

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DO BAMBU
(*Dendrocalamus giganteus* Munro)

WANDIVALDI ANTONIO COLLA

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DO BAMBU
(*Dendrocalamus giganteus* Munro)

Dissertação de Mestrado submetida à
banca examinadora para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Agrícola
na área de concentração em Construções
Rurais e Ambiente.

WANDIVALDI ANTONIO COLLA
Orientador: Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

C683e Colla, Wandivaldi Antonio
Efeito do tratamento térmico nas características
físicas e mecânicas do bambu (*Dendrocalamus
giganteus* Munro) / Wandivaldi Antonio Colla. --
Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: Antonio Ludovico Beraldo.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Bambu. 2. Tratamento térmico. 3. Bambu -
Utilização. 4. Bambu - Propriedades mecânicas. I.
Beraldo, Antonio Ludovico. II. Universidade Estadual
de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III.
Título.

Título em Inglês: Effect of heat treatment on physical and mechanical
properties of bamboo (*Dendrocalamus giganteus* Munro)

Palavras-chave em Inglês: Bamboo, Heat treatment, Bamboo - Use, Bamboo -
Mechanical properties

Área de concentração: Construções Rurais e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: José Otávio Brito, Julio Soriano

Data da defesa: 25/02/2010

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Wandivaldi Antonio Colla**, aprovada pela Comissão Julgadora em 25 de fevereiro de 2010, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

FEAGRI

Antonio L. Beraldo

**Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp**

José Otávio Brito

**Prof. Dr. José Otávio Brito – Membro Titular
Esalq/USP**

**Faculdade de Engenharia Agrícola
Unicamp**

Julio Soriano

**Prof. Dr. Julio Soriano - Membro Titular
Feagri/Unicamp**

DEDICATÓRIA

A meus pais, Gilberto e Eliana, pelos exemplos e ensinamentos, pois sem eles eu não teria chegado ao final desta jornada.

Aos meus avôs, Antonio, Rosa, Benedito e Benedita, que sempre incentivaram meus estudos.

Aos meus filhos, William, Karina, Guilherme e à minha esposa, pela compreensão pelos momentos em que deles me afastei, durante a pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, à Virgem Maria, Mãe de Deus e à Nossa Senhora Aparecida, que sempre me ajudaram em tudo, em toda minha vida.

Agradeço aos meus irmãos, Danigelis, Devanil e Wanelgil pela paciência durante estes anos.

Agradeço ao Professor Doutor Antonio Ludovico Beraldo, O Mestre, O Orientador, pela ajuda imprescindível, e por ensinar-me a fazer pesquisa.

Ao estimado Prof. Dr. Antonio José da Silva Maciel, pelo incentivo ao ingresso no mestrado, apoio, aconselhamentos na realização das incontáveis etapas, esforços e pela confiança em mim depositada.

Ao Prof. Dr. José Otávio Brito, Chefe do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, e do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), pelos exemplos, valiosos e pela liberação de equipamentos de seu laboratório, para o desenvolvimento de parte das pesquisas deste trabalho. Também gostaria de agradecer ao técnico Udemilson Ceribelli, pela dedicação à pesquisa.

Ao Sr. Sidnei Ramis de Araujo, do Departamento de Microscopia Eletrônica de Varredura, do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron de Campinas, pelas instruções e aconselhamento sobre como utilizar o equipamento.

Agradeço à Coordenadoria de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, pelo apoio.

Agradeço ao Engenheiro Agrícola Daniel Albiero, pelas sugestões e apoio.

Agradeço a todos os Professores e Funcionários da FEAGRI/UNICAMP pela convivência, ajuda e pelos ensinamentos recebidos.

Agradeço ao Sr. Yojo Takashi, da Divisão de Madeiras do Instituto de Pesquisas Tecnológica, pelos ensaios realizados.

A todos aqueles que tenham prestado alguma forma de colaboração e que, involuntariamente, tenham tido seus nomes aqui omitidos.

Sumário

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS	v
LISTAS DAS FIGURAS	ix
LISTAS DAS TABELAS.....	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivos gerais	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
2.3. Hipóteses	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Biomassa.....	4
3.2. Generalidades sobre o bambu.....	9
3.2.1. Vantagens	9
3.2.1.1. Perenidade	9
3.2.1.2. Rusticidade	9
3.2.1.3. Precocidade.....	9
3.2.1.4. Diversidade.....	9
3.2.1.5. Leveza.....	10
3.2.1.6. Aproveitamento total	10
3.2.1.7. Versatilidade.....	10
3.2.1.8. Principais usos	11
3.2.1.9. Construções com bambu.....	11
3.2.1.10. Sequestro de carbono.....	11
3.2.1.11. Recuperador de solos degradados.....	12
3.2.2. Inconvenientes	12
3.2.2.1. Falta de normatização	12
3.3. Anatomia do bambu	15
3.4. Propriedades físicas	16
3.4.1. Umidade	17
3.4.2. Massa específica aparente	17
3.4.3. Retratibilidade	18

3.4.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	18
3.4.5. Ultrassom.....	20
3.4.6. Ensaio de Impacto	23
3.4.7. Resistência mecânica.....	24
3.5. Caracterização Térmica	26
3.5.1. Secagem da Madeira.....	26
3.5.2. Análise termogravimétrica	27
3.5.3. Tratamento térmico no bambu.....	28
3.6. Tratamentos preservativos do bambu	32
3.6.1. Idade para o corte	32
3.6.2. Cura na mata.....	33
3.6.3. Tratamentos por imersão	33
3.6.4. Tratamentos sob pressão.....	33
3.6.5. Tratamentos pela fumaça e pelo fogo.....	33
4. METODOLOGIA	35
4.1. Taliscas de preparação para os tratamentos térmicos.....	35
4.2. Testes aplicados ao Bambu Termorretificado (BTR).....	37
4.2.1. Cor do BTR	37
5. RESULTADO E DISCUSSÃO	42
5.1. Perda de massa após a termorretificação.....	42
5.2. Efeito da termorretificação na coloração do bambu.....	42
5.3. Efeitos da termorretificação na densidade, na velocidade do pulso ultrassônico (VPU) e no módulo dinâmico (Ed) do bambu	44
5.4. Efeito da termorretificação no módulo de ruptura (MOR) do bambu.....	46
5.5. Efeito da termorretificação no inchamento do bambu.....	47
5.6. Efeito provocado na estrutura anatômica do bambu devido à termorretificação	49
5.7. Resistência ao impacto do BTR comparado com madeiras	56
6. CONCLUSÃO	60
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXO (A) - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	66
ANEXO (B) - RELATÓRIOS OBTIDOS DOS TESTES DE FLEXÃO ESTÁTICA.....	77
ANEXO (C) - TABELA DOS PROCESSOS DE TERMORRETIFICAÇÃO.....	82
ANEXO (D) - RELATÓRIOS OBTIDOS NOS ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA.....	95
ANEXO (E) - MÉDIA DOS TRATAMENTOS.....	97

LISTAS DAS FIGURAS

Figura 1. Mapa dos bambus nas Américas.....	6
Figura 2. Exploração do bambu por município – Dez/2005.....	7
Figura 3. Distribuição geográfica de área cultivada de bambu e número de produtores – 2007/2008.....	8
Figura 4. Imagens de amostras polidas de <i>G. angustifolia</i>	16
Figura 5. Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) – LNLS.	19
Figura 6. Mecanismo de funcionamento do MEV-JSM 5900 LV.	19
Figura 7. Diagrama da frequência do som.....	21
Figura 8. Princípio de funcionamento da medição utilizando ultrassom.	21
Figura 9. Máquina de ensaio de Charpy.....	24
Figura 10. Esquema de uma viga simplesmente apoiada.	25
Figura 11. Curva TG/DTG, aquecimento de 10 °C/min sob atmosfera dinâmica de N ₂ sintético (50 mL/min), da serragem do <i>B. vulgaris</i>	29
Figura 12. Curva TG/DTG, aquecimento de 10 °C/min sob atmosfera dinâmica de ar sintético (50 mL/min), da serragem do <i>B. vulgaris</i>	30
Figura 13. Curva DSC para caracterização da temperatura de carbonização da serragem do <i>B.</i> <i>vulgaris</i>	31
Figura 14. Dispositivo para produção de taliscas.	35
Figura 15. Estufa Marconi, utilizada para aquecimento dos corpos-de-prova.	36
Figura 16. Diagrama representando a elevação de temperatura em (°C) em função do tempo em (h).....	37
Figura 17. Aparelho CM-2600d / Konica-Minolta para medir parâmetros de cor.....	38
Figura 18. Medição com aparelho Steinkamp-BP7.....	39
Figura 19. Marcação na talisca para uniformizar a medição.....	40
Figura 20. Ensaio de flexão estática.	41
Figura 21. Perda de massa (%) do BTR em função da temperatura.....	42
Figura 22. Teste de cor do BTR.	43
Figura 23. BTR de acordo com a temperatura de tratamento térmico (seco ao ar – controle; 140, 180, 220, 260 e 300 °C (parte superior).....	44
Figura 24. Densidade do BTR em função da temperatura de termorretificação.	45

Figura 25. Módulo dinâmico em função da temperatura de termorretificação.	45
Figura 26. Velocidade do pulso ultra-sônico em função da temperatura de termorretificação.	46
Figura 27. Módulo de ruptura em função da temperatura de termorretificação.	47
Figura 28. Inchamento do BTR de acordo com a direção anatômica.	48
Figura 29. Corpos de prova para o teste de inchamento.	48
Figura 30. Amostra de referência (bambu à temperatura ambiente).	49
Figura 31. Amostra termorretificada a 140 °C.	50
Figura 32. Retração da parede do parênquima (180 °C).	51
Figura 33. Fissuras na superfície do amido (180 °C).	52
Figura 34. Amostra termorretificada a 220 °C.	53
Figura 35. Amostra termorretificada a 260 °C.	54
Figura 36. Amostra termorretificada a 300 °C.	55
Figura 37: Energia de impacto, em função da temperatura para o bambu no teste de Charpy.	56
Figura 38. Resistência de impacto, em função da temperatura para o bambu no teste de Charpy.	57
Figura 39. Comparação entre o bambu e madeiras tradicionais.	57
Figura 40. Comparação entre o bambu e madeiras tradicionais.	58
Figura 41. Bambu à temperatura ambiente.	66
Figura 42. Bambu à temperatura ambiente.	67
Figura 43: Amostra termorretificada a 180 °C.	68
Figura 44. Amostra termorretificada a 220 °C.	69
Figura 45. Amostra termorretificada a 220 °C.	70
Figura 46. Amostra termorretificada a 220 °C.	71
Figura 47. Amostra termorretificada a 260 °C.	72
Figura 48. Amostra termorretificada a 260 °C.	73
Figura 49. Amostra termorretificada a 260 °C.	74
Figura 50. Amostra termorretificada a 300 °C.	75
Figura 51. Amostra termorretificada a 300 °C.	76

LISTAS DAS TABELAS

Tabela 1. Principais diferenças entre bambus herbáceos e bambus lenhosos	5
Tabela 2. Propriedades do BTR em função da temperatura de termorretificação.....	44
Tabela 3. Ensaio de energia de impacto, resistência ao impacto à flexão e densidade em amostras de bambu.	59
Tabela 4. Ensaio de energia de impacto, resistência ao impacto à flexão e densidade em amostras de madeira.	59

RESUMO

Embora possam ser atribuídas ao bambu inúmeras possibilidades de utilização, duas grandes desvantagens são apresentadas por esse material. A primeira refere-se à baixa durabilidade natural da maioria das espécies, devido à presença de amido em suas células parenquimáticas. A outra desvantagem, não menos importante, é a tendência apresentada pelo bambu de apresentar variações dimensionais, quando exposto a mudanças de umidade e de temperatura. Na busca da minimização de tais inconvenientes, taliscas (ripas) de *Dendrocalamus giganteus* Munro foram coletadas de diversas partes do colmo e foram submetidas, em condições de laboratório, na ESALQ-USP, a diversas temperaturas: 140 °C, 180 °C, 220 °C, 260 °C e 300 °C. O processo de termorretificação foi realizado em ambientes de atmosfera não inerte e inerte com nitrogênio. A seguir, os corpos-de-prova foram submetidos a ensaios de caracterização físico-mecânica, buscando-se avaliar as condições ideais da termorretificação e que, ao mesmo tempo, não implicassem em redução acentuada das características originais do bambu. Os resultados obtidos permitem detectar a existência de uma faixa ótima de temperatura, de 140 °C, 180 °C e a 220 °C, na qual o bambu termorretificado não perde significativamente suas características mecânicas e, ao mesmo tempo, apresenta maior estabilidade dimensional em presença da umidade.

Palavras chaves: bambu, tratamento térmico, termorretificação, *Dendrocalamus giganteus* Munro.

ABSTRACT

Although several of possibilities of applications can be attributed to bamboo, two major drawbacks are presented by this material. The first ones refer to the low natural durability of most of species, due to the presence of starch in its parenchyma cells. The other ones, not least, is the trend presented by bamboo to shows dimensional changes when exposed to changes in humidity and temperature. In seeking to minimize such drawbacks, strips of *Dendrocalamus giganteus* Munro were collected from different parts of the stem and were submitted under laboratory conditions, at the ESALQ-USP, at different temperatures: 140 ° C, 180 ° C, 220 ° C, 260 ° C and 300 ° C. The process of thermal treatment of bamboo occurred in environments with non inert atmosphere and inert nitrogen. Specimens were tested for physical-mechanical, with the evaluation of ideal thermal treatment conditions which at the same time, did not reduces bamboo characteristics. Results obtained detected the optimal range temperature from 140 °C, 180 °C and the 220 °C. Mechanical characteristics of the bamboo thermal treated were not significantly reduced. At the same time, the thermal treatment enhanced bamboo dimensional stability in presence of the humidity.

Key words: bamboo, heat treatment, thermal treatment, *Dendrocalamus giganteus* Munro.

1. INTRODUÇÃO

Bambus são plantas herbáceas e lenhosas, pertencentes à família das gramíneas, com mais de setecentas espécies classificadas e distribuídas em cerca de cinquenta gêneros distintos (HIDALGO-LÓPEZ, 2003). Trata-se de uma planta perene, cuja cultura não necessita de maiores cuidados, apresenta longa vida útil e grande capacidade de regeneração do solo, tendo acompanhado o ser humano desde o princípio dos tempos, fornecendo abrigo, alimento, utensílios domésticos, carvão, papel, tecido, irrigação, instrumentos musicais e outros artefatos. Sendo uma planta de crescimento rápido, o bambu permite equilibrar a emissão e a absorção do gás carbônico (GHELMANDI e GIANNETTI, 2009).

O bambu é conhecido no Oriente como a planta dos mil usos, devido às suas excelentes características físicas, químicas e mecânicas. Material altamente ecológico, o bambu é um excelente sequestrador de carbono, e leva pouco tempo para ser renovado, além do que não é necessário efetuar seu replantio. O bambu também é usado em áreas de reflorestamento, atuando como protetor e regenerador do solo (GAION et al., 2006).

Os bambus são utilizados para diversas finalidades. Muitas vezes, apenas algumas espécies são adequadas ou utilizadas para determinados fins, quer seja na construção ou na fabricação de móveis, enquanto que outras espécies chegam até mesmo a serem desprezadas, a despeito de suas características adequadas para uso em determinados setores da construção.

As dificuldades de utilização do bambu são muitas vezes relacionadas com suas propriedades inadequadas para determinados fins. Assim, uma compreensão profunda das relações entre estrutura, propriedades, comportamento e qualidades no processamento do produto tornam-se necessárias para a difusão da utilização de bambu (LIESE, 1992)

Desse modo, pode-se destacar a necessidade de melhorar os processos de tratamento do bambu, que possam ser aplicados de forma confiável na construção civil, na fabricação de móveis, na manufatura de laminados e em outras aplicações, trazendo benefícios no plano econômico e na rapidez do processamento desse material.

Em alguns processos industriais de tratamento do bambu, o calor é usado como componente básico, sendo que a sua ação pode dar-se de forma relativamente intensa, devido às transformações estruturais que ocorrem durante a combustão, conforme se observa para a madeira (BRITO, 1992).

Deve-se notar, no entanto, que nem sempre o calor é, isoladamente, o único responsável pelas transformações sofridas pelo bambu. Outro aspecto importante a ser considerado, diz respeito às pretensões quanto ao produto final a ser obtido. A secagem natural é o exemplo mais clássico de um processo em que o bambu sofre um tipo de tratamento quando da sua interação com o calor, embora as temperaturas envolvidas sejam muito inferiores às atingidas em um tratamento térmico propriamente dito.

Vários materiais sofrem mudanças significativas em suas propriedades sob a ação do calor. O processo de torrefação no café altera suas substâncias químicas, fato este denotado pela diferença de coloração, de aroma e de sabor das sementes torradas. Durante o processo de torrefação formam-se outras moléculas, responsáveis pelo aroma e pelo sabor da bebida. Processo semelhante ocorre com a madeira, onde o procedimento de torrefação é utilizado para possibilitar uma melhor qualidade do material devido à termorreificação. Na termorreificação da madeira, quando a mesma é destinada à fabricação de tonéis, alguns polímeros são degradados termicamente, surgindo novas substâncias aromáticas, produzindo um sabor diferenciado à bebida (LEÃO, 2006).

Atualmente, os padrões de qualidade são decisivos para o desenvolvimento e comercialização de qualquer produto. Torna-se ainda obrigatório seguirem-se as normas de construção, quando se tratam de materiais para aplicações estruturais ou para a fabricação de móveis. A ausência dessas normas de construção dificulta a construção de casas de bambu nos segmentos de baixa renda, diminuindo a aceitação do bambu como um possível substituto da madeira. As propriedades físicas e mecânicas do bambu vêm sendo estudadas há algumas décadas, sendo esse o primeiro passo que embasaria a publicação de uma norma técnica específica para esse material (GHAVAMI e MARINHO, 2005). Os dados obtidos nos ensaios de caracterização do bambu podem então serem utilizados, adotando-se fatores de segurança adequados, de forma a melhorar a qualidade e a confiabilidade das diversas construções em bambu.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos gerais

Nesta pesquisa buscou-se avaliar o comportamento e as características físico-mecânicas do Bambu Termorretificado (BTR), visando melhorar a estabilidade dimensional do bambu, e minimizar o aparecimento de defeitos de secagem.

2.2. Objetivos específicos

Foram avaliadas diversas temperaturas de termorretificação, buscando-se em seguida, verificar a eficiência dos tratamentos, por meio da comparação das características físico-mecânicas do BTR em relação ao material original.

2.3. Hipóteses

A utilização do BTR, após processo com controle de temperatura e da duração do tratamento térmico permitirá, ao final, eliminar a necessidade de utilização de produtos químicos, nocivos ao homem e ao meio ambiente, além de propiciar maior uniformidade no aspecto do material, em termos de estabilidade dimensional e de coloração.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Biomassa

Biomassa é toda matéria orgânica utilizada na produção de energia. As vantagens do uso da biomassa na produção de energia são o baixo custo, o fato de ser renovável, permitir o reaproveitamento de resíduos e ser bem menos poluente que outras fontes de energia, tais como o petróleo e o carvão. As biomassas mais utilizadas são: a lenha, o bagaço da cana-de-açúcar, galhos e folhas de árvores, papéis, papelão, etc. A biomassa é o elemento principal de alguns novos tipos de combustíveis e fontes de energia como o biogás e o biodiesel.

A renovação da biomassa ocorre através do ciclo do carbono. A queima da biomassa ou de seus derivados provoca a liberação de CO₂ na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, transformam esse CO₂ nos hidratos de carbono, liberando oxigênio. Assim, a utilização da biomassa, desde que não seja de forma predatória, não altera a composição da atmosfera. A biomassa se destaca pela alta densidade energética, pelas facilidades de armazenamento, conversão e transporte.

O bambu ocorre em todos os estados brasileiros (Figura 01), apresentando uma das maiores diversidades de espécies do mundo, assim como a maior área homogênea de floresta com espécies lenhosas desta gramínea. A Zona da Mata nordestina é a única região do país onde há plantações de bambu em grande escala, para uso industrial. O Grupo João Santos, que possui fábricas no Jaboatão (PE) e em Itapagé (MA), atua no cultivo e beneficiamento do bambu para a produção de papel e celulose (Grupo Industrial João Santos, 2000).

Os bambus pertencem à família das gramíneas e a subfamília Bambusoideae, que por sua vez se divide em duas grandes categorias: bambus herbáceos e bambus lenhosos, os quais apresentam algumas diferenças típicas, apresentadas na Tabela 1 (FILGUEIRAS e GONÇALVES, 2004).

Tabela 1. Principais diferenças entre bambus herbáceos e bambus lenhosos

Características	Herbáceos	Lenhosos
Comprimento	Geralmente, 2 m	1 - 35 m
Ramificações	Simples	Complexas
Consistência do colmo	Herbáceo (não lignificado; facilmente quebrável entre dois dedos)	Lenhoso (lignificado; inquebrável entre dois dedos)
Folha do colmo	Ausente	Presente
Lígula externa	Ausente	Presente
Flores	Unissexuais	Bissexuais
Florescimento	Contínuo (policárpico)	Sazonal (monocárpico)
Exposição direta ao sol	Intolerante	Tolerante

Fonte: Filgueiras e Gonçalves (2004)

De acordo com Bystriakova et al. (2004), o Brasil apresenta a maior diversidade de espécies de bambu (137), seguido pela Colômbia (70), Venezuela (60), Equador (42), Costa Rica (39), México (37) e Peru (37), como pode ser vista na Figura 1, onde nota-se distribuição desigual do bambu pelas diferentes áreas do país. Na região amazônica nota-se uma grande área de ocorrência, no entanto com um número reduzido de espécies nativas apesar da grande biodiversidade da região, principalmente na fronteira com a Colômbia, que é um dos países onde a utilização do bambu ocorre com maior intensidade. Já no interior da região nordestina observa-se uma área de incidência mais reduzida, no entanto com uma maior diversificação de espécies. As regiões sudeste e sul, próximas ao litoral, apresentam condições semelhantes às daquelas da região nordestina. Finalmente no centro-oeste as condições assemelham-se às daquelas da região amazônica.

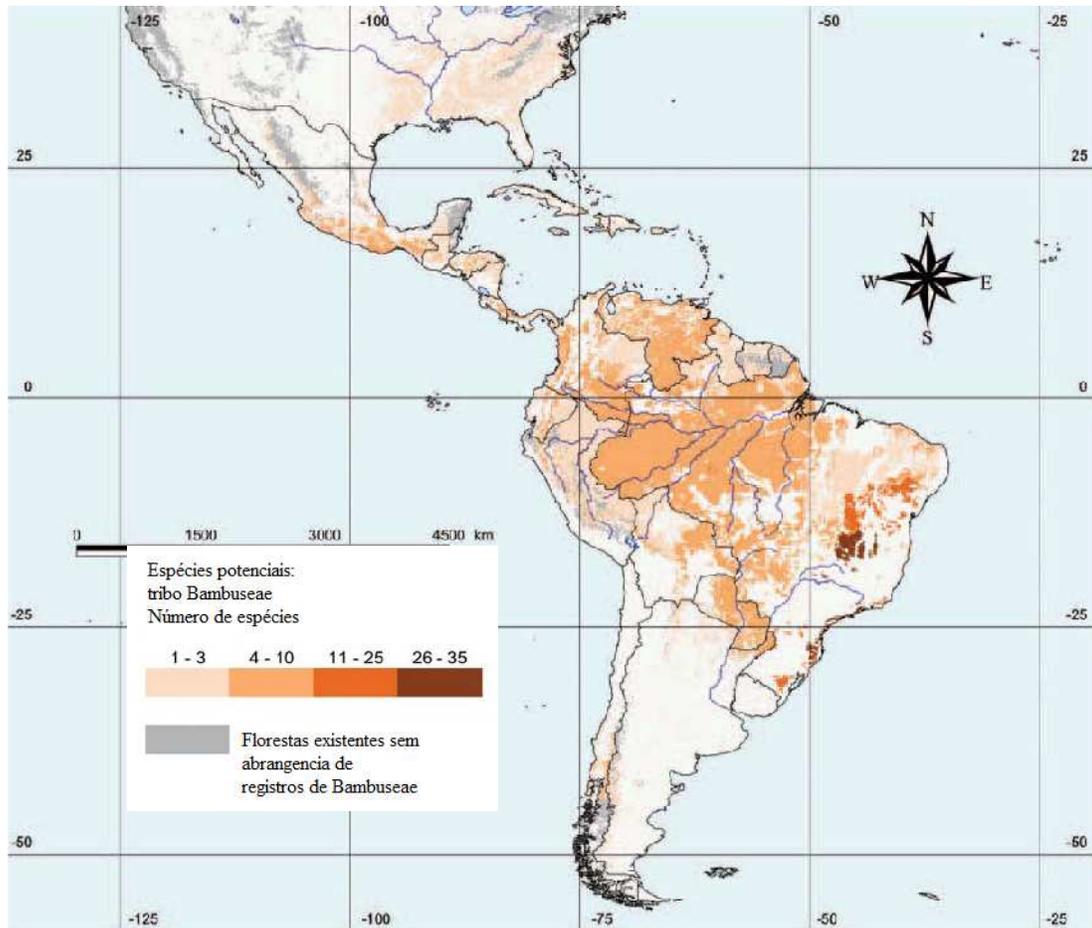


Figura 1. Mapa dos bambus nas Américas

Fonte: Bystriakova et al. (2004).

Na Figura 2, apresenta-se a exploração vegetal por municípios em 2005, podendo notar-se uma grande concentração de bambu nas regiões de Mogi das Cruzes e Registro, onde o cultivo está associado à presença da colônia japonesa, para a qual os hábitos do consumo do broto de bambu para a alimentação e artesanato são intensamente praticados.

Observa-se, na Figura 3, a expressiva redução na área de bambu plantada na região de Mogi das Cruzes em função de sua substituição por hortifrutigranjeiros típicos do cinturão verde paulistano. Esta mesma redução ocorre na região de Registro devido ao crescimento dos cultivos comerciais tradicionais da região, bem como em todo o Vale da Ribeira.

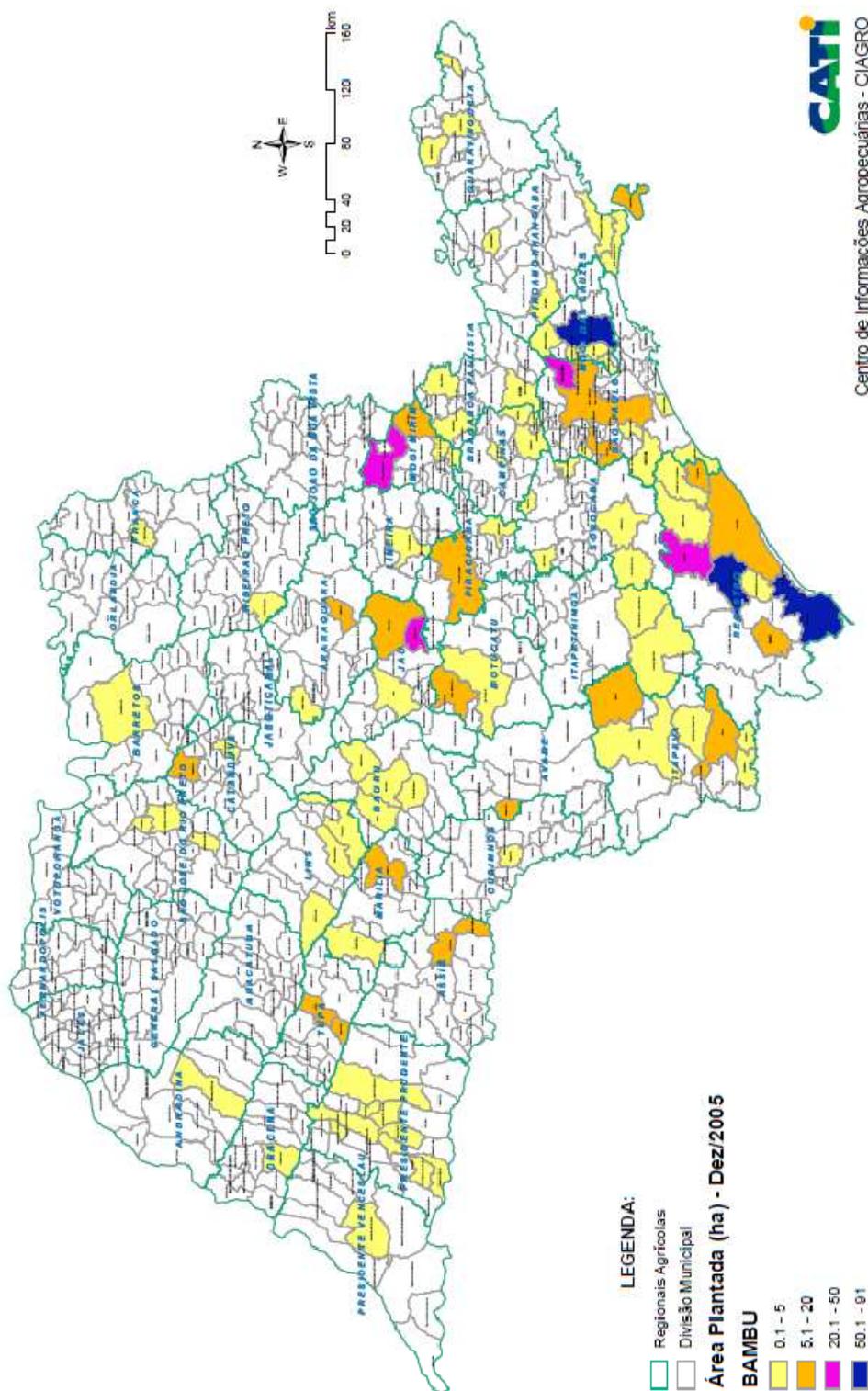


Figura 2. Exploração do bambu por município – Dez/2005

Fonte: CATI - CIAGRO

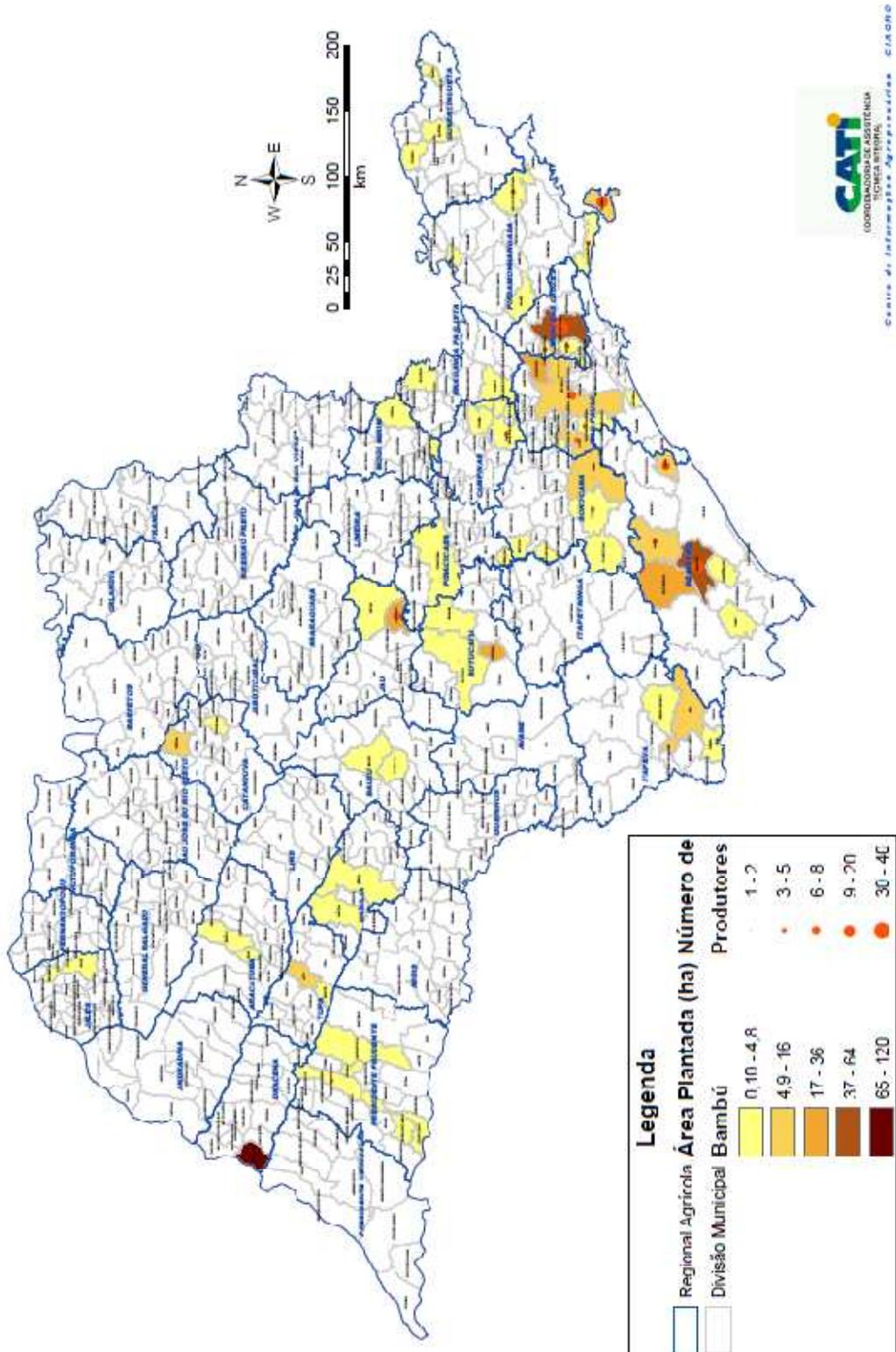


Figura 3. Distribuição geográfica de área cultivada de bambu e número de produtores – 2007/2008

Fonte: CATI - CIAGRO

3.2. Generalidades sobre o bambu

As informações sobre as principais características do bambu foram obtidas em publicações recentes (PEREIRA et al., 2007), e acesso ao site www.apuama.org.

3.2.1. Vantagens

3.2.1.1. Perenidade

Embora os colmos tenham uma vida útil variando entre 4 e 15 anos, a touceira (moita) é perene. No Instituto Agrônomo de Campinas (Fazenda Santa Elisa) ainda existem as fileiras de bambu comum (*Bambusa tuldoides*) plantadas há mais de um século. Segundo a tradição, o Barão Geraldo de Rezende construiu um caminho sombreado para efetuar seus passeios até a cidade de Campinas.

3.2.1.2. Rusticidade

O bambu é tolerante a solos com baixa fertilidade. Propaga-se em regiões inóspitas, onde outros vegetais jamais conseguiriam sobreviver. No entanto, quando se efetuam os tratamentos culturais adequados a produtividade do bambu pode aumentar significativamente, podendo, em um longo prazo, comparar-se à produtividade do eucalipto.

3.2.1.3. Precocidade

Dependendo da espécie de bambu os colmos podem ser cortados após 2 a 4 anos, constituindo-se na matéria-prima natural mais rapidamente produzida. Dependendo da aplicação desejada, esse intervalo de tempo pode, inclusive, ser ainda mais reduzido.

3.2.1.4. Diversidade

O bambu se apresenta na natureza sob as mais variadas formas, em termos de suas dimensões. Algumas espécies são denominadas anãs, com pequeno diâmetro e porte inferior a 1 m; outras, no entanto, são gigantes - diâmetro superior a 20 cm e altura de até 30 m. O mais

interessante é que todo esse grande desenvolvimento se processa em um intervalo de tempo muito rápido - de até 4 meses. Porém, não se deve confundir crescimento com maturação. Essa última é muito mais demorada, consistindo no aumento da densidade da parede celular do colmo.

3.2.1.5. Leveza

O bambu se constitui em uma das estruturas mais perfeitas da natureza, pois combina flexibilidade com leveza. Embora sejam aparentemente tão frágeis, os bambus dificilmente são danificados pelos fortes ventos. Os colmos, geralmente ocos, são divididos transversalmente por septos (diafragmas), que aumentam a resistência do bambu quando submetido à compressão. Por ser oco, a densidade do bambu é de cerca de 1/3 da densidade do concreto.

3.2.1.6. Aproveitamento total

Praticamente nada se perde do bambu. Além dos colmos, que possibilitam múltiplas aplicações, as folhas e os ramos também podem ser utilizados na fabricação de vassouras ou na alimentação de animais. Também os resíduos do processamento industrial do bambu, ou as folhas caulinares (bainhas) podem ser aproveitados para a fabricação de compósitos com aglomerantes orgânicos ou inorgânicos.

3.2.1.7. Versatilidade

Milhares de usos já foram catalogados para o bambu, variando desde uma singela cerca até na composição com materiais artificiais, permitindo a confecção de compósitos de alto desempenho. Na Ásia diz-se que o bambu acompanha o homem "do berço ao túmulo", tamanha é a sua importância. Para os povos asiáticos, o bambu é considerado uma dádiva dos deuses, tantas são as possibilidades de sua utilização.

3.2.1.8. Principais usos

Sombreamento, quebra-vento, proteção contra a erosão, abrigo da vida animal, tutor para culturas, tubo para condução de água, drenagem, artigos de lazer, papel e celulose, carvão, construções rurais (galinheiros, comedouros e bebedouros), divisórias, forros, esteiras e balaios, e uma infinidade de outros objetos. Cabe ressaltar a tendência atual de fabricação do bambu laminado, abrindo um imenso leque para a movelaria.

3.2.1.9. Construções com bambu

A construção com bambu foi largamente utilizada no meio rural principalmente no período colonial. Construções de pau a pique ainda se encontram presentes em várias regiões brasileiras. Um esqueleto de bambu era revestido com argila, eventualmente adicionando fibras vegetais (ou estrume). Também há certo tempo, o bambu tem sido objeto de estudos científicos para atuar como reforço do concreto, ou para ser combinado com diversos tipos de aglomerantes.

3.2.1.10. Sequestro de carbono

Por emitir brotação anualmente, o bambu é um sequestrador de carbono; valores divulgados recentemente em evento na Tailândia (8th World Bamboo Congress Proceedings) estimam em 10 toneladas por hectare, a capacidade de sequestro de carbono apresentada pelo bambu. Embora esse valor não seja tão elevado, quando comparado com o de uma floresta plantada, cabe lembrar que a árvore adulta já não se desenvolve com mesma rapidez que apresenta em seu período inicial, diminuindo, portanto, sua capacidade de sequestrar o gás carbônico. Além disso, o bambu é uma planta perene, que não requer maiores investimentos para as colheitas futuras. O gasto de combustível fóssil necessário para implantar as culturas do bambu e de árvores também deveria ser incluído nesse tipo de balanço de carbono.

3.2.1.11. Recuperador de solos degradados

Embora em sua etapa inicial de desenvolvimento o bambu necessite de um importante volume de água, a deposição de suas folhas, ramos e bainhas é uma importante fonte de reciclagem dos nutrientes (principalmente a sílica). Além disso, a cobertura morta atua como uma proteção do solo contra a erosão, mantendo sua umidade. Experimentos recentemente conduzidos na UNESP-Bauru, Pelo Prof. Marco Pereira, indicam a capacidade que o bambu apresenta em modificar o pH de solos ácidos, característicos da região de cerrado do estado de São Paulo.

3.2.2. Inconvenientes

3.2.2.1. Falta de normatização

Ao contrário do que existe para outros materiais de construção o bambu não apresentava especificação técnica para uso na construção. Desse modo os resultados apresentados pelos diferentes autores nem sempre podem ser comparáveis entre si, o que dificultava a tarefa dos projetistas e dos construtores. Porém, patrocinado pela International Network of Bamboo and Rattan (INBAR), em 2004 foi publicada a primeira norma técnica sobre a realização de ensaios de caracterização do bambu (ISO, 2004a, 2004b). Trata-se de um primeiro passo para que os resultados das pesquisas desenvolvidas com o bambu possam se mostrar mais confiáveis.

3.2.2.2. Heterogeneidade

Por ser um material natural o bambu apresenta grande variabilidade nos resultados obtidos nos ensaios de caracterização. Numa mesma touceira ocorrem colmos com idades muito variadas e, em decorrência, até certo ponto, com comportamento muito diferente durante a realização de um ensaio. Fatores ligados ao clima, solo e época do ano em que foi feito o corte do colmo também interferem no comportamento físico-mecânico do bambu.

3.2.2.3. Vulnerabilidade

A maior parte das espécies de bambu apresenta baixa resistência natural ao ataque do caruncho (*Dinoderus minutus* Fabricius). A presença de amido nas células parenquimáticas do colmo é que provoca o ataque desse inseto. Além disso, o tratamento eficiente dos colmos ainda não alcançou o mesmo nível industrial daquele observado para a madeira. As diferenças anatômicas observadas entre o bambu e a madeira, que dificultam relativamente os tratamentos dos colmos, infelizmente ainda não se dispõe de fornecedores de colmos em quantidades que estimulem o desenvolvimento de tratamentos industrializados para o bambu.

3.2.2.4. Instabilidade dimensional

O bambu é um material higroscópico e, em presença de variações de umidade, fendilha e racha. Esse fato, além de causar instabilidade nas construções, abre caminho para o ataque do caruncho, que dificilmente ataca a casca do bambu. Por não dispor de células dispostas na orientação radial, o bambu racha com maior facilidade do que a madeira. Além disso, a presença de ar no internódio é a causa frequente de rachadura nos colmos.

3.2.2.5. Ligações ineficientes

Um dos maiores desafios no estudo do bambu refere-se à obtenção de ligações que sejam eficientes. Por não apresentar raios, o bambu fendilha-se facilmente (o que é uma vantagem quando da fabricação de palitos e taliscas), provocando instabilidade da estrutura. As alternativas passam desde cortes especiais (boca de peixe), até o uso de tarugos de madeira internamente, ou preenchimento das regiões mais problemáticas com argamassa de cimento e areia.

3.2.2.6. Risco de incêndio

Da mesma forma que ocorre com a madeira, construções em bambu apresentam elevado risco durante incêndios. Esse fato ainda é reforçada pela utilização de materiais vegetais na cobertura de quiosques e de outras construções em bambu. Mesmo a instalação de aspersores na cobertura não funciona a contento, pois a propagação do fogo é muito rápida.

3.2.2.7. Ausência de ferramentas

Na preparação do bambu utiliza-se de ferramentas e equipamentos desenvolvidos para a madeira, fazendo com que a qualidade do material serrado não seja totalmente satisfatória. Lâminas de grande diâmetro e com quantidade inadequada de dentes acabam dilacerando as células de bambu, deixando as camadas externas dilaceradas. Além disso, devido à presença de sílica nas células periféricas do colmo, o desgaste das ferramentas é acentuado, recomendando-se o uso de insertos (reforço dos dentes) de metal duro (carbureto de tungstênio).

3.2.2.8. Escassez de mudas

Um dos grandes entraves à disseminação do uso do bambu em construções refere-se à pequena oferta de colmos de boa qualidade, reflexo da insuficiência de fornecedores de mudas, quando se pensa na execução de projetos em escala industrial. Apenas para o setor do paisagismo e da decoração encontra-se certa disponibilidade de mudas (embora o preço seja, geralmente, muito elevado).

3.2.2.9. Preconceito

Infelizmente ainda não se descobriu, no Brasil o potencial que o bambu apresenta para as mais diversas aplicações. Prefere-se ainda considerá-lo como uma erva daninha, ou como uma planta apenas paisagística, ou o que é pior, associá-lo a obras temporárias e de baixa durabilidade, normalmente ligadas aos setores mais carentes da sociedade. Esse fato

contrasta com o que ocorre em outros países da América Latina, nos quais o uso do bambu não encontra tantas restrições, sobretudo devido à escassez de madeira nativa.

3.3. Anatomia do bambu

O bambu é uma das mais perfeitas estruturas criadas pela natureza, pois combina resistência, leveza e flexibilidade. No entanto, os colmos de bambu não apresentam seção uniforme, o que dificulta o seu aproveitamento em serraria, limitando o comprimento útil de um colmo para 4 m a 6 m, quando se pensa em seu uso na construção de estruturas. A distância entre os nós aumenta gradativamente ao longo da altura do colmo, enquanto ocorre o inverso com a espessura da parede. Os colmos são divididos internamente por diafragmas (única região em que existe conexão horizontal do bambu), os quais conferem maior rigidez ao bambu, quando submetido a esforços de compressão. Embora às vezes haja relatos a "madeira" do bambu, existem claras diferenças entre essas duas categorias de vegetais.

Sob o ponto de vista anatômico, uma grande diferença em relação às madeiras é a ausência dos raios. Se por um lado essa característica indica maior dificuldade para efetuar ligações de peças de bambu, por outro lado trata-se de vantagem quando se fabricam palitos de bambu, por exemplo, devido sua baixa resistência ao fendilhamento. Também outras duas diferenças são nítidas: a gradação no diâmetro dos vasos (maiores nas camadas internas) e a ocorrência de fibras na forma de feixes.

De uma forma geral, na seção transversal de um colmo de bambu pode-se observar:

3.3.1. Feixes de fibras

Apresentam concentração de 70% nas camadas periféricas (próximas da casca) diminuindo gradativamente em direção ao centro (20%). São responsáveis pela resistência mecânica do bambu. Em amostras polidas, apresentam uma coloração amarronzada.

3.3.2. Células parenquimáticas

Dependendo da idade do colmo, as células parenquimáticas servem de depósito para o amido, sendo mais concentradas nas camadas internas (cerca de 70%). Essa é a região mais vulnerável ao ataque de insetos. Em amostras polidas apresentam coloração amarelada.

3.3.3. Vasos

Responsáveis pelo transporte de nutrientes. Apresentam maior dimensão quando estão localizados nas camadas internas da parede dos colmos (da ordem de 300 microns). No entanto, em termos de ocupação de área, a porcentagem ocupada pelos vasos do bambu é da ordem de 10%. Devido a sua dimensão em relação aos demais componentes anatómicos do colmo, nos vasos, de forma prioritária, penetram as substâncias preservantes.

Nas figuras 4a e 4b apresentam-se imagens obtidas de amostras polidas do bambu *Guadua angustifolia* Kunth, referentes às seções longitudinais e transversais, respectivamente. Observa-se a maior concentração de fibras (regiões escuras) nas camadas externas da parede do colmo.

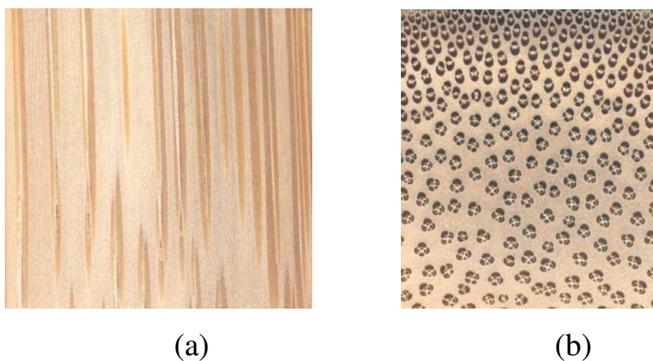


Figura 4. Imagens de amostras polidas de *G. angustifolia*.

Fonte: A. L. Beraldo

3.4. Propriedades físicas

O estudo do comportamento das variações dimensionais é essencial para a utilização industrial do bambu, tanto na construção civil como na confecção de móveis. As relações

existentes entre massa específica aparente, umidade, retratibilidade, são de fundamental importância para a correta utilização da madeira (REZENDE et al., 1995). E, pelo fato de o bambu tratar-se igualmente de um material lignocelulósico, supõe-se que seu comportamento seja similar ao da madeira.

3.4.1. Umidade

Sabe-se que grande parte das propriedades de um material depende acentuadamente de seu teor de umidade. O teor de umidade é calculado por:

$$MC = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100(\%) \quad (1)$$

onde: m_1 = massa úmida, dada em g;

m_2 = massa seca, dada em g;

MC = umidade, dada em %.

O teor de umidade do bambu no momento do corte pode ser muito elevado, dependendo da época do ano, da espécie e da posição da amostra (base, meio ou ponta). A região da base apresenta maior umidade que as demais. De uma forma geral, o bambu demora mais a secar do que madeiras com a mesma densidade, pois a perda de umidade na direção transversal às fibras é muito limitada. Uma forma alternativa de secagem vem sendo realizada na Colômbia por Joerg Stamm, utilizando ar aquecido por coletor solar, direcionado para dentro do colmo de bambu, devidamente perfurado nos diafragmas, mostrando um resultado promissor quanto à redução no tempo para a secagem dos colmos, pois a umidade é mais elevada nas camadas internas do mesmo.

3.4.2. Massa específica aparente

A massa específica aparente é reconhecida como sendo um dos mais importantes parâmetros para avaliação da qualidade da madeira, por ser de fácil determinação e por estar relacionada às suas demais características (SHIMOYAMA e BARRICHELLO, 1991). Esse valor depende de forma acentuada do teor de umidade, sendo convencionalmente, no Brasil, para a

madeira, o valor de 12%, de acordo com a NBR 7190/97 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1977).

A massa específica aparente é definida pela expressão:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

onde:

ρ = massa específica aparente, em g/cm^3 ;

m = massa do corpo-de-prova seco, em g;

V = volume, em cm^3 .

3.4.3. Retratibilidade

A retratibilidade da madeira é o fenômeno relacionado à sua variação dimensional, em função da troca de umidade do material com o meio que a envolve, até que seja atingida uma condição de equilíbrio, chamada de umidade de equilíbrio higroscópico (em torno de 30%). Esse valor depende da temperatura e da umidade relativa do local.

Para o bambu normalmente se adota a mesma norma utilizada para a madeira, segundo a ABNT. A retratibilidade volumétrica (ou linear) é calculada por:

$$R = \frac{V_v - V_{ap}}{V_v} \times 100\% \quad (3)$$

Onde:

R = retratibilidade volumétrica (ou linear);

v_v = volume ou dimensões da amostra na umidade de saturação;

v_{ap} = volume ou dimensões da amostra na umidade considerada.

3.4.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) se tornou um instrumento imprescindível nas mais diversas áreas: eletrônica, geologia, ciência e engenharia dos

materiais, ciências da vida e outros. Em particular, o desenvolvimento de novos materiais tem exigido um número de informações bastante detalhado das características microestruturais de um material sólido, só possível de ser observado no MEV. Na Figura 5, observa-se o microscópio do Laboratório Nacional de Luz Sincrotron, localizado no Pólo II de Alta Tecnologia de Campinas – SP.



Figura 5. Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) – LNLS.

Fonte: Colla, W. A.

Apesar da complexidade dos mecanismos necessários para a obtenção da imagem, o resultado obtido é de fácil compreensão, como pode ser observado na Figura 6.

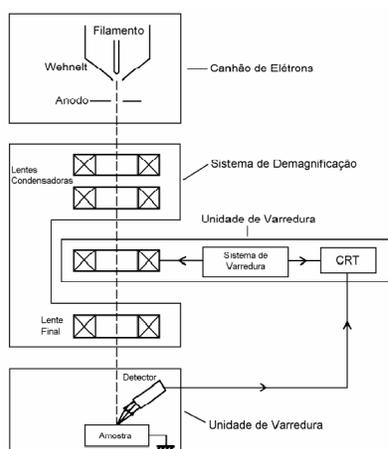


Figura 6. Mecanismo de funcionamento do MEV-JSM 5900 LV.

Fonte: JEOL USA, Inc. catálogo do fabricante

O aumento máximo conseguido pelo MEV situa-se entre o microscópio óptico (MO) e o Microscópio Eletrônico de Transmissão (MET). A grande vantagem do MEV em relação ao microscópio óptico é a sua alta resolução, da ordem de 2 a 5 nm (20 - 50 Å). Atualmente existem instrumentos com até 1 nm (10 Å), enquanto que no microscópio óptico esse valor é de 0,5 µm. Comparado com o MET, a grande vantagem do MEV encontra-se na facilidade de preparação das amostras.

O MEV consiste basicamente da coluna óptico-eletrônica, da unidade de varredura, da câmara de amostra, do sistema de detectores e do sistema de visualização da imagem.

A elevada profundidade de foco (imagem com aparência tridimensional), também é uma das características que fazem do MEV uma ferramenta usada na análise dos materiais e com possibilidade de combinar a análise micro-estrutural com a micro-análise química, que são fatores que em muito contribuem para o amplo uso desta técnica. O canhão de elétrons é usado para a produção do feixe de elétrons com energia e quantidade suficiente para ser captado pelos detectores. Esse feixe eletrônico é então colimado por várias lentes eletromagnéticas, cuja finalidade é produzir um feixe de elétrons focado com um pequeno diâmetro numa determinada região da amostra.

O filamento de tungstênio é aquecido resistivamente pela fonte, cuja voltagem, na maioria dos casos, varia entre 200 V e 30 kV.

3.4.5. Ultrassom

Ensaio Não Destrutivo (END) são aqueles ensaios realizados em materiais para verificar a existência ou não de descontinuidades ou defeitos, por meio de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior, sendo executados nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção (ABENDI, 2009).

Ultrassom são ondas acústicas com frequências acima do limite audível. As frequências ultrassônicas situam-se na faixa acima de 20 kHz (HALLIDAY e RESNICK, 2007), como mostra a Figura 7.

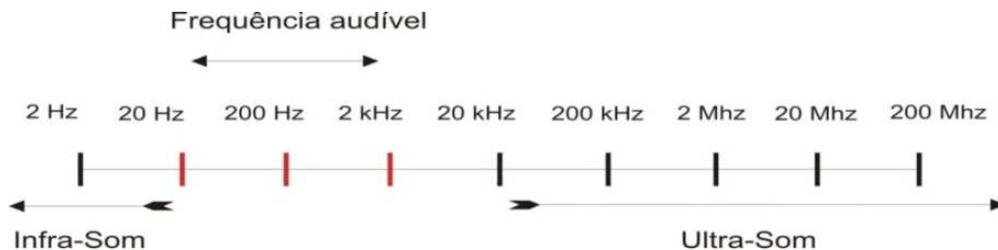


Figura 7. Diagrama da frequência do som.

Fonte: Halliday e Resnick (2007).

O ensaio não destrutivo (END) por ultrassom baseia-se no fenômeno de reflexão de ondas sonoras quando encontram obstáculos à sua propagação, dentro do material. A onda será refletida retornando até a sua fonte geradora se o obstáculo estiver numa posição perpendicular em relação à onda incidente (ANDREUCCI, 2008), como mostra a Figura 8.

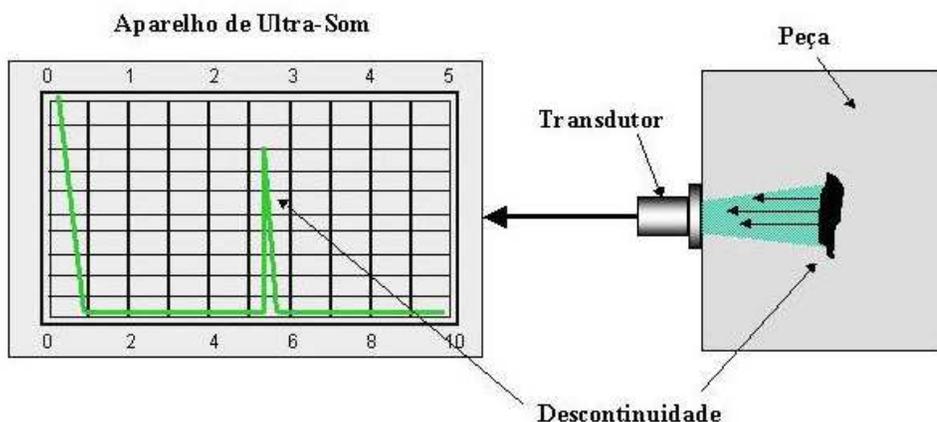


Figura 8. Princípio de funcionamento da medição utilizando ultrassom.

Fonte: Andreucci (2008)

O ultrassom é o método de ensaio não destrutivo mais utilizado para verificar descontinuidades internas nos materiais e para verificar algumas características físicas. As ondas propagam-se com velocidades que dependem da direção de propagação e das constantes elásticas do material, nem sempre isotrópicas, como é o caso da madeira (NOGUEIRA e BALLARIN, 2007).

O pulso ultrassônico é transmitido para o material através de um transdutor especial, usualmente denominado de cabeçote. Os pulsos ultrassônicos refletidos por uma

descontinuidade, ou pela superfície oposta da peça, são captados pelo transdutor, convertidos em sinais eletrônicos e mostrados na tela de diferentes modos, dependendo do tipo e da aplicabilidade do aparelho. As escolhas do equipamento, dos transdutores e dos procedimentos de ensaio exigem um cuidadoso estudo para que se obtenha o nível de sensibilidade requerido e que se possa fazer a correta interpretação do resultado.

A facilidade na execução do ensaio, a velocidade de realização e a alta sensibilidade, caracterizam a utilização do emprego do ultrassom em ensaios de caracterização de materiais.

As técnicas ultrassônicas são, basicamente, divididas em duas: técnicas de contato e técnicas sem contato (imersão).

Quando há contato o transdutor é diretamente aplicado no objeto usando-se um agente que sirva de meio de ligação física entre o transdutor e a peça que irá ser ensaiada; na técnica sem contato, o transdutor é manipulado a certa distância do objeto de ensaio, dentro de um meio que pode ser água ou óleo leve; esta técnica traz vantagens por eliminar a influência da variação do acoplamento.

A escolha da técnica deverá ser feita levando-se em consideração a sensibilidade, a forma geométrica da peça, o tipo e a orientação da descontinuidade, a simplicidade de operação e a velocidade necessária para a inspeção.

A técnica de contato é mais aplicada a produtos de grandes dimensões e para estruturas soldadas, ao passo que a técnica de imersão é utilizada para o ensaio de grandes lotes de peças pequenas e similares, através de sistemas automatizados, sendo adotado especialmente na indústria, onde se exige alta sensibilidade no ensaio.

Em ambos os casos, a avaliação da descontinuidade é baseada na comparação entre os sinais obtidos através dos blocos de calibração com descontinuidades artificiais, com dimensões e localizações conhecidas, e com aqueles obtidos da peça ensaiada.

Tal como ocorre com outros materiais naturais, as propriedades de bambu apresentam grande variabilidade, principalmente devido à condição específica do seu crescimento. Assim, para avaliar as propriedades do bambu torna-se necessário a aplicação de ensaios físico-mecânicos para as diversas espécies. O ensaio não destrutivo (END), principalmente por meio de ultrassom, é uma alternativa para os testes de mecânicos clássicos, porque a velocidade de pulso ultrassônico (VPU) ao longo do corpo-de-prova, provavelmente possa detectar alterações estruturais causadas pelo efeito de temperatura elevada em um determinado

material (DEL MENEZZI et al., 2007). Outra vantagem é que o resultado dos ensaios é obtido de forma rápida (MINÁ et al., 2004).

3.4.6. Ensaio de Impacto

Existem diversos tipos de ensaio de impacto, dentre eles o ensaio de Charpy, que se vale de um martelo pendular para caracterizar mecanicamente os materiais. O ensaio Charpy é empregado, sobretudo, para medir a energia requerida, denominada tenacidade, para fraturar um corpo-de-prova de um determinado material, confeccionado nas medidas estabelecidas pela norma ABNT para diversos materiais. É um dos ensaios mais comuns para caracterizar o comportamento mecânico dos materiais submetido a cargas dinâmicas. O ensaio fornece resultados de caráter comparativo utilizando uma pequena parte da estrutura do material para análise, sendo apenas uma indicação qualitativa a respeito do comportamento dúctil-frágil dos materiais.

O impacto representa um esforço de natureza dinâmica, pois a carga é aplicada repentina e bruscamente. Neste caso, não é só a força aplicada que conta; outro fator de importância é a velocidade de aplicação da força.

O ensaio de impacto consiste em medir a quantidade de energia absorvida por uma amostra do material, quando submetida à ação de um esforço de choque de valor conhecido.

O método mais comum para ensaiar metais é o do golpe desferido por um peso em oscilação. A máquina correspondente é o martelo pendular, sendo o pêndulo elevado a certa altura, onde adquire uma energia inicial. Ao cair, ele encontra no seu percurso o corpo-de-prova, que com o impacto do pêndulo se rompe; a sua trajetória continua até certa altura, que corresponde à posição onde o pêndulo apresenta uma energia final. A diferença entre a energia inicial e final corresponde à energia absorvida para o rompimento do corpo-de-prova.

A Figura 9 apresenta uma máquina de ensaio de Charpy convencional com pêndulo e o detalhe do martelo.



Máquina de ensaio



Movimento do martelo

Figura 9. Máquina de ensaio de Charpy

Fonte: Beraldo, A. L.

3.4.7. Resistência mecânica

A resistência mecânica é a aptidão do material em suportar tensões. A resistência mecânica é determinada convencionalmente por meio da máxima tensão que pode ser aplicada a corpos-de-prova isentos de defeitos, até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento, além dos quais há restrição de emprego do material em elementos estruturais. De modo geral estes fenômenos são os de ruptura ou de deformação específica excessiva. Os efeitos da duração do carregamento e da umidade do meio ambiente são fatores considerados no ensaio aplicado às madeiras (ABNT).

Dentre os ensaios destinados à caracterização de um material, destaca-se o ensaio de flexão estática. O ensaio é aplicado a materiais frágeis para determinar a tensão de ruptura, a tensão no limite de proporcionalidade e a flecha correspondente e, assim, permitir avaliar, entre outras propriedades mecânicas, o módulo de elasticidade à flexão. A sua grande vantagem é a que permite utilizar corpos-de-prova esbeltos, mais fáceis de trabalhar do que aqueles empregados no ensaio de tração. Nos resultados obtidos apresenta-se grande dispersão, de modo que nestes casos devem ser realizadas várias repetições para estabelecer um valor médio. Na Figura 10, apresenta-se um esquema simplificado do ensaio de flexão.

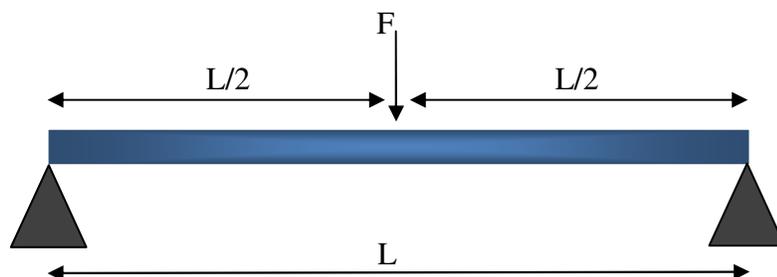


Figura 10. Esquema de uma viga simplesmente apoiada.

Os corpos-de-prova podem apresentar uma seção qualquer, contudo as circulares ou as retangulares são as mais utilizadas por facilitarem os cálculos. O comprimento do corpo-de-prova encontra-se especificado de acordo com a recomendação da norma ABNT para a madeira.

A resistência à flexão estática é determinada pela tensão de ruptura (módulo de ruptura – MOR) de corpos-de-prova isentos de defeitos. A tensão é determinada pela equação:

$$MOR = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b h^2} \quad (4)$$

Onde:

MOR = Módulo de ruptura em flexão;

P = Carga de ruptura (N)

L = distância entre os apoios (mm);

b = largura (mm);

h = espessura (mm).

O bambu apresenta rigidez suficiente para que possa ser utilizado em estruturas secundárias, na forma de treliças e vigas. Na Colômbia, Equador e Costa Rica foram desenvolvidos importantes projetos estruturais com o *Guadua angustifolia*. Recentemente, em Pardinho - SP, uma majestosa estrutura foi construída com Taquaruçu (*Guadua chacoensis*), importado do Paraguai. Também, principalmente na região Sudeste, pode-se observar a adequação do uso do bambu Mosô (*Phyllostachys edulis* ou *P. pubescens*) em estruturas.

3.5. Caracterização Térmica

3.5.1. Secagem da Madeira

A secagem da madeira é uma técnica que visa à redução do seu teor de umidade. A secagem da madeira ao ar livre, embora seja mais demorada, evita a necessidade de efetuarla nos grandes centros de destino das cargas.

Dentre as principais razões para secar a madeira podem ser destacadas as seguintes:

a) A redução na movimentação dimensional

A secagem realizada até um determinado teor de umidade final diminuirá a movimentação dimensional da peça evitando, dessa forma, o surgimento de empenos ou rachaduras. As peças de madeira poderão ser produzidas com maior precisão de dimensões proporcionando melhor desempenho em serviço.

b) Redução dos riscos de ataque de fungos.

A madeira verde é uma das principais fontes de alimentos tanto para fungos quanto para os insetos. O ataque desses microorganismos pode comprometer as propriedades mecânicas da madeira, além de alterar significativamente sua aparência, ocasionando uma redução no seu valor econômico. Por outro lado, madeiras com teor de umidade abaixo de 20% tornam-se praticamente imunes ao ataque destes organismos (SZUCS et al., 2007).

c) Redução de custos

A perda de água da madeira reduz sensivelmente seu peso e, conseqüentemente, diminui seu custo de transporte.

d) Melhoria na tratabilidade

Uma peça de madeira com teor de umidade de 20% será mais facilmente impregnada por produtos químicos preservativos ou por retardadores de fogo, bem como aceitará mais facilmente pinturas, vernizes, ceras e outros materiais de acabamento.

e) Aumento da resistência mecânica

Em comparação com uma peça de madeira úmida, uma madeira previamente seca apresenta uma sensível melhoria nas suas propriedades mecânicas (flexão estática, compressão, dureza, cisalhamento, etc.).

f) Melhora nas características de trabalhabilidade.

Uma madeira seca apresenta melhores resultados de aplainamento, lixamento, furação entre outros.

g) Melhoria nas propriedades de pega

Uma madeira úmida não permite uma boa aderência de produtos fabricados à base de cola ou colados. Exemplos: compensados, laminados.

h) Fixação de pregos e parafusos

Pregos ou parafusos cravados em madeira úmida tendem a afrouxar com a secagem da madeira, devendo por isso aplicar tal operação após a secagem da peça.

i) Melhoria nas propriedades de isolamento

Uma madeira seca conduz menos calor do que uma madeira úmida, além de aumentar sensivelmente suas propriedades de isolante elétrico e acústico.

Outros benefícios adicionais que podem ser obtidos ao se efetuar uma secagem controlada da madeira, tanto em estufas quanto em secadoras, são teores de umidade mais baixos do que aqueles obtidos com a secagem ao ar livre, além de diminuir acentuadamente o tempo de secagem.

3.5.2. Análise termogravimétrica

As análises térmicas permitem avaliar propriedades de uma substância em função do tempo ou da temperatura.

No caso da temperatura, é feito o aquecimento a uma taxa fixa de variação de temperatura. A análise Termogravimetria (TGA) é uma técnica utilizada para a determinação da taxa de decomposição de substâncias (CARNEIRO et al., 2005). Uma das aplicações da termogravimetria é a de analisar a decomposição térmica ou pirólise de materiais orgânicos, inorgânicos e biológicos. Já a curva DTG, que é uma derivada da curva termogravimétrica (TG), permite obter uma melhor compreensão do efeito da temperatura atuando na biomassa. A curva (TG) é dada em % de massa, enquanto que a curva DTG é dada em % de massa em relação ao tempo.

3. 5.3. Tratamento térmico no bambu

A secagem do bambu ao ar livre é um exemplo de um tipo de tratamento térmico aplicado a um material. No entanto, nestas condições os efeitos produzidos no bambu são muito menos agressivos em relação a uma condição radical que ocorre no caso de um tratamento térmico, que se assemelha mais à produção de café torrado. Na torrefação, ocorrem alterações químicas nas substâncias, indicadas pela mudança de cor, sabor e modificações das sementes de café, quando comparada com a matéria-prima original.

O tratamento térmico é também uma forma simples para melhorar a estabilidade dimensional da madeira (BRITO et al., 2006). Se condições ideais de temperatura e de tempo de aquecimento forem empregadas, o bambu tratado termicamente (BTR) pode se comportar melhor do que aqueles tratados naturalmente, eliminando-se, dessa forma, a necessidade de se efetuarem tratamentos químicos que normalmente são nocivos ao meio ambiente.

O tratamento térmico é um tipo de pré-carbonização, ocorrendo na faixa de 220 a 300 °C. Nestas condições, a hemicelulose é modificada, através da remoção de água, do ácido acético, de fenóis e de outros compostos de baixo poder calorífico (LUENGO et al., 2008). Um material intermediário entre a biomassa vegetal e o carvão vegetal é produzido ao final deste processo.

O principal objetivo do tratamento térmico é o de concentrar a energia de biomassa em um produto, após um curto período de tempo, empregando-se taxas de aquecimento adequadas e temperaturas moderadas. As propriedades físicas e químicas da biomassa vegetal são variáveis de acordo com a mudança de temperatura e com a espécie de madeira (BRITO et al., 2008).

Uma das etapas mais importantes do tratamento térmico é a seleção da faixa de temperatura. Para madeira de *Eucalyptus grandis*, temperaturas de 30 °C (início do processo na estufa), 120 °C, 140 °C, 160 °C, 180 ° e 200 °C foram testadas por Pessoa et al. (2006). Após os tratamentos térmicos, as amostras foram submetidas a ensaios de deterioração. Observou-se um efeito favorável da temperatura mais elevada sobre a mortalidade de cupins de madeira seca.

As curvas das análises termogravimétricas TGA e DTG obtidas para a espécie *Bambusa vulgaris* Schrad, analisadas por Costa et al. (2004), nas faixas de temperatura de 25

°C a 120 °C, mostraram a perda de massa de 7,2% em atmosfera controlada com N₂, e 9,6% em atmosfera normal. Para as temperaturas de 120 °C a 400 °C, nas Figuras 11 e 12 observa-se uma perda de massa mais significativa, de aproximadamente 65%, correspondente à etapa de decomposição térmica do bambu.

Entre 400 °C e 550 °C, sob atmosfera de ar, observou-se uma rápida perda de massa de 24,5%. Para atmosfera controlada com N₂, a eliminação do carbono elementar ocorreu lenta e parcialmente entre 400 °C e 800 °C, com um valor estimado de 16,9% de perda de massa.

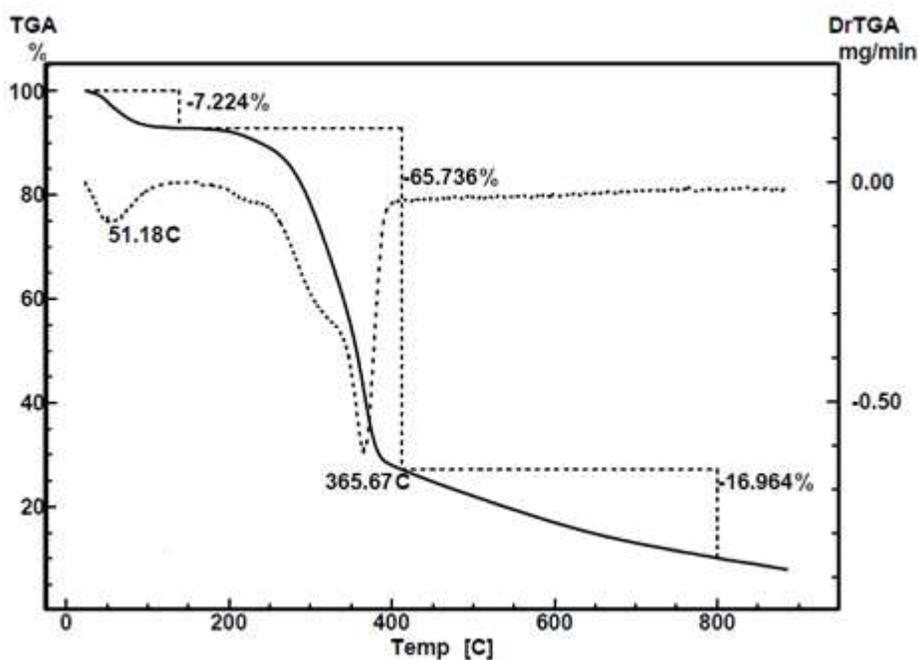


Figura 11. Curva TG/DTG, aquecimento de 10 °C/min sob atmosfera dinâmica de N₂ sintético (50 mL/min), da serragem do *B. vulgaris*.

Fonte: Costa et al. (2004).

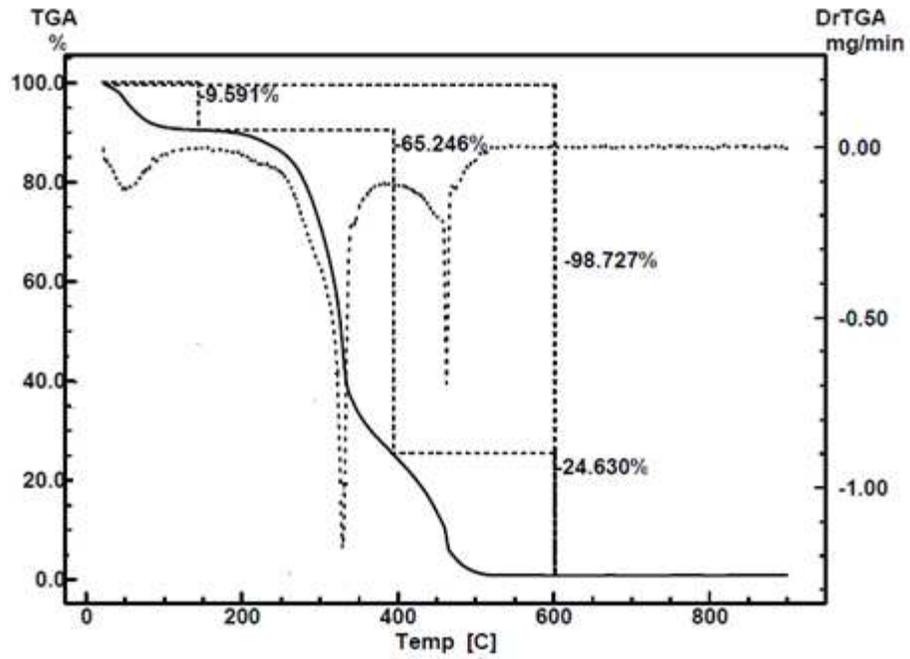


Figura 12. Curva TG/DTG, aquecimento de 10 °C/min sob atmosfera dinâmica de ar sintético (50 mL/min), da serragem do *B. vulgaris*.

Fonte: Costa et al. (2004).

O início da temperatura de carbonização, conforme observaram Costa et.al., (2004), é de 300 °C, como mostrado na Figura 13.

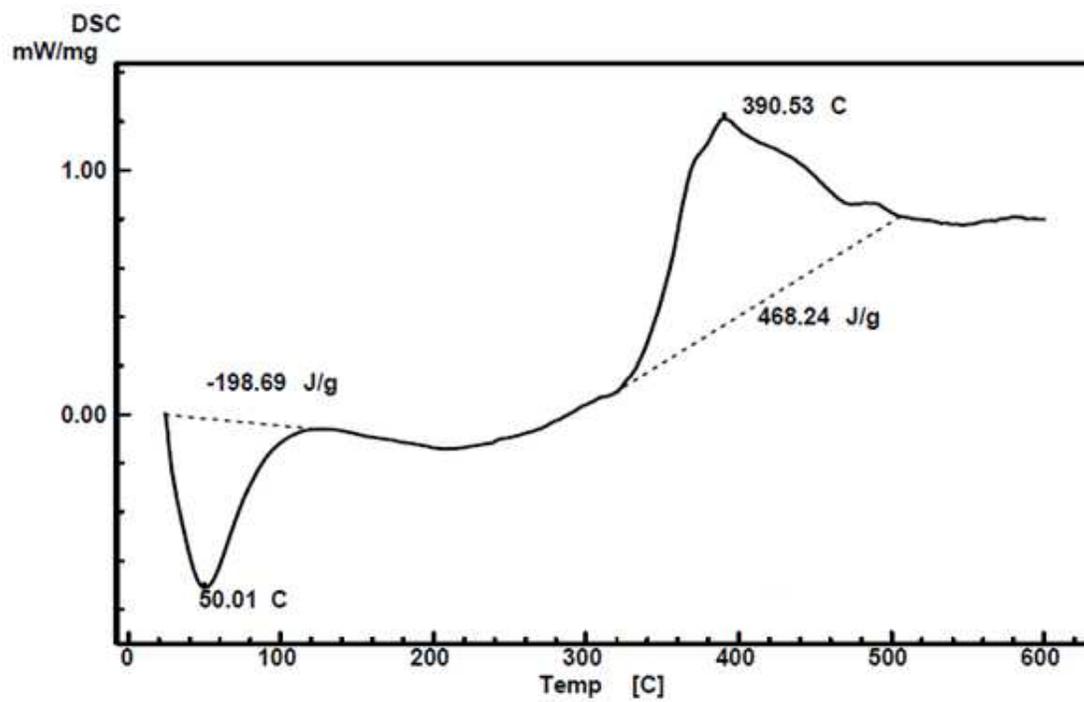


Figura 13. Curva DSC para caracterização da temperatura de carbonização da serragem do *B. vulgaris*.

Fonte: Costa et al. (2004).

3.6. Tratamentos preservativos do bambu

Devido ao seu elevado teor de açúcares, hidratos de carbono, resinas e amido, o bambu é deteriorado por insetos, bactérias e fungos. Entre esses organismos, a broca do bambu (*Dinoderus minutus* Fabricius) provoca perda de peso considerável, principalmente em bambus tropicais. A intensidade do ataque da broca depende do teor de amido da espécie de bambu, da idade dos colmos, da época da colheita e do tipo de tratamento aplicado aos colmos (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).

Qualquer que seja o material utilizado em uma construção, inicialmente deve-se pensar no que se denomina a "proteção pelo projeto". Ou seja, evitar, à medida do possível, que o material tenha contato com a umidade proveniente da chuva ou do solo. No primeiro caso, deve-se pensar, portanto, em beirais que sejam eficientes. No segundo caso, as colunas de madeira ou de bambu devem ser apoiadas em materiais que sejam mais resistentes à umidade.

A maioria das espécies de bambu apresenta baixa durabilidade natural ao ataque de organismos xilófagos. Devido à presença do amido nas células parenquimáticas, o bambu é alvo do ataque do caruncho.

Procedimentos podem ser adotados visando prolongar a vida útil do colmo de bambu (PEREIRA et al., 2007).

3.6.1. Idade para o corte

Esse é o procedimento mais simples de ser efetuado. Os colmos maduros geralmente são mais resistentes aos ataques de fungos e de insetos, além de apresentarem melhor desempenho mecânico, até uma determinada idade, quando então entram em declínio. O maior problema refere-se ao desconhecimento da idade dos colmos, visto que, raramente se efetua um tipo de marcação anual. Esse seria o procedimento ideal quando se pensa na exploração racional de uma floresta de bambu.

3.6.2. Cura na mata

Os colmos de bambu são cortados e deixados secar na própria touceira, permanecendo com as folhas, geralmente apoiando-se a base inferior do colmo em uma pedra. Quando as folhas secarem e caírem, o colmo poderá ser utilizado. Nessa técnica, denominada de "avinagrado" na Colômbia, ocorre degradação do amido e da seiva presentes no colmo, geralmente aumentando a durabilidade do colmo.

3.6.3. Tratamentos por imersão

Os colmos podem ser imersos em água (parada ou corrente), ou em soluções preservativas, à base de produtos químicos. Em alguns casos os colmos devem ser recém cortados; em outros, pode-se utilizar colmos secos ao ar. Quando feito por aspersão, essa técnica apresenta pouca eficiência, já que a absorção do produto é feita apenas pelas extremidades do colmo, pois as camadas internas e externas do bambu são praticamente impermeáveis.

3.6.4. Tratamentos sob pressão

O uso de pressão torna o processo mais eficiente. O método mais recomendado para colmos recém cortados é o Boucherie modificado. Bambus secos podem ser tratados em autoclaves (utilizadas para preservação da madeira). Nesse caso os diafragmas devem ser perfurados para que o colmo não rache durante a fase de vácuo. Em todo caso, deve-se prever um tratamento preventivo para que, enquanto os colmos sequem, não sejam atacados pelo caruncho.

3.6.5. Tratamentos pela fumaça e pelo fogo

Os colmos recém cortados são colocados em fogo rápido. Também se pode utilizar um tipo de defumador que, em bambus alastrantes, provoca um escurecimento dos colmos tornando-os muito atraentes para fins ornamentais. Aparentemente os efeitos do calor e da fumaça alteram ou degradam o amido tornando o colmo mais resistente ao ataque do

caruncho. Para aplicações em escala comercial devem ser projetadas instalações específicas para esse fim, de preferência com recuperação dos produtos químicos eliminados, tais como o ácido pirolenhoso.

Baseado nesse tipo de tratamento se pretende no presente trabalho avaliar o efeito de determinadas faixas de temperatura nas características físico-mecânicas do bambu. No entanto, a avaliação da eficiência do tratamento térmico quanto ao ataque de organismos xilófagos não será contemplada neste trabalho, pois envolveria um tempo significativamente elevado de experimentação.

4. METODOLOGIA

4.1. Taliscas de preparação para os tratamentos térmicos

Dois colmos de bambu com idade aproximadamente de 5 anos, pertencentes à espécie *Dendrocalamus giganteus* Munro foram coletados na Faculdade de Engenharia Agrícola, no Campus da Universidade Estadual de Campinas. Com o auxílio de um dispositivo, como mostra a Figura 14a, o bambu foi rachado em 6 (seis) partes, das quais foram produzidas as ripas, como se vê na Figura 14b. Após a produção das ripas, estas foram usinadas para produzirem-se as tiras (taliscas) nas medidas de 30 cm x 2 cm x 1 cm. As taliscas foram secas em recinto fechado, até alcançarem o teor de umidade de 10 a 15%.



(a) Dispositivo



(b) Dispositivo rachando o bambu

Figura 14. Dispositivo para produção de taliscas.

Fonte: W. A. Colla

Para eliminar o efeito da umidade sobre o tratamento térmico, com exceção da amostra-controle, as taliscas foram inicialmente secas a 100 °C e colocadas em sacos plásticos. Inicialmente, 110 taliscas foram aleatoriamente separadas e submetidas ao tratamento térmico em temperaturas selecionadas (22 amostras para cada temperatura).

Os tratamentos térmicos foram realizados no Laboratório Integrado de Química, Celulose e Energia, do Departamento de Ciências Florestais, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ / USP), em uma estufa com calor gerado pelo sistema elétrico de circulação forçada da temperatura ambiente até 350 °C. A estufa de marca Marconi,

está apresentada na Figura 15. As taliscas foram submetidas às temperaturas de 140 °C, 180 °C, 220 °C, 260 °C e 300 °C. Para evitar a combustão, N₂ foi utilizado para as três últimas temperaturas. A temperatura inicial foi de 100 °C, e adotou-se uma taxa de calor de 0,1388 °C/min, conforme Pessoa et al. (2006). Os corpos-de-prova permaneceram durante 1 h na estufa, até alcançarem a temperatura desejada; em seguida, permaneceram na estufa o tempo necessário para atingir a temperatura de equilíbrio como a ambiente. A Figura 16 representa a evolução da temperatura em função do tempo de aquecimento.

A perda de massa dos corpos-de-prova foi avaliada pela comparação da massa antes e após os tratamentos térmicos.



Figura 15. Estufa Marconi, utilizada para aquecimento dos corpos-de-prova.

Fonte: W. A. Colla

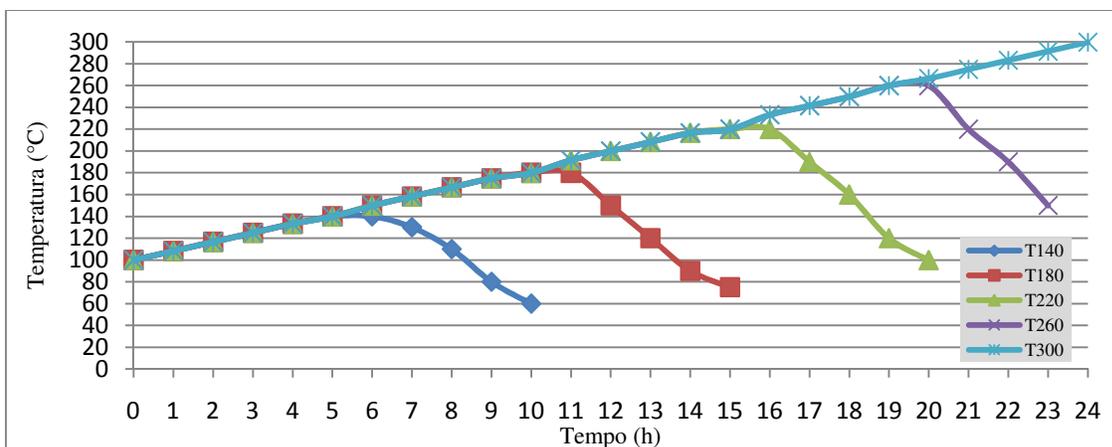


Figura 16. Diagrama representando a elevação de temperatura em (°C) em função do tempo em (h).

4.2. Testes aplicados ao Bambu Termorretificado (BTR)

Na avaliação das propriedades do BTR procurou-se avaliar a faixa de temperatura ideal visando à obtenção de um produto mais adequado para uma aplicação específica, como a confecção de móveis, por exemplo. Os corpos-de-prova foram avaliados de acordo com adaptação da norma brasileira de madeira (NBR 7190/97).

4.2.1. Cor do BTR

Em determinadas aplicações, principalmente em movelaria, a cor do bambu é um importante parâmetro a ser avaliado. A avaliação da mudança da coloração das taliscas devido a temperatura foi realizada com auxílio de um espectrofotômetro CM-2600d / Konica-Minolta (Figura 17). O equipamento fornece os parâmetros de cor: L - luminosidade, A - absorbância e B - refletância.



Figura 17. Aparelho CM-2600d / Konica-Minolta para medir parâmetros de cor.

Fonte: W. A. Colla

4.2.2 Massa Específica aparente

A massa específica aparente (em g/cm^3) foi obtida antes e após tratamentos térmicos diretamente das amostras, conforme a equação (2).

4.2.3 Inchamento e absorção de água

Os corpos-de-prova foram preparados após a determinação da tensão de ruptura, originando-se das partes não danificadas após o ensaio, da parte central onde ocorreu rompimento das fibras, apresentando dimensões de 5 cm x 2 cm x 1 cm. Após a pesagem e medição de suas dimensões, os corpos-de-prova foram imersos em água durante 24 h. O ganho de massa e o inchamento (em três direções anatômicas: axial, radial e tangencial), após 24 h, foram comparados com a testemunha. Esse experimento é passível de erros, o processo deveria ser automatizado, conforme pesquisa realizada sobre comportamento da madeira tratada termicamente em presença de água, apresentada recentemente por Almeida et al. (2009), valendo-se de equipamentos precisos de corte e pesagem com balança ultra sensível,

para medidas da retração e análise dos efeitos do tratamento térmico em madeiras de *Eucalyptus* sp.

4.2.4 Ensaio não destrutivo (END) por ultra-som

Avaliou-se a velocidade do pulso ultrassônico (VPU) através dos corpos-de-prova antes e após a realização do tratamento térmico aplicado às taliscas. O dispositivo Steinkamp-BP7, com transdutores de secção exponencial, com uma frequência de ressonância de 45 kHz, foi empregado (Figura 18). A VPU foi obtida pela distância (em milímetros) dividida pelo tempo de propagação (em μ s). Com a massa específica aparente e a VPU através das taliscas, antes e após tratamentos térmicos, avaliou-se o módulo de elasticidade dinâmico (E_d), por meio de:

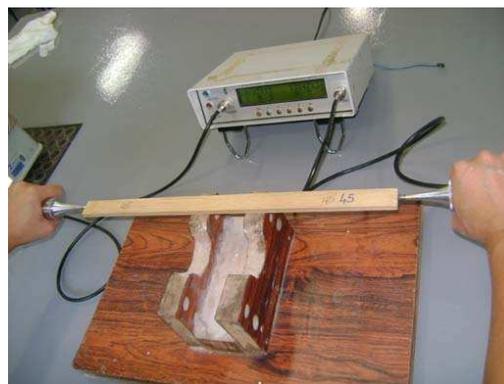
$$E_d = \rho.V^2 . 10^{-9} \text{ (GPa)} \quad (5)$$

ρ – massa específica aparente (kg/m^3);

V – velocidade do pulso ultra-sônico (m/s).



Detalhe dos transdutores



Utilização do dispositivo

Figura 18. Medição com aparelho Steinkamp-BP7.

Fonte: W.A.Colla

Para uniformizar as medições do tempo do pulso ultrassônico no interior das taliscas, na direção longitudinal (paralela às fibras), foi estabelecida uma marcação puntiforme, como mostra a Figura 19.



Figura 19. Marcação na talisca para uniformizar a medição.

Fonte: W. A. Colla

4.2.5 Flexão estática

Para o módulo de ruptura (MOR) em flexão, foram selecionadas aleatoriamente 10 amostras para cada tratamento térmico. Foi adotado um vão livre de 150 mm em um dispositivo EMIC modelo DL/300 kN (Figura 20), com a velocidade de deslocamento do cabeçote de 1 mm/min.



Figura 20. Ensaio de flexão estática.

Fonte: W. A. Colla

4.2.6 Teste de Impacto de Charpy

Para a realização desse ensaio, os corpos-de-prova deveriam apresentar dimensões nominais de 2 cm x 2 cm x 30 cm, sendo ensaiados em um vão livre de 24 cm com energia de 10 kfg.m. Porém, as taliscas de bambu apresentavam espessura inferior a 2 cm, sendo portanto necessário constituir uma seção composta por duas taliscas, coladas com PVA, sob pressão. O ensaio foi realizado na Divisão de Madeiras, pertencente ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT – SP).

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1. Perda de massa após a termorreificação

A perda de massa diminuiu mais intensamente após o tratamento de 300 °C, sendo da ordem de 50% em relação à massa inicial, denotando as mudanças drásticas provocadas por essa temperatura na estrutura de bambu (Figura 21).

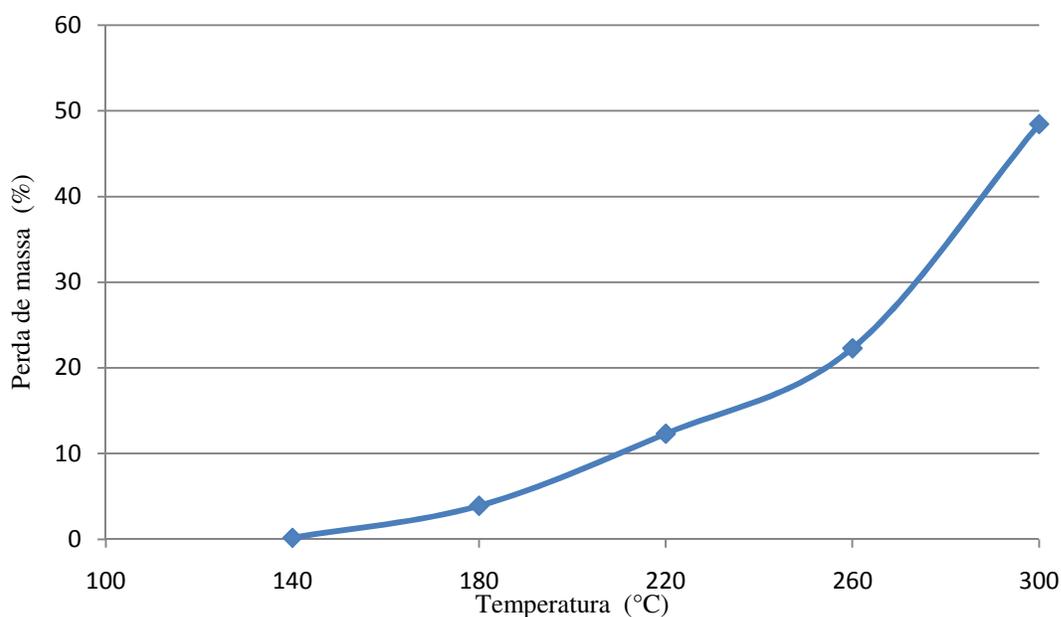


Figura 21. Perda de massa (%) do BTR em função da temperatura.

5.2. Efeito da termorreificação na coloração do bambu

O BTR obtido após 140 °C apresentou a mesma cor do bambu referência (testemunha). Os parâmetros obtidos para ambas as temperaturas foram: luminosidade (L^*) 75,16 e 76,35; absorvância (a^*) 6,24 e 5,27; refletância (b^*) 25,74 e 24,66, respectivamente.

Na Figura 22, é mostrado o resultado do teste de cor para as amostras de bambu natural e para bambu termorretificado nas temperaturas de 140 °C, 180 °C (duas amostras), 220 °C e 260 °C.

Nota-se que nas amostras do bambu natural e tratado a 140 °C, praticamente não há diferença nos parâmetros da cor (luminosidade, absorvância e refletância). À medida que a temperatura de termorretificação aumenta ocorre uma diminuição significativa dos parâmetros analisados.

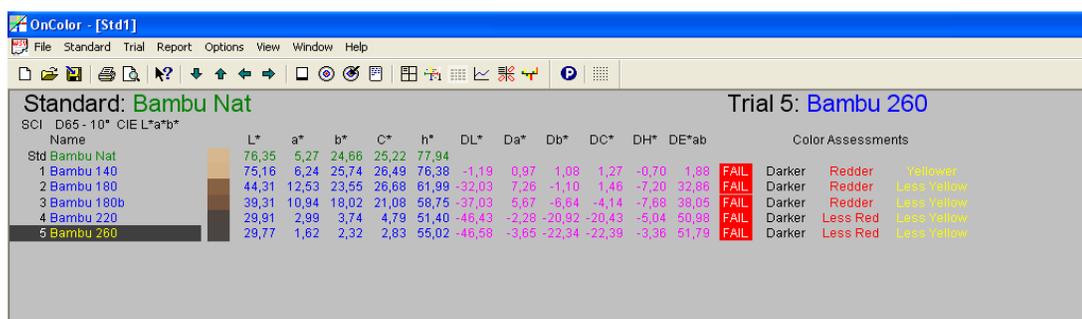


Figura 22. Teste de cor do BTR.

Comportamento similar quanto aos parâmetros de cor observados para 220 °C quando comparados a 260 °C. Assim, em termos de análise de cor, o BTR, obtido nessas temperaturas, poderia substituir algumas madeiras tropicais (Imbuia, Sucupira, por exemplo).

Por outro lado, o BTR a 300 °C, apresentado na parte superior da Figura 23, mostrou uma deformação excessiva e uma cor negra, similar àquela do carvão, denotando que essa temperatura é inadequada para aplicações estruturais do BTR.



Figura 23. BTR de acordo com a temperatura de tratamento térmico (seco ao ar – controle; 140, 180, 220, 260 e 300 °C (parte superior)).

Fonte: W. A. Colla

5.3. Efeitos da termorretificação na densidade, na velocidade do pulso ultrassônico (VPU) e no módulo dinâmico (E_d) do bambu

Para temperaturas mais elevadas, as propriedades do BTR se reduziram drasticamente (Tabela 2). A densidade diminuiu, pois a perda de massa foi mais intensa do que a retração do volume (Figura 24). O módulo dinâmico E_d (Figura 25) e a VPU (Figura 26) aumentaram porque o teor de umidade do BTR foi reduzido. No entanto, para 300 °C, estes parâmetros foram sensíveis o suficiente para detectar a existência de falhas estruturais importantes que ocorreram no BTR.

Tabela 2. Propriedades do BTR em função da temperatura de termorretificação.

Temperatura	30 °C	140 °C	180 °C	220 °C	260 °C	300 °C
Densidade (g.cm^{-3})	0,87 ^{a*}	0,81 ^{ab}	0,79 ^{bc}	0,75 ^c	0,67 ^d	0,54 ^e
VPU (m.s^{-1})	4354 ^d	6041 ^a	6055 ^a	5973 ^b	5774 ^c	2147 ^e
E_d (GPa)	16,56 ^d	29,42 ^a	28,92 ^a	26,95 ^b	22,47 ^c	2,47 ^e
MOR (MPa)	194,30 ^b	232,21 ^a	157,33 ^c	122,86 ^d	79,07 ^e	11,58 ^f

* Letras iguais na mesma linha indicam que não existe diferença significativa entre as médias ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

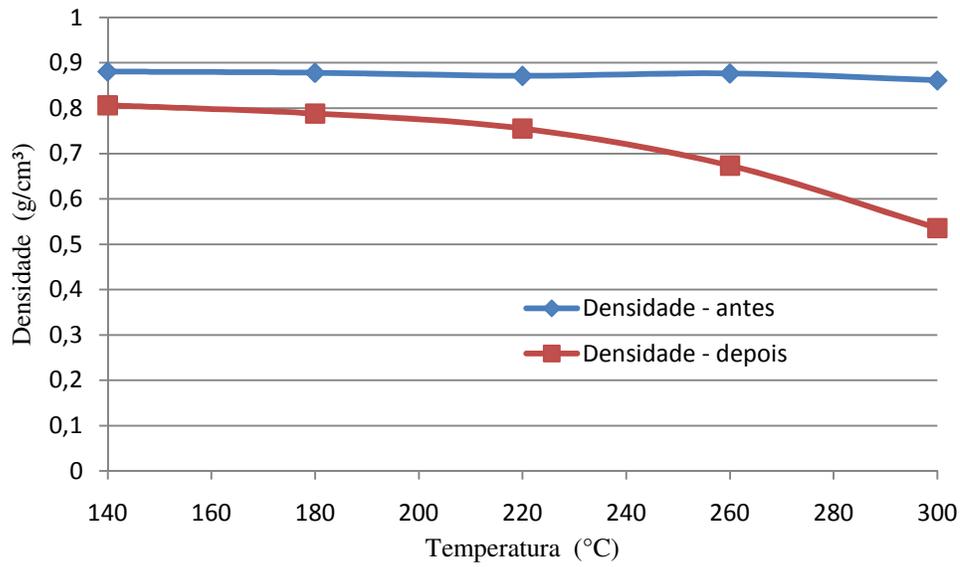


Figura 24. Densidade do BTR em função da temperatura de termorretificação.

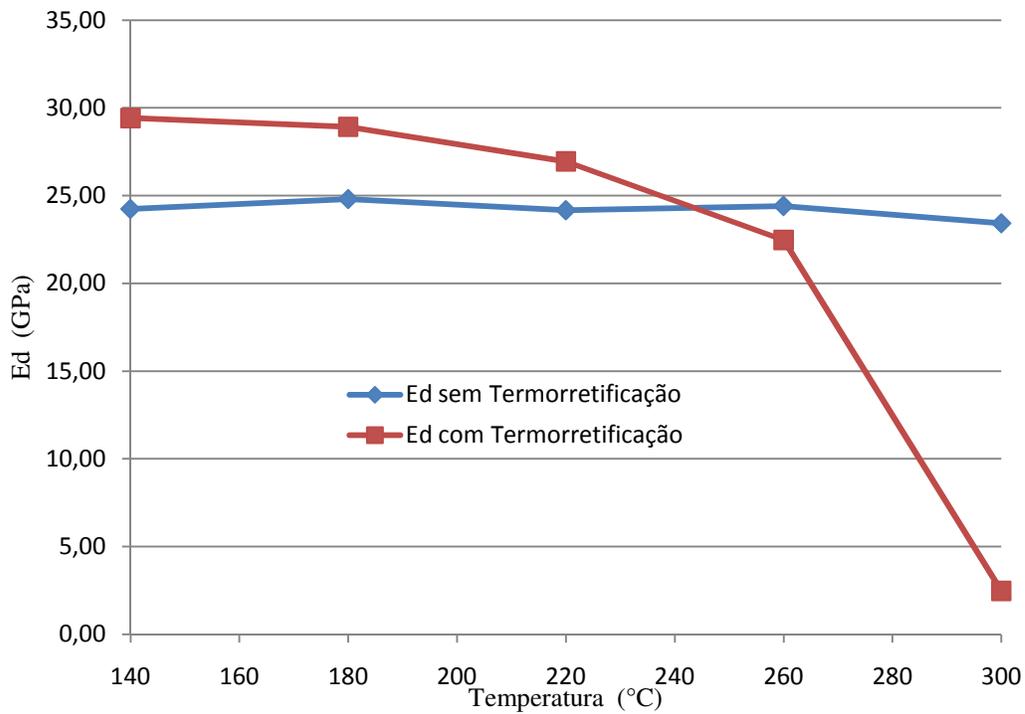


Figura 25. Módulo dinâmico em função da temperatura de termorretificação.

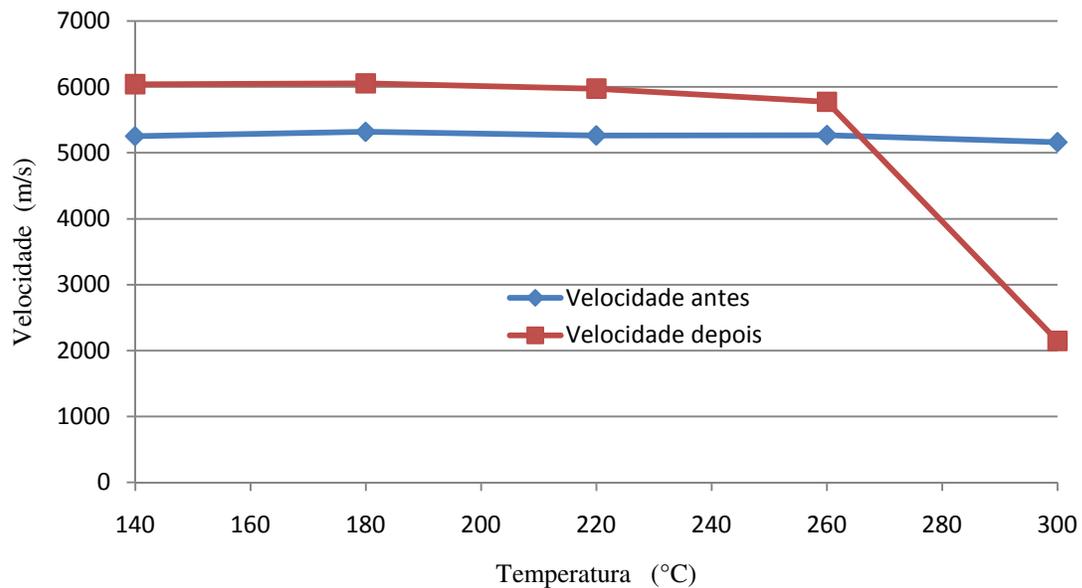


Figura 26. Velocidade do pulso ultra-sônico em função da temperatura de termorreificação.

5.4. Efeito da termorreificação no módulo de ruptura (MOR) do bambu

Para o BTR originário dos tratamentos 140 °C e 180 °C, a comparação entre os valores dos módulos de ruptura (MOR) parece ser mais adequada do que entre os valores das VPU ou dos Ed, para detectar micro-fissuras nas amostras (Tabela 2). Observa-se que o MOR diminui rapidamente com o aumento da temperatura de tratamento (Figura 27).

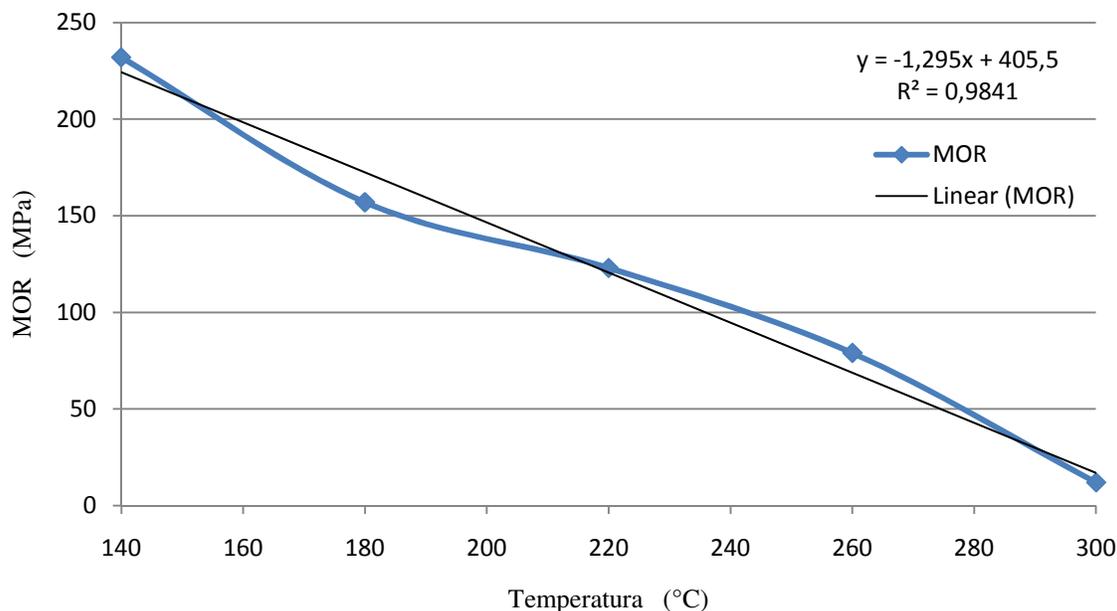


Figura 27. Módulo de ruptura em função da temperatura de termorretificação.

5.5. Efeito da termorretificação no inchamento do bambu

O inchamento obtido após 24 h mostrou-se insignificante para a direção axial (de 0,12 a 0,18%), exceto para o tratamento a 300 °C (1,60%), indicando, mais uma vez, para essa temperatura, que ocorreu importante alteração anatômica do corpo-de-prova.

O inchamento na direção radial foi superior aquele da direção tangencial (sendo um comportamento oposto em relação à madeira normal). Para a temperatura de 220 °C pôde-se observar uma tendência de estabilização no inchamento (em torno de 2%) para ambas as direções anatômicas (Figura 28).

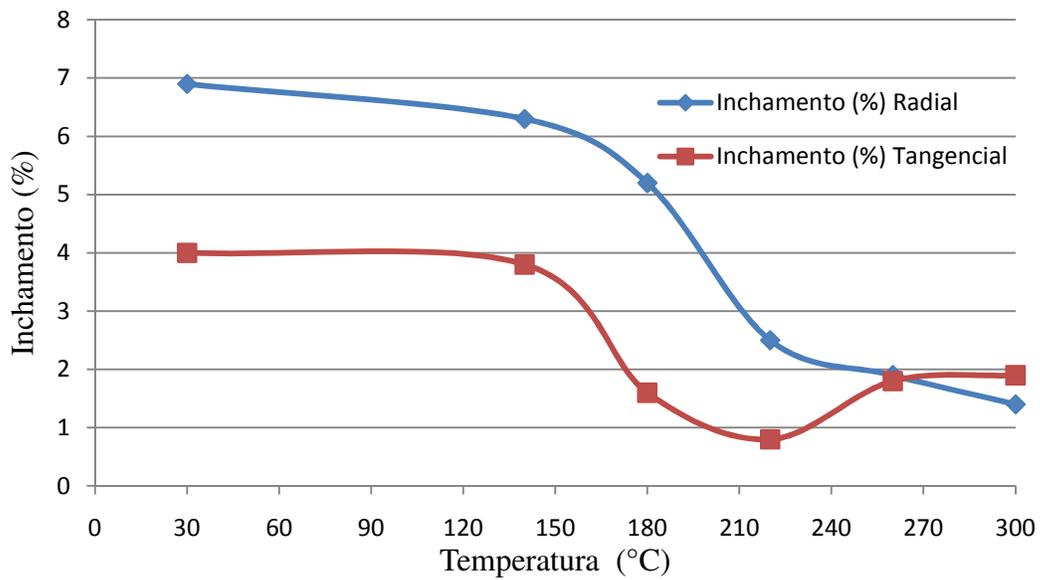


Figura 28. Inchamento do BTR de acordo com a direção anatômica.

Na Figura 29 apresentam os corpos de prova utilizados no presente ensaio.

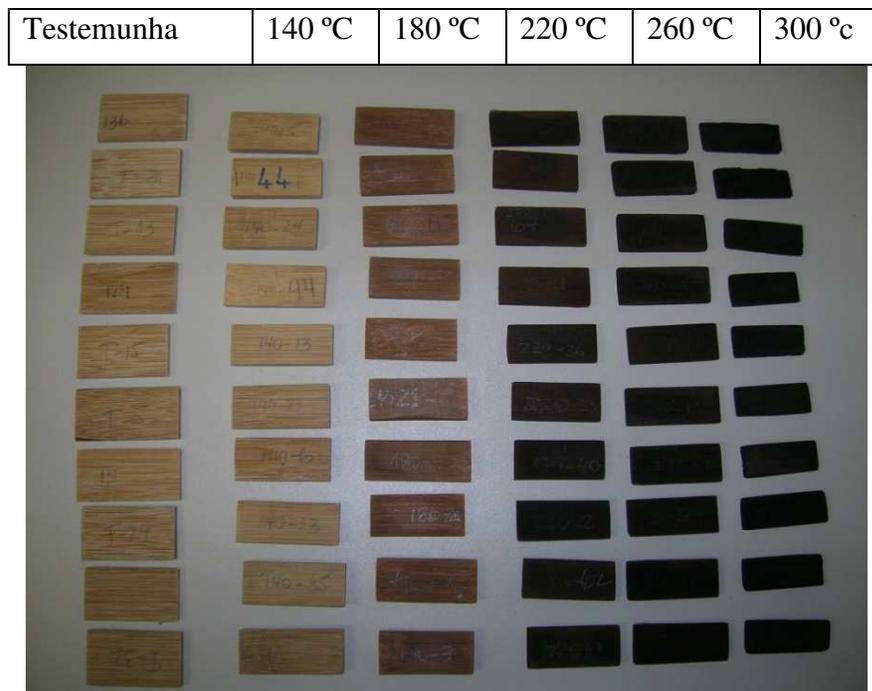


Figura 29. Corpos de prova para o teste de inchamento.

Fonte: W. A. Colla

5.6. Efeito provocado na estrutura anatômica do bambu devido à termorretificação

Na Figura 30, com um aumento de 500X, observa-se uma amostra de referência (bambu à temperatura ambiente), notando-se claramente a presença do amido, em grande quantidade, com suas formas arredondadas e preenchendo quase que totalmente, as células de parênquima. As fibras do bambu aparecem inclinadas, nas partes superior e inferior da imagem.

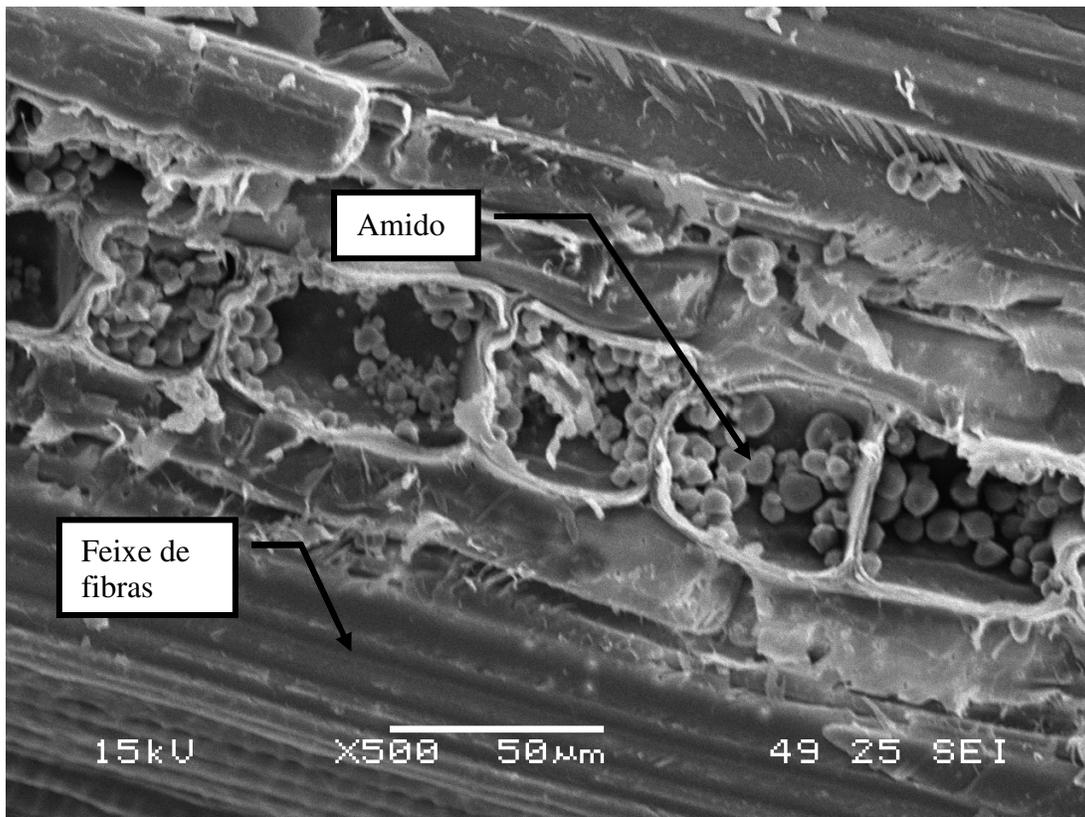


Figura 30. Amostra de referência (bambu à temperatura ambiente).

Fonte: W. A. Colla

À temperatura de 140 °C o amido e as células de parênquima ainda continuam preservados, não sendo observadas mudanças importantes nas estruturas internas, como se observa na Figura 31. Com um aumento de 1000X nota-se nas paredes do parênquima, certa dilaceração, devido ao corte do material que não foi feito com micrótomo.

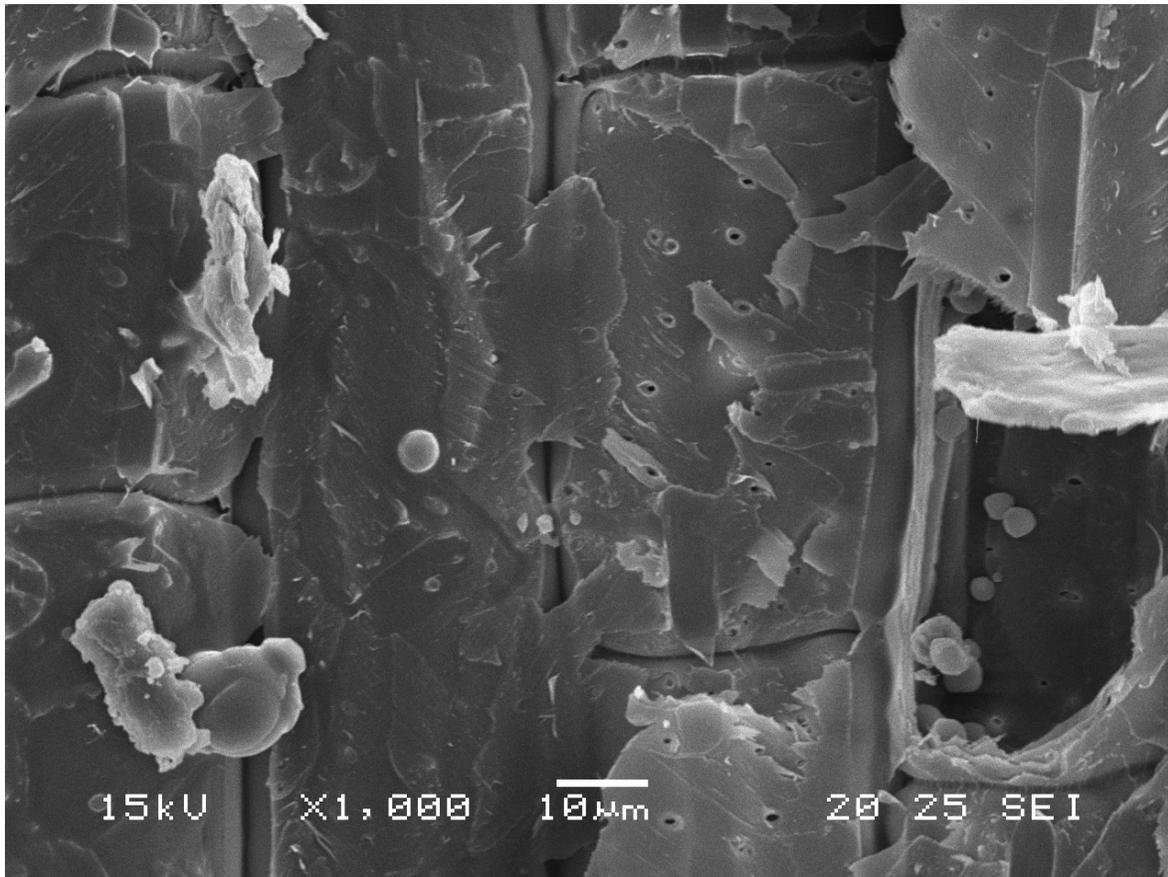


Figura 31. Amostra termorretificada a 140 °C.

Fonte: W. A. Colla

A 180 °C, o efeito da temperatura, observado em MEV, demonstrou a ocorrência de mudanças drásticas na estrutura anatômica do bambu. Na Figuras 32 as células de parênquima sofrem uma retração acentuada, observada em aumento de 5000X; já na Figura 33, com aumento de 10000X, notam-se os grãos de amido apresentando fissuras. O amido encontra-se na iminência de estourar, denotando um desarranjo no material.

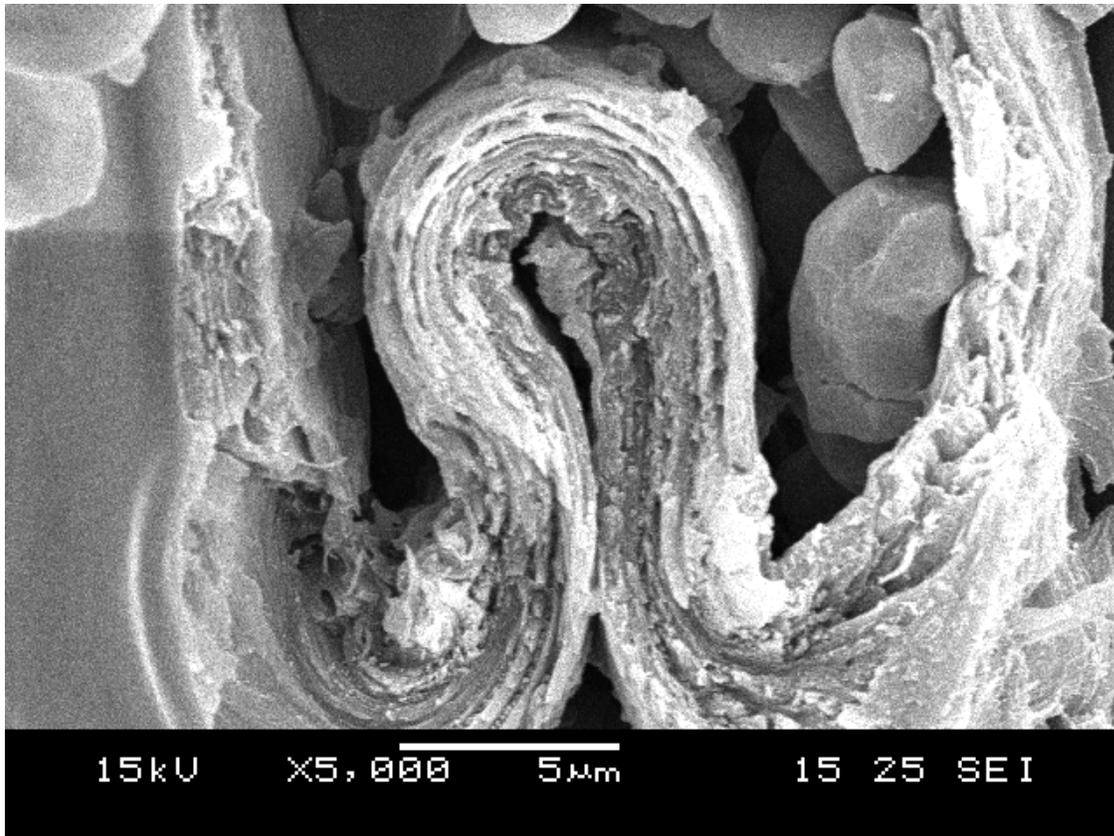


Figura 32. Retração da parede do parênquima (180 °C).

Fonte: W. A. Colla

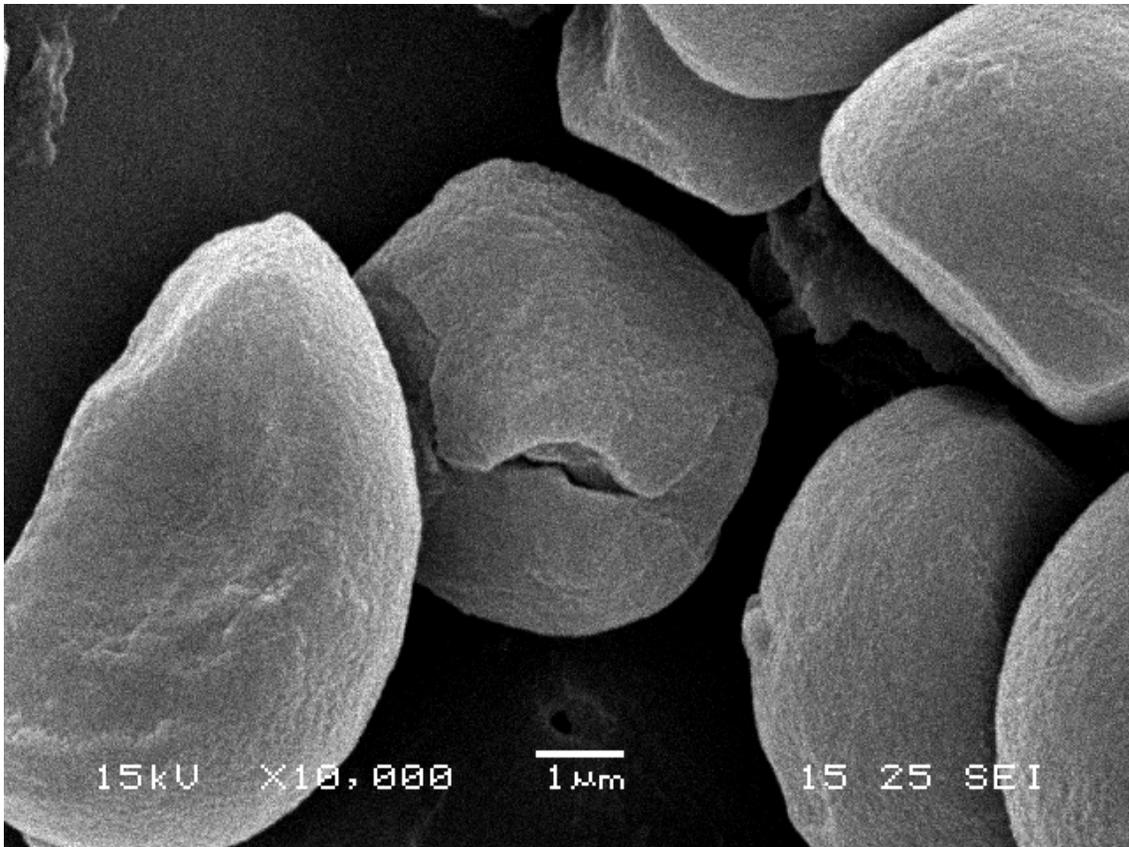


Figura 33. Fissuras na superfície do amido (180 °C).

Fonte: W. A. Colla

Com o aumento da temperatura para 220 °C, os grãos de amido já sofrem importante ruptura. A explosão do amido se mostra generalizada e notada na Figura 34, com o aumento de 2500X. Na parede do parênquima continua o processo de degradação, percebendo-se uma ligeira descamação.

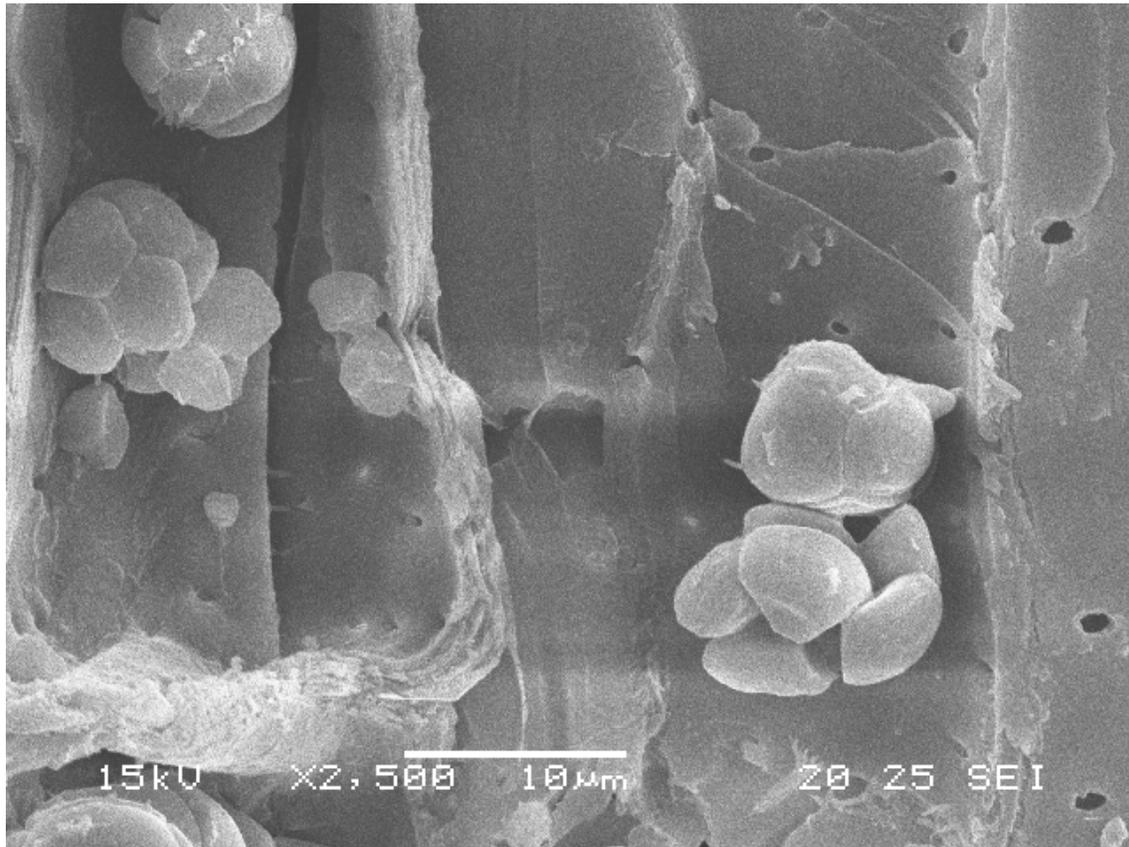


Figura 34. Amostra termorretificada a 220 °C.

Fonte: W. A. Colla

Com um aumento de 1200X observa-se, na Figura 35, na célula de parênquima da esquerda o amido totalmente degradado (fundido) e, na célula da direita, o amido totalmente em pedaços, com algumas partes em início do processo de fusão. Já as paredes da célula de parênquima estão perdendo massa pela degradação.

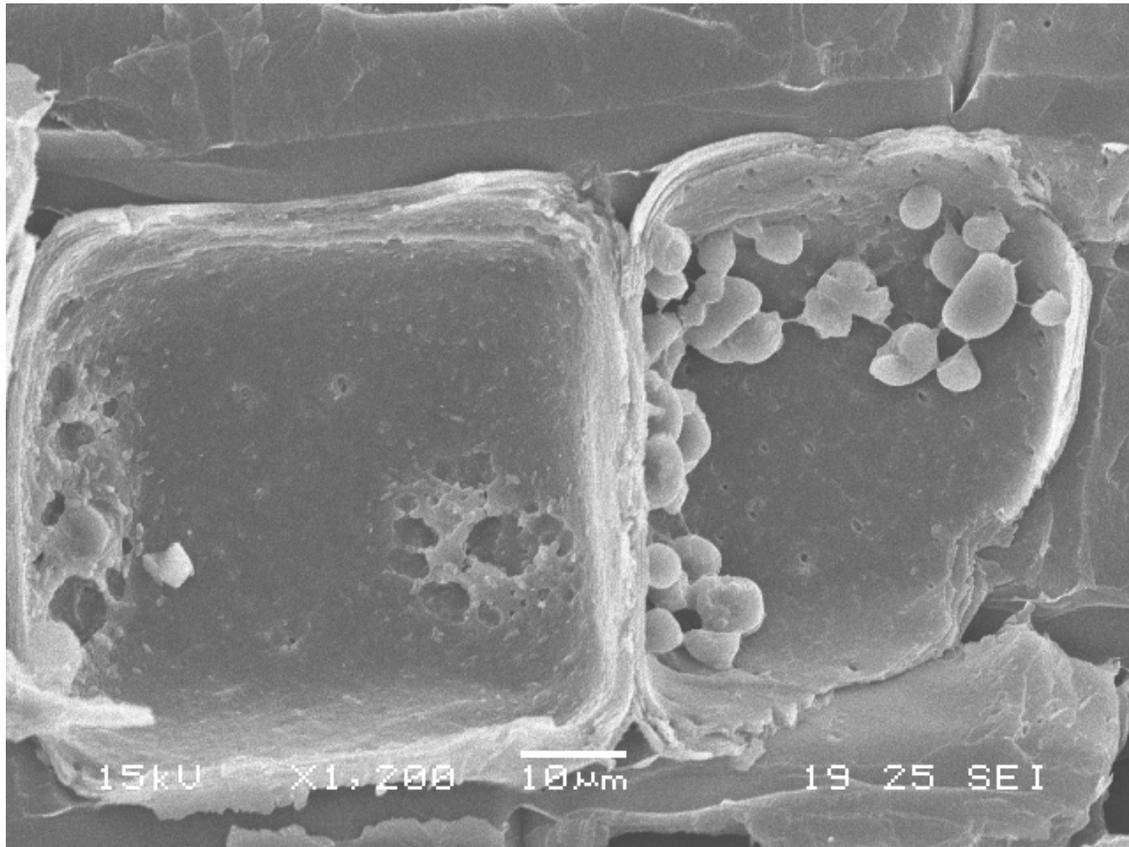


Figura 35. Amostra termorretificada a 260 °C.

Fonte: W. A. Colla

Para a temperatura de 300 °C o material encontra-se próximo à estrutura do carvão, com os grãos de amido totalmente degradados, com paredes das células de parênquima retorcidas e descoladas, denotando a inexistência de uma estrutura básica de sustentação para o material.

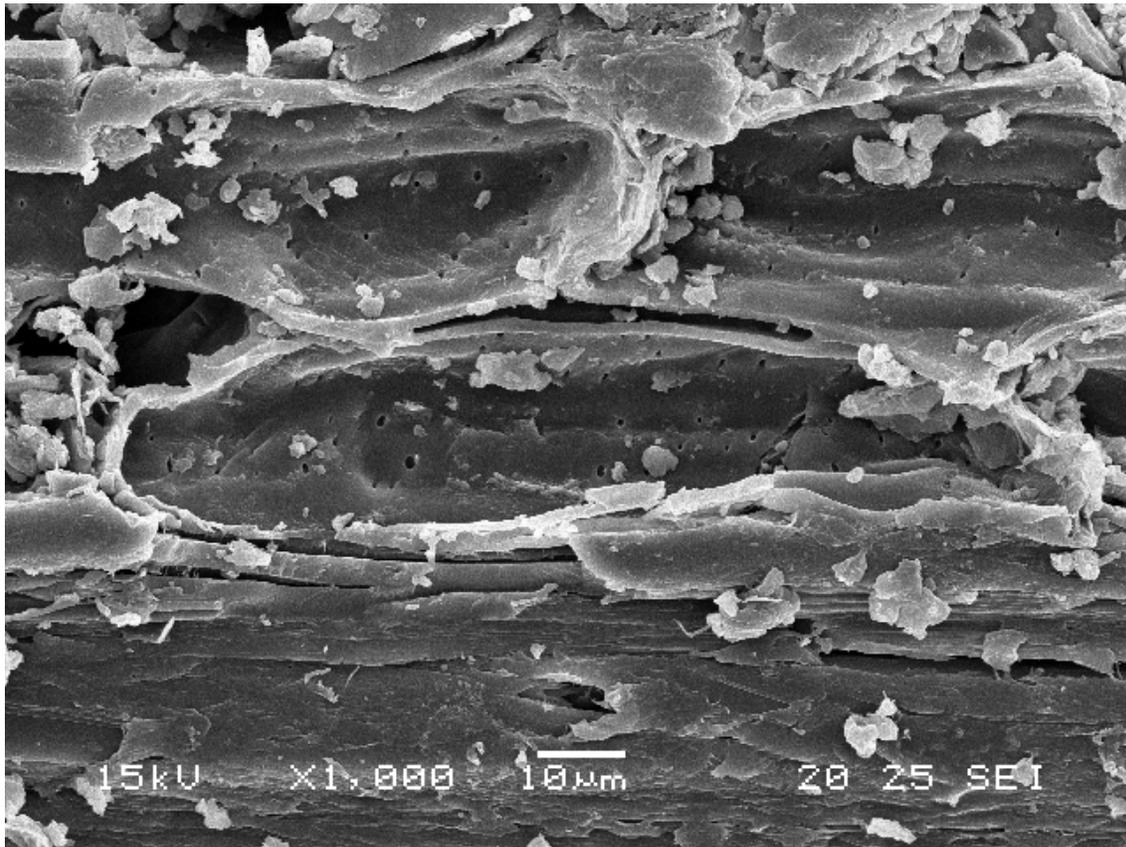


Figura 36. Amostra termorretificada a 300 °C.

Fonte: W. A. Colla

Em Anexo, apresentam-se outras imagens obtidas em MEV do BTR.

5.7. Resistência ao impacto do BTR comparado com madeiras

Verifica-se, na Figura 37, o resultado obtido no teste de Charpy, para a energia ao impacto do bambu. Deve-se ressaltar que para o BTR de 140 °C foi adotado o valor máximo da escala (10 kgf.m), pois as taliscas ensaiadas simplesmente não romperam. Para os valores de 180 °C e 220 °C ocorre uma queda brusca na energia, mas mesmo assim, o valor obtido mostrou-se muito superior ao de outras madeiras consideradas como sendo de boa qualidade, conforme se observa na Figura 39.

A resistência ao impacto do bambu eleva-se para a temperatura de 140 °C, como é constatado na Figura 38, até a temperatura de 180 °C; a diminuição da energia de impacto é significativa, mas a diminuição é menor para as demais temperaturas. Na Figura 40, compare o BTR com madeiras tradicionais, tais como, Peroba, Ipê, Pinus e duas espécies de Eucalipto.

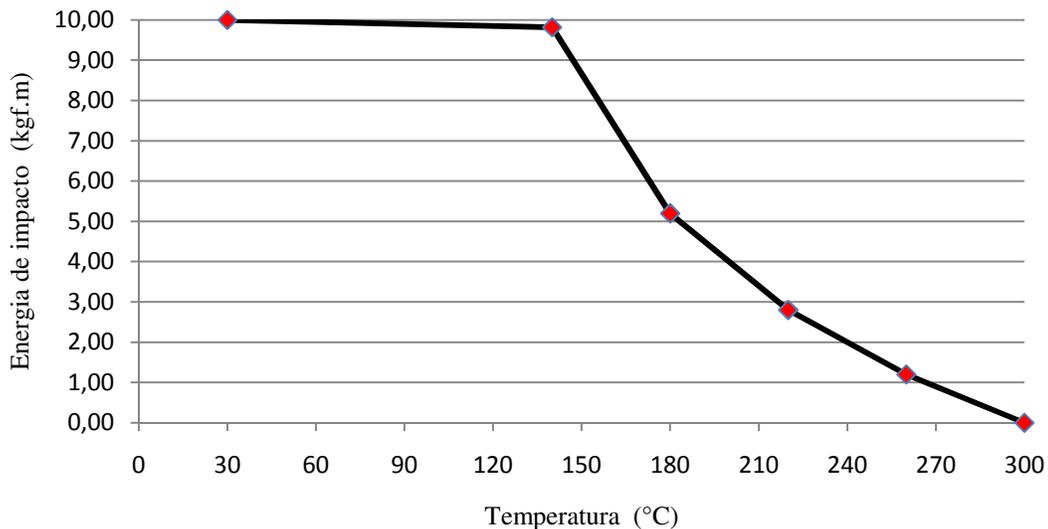


Figura 37: Energia de impacto, em função da temperatura para o bambu no teste de Charpy.

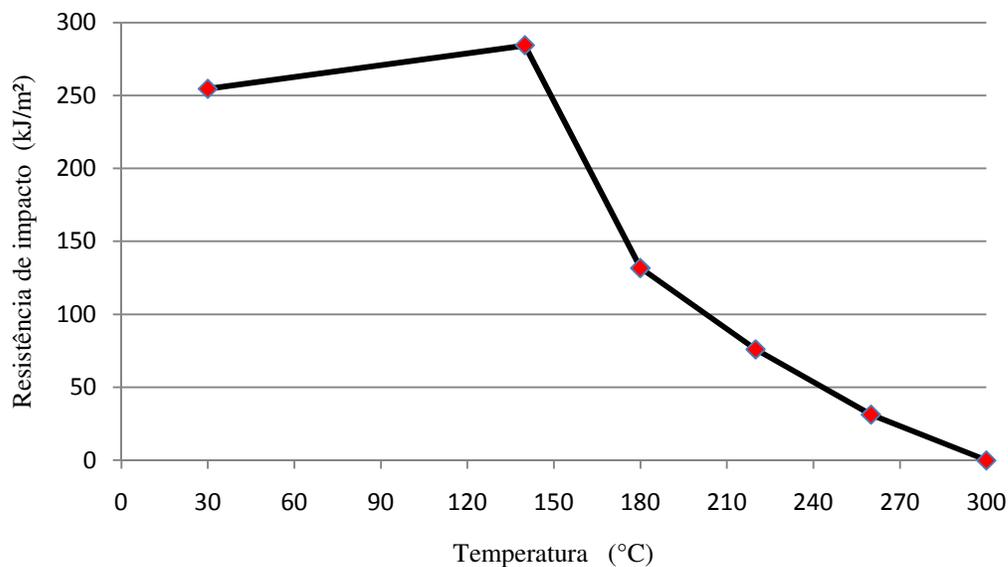


Figura 38. Resistência de impacto, em função da temperatura para o bambu no teste de Charpy.

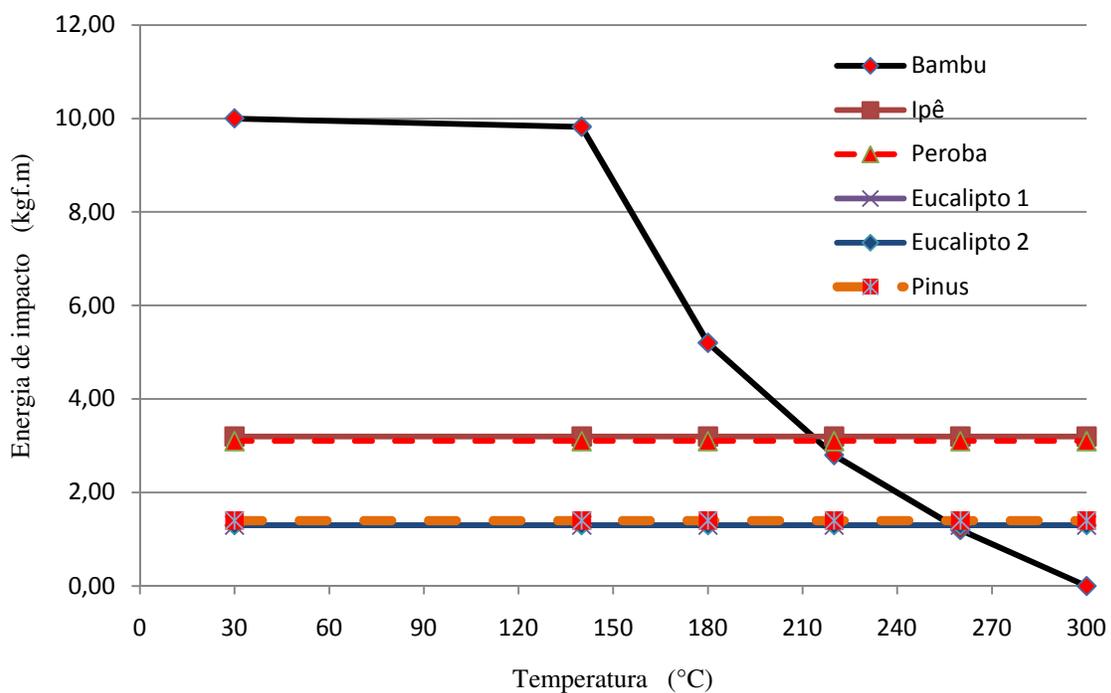


Figura 39. Comparação entre o bambu e madeiras tradicionais.

Fonte: Os dados referentes às madeiras foram fornecidos pelo IPT – SP.

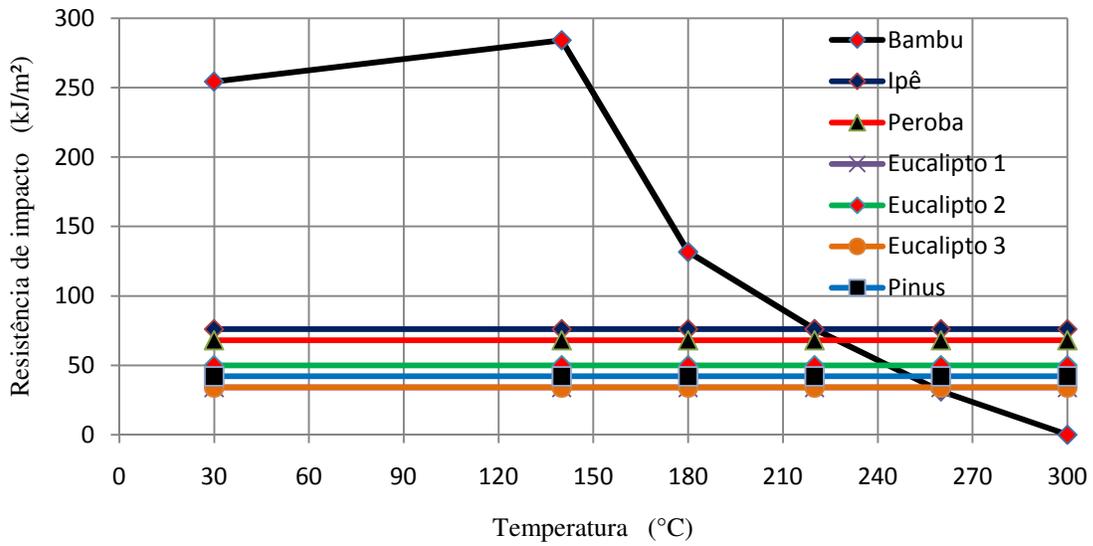


Figura 40. Comparação entre o bambu e madeiras tradicionais.

Fonte: Os dados referentes às madeiras foram fornecidos pelo IPT - SP

Os dados obtidos nos ensaios realizados no IPT estão listados na Tabela 3.

Tabela 3. Ensaio de energia de impacto, resistência ao impacto à flexão e densidade em amostras de bambu.

Temperatura	Energia de impacto (W)	Resistência ao impacto (f_{bw})	Densidade (ρ)
°C	(kgf.m)	(kJ/m ²)	(kg/m ³)
Testemunho	>10,00	>261	899
Testemunho	>10,00	>248	885
140	9,50	224	787
140	9,95	267	845
140	>10,00	>254	844
180	5,70	144	814
180	5,50	147	832
180	4,30	104	774
220	3,50	104	771
220	2,60	66	743
220	2,30	58	769
260	1,50	39	701
260	1,10	32	751
260	0,90	23	703
300	0,00	0	613
300	0,00	0	618
300	0,00	0	604

Os dados referentes às madeiras (Peroba, Ipê, Eucalipto e Pinus), mostrados na Tabela 4, foram fornecidos pelo IPT - SP.

Tabela 4. Ensaio de energia de impacto, resistência ao impacto à flexão e densidade em amostras de madeira.

Código do IPT	Energia de impacto (W)	Resistência ao impacto (f_{bw})	Densidade (ρ)
	(kgf.m)	(kJ/m ²)	(kg/m ³)
Peroba	3,10	68	815
Ipê	3,20	76	1052
Eucalipto	1,30	34	739
Eucalipto	1,90	50	777
Eucalipto	1,30	42	859
Pinus	1,40	34	541

Fonte: IPT – SP.

6. CONCLUSÃO

O Bambu Termorretrificado (BTR) mostrou potencial para diversas aplicações em função da temperatura utilizada no tratamento. A 180 °C ocorreu uma importante mudança na estrutura anatômica do bambu. Temperatura superior a 260 °C provocou danos consideráveis na estrutura de bambu o que pode impedir a sua aplicação, em especial para o mobiliário.

As mudanças estruturais no BTR puderam ser detectadas por meio de ensaios não destrutivos (END), mas o módulo de ruptura (MOR) mostrou-se mais sensível para detectar o efeito das micro-fissuras internas no comportamento mecânico do BTR.

O ensaio de impacto permitiu evidenciar que, dependendo da temperatura utilizada no tratamento, o BTR apresentou um desempenho superior ao de madeiras tradicionais.

De uma forma geral, observou-se que o BTR, quando exposto à umidade, apresentou maior estabilidade dimensional do que o bambu-referência.

Os resultados obtidos permitiram evidenciar o efeito da temperatura de termorretrificação nas características do bambu. Observou-se a existência de uma faixa ideal de temperatura que corresponde ao intervalo de 140 °C a 220 °C, a qual, no entanto, ainda deve ser refinada, em busca da otimização do processo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, **NBR 7190**. Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

APUAMA. **Generalidades do bambu**. <<http://www.apuama.org.br/>>, 12/09/2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. **Teste de Charpy**. <http://www.abende.org.br/quem_abende.php?w=1280&h=800>, 09/11/2009

ALMEIDA Giana; BRITO, Jose Otávio; PERRÉ, Patrick. Changes in wood-water relationship due to heat treatment assessed on micro-samples of three *Eucalyptus* species. **Holzforschung**, v. 63, p. 80-88, 2009.

ANDREUCCI, Ricardo. **Aplicação Industrial: Ensaios por Ultra-Som**. Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção – ABENDI. 98p. ed. Jul. 2008.

BRITO, Jose Otávio. **Estudo das influências da temperatura, taxa de aquecimento e densidade da madeira de Eucalyptus maculata e Eucalyptus citriodora sobre os resíduos sólidos da pirólise**. 1992. 81p. Tese (Livre Docência) – ESALQ, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1992.

BRITO, Jose Otávio.; GARCIA, José Nivaldo; BORTOLETTO JUNIOR, Geraldo; PESSOA, Antonio Maria das Chagas; DA SILVA, Paulo H. Müller. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* submetida a diferentes temperaturas de termorreificação. **CERNE**, v. 12, n. 2, p. 182-188, abr./jun. 2006.

BRITO J. O.; SILVA JUNIOR Francides Gomes; LEÃO Marcelo Machado; ALMEIDA, Giana. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, Amsterdã, v 99, n 18, p 8545-8548, December, 2008.

BYSTRIAKOVA, Nadia; KAPOS, Valerie; LYSENKO, Igor. **Bamboo biodiversity**. UNEP-WCMC/INBAR-2004- <http://www.unep-wcmc.org/resources/publications/UNEP_WCMC_bio_series/19/BambooHR.pdf>, 25/05/2009

CARNEIRO, Elizabete Araujo; LOPES, Ada Amélia Sanders; HILUY FILHO, João Jose; MAZZETTO, Selma Elaine; CARIOCA, José Osvaldo Beserra. **Síntese, caracterização e análise termogravimétrica de aditivo oriundo de fonte natural e renovável**. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. 2004. <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0555_05.pdf> 15/11/2009.

Coordenadoria de Assistência Técnica Integral - CATI. **Mapas das Principais Atividades Agrícolas do Estado de São Paulo**. <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/mapaculturas.php>>, 15/11/2009.

COSTA, Tânia Machado de Souza; MARTINELLI, Jose Roberto, MATOS, J. R. Análise térmica aplicada a estudos de ecoeficiência do bambu para processos de carbonização. In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2004, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: CBCIMAT, p. 363, 2004.

DEL MENEZZI Carlos Henrique Soares; TOMASELLI Ivan; De Souza, Mario Rabelo. Avaliação não-destrutiva de painéis OSB modificados termicamente: parte 1 – efeito do tratamento térmico sobre a velocidade de propagação de ondas de tensão. **Scientia Forestalis**, Piracicaba – SP, n. 76, p. 67-75, dez. 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, BRASIL. **Balanco Energético Nacional 2008: Ano base 2007**: Resultados Preliminares Rio de Janeiro: EPE, 2008. 44 p.

FILGUEIRAS, T.S.; GONÇALVES, A.P.S. **A Checklist of the basal grasses and Bamboos in Brazil (Poaceae)**. **Bamboo Science & Culture**. The Journal of the American Bamboo Society. Vol. 18. 2004. <http://www.embambu.com.br/imagens/bambu_brasil_mundo.pdf>, 18/05/2009.

Grupo Industrial João Santos. Bambu, do plantio à colheita – Manual do fazendeiro florestal. Recife, Brasil; p. 1-33. 2000.

GAION, Cristiane Pinheiro; PASCHOARELLI, Luis Carlos; PEREIRA, Marco Antônio dos Reis. O Bambu como Matéria Prima para o Design Industrial : um estudo de caso. In: 3º Congresso Internacional de Pesquisa em Design, 2005, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: 2005, CD Rom.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, vol.9 no.1 Jan./Mar. 2005.

GHELMANDI NETTO, Luiz; GIANNETTI, Biagio Fernando. Key elements for a sustainable World: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE. **In:** International Workshop Advances in Cleaner Production, 2009, São Paulo. Anais... São Paulo, 2009.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **FÍSICA Parte I**, 5ª Ed, Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1971.

HIDALGO-LÓPEZ, O.H. **Bamboo The Gift of the Gods**, 1ªed. Colômbia: D'VINNI Ltda, 2003.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO-22157-1. 2004a.** Bamboo – Determination of and mechanical properties. Part 1. Requirements. 1ª ed. 20p.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. **ISO/TR-22157-2. 2004b.** Bamboo – Determination of and mechanical properties. Part 2. Laboratory manual. 1ª ed. 23p.

LEÃO, Marcelo Machado. **Influência do termotratamento na composição química da madeira de amburana (*Amburana cearensis*), bálsamo (*Myroxylon balsamum*) e**

carvalho (Quercus sp.) e o impacto no aroma de uma solução modelo de cachaça. 86p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – ESALQ, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

LIESE Walter. The Structure of bamboo in relation to its properties and utilization. Bamboo and its use. In: International Symposium on Industrial use of Bamboo, 1992, Beijing, **Proceedings...** Beijing, China, 6p. 1992.

LUENGO, Carlos Alberto; FELFLI, Felix Eliecer Fonseca; BEZON, Guilherme. Pirólise e torrefação de biomassa. In: Biomassa para energia. Cortez, L. A. B., Lora, E. E. S., Gómez E. O. (Organizadores). **Caderno de Resumos...** Campinas, SP: Editora da Unicamp, p. 333-351, 2008.

MINÁ, Alexandre José Soares; DE OLIVEIRA, Fabiana Goia Rosa; CALIL JUNIOR, Carlito; DIAS, Antonio Alves; SALES, Almir. Avaliação não destrutiva de postes de madeira por meio de ultra-som. **Scientia Forestalis**, Piracicaba - SP, v. 65, p. 188-196, 2004.

NOGUEIRA, Marcelo; BALLARIN, Adriano Wagner. Determinação dos módulos de elasticidade da madeira de *Pinus taeda* L. com ensaios não-destrutivos. In: Energia na Agricultura, Botucatu, **Anais...** Botucatu, São Paulo: vol. 22, n.3, 2007, p.86-101.

PEREIRA, Marco Antonio dos Reis; BERALDO, Antonio Ludovico; FEFFER, Betty. **Bambu de corpo e alma**, Bauru - SP: Canal6, 2007.

PESSOA, Antonio Maria das Chagas; BERTI FILHO, Evôneo. e BRITO, José Otávio. Avaliação da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 72, p. 11-16, dezembro 2006.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais.** 1. ed. Brasília: Via Brasil, 2002. v. 01. 32 p. <<http://www.funtec.org.br/arquivos/aproveitamento.pdf>>, 19/12/2009

REZENDE, Marco Antonio; Guerrini; Ivan Amaral; Saglietti, Jose Roberto Corrêa. **Estudo das Interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade.** Trabalho de Pesquisa / Research Paper. IPEF n.48/49, p.133-141, jan./dez.1995

RODRIGUES, Thiago Oliveira. **Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2009

SHIMOYAMA, Vanilda Rosângela de Souza; BARRICHELO, Luiz Ernesto George. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus spp.* In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24., 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ABTCP, 1991. p.178-183.

SZUCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; VALLE, Angela do; DE MORAES, Poliana Dias, **Estruturas de Madeira.** Apostila da UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA-CENTRO TECNOLÓGICO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL, 187p, 2007.

ANEXO (A) - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Várias temperaturas de tratamento do bambu.

A Figura 41 mostra um vaso, observando-se a suas perfurações.

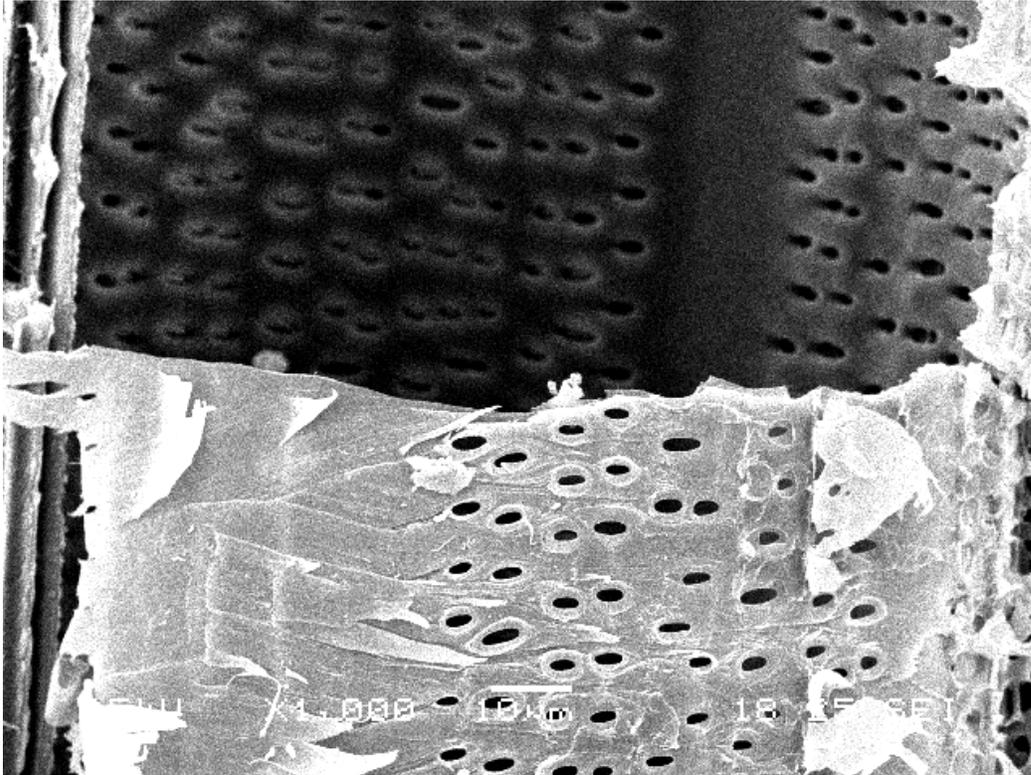


Figura 41. Bambu à temperatura ambiente.

Fonte: W. A. Colla

Na Figura 42, apresenta-se o tamanho aproximado de um grão de amido para o bambu à temperatura ambiente.

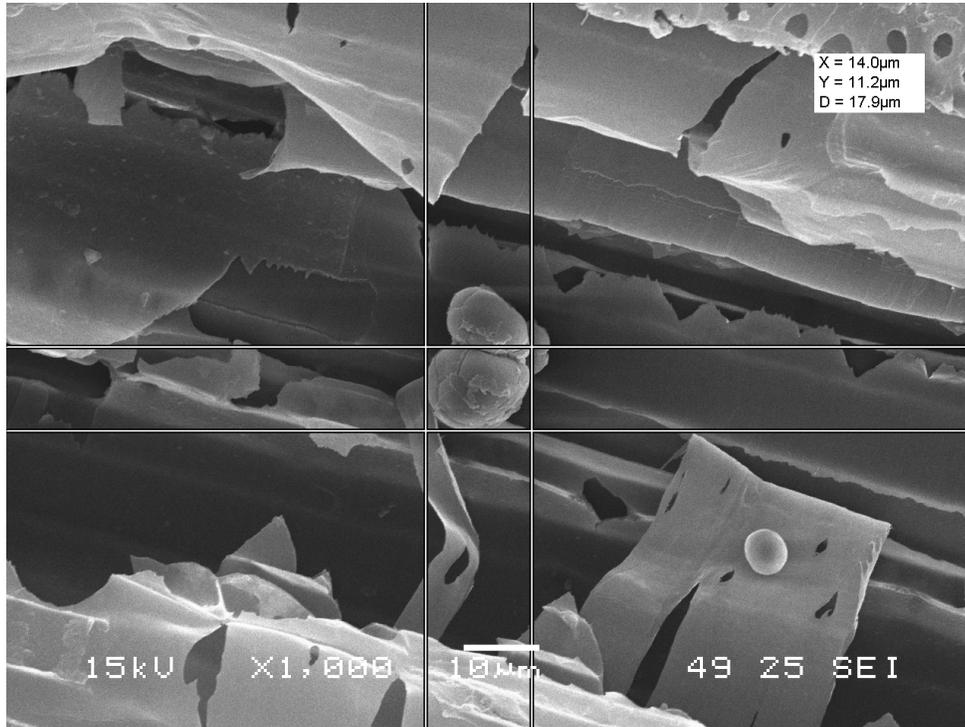


Figura 42. Bambu à temperatura ambiente.

Fonte: W. A. Colla

Na Figura 43, nota-se o início da degradação do amido, chamando atenção a presença de uma placa retangular, próxima a região central, e que tem a mesma textura que os grãos de amido

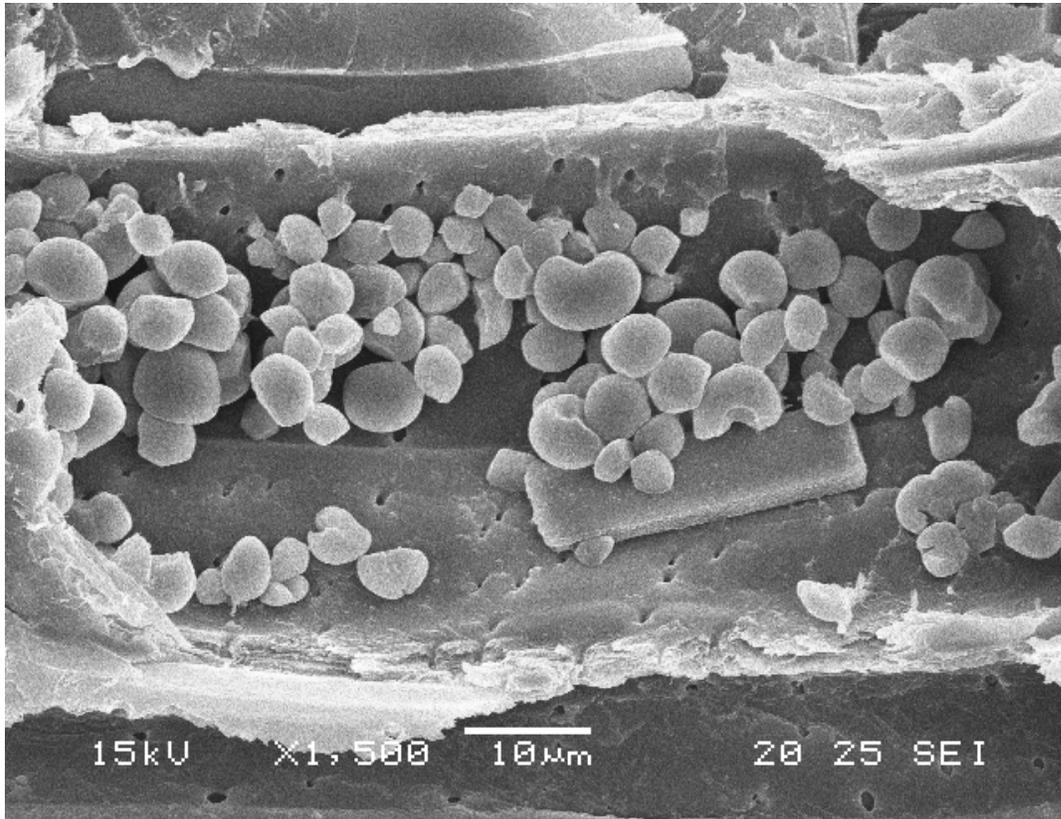


Figura 43: Amostra termorretificada a 180 °C.

Fonte: W. A. Colla

Na Figura 44, observam-se os grãos de amido estourados, dentro de uma célula de parênquima. Nas paredes das células já é possível visualizar o processo de surgimento de rachaduras.

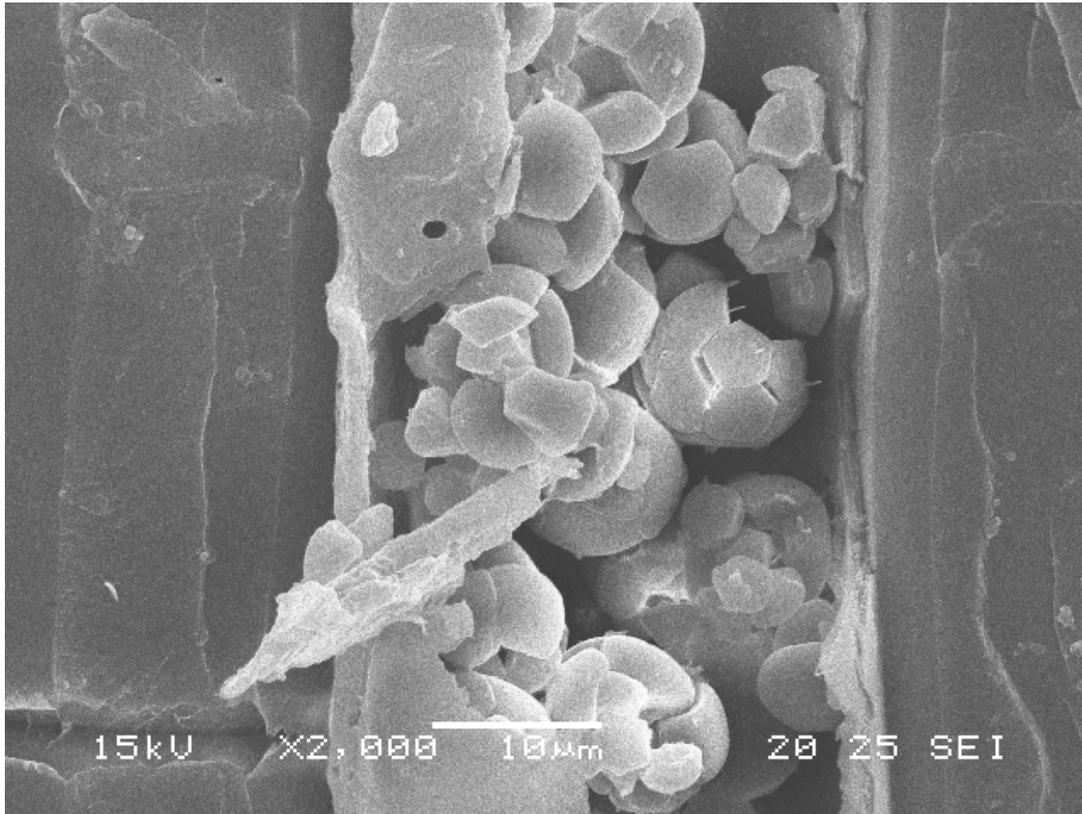


Figura 44. Amostra termorretificada a 220 °C.

Fonte: W. A. Colla

O processo de ruptura dos grãos de amido também é visível na Figura 45, mas se mostra mais evidenciado na parte central da figura, onde se observa a parede do parênquima já retorcida.

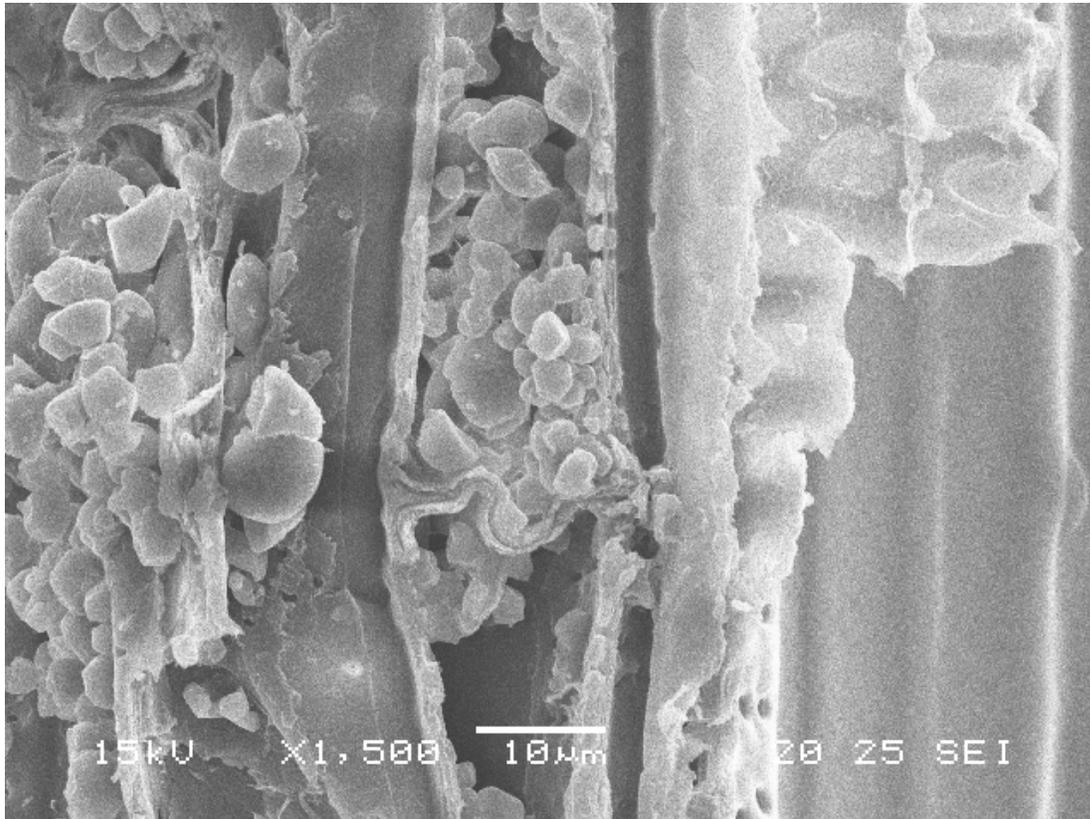


Figura 45. Amostra termorretificada a 220 °C.

Fonte: W. A. Colla

Na parte central da Figura 46 se pode observar os grãos de amido rompidos e as células parenquimáticas totalmente deformadas. Também se pode visualizar do lado esquerdo da figura feixes de fibra e do lado direito um vaso.

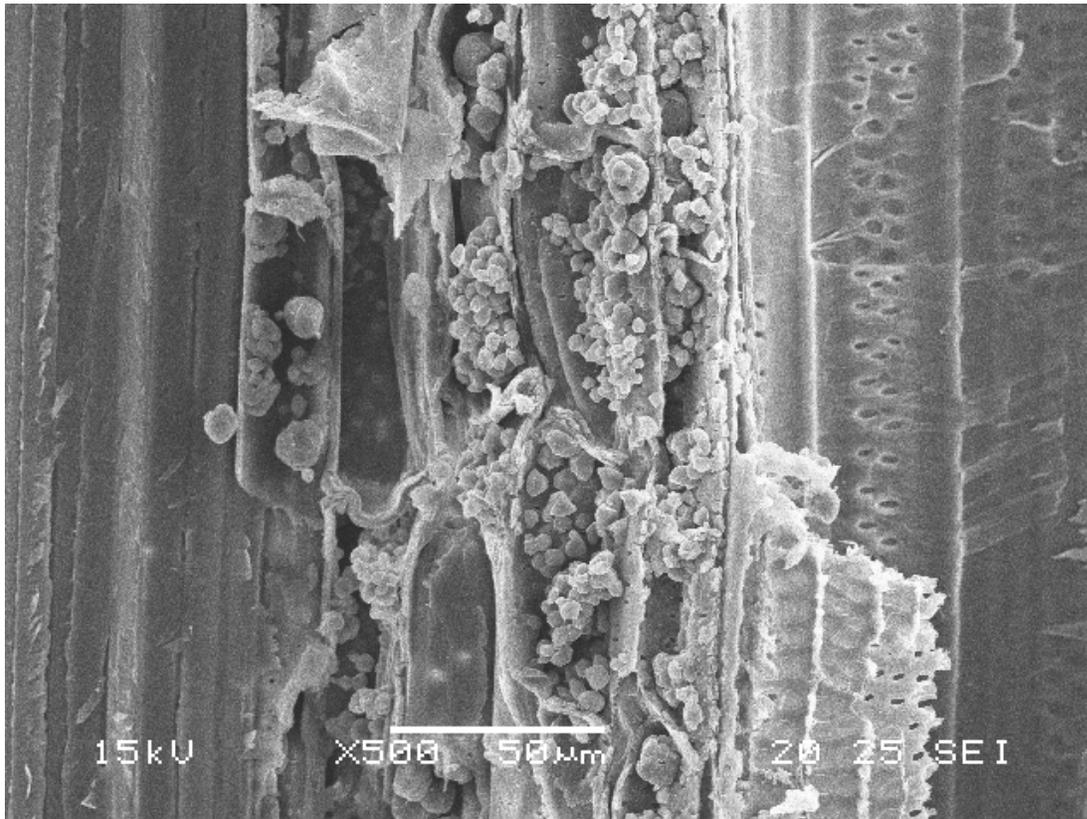


Figura 46. Amostra termorretificada a 220 °C.

Fonte: W. A. Colla

A partir de 260 °C, a Figura 47 detalha na parte inferior o processo de fusão do amido. Devido a alta temperatura notam-se, também nas paredes da célula, o surgimento de lâminas.

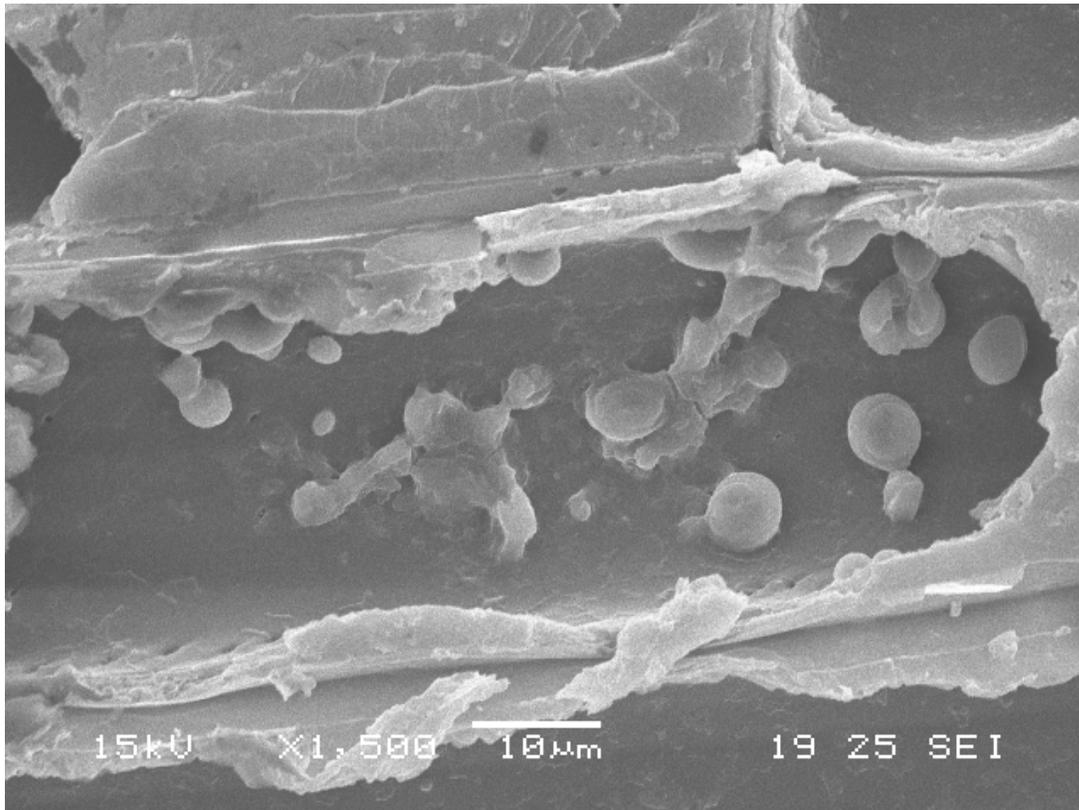


Figura 47. Amostra termorretificada a 260 °C.

Fonte: W. A. Colla

A Figura 42 mostra que o tamanho médio dos grãos de amido é de aproximadamente 14 μm , quando o mesmo se encontra em temperatura ambiente, mas com o aumento de temperatura verifica-se uma diminuição do tamanho médio do amido, passando para valores próximos de 5,0 μm , como pode ser visto na Figura 48.

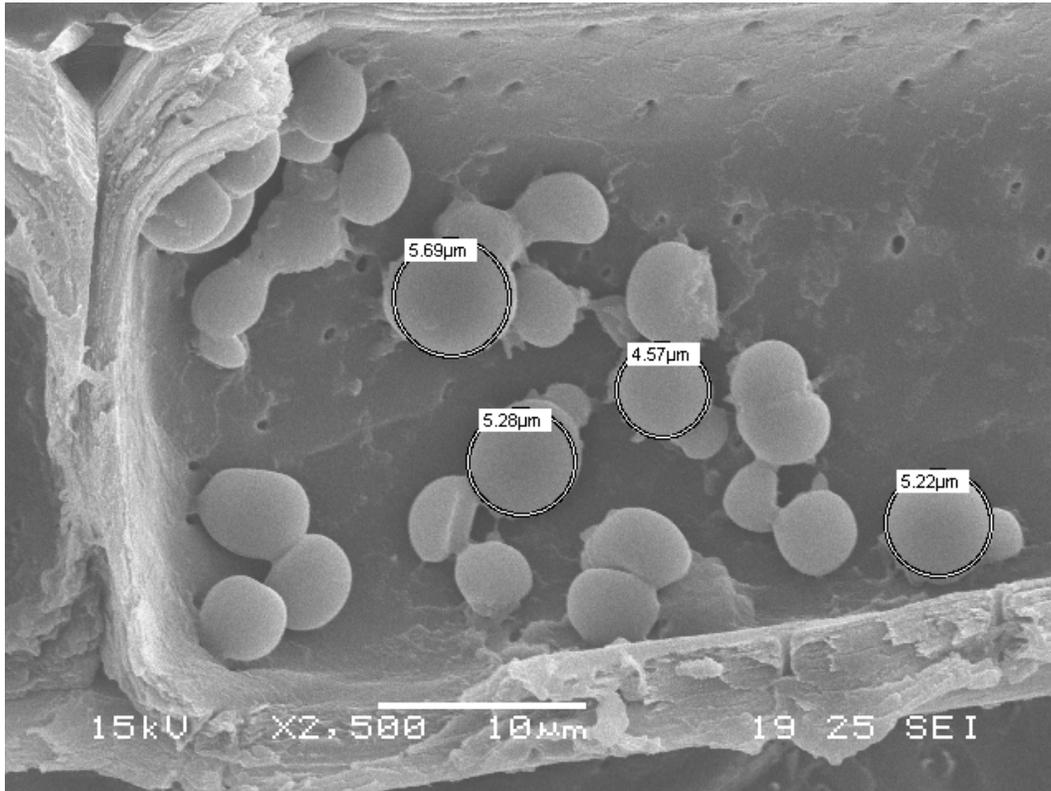


Figura 48. Amostra termorretificada a 260 °C.

Fonte: W. A. Colla

Na Figura 49 vêem-se algumas medidas de células parenquimáticas para o BTR tratado a 260 °C.

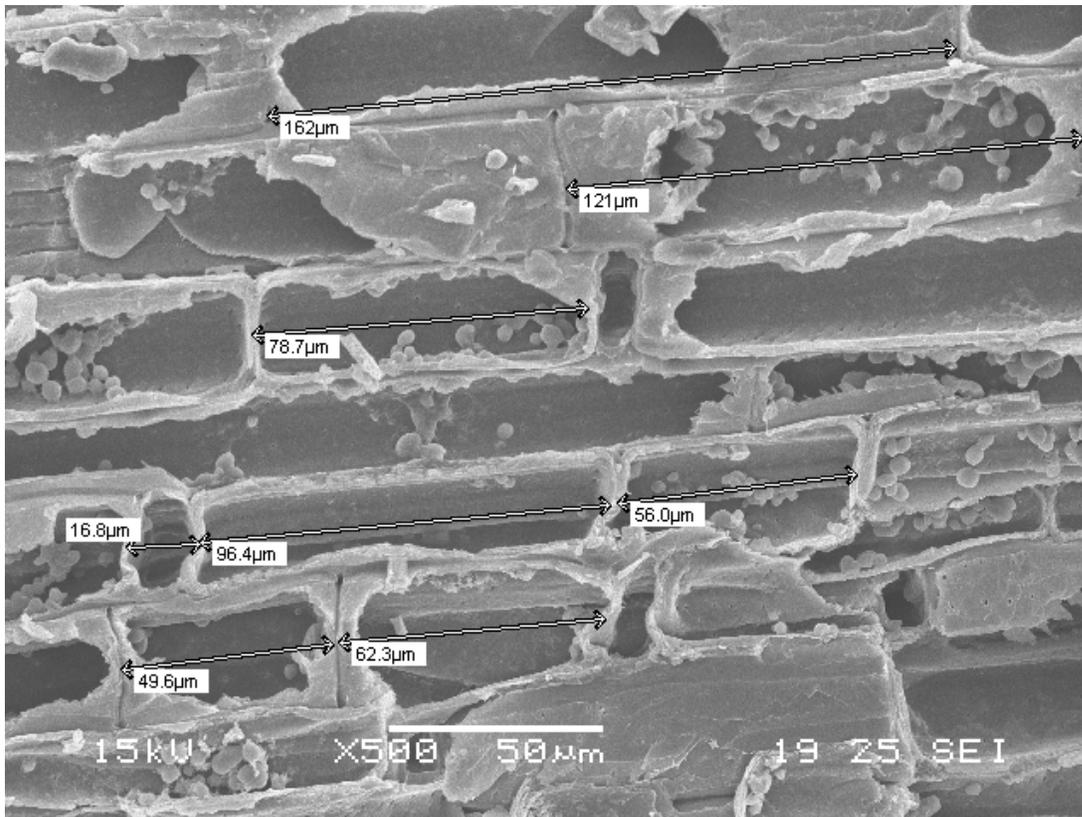


Figura 49. Amostra termorretificada a 260 °C.

Fonte: W. A. Colla

Na Figura 50, observa-se a degradação total dos grãos de amido e das células parenquimáticas. A estrutura anatômica do bambu mostra-se totalmente comprometida evidenciando a baixa resistência mecânica do BTR tratado na temperatura de 300 °C.

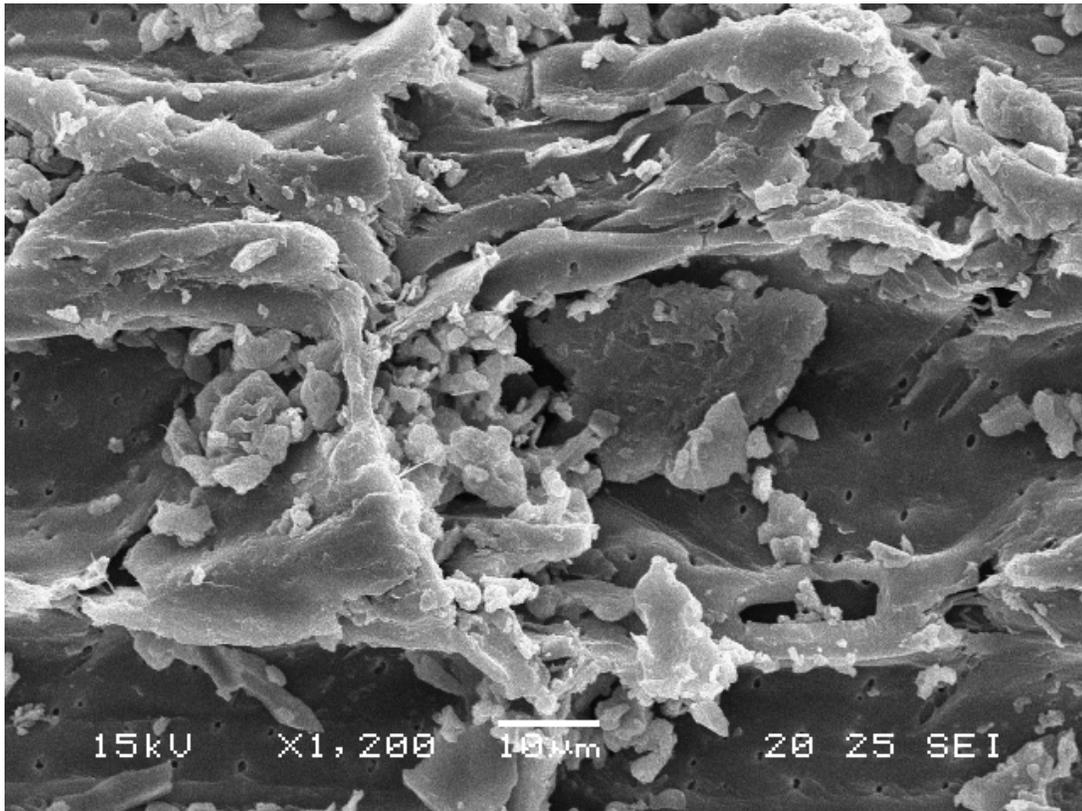
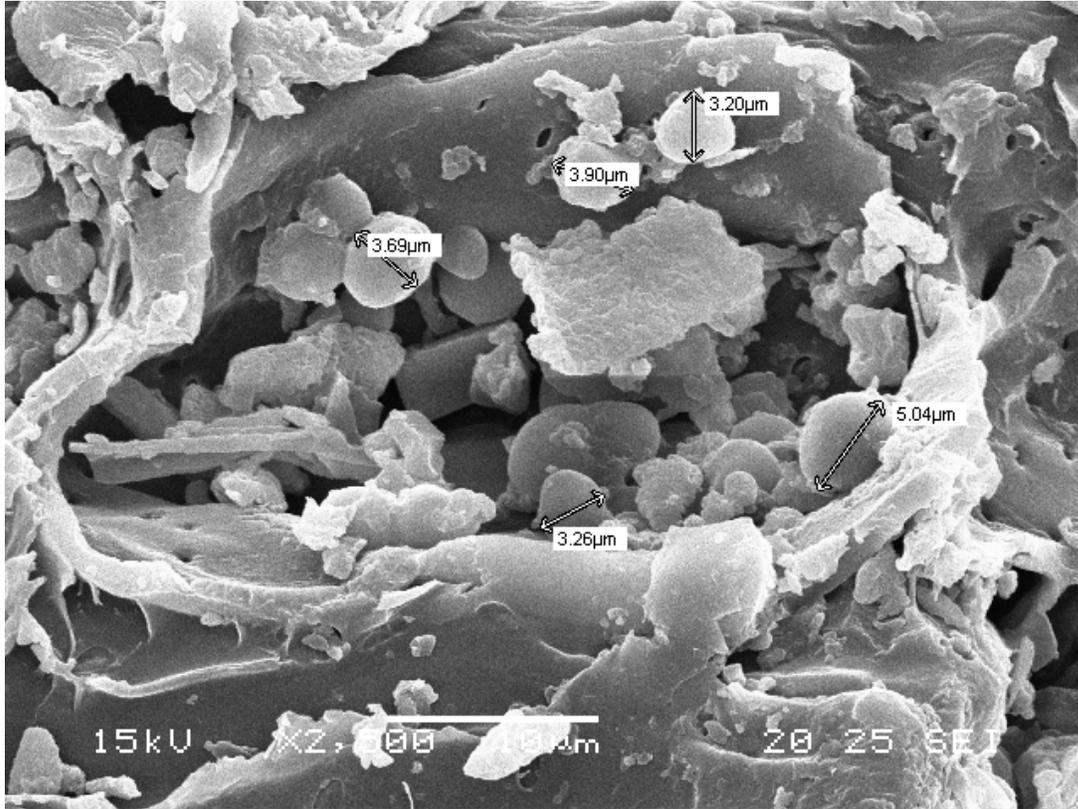


Figura 50. Amostra termorretificada a 300 °C.

Fonte: W. A. Colla

Na Figura 51 pode-se observar o efeito causado pela elevada temperatura na diminuição dos tamanhos dos constituintes do bambu, quando comparados com o bambu analisado na temperatura ambiente.



S
Figura 51. Amostra termorretificada a 300 °C.

Fonte: W. A. Colla

ANEXO (C) - TABELA DOS PROCESSOS DE TERMORRETIFICAÇÃO

%R = Rendimento; %P = Perda de massa

Retificação 140C			Retificação 180C		
Amostra	%R	%P	Amostra	%R	%P
5	99,65	0,35	1	95,46	4,54
6	99,80	0,20	2	96,08	3,92
7	99,77	0,23	16	96,05	3,95
8	99,70	0,30	17	96,44	3,56
9	99,85	0,15	18	95,97	4,03
10	99,92	0,08	19	96,47	3,53
11	99,75	0,25	20	95,83	4,17
12	99,71	0,29	21	96,58	3,42
13	99,81	0,19	22	96,51	3,49
14	99,75	0,25	24	95,41	4,59
15	99,79	0,21	25	96,15	3,85
40	99,81	0,19	41	95,59	4,41
42	99,93	0,07	47	96,18	3,82
43	99,78	0,22	48	96,31	3,69
44	99,90	0,10	49	96,16	3,84
45	99,89	0,11	50	96,34	3,66
46	99,89	0,11	51	96,44	3,56
76	99,96	0,04	54	95,79	4,21
77	99,91	0,09	81	95,83	4,17
78	99,79	0,21	82	96,35	3,65
79	99,84	0,16	83	96,06	3,94
80	99,96	0,04	87	96,05	3,95

%R = Rendimento; %P = Perda de massa

Retificação 220C			Retificação 260C			Retificação 300C		
Amostra	%R	%P	Amostra	%R	%P	Amostra	%R	%P
3	88,42	11,58	4	77,11	22,89	30	51,64	48,36
23	87,66	12,34	28	77,26	22,74	34	51,68	48,32
26	87,19	12,81	33	77,74	22,26	67	52,21	47,79
27	87,10	12,90	35	78,04	21,96	68	50,89	49,11
29	87,57	12,43	36	79,06	20,94	69	52,04	47,96
31	87,68	12,32	37	74,91	25,09	71	50,98	49,02
32	87,31	12,69	38	77,90	22,10	75	51,33	48,67
53	86,79	13,21	39	78,06	21,94	86	51,54	48,46
55	88,55	11,45	52	78,04	21,96	96	49,73	50,27
56	87,95	12,05	60	78,27	21,73	97	50,62	49,38
57	87,78	12,22	65	77,85	22,15	99	52,33	47,67
58	88,33	11,67	66	78,52	21,48	100	53,55	46,45
59	87,61	12,39	70	79,13	20,87	101	50,82	49,18
61	87,50	12,50	72	78,18	21,82	102	51,13	48,87
62	86,50	13,50	73	74,65	25,35	103	51,03	48,97
63	87,81	12,19	74	78,69	21,31	104	51,85	48,15
64	87,82	12,18	85	78,87	21,13	105	50,38	49,62
84	88,12	11,88	88	78,69	21,31	106	53,73	46,27
89	88,67	11,33	91	79,61	20,39	107	52,11	47,89
90	88,57	11,43	92	77,72	22,28	108	50,83	49,17
94	87,08	12,92	93	76,22	23,78	109	51,37	48,63
95	86,85	13,15	98	75,16	24,84	110	52,63	47,37

Testemunho

Nº	Comp. (mm)	Larg. (mm)	Alt. (mm)	Vol. (cm ³)	Massa (g)	Dens. (g/cm ³)	Δt Som (μs)	Vel. (m/s)	Umida de	Ed
121	300	21,80	3,48	22,76	18,70	0,82	65,30	4594,18	14,00	17,34
122	299	26,62	3,90	31,04	27,56	0,89	72,30	4135,55	16,10	15,18
123	299	21,68	3,84	24,89	22,22	0,89	68,60	4358,60	13,60	16,96
124	299	21,86	3,17	20,72	18,41	0,89	69,90	4277,54	13,20	16,26
125	299	21,09	5,16	32,54	29,25	0,90	69,30	4314,57	12,00	16,73
126	298	21,63	5,35	34,48	32,16	0,93	71,10	4191,28	14,50	16,38
127	300	21,67	3,79	24,64	25,11	1,02	66,50	4511,28	14,40	20,74
128	299	21,70	5,46	35,43	30,90	0,87	70,60	4235,13	12,80	15,64
129	300	26,74	3,29	26,39	22,74	0,86	75,80	3957,78	14,10	13,50
130	299	26,52	4,03	31,96	26,59	0,83	68,50	4364,96	13,40	15,85
131	299	26,27	3,47	27,26	21,77	0,80	69,10	4327,06	14,20	14,95
132	300	21,74	5,44	35,48	29,16	0,82	67,00	4477,61	12,90	16,48
133	299	26,75	5,79	46,31	40,45	0,87	66,50	4496,24	15,50	17,66
134	299	21,72	3,84	24,94	21,43	0,86	68,40	4371,35	14,60	16,42
135	299	26,72	4,61	36,83	30,62	0,83	67,30	4442,79	14,60	16,41
136	300	26,80	3,80	30,55	25,80	0,84	67,10	4470,94	15,10	16,88
137	299	26,71	5,43	43,37	37,45	0,86	67,70	4416,54	14,60	16,85
138	300	26,69	4,64	37,15	33,67	0,91	67,60	4437,87	16,50	17,85
média	299,28	24,15	4,36	31,49	27,44	0,87	68,81	4354,52	14,23	16,56
DP	0,57	2,58	0,87	7,00	6,15	0,05	2,49	154,22	1,15	1,47
CV	0,19	10,66	20,02	22,24	22,41	5,76	3,62	3,54	8,09	8,87

Antes do Tratamento – 140 °C

Nº	Comp. (mm)	Larg. (mm)	Alt. (mm)	Vol. (cm ³)	Massa (g)	Dens. (g/cm ³)	Δt Som (μs)	Vel. (m/s)	Ed
5	425	21,60	6,05	55,54	47,54	0,86	80,00	5313	24,16
6	435	22,60	6,70	65,87	57,99	0,88	78,70	5527	26,90
7	434	21,50	6,60	61,58	54,04	0,88	82,70	5248	24,17
8	430	21,90	6,20	58,39	54,51	0,93	81,50	5276	25,99
9	430	22,10	6,45	61,29	50,10	0,82	80,00	5375	23,61
10	434	21,40	6,75	62,69	53,49	0,85	83,60	5191	22,99
11	439	22,60	6,70	66,47	56,24	0,85	81,30	5400	24,67
12	416	22,20	7,20	66,49	57,09	0,86	81,00	5136	22,65
13	434	21,95	6,40	60,97	52,67	0,86	80,60	5385	25,05
14	434	21,70	6,40	60,27	55,97	0,93	80,60	5385	26,92
15	339	21,50	5,80	42,27	51,62	1,22	72,60	4669	26,62
40	429	21,45	6,05	55,67	46,54	0,84	81,40	5270	23,22
42	425	21,45	6,40	58,34	48,54	0,83	78,20	5435	24,57
43	395	21,40	6,75	57,06	49,66	0,87	75,80	5211	23,63
44	343	21,25	6,85	49,93	44,69	0,90	69,10	4964	22,05
45	388	21,85	6,80	57,65	48,20	0,84	70,90	5472	25,04
46	418	21,30	6,70	59,65	50,04	0,84	77,60	5387	24,34
76	433	22,00	6,30	60,01	52,10	0,87	84,60	5118	22,74
77	393	22,40	6,35	55,90	47,91	0,86	71,70	5481	25,75
78	378	21,30	6,25	50,32	48,16	0,96	78,20	4834	22,36
79	381	21,70	7,65	63,25	49,91	0,79	71,60	5321	22,34
80	424	21,35	6,60	59,75	51,64	0,86	81,20	5222	23,57

Média				58,75	51,48	0,88		5253	24,24
								DP	1,54
								CV	6,35

Depois do Tratamento – 140 °C

Nº	Comp. (mm)	Larg. (mm)	Alt. (mm)	Vol. (cm ³)	Massa (g)	Dens. (g/cm ³)	Δt Som (μs)	Vel. (m/s)	Umida de	Ed
5	424	21,35	6,20	56,12	44,08	0,79	70,60	6006	5,60	28,33
6	435	22,25	6,70	64,85	55,42	0,85	70,40	6179	6,60	32,63
7	432	21,60	6,80	63,45	48,73	0,77	71,60	6034	5,90	27,96
8	429	21,70	6,40	59,58	48,39	0,81	69,30	6190	6,00	31,12
9	430	21,70	6,45	60,18	46,56	0,77	70,40	6108	6,70	28,86
10	434	20,15	6,80	59,47	49,20	0,83	72,40	5994	6,40	29,73
11	438	22,20	6,70	65,15	52,23	0,80	71,50	6126	5,60	30,09
12	415	21,10	7,30	63,92	49,73	0,78	68,30	6076	4,50	28,72
13	434	20,85	6,50	58,82	48,83	0,83	70,70	6139	5,90	31,28
14	433	21,55	6,35	59,25	52,43	0,88	71,50	6056	6,30	32,45
15	399	21,25	6,00	50,87	49,66	0,98	65,70	6073	6,10	36,00
40	429	21,15	6,35	57,62	42,23	0,73	70,20	6111	6,80	27,37
42	425	21,10	6,55	58,74	45,11	0,77	69,10	6151	5,80	29,05
43	394	21,15	6,75	56,25	46,68	0,83	67,30	5854	6,50	28,44
44	342	21,10	7,10	51,24	40,75	0,80	60,40	5662	6,00	25,50
45	377	21,65	6,90	56,32	46,10	0,82	64,20	5872	4,70	28,23
46	417	20,90	6,75	58,83	45,79	0,78	68,00	6132	5,10	29,27
76	433	21,50	6,45	60,05	46,33	0,77	71,80	6031	4,50	28,06
77	393	22,15	6,45	56,15	43,56	0,78	62,00	6339	4,80	31,17
78	378	21,05	6,30	50,13	43,59	0,87	66,50	5684	5,90	28,10
79	380	21,65	8,00	65,82	45,98	0,70	62,50	6080	4,20	25,83
80	424	21,00	6,65	59,21	47,75	0,81	70,60	6006	6,30	29,09

Média				58,73	47,23	0,81		6041		29,42
									DP	2,35
									CV	7,98

Antes do Tratamento – 180 °C

Nº	Comp. (mm)	Larg. (mm)	Alt. (mm)	Vol. (cm ³)	Massa (g)	Dens. (g/cm ³)	Δt Som (μs)	Vel. (m/s)	Ed
1	360	21,20	6,35	48,46	44,02	0,91	70,40	5114	23,75
2	418	22,20	7,35	68,21	51,24	0,75	77,60	5387	21,80
16	436	21,65	6,50	61,36	54,70	0,89	81,70	5337	25,39
17	416	21,35	7,40	65,72	54,78	0,83	78,80	5279	23,23
18	416	21,90	6,55	59,67	53,51	0,90	77,10	5396	26,11
19	435	21,40	6,15	57,25	49,60	0,87	81,20	5357	24,86
20	409	21,45	6,85	60,10	49,54	0,82	77,70	5264	22,84
21	408	21,40	6,60	57,63	51,99	0,90	76,20	5354	25,86
22	430	21,25	5,60	51,17	52,61	1,03	78,00	5513	31,25
24	392	22,00	6,65	57,35	51,18	0,89	76,20	5144	23,62
25	408	21,85	6,05	53,93	50,81	0,94	75,90	5375	27,22
41	377	21,70	6,25	51,13	45,45	0,89	73,60	5122	23,32
47	382	22,10	6,35	53,61	48,67	0,91	72,40	5276	25,27
48	395	22,15	5,75	50,31	47,91	0,95	69,80	5659	30,50
49	391	21,80	7,05	60,09	49,47	0,82	74,50	5248	22,68
50	366	21,85	6,60	52,78	44,20	0,84	69,40	5274	23,29
51	393	21,85	6,15	52,81	48,10	0,91	74,60	5268	25,28
54	436	20,85	7,10	64,54	55,66	0,86	81,50	5350	24,68
81	348	22,85	6,90	54,87	45,43	0,83	68,60	5073	21,31
82	435	21,50	6,75	63,13	56,40	0,89	81,10	5364	25,70
83	419	21,55	6,60	59,59	50,60	0,85	79,30	5284	23,70
87	435	21,50	6,10	57,05	47,56	0,83	81,10	5364	23,98

Média				57,73	50,45	0,88		5318	24,80
								DP	2,44
								CV	9,85

Depois do Tratamento – 180 °C

Nº	Comp. (mm)	Larg. (mm)	Alt. (mm)	Vol. (cm ³)	Massa (g)	Dens. (g/cm ³)	Δt Som (μs)	Vel. (m/s)	Umidade	Ed
1	360	20,95	6,10	46,01	37,38	0,81	59,60	6040	4,20	29,64
2	418	22,05	7,35	67,74	45,22	0,67	68,00	6147	4,30	25,22
16	436	21,10	6,50	59,80	48,08	0,80	71,30	6115	5,80	30,07
17	416	20,90	7,50	65,21	47,16	0,72	67,20	6190	1,30	27,72
18	415	21,20	6,50	57,19	46,55	0,81	66,20	6269	5,50	31,99
19	434	20,80	6,30	56,87	43,90	0,77	71,00	6113	5,50	28,84
20	408	21,15	6,80	58,68	43,92	0,75	68,50	5956	4,20	26,55
21	407	20,80	6,60	55,87	47,15	0,84	68,40	5950	6,50	29,88
22	429	20,75	5,75	51,19	46,96	0,92	69,30	6190	4,50	35,16
24	392	20,50	6,65	53,44	42,09	0,79	63,60	6164	3,70	29,92
25	402	21,40	6,30	54,20	44,63	0,82	66,80	6018	2,90	29,82
41	377	21,30	6,50	52,20	39,94	0,77	64,60	5836	4,50	26,06
47	382	21,60	6,60	54,46	41,96	0,77	62,80	6083	2,40	28,51
48	394	21,70	5,75	49,16	43,88	0,89	64,10	6147	5,90	33,72
49	390	20,40	7,10	56,49	42,82	0,76	65,00	6000	4,70	27,29
50	365	21,25	6,65	51,58	39,37	0,76	61,70	5916	5,10	26,71
51	393	21,45	6,10	51,42	43,41	0,84	66,10	5946	4,50	29,84
54	435	20,40	7,20	63,89	49,34	0,77	71,00	6127	3,00	28,99
81	348	22,45	7,00	54,69	40,95	0,75	61,30	5677	5,00	24,13
82	435	21,00	6,85	62,57	51,08	0,82	71,80	6058	4,90	29,96
83	418	21,10	6,65	58,65	43,58	0,74	68,10	6138	3,90	27,99
87	435	20,80	6,20	56,10	42,13	0,75	70,90	6135	5,90	28,27

Média				56,25	44,16	0,79		6055		28,92
									DP	2,57
									CV	8,89

Antes do Tratamento – 220°C

Nº	Comp (mm)	Larg. (mm)	Alt. (mm)	Vol. (cm ³)	Massa (g)	Dens. (g/cm ³)	Δt Som (μs)	Vel. (m/s)	Ed
3	433	21,80	6,75	63,72	56,17	0,88	81,50	5313	24,88
23	396	21,35	6,30	53,26	50,65	0,95	77,80	5090	24,64
26	430	21,00	6,75	60,95	50,43	0,83	80,90	5315	23,37
27	436	21,95	7,10	67,95	57,08	0,84	82,70	5272	23,35
29	428	21,20	6,50	58,98	48,25	0,82	81,00	5284	22,84
31	424	22,05	5,90	55,16	46,88	0,85	80,10	5293	23,81
32	431	21,70	7,10	66,40	52,68	0,79	81,90	5263	21,97
53	424	21,30	5,95	53,74	43,37	0,81	79,20	5354	23,13
55	386	21,35	6,55	53,98	50,77	0,94	71,20	5421	27,64
56	379	20,90	7,10	56,24	49,34	0,88	74,90	5060	22,46
57	434	21,55	6,75	63,13	51,62	0,82	81,20	5345	23,36
58	409	21,15	6,25	54,06	47,79	0,88	78,30	5223	24,12
59	395	21,80	6,60	56,83	49,28	0,87	74,00	5338	24,71
61	388	21,30	6,85	56,61	49,68	0,88	71,90	5396	25,56
62	364	21,75	7,05	55,81	47,98	0,86	68,80	5291	24,06
63	358	21,00	7,01	52,70	49,91	0,95	64,40	5559	29,27
64	374	21,80	6,75	55,03	50,86	0,92	71,70	5216	25,14
84	393	21,50	6,80	57,46	51,22	0,89	74,20	5296	25,01
89	383	21,35	7,05	57,65	47,86	0,83	74,30	5155	22,06
90	385	21,40	6,60	54,38	44,73	0,82	74,60	5161	21,91
94	366	21,75	7,65	60,90	54,08	0,89	72,00	5083	22,95
95	363	21,50	6,65	51,90	50,65	0,98	71,30	5091	25,30

Média				57,29	49,77	0,87		5262	24,16
								DP	1,79
								CV	7,43

Depois do Tratamento – 220 °C

Nº	Comp. (mm)	Larg. (mm)	Alt. (mm)	Vol. (cm ³)	Massa (g)	Dens. (g/cm ³)	Δt Som (μ s)	Vel. (m/s)	Umida de	Ed
3	433	20,75	6,40	57,50	45,69	0,79	72,40	5981	4,60	28,42
23	396	20,20	6,30	50,39	39,31	0,78	66,50	5955	1,20	27,66
26	429	19,75	6,70	56,77	40,56	0,71	71,70	5983	3,20	25,58
27	435	21,20	7,05	65,02	45,28	0,70	72,40	6008	3,90	25,14
29	428	20,10	6,60	56,78	38,34	0,68	70,90	6037	3,90	24,61
31	424	21,10	5,80	51,89	37,48	0,72	70,10	6049	4,30	26,43
32	430	20,75	7,15	63,80	42,11	0,66	73,10	5882	3,30	22,84
53	424	20,55	5,00	43,57	34,81	0,80	70,00	6057	5,00	29,32
55	386	20,55	6,40	50,77	41,25	0,81	62,70	6156	4,70	30,80
56	379	19,80	7,05	52,90	39,36	0,74	64,50	5876	4,90	25,69
57	434	20,60	6,60	59,01	42,07	0,71	71,80	6045	3,20	26,05
58	409	20,30	6,20	51,48	38,44	0,75	68,50	5971	4,50	26,62
59	395	21,00	6,60	54,75	40,06	0,73	66,20	5967	1,80	26,05
61	387	20,45	6,60	52,23	39,92	0,76	63,50	6094	3,90	28,39
62	363	20,70	7,10	53,35	38,53	0,72	60,70	5980	4,90	25,83
63	357	20,00	6,95	49,62	41,40	0,83	58,20	6134	4,90	31,39
64	374	20,90	6,60	51,59	40,45	0,78	62,40	5994	1,00	28,17
84	393	20,65	6,70	54,37	41,51	0,76	64,40	6102	4,20	28,43
89	382	20,40	5,95	46,37	38,90	0,84	65,00	5877	1,40	28,98
90	385	20,25	6,50	50,68	36,74	0,73	66,50	5789	1,60	24,30
94	367	20,70	7,60	57,74	43,43	0,75	63,70	5761	4,30	24,97
95	362	20,40	6,70	49,48	41,26	0,83	63,30	5719	4,60	27,27

Média				53,64	40,31	0,75		5974		26,95
									DP	2,14
									CV	7,94

Antes do Tratamento – 260 °C

Nº	Comp. (mm)	Larg. (mm)	Alt. (mm)	Vol. (cm ³)	Massa (g)	Dens. (g/cm ³)	Δt Som (μs)	Vel. (m/s)	Ed
4	416	21,35	6,85	60,84	56,00	0,92	77,50	5368	26,52
28	436	20,65	7,60	68,43	56,00	0,82	82,50	5285	22,86
33	361	21,00	6,55	49,66	44,30	0,89	67,90	5317	25,22
35	434	22,25	6,65	64,22	54,85	0,85	80,10	5418	25,08
36	416	21,05	6,15	53,85	51,72	0,96	74,20	5606	30,19
37	380	21,30	6,65	53,83	50,82	0,94	77,60	4897	22,64
38	432	22,00	6,60	62,73	53,58	0,85	79,70	5420	25,10
39	419	22,50	7,45	70,23	56,92	0,81	79,40	5277	22,57
52	383	21,20	7,35	59,68	48,13	0,81	71,30	5372	23,27
60	396	20,95	6,00	49,78	43,86	0,88	73,10	5417	25,86
65	378	21,65	6,20	50,74	43,84	0,86	72,20	5235	23,68
66	392	21,85	6,45	55,25	42,99	0,78	75,50	5192	20,98
70	392	21,35	7,10	59,42	46,29	0,78	72,00	5444	23,09
72	357	21,70	6,85	53,07	45,89	0,86	67,50	5289	24,19
73	372	21,50	7,15	57,19	50,08	0,88	74,40	5000	21,89
74	417	22,10	7,15	65,89	55,36	0,84	80,30	5193	22,66
85	390	21,25	7,30	60,50	52,16	0,86	75,20	5186	23,19
88	387	21,70	5,55	46,61	54,38	1,17	71,80	5390	33,90
91	407	21,25	5,80	50,16	44,40	0,89	76,30	5334	25,18
92	353	21,75	6,35	48,75	47,13	0,97	71,20	4958	23,76
93	356	21,45	6,55	50,02	42,18	0,84	67,90	5243	23,18
98	370	21,35	7,20	56,88	46,86	0,82	71,70	5160	21,94

Média				56,52	49,13	0,87		5268	24,41
								DP	2,89
								CV	11,84

Depois do Tratamento – 260 °C

Nº	Comp. (mm)	Larg. (mm)	Alt. (mm)	Vol. (cm ³)	Massa (g)	Dens. (g/cm ³)	Δt Som (μs)	Vel. (m/s)	Umidade	Ed
4	416	20,55	7,05	60,27	40,43	0,67	71,40	5826	3,10	22,77
28	435	18,80	7,00	57,25	39,50	0,69	76,50	5686	2,00	22,31
33	361	19,65	6,40	45,40	31,53	0,69	62,00	5823	3,20	23,55
35	434	21,00	8,30	75,65	39,61	0,52	74,20	5849	2,80	17,91
36	416	19,90	6,10	50,50	38,69	0,77	69,60	5977	3,70	27,37
37	380	20,40	6,60	51,16	35,46	0,69	69,50	5468	2,80	20,72
38	432	20,75	6,50	58,27	39,43	0,68	73,30	5894	3,70	23,51
39	419	20,15	7,20	60,79	40,70	0,67	71,70	5844	2,30	22,86
52	383	19,90	7,05	53,73	35,29	0,66	66,80	5734	3,80	21,59
60	396	19,30	5,75	43,95	31,94	0,73	67,70	5849	2,60	24,87
65	378	20,55	6,55	50,88	31,13	0,61	65,40	5780	2,90	20,44
66	392	20,60	6,15	49,66	30,92	0,62	69,00	5681	3,80	20,09
70	391	20,20	6,70	52,92	34,61	0,65	66,50	5880	3,40	22,61
72	356	20,90	6,85	50,97	33,65	0,66	61,40	5798	3,40	22,20
73	372	20,30	7,05	53,24	34,40	0,65	66,50	5594	2,60	20,22
74	416	20,15	6,00	50,29	39,13	0,78	71,60	5810	2,30	26,26
85	390	20,30	7,00	55,42	37,72	0,68	67,90	5744	3,10	22,45
88	387	20,05	7,40	57,42	39,31	0,68	65,00	5954	2,60	24,27
91	407	20,00	6,00	48,84	32,87	0,67	69,10	5890	1,40	23,35
92	353	20,20	6,25	44,57	32,44	0,73	63,00	5603	3,20	22,85
93	355	20,20	6,35	45,54	30,46	0,67	62,60	5671	3,60	21,51
98	370	20,25	6,90	51,70	32,97	0,64	65,10	5684	2,40	20,60
Média				53,11	35,55	0,67		5774		22,47
									DP	2,12
									CV	9,45

Antes do Tratamento – 300 °C

Nº	Comp. (mm)	Larg. (mm)	Alt. (mm)	Vol. (cm ³)	Massa (g)	Dens. (g/cm ³)	Δt Som (μs)	Vel. (m/s)	Ed
30	425	21,65	6,45	59,35	46,48	0,78	81,40	5221	21,35
34	434	21,10	6,35	58,15	48,33	0,83	83,20	5216	22,62
67	386	21,90	5,65	47,76	43,06	0,90	73,10	5280	25,14
68	360	21,85	6,05	47,59	45,09	0,95	69,90	5150	25,13
69	380	21,10	6,20	49,71	49,31	0,99	76,40	4974	24,54
71	326	21,95	5,70	40,79	35,26	0,86	66,90	4873	20,53
75	418	21,20	6,70	59,37	49,03	0,83	82,20	5085	21,35
86	408	21,45	6,55	57,32	49,25	0,86	76,40	5340	24,50
96	332	20,65	6,90	47,31	40,73	0,86	63,80	5204	23,32
97	336	20,65	5,65	39,20	36,50	0,93	66,20	5076	23,99
99	368	21,35	7,25	56,96	49,68	0,87	68,60	5364	25,10
100	394	21,45	5,40	45,64	39,42	0,86	75,60	5212	23,46
101	354	21,35	5,40	40,81	36,16	0,89	65,80	5380	25,64
102	344	21,10	5,55	40,28	34,80	0,86	67,87	5069	22,19
103	341	21,40	7,00	51,08	41,76	0,82	63,31	5386	23,72
104	434	21,10	6,65	60,90	48,78	0,80	85,12	5099	20,82
105	354	20,90	7,20	53,27	42,63	0,80	63,80	5549	24,64
106	393	21,40	6,70	56,35	48,45	0,86	72,27	5438	25,43
107	400	21,60	5,95	51,41	43,87	0,85	72,61	5509	25,90
108	323	21,20	7,30	49,99	42,57	0,85	59,86	5396	24,80
109	323	21,70	7,05	49,41	40,92	0,83	58,86	5488	24,94
110	386	22,05	6,45	54,90	47,12	0,86	69,93	5520	26,15

Média				50,39	43,46	0,87		5267	23,87
								DP	1,71
								CV	7,14

Depois do Tratamento – 300 °C

Nº	Comp. (mm)	Larg. (mm)	Alt. (mm)	Vol. (cm ³)	Mas. (g)	Dens. (g/cm ³)	Δt Som (μs)	Vel. (m/s)	Umidade	Ed
30	410	18,50	5,60	42,48	20,95	0,49	190,50	2152	2,90	2,28
34	419	18,25	5,85	44,73	22,64	0,51	193,00	2171	3,10	2,39
67	375	19,30	5,40	39,08	21,12	0,54	171,50	2187	3,70	2,58
68	347	19,10	6,00	39,77	21,34	0,54	163,80	2118	2,60	2,41
69	371	19,20	6,10	43,45	23,99	0,55	167,50	2215	3,30	2,71
71	314	19,05	5,50	32,90	16,88	0,51	150,00	2093	0,80	2,25
75	403	18,00	5,85	42,44	22,12	0,52	185,30	2175	2,80	2,47
86	394	18,80	6,35	47,04	23,70	0,50	183,40	2148	0,90	2,33
96	319	17,80	6,35	36,06	18,74	0,52	153,20	2082	1,80	2,25
97	324	18,20	5,65	33,32	17,65	0,53	154,90	2092	1,90	2,32
99	357	18,20	6,40	41,58	24,32	0,58	162,50	2197	0,80	2,82
100	383	17,80	4,85	33,06	19,40	0,59	170,20	2250	0,20	2,97
101	341	18,30	5,20	32,45	17,78	0,55	163,20	2089	1,60	2,39
102	336	18,70	4,90	30,79	17,86	0,58	159,20	2111	1,50	2,58
103	330	18,20	6,25	37,54	20,38	0,54	157,10	2101	1,60	2,40
104	420	18,75	5,75	45,28	22,42	0,50	194,80	2156	0,50	2,30
105	342	19,10	7,95	51,93	23,01	0,44	165,40	2068	1,40	1,89
106	384	18,55	5,60	39,89	21,89	0,55	166,70	2304	1,60	2,91
107	389	18,10	4,70	33,09	21,74	0,66	180,70	2153	2,50	3,04
108	312	18,30	6,75	38,54	20,85	0,54	148,80	2097	0,50	2,38
109	313	18,00	6,40	36,06	20,96	0,58	149,00	2101	0,70	2,57
110	376	18,50	6,80	47,30	21,51	0,45	172,30	2182	1,90	2,17

Média				39,49	20,97	0,54		2147		2,47
									DP	0,28
									CV	11,34

ANEXO (D) - RELATÓRIOS OBTIDOS NOS ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA.

MOR Test	(mm)			(N)	(MPa)
	Largura	Altura	Comp. Base	Força Max.	Tensão Max.
CP01-124	21,81	3,29	82,00	345,14	179,826
CP02-127	21,65	3,64	82,00	598,91	256,806
CP03-130	26,56	4,07	82,00	629,36	175,949
CP04-131	26,63	3,50	82,00	446,65	168,409
CP05-134	21,67	3,78	82,00	487,25	193,559
CP06-135	26,76	4,73	82,00	771,48	158,497
CP07-136	26,62	3,83	82,00	690,27	217,430
CP08-138	26,68	4,62	82,00	944,05	203,906

MOR 140	(mm)			(N)	(MPa)
	Largura	Altura	Comp. Base	Força Max.	Tensão Max.
CP01-44	21,42	7,08	150	974,50	204,211
CP02-10	20,63	7,05	150	1106,50	242,804
CP03-76	21,46	6,57	150	801,93	194,786
CP04-80	20,82	6,57	150	933,90	233,814
CP05-40	21,05	5,97	150	781,63	234,414
CP06-77	20,98	6,69	150	1015,10	243,239
CP07-08	21,28	6,73	150	1086,20	253,566
CP08-15	21,24	6,57	150	1055,70	259,082
CP09-06	21,8	6,89	150	1096,20	238,329
CP10-43	21,74	6,91	150	1005,00	217,838

MOR 180	(mm)			(N)	(MPa)
	Largura	Altura	Comp. Base	Força Max.	Tensão Max.
CP01-01	21,18	6,56	150	659,82	162,882
CP02-18	20,87	6,62	150	781,63	192,285
CP03-20	20,90	6,64	150	477,10	116,496
CP04-21	21,01	6,27	150	466,95	127,201
CP05-41	20,58	6,77	150	548,16	130,758
CP06-47	21,30	7,27	150	944,05	188,681
CP07-50	20,99	6,47	150	588,76	150,765
CP08-82	20,79	7,27	150	771,48	157,973
CP09-83	20,51	6,67	150	669,97	165,204
CP10-54	20,94	6,81	150	781,63	181,098

MOR 220	(mm)			(N)	(MPa)
	Largura	Altura	Comp. Base	Força Max.	Tensão Max.
CP01-03	20,31	6,39	150	548,16	148,723
CP02-26	19,80	6,74	150	527,85	132,041
CP03-27	20,92	7,08	150	629,36	135,037
CP04-32	20,41	6,81	150	507,55	120,649
CP05-55	20,29	6,83	150	669,97	159,263
CP06-57	20,24	6,35	150	538,01	148,325
CP07-59	20,84	6,63	150	548,16	134,637
CP08-62	20,32	6,95	150	426,34	97,734
CP09-64	20,26	6,99	150	284,23	64,604
CP10-95	20,05	7,02	150	385,74	87,839

MOR 260	(mm)			(N)	(MPa)
	Largura	Altura	Comp. Base	Força Max.	Tensão Max.
CP01-04	20,29	6,85	144	406,04	92,121
CP02-28	19,09	7,18	144	365,44	80,208
CP03-36	20,25	6,37	144	426,34	112,074
CP04-37	20,20	6,63	144	284,23	69,143
CP05-38	20,65	5,96	144	274,08	80,708
CP06-39	21,62	6,93	144	263,93	54,906
CP07-74	20,48	6,64	144	324,83	77,704
CP08-85	20,02	6,72	144	131,96	31,528
CP09-88	20,40	7,03	144	416,19	89,167
CP10-92	19,63	6,33	144	375,59	103,143

MOR 300	(mm)			(N)	(MPa)
	Largura	Altura	Comp. Base	Força Max.	Tensão Max.
CP01-71	18,04	5,10	144	10,15	4,673
CP02-97	18,77	5,64	144	30,45	11,017
CP03-101	18,29	5,20	144	40,60	17,734
CP04-102	18,03	5,23	144	40,60	17,784
CP05-103	18,19	5,99	144	20,30	6,719
CP06	Para pouca força, observou-se uma deformação razoável. Os corpos-de-prova CP04 e CP05, tiveram apenas 3 mm de deslocamento da máquina em relação ao início do ensaio.			As demais amostras estavam em condições semelhantes; portanto, não se efetuou o ensaio de flexão.	
CP07					
CP08					
CP09					
CP10					

ANEXO (E) - MÉDIA DOS TRATAMENTOS

Antes do tratamento

Temperatura	Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	Umidade	Ed	MOR(MPa)
140°C	0,88	5255	--	24,24	--
180°C	0,88	5309	--	24,80	--
220°C	0,87	5265	--	24,16	--
260°C	0,88	5273	--	24,41	--
300°C	0,86	5265	--	23,87	--
Testemunho	0,88	4354	--	16,61	194,298

Depois do tratamento

Densidade (g/cm ³)	Velocidade (m/s)	Umidade	Ed	MOR(MPa)
0,81	6041	5,74	29,42	232,208
0,79	6055	4,46	28,92	157,334
0,75	5974	3,60	26,95	122,885
0,67	5774	2,94	22,47	79,070
0,54	2147	1,75	2,47	11,585