuma tendência específica do teor de lignina quando tratados em condições diferentes de temperatura e tempo. Um maior teor de lignina encontrado em bambu tratado termicamente em relação ao não tratado indica a degradação de algumas hemiceluloses. Além disso, mudanças na estrutura da lignina do bambu tratado à temperatura elevada são atribuídas ao incremento no teor de lignina.

Kamdem et al. (2002) observaram que o aumento no teor de lignina pode ser atribuída à perda de hemicelulose ou pentoses e hexoses frágeis durante o tratamento térmico. Eles também comentam que o aumento no teor de lignina não envolve a formação de lignina durante o processo, mas a redução de outros componentes da madeira. Outros autores também encontraram uma tendência semelhante no teor de lignina durante o processo de termorretificação (WESTERMARK et al., 1995; TJEERDSMA et al., 1998; KISHIMOTO & SANO, 2002; BOONSTRA & TJEERDSMA, 2005).

Salim & Wahab (2008) observaram que o teor de amido do bambu tratado termicamente apresentou reduções em relação ao não tratado. A redução no teor de amido pode melhorar a durabilidade do bambu, já que insetos coleópteros como *Dinoderus minutus* têm o amido como alimento preferido para sua sobrevivência.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Coleta e preparo do material

Neste estudo, foram utilizados colmos maduros de duas espécies de bambu, sendo elas, *Phyllostachys aurea* Rivière & C. Rivière e *Bambusa tuldoides* Munro. Os colmos de *Bambusa tuldoides* foram coletados na Fazenda Agroecológica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Agroecologia enquanto os colmos de *Phyllostachys aurea* foram coletados em área próxima a Empresa Pesagro, ambas localizadas no município de Seropédica, Rio de Janeiro. Na Figura 10A-B consta o povoamento de *Bambusa tuldoides* do local de coleta, assim como os colmos de *Phyllostachys aurea* coletados.

Foram coletados um total de 50 colmos maduros, os quais apresentavam um aspecto “sujo” com manchas brancas e verdes se sem suas grandes folhas culinares (bainhas). Para a espécie *Phyllostachys aurea* foram coletados 30 colmos com diâmetro médio de aproximadamente 3 cm e altura média de 5 m, enquanto que para a espécie *Bambusa tuldoides*, foram coletados e 20 colmos com diâmetro médio de aproximadamente 4,5 cm e altura média de 10 m, a exemplo do utilizado por Sant’Anna (2008).

Após a coleta, os colmos foram seccionados em peças de aproximadamente 50 cm de comprimento adequando-se às condições de manuseio, submetidos à retirada dos diafragmas para secagem adequada, transporte e estocagem. Após o transporte, as amostras foram redimensionadas nas dimensões correspondentes aos ensaios físicos e mecânicos realizados (Figura 10C).



**Figura 10.** (A) Povoamento de *Bambusa tuldoides*. (B) Coleta dos colmos de *Phyllostachys aurea*. (C) Colmos de *Bambusa tuldoides* seccionados nas dimensões dos ensaios físico-mecânicos.

Nessa etapa, as amostras foram identificadas, pesadas e suas dimensões mensuradas. O diâmetro externo foi tomado e a espessura determinada a partir de dois pontos diferentes de cada uma das extremidades para posterior cálculo de volume. A mensuração das amostras foi com auxílio de balança eletrônica e paquímetro digital. Após essa etapa, as amostras foram acondicionadas em sala climatizada a 20°C e 65% de umidade relativa (UR), até massa constante e tiveram novamente as medidas, anteriormente citadas, mensuradas.

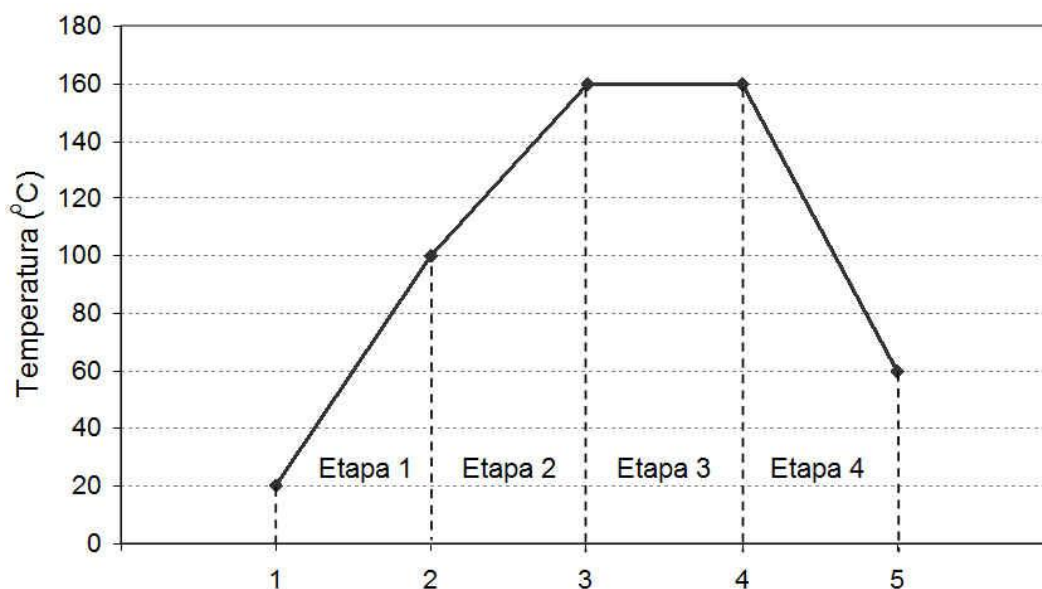
#### 3.2 Tratamento de termorretificação dos colmos

A termorretificação das amostras de bambu foi realizada em um forno mufla elétrico laboratorial, com as seguintes dimensões internas 600 x 600 x 700 mm e equipado com um sistema de controle de temperatura e tempo (Figura 11).



**Figura 11.** (A) Amostras no interior do forno antes do tratamento de termorretificação. (B) Amostras no interior do forno após o tratamento de termorretificação.

O tratamento de termorretificação foi realizado em quatro etapas, sendo elas: aquecimento do material até 100°C para eliminação completa da água durante 60 minutos; aumento da temperatura de 100°C até a temperatura de termorretificação desejada (160, 180 ou 200°C) durante 60 minutos; tempo de permanência na temperatura de termorretificação (15, 30 ou 45 minutos); e resfriamento do material (Figura 12). Após a termorretificação, as amostras foram recondicionadas em câmara climática a 20°C e 65% de UR até atingir o teor de umidade de equilíbrio e utilizadas para determinação das propriedades físicas e mecânicas.



**Figura 12.** Etapas do tratamento de termorretificação aplicado às espécies de bambu. 1: aquecimento até 100°C. 2: aumento da temperatura de 100°C até a temperatura de termorretificação. 3: tratamento de termorretificação. 4: resfriamento.

### 3.3 Ensaios das propriedades físicas

As propriedades físicas avaliadas neste estudo foram a densidade básica e aparente, coeficiente de contração volumétrica, taxa de absorção de água e teor de umidade de equilíbrio, as quais foram determinadas segundo a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1997). Entretanto, algumas adaptações foram realizadas com relação ao comprimento das amostras.

Para a determinação das propriedades físicas foram utilizadas 100 amostras com aproximadamente 3 cm de diâmetro e 5 cm de altura para a espécie *Phyllostachys aurea* e 4,5 cm de diâmetro e 7 cm de altura para a espécie *Bambusa tuldoides*. Desse total, 10 amostras foram reservadas para como testemunhas (amostras não tratadas), sendo 5 de cada espécie. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sala climatizada a 20°C e 65% de UR, até massa constante. A etapa seguinte foi a termorretificação das amostras a serem tratadas. Após o tratamento de termorretificação, as amostras foram acondicionadas nas mesmas condições citadas.

A etapa posterior foi a saturação das amostras em água. As amostras, tanto as amostras testemunhas quanto as tratadas, foram submergidas em recipiente com água e tiveram suas massas e volumes mensurados até medidas constantes. Depois as amostras retornaram a sala climatizada nas mesmas condições citadas.

Por último, as amostras, foram secas em estufa a  $102\pm 3^\circ\text{C}$ , até massa constante e suas medidas mensuradas com auxílio de paquímetro e balança digitais.

#### 3.3.1 Densidade básica, aparente e teor de umidade de equilíbrio

A densidade básica das amostras termorretificadas e não termorretificadas foram obtidas a partir da relação entre a massa seca em estufa a  $103\pm 2^\circ\text{C}$  e o volume saturado da amostra. Já a determinação da densidade aparente, a relação foi entre a massa e o volume da amostra, ambos no teor de umidade de equilíbrio. As densidades básica e aparente das amostras foram determinadas conforme indicado da NBR 7190 da ABNT (1997). Ao dividir a massa seca pelo volume saturado da amostra (densidade básica) ou a massa na umidade de equilíbrio pelo volume tomado nas mesmas condições (densidade aparente).

Para a determinação do teor de umidade de equilíbrio, as amostras termorretificadas e controle foram acondicionadas em câmara climática à 20°C e 65% de UR e a massa monitorada até atingir um valor constante. O teor de umidade de equilíbrio das amostras foi calculado conforma NBR 7190 da ABNT (1997), ao dividir a massa de água pela massa seca da amostra, expressa em porcentagem.

#### 3.3.2 Coeficiente de contração volumétrica e Taxa de absorção de água

Para determinar o coeficiente de contração, as amostras foram imersas em água até a saturação completa e as dimensões mensuradas. Em seguida, as amostras foram secas em estufa à  $103\pm 2^\circ\text{C}$  durante 24 horas e as dimensões novamente mensuradas. As variações dimensionais de contração foram então calculadas conforme indicação da NBR 7190 da ABNT (1997).

Este procedimento teve início após estabilização de massa do material tratado e não tratado em câmara climatizada a 20°C e 65% de UR. Todas as amostras foram submetidas a imersão total das amostras em água por 24 horas, utilizando um recipiente, seguida de secagem do material em estufa à  $103\pm 2^\circ\text{C}$  até massa constante.

Desta forma foi possível determinar ao final de cada condição, a massa das amostras em balança digital e, com base nestes dados, determinou-se a taxa de absorção de água por meio da Equação 1.

$$ta = (M_U - M_S) / M_S \times 100 \quad (1)$$

em que ta: taxa de absorção de água das amostras (%);  $M_U$ : massa das amostras após imersão em água por 24 horas (g);  $M_S$ : massa das amostras secas em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  (g).

### 3.4 Ensaios das propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas determinadas nesse estudo foram a resistência à compressão, resistência ao cisalhamento e módulo de elasticidade à flexão. As amostras para o ensaio mecânico de compressão foram confeccionadas com 10 e 15 cm, para o ensaio de cisalhamento o comprimento das amostras foram 3 e 5 cm e para o ensaio de flexão foram 32 e 47 cm, para *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*, respectivamente.

#### 3.4.1 Resistência à compressão

A partir do registro do valor da carga de ruptura e da área de cada amostra ensaiada foi possível calcular o limite de resistência por meio das Equações 2 e 3:

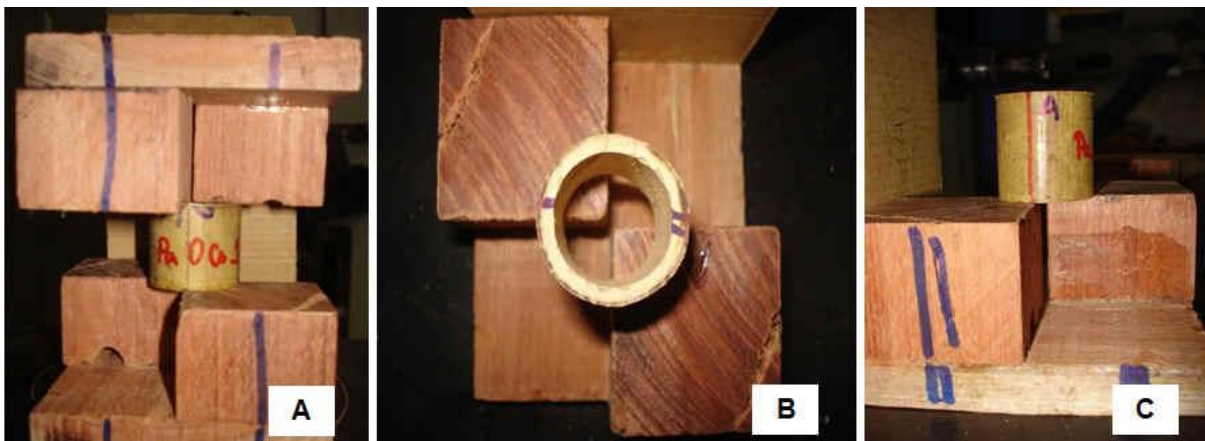
$$fc = N_{\text{máx}} / A \quad (2)$$

$$\text{área} = (D^2 - d^2) \times \pi / 4 \quad (3)$$

Em que, fc: limite de resistência à compressão ( $\text{kgf.cm}^{-2}$ );  $N_{\text{máx}}$ : carga máxima de ruptura do material (kgf); A: área da seção da amostra ( $\text{cm}^2$ ); D: diâmetro externo da amostra (cm); d: diâmetro interno da amostra (cm).

#### 3.4.2 Resistência ao cisalhamento

No ensaio de cisalhamento das espécies estudadas foram confeccionadas amostras com 5 cm de altura para *Bambusa tuldoides* e de 3 cm para *Phyllostachys aurea*. Com base em alguns estudos e projetos de normas, confeccionou-se para este ensaio um dispositivo de madeira como apresentado na Figura 13. As medições das amostras foram estabelecidas de acordo com as condições dos equipamentos de ensaio. No total foram ensaiadas 50 amostras para cada espécie, incluindo as amostras não tratadas (testemunha).



**Figura 13.** Amostra de cisalhamento da espécie *Phyllostachys aurea* acoplada ao dispositivo de madeira. (A) Vista frontal. (B) Vista superior. (C) Vista lateral esquerda.

O ensaio foi realizado na máquina universal de ensaios mecânicos, a empregar uma célula de carga de duas toneladas. O incremento de carga foi até a ruptura do material, registrando-se a carga máxima. O limite de resistência ao cisalhamento foi calculado com base na área cisalhante, segundo a Equação 4.

$$fv = N_{\text{máx}} / A \quad (4)$$

Em que, fv: limite de resistência ao cisalhamento (kgf.cm<sup>-2</sup>); N<sub>máx</sub>: carga máxima suportada pela amostras (kgf); A: área da seção da amostra (cm<sup>2</sup>).

### 3.4.3 Módulo de elasticidade à flexão

As amostras utilizadas neste ensaio apresentavam comprimentos de 40 e 55cm, e diâmetros aproximados de 3 e 5 cm para as espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*, respectivamente. O comprimento das amostras não foi maior por causa das limitações dos aparelhos utilizados no tratamento de termorretificação. Como a tecnologia utilizada não é indicada para ensaios em bambu, para a realização deste ensaio foi necessário desenvolver um sistema de adaptação para aumentar a área de contato do bambu com os apoios e a carga aplicada, diminuindo desta forma a tensão e evitando que o bambu se rompesse antes do tempo (SANT'ANNA, 2008).

Antes da realização do teste, foram mensurados os diâmetros externos e internos do bambu nos apoios, com auxílio de paquímetro digital. Foram avaliadas 50 amostras para cada espécie, incluindo as amostras não tratadas (testemunhas).

O ensaio foi realizado de forma que o bambu ficasse apoiado nos suportes de madeira. O incremento de carga ocorreu no centro do vão livre, por meio de uma célula de carga de duas toneladas. O ensaio foi realizado em duas etapas, a primeira consistiu na aplicação de carga nas amostras anteriormente ao tratamento de termorretificação. As cargas usadas foram estabelecidas a partir de ensaios preliminares sendo de 100 e 50 Kgf para as espécies *Bambusa tuldoides* e *Phyllostachys aurea*, respectivamente, carga abaixo do limite de proporcionalidade. A segunda etapa consistiu na aplicação de carga até ruptura das amostras termorretificadas e das amostras testemunhas. Com o registro dos dados foi possível calcular o módulo de elasticidade depois do tratamento de termorretificação e a variação desse módulo quando comparado ao módulo de elasticidade antes do tratamento de termorretificação.



Como o efeito do esforço cortante se torna significativo, para testes de flexão a três pontos e como a relação entre o vão e o diâmetro não é maior que 21 vezes, adotou-se o cálculo dos módulos de elasticidade a seguinte Equação 5, segundo Bodig & Jayne (1982).

$$\delta = PL^3/48EI + 1,2 PL/4GA \quad (5)$$

Em que,  $\delta$ : deformação total (cm); P: variação de carga (kgf); L: comprimento do vão (cm); E: módulo de elasticidade (kgf/cm<sup>2</sup>); I: inércia (cm<sup>4</sup>); G: Modulo de rigidez =8500 (kgf/cm<sup>2</sup>); A: área da seção (cm<sup>2</sup>).

A primeira parte da equação anterior se refere à deformação associada ao efeito do momento fletor e o segundo componente da equação ao efeito da força cortante. Logo a flexa total será composta por duas componetes Equação 6.

$$\delta_{total} = \delta_{fletor} + \delta_{cor\ tan\ te} \quad (6)$$

Como o módulo de elasticidade está associado apenas a flexa resultante do momento fletor, é necessário conhecer a deformação associado a este momento (Equação 7).

$$\delta_{fletor} = \delta_{total} - \delta_{cor\ tan\ te} \quad (7)$$

Assumindo que o módulo de rigidez é de 8500 kgf/cm<sup>2</sup>, uma constante, o segundo termo da primeira Equação 7 será função apenas da carga e da área da seção transversal de um tubo, pois o vão é fixo. Deste modo para se obter a deformação resultante do momento fletor, subtrai-se da flecha obtida no ensaio (flecha total) o valor da flecha calculada referente a força cortante e calcula-se o módulo de elasticidade (Equação 8)

$$E = \frac{PL^3}{48I\delta_{fletor}} \quad (8)$$

Os valores de inércia (I) e área (A) de um tubo, assumido aqui como a forma do bambu, é dada pela Equação 9.

$$I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) \text{ e } A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \quad (9)$$

Em que, D é o diâmetro externo da amostra de bambu (cm) e d é o diâmetro interno (cm).

### 3.5 Análises colorimétricas

As análises colorimétricas foram realizadas de acordo com a *Comission International de L'Eclairage* - CIE (1976), no espaço de cor CIE-L\*a\*b\*. Esse sistema é caracterizado por três coordenadas (L\*, a\* e b\*) dispostas em um espaço tridimensional. O eixo L\* representa a luminosidade, o qual varia de zero (preto) a 100 (branco). O eixo vermelho/verde, definido pela variável a\*, mostra que se o valor é positivo, trata-se do matiz vermelho e se for negativo, verde. Da mesma forma, a variável b\* define o eixo amarelo/ azul, sendo o valor positivo representante do matiz amarelo e negativo o matiz azul (KONICA MINOLTA, 1998).

As coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  foram obtidas com o auxílio do espectrofotômetro portátil com um diâmetro de abertura de 3 mm (SAV). Utilizou-se o iluminante padrão D65, ângulo de observação de  $10^\circ$  e luz especular incluída. Para efetuar as medições, o aparelho foi calibrado com o padrão preto e branco, e para a calibração do branco, utilizou-se a placa CM-A145. As medições de cor foram realizadas a partir do contato direto do equipamento com a superfície das amostras. Foram realizadas 10 medições em regiões distintas de cada amostra.

Os dados coletados pelo espectrofotômetro foram então transferidos para o software SpectraMagic™ NX (CM-S100w), versão 1.9, e exportados para o software Microsoft Office EXCEL, versão 2007.

### 3.6 Análises estatísticas

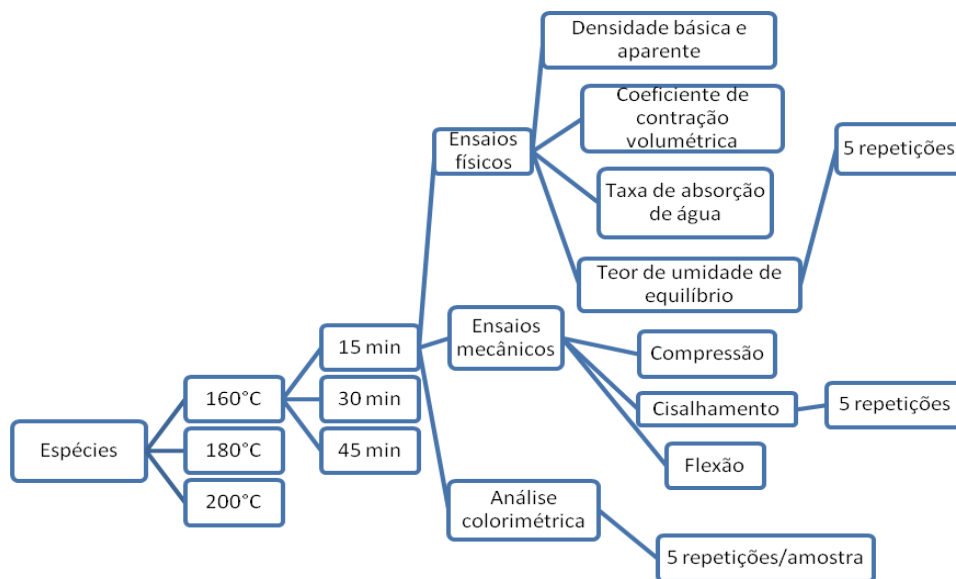
O delineamento experimental foi composto por duas espécies de bambu (*Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*) termorretificadas sob diferentes condições de temperatura (160, 180 e  $200^\circ\text{C}$ ) e tempo (15, 30 e 45 minutos) e pelo controle ou testemunha (material não termorretificado), conforme Figura 14. Deste modo obteve-se, para cada espécie, um experimento fatorial com dois fatores: temperatura (3 níveis) e tempo (3 níveis). A testemunha, quando considerada para efeito de comparação tornou o delineamento um fatorial desbalanceado.

As variáveis dependentes foram classificadas em três grupos (propriedades físicas, propriedades mecânicas e coordenadas de cor). Para as propriedades físicas utilizaram-se cinco repetições para cada tratamento e no caso das propriedades mecânicas foram utilizadas 15 repetições. Para as coordenadas de cor foram utilizadas cinco repetições por tratamento e de cada amostra, foram realizadas 10 leituras de cor.

Os dados referentes ao presente estudo foram processados e analisados por meio da construção de um banco de dados utilizando-se o programa Excel® 2007 e de um programa de análises estatísticas, o software Statsoft Inc 7.0.

Na análise dos dados, a normalidade foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5% de significância, enquanto a homogeneidade das variâncias foi verificada pelo teste de Levene, em mesmo nível de significância. Para as variáveis dependentes que apresentaram distribuição normal e variâncias homogêneas, aplicou-se a análise de variância verificando-se os efeitos dos fatores principais, uma vez que o experimento foi um fatorial desbalanceado. Buscou-se também a transformação das variáveis dependentes para a normalização dos dados. A partir do resultado da análise, quando os valores do teste F foram significativos, para as variáveis independentes tempo e temperatura, aplicou-se o teste de Tukey, a 5% de significância, a fim de verificar quais contrastes entre as médias foram significativos.

As demais variáveis dependentes, que não puderam ser analisadas pelo teste paramétrico, foram analisadas pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. O contraste entre as médias dos postos foi executado pelo teste de Bonferroni, à 5 % de significância.



**Figura 14.** Delineamento experimental, exemplificado pela temperatura de 160°C.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Propriedades físicas do bambu

#### 4.1.1 Densidade básica e aparente

Os resultados de densidade básica das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* encontram-se na Tabela 1. Os valores de densidade básica variaram de 0,32 à 0,75 g.cm<sup>-3</sup> com média de 0,53 g.cm<sup>-3</sup> para *Phyllostachys aurea*, enquanto para *Bambusa tuldooides*, a densidade básica mínima foi de 0,56 g/cm<sup>3</sup> e a máxima de 0,92 g.cm<sup>-3</sup> com média de 0,70 g.cm<sup>-3</sup>.

**Tabela 1.** Resultados ordenados em ordem crescente dos valores de densidade básica obtidos para as espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides*.

<i>Phyllostachys aurea</i>									
Amostra	db	Amostra	db	Amostra	db	Amostra	db	Amostra	db
36	0,32	15	0,44	2	0,51	18	0,56	13	0,61
37	0,37	39	0,44	11	0,51	35	0,56	42	0,61
47	0,38	48	0,44	49	0,51	26	0,57	6	0,62
40	0,39	3	0,45	1	0,52	43	0,57	21	0,63
45	0,39	19	0,46	4	0,52	12	0,58	50	0,64
46	0,39	31	0,47	5	0,52	14	0,58	28	0,65
30	0,41	22	0,49	32	0,52	17	0,58	33	0,68
38	0,41	44	0,49	20	0,53	27	0,58	25	0,71
23	0,42	10	0,50	24	0,54	41	0,58	8	0,72
34	0,42	29	0,50	9	0,55	7	0,60	16	0,75
Média	0,53	DP	0,0977	CV	18,65				

<i>Bambusa tuldooides</i>									
Amostra	db	Amostra	db	Amostra	db	Amostra	db	Amostra	db
37	0,56	45	0,64	43	0,69	46	0,71	42	0,73
16	0,59	12	0,66	7	0,7	47	0,71	13	0,74
3	0,61	33	0,66	15	0,7	8	0,72	49	0,74
26	0,61	19	0,67	21	0,7	10	0,72	6	0,75
35	0,61	27	0,67	23	0,7	11	0,72	25	0,76
32	0,62	5	0,68	29	0,7	18	0,72	48	0,77
24	0,63	9	0,69	31	0,7	41	0,72	50	0,77
1	0,64	17	0,69	2	0,71	14	0,73	38	0,78
4	0,64	30	0,69	20	0,71	22	0,73	39	0,92
40	0,64	34	0,69	28	0,71	36	0,73	44	0,97
Média	0,70	DP	0,0701	CV	9,99				

db: densidade básica. DP: desvio padrão. CV: coeficiente de variação.

As grandes variações encontradas, principalmente na espécie *Phyllostachys aurea*, são explicadas pela lignificação ocorrida após a formação do colmo do bambu (ITOH & SHIMAJI, 1981, citados por LIESE, 1986). O processo de lignificação é dependente da idade.

Gomide et al. (1981), ao estudar *Bambusa vulgaris* com idades entre 1 e 5 anos, observaram que o teor de lignina aumentou para os colmos mais velhos. A densidade do bambu tende a aumentar ao longo do colmo, por causa da existência de maior número de feixe fibrovasculares por unidade de área, à medida que se aproxima do topo (GROSSER & LIESE, 1971; AZZINI et al., 1977).

A densidade também varia de acordo com as características do povoamento, quando já estabelecido, idoso, com poucos brotos existentes, a medida em que se aproxima do ápice há um aumento no número dos feixes fibro-vasculares e uma redução do tecido parenquemático, e conseqüentemente um aumento de densidade (LIESE, 1986).

A densidade básica é o fator que tem maior influência nas propriedades do bambu, sendo influenciada pela idade, posição do colmo, condições de crescimento e espécie. Como as amostras foram retiradas da região central dos colmos maduros, pode-se ter retirado algumas amostras de regiões ainda não completamente lignificadas, de colmos mais jovens, ou ainda de região mais basal onde a densidade é menor.

Observa-se na Tabela 2, que a densidade básica da espécie *Phyllostachys aurea* não sofreu alteração com o tempo do tratamento de termorreificação, mesmo quando comparado à testemunha, uma vez que a densidade básica é a massa da amostra anidra pelo seu volume saturado, assim era de se esperar não obter variações de densidade básica.

Para a densidade aparente, observa-se que os valores das amostras tratadas foram praticamente os mesmos da densidade das amostras não tratadas e que o efeito do tempo de aquecimento não foi significativo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resultados obtidos para as densidades básica e aparente da espécie *Phyllostachys aurea* em função do tempo de termorreificação.

Densidades (g/cm <sup>3</sup> )	Tempo de tratamento (minutos)			
	Testemunha	15	30	45
db <sup>2</sup>	0,53 a [22,80]	0,52 a [23,20]	0,55 a [29,73]	0,53 a [24,46]
da <sup>1</sup>	0,63 a (0,04)	0,62 a (0,14)	0,65 a (0,09)	0,63 a (0,12)

db: densidade básica. da: densidade aparente. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão. Os valores entre colchetes referem-se às médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo os testes de Tukey e Kruskal-Wallis, à 95% de probabilidade. <sup>1</sup>Análise de variância. <sup>2</sup>Método não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

Na Tabela 3 consta o efeito da temperatura nas densidades básica e aparente de *Phyllostachys aurea*. Observa-se que a densidade básica não apresentou diferenças significativas. Há o efeito da temperatura na densidade aparente da espécie *Phyllostachys aurea*, havendo redução nos valores à temperatura de 200°C, no entanto, não foi significativo quando comparado a testemunha.

**Tabela 3.** Resultados obtidos para as densidades básica e aparente da espécie *Phyllostachys aurea* em função da temperatura de termorretificação.

Densidades (g/cm <sup>3</sup> )	Temperatura de tratamento (°C)			
	Testemunha	160	180	200
db	0,53 ab (0,03)	0,58 b (0,08)	0,55 ab (0,09)	0,48 a (0,10)
da	0,63 ab (0,04)	0,68 b (0,09)	0,65 ab (0,11)	0,57 a (0,12)

db: densidade básica. da: densidade aparente. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo o teste de Tukey à 95% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 4 que a densidade básica da espécie *Bambusa tuldoides* não sofreu alteração com o tempo de tratamento de termorretificação.

Na Tabela 5 é apresentada o efeito da temperatura nas densidades da espécie *Bambusa tuldoides*, a temperatura proporcionou uma leve redução da densidade aparente do bambu termorretificado, no entanto, não foi significativo quando comparado ao controle (Figura 15).

**Tabela 4.** Resultados obtidos para as densidades básica e aparente da espécie *Bambusa tuldoides* em função do tempo de termorretificação.

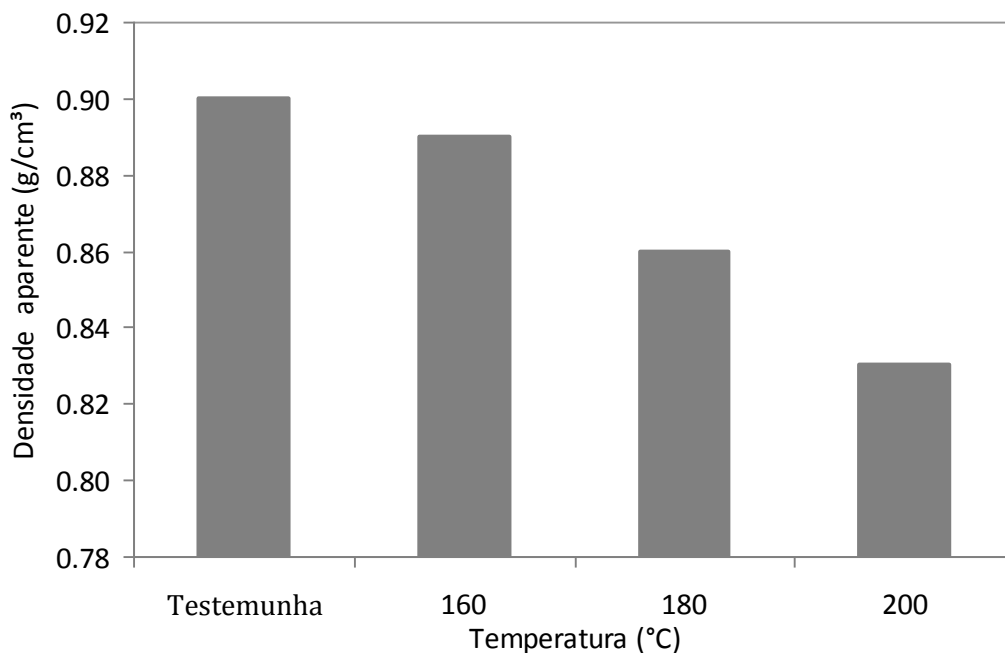
Densidades (g/cm <sup>3</sup> )	Tempo de tratamento (minutos)			
	Testemunha	15	30	45
db	0,70 a (0,04)	0,70 a (0,05)	0,70 a (0,04)	0,69 a (0,04)
da	0,90 a (0,04)	0,88 a (0,06)	0,86 a (0,06)	0,84 a (0,04)

db: densidade básica. da: densidade aparente. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo os testes de Tukey à 95% de probabilidade.

**Tabela 5.** Resultados obtidos para as densidades básica e aparente da espécie *Bambusa tuldoides* em função da temperatura de termorretificação.

Densidades (g/cm <sup>3</sup> )	Temperatura de tratamento (°C)			
	Testemunha	160	180	200
db	0,70 a (0,04)	0,70 a (0,04)	0,69 a (0,04)	0,70 a (0,05)
da	0,90 ab (0,04)	0,89 b (0,05)	0,86 ab (0,05)	0,83 b (0,06)

db: densidade básica. da: densidade aparente. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo os testes de Tukey à 95% de probabilidade.



**Figura 15.** Densidade aparente da espécie *Bambusa tuldoides* em função da temperatura de termorreificação.

Inúmeros estudos com diversas espécies de madeira constataam que a densidade e a resistência decrescem com a aplicação do tratamento de termorreificação. Os trabalhos de Mayes & Oksanen (2002), Beraldo et al. (2009), Colla et al. (2010) e Garcia et al. (2010) comprovam esse decréscimo na madeira e no bambu. Segundo os autores esse decréscimo está relacionado à degradação dos polímeros da parede celular, especialmente das hemiceluloses que acarretam uma perda de massa na madeira.

Porém, Brito (2006) verificou um aumento não significativo da densidade da madeira termorreificada de *Eucalyptus grandis* em relação à não termorreificada. Segundo o autor a explicação para este resultado é que o aumento da temperatura não foi suficiente para provocar uma perda de massa na mesma proporção da redução do volume de madeira.

#### 4.1.2 Coeficiente de contração volumétrica

Os resultados obtidos para o coeficiente de contração volumétrica dos fatores tempo e temperatura para as espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* estão apresentados na Tabela 6. A análise do efeito dos diferentes tempos de tratamento de termorreificação sobre os valores de contração volumétrica demonstra que não há diferenças significativas entre eles, assim como quando comparado às amostras não tratadas (testemunha) para ambas as espécies.

Quando se considera o efeito da temperatura nos coeficientes de contração volumétrica da espécie *Phyllostachys aurea*, observa-se que este efeito foi significativo, apresentando diferenças estatísticas entre as diferentes temperaturas testadas. O menor valor de contração foi encontrado para temperatura de 160°C e o maior valor foi para a temperatura de 200°C.

Para a espécie *Bambusa tuldoides*, o efeito mais destacável da temperatura sobre os índices de contração volumétrica foi para a temperatura de 200°C, obtendo o menor

coeficiente de contração volumétrica. Os demais valores não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

O comportamento da contração volumétrica das espécies de bambu foi distinto em função da temperatura de termorretificação. Para a espécie *Bambusa tuldooides* nota-se a redução do coeficiente de contração volumétrica com o aumento da temperatura de termorretificação, evidenciando a maior estabilidade dimensional proporcionada pela termorretificação, concordando com os resultados obtidos por Mayes & Oksanen (2002), Brito (2006), Manalo & Acda (2009) e Colla (2010).

O aumento da contração verificado na espécie *Phyllostachys aurea* pode estar mascarada, pela intensidade de colapsos ocorridos nesta espécie. Nascimento (1990) ao estudar a espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus* observou que o coeficiente de contração volumétrica foi inversamente proporcional à densidade básica. Nascimento & Della Lucia (1994) afirmaram que a baixa estabilidade dimensional atribuída ao bambu está relacionada à grande porcentagem de células de parênquima (de paredes celulares delgadas) que colapsa durante a perda de água livre, mascarando dessa forma, os resultados de contração.

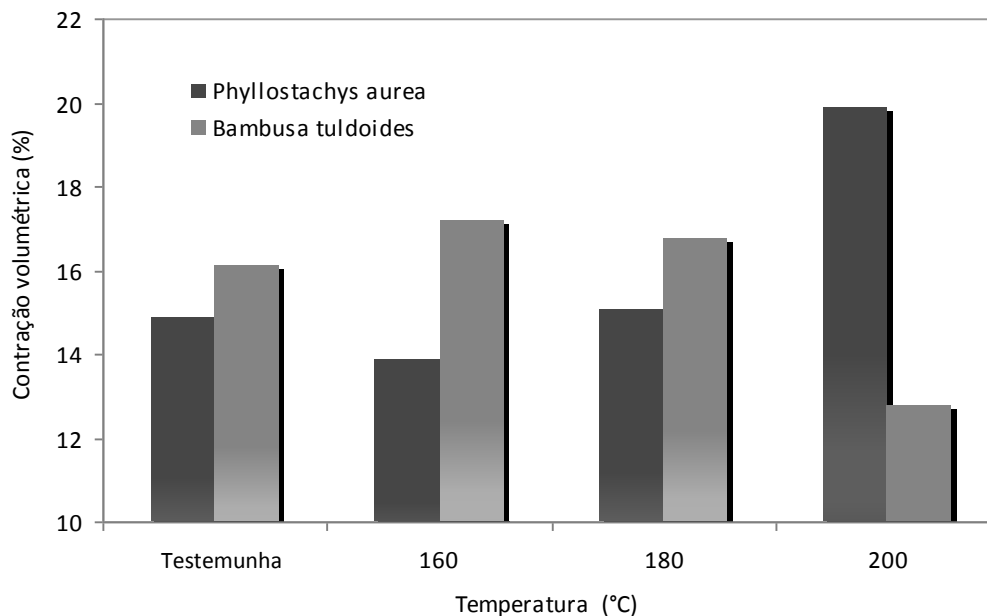
A espécie *Phyllostachys aurea* tem densidade menor que *Bambusa tuldooides*, indicando maior quantidade de células parenquimáticas. A correlação entre densidade e contração para bambu é inversa quando comparada à madeira, pois os tecidos parenquimatosos, que possuem paredes celulares mais delgadas, são conseqüentemente mais sujeitos a colapsos intensos. Portanto, é de se esperar que estas alterações dimensionais fossem mais intensas para *Phyllostachys aurea*, numa temperatura mais elevada, pois é composta por material menos denso.

**Tabela 6.** Resultados obtidos para o coeficiente de contração volumétrica das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

Contração (%)	Tempo de tratamento (minutos)			
	Testemunha	15	30	45
<sup>1</sup> $\beta_{VP.aurea}$	14,88 a (2,68) [0,22]	15,64 a (2,71) [0,26]	17,06 a (2,81) [0,21]	16,12 a (2,71) [0,36]
<sup>2</sup> $\beta_{VB.tuldooides}$	16,11 a {24,00}	16,06 a {24,93}	14,07 a {22,40}	16,58 a {29,66}
Contração (%)	Temperatura de tratamento (°C)			
	Testemunha	160	180	200
<sup>1</sup> $\beta_{VP.aurea}$	14,88 ab (2,68) [0,22]	13,87 a (2,61) [0,19]	15,06 ab (2,67) [0,29]	19,90 b (2,96) [0,24]
<sup>2</sup> $\beta_{VB.tuldooides}$	16,11 a {24,00}	17,19 a {33,00}	16,78 a {30,66}	12,75 b {13,33}

$\beta_v$ : contração volumétrica. Os valores entre parênteses referem-se à média dos dados transformados (log10) da variável  $\beta_v$ . Os valores entre colchetes referem-se ao desvio padrão. Os valores entre chaves referem-se às médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si segundo os testes de Tukey e Kruskal-Wallis, à 95% de probabilidade. <sup>1</sup>Análise de variância. <sup>2</sup>Método não-paramétrico de Kruskal-Wallis.





**Figura 16.** Coeficiente de contração volumétrica das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* em função da temperatura de termorretificação.

A retratibilidade é influenciada pelo estágio de maturação das fibras e à densidade dos feixes vasculares. Colmos mais velhos são mais estáveis que os mais jovens. As fibras passam por um alongamento significativo a partir de apenas alguns microns até cerca de 2 mm. Dentro dos internódios, as fibras próximas aos nós são sempre mais curtas que na porção mediana (LIESE, 1998).

O tratamento de termorretificação acarreta alterações anatômicas no material termorretificado, como explicado por Colla et al. (2011). Ao estudar o efeito do tratamento térmico nas propriedades físico-mecânicas do bambu *Dendrocalamus giganteus*, esses autores observaram por meio de imagens digitalizadas de microscopia eletrônica as alterações ocorridas após o tratamento. Na temperatura de 180°C, notaram-se mudanças anatômicas drásticas, com células de parênquima severamente colapsadas. À temperaturas de 220°C, os grãos de amido apresentaram fissuras e começaram a se romper. Já a 300°C, a estrutura do material foi similar ao carvão vegetal, com grãos de amido totalmente degradados e com paredes celulares distorcidas. Portanto, a maior contração volumétrica encontrada para *Phyllostachys aurea* na temperatura mais elevada de termorretificação (Figura 16), pode ser explicada pela ruptura das paredes celulares (paredes delgadas) do parênquima.

Liese (1986) observou que quanto maior a densidade básica, menor foi a expansão do bambu. O autor destaca também que o colapso é o seu defeito de secagem mais sério, e que esse varia muito de espécie para espécie.

#### 4.1.3 Taxa de absorção de água

Pode-se observar pelos resultados apresentados na Tabela 9 que o tratamento de termorretificação foi eficaz quanto à redução na taxa de absorção de água. O comportamento da taxa de absorção na espécie *Phyllostachys aurea* considerando os fatores principais tempo e temperatura foram semelhantes, pois as médias dos tratamentos tiveram reduções significativas quando comparadas ao controle, chegando a obtenção uma redução de aproximadamente 50% na absorção de água. A redução na taxa de absorção de água foi

significativa entre os tempos de tratamentos e o controle, no entanto o efeito da duração dos tratamentos de 15, 30 e 45 minutos não foram significativos.

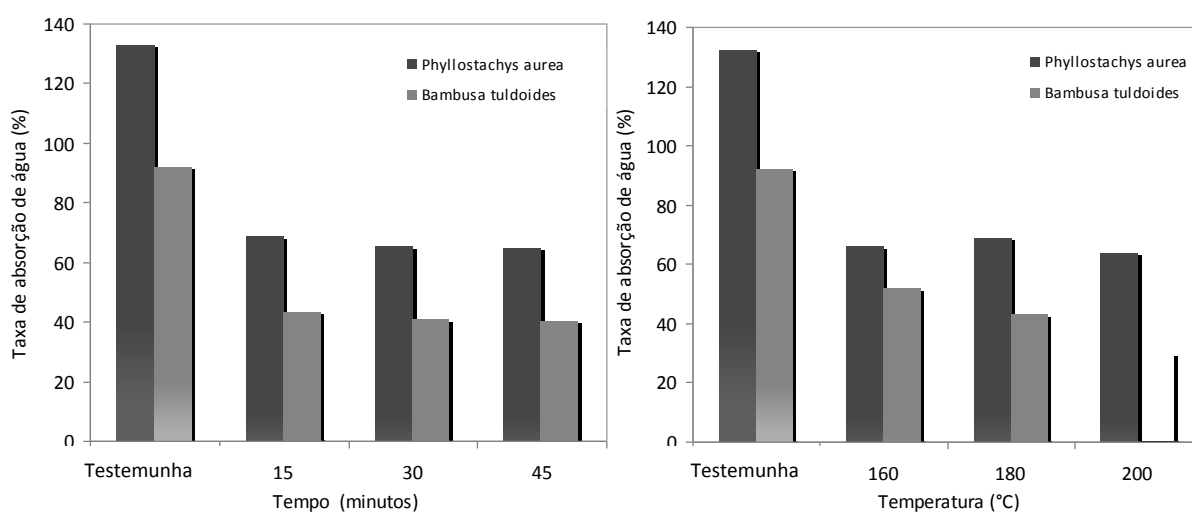
Para a espécie *Bambusa tuldooides*, considerando o fator tempo, se observa que o comportamento na taxa de absorção de água foi similar ao da espécie *Phyllostachys aurea*. Considerando o fator temperatura na taxa de absorção de água, se observa que houve diferenças significativas entre as médias do material tratado, todas diferentes estatisticamente entre si (Tabela 7). Quando comparadas ao controle, apenas as temperaturas de 180 e 200°C se mostram distintas, com destaque para a temperatura de 200°C que apresentou redução de 60% na taxa de absorção quando comparada ao controle.

**Tabela 7.** Resultados obtidos para a taxa de absorção de água das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

Absorção de água (%)	Tempo de tratamento (minutos)			
	Testemunha	15	30	45
<sup>1</sup> Ta <sub>P.aurea</sub>	132,45 a [10,82]	68,32 b [12,82]	65,16 b [14,04]	64,49 b [12,80]
<sup>2</sup> Ta <sub>B.tuldooides</sub>	91,79 a (48,00)	43,00 b (25,60)	40,57 b (21,80)	40,21 b (21,60)
Absorção de água (%)	Temperatura de tratamento (°C)			
	Testemunha	160	180	200
<sup>1</sup> Ta <sub>P.aurea</sub>	132,45 a [10,82]	65,68 b [10,76]	68,70 b [12,49]	63,60 b [15,77]
<sup>2</sup> Ta <sub>B.tuldooides</sub>	91,79 a (48,00)	51,33 a (37,60)	43,00 b (23,40)	29,46 c (8,00)

Ta: taxa de absorção de água. Os valores entre colchetes referem-se ao desvio padrão. Os valores entre parênteses referem-se às médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo os testes de Tukey e Kruskal-Wallis, à 95% de probabilidade. <sup>1</sup>Análise de variância. <sup>2</sup>Método não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

Na Figura 17, observa-se que a espécie *Bambusa tuldooides* apresentou, tanto para o material termorretificado quanto para o controle, os menores valores de taxa de absorção. Segundo Manalo & Acda (2009), o tratamento térmico com óleo quente à 160, 180 e 200°C e com duração de 30, 60 e 120 minutos, em três espécies de bambu causou uma redução na absorção de água. Os autores observaram que os tratamentos à 160 e 200°C tiveram efeito significativo sobre a taxa de absorção de água com relação aos controles para todas as espécies estudadas. No entanto, os efeitos da duração do tratamento de 60 e 120 minutos não foram significativos.



**Figura 17.** Taxa de absorção de água das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

#### 4.1.4 Teor de umidade de equilíbrio

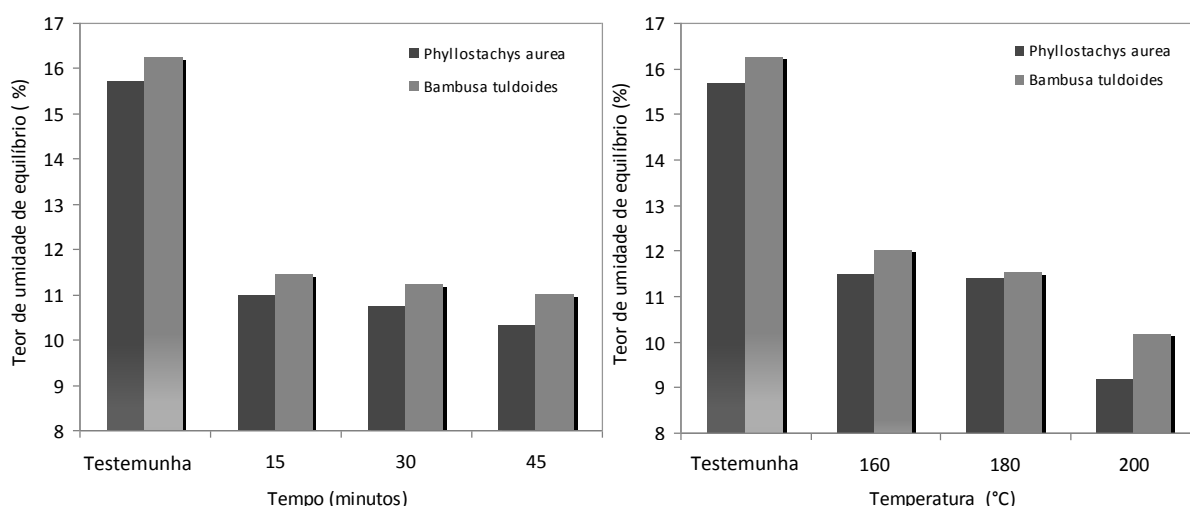
O efeito do tempo e da temperatura de termorretificação no teor de umidade de equilíbrio resultou em diferenças significativas entre as médias (Tabela 10). Comparando os teores de umidade de equilíbrio para a espécie *Phyllostachys aurea*, considerando o fator tempo de termorretificação, o controle apresentou o maior valor médio com 15,69%, diferenciando-se significativamente dos tratamentos (15, 30 e 45 minutos), os quais, por sua vez não apresentaram diferenças estatísticas entre si (Tabela 8).

Considerando o fator temperatura na espécie *Phyllostachys aurea*, os tratamentos sobre efeito da temperatura apresentaram um decréscimo no teor de umidade de equilíbrio, no entanto, diferenças significativas foram notadas somente entre a temperatura de 200°C e as demais, incluindo o controle (Tabela 10).

**Tabela 8.** Resultados obtidos para o teor de umidade de equilíbrio das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

Umidade de Equilíbrio (%)	Tempo de tratamento (minutos)			
	Testemunha	15	30	45
TUE <sub><i>P.aurea</i></sub>	15,69 a (48,00)	10,96 b (23,53)	10,74 b (22,00)	10,32 b (23,46)
TUE <sub><i>B.tuldooides</i></sub>	16,24 a (48,00)	11,43 b (26,73)	11,22 b (22,66)	11,00 b (19,60)
Umidade de Equilíbrio (%)	Temperatura de tratamento (°C)			
	Testemunha	160	180	200
TUE <sub><i>P.aurea</i></sub>	15,69 a (48,00)	11,48 a (31,46)	11,39 a (29,40)	9,15 b (8,13)
TUE <sub><i>B.tuldooides</i></sub>	16,24 a (48,00)	12,01 ab (35,66)	11,50 b (25,33)	10,15 c (8,00)

TUE: teor de umidade de equilíbrio. Os valores entre parênteses referem-se às médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo o teste de Kruskal-Wallis, à 95% de probabilidade.



**Figura 18.** Teor de umidade de equilíbrio das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

Para a espécie *Bambusa tuldooides*, considerando o fator tempo, o teor de umidade de equilíbrio mostrou-se estatisticamente diferentes entre o controle e os tratamentos. Para a temperatura, as diferenças ocorreram entre mais tratamentos (Tabela 10).

Para o fator tempo, os resultados mostraram que os tratamentos a 15, 30 e 45 minutos apresentaram teores de umidade de 11,43, 11,22 e 11%, respectivamente, enquanto a testemunha controle apresentou um valor de 16,24% (Tabela 10), sendo a testemunha estatisticamente diferente dos demais tempos, e esses iguais entre si.

No fator temperatura, o comportamento foi similar, com teores de umidade menores para o material termorretificado, no entanto, as diferenças foram maiores. Os valores encontrados foram de 16,24, 12,01, 11,50 e 10,15% para o controle e as temperaturas de 160, 180 e 200°C, respectivamente. O resultado do controle apresentou-se igual a apenas ao da temperatura de 160°C. A temperatura de 200°C apresentou o menor valor médio para o teor de umidade de equilíbrio. O teor de umidade na temperatura de 180°C, se igualou estatisticamente ao da temperatura de 160°C.

## 4.2 Propriedades mecânicas do bambu

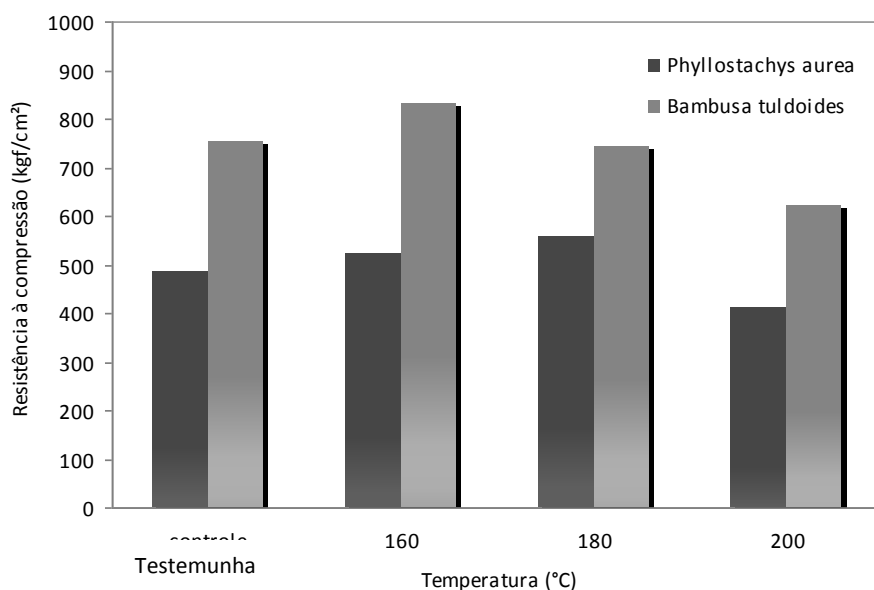
### 4.2.1 Resistência à compressão

Os resultados de resistência à compressão das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* considerando os fatores tempo e temperatura estão apresentados na Tabela 9. A resistência à compressão das espécies estudadas não apresentou diferenças significativas entre os tempos de termorretificação, indicando que o fator tempo não afetou a resistência à compressão.

**Tabela 9.** Resultados obtidos para a resistência à compressão das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

Resistência à compressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tempo de tratamento (minutos)			
	Testemunha	15	30	45
<sup>2</sup> f <sub>C.P.aurea</sub>	484,27 a [21,80]	507,17 a [26,07]	474,68 a [21,00]	515,06 a [25,40]
<sup>1</sup> f <sub>C.B.tuldoides</sub>	753,58 a (108,21)	761,23 a (105,98)	722,61 a (159,87)	721,14 a (129,90)
Resistência à compressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Temperatura de tratamento (°C)			
	Testemunha	160	180	200
<sup>1</sup> f <sub>C.P.aurea</sub>	484,27 ab (66,18)	523,18 a (94,25)	558,81 a (115,04)	409,71 b (69,75)
<sup>1</sup> f <sub>C.B.tuldoides</sub>	753,58 ab (108,21)	830,83 a (99,36)	742,71 a (94,74)	620,62 b (113,68)

fc: limite de resistência à compressão. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão dos dados. Os valores entre colchetes referem-se aos valores dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo o teste de Tukey, a 95% de probabilidade. <sup>1</sup>Análise de variância. <sup>2</sup>Método não-paramétrico de Kruskal-Wallis.



**Figura 19.** Resistência à compressão das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* em função da temperatura de termorretificação.

Considerando a temperatura como fator principal, a resistência à compressão teve comportamento diferenciado em relação ao tempo de tratamento, a análise estatística mostrou diferença significativa entre as temperaturas. Para as duas espécies o comportamento foi semelhante, observa-se que a resistência à compressão na temperatura de 200°C foi a menor e estatisticamente diferente das temperaturas de 160 e 180°C.

Esses resultados corroboram com os estudos de Thermowood<sup>®</sup> Handbook (2003), Pessoa et al. (2006), Brito et al. (2006), Boonstra (2008), Manalo & Acda (2009), Colla et al. (2011), em que o aumento da temperatura de termorretificação causa reduções mais importantes na resistência mecânica do material. A redução das propriedades mecânicas da madeira termorretificada é atribuída principalmente a quebra das hemiceluloses, e as ruptura

nos pontos fracos da lignina e reações de condensação entre a lignina e os sub-produtos dos principais componentes das paredes celulares da madeira.

#### 4.2.2 Resistência ao cisalhamento

Os resultados de resistência ao cisalhamento estão apresentados na Tabela 10 para as espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides*, considerando os fatores tempo e temperatura de termorreificação.

**Tabela 10.** Resultados obtidos para a resistência ao cisalhamento das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e da temperatura de termorreificação.

(kgf/cm <sup>2</sup> )	Tempo de tratamento (minutos)			
	Testemunha	15	30	45
<sup>1</sup> f <sub>v</sub> <i>P.aurea</i>	105,00 a (14,19)	100,97 a (31,67)	93,77 a (30,37)	87,49 a (24,23)
<sup>1</sup> f <sub>v</sub> <i>B.tuldooides</i>	113,56 a (27,90)	84,09 ab (34,69)	69,34 bc (24,13)	59,08 c (29,67)
(kgf/cm <sup>2</sup> )	Temperatura de tratamento (°C)			
	Testemunha	160	180	200
<sup>1</sup> f <sub>v</sub> <i>P.aurea</i>	105,00 a (14,19)	114,90 a (20,16)	95,48 a (28,38)	71,84 b (20,05)
<sup>2</sup> f <sub>v</sub> <i>B.tuldooides</i>	113,56 a [41,20]	93,97 a [33,20]	71,99 ab [25,60]	46,55 b [12,46]

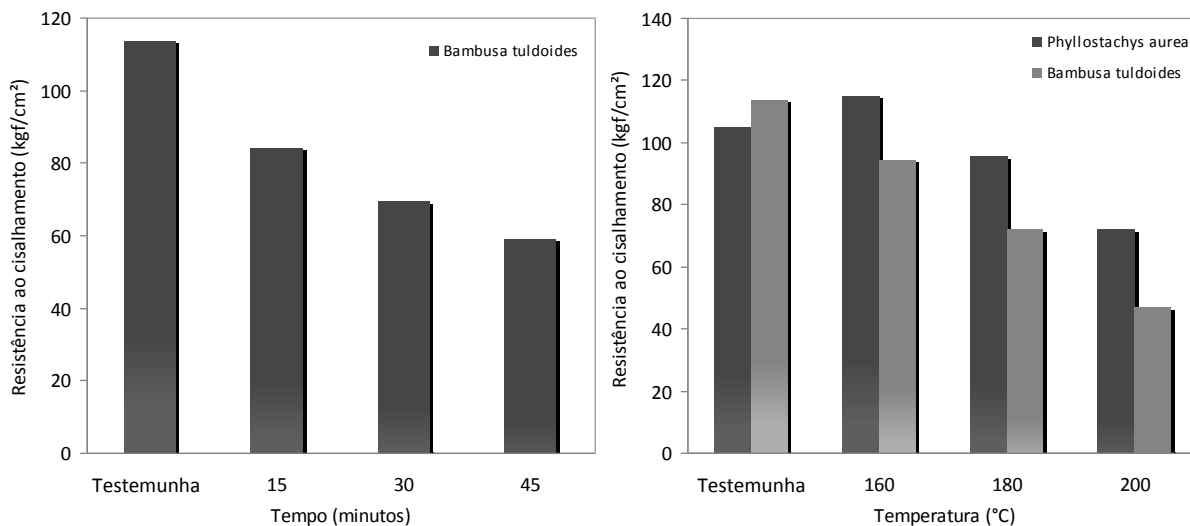
fv: limite de resistência ao cisalhamento. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão dos dados. Os valores entre colchetes referem-se às médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo os testes de Tukey, à 95% de probabilidade e de Kruskal-Wallis. <sup>1</sup>Análise de variância. <sup>2</sup>Método não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

A resistência ao cisalhamento para a espécie *Phyllostachys aurea* apresentou médias estatisticamente iguais entre si quando verifica-se o efeito do tempo de termorreificação, no entanto, nota-se uma tendência a redução da resistência de cisalhamento com o aumento do tempo de termorreificação.

Considerando o fator temperatura para a espécie *Phyllostachys aurea*, o controle apresentou-se estatisticamente igual às temperaturas de 160 e 180°C, mas estatisticamente diferente da temperatura de 200°C. A resistência ao cisalhamento na temperatura de 200°C mostrou-se menor que as demais temperaturas de tratamento, correspondendo a 31,5% de redução da resistência em relação ao controle. Nota-se a tendência à redução da resistência ao cisalhamento com a elevação da temperatura de tratamento.

Segundo as análises estatísticas, o tempo de tratamento de termorreificação reduziu significativamente a resistência ao cisalhamento para a espécie *Bambusa tuldooides*. A resistência ao cisalhamento do controle apresentou-se igual estatisticamente ao tratamento de 15 minutos, no entanto, diferente dos tempos de 30 e de 45 minutos, enquanto os tempos de 15 e 30 minutos são estatisticamente iguais. Destaque para a resistência no tempo de 45 minutos que se apresentou menor e diferente estatisticamente dos demais, com exceção do tempo de 30 minutos. Isso correspondendo à uma redução de 47% na resistência ao cisalhamento em relação ao controle.

A temperatura também influenciou a redução da resistência ao cisalhamento para a espécie *Bambusa tuldoides*. Segundo as análises estatísticas, o menor valor de resistência ao cisalhamento foi de 46,55 kgf/cm<sup>2</sup> para a temperatura mais agressiva, o que corresponde à uma redução de 59% quando comparado ao controle. O efeito do tempo e da temperatura de termorretificação na resistência ao cisalhamento das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* pode ser visualizado na Figura 20.



**Figura 20.** Resistência ao cisalhamento da espécie *Bambusa tuldoides* em função do tempo de termorretificação e das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação, respectivamente.

#### 4.2.3 Módulo de elasticidade à flexão

Os resultados obtidos para o módulo de elasticidade (MOE) à flexão após os tratamentos de termorretificação das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* encontram-se na Tabela 11.

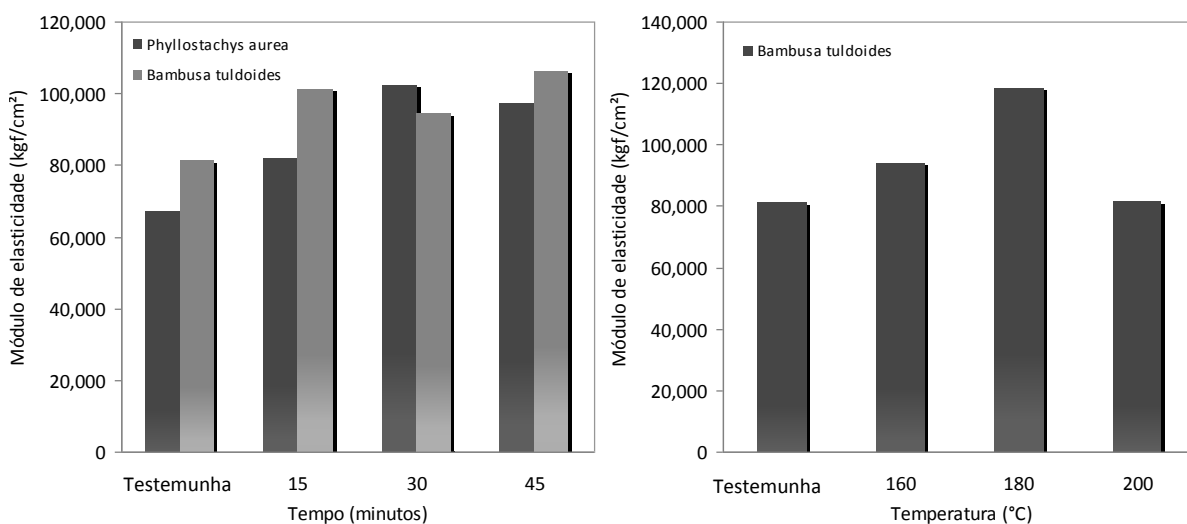
**Tabela 11.** Resultados obtidos para o módulo de elasticidade das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

(kgf/cm <sup>2</sup> )	Tempo de tratamento (minutos)			
	Testemunha	15	30	45
<sup>1</sup> MOEd <sub><i>P.aurea</i></sub>	67.069,11 a (13.166,54)	81.847 ab (18.816)	102.144 b (11.786)	97.277 ab (16.474)
<sup>1</sup> MOEd <sub><i>B.tuldoides</i></sub>	81.162,1 a (14.368,58)	101.096,6 ab (24.905,68)	94.226,1 ab (25.533,82)	106.164,5 b (19.228,13)
(kgf/cm <sup>2</sup> )	Temperatura de tratamento (°C)			
	Testemunha	160	180	200
<sup>1</sup> MOEd <sub><i>P.aurea</i></sub>	67.069,11 a (13.166,54)	91.439,66 a (21.302,95)	96.823,06 a (9.642,75)	88.094,65 a (21.397,32)
<sup>1</sup> MOEd <sub><i>B.tuldoides</i></sub>	81.162,1 a (14.368,58)	93.746 a (16.962,09)	118.456,6 b (18.200,9)	81.521,3 a (17.609,66)

MOE<sub>d</sub>: módulo de elasticidade à flexão depois do tratamento de termorretificação. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão dos dados. Os valores entre colchetes referem-se aos valores dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si segundo o teste de Tukey, à 95% de probabilidade. <sup>1</sup>Análise de variância. <sup>2</sup>Método não-paramétrico de Kruskal-Wallis.

Para a espécie *Phyllostachys aurea*, considerando o fator tempo, o MOE apresentou diferenças significativas entre os tratamentos. Os resultados dos tempos de 15, 30 e 45 minutos foram iguais entre si, enquanto o controle foi diferente do tratamento à 30 minutos. O tempo de termorretificação de 30 minutos destacou-se por apresentar o maior MOE à flexão.

Para a espécie *Bambusa tuldoides*, o MOE à flexão também apresentou diferenças estatísticas entre as médias, em que o controle se diferenciou somente do tratamento por 45 minutos. Este último resultado apresentou-se superior aos demais (Figura 21).



**Figura 21.** Módulo de elasticidade das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo de termorretificação e da espécie *Bambusa tuldoides* em função da temperatura de termorretificação, respectivamente.

Considerando o fator temperatura, o resultado do MOE à flexão depois da termorretificação para a espécie *Phyllostachys aurea* não apresentou diferenças significativas entre as temperaturas de tratamento (Tabela 11). Já para a espécie *Bambusa tuldoides* as diferenças estatísticas puderam ser observadas. Destaque para a temperatura de 180°C que se mostrou maior que as demais.

Manalo & Acda (2009) notaram um comportamento diferente ao estudarem três espécies de bambu tratado termicamente com óleo quente. Os autores constatararam que os valores de MOE para *Bambusa blumeana*, *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper* apresentaram uma redução média de 22% na rigidez com o aumento da temperatura de tratamento em relação às amostras controles. Eles observaram que a temperatura de 200°C mostrou-se estatisticamente diferente da temperatura de 160°C para a espécie *Bambusa vulgaris* e para *Bambusa blumeana* e *Dendrocalamus asper* foram similares, indicando dificuldades em generalizar os resultados por gênero, uma vez que as diferenças encontradas foram entre espécies de mesmo gênero.

Vale ressaltar que as dimensões das amostras utilizadas pelos autores foram diferentes das usadas nesse estudo. Manalo & Acda (2009) utilizaram amostras de colmos seccionados longitudinalmente em quatro partes e sem nó, e para o ensaio de flexão estática as amostras foram posicionadas com a epiderme voltada para o lado que sofre compressão.

No entanto, outros estudos revelam um leve acréscimo do MOE quando a madeira é tratada termicamente por curtos períodos de tempo, como é o caso do presente estudo. A redução do MOE se torna significativo quando a perda de massa excede 8% e que o MOE apresenta um aumento nas temperaturas de termorretificação de 115 e 175°C, conforme



afirmado por Rusche (1973), Millett & Gerhards (1972) citados por Wiley (2006). Outros autores observaram também que além do tempo de tratamento, a atmosfera também influencia o MOE. Kubojima et al. (2000) citado por Wiley (2006) notaram que em curtos períodos de tempo de tratamento há um acréscimo do MOE e que em uma atmosfera com nitrogênio, o MOE apresentou-se constante enquanto na presença de ar, o MOE diminuiu.

Com base nos resultados da variação do módulo de elasticidade antes e depois da termorreificação (MOE%) pode-se observar que não há diferenças estatísticas entre os tempos de tratamento nas espécies estudadas (Tabela 12).

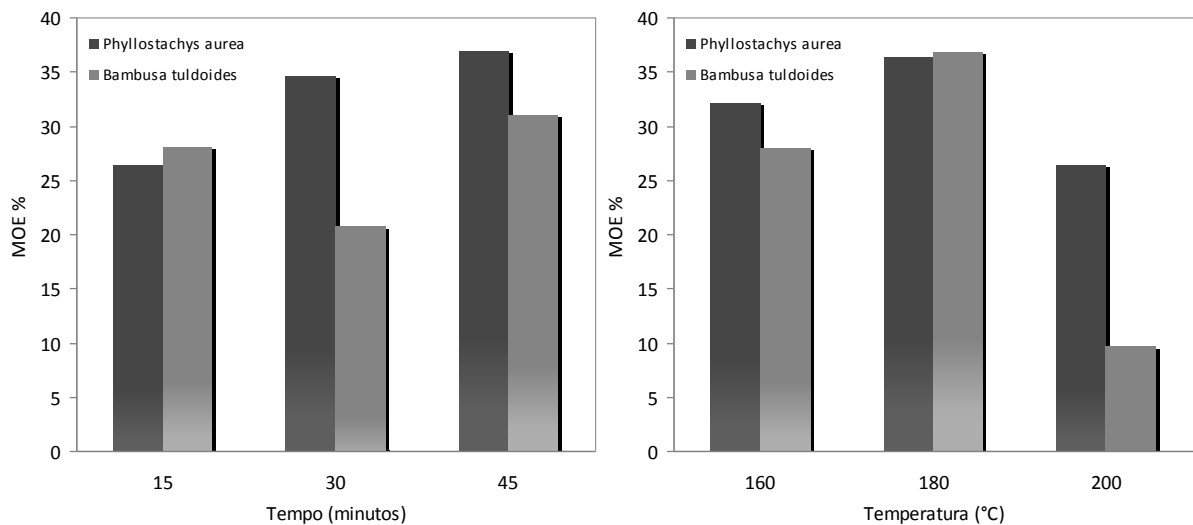
**Tabela 12.** Resultados obtidos para a variação do módulo de elasticidade das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e da temperatura de termorreificação.

(%)	Tempo de tratamento (minutos)		
	15	30	45
MOE% <i>P.aurea</i>	26,39 a (17,23)	34,57 a (22,44)	36,93 a (23,00)
MOE% <i>B.tuldoides</i>	28,10 a (23,63)	20,73 a (19,38)	31,02 a (25,27)
(%)	Temperatura de tratamento (°C)		
	160	180	200
MOE% <i>P.aurea</i>	32,09 a (20,25)	36,29 a (23,56)	26,43 a (17,22)
MOE% <i>B.tuldoides</i>	27,98 b (23,63)	36,85 b (28,86)	9,61 a (12,60)

MOE%: variação do módulo de elasticidade à flexão antes e depois do tratamento de termorreificação. Os valores entre parênteses referem-se aos valores dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo o método não-paramétrico de Kruskal-Wallis, a 95% de probabilidade.

Observando os resultados de MOE% para a espécie *Phyllostachys aurea*, nota-se uma tendência ao aumento da variação do MOE à flexão indicando maiores alterações com a elevação dos tempos de tratamentos. Um comportamento diferente foi observado para a espécie *Bambusa tuldoides* (Figura 22).

Considerando o fator temperatura, nota-se uma redução na variação do MOE com a elevação da temperatura de tratamento para a espécie *Bambusa tuldoides*. Esses resultados colaboram com os encontrados para o MOE à flexão, para o fator tempo a variação apresenta aumento com a elevação do tempo, pois com esse acréscimo do tempo o MOE à flexão tende a aumentar. Já para o fator temperatura, ocorre o mesmo, no entanto apenas até a temperatura de 180°C, a partir dessa temperatura nota-se que as alterações são mais agressivas e intensas, principalmente na degradação das hemiceluloses, proporcionando redução do módulo de elasticidade.



**Figura 22.** Variação do módulo de elasticidade das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

### 4.3 Variação da cor do bambu

#### 4.3.1 Coordenada L\*

Na Tabela 13 estão apresentados os resultados da coordenada L\* (luminosidade) para as espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação. A coordenada L\* apresentou diferenças significativas após os tratamentos termorretificadores. Considerando ao fator tempo para a espécie *Phyllostachys aurea*, a luminosidade do controle mostrou-se diferente dos tempos de tratamento, entretanto, nenhuma diferença foi observada entre os tempos de termorretificação.

Para a espécie *Bambusa tuldooides*, além da diferença entre o controle e os tempos de tratamento, o tempo de 45 minutos apresentou o menor resultado para a coordenada L\*. Notou-se que à medida que o tratamento se tornou mais agressivo, os valores de L\* tornaram-se menores, ocorrendo assim maior perda de luminosidade e tornando o bambu mais escuro. Observa-se ainda na Tabela 13 que o efeito do tempo foi mais marcante para a espécie *Bambusa tuldooides*, uma vez que aparecem três níveis diferentes de luminosidade.

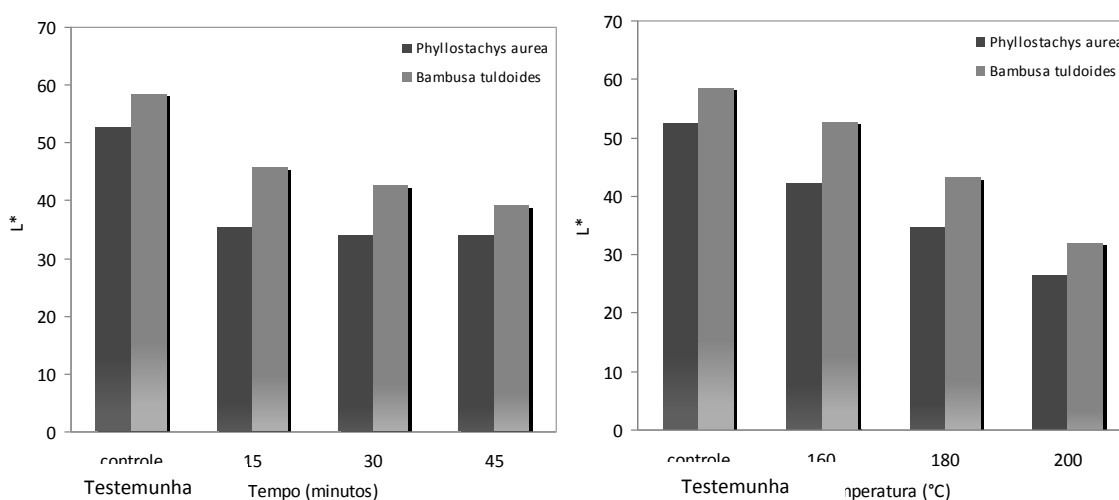
Além disso, se observou que a espécie *Bambusa tuldooides* apresentou valores maiores para L\* quando comparada à espécie *Phyllostachys aurea*, indicando que essa última apresenta mais luminosidade, visto que quanto menor o valor, mais claro será o material avaliado (Figura 23).

**Tabela 13.** Resultados obtidos para a coordenada L\* das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

	Tempo de tratamento (minutos)			
	Testemunha	15	30	45
L* <i>P.aurea</i>	52,50 a (474,64)	35,35 b (247,18)	33,77 b (215,11)	33,83 b (214,49)
L* <i>B.tuldoides</i>	58,39 a (442,69)	45,79 b (273,45)	42,53 b (231,55)	39,15 c (182,44)
	Temperatura de tratamento (°C)			
	Testemunha	160	180	200
L* <i>P.aurea</i>	52,50 a (474,64)	42,06 b (374,33)	34,64 c (225,76)	26,34 d (76,69)
L* <i>B.tuldoides</i>	58,39 a (442,69)	52,53 b (365,26)	43,16 c (238,65)	31,79 d (83,53)

L\*: luminosidade. Os valores entre parênteses referem-se as médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo o teste de Kruskal-Wallis, a 95% de probabilidade.

Considerando o fator temperatura, para ambas as espécies, foram observadas quatro níveis para a coordenada L\* (Tabela 13). Os valores da espécie *Bambusa tuldoides* são superiores aos da *Phyllostachys aurea*. O efeito da temperatura pode ser nitidamente observado com a elevação da temperatura. Nota-se que para a temperatura de 200°C tem-se os menores valores de L\*, indicando o escurecimento do material (Figura 23). Poucos estudos foram realizados sobre a colorimetria de espécies de bambu. Entretanto, Manalo & Acda (2009) estudaram o efeito da temperatura e da duração do tratamento de termorretificação na cor de três espécies de bambu filipino (*Bambusa blumeana*, *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper*). Os autores observaram que a termorretificação alterou a cor original do bambu para marrom e marrom escuro quando tratados a 160 e 200°C, respectivamente.



**Figura 23.** Coordenada L\* das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

A cor da epiderme também mudou de amarelo para marrom claro e marrom escuro à temperaturas de 160 e 200°C, respectivamente. Embora o resultado visual tenha sido uma aparência mais escura, a mudança da cor foi uniforme em todas as amostras.

Beraldo et al. (2009) também relatam a alteração da cor do bambu termorretificado. Esses autores estudaram o efeito do tratamento de termorretificação sob diferentes temperaturas e mostraram que à 140°C a cor não é alterada quando caomparado ao controle. A coordenada L\* foi de 76,35 e 75,16 para o controle e a temperatura de 140°C, respectivamente. Assim, em termo de característica de cor, o bambu termorretificado pode substituir várias madeiras tropicais. Por outro lado, o bambu termorretificado à 300°C mostra uma deformação excessiva e uma cor escura como carvão, denotando uma temperatura inadequada para possíveis aplicações do bambu termorretificado.

#### 4.3.2 Coordenada a\*

Na Tabela 14 constam os resultados obtidos para a coordenada a\* das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação. A coordenada a\* representa o eixo cromático verde-vermelho, sendo a tonalidade verde para os valores negativos e vermelho para os positivos. Desta forma, observa-se que as espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* apresentam antes da termorretificação, tonalidades vermelha e verde, respectivamente (Figura 24). Entretanto, após os tratamentos termorretificadores, ambas apresentaram tonalidade vermelha.

**Tabela 141.** Resultados obtidos para a coordenada a\* das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

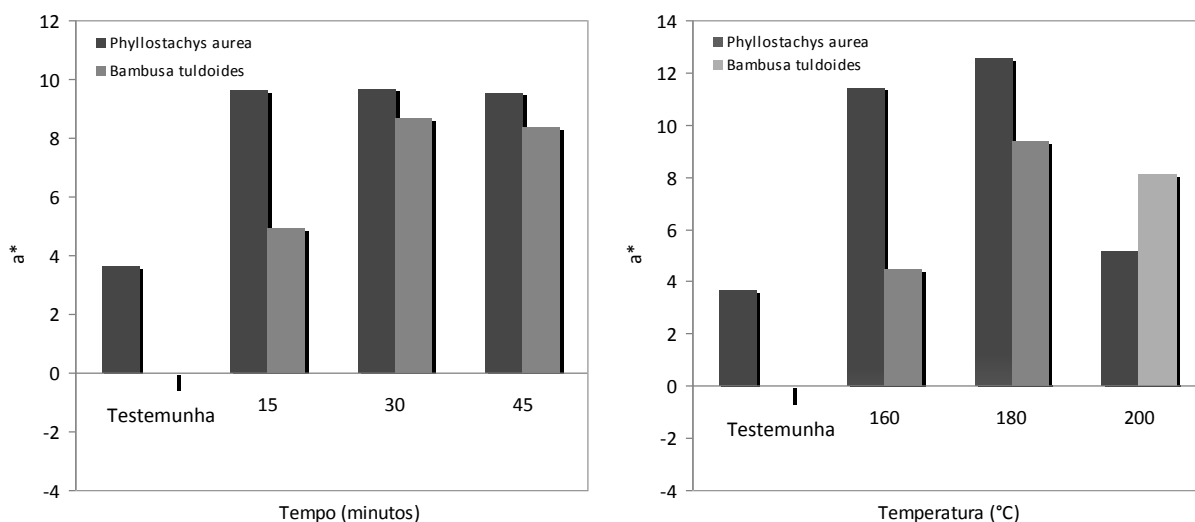
	Tempo de tratamento (minutos)			
	Testemunha	15	30	45
a* <i>P.aurea</i>	3,61 a (62,17)	9,63 b (272,07)	9,67 b (269,28)	9,53 b (272,95)
a* <i>B.tuldoides</i>	-1,64 a (50,57)	4,93 b (203,49)	8,65 c (319,73)	8,33 c (294,92)
	Temperatura de tratamento (°C)			
	Testemunha	160	180	200
a* <i>P.aurea</i>	3,61 a (62,17)	11,42 b (322,76)	12,55 c (375,41)	5,16 a (116,10)
a* <i>B.tuldoides</i>	-1,64 a (50,57)	4,48 b (182,78)	9,34 c (357,16)	8,10 d (278,20)

a\*: variável cromática no eixo verde-vermelho. Os valores entre parênteses referem-se às medias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruscal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo o teste de Kruscal-Wallis, à 95% de probabilidade.

Observa-se para a espécie *Phyllostachys aurea* que o controle diferencia-se significativamente dos demais tempos e que não há diferença entre os tempos de termorretificação, indicando que os tempos estudados não influenciam na alteração da tonalidade vermelha do bambu termorretificado.

Para o fator temperatura, a espécie *Phyllostachys aurea* apresentou um comportamento diferente para a coordenada a\*, a qual apresentou diferenças significativas entre o controle e as temperaturas de 160 e 180°C, as quais são diferentes entre si e do tratamento à 200°C.

Para a espécie *Bambusa tuldoides*, a coordenada a\* apresentou diferenças significativas entre o controle de os demais tempos de tratamento, e o tempo de 15 minutos diferenciou-se estatisticamente dos tempos de 30 e 45 minutos. O controle destacou-se por apresentar resultado negativo para a coordenada a\*, indicando que o material apresentou coloração esverdeada, fato não ocorrente entre as madeiras tropicais.



**Figura 24.** Coordenada  $a^*$  das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

Considerando o fator temperatura para a espécie *Bambusa tuldooides*, a coordenada  $a^*$  apresentou diferença estatística entre o controle e todas as temperaturas de termorretificação. Destaque deve ser dado à temperatura de 180°C que apresentou o maior valor de  $a^*$  para ambas espécies, indicando uma maior tonalidade vermelhada. Estudos realizados com madeiras mencionam que variações observadas no pigmento vermelho devem-se provavelmente às alterações no teor de extrativos após a termorretificação. Poubel (2011) observou que a coordenada  $a^*$  da madeira de *Pinus caribaea* termorretificada a 180 e 200°C durante 2 horas foi diretamente proporcional ao teor de extrativos. Segundo o Thermowood® Handbook (2003), o teor de extrativos da madeira aumenta quando o tratamento é realizado às temperaturas de até 180°C e diminui à temperaturas próximas à 230°C. Isso ocorre porque à temperaturas menores há a formação de sub-produtos causados pela à degradação dos componentes da madeira, principalmente hemiceluloses, aumentando o teor de extrativos, enquanto à temperaturas mais elevadas ocorre a volatilização desses extrativos.

#### 4.3.3 Coordenada $b^*$

A Tabela 15 apresenta os resultados obtidos para a coordenada  $b^*$  das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldooides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação. Para a espécie *Phyllostachys aurea*, observou-se diferenças estatísticas entre a testemunha e os tempos de tratamento. A testemunha apresentou o maior valor para a coordenada  $b^*$  (24,16), indicando uma tonalidade amarela mais acentuada. Esse valor foi seguido pelos tempos de 15, 30 e 45 minutos com valores médios de 16,76, 14,66 e 14,64, respectivamente. Os resultados encontrados para o controle e para as temperaturas de 160, 180 e 200°C foram de 24,16, 25,28, 16,93 e 3,85 respectivamente. Observou-se diferenças significativas entre o controle e as temperaturas de 180 e 200°C enquanto o controle e a temperatura de 160°C foram iguais entre si. A coordenada  $b^*$  diferenciou-se entre as três temperaturas, mostrando um decréscimo na tonalidade amarela com o aumento da temperatura.

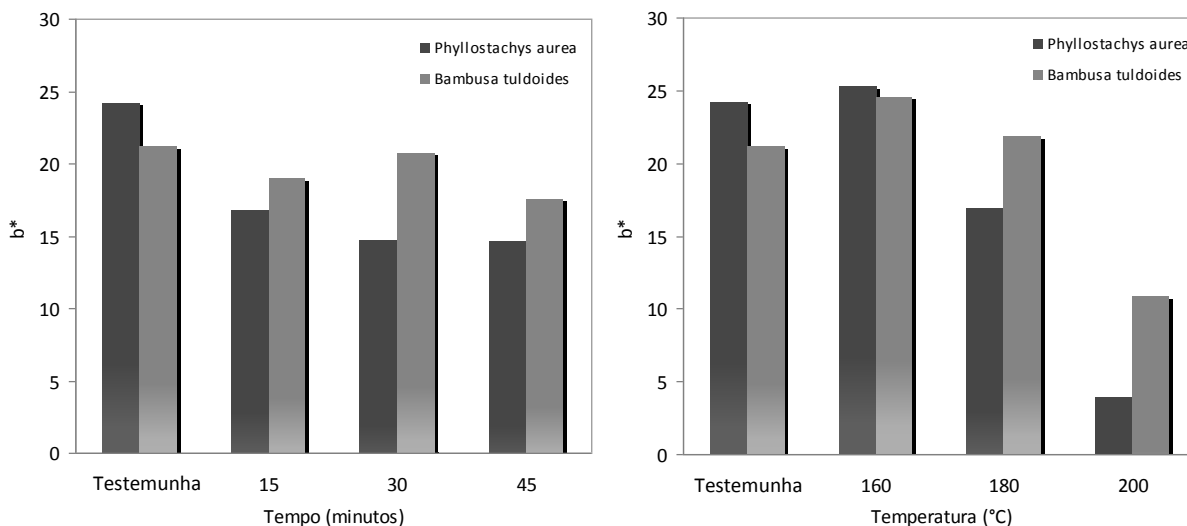
**Tabela 25.** Resultados obtidos para a coordenada b\* das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

	Tempo de tratamento (minutos)			
	Testemunha	15	30	45
b* <i>P.aurea</i>	24,16 a (376,38)	16,76 b (263,79)	14,66 bc (227,93)	14,64 c (217,76)
b* <i>B.tuldoides</i>	21,13 ab (270,40)	18,97 ab (241,62)	20,75 a (281,21)	17,49 b (222,03)

	Temperatura de tratamento (°C)			
	Testemunha	160	180	200
b* <i>P.aurea</i>	24,16 a (376,38)	25,28 a (401,34)	16,93 b (232,05)	3,85 c (76,15)
b* <i>B.tuldoides</i>	21,13 a (270,40)	24,53 b (362,82)	21,81 a (293,76)	10,86 c (88,28)

b\*: variável cromática no eixo azul-amarelo. Os valores entre parênteses referem-se às médias dos postos ordenados pelo método não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra são estatisticamente iguais entre si segundo o teste de Kruskal-Wallis, à 95% de probabilidade.



**Figura 25.** Coordenada b\* das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides* em função do tempo e da temperatura de termorretificação.

Quanto aos resultados da coordenada b\* para a espécie *Bambusa tuldoides*, considerando o fator tempo, foram encontrados valores médios de 21,13, 18,97, 20,75 e 17,40 para a testemunha e os tempos de 15, 30 e 45 minutos, respectivamente. Destaque deve ser dado para os tempos 30 e 45 minutos que se apresentaram estatisticamente diferentes entre si e iguais aos demais tempos.

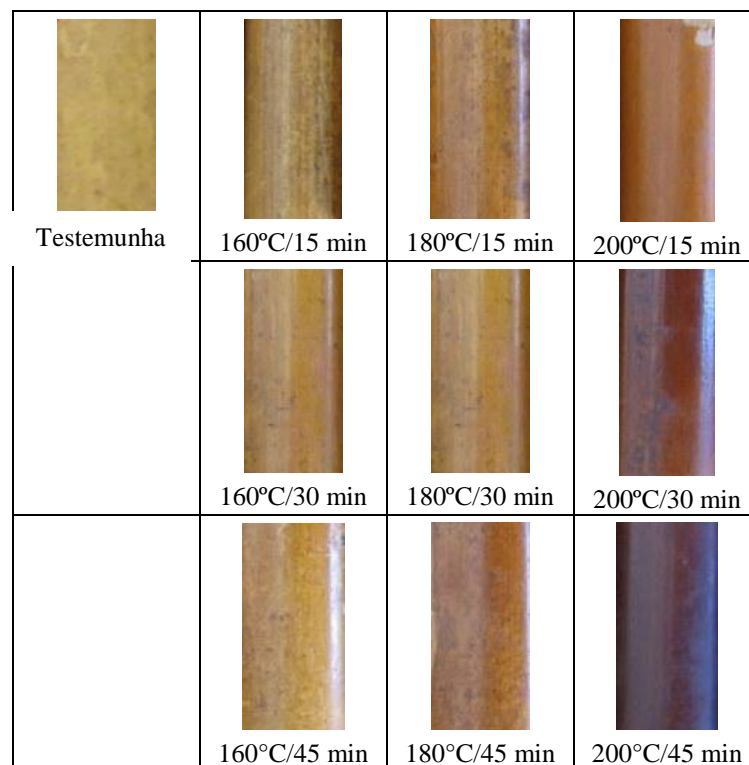
Considerando o fator temperatura para a espécie *Bambusa tuldoides*, a testemunha e as temperaturas de 160, 180 e 200°C apresentaram valores médios de 21,13, 24,53, 21,81 e 10,86, respectivamente. Entretanto, foram observadas diferenças estatísticas somente entre a testemunha e as temperaturas de 160 e 200°C, sendo o controle igual à temperatura de 180°C.

As Figuras 26 e 27 apresentam a alteração da cor do bambu para as espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*, em função do tempo e da temperatura de termorretificação. A cor do bambu de ambas as espécies foi nítida alterada após os tratamentos de termorretificação.



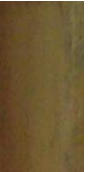


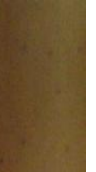
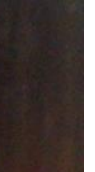


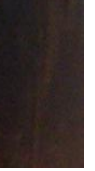
Camargos (1999) propôs uma tabela para descrever as cores de madeiras. Desta forma, tal a classificação foi utilizada para descrever as cores das espécies de bambu antes e depois dos tratamentos termorretificadores. Para a espécie *Phyllostachys aurea*, foram encontradas as seguintes cores: oliva-claro para o controle, amarelo-amarronzado para os tratamentos a 160°C e marrom-escuro para os tratamentos a 180°C. Para o tratamento a 200°C, nota-se um escurecimento crescente com o tempo de termorretificação, obtendo-se uma cor preta para a condição mais severa (200°C por 45 minutos) (Figura 26).

Para a espécie *Bambusa tuldoides*, foram observados quatro padrões de cor: oliva-claro para o controle, oliva para os tratamentos à 160°C, marrom-oliva para os tratamentos à 180°C e marrom-arroxeadado para o tratamento à 200°C (Figura 27).

Foi possível notar que a superfície das amostras da espécie *Phyllostachys aurea* apresentaram brilho após os tratamentos termorretificadores, o mesmo não ocorreu para a espécie *Bambusa tuldoides*, a qual apresentou uma superfície fosca.



**Figura 26.** Alteração da cor da espécie *Phyllostachys aurea* para as diferentes condições de tempo e temperatura de termorretificação.

			
Testemunha	160°C/15 min	180°C/15 min	200°C/15 min
			
	160°C/30 min	180°C/30 min	200°C/30 min
			
	160°C/45 min	180°C/45 min	200°C/45 min

**Figura 27.** Alteração da cor da espécie *Bambusa tuldoides* para as diferentes condições de tempo e temperatura de termorretificação.



## 5 CONCLUSÕES

O tratamento de termorreificação não alterou as densidades básica e aparente das espécies *Phyllostachys aurea* e *Bambusa tuldoides*.

A espécie *Bambusa tuldoides* apresentou uma menor contração volumétrica após o tratamento à 200°C. Entretanto, o ensaio de contração volumétrica não foi adequado para determinar a estabilidade dimensional da espécie *Phyllostachys aurea*, por causa da ocorrência excessiva de colapsos nas células parenquimatosas.

A termorreificação melhorou a estabilidade dimensional de ambas as espécies, a qual pode ser constatada pela redução no teor de umidade de equilíbrio e na taxa de absorção de água.

A termorreificação não afetou a resistência à compressão de ambas as espécies estudadas, indicando que este ensaio não é o mais adequado para avaliar a resistência mecânica do bambu termorreificado.

A resistência ao cisalhamento de ambas as espécies foi afetada pelos tratamentos termorreificadores, apresentando reduções significativas.

O módulo de elasticidade à flexão aumentou com o aumento no tempo de termorreificação, enquanto para a temperatura de termorreificação, o módulo de elasticidade à flexão apresentou um aumento com a elevação da temperatura até 180°C seguida de uma queda a 200°C.

A cor de ambas as espécies foi escurecida após os tratamentos de termorreificação, criando diferentes padrões de cor.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.
- ALVES, J. D. **Concreto armado com bambu**. Instituto Euvaldo Lode. GO, 2003.
- AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; NAGAI, V. Densidade básica e dimensões das fibras em bambus do gênero *Guadua*. **Bragantia**, v. 36, n.1, p. 7-10, 1977.
- AZZINI, A.; SANTOS, R. L.; PETTINELLI JÚNIOR, A. **Bambu: material alternativo para construções rurais**. **Boletim Técnico**, Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, n. 171, p. 1-18, 1997.
- BERALDO, A. L.; COLLA, W. A.; BRITO, J. O. Properties evaluation of *Dendrocalamus giganteus* treated by heat. In: VIII WORLD BAMBOO CONGRESS PROCEEDINGS, 2009, Tailândia. **Proceedings...** Tailândia, v. 9, p. 36-45, 2009.
- BERALDO, A. L.; ZOULALIAN, A. Bambu: material alternativo para construções rurais. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5, 1995, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: EEUFMG; CEFET; EBRAMEM, p. 425-440, 1995.
- BERNDSSEN, R. S. **Caracterização anatômica, física e mecânica de lâminas de bambu (*Phyllostachis pubescens*)**. 2008. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.
- BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1982. 712p.
- BOONSTRA, M. J. **A two-stage thermal modification of wood**. 2008. 297p. Tese – Ghet University/Université Henry Poincaré Nancy 1, França.
- BOONSTRA, M. J.; TJEERDSMA, B. F. Chemical analysis of heat-treated softwoods. **Holz als Roh und Werkstoff**, v. 64, p. 204-211, 2005.
- BORGES, M. B.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Revista Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.
- BRITO, J. O.; GARCIA, J. N.; BORTOLETTO, G. J.; PESSOA, A. M. C.; SILVA, P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. **Revista Cerne**, v. 12, n. 2, p. 182-188, 2006.
- BROTERO, F. A. **Métodos de ensaios adotados pelo IPT para estudo de madeiras nacionais**. Boletim 31, São Paulo: IPT, 1956. 62p.
- BROWN, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSAITH, C. C. **Textbook of wood technology**. Vol. 2: The physical, mechanical and chemical properties of the commercial woods of the United States. New York: McGraw-Hill, 1952, 783 p.

CAMARGOS, J.A.A. **Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de um catálogo de cores de madeiras tropicais**. 1999. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília, DF.

COLLA, W. A.; BERALDO, A. L.; BRITO, J. O. Effects of thermal treatment on the physicochemical characteristics of giant bamboo. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 361-367, 2011.

COLLA, W. A. **Efeito do tratamento térmico nas características físicas e mecânicas do bambu (*Dendrocalamus giganteus* Munro)**. 2010. [s.n.] Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CRUZ, M. L. S. **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie *Phyllostachys aurea*: comportamento a flambagem**. 2002, 114p. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ESTEVES, B. M.; DOMINGOS, I. L.; PEREIRA, H. M. Pine wood modification by heat treatment in air. **BioResources**, v. 3, n. 1, p. 142-154, 2008.

FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION. **ThermoWood® Handbook**. Finland: Helsinki, 2003, 66 p.

GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V.; MATOS, J. L.; SANTOS, W. A. SILVA, R. F. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method. **Wood Science and Technology**, v. 46, p. 41-52, 2010.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. Influência da idade do *Bambusa vulgaris* nas características químicas e anatômicas, visando à produção de polpa celulósica. In: CONGRESSO ANNUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 14, 1981. **Anais...** São Paulo, p. 5-29, 1981.

GROSSER, D.; LIESE, W. On the anatomy of Asian bamboos with special reference to their vascular bundles. **Wood Science and Technology**, Berlim, v. 5, p. 290-312, 1971.

HIDALGO LOPEZ, O. (Ed.) **Bamboo, the gift of the gods**. Bogotá: D’Vinni, 2003, 553 p.

HIDALGO LOPEZ, O. **Bambu, su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía**. Cali, Estudios Técnico Colombianos Ltda, 1974, 176 p.

HIGHLEY, T. L. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. General technical report FPL, GTR-113, p. 1-13.16, 1999.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION - CIB/ CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT – CSTB (Eds.). INTERNATIONAL CONFERENCE BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT, 2, 1997, Paris. **Proceedings...** Paris: CIB Task Group 8, Environmental Assessment of Buildings, 1997.

ITOH, T. Lignification of bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf) during its growth. **Holzforschung**, v. 44, p. 191-200, 1990.

ITOH, T.; SHIMAJI, K. Lignification of bamboo culm (*Phyllostachys pubescens*) during its growth and maturation. In: CONGRESSO INTERNATIONAL UNION OF FORESTRY RESEARCH ORGANIZATION, **Anais...** 17. Kyoto, Japão. p. 104-110. 1981.

JARAMILLO, S. V. La Guadua en los proyectos de inversión. In: ANALES DEL CONGRESSO MUNDIAL DE BAMBÚ, 1992. **Anais...** Colômbia, 1992.

JOHANSSON, D. **Heat treatment of solid wood: effects on absorption, strength and colour**. 2008. 142 f. Doctoral thesis (Divisions of wood Physics) – Lulea University of Technology, Sweden.

KAMDEM, D. P.; PIZZI, A.; JERMANNAUD, A. Durability of heat-treated wood. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 60, p. 1-6, 2002.

KISHIMOTO, T.; SANO, Y. Delignification mechanism during high-boiling solvent pulping. Part 2. Homolysis of guaiacylglycerol- $\beta$ -guaiacyl ether. **Holzforschung**, v. 56, p. 623-631, 2002.

KONICA MINOLTA SENSING Inc. **Comunicação precisa da cor**. 1998. 57 p.

KUBOJIMA, Y.; OKANO, T.; OHTA, M. Bending strength of heat-treated wood. **J. Wood Sci.**, v. 46, p. 8-15, 2000.

LEE, A. W. C.; XUESONG, B.; PERRY, N. P. Selected physical and mechanical properties of giant timber bamboo grown in South Carolina. **Forest Products Journal**, p. 40-46, 1994.

LEPAGE, E. S.; GERALDO, F. C.; ZANOTTO, A.; MILANO, S. Métodos de tratamento. In: LEPAGE, E. S. (Coord.) **Manual de Preservação de Madeiras**. São Paulo. IPT/Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Divisão de Madeiras, SICCT/Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia do Estado de São Paulo, v. 2, p. 343-367, 1986.

LIESE, W. Anatomy of bamboo. In: **Bamboo research in Asia**. Ottawa: IDCR/IUFRO, p.161-164. 1980.

LIESE, W. Characterization and utilization of bamboo. In: HIGUCHI, T (ed.). **Bamboo production utilization**. Kyoto: Society of Bamboo Development and Protection, 312p. 1986.

LIESE, W.; WEINER, G. Modifications of bamboo culm structures due to ageing and wounding. In: Chapman G, ed. **The bamboos**. Linnean Society Symposium Series, London: Academic Press. p. 313-322. 1997.

LIESE, W. **Anatomy of Bamboo Culms**. International Network for Bamboo and Rattan, Beijing. 1998.

LIESE, W.; GROSSER, D.: Untersuchungen zur Variabilität der Faserlänge bei Bambus. **Holzforschung**, v. 26, n. 6, p.202-211, 1972.

LONDOÑO, X.; CLARCK, L.G. Three new taxa of *Guadua* (Poaceae: Bambusoideae) from South America. **A Journal for Botanical Nomenclature**, v. 12, n. 1, p.64-76, 2002.

MANALO, R. D.; ACDA, M. N. Effects of hot oil treatment on physical and mechanical properties of three species of philippine bamboo. **Journal of Tropical Forest Science**, n. 21, v. 1, p. 19-24, 2009.

MAYES, D.; OKSANEN, O. (Eds.) **Thermowood handbook**. Version 1.0. Thermalwood, Finnforest, Storaenso, 52p. 2002.

MILLETT, M.; GERHARS, C. Accelerated aging, residual weight and flexural properties of wood heated in air at 115°C to 175°. **Wood Science**, v. 4, n. 4, p. 193-201, 1972.

NASCIMENTO, A. M. **Estrutura do colmo e propriedades físicas do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*)**. 85p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1990.

NASCIMENTO, A. M.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades físicas da madeira do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* (Wall) Munro.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 6, p. 1-7, 1994.

NASCIMENTO, A. M.; STACHERA, S. F.; XAVIER, L. M. Determinação de algumas propriedades físicas e mecânicas do *Bambusa tuldoides* (Munro). In: II CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, Curitiba, 2002. Anais... II Congresso Ibero-Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais. Curitiba, 2002. v. 1, p.17.

OHRNBERGER, D. **The bamboos of the world: Annotated nomenclature and literature of the species and the higher and lower taxa**. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science B. V. 1999, 586p.

PEREIRA, M. A. D. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru. Canal 6. p.231 2007.

PESSOA, A. M. C.; BERTI, E. F.; BRITO, J. O. Avaliação da madeira termorretrificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*. **Scientia Forestalis**, n. 72, p. 11-16, 2006.

POUBEL, D. S. **Efeito da termorretrificação nas propriedades tecnológicas da madeira normal e de compressão de *Pinus caribaea* Morelet**. 2011. 29 p. Monografia (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

RUSCHE, H. Thermal degradation of wood at temperatures up to 200 deg C. I. Strength properties of wood after heat treatment. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 31, n. 7, p. 273-281, 1973.

RODRIGUES, T. O. **Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos**. 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília.

SALGADO, A. L. B.; AZZINI, A. Conservação do Bambu. **O Agrônomo**, Campinas, n. 46, v.1-3, p. 21-26, 1994.

SALIM, R.; WAHAB, R. Effect of oil heat treatment on chemical constituents of semantan bamboo (*Gigantochloa scortechinii* Gamble). **Journal of Sustainable Development**, v. 1, n. 2, p. 91-98, 2008.

SANT'ANNA, E. T. **Construção de um centro de visitantes na Embrapa Fazendinha-Agroecológica utilizando materiais alternativos**. 2008. Monografia (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SEHISTEDT-PERSSON. Colour responses to heat treatment of extractives and sap from pine and spruce. In: 8th INTERNATIONAL IUFRO WOOD DRYING CONFERENCE, Brasov, 2003. **Proceedings...** Brasov, p. 459-464, 2003.

SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I. Efeito do tratamento de vaporização em toras e madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* sobre a flexão estática. **Revista Floresta**, v. 29, n. 3, p. 37-51, 2003.

SILVA, R. M. C. **O bambu no Brasil e no mundo**. 2005, 45 p.

SUNDQVIST, B. **Colour Changes and acid formation in wood during heating**. 2004. 154f. Thesis (Doctor in Wood Material Science) – Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden.

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de bambu para habitações econômicas: avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa**. 2006, 177 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília.

TJEERDSMA, B. F.; BOONSTRA, M.; MILITZ, H. Thermal modification of non-durable wood species. 2. Improved wood properties of thermally treated wood. **International Research Group on Wood Preservation**, Document no. IRG/WP 98-40124, 1998.

VASCONCELLOS, R. M. de. **Info bambu – plantio e morfologia**. Disponível em: <<http://www.bambubrasileiro.com/info/plantio/index.html>>. Acesso em: 08/05/2012.

WANG, H. W.; VARMA, R.V.; TIANSEN, X. Insect Pests of Bamboos in Asia: An Illustrated Manual. In: INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN, Beijing, 1998. **Proceedings...** Beijing, 1998.

WESTERMARK, U.; SAMUELSSON, B.; LUNDQVIST, K. Homolytic cleavage of the  $\beta$ -ether bond in phenolic  $\beta$ -o-4 structures in wood lignin and guaiacylglycerol- $\beta$ -guaiacyl ether. Research on Chemical Intermediates. **VSP International Science Publication**, Netherlands, v. 21, p.343, 1995.

WILEY, John. **Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes**. Callum A. S. Hill, 2006.

ZHOU, F. C. Studies on physical and mechanical properties of bamboo woods. **Journal of Nanjing Technology College of Forest Products**, v. 2, p. 1-32, 1981.

## 7 ANEXOS

**Anexo 1.** Grupos de cores obtidos no agrupamento de Cluster usando as coordenadas L\*, a\* e b\* (Fonte: CAMARGOS, 1999).

Grupo Cluster	Cor	Intervalos das variáveis cromáticas		
		L*	a*	b*
01	Amarelo-oliva	64-64	06-06	46-46
02	Branco	69-80	04-08	19-27
03	Marron-escuro	38-51	06-11	10-16
04	Rosa	55-68	11-27	18-27
05	Amoarelo-claro	65-76	07-11	26-37
06	Roxo	36-39	12-07	03-07
07	Preto-avermelhado	28-35	04-08	03-06
08	Marrom-arroxado	29-44	08-11	08-12
09	Oliva	40-55	05-10	12-22
10	Oliva-claro	70-73	01-04	22-26
11	Branco-acizentado	74-86	03-06	16-25
12	Marrom-escuro	35-51	11-16	13-18
13	Marrom-oliva	48-71	09-13	22-30
14	Preto	26-36	01-06	02-08
15	Vermelho-escuro	35-38	17-21	13-15
16	Cinza-rosado	61-76	04-08	13-20
17	Vermelho	37-52	17-24	16-23
18	Oliva-amarelado	51-69	06-09	20-27
19	Laranja-amarelado	53-54	24-27	34-38
20	Amarelo-alaranjado	49-66	12-19	31-36
21	Marrom-claro	45-61	10-13	16-25
22	Rosa-acizentado	55-71	07-11	14-22
23	Amarelo-amarronzado	45-61	12-19	23-30
24	Amarelo	73-76	04-07	38-42
25	Marrom-avermelhado	39-57	13-17	18-23

**Anexo 2.** Resultados obtidos para análise de variância (valor de F) das variáveis de propriedades físicas da espécie *Phyllostachys aurea*.

Fonte de variação	da	db	$\beta v$	ta	TUE
Tempo	0,34 <sup>ns</sup>	-	0,82 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	-
Temperatura	4,17*	4,15*	8,85*	0,56 <sup>ns</sup>	-

da: densidade aparente. db: densidade básica.  $\beta v$ : contração volumétrica. ta: taxa de absorção de água. TUE: teor de umidade de equilíbrio. \* Significativo à 95% de probabilidade. <sup>ns</sup> Não significativo.

**Anexo 3.** Resultados obtidos para análise de variância (valor de F) das variáveis de propriedades físicas da espécie *Bambusa tuldoides*.

Fonte de variação	da	db	$\beta v$	ta	TUE
Tempo	3,83*	0,06 ns	-	-	-
Temperatura	2,28 ns	0,43 ns	-	-	-

da: densidade aparente. db: densidade básica.  $\beta v$ : contração volumétrica. ta: taxa de absorção de água. TUE: teor de umidade de equilíbrio. \* Significativo à 95% de probabilidade. <sup>ns</sup> Não significativo.



**Anexo 4.** Resultados obtidos para análise de variância (valor de F) das variáveis de propriedades mecânicas da espécie *Phyllostachys aurea*.

Fonte de variação	fc	fv	MOE <sub>d</sub>	MOE%
Tempo	-	1,36 <sup>ns</sup>	6,03*	-
Temperatura	9,28*	13,91*	2,57 <sup>ns</sup>	-

fc: limite de resistência à compressão. fv: limite de resistência ao cisalhamento. MOE<sub>d</sub>: módulo de elasticidade à flexão. MOE%: variação percentual do módulo de elasticidade à flexão antes e depois da termorreificação. \* Significativo à 95% de probabilidade. <sup>ns</sup> Não significativo.

**Anexo 5.** Resultados obtidos para análise de variância (valor de F) das variáveis de propriedades mecânicas da espécie *Bambusa tuldoides*.

Fonte de variação	fc	fv	MOE <sub>d</sub>	MOE%
Tempo	0,40 <sup>ns</sup>	4,42*	1,57 <sup>ns</sup>	-
Temperatura	12,44*	-	11,32*	-

fc: limite de resistência à compressão. fv: limite de resistência ao cisalhamento. MOE<sub>d</sub>: módulo de elasticidade à flexão. MOE%: variação percentual do módulo de elasticidade à flexão antes e depois da termorreificação. \* Significativo à 95% de probabilidade. <sup>ns</sup> Não significativo.