

LEONARDO MENEZES CHAIB FERREIRA

DESIGN DE MÓVEIS E BAMBU LAMINADO COLADO:
CONSIDERAÇÃO AO TRATAMENTO TÉRMICO E ÀS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E
MECÂNICAS COM VISTAS AO PROJETO DE PRODUTOS

Brasília – DF
2014



Universidade de Brasília

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

DESIGN DE MÓVEIS E BAMBU LAMINADO COLADO:

**CONSIDERAÇÃO AO TRATAMENTO TÉRMICO E ÀS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E
MECÂNICAS COM VISTAS AO PROJETO DE PRODUTOS**

LEONARDO MENEZES CHAIB FERREIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação - Curso de Mestrado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração em Técnicas e processos de produção do ambiente construído.

Orientador:

Prof. PhD. Jaime Gonçalves de Almeida

Brasília – DF
2014



Universidade de Brasília

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Leonardo Menezes Chaib Ferreira.

Título: *Design* de móveis e bambu laminado colado: consideração ao tratamento térmico e às características físicas e mecânicas com vistas ao projeto de produtos.

Dissertação defendida e aprovada em 15/08/2014, pela banca examinadora:

Prof. Dr. Jaime Gonçalves de Almeida
Universidade de Brasília - UnB

Prof.^a Dr.^a Shirley Gomes Queiroz
Universidade de Brasília - UnB

Prof.^a Dr.^a Ana Karla Freire de Oliveira
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Para Adalgisa, Morena e Jorge

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que tudo permeia.

Agradeço ao meu orientador, o professor PhD. Jaime Gonçalves de Almeida, pela enorme paciência, comprometimento e dedicação ao crescimento das pessoas à sua volta. Sem sua visão crítica e minuciosa, aliada sempre à calma e à temperança, esta dissertação e muitos outros trabalhos não seriam possíveis.

Ao Dr. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi, meus sinceros agradecimentos por acreditar no potencial de qualquer aluno em busca de orientação. Mais ainda por compartilhar tempo e recursos, tratando a todos como um igual. Você é um exemplo para a comunidade acadêmica.

Sou grato pela oportunidade de estudar em uma universidade pública e gratuita no Brasil, símbolo de qualidade em pesquisa. Ao CPAB, iniciativa importante para o desenvolvimento de produtos em bambu no país. Ao Serviço Florestal Brasileiro, em especial ao Dr. Divino Eterno Teixeira, pelas portas incondicionalmente abertas.

Agradeço às pessoas da lista de discussão eletrônica Bambu Brasil por compartilhar a paixão, a sabedoria e o comprometimento ao desenvolvimento dessa planta humildemente nobre.

Aos meus pais sou sempre grato, do início ao fim de minha vida. À minha fortaleza e companheira para toda a vida, Adalgisa, e aos meus filhos Morena e Jorge, imensas fontes de alegria, agradeço eternamente, assim como toda minha família.

A todos que de alguma forma cooperaram para esta pesquisa, os meus mais sinceros agradecimentos.

RESUMO

O bambu é uma das plantas que possui crescimento mais acelerado. Dentre os produtos industriais em bambu, o que melhor se adapta ao *design* de móveis contemporâneos é o bambu laminado colado (BaLC). Um dos desafios para a produção de BaLC de baixo impacto ambiental é o tratamento preservativo, e, dentre eles, o tratamento térmico é uma alternativa pouco explorada. Com o objetivo de verificar a viabilidade do BaLC termorretificado (BaLCTR) para o *design* de móveis, foram estudadas as propriedades físicas e mecânicas do material, e posteriormente testadas no projeto de uma poltrona. A espécie estudada foi o *Dendrocalamus giganteus*. Como resultado do estudo, o tratamento das lâminas de bambu para confecção do BaLC mais recomendado para tal fim utiliza 180°C por 2 horas, melhorando a estabilidade dimensional em 50% ao custo de reduzir o módulo de ruptura a 20%. A prática do projeto demonstrou que o BaLCTR é compatível com o BaLC convencional, trazendo características desejáveis ao *design* de móveis.

Palavras-chave: DENDROCALAMUS GIGANTEUS, PROJETO DE PRODUTO, TERMORRETIFICAÇÃO.

ABSTRACT

The bamboo is one of the fastest growing living beings. Among the industrial bamboo products, glued laminated bamboo (GLB) is the most adequate for furniture design. One of the challenges for the production of low environment impact of GLB is the preservative treatment, and among them the thermal treatment is an under explored alternative. With the objective of verifying the viability of the thermal treated GLB for furniture design, the physical and mechanical properties of the material were studied, and therefore tested on an armchair project. The *Dendrocalamus giganteus* species was used for this study. As a result, the best treatment was found to be using 180°C for 2 hours, thus improving the dimensional stability in 50%, at the cost of losing 20% of the shear strength. The use the material on a product design showed that the conventional and the thermal treated GLB are both compatible for the task, bringing advantages for the design of furniture.

Keywords: DENDROCALAMUS GIGANTEUS, PRODUCT DESIGN, THERMAL RECTIFICATION.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO | 1 |
| 1. REVISÃO DE LITERATURA | 4 |
| 1.1. <i>O design e a redução do impacto ambiental</i> | 5 |
| 1.2. O bambu | 11 |
| 1.2.1. Aspectos botânicos | 11 |
| 1.2.2. Espécies de bambu utilizadas comercialmente | 16 |
| 1.2.3. Usos tradicionais do bambu | 23 |
| 1.3. O bambu laminado colado | 30 |
| 1.3.1. Produtos industriais de bambu | 30 |
| 1.3.2. Processo de produção do bambu laminado colado | 39 |
| 1.3.3. Bambu laminado colado no Brasil | 46 |
| 1.4. Tratamentos preservativos | 49 |
| 1.4.1. Durabilidade natural do bambu | 49 |
| 1.4.2. Tratamentos tradicionais | 51 |
| 1.4.3. Tratamentos convencionais (químicos) | 58 |
| 1.4.4. Tratamentos térmicos | 63 |
| 2. MATERIAIS E MÉTODOS | 76 |
| 2.1. Seleção e preparação do material | 77 |
| 2.2. Tratamento térmico | 80 |
| 2.3. Ensaio de estabilidade dimensional | 82 |
| 2.4. Ensaio de flexão estática | 84 |
| 2.5. Ensaio não-destrutivo utilizando ondas acústicas | 87 |
| 2.6. Ensaio de molhabilidade | 88 |
| 2.7. Modelagem estatística | 89 |

| | |
|---|------------|
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 91 |
| 3.1. Perda de massa | 92 |
| 3.2. Estabilidade dimensional | 94 |
| 3.3. Molhabilidade | 97 |
| 3.4. Módulo de elasticidade | 99 |
| 3.5. Módulo de ruptura | 101 |
| 3.6. Conclusões parciais | 102 |
| 4. PROJETO DE PRODUTO | 103 |
| 4.1. Diretrizes de projeto | 104 |
| 4.2. Desenvolvimento da poltrona | 106 |
| 4.3. Detalhamento da poltrona | 111 |
| 5. CONCLUSÕES | 119 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 122 |
| ANEXOS | 142 |
| Anexo I - Propriedades do BaLCTR | 143 |
| I.II. Efeitos do tratamento térmico | 143 |
| i.I. Ensaio de Estabilidade dimensional | 146 |
| I.III. Ensaio de flexão estática | 152 |
| I.IV. Ensaio de Molhabilidade | 154 |
| Anexo II – DESENHOS TÉCNICOS DA POLTRONA | 165 |
| Anexo III – Estratégias para medir o impacto ambiental | 171 |
| Anexo IV – Pesquisadores doutores brasileiros do BaLC | 180 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|------|
| Figura 1 - Mapa da distribuição do bambu no mundo | xiii |
| Figura 2 - Rizoma paquimorfo (A) e leptomorfo (B) | 12 |
| Figura 3 - Fibras de colmos de <i>Phyllostachys viridiglaucescens</i> | 14 |
| Figura 4 - Distribuição dos feixes vasculares no colmo de bambu | 14 |
| Figura 5 - Microscopia eletrônica evidenciando os feixes vasculares em torno do tecido parenquimal | 14 |
| Figura 6 - Localização da floresta de bambus no Acre | 19 |
| Figura 7 - O bambu <i>Guadua magna</i> | 19 |
| Figura 8 - A espécie <i>Phyllostachys pubescens</i> | 21 |
| Figura 9 - A espécie <i>Bambusa tuldooides</i> | 21 |
| Figura 10 - A espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i> | 22 |
| Figura 11 - A espécie <i>Guadua angustifolia</i> | 22 |
| Figura 12 - Organograma de usos do bambu | 24 |
| Figura 13 - Encaixes utilizados na construção com bambu | 25 |
| Figura 14 - Construções realizadas com colmos de bambu | 26 |
| Figura 15 - Móveis e artesanatos produzidos com bambu | 28 |
| Figura 16 - Aplicações do colmo inteiro de bambu no <i>design</i> | 30 |
| Figura 17 - Partículas produzidas a partir do colmo do bambu | 32 |
| Figura 18 - produtos industriais de bambu: BMB e SWB | 34 |
| Figura 19 - O BaLC e algumas de suas aplicações | 36 |
| Figura 20 - Móveis produzidos com o BaLC | 37 |
| Figura 21 - Etapas de produção do BaLC | 40 |
| Figura 22 - Preparação dos colmos para usinagem | 41 |
| Figura 23 - Ferramentas para confecção de ripas de bambu | 41 |
| Figura 24 - Máquina laminadora de ripas de bambu | 43 |
| Figura 25 - Processos de secagem do bambu | 43 |
| Figura 26 - Processo de montagem do BaLC | 45 |
| Figura 27 - Padrões de montagem do BaLC | 45 |
| Figura 28 - tratamentos por imersão em água (A) e banho quente-frio (B) | 56 |

| | |
|--|-----|
| Figura 29 - Tratamento por fumigação (A) e calor por maçarico (B) | 56 |
| Figura 30 - Processos de tratamento químico | 60 |
| Figura 31 - Microscopia Eletrônica de Varredura evidenciando o efeito do tratamento térmico nas estruturas anatômicas do bambu | 64 |
| Figura 32 - Sítios de adesão | 66 |
| Figura 33 - Madeira termicamente modificada a 170°C por 2 a 16 horas | 68 |
| Figura 34 - Expansão do BTR de acordo com a direção anatômica | 72 |
| Figura 35 - Bambu tratado termicamente | 72 |
| Figura 36 - Transformação de seção de colmo em ripas | 78 |
| Figura 37 - Transformação de ripas em lâminas | 79 |
| Figura 38 - Lâminas selecionadas, sem defeitos aparentes | 80 |
| Figura 39 - Tratamento térmico das lâminas | 83 |
| Figura 40 - Ensaio de estabilidade dimensional | 85 |
| Figura 41 - Máquina universal de ensaio e célula de carga | 87 |
| Figura 42 - Ensaio de molhabilidade | 90 |
| Figura 43 - Gráfico da perda de massa | 93 |
| Figura 44 - Gráfico da expansão nas três dimensões | 95 |
| Figura 45 - Gráfico da expansão nas três dimensões | 95 |
| Figura 46 - Gráfico dos resultados de molhabilidade, evidenciando a regressão potencial | 97 |
| Figura 47 - Gráfico de MOE e MOEd | 100 |
| Figura 48 - Gráfico de MOR | 102 |
| Figura 49 - Perfil-base para as peças principais da poltrona | 107 |
| Figura 50 - Principais dimensões da poltrona | 109 |
| Figura 51 - Encontros comus de peças encontrado no desenho de móveis | 109 |
| Figura 52 - Lofoten Lounger, de Corey Baker | 110 |
| Figura 53 - Encaixes escolhidos da geração de alternativas | 110 |
| Figura 54 - Proposta inicial da poltrona selecionada | 111 |
| Figura 55 - Representação tridimensional da poltrona selecionada | 112 |
| Figura 56 - Principais encaixes utilizados no projeto | 113 |
| Figura 57 - Outros detalhes da estrutura da poltrona | 115 |

| | |
|---|-----|
| Figura 58 - Poltronas que utilizam assento e encosto em tecido | 117 |
| Figura 59 - Peça da poltrona em tecido | 118 |
| Figura 60 - Exemplo de ACV: etapas de produção da celulose | 173 |
| Figura 61 - Categorias de impacto <i>midpoint</i> e <i>endpoint</i> | 176 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Espécies de bambu, de acordo com sua finalidade. | 16 |
| Tabela 2 - Características físicas do colmo de algumas espécies de bambu | 17 |
| Tabela 3 - Espécies prioritárias de bambu | 18 |
| Tabela 5 - Durabilidade natural de algumas espécies de bambu | 50 |
| Tabela 6 - Temperatura e tempo dos tratamentos térmicos realizados | 81 |
| Tabela 7 - Resultados da perda de massa | 92 |
| Tabela 8- Resultados de absorção de água | 94 |
| Tabela 9 - Resultados do ensaio de estabilidade dimensional | 94 |
| Tabela 10 - Resultados do ensaio de molhabilidade | 98 |
| Tabela 11- Resultados do MOE e do MOEd do material | 99 |
| Tabela 12 - Resultados do módulo de ruptura | 101 |
| Tabela 13 - Dimensões antropométricas de trabalhadores brasileiros, baseadas em uma amostra de 3100 trabalhadores do Rio de Janeiro | 107 |
| Tabela 14 - Dados brutos das variações de massa, densidade e MOEd causadas pelo tratamento térmico | 143 |
| Tabela 15 - Médias das reduções de massa, densidade e MOEd causadas pelo tratamento térmico. | 145 |
| Tabela 16 - Ensaio de estabilidade dimensional a 0 horas em imersão | 146 |
| Tabela 17 - Ensaio de estabilidade dimensional a 2 horas em imersão | 147 |
| Tabela 18 - Ensaio de estabilidade dimensional a 24 horas em imersão | 149 |
| Tabela 19 - Médias do ensaio de estabilidade dimensional | 151 |
| Tabela 20 - Dados brutos do ensaio de flexão estática | 152 |
| Tabela 21 - Médias dos resultados do ensaio de flexão estática | 153 |
| Tabela 22 - Ensaio de molhabilidade: Tratamento a 180°C por 2 horas | 154 |
| Tabela 23 - Ensaio de molhabilidade: Tratamento a 180°C por 4 horas | 156 |
| Tabela 24 - Ensaio de molhabilidade: Tratamento a 210°C por 2 horas | 158 |
| Tabela 25 - Ensaio de molhabilidade: Tratamento a 210°C por 4 horas | 161 |
| Tabela 26 - Ensaio de molhabilidade: Testemunha | 163 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 27 - Exemplo de ACV: inventário de ciclo de vida | 174 |
| Tabela 28 - Matriz para qualificação de dados externos | 175 |
| Tabela 29 - Exemplo de ACV: utilização do indicador Eco-costs | 178 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|--------------------|---|
| BaLC | Bambu Laminado Colado |
| BaLCTR | Bambu Laminado Colado Termorretificado |
| BMB | <i>Bamboo Mat Board</i> |
| CCA | Arseniato de Cobre Cromatado |
| CCB | Borato de Cobre Cromatado |
| CNPQ | Conselho nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico |
| CP | Corpo-de-prova |
| CPAB/UnB | Centro de Pesquisa e Aplicação do Bambu e Fibras Naturais da Universidade de Brasília |
| EFL/FT-UnB | Departamento de Engenharia Florestal, da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília |
| IFES | Institutos Federais de Ensino Superior |
| INBAR | <i>International Network for Bamboo and Rattan</i> |
| LPF/SFB-MMA | Laboratório de Pesquisas Florestais, do Serviço Florestal Brasileiro no Ministério do Meio Ambiente |
| MDF | <i>Medium Density Fiberboard</i> |
| MLC | Madeira Laminada Colada |
| MOE | Módulo de Elasticidade |
| MOEd | Módulo de Elasticidade Dinâmico |
| MOR | Módulo de Ruptura |
| OSB | <i>Oriented Strand Board</i> |
| PVA | Acetato de Polivinila |
| RF | Resorcinol-Formaldeído |
| SWB | <i>Strand Woven Bamboo</i> |
| Tg | Temperatura de Transição Viscoelástica |
| UF | Uréia-Formaldeído |
| UFES | Universidade Federal do Espírito Santo |

INTRODUÇÃO

O bambu, uma planta da família das gramíneas (*poaceae*), é uma das plantas com crescimento mais acelerado existente, chegando a 250cm em 24 horas (FARRELY, 1996). Ele é apresentado como uma alternativa de baixo impacto ambiental para os produtos florestais, tendo alta produtividade e fácil cultivo, necessitando de tecnologia e maquinário simplificados para sua produção. Há várias espécies endêmicas de bambu no Brasil, muitas ainda pouco estudadas.

Países como a China, a Costa Rica e a Colômbia usam culturalmente o bambu como matéria-prima em substituição à madeira. São produzidos desde pequenos objetos decorativos até grandes construções civis.

O governo recentemente demonstrou reconhecer a importância estratégica do bambu para o Brasil, sancionando a lei nº 12.484/2011, que institui a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu – PNMCB. A lei cria instrumentos para facilitar o crédito rural para produtores de bambu, disponibiliza assistência técnica em todos os pontos da cadeia produtiva, e prevê certificações de origem e de qualidade dos produtos envolvidos.

O colmo inteiro do bambu apresenta desafios para o desenho de móveis, que podem ser contornados se transformado em produtos industriais. A partir do bambu são produzidos diversos materiais, como compensado, *Oriented Strand Board* (OSB), *Medium Density Fiberboard* (MDF) e Bambu Laminado Colado (BaLC). Cada um destes produtos tem um fim específico, com propriedades físicas e mecânicas próprias.

O BaLC é um produto similar à Madeira Laminada Colada (MLC), sendo produzidas lâminas de bambu a partir do colmo, que são em seguida coladas em camadas. Tem as qualidades mecânicas do bambu aliadas à liberdade de formas e dimensões da MLC. Suas principais qualidades são a possibilidade de produzir peças de

várias dimensões, qualidade homogênea, boas propriedades táteis, facilidade para criar peças curvas, e a possibilidade de novas aplicações aproveitando as camadas do material.

O uso do BaLC é promissor no *design* de móveis, uma área que permite estudar diversas variáveis do produto. Devem ser levados em conta características básicas (desempenho mecânico, usinabilidade, conservação), estéticas (cor, plasticidade, tato) e simbólicas (correlações com a cultura e valores), entre outras (VAN DER LUGT, VOGTLÄNDER e BREZET, 2008).

O Brasil ainda não tem uma cadeia produtiva de BaLC propriamente estruturada (BARELLI, 2009), apesar de apresentar avanços em partes isoladas da cadeia. Por parte dos consumidores há um aumento na demanda em produtos utilizando o material, e há intensa atividade no meio acadêmico. Hoje existem vários produtos em BaLC importados da China, em sua grande maioria pequenos objetos para uso doméstico.

Um grande desafio na produção de produtos com bambu é o tratamento preservativo, que deve permitir aliar as qualidades mecânicas e ambientais do material. Os tratamentos convencionais utilizam produtos muitas vezes tóxicos, que trazem riscos à saúde humana. Há também opções tradicionais de cura do bambu, ainda com eficácia duvidosa. Um tratamento industrial de baixo impacto ambiental que vem ganhando espaço é o tratamento térmico, que consiste na degradação dos açúcares do bambu utilizando fornos com temperaturas que chegam a ultrapassar 200°C.

Este trabalho tem como objetivo principal estudar as relações entre o processo de tratamento térmico do bambu e suas modificações nas propriedades físicas e mecânicas, com vistas ao emprego do BaLC no *design* de móveis.

Os objetivos específicos são: levantar o estado d'arte quanto aos processos industriais de tratamento preservativo de baixo impacto ambiental aplicados ao bambu em ambientes internos; estudar as características físicas e mecânicas do bambu termorretificado (BTR); e evidenciar as implicações dos resultados obtidos no projeto de um móvel produzido com o BaLC termorretificado (BaLCTR).

O trabalho inicia com uma revisão de literatura sobre o assunto, sendo identificados as implicações do *design* de produtos com baixo impacto ambiental, as características do bambu seus produtos industriais, e as formas de tratamento preservativo, com especial atenção ao tratamento térmico.

Em seguida, nos capítulos 2 e 3, são apresentados os métodos e resultados de ensaios de propriedades físicas e mecânicas no BaLCTR. Por fim, as propriedades identificadas nos ensaios e levantadas em bibliografia são traduzidas em diretrizes para o projeto de uma poltrona em BaLC, sendo o processo todo documentado no capítulo 4. No capítulo 5, as considerações finais, conclusões e recomendações para trabalhos futuros são expostas.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. O DESIGN E A REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL

Não é de hoje que o conceito de sustentabilidade tomou forma própria na nossa sociedade. Essa palavra permeia trabalhos acadêmicos, artigos de jornais, entrevistas, propagandas, conversas informais e políticas públicas.

A sustentabilidade é encarada de forma ampla. Seu objetivo é abarcar em um mesmo local todo tipo de relação entre a atividade humana e o ambiente ao seu redor, levando em consideração as esferas ecológica, social, econômica, dentre outras. Uma conceituação muito aceita é a encontrada no relatório Brudtland (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1992):

“O desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades, significa possibilitar que as pessoas, agora e no futuro, atinjam um nível satisfatório de desenvolvimento social e econômico e de realização humana e cultural, fazendo, ao mesmo tempo, um uso razoável dos recursos da terra e preservando as espécies e os habitat naturais.”

Já o conceito de impacto ambiental é mais estrito e claro que o de sustentabilidade. Trata especificamente dos danos causados ao ambiente pelo ser humano. Segundo o CONAMA (CONAMA, 1986):

“(...) considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas. “

Maniates (2002) expõe que na nossa sociedade ocidental existe uma forte relação entre o impacto ambiental e os padrões contemporâneos de consumo, e essa relação pode ser compreendida utilizando-se o conceito de individualização. Nesse contexto, a individualização refere-se aos processos sociais pelos quais as pessoas buscam compensar a falta de suporte coletivo de suas comunidades ou de sua cultura através da liberdade incondicional da escolha individual (COTE e SCHWARTZ, 2002).

A forma ocidental de organização sob o capitalismo é fundada na soberania da escolha individual sobre as necessidades coletivas. A solução para os problemas comuns, dentre eles os ambientais, recai então preponderantemente nas mudanças de decisão do cidadão, e essas decisões individuais não conseguem promover uma diferença efetiva porque a própria estrutura à sua volta restringe e canaliza as opções disponíveis (GUHA, 2003).

Indo além, Maniates (idem) ressalta que a individualização acaba por manter muitas vezes o cidadão focado em questões puramente triviais, fragmentando a ação política do indivíduo e distraíndo sua atenção de pontos fundamentais em sua vida.

Ações governamentais e privadas contribuem para reforçar esse quadro de inatividade social efetiva para a mudança do impacto ambiental, quando recomendam “pequenas ações que você pode fazer em casa para salvar o planeta” (GREENSENSE, 2014). Medidas tomadas de forma isolada e descontínua pelo cidadão (muitas vezes visto apenas como consumidor) são ínfimas a nível ambiental, se comparadas à escala dos problemas criados por órgãos governamentais e corporações empresariais, como a indústria siderúrgica e da construção, do sistema viário de transporte pessoas e de cargas, e da indústria de insumos para a agricultura (PRINCEN, MANIATES e CONCA, 2002).

Dentro das propostas tradicionais de sustentabilidade no atual sistema econômico, é o consumidor, e não o cidadão, que aparece como o mais importante agente de transformação. Esse argumento segue a lógica de que a demanda de mercado impulsiona redução do impacto ambiental nos meios de produção. Fala-se então de consumo sustentável como uma forma de se transferir o poder da mudança para as mãos de quem não tem o domínio dos processos de produção, ou seja, o consumidor (PORTILHO, 2003).

Portilho (2003) ainda detalha a proporção desigual das medidas individuais de consumo sustentável frente as grandes fontes de impacto ambiental, e ressalta ainda a transferência de responsabilidade entre as partes:

“O consumo sustentável atacaria somente uma parte da equação – a tecnologia – e não os processos de produção e distribuição, além da cultura do consumo propriamente dita. A estratégia de consumo sustentável pode ser analisada, ainda, como uma espécie de transferência da atividade regulatória em dois aspectos: do Estado para o mercado, através de mecanismos de auto-regulação, e do Estado e do mercado para o cidadão, através de suas escolhas de consumo. Assim, ambos – governos e empresas – encorajariam a responsabilidade individual, implícita ou explicitamente, através de referências ao poder do consumidor, ao bom cidadão ou à valorização da contribuição pessoal de cada um, transferindo a responsabilidade para um único lado da equação: o indivíduo.”

Frente a esse cenário, Victor Papanek (1985) argumenta que um grande agente da mudança não é o consumidor com suas ações pontuais e difusas, nem o estado de forma geral, tampouco o mercado como um ser misterioso. A responsabilidade sobre o impacto ambiental nos processos produtivos modernos recai sobre quem pode tomar decisões práticas acerca dos produtos e do consumo, e entre eles está o *designer*.

Com essa afirmação, cresce no final dos anos 1980 o interesse por uma relação na época pouco explorada: o *design* e a sustentabilidade. Surgem no período termos para caracterizar o *design* ambientalmente responsável, tais como *green design*, *eco-design*, *design* sustentável e *design* para a sustentabilidade. Essas abordagens buscam orientar o *designer* para formas de atuação profissionais em que se prioriza a redução do impacto ambiental.

O *International Council of Societies of Industrial Design* (ICSID) coloca como funções do *design*: promover a proteção ao meio ambiente e a sustentabilidade global; gerar benefícios e liberdade à comunidade humana, de forma individual e coletiva; dar suporte à diversidade cultural; gerar produtos, serviços e sistemas que sejam expressivos (semiologia) e coerentes (estética) de suas complexidades e atributos. Esse conjunto de funções denota ao projeto a responsabilidade de visão estratégica, aprofundando o caráter multidisciplinar do *design*.

Papanek (1985) colocou, em linhas gerais, as seguintes diretrizes para o *eco-design*: produtos com grande durabilidade; utilizando poucos componentes; que possam ser facilmente desmontados e reutilizados; com valores estéticos e simbólicos pouco perecíveis; fabricados com recursos locais; utilizando tecnologia fácil de ser implantada.

Buckminster Fuller (1975) já trazia para discussão vários desses aspectos levantados por Papanek, mas de forma menos contundente. Ele se preocupou com o perigo da escassez de recursos naturais, e voltou seu trabalho para formas de se fazer mais com menos. Para isso sugeriu o reaproveitamento de materiais, a otimização do uso de energia nos sistemas produtivos, e a mudança do uso de tecnologias industriais em larga escala para manufaturas locais, de menor impacto ao ambiente.

O *design* de produtos pode ter, segundo Manzini e Vezzoli (2002, p. 148), vários níveis de contribuição para a conservação ambiental, assim separados: o redesenho ambiental do produto existente; o projeto de produtos que substituam os atuais; o projeto de produtos e serviços sustentáveis; e a proposta de novos cenários, coerentes à cultura sustentável. Atualmente o foco dos esforços na área ainda está nos dois primeiros níveis, sendo necessária uma mudança mais estrutural nos sistemas de produção para se ver florescer as outras formas.

Para Margolin (1998), o *design* é historicamente uma prática voltada à contingência, e não à necessidade. Caso os *designers* não demonstrem vontade e força para mudar esse posicionamento, eles serão apenas parte do problema. Então, sua prática deve adquirir a visão crítica do seu impacto na sociedade, com a democratização do acesso a bens e a redução do impacto ambiental dos produtos, influenciando na manutenção ou não da individualização das pessoas no sistema social.

Posteriormente, Papanek (1995) dá continuidade às suas colocações, e considera o *designer* como um dos principais responsáveis pela conservação ambiental. Ele advoga por uma prática de *design*, não com a função de propor soluções em produtos para uma cultura de consumo focada no valor de troca do produto, mas com a função de negar-se a alimentar a infundável máquina de consumo puro e focar-se no valor de uso.

Deforges (1994) corrobora com esse pensamento, e coloca que as decisões no *design* de produtos precisam ser conscientes de seu meio, e ultrapassar as demandas de mercado. Devem ser formadoras, e não repetidoras. Sobretudo, devem ser antes uma

ferramenta de mudança de atitude frente às questões ambientais. Para ele, o *design* precisa ganhar espírito e ideologia¹.

Manzini (2010) alerta para a mudança no foco da sustentabilidade. Para ele, em vinte anos de estudos voltado à eco-eficiência os efeitos pretendidos estão longe de ser alcançados. Os sistemas produtivos, quando vistos isoladamente, utilizam hoje menos recursos. Mas o consumo total de recursos ambientais continua a crescer em ritmo ainda maior. Por isso, Manzini diz que uma mudança sistêmica deve acontecer. E a resposta que ele apresenta pode ser entendida na união desses quatro conceitos: o de pequeno, local, aberto e conectado. Ou seja, não basta melhorar os sistemas atuais de produção. O sistema de produção em si é que deve migrar para um modelo mais focado em pequenos núcleos conectados, e a tecnologia de produção deve acompanhar essa lógica.

No *design* de produtos, a escolha dos materiais e processos produtivos é, como já visto, um passo importante para a redução do impacto ambiental. Essa escolha não é apenas um ato de selecionar o material mais adequado para seu funcionamento prático. É a definição estratégica do material, levando em conta seu ciclo de vida e de todos os processos envolvidos. A equipe envolvida no desenvolvimento de um produto deve compreender as consequências que suas escolhas têm na sociedade e no meio ambiente.

Existem diversas formas de se medir o impacto ambiental de um material, mas a mais utilizada é através da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). É a ferramenta mais precisa e difundida para se ter informações confiáveis sobre o impacto dos produtos sobre o meio ambiente. Há adaptações metodológicas para sua aplicação no processo de *design*. O Anexo III (página 171) pode ser consultado para uma melhor compreensão do método de utilização da ACV no projeto de produtos.

No caso específico da produção de móveis, os produtos lignocelulósicos, como a madeira e o bambu, são os materiais que mais conseguem contemplar esses valores de menor impacto ambiental. Polímeros e metais dependem de uma cadeia produtiva extensa, com produtos elaborados, utilizando matéria-prima escassa ou concentrada em

¹ Na concepção do autor, ideologia se aproxima à noção de ideário, de visão de mundo, não tendo portanto a função de dominação ou de alienação da consciência humana.

poucos locais no planeta (LJUNGBERG, 2007). Portanto, fogem muito ao conceito de produção local sustentável proposto do Manzini (2010), e devem ser evitados quando possível.

Em suma, o presente trabalho trata a prática de projeto de produtos como um agente de mudança da sociedade. A direção adotada é voltada a meios de produção com menor impacto ambiental, utilizando o modelo descrito por Manzini (2010). A pesquisa de novos materiais, em especial o Bambu Laminado Colado, é um passo imprescindível para tal caminho.

1.2. O BAMBU

1.2.1. ASPECTOS BOTÂNICOS

Bambu é o nome dado às plantas da subfamília *Bambusoideae*, pertencente à família *Poaceae* (antiga *Gramineae*). É uma planta monocotiledônea, lenhosa, pertencente às angiospermas. São classificados em duas tribos: a *Bambuseae*, com colmos lenhosos e de maior porte, e a *Olyreae*, com características herbáceas e de menor porte (PEREIRA e BERALDO, 2007).

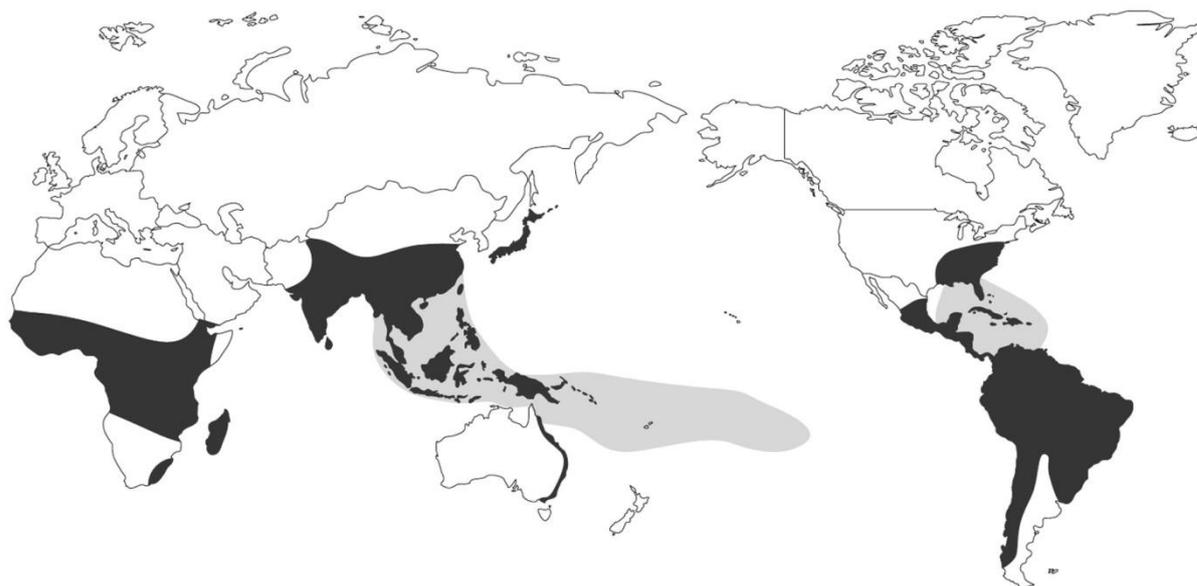
Existem hoje cerca de 60 a 70 gêneros e 1300 espécies de bambu², distribuídas entre as latitudes 46° Norte e 47° Sul (GPWG, 2001). Os bambus são nativos em todos os continentes, exceto o europeu. Segundo Nunes (2005), 62% das espécies são nativas da Ásia, 34% das Américas e 4% da África e Oceania (Figura 1). Algumas espécies podem chegar a 30 metros de altura, com espessura de 30cm, enquanto outras se confundem com as gramíneas rasteiras.

O Brasil conta com a maior diversidade e o maior número de florestas endêmicas³ de bambu em toda a América Latina. Segundo Filgueiras (2004), o Brasil possui 34 gêneros e 232 espécies de bambus nativos (174 espécies consideradas endêmicas). O Brasil é dotado de 89% de todos os gêneros e 65% de todas as espécies de bambus conhecidas na América.

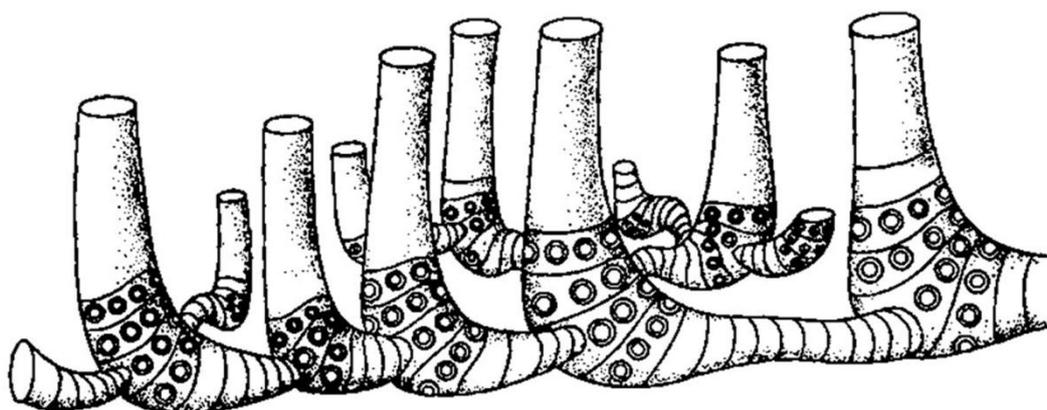
Sua parte subterrânea é constituída de raiz e rizoma, e sua parte aérea por colmo, ramo e folha. O colmo desenvolve-se a partir dos rizomas. Suas ramificações subterrâneas permitem a classificação dos bambus em três grupos principais: leptomorfos (bambus alastrantes), paquimorfos (bambus entouceirantes) e mesomorfos (um grupo intermediário com propriedades mistas) (PEREIRA e BERALDO, 2007).

² Não há um consenso quanto ao número exato de gêneros e espécies de bambu. A maior dificuldade em efetuar-se tal estimativa deve-se ao fato de que a identificação botânica no bambu é muito complexa, pois muitas espécies raramente produzem flores e frutos, que são os elementos principais que auxiliam na identificação de uma espécie vegetal.

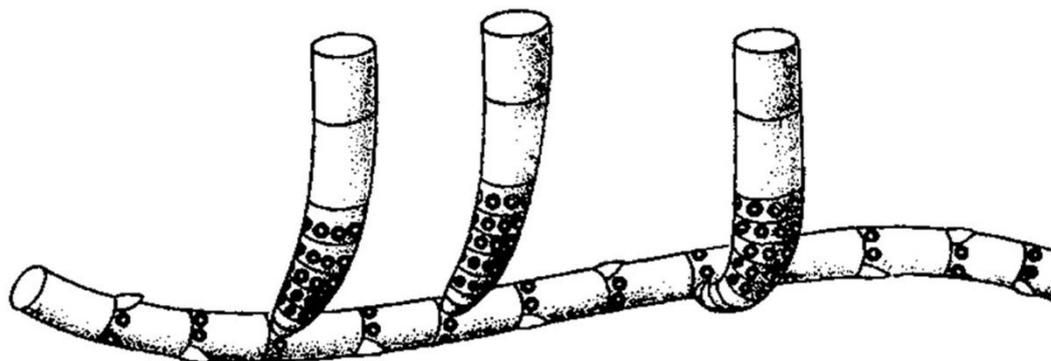
³ Em botânica, uma espécie endêmica é aquela que se desenvolveu em uma região estrita. Bambus endêmicos ao Brasil não são encontrados na natureza em outros lugares do mundo (ODUM e BARRETT, 2006).



A



B



1

Figura 1 - Mapa da distribuição do bambu no mundo
Fonte: adaptado de El-Bassam & Jakob (1996)

2

Figura 2 - Rizoma paquimorfo (A) e leptomorfo (B)
Fonte: Rao e Rao (1998)

Bambus paquimorfos (Figura 2a) também são chamados de entouceirantes. Seus rizomas têm formato de bulbo, com entrenós curtos. Os colmos crescem próximos uns dos outros, formando touceiras. São encontrados em climas tropicais da Américas, Ásia, África e Oceania.

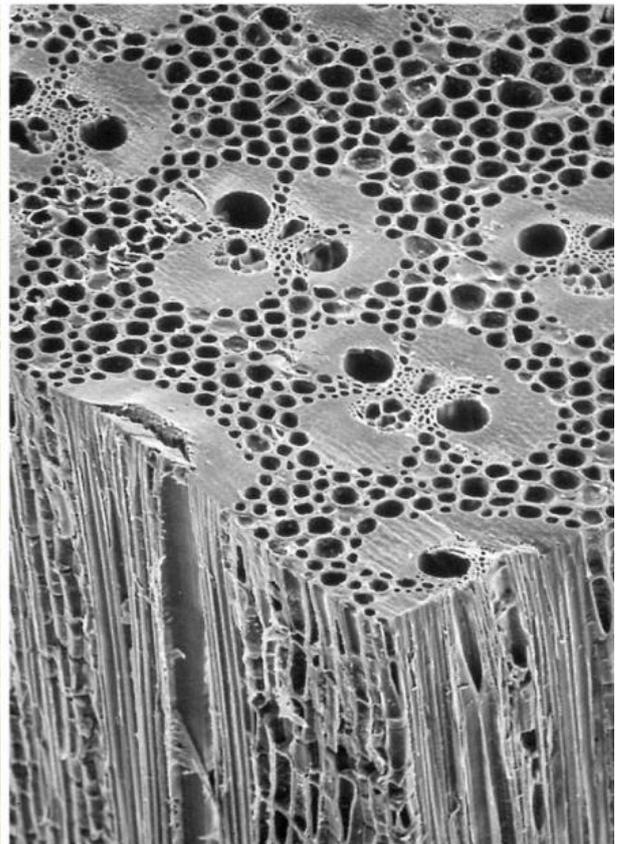
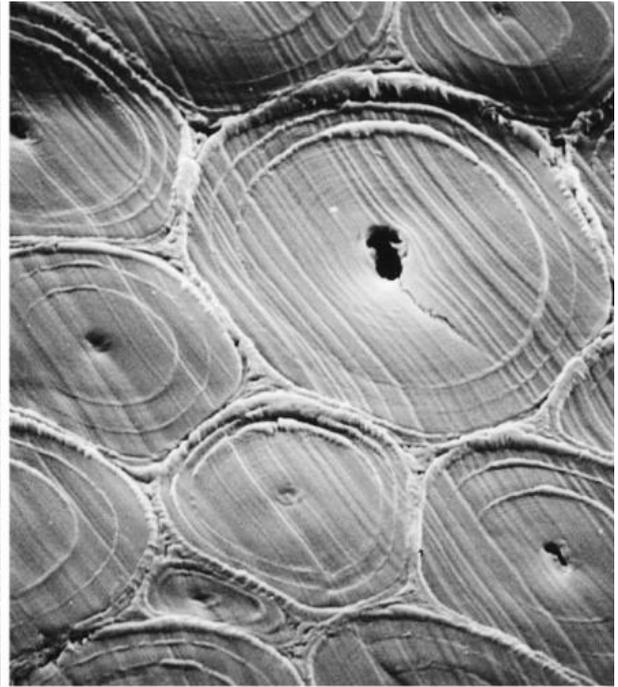
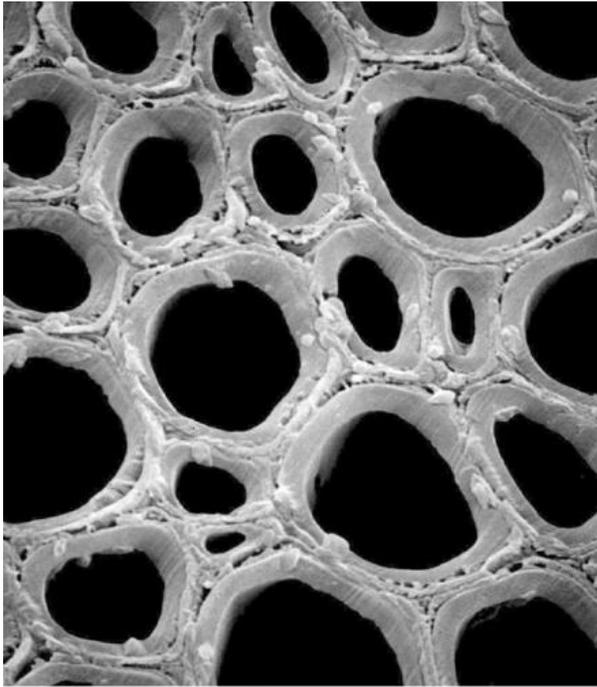
Bambus leptomorfos (Figura 2b) também são chamados de alastrantes. Seus rizomas são finos, com entrenós longos. Os colmos são mais grossos que o rizoma, e crescem distanciados uns dos outros. São encontrados predominantemente em países de clima temperado.

Os colmos são compostos por nós, entrenós e diafragmas. Os entrenós, geralmente ocos, são separados por diafragmas, que se apresentam como nós na parte externa. Os diafragmas, segundo Dunkelberg (1985), dão flexibilidade e resistência ao colmo.

O colmo não apresenta crescimento secundário, por isso não tem fibras no sentido radial. Seu diâmetro permanece o mesmo desde o broto, apresentando um crescimento telescópico. Portanto, o diâmetro do colmo não é utilizado para indicar a idade da planta, que pode ser predita pelo aspecto e aparência da superfície externa. É brando e flexível nos doze primeiros meses, atingindo sua maturidade e resistência máxima entre os três e seis anos de idade (HIDALGO-LÓPEZ, 1974). Nesse período, as células do colmo começam a lignificar e formar silicatos.

As fibras e as células parenquimáticas apresentam um espessamento das paredes (Figura 3) pela deposição de lamelas adicionais, sofrendo subsequente lignificação. As células parenquimáticas são preenchidas com amido. O espessamento da parede das fibras pode continuar, até mesmo durante 10 anos (LIESE, 2004).

Segundo Dunkelberg (1985), a estrutura da célula e as propriedades tecnológicas do colmo maduro são similares às da madeira, mas as diferenças anatômicas são consideráveis.



| | | |
|----|----|--|
| 3a | 3b | Figura 3 - Fibras de colmos de <i>Phyllostachys viridiglaucescens</i> com idades de 1 ano (5a) e 12 anos (5b). Fonte: Liese (2004) |
| 4 | 5 | Figura 4 - Distribuição dos feixes vasculares no colmo de bambu. Fonte: Bell (2012) Figura 5 - Microscopia eletrônica evidenciando os feixes vasculares em torno do tecido parenquimal. Fonte: Liese (2004) |

O colmo é constituído principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, sendo coberto por uma película impermeável nas partes interna (chamada pergaminho) e externa (chamada casca). Na casca, observa-se o córtex, que consiste de um grupo de células densamente agrupadas, geralmente cutinizadas e com recobrimento de cera. O pergaminho é constituído de células parenquimáticas escleróticas com suberina adicional.

As fibras estão agrupadas no colmo em feixes vasculares (Figura 5), sendo o formato e padrão de distribuição parâmetros para classificação das espécies. Os feixes são menores e mais abundantes próximos à casca (Figura 4), onde são mais necessários mecanicamente.

A composição química varia de acordo com a espécie, as condições de crescimento, a idade do bambu e a posição do material no colmo. A espécie *Dendrocalamus giganteus*, extensivamente estudada em território nacional, tem o colmo composto 63,7% por holocelulose, 23,4% por lignina, e 12,9% por extrativos (BRITO, TOMAZELLO FILHO e SALGADO, 1987). Dentre os extrativos, Bai (1996) cita que os principais são resinas, taninos, ceras e sais inorgânicos. Yongyu (1999) estudou a composição nutricional do colmo: proteína (1,5 a 6%), glucose (2%), amido (2,02 a 5,18%), gordura e cera (2,18 a 3,55%).

No colmo, os nós apresentam menos extrativos solúveis em água, hemicelulose (na maior parte pentoses), cinzas e lignina, porém mais celulose (BAI, 1996). O maior teor de sílica é depositado na epiderme, sendo que os nós contêm pouco silício e os tecidos dos entrenós não contêm quase nenhum. Liese (1992) afirma que a sílica afeta o corte e o processamento do colmo, sendo interessante retirar parte da casca (camada externa) para facilitar a industrialização do bambu com a produção de lâminas e ripas.

Liese (2003) afirma que a grande concentração de holocelulose (toda a celulose e hemicelulose encontrada após a remoção de lignina e extrativos) é responsável pela atração de carunchos e brocas, que vão à procura do amido no bambu. Jain (1992) fez um estudo tecnológico do material, enxergando o colmo do bambu como um compósito natural, onde a lignina é a matriz e as fibras celulósicas são o reforço. A lignina, segundo Ghavami e Marinho (2005), é um armazenador de energia, responsável pela transferência

de tensões entre as fibras. As fibras promovem grande resistência a tração, flexão e rigidez na seção radial.

Ueda (1960) realizou um estudo sobre o crescimento da espécie *Phyllostachys reticulata*, registrando um crescimento de 1,21m em 24 horas. Azzini *et al.* (1981) notaram o crescimento do colmo de *Dendrocalamus giganteus* em 22cm por dia.

1.2.2. ESPÉCIES DE BAMBU UTILIZADAS COMERCIALMENTE

A escolha da espécie ideal para a industrialização depende de vários fatores, como as propriedades químicas do colmo, a facilidade de manejo, a oferta de mudas, as propriedades mecânicas e determinadas características físicas (espessura da parede, comprimentos dos entrenós do colmo, dentre outros). A quantidade de amido em cada espécie está diretamente relacionada à resistência ao ataque de fungos e insetos, portanto é também um fator a ser considerado.

Bambus utilizados para construção devem ter uma grande concentração de fibras para tornar o material mais resistente aos esforços mecânicos. Já para a produção de papel o colmo deve apresentar maior volume de celulose. Salgado e Godoy Jr. (2002) relacionaram as espécies mais utilizadas para cada finalidade (Tabela 1).

Tabela 1 - Espécies de bambu, de acordo com sua finalidade.

| Finalidade | Espécies |
|-------------|---|
| Álcool | <i>Bambusa vulgaris; Bambusa vulgaris; Guadua flabellata</i> |
| Celulose | <i>Bambusa vulgaris; Dendrocalamus giganteus; Phyllostachys bambusoides</i> |
| Alimentação | <i>Dendrocalamus giganteus; Dendrocalamus latiflorus; Dendrocalamus asper; Bambusa tuldoides; Phyllostachys bambusoides</i> |
| Construção | <i>Guadua angustifolia; Dendrocalamus giganteus; Dendrocalamus asper; Bambusa tuldoides; Bambusa tulda; Phyllostachys sp.</i> |
| Ornamental | <i>Bambusa gracilis; Thyrsostachys siamensis; Phyllostachys nigra; Phyllostachys purpurata; Arundinária amabilis</i> |

Fonte: Adaptado de Salgado e Godoy Jr. (2002)

Para a produção de produtos industriais é essencial conhecer as propriedades físicas dos colmos. A Tabela 2 apresenta os valores médios de comprimento, diâmetro e peso de algumas espécies de bambu.

Tabela 2 - Características físicas do colmo de algumas espécies de bambu

| Espécies | Colmos | | |
|--------------------------------------|-----------------|---------------|-----------|
| | Comprimento (m) | Diâmetro (cm) | Peso (kg) |
| <i>Phyllostachys pubescens</i> | 4,4 | 3,6 | 2,1 |
| <i>Bambusa textilis</i> | 8,1 | 4,8 | 3,3 |
| <i>Bambusa tuldoides</i> | 9,2 | 4,3 | 3,8 |
| <i>Bambusa ventricosa</i> | 9,3 | 4,8 | 4,5 |
| <i>Bambusa vulgaris var. vittata</i> | 9,3 | 7,2 | 10,3 |
| <i>Bambusa oldhami</i> | 9,9 | 6,9 | 8,4 |
| <i>Dendrocalamus strictus</i> | 10,5 | 7,6 | 15 |
| <i>Bambusa vulgaris</i> | 10,7 | 8,1 | 12,5 |
| <i>Dendrocalamus latiflorus</i> | 11,5 | 11,5 | 40,7 |
| <i>Dendrocalamus asper</i> | 14,5 | 12,2 | 61,3 |
| <i>Bambusa stenostachya</i> | 15,1 | 8,2 | 17,5 |
| <i>Dendrocalamus giganteus</i> | 16 | 14,2 | 84,5 |

Fonte: Adaptado de Graça (1992)

O *International Network for Bamboo and Rattan* (INBAR) recomenda a introdução e experimentação de 19 espécies consideradas como prioritárias, baseando-se em critérios como: utilização, cultivo, processamento e produtos, recursos genéticos e características edafoclimáticas (solo e clima).

A Tabela 3 mostra resumidamente algumas características das espécies prioritárias de bambu, destacando-se ainda o potencial apresentado por cada uma delas, de acordo com as recomendações de Williams & Rao (1994).

Segundo Graça (1992), várias espécies de bambu cultivadas no Brasil são de origem asiática. Adaptaram-se bem ao clima tropical brasileiro e se expandiram rapidamente. Os gêneros mais comumente utilizados são *Bambusa*, *Dendrocalamus* e *Phyllostachys*.

De acordo com Toledo Filho e Barbosa (1990), as espécies mais utilizadas no Brasil para fins estruturais são *Phyllostachys pubescens*, *Bambusa tuldoides* e *Dendrocalamus giganteus*.

Tabela 3 - Espécies prioritárias de bambu

| Espécie | Valor | | | M |
|-----------------------------------|-------|-----|-----|---|
| | C | IR | R | |
| <i>Bambusa bambos</i> | *** | *** | *** | D |
| <i>B. Blumeana</i> | *** | *** | *** | D |
| <i>B. Polymorpha</i> | ** | ** | * | D |
| <i>B. Tulda</i> | ** | *** | ** | D |
| <i>B. Vulgaris</i> | * | * | *** | D |
| <i>Cephalostachyum pergracile</i> | * | *** | ** | S |
| <i>Dendrocalamus asper</i> | *** | * | *** | D |
| <i>D. giganteus</i> | *** | ** | ** | D |
| <i>D. latiflorus</i> | *** | ** | ** | D |
| <i>D. strictus</i> | *** | ** | *** | D |
| <i>Gigantochla apus</i> | ** | *** | ** | D |
| <i>G. Levis</i> | ** | *** | *** | D |
| <i>G. Pseudoarundinaria</i> | *** | ** | ** | D |
| <i>Guadua angustifolia</i> | *** | *** | *** | S |
| <i>Melocanna bacifera</i> | ** | *** | ** | S |
| <i>Ochilandra</i> | ** | ** | ** | S |
| <i>Thyrostachys siamensis</i> | *** | *** | *** | D |

Legenda:

***(alto), **(médio), *(baixo); | C: Potencial para comercialização | IR: Indústria rural; R: Regenerador ambiental; | M: Manejo; | D: Domesticado; | S: Selvagem.

Fonte: adaptado de Williams & Rao (1994)

Várias espécies do gênero *Guadua* são nativas do Brasil, como por exemplo o *G. weberbaueri*, também chamado de taboca, e o *G. paniculata*, encontrado na região centro-oeste (FILGUEIRAS, 1988). A espécie *G. weberbaueri* constitui parte da maior floresta nativa de bambu das Américas, ocupando cerca de 38% do território do Acre, além da Bolívia e do Peru (Figura 6). Recentemente foi descrita uma espécie nativa do bioma cerrado, o *G. magna* (Figura 7), com grandes dimensões e potencial para o uso na produção de chapas e outros produtos lignocelulósicos não madeireiros.

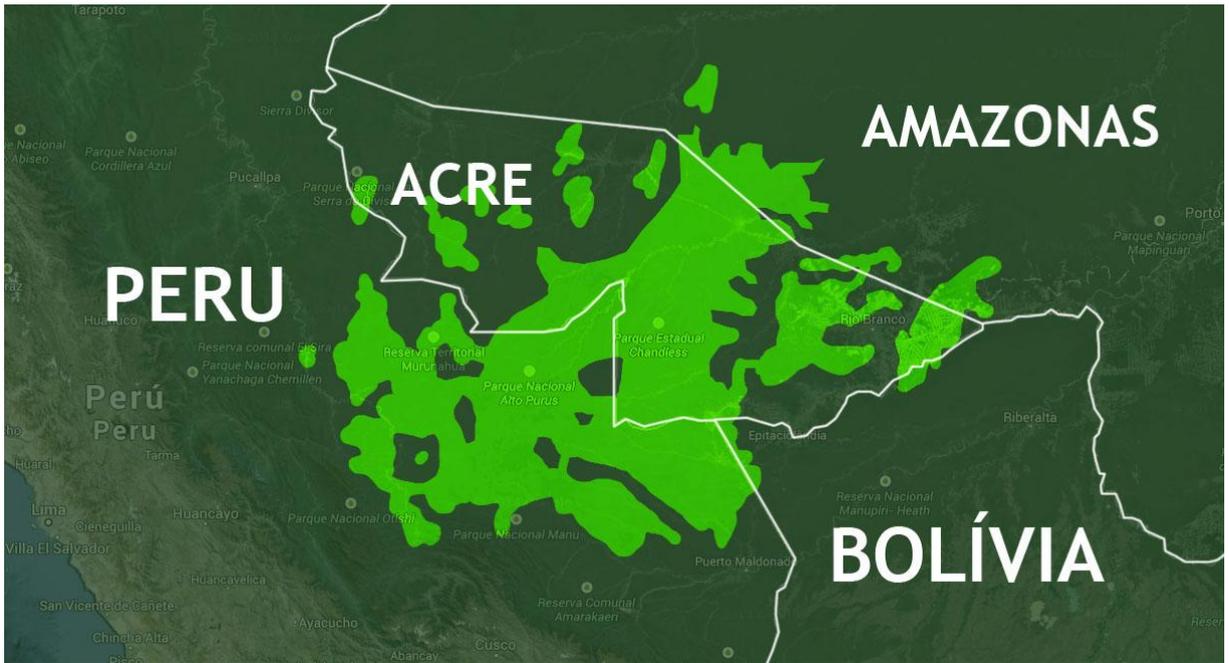


Figura 6 - Localização da floresta de bambus no Acre
Fonte: Adaptado de Carvalho (2009)



Figura 7 - O bambu *Guadua magna*
Fonte: Filgueiras (2007)

1.2.2.1. PHYLLOSTACHYS PUBESCENS

A espécie *Phyllostachys pubescens* também conhecida por *P. edulis* e *P. heterocycla*, é conhecida popularmente por bambu mossô (Figura 8). Foi trazida ao Brasil pelos imigrantes japoneses, no princípio do século passado, e é muito encontrada no interior do Estado de São Paulo, onde se instalaram suas colônias. Seus usos no Brasil incluem a produção de brotos comestíveis e o uso ornamental. Na China, é a espécie mais difundida para vários usos, sendo responsável por 70% de todos os produtos chineses em bambu (YUMING e JIRU, 1998).

De clima subtropical, é um bambu leptomorfo, assim como todos do gênero *Phyllostachys*. Seus colmos atingem até 18 metros de altura e 18cm de diâmetro. Por ser uma espécie muito utilizada na China, tem a vantagem de ter um modelo tecnológico de cultivo, manejo e industrialização bem consolidado.

1.2.2.1. BAMBUSIA TULDOIDES

A espécie *Bambusa tuldoides* (Figura 9) tem grande uso paisagístico no país. Seu colmo chega a 15 metros de altura e 8cm de diâmetro. Um grande diferencial é a combinação de diâmetro reduzido e parede espessa, sendo encontrados alguns colmos com o entrenó praticamente maciço.

Seus ramos começam a brotar a alturas baixas, e é um bambu paquimorfo que forma touceiras bem compactas, o que o torna uma ótima espécie para a criação de cercas e fechamentos de grandes áreas. É também muito utilizado para contenção de ventos. Tem potencial para ser utilizado na produção de fibra e celulose, pelo baixo teor de amido (AZZINI e CIARAMELLO, 1971).

1.2.2.1. DENDROCALAMUS GIGANTEUS

A espécie *Dendrocalamus giganteus* (Figura 10) é conhecida popularmente por bambu gigante. É uma espécie nativa de países asiáticos, entre eles a China, Tailândia e Nepal. Tradicionalmente é utilizado como elemento de construção e na produção de papel, móveis e artesanatos (PEREIRA e BERALDO, 2007). Também é cultivado para a produção de brotos de bambu.



Figura 8 - A espécie *Phyllostachys pubescens*
Fonte: Eberts (2012)



Figura 9 - A espécie *Bambusa tuldoidea*
Fonte: Nurco (2014)



Figura 10 - A espécie *Dendrocalamus giganteus*
Fonte: Payak (2012)



Figura 11 - A espécie *Guadua angustifolia*
Fonte: Nilsson (2014)

Essa espécie é bem adaptada a regiões tropicais e úmidas, com rizomas curtos e sólidos, desenvolvendo-se de forma periférica e formando touceiras, sendo classificado como paquimorfo. Seus colmos chegam a 20 metros de altura, com diâmetros entre 12 e 30cm, comprimento entre nós de 30 a 45cm e espessura de parede entre 1 e 3cm (LIN, 1968). Seu diâmetro e sua espessura apresentam grande variação ao longo das hastes.

Além da ótima resistência mecânica, o *D. giganteus* apresenta rápido crescimento e boa adaptação ao território nacional. O colmos podem crescer até 22cm por dia, com uma média de 10,63cm/dia. Após trinta dias de crescimento, os colmos chegam a atingir 6 metros de altura (AZZINI, CIARAMELLO e SALGADO, 1981). Algumas de suas desvantagens são a alta taxa de absorção de água e a baixa durabilidade natural. É uma das espécies com maior oferta de mudas no mercado nacional (BAMBU-BRASIL, 2013).

1.2.2.1. GUADUA ANGUSTIFOLIA

A espécie *Guadua angustifolia* (Figura 11) é conhecida popularmente por guádua ou taquaruçu. É uma espécie nativa da América do Sul, sendo utilizada por povos pré-colombianos há mais de 5000 anos (TEIXEIRA, 2006).

Seu colmo contém espinhos, e é muito robusto, chegando a 30 metros de altura e 25 cm de diâmetro. Possui uma faixa branca na região do nó (uma característica do gênero) que vai desaparecendo à medida em que se torna maduro. É uma espécie tropical e paquimorfa, mas permite certa circulação dentro da touceira, com os colmos geralmente a meio metro de distância.

1.2.3. USOS TRADICIONAIS DO BAMBU

O bambu é utilizado pelo homem desde tempos pré-históricos, fornecendo matéria-prima para abrigos, alimentos, móveis, utensílios domésticos, ferramentas, instrumentos musicais, além de vários pequenos objetos.

Sua importância no continente asiático é notável, sendo chamada de “madeira dos pobres” na Índia, “amigo das pessoas” na China, “irmão” no Vietnã e “planta dos mil

usos” no Japão. Teve tanta influência nesses povos da Ásia tropical que teorias arqueológicas (FARRELY, 1996) delimitam uma *Idade do Bambu*, similarmente a uma Idade do Bronze. O bambu é comparado em importância ao gado, ao trigo e ao algodão. Existem flautas petrificadas de nove mil anos em Henan, na China, sendo os artefatos mais antigos de bambu já encontrados. A Figura 12 exemplifica diversos usos contemporâneos do bambu no mundo.



Figura 12 - Organograma de usos do bambu
 Fonte: www.guadubamboo.com/uses-of-bamboo

1.2.3.1. CONSTRUÇÕES

Em construções tradicionais com bambu são utilizados os colmos inteiros de espécies de grande porte. Os encaixes e fixações dos colmos (Figura 13) são realizados levando em consideração as características únicas do material, como a alta tendência ao fendilhamento e o interior oco. Padovan (2010) fez um levantamento extenso das

tecnologias de conexão de colmos de bambu, explorando os pontos positivos e negativos de cada uma.



Figura 13 - Encaixes utilizados na construção com bambu
Fonte: Icheng (2011)

O bambu é vastamente utilizado para construções populares no continente asiático e em países sul-americanos, como a Colômbia, a Costa Rica e o Equador. Os colmos maiores são utilizados estruturalmente, enquanto os menores e mais finos são empregados em estruturas de telhado, em forros e em fechamentos laterais.

Há vilas na China onde o bambu é o principal material empregado na construção de casas (Figura 14a), devido a sua versatilidade e disponibilidade (DUNKELBERG, 1985). Na Indonésia, 70% das casas utilizam bambu em alguma parte, sendo que em 35% a estrutura é completamente feita com o material.

Em Mianmar e Bangladesh, 60% das casas são de bambu. Em Guayaquil, Equador, metade da população vive em casas de bambu, mais de 1 milhão de pessoas (BOTERO, CHARRY, *et al.*, 2006).

O bambu também é utilizado em construções contemporâneas. O arquiteto colombiano Símon Vélez projetou diversas estruturas utilizando colmos de bambu (Figura 14b), utilizando ligações preenchidas com concreto, chamadas Conexões Vélez, que apresentam excelente desempenho estrutural (DELGADO, 2006).



A

Figura 14 - Construções realizadas com colmos de bambu
 A: Casa de bambu em Xizhou, província de Yunnan, China.

B

B: Igreja Nuestra Señora de la Pobreza, do arquiteto Simón Velez.
 Fonte: Martínez (2012)

C

C: Casas populares de bambu em Manizales, Colômbia.
 Fonte: Segre (2003)

Programas de habitação popular se beneficiam do uso do bambu tubular por utilizar tecnologia de baixo custo, disponível e de fácil aplicação. Há projetos de sucesso de casas populares de bambu tubular na Costa Rica, no Equador e na Colômbia, como Projeto Malabar (Figura 14c), na cidade de Manizales. Uma pesquisa realizada no projeto habitacional costa-riquenho indica um índice de satisfação em 98% (PADOVAN, 2010). Quase todos os moradores entrevistados relataram que suas casas de bambu têm maior vida útil que as antigas, além da mesma aparência ou melhor.

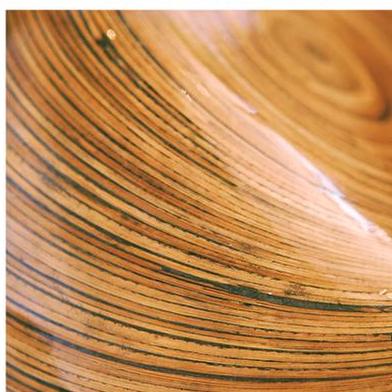
1.2.3.2. ARTESANATO E MOVELARIA

O bambu é um material vastamente utilizado na produção de produtos artesanais. Povos indígenas brasileiros utilizam as várias partes da planta para fazer diversos utensílios e artefatos (Figura 15a), como instrumentos musicais, flechas, adornos para o cabelo, e na confecção de vestimentas ritualísticas.

No meio rural e urbano são produzidos diversos objetos artesanais de bambu. Como exemplo, podem ser citados varas de pescar, cestarias, instrumentos musicais, luminárias, colheres e utensílios de cozinha, fontes, dentre outros. A Figura 15b ilustra a variedade de produtos artesanais feitos a partir do bambu.

Outra forma de artesanato válida de menção é uma técnica tradicional do Vietnã (VAN DER LUGT, VOGTLÄNDER e BREZET, 2008), chamada *Coiling*, onde lâminas finas de bambu são enroladas à mão e coladas seguindo um molde (Figura 15c).

Os móveis feitos com os colmos inteiros de bambu são utilizados há muitos anos no Brasil, produzidos nas chamadas bambuzerias, quase sempre seguindo uma linha tradicional. São em sua maioria peças para sala de estar e para jardins e áreas externas cobertas (Figura 15d).



A

Figura 15 - Móveis e artesanatos produzidos com bambu

B

A: Cestaria do povo Mbya. Fonte: Costa (2005)

C

B: Artesanato de bambu. Fonte: Nirmal (2010)

D

C: Poltrona Nong, por Jared Huke, produzida pelo processo de *coiling*. Fonte: Huke (2010)

D: Móveis produzidos com o colmo do bambu. Fonte: Assam (2014)

1.2.3.1. BIOMASSA

Outra possibilidade é a produção de biomassa a partir do bambu, em geral na transformação do colmos em carvão ou álcool. O poder calorífico do carvão de bambu é comparável ao eucalipto, podendo ser ainda maior dependendo da espécie (BRITO, TOMAZELLO FILHO e SALGADO, 1987). O ativado carvão de bambu também é utilizado como filtro para tratamento de água e esgoto.

O bambu pode ter um alto rendimento na produção de álcool. Como algumas espécies contêm muitos açúcares em seu colmo, pode-se chegar a produzir 140 litros de álcool por tonelada de bambu (AZZINI, ARRUDA, *et al.*, 1987), superiores aos 90 litros médios por tonelada de cana-de-açúcar.

1.2.3.1. PAPEL E CELULOSE

O bambu também é uma boa fonte de celulose para produção de papel. As fibras do bambu têm grande resistência ao rasgamento e são longas, de 2,5mm (GUIMARÃES, MOVACK e BOTARO, 2010), entre o pinus (3,5mm) e o eucalipto (1mm). A produção mundial de papel de bambu ultrapassa 2 milhões de toneladas por ano.

O Brasil também produz papel de bambu. O Grupo Industrial João Santos fabrica há mais de 25 anos papel de bambu nos estados de Pernambuco e Maranhão, com o foco em embalagens, sacos de cimento e cartonados. Sua produção média é de 90 mil toneladas por ano (FOELKEL, 2011).

1.3. O BAMBU LAMINADO COLADO

1.3.1. PRODUTOS INDUSTRIAIS DE BAMBU

O colmo inteiro do bambu traz certas limitações para sua utilização no *design* de móveis. Seu formato cônico e suas variações dimensionais restringem as opções de desenho de mobiliário (VAN DER LUGT, VOGTLÄNDER e BREZET, 2008). Desta forma, o colmo traz dificuldades para a montagem de peças mais precisas, além de quase inviabilizar a reposição de partes quebradas ou defeituosas com as mesmas dimensões. Além disso, a utilização do bambu cilíndrico traz uma imagem do tradicional e do popular, o que pode não ser a intenção do *designer*.

Existem fortuitos casos de aplicação do colmo cilíndrico de bambu onde se percebe uma descaracterização de seus valores simbólicos característicos, sendo alguns exemplos ilustrados pela Figura 16. A industrialização do bambu é uma opção a ser considerada quando se necessita de usos mais universais do material, tanto pelas suas características físicas e mecânicas quanto pelos seus atributos estéticos e simbólicos.



Figura 16 - Aplicações do colmo inteiro de bambu no *design* contemporâneo
Fonte: Van der Lugt (2008)

1.3.1.1. TIPOS DE PARTÍCULAS

Os produtos industriais de bambu, assim como os produtos madeireiros, podem ser classificados pelo tamanho e pela geometria da partícula utilizada (SHEN-XUE, QI-SHENG e SHU-HAI, 2002). Também são classificados pelo processo de fabricação, estrutura e uso (MOIZÉS, 2007). As partículas mais comumente produzidas a partir de colmos de bambu são folhas, lâminas, *chips* e fibras, conforme exemplificado na Figura 17.

A partir dessas partículas, vários produtos industriais de bambu podem ser produzidos. Com as folhas são produzidos compensados, painéis laminados e esteiras, além de ser utilizado como acabamento em outros materiais. Com as lâminas são produzidos o Bambu Laminado Colado (BaLC), pisos de bambu, e o painel de lâminas trançadas, conhecido como *Bamboo Mat Board* (BMB). Com *chips* e fibras são produzidos materiais similares aos produtos industriais da madeira, como o OSB e o MDF. Um material novo, chamado de *Strand Woven Bamboo* (SWB), é produzido a partir do colmo planificado. Segundo Moizés (2007), a folha tem o menor aproveitamento de matéria-prima e a fibra o maior aproveitamento. Em suma, os produtos industriais de melhor aplicação da produção de mobiliário são o BaLC, BMB e SWB (VAN DER LUGT, VOGTLÄNDER e BREZET, 2008).

1.3.1.1. BMB

O BMB (Figura 18a) é produzido a partir de lâminas finas de bambu, entre 1mm e 2mm de espessura. São trançadas e prensadas várias camadas com aplicação de calor e pressão. As chapas resultantes são densas e duras, e têm a vantagem de poderem ser prensadas em moldes para produzir peças em variadas formas.

O BMB é utilizado principalmente para produzir superfícies finas com resistência e dureza, como em utensílios de cozinha, telhados e tampos de mesa. Suas características mais marcantes são a alta resistência à água, a baixa toxidez e a possibilidade de produzir peças resistentes com pouca espessura.



A Figura 17 - Partículas produzidas a partir do colmo do bambu
B A: Folhas | B: Lâminas | C: *Chips* | D: Fibras
C Fonte: Kumar (2012)
D

1.3.1.2. SWB

O SWB (Figura 18b) é um material recentemente inserido na indústria, desenvolvido para ser uma opção de maior rendimento do que o BaLC. O colmo planificado é colado em camadas, utilizando calor e pressão para reduzir os espaços internos do material.

Devido a sua técnica de produção pode-se utilizar peças de colmos planificados de vários tamanhos de formas, sem a necessidade do rigor dimensional do BaLC. Pode-se inclusive utilizar restos e aparas para produzir novas peças. Assim aproveita-se ao máximo a alta produtividade do bambu.

A desvantagem é a densificação do material. Devido à prensagem necessária para reduzir os espaços e falhas entre as partículas de bambu, o material acaba aumentando sua densidade, ficando com aproximadamente 1000 kg/m^3 , sem melhorar suas características mecânicas. Por isso é mais indicado para usos onde o peso do material seja compensado pela demanda em dureza, como em pisos. Outros pontos negativos são a grande quantidade de adesivo utilizado, a tendência a produzir farpas quando usinado e a descaracterização sensorial da textura do bambu, que fica com aparência de madeira (VAN DER LUGT, VOGTLÄNDER e BREZET, 2008).

Estudos estão sendo realizados com novas resinas e adesivos para aumentar ainda mais sua dureza superficial (CHEN, JIANG, *et al.*, 2011), como forma de especializá-lo para uso externo. Ele naturalmente tem maior resistência ao desbotamento causado pelo sol do que outros compósitos de bambu e madeira. Por utilizar uma etapa de prensagem em sua produção, ele pode também usar moldes para adquirir novas texturas, produzindo peças em grandes dimensões com padronagens diferentes.



A Figura 18 - produtos industriais de bambu: BMB e SWB
A: Matéria-prima para produção BMB e sua forma final. Fonte: Shröder (2014)
B B: Matéria-prima para produção SWB e sua forma final. Fonte: Shröder (2014)

1.3.1.3. BAMBU LAMINADO COLADO

O BaLC (Figuras 19 e 20) é produzido a partir de ripas usinadas de bambu. É um material com características estruturais, podendo também ser usado pelas suas propriedades superficiais. Ele combina a resistência mecânica das fibras, ainda relativamente intactas, com a padronização de medidas e homogeneização do material, distribuindo aleatoriamente as diferentes seções e partes do colmo, incluindo o nó. Dessa forma, o material mantém seu desempenho mecânico uniforme em toda sua extensão. A tecnologia também reduz o problema da baixa resistência ao cisalhamento do bambu, permitindo que o material tenha uma utilização mais ampla e racional.

O BaLC oferece flexibilidade para produção de mobiliário e compete no mercado com móveis nobres de madeira sólida. Van der Lugt *et al.* (2008) aponta que ele é o melhor composto de bambu para a produção de mobiliário. Suas principais qualidades são a possibilidade de produzir peças de várias dimensões, qualidade homogênea, boas propriedades táteis, facilidade para criar peças curvas, e a possibilidade de novas aplicações aproveitando as camadas do material.

Pereira e Beraldo (2007) realizaram um estudo detalhado com o BaLC produzido com a espécie *Dendrocalamus giganteus*. O material apresentou massa específica de $0,79\text{g/cm}^3$, resistência à compressão paralela de 65,5 MPa, módulo de elasticidade de 13600 MPa e módulo de ruptura de 99 MPa. Os resultados são muito similares à madeira laminada colada (MIOTTO e DIAS, 2010).

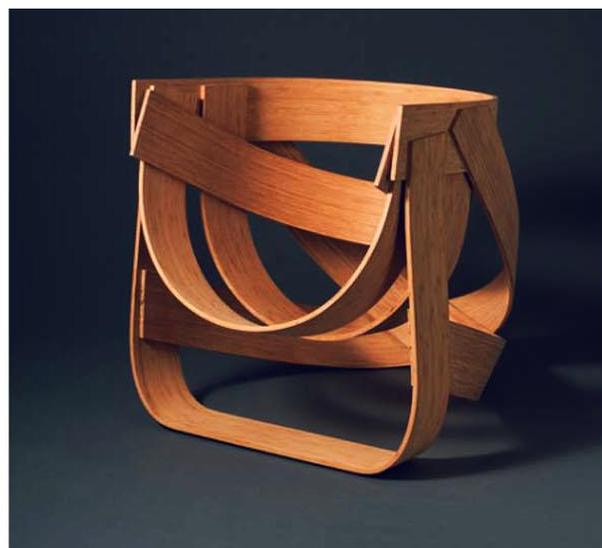
1.3.1.1. OUTROS PRODUTOS

Outros produtos podem ser produzidos a partir do bambu, como o OSB, o MDF, compensados e aglomerados, mas ainda não têm muita disponibilidade na indústria, em parte por ainda estarem em desenvolvimento.



| | |
|---|---|
| A | B |
| C | D |

Figura 19 - O BaLC e algumas de suas aplicações
 A: Piso . Fonte: Floor (2014)
 B: Utensílios de cozinha. Fonte: Kinlenhon (2014)
 C: Quadro de bicicleta. Fonte: Hacker (2010)
 D: Celular Moto X Bambu. Fonte: Motorola (2014)



| | | |
|----------|----------|--|
| A | B | <p>Figura 20 - Móveis produzidos com o BaLC</p> <p>A: Poltrona Bambu nº 5, de Paulo Foggiano.</p> <p>B: Spring Chair, de Anthony Marschak.</p> <p>C: Flexible Stool, da Grass Studio.</p> <p>D: Banco Pequeno, de Marko Brajovic.</p> <p>E: Check Bamboo Chair, de James Lear.</p> <p>F: Bamboo Chair, de Tejo Remy.</p> |
| C | D | |
| E | F | |

Um dos novos compósitos de bambu mais estudados no Brasil é o OSB de bambu. A produção é muito similar ao OSB de madeira, o que é uma vantagem, pois pode utilizar de um processo industrial já consolidado no país. Miskalo (2009) estudou a produção de OSB a partir da espécie *D. giganteus* com ótimos resultados, utilizando menos resina que a madeira para produzir uma chapa de resistência similar. Os *chips* produzidos com o bambu no corte tangencial são mais finos e com melhor qualidade superficial que os *chips* de pinus (PAPADOPOULOS, HILL, *et al.*, 2004).

Os compensados de bambu, segundo Kai e Xuhe (2006), são um excelente material de engenharia. Podem ser manufaturados em grandes dimensões, possuem alta resistência, apresentam estabilidade em suas dimensões e pouca deformação. Atualmente seus usos mais frequentes são em pisos estruturais de grandes veículos (caminhões e ônibus), na produção de painéis modulares, em aplicações de engenharia civil e em fechamentos laterais.

O piso de bambu é composto por lâminas retiradas de colmos maduros, a partir de 4 anos de idade. Lee e Yihai (2003) desenvolveram um estudo comparando propriedades físico-mecânicas de pisos de bambu e de carvalho vermelho. Os autores concluíram que o piso de bambu apresenta menor massa específica do que o piso de madeira, além de maior estabilidade dimensional e dureza, características críticas em pisos.

1.3.2. PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BAMBU LAMINADO COLADO

O processo de produção do BaLC segue os mesmos princípios da Madeira Laminada Colada (MLC). Porém, são necessárias adaptações devido à geometria tubular do bambu. A Figura 21 ilustra as principais etapas para a produção do BaLC. O colmo é cortado em seções; a seção de colmo é cortada em ripas; as ripas são esquadrejadas e denominadas lâminas; as lâminas, por fim, são coladas. Em geral, o tratamento preservativo contra organismo xilófagos é aplicado nas lâminas.

A coleta do bambu é realizada pelo produtor, e depende do seu plano de manejo. Geralmente são retirados os colmos maduros do centro da touceira (quando são bambus paquimorfos), deixando o colmo cortado com seus galhos e folhas no próprio local, para perder parte da umidade e da seiva. Em seguida, os galhos são retirados e o colmo é cortado em seções de 2 a 6 metros, para facilitar a retirada do bambu do local e o transporte em carretas.

Idealmente deve-se ter controle sobre qual parte do colmo é utilizada para a produção do BaLC (basal, mediana ou topo), pois as características físicas e mecânicas variam ao longo do comprimento do colmo de bambu. A parte basal do colmo tem maior módulo de elasticidade e densidade específica, porém maior concentração de amido. O topo do bambu tem pouca resistência mecânica. A parte mediana do colmo é a mais utilizada para a produção de compósitos por ter características equilibradas, menor incidência de deformações e conicidade mais regular (BERNDSSEN, KLITZKE, *et al.*, 2010). Será apresentado a seguir uma breve explicação de cada etapa da produção do BaLC.

1.3.2.1. COLHEITA E TRANSPORTE DOS COLMOS

A colheita do bambu depende do tipo de distribuição da planta (paquimorfo ou leptomorfo). As ferramentas mais utilizadas são o serrote, a machadinha e a serra elétrica. Depois de colhidos, os colmos são lavados para retirada de parasitas superficiais e partículas aderidas à casca (Figura 22a).

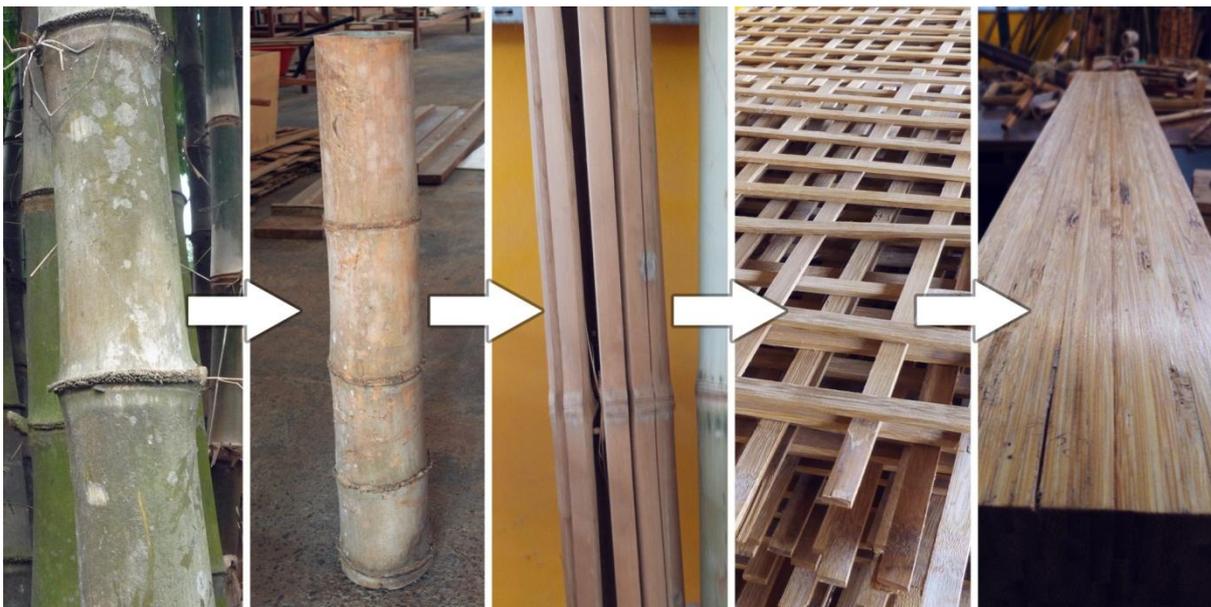


Figura 21 - Etapas de produção do BaLC
Fonte: autor

Os colmos então são cortados em peças regulares e transportados para a fábrica. No sistema produtivo chinês é comum a separação entre a fábrica de ripas de bambu e a fábrica do produto final, o BaLC (VOGTLÄNDER, VAN DER LUGT e BREZET, 2010).

1.3.2.1. CORTE DO COLMO EM SEÇÕES

Os colmos são cortados em seções, geralmente de 2,5 metros. Para isso é utilizado uma serra circular de bancada. Em processos mais artesanais, pode ser utilizado um serrote manual. As seções de colmo são então classificadas quanto à espessura e posição no colmo (Figura 22b).

1.3.2.1. PRODUÇÃO DE RIPAS

A seção é então cortada em ripas, sendo que há dois processos principais para tal: o fendilhameto e o corte paralelo. O fendilhamento é realizado de forma manual ou mecanizada, utilizando uma faca de corte em forma de estrela (Figura 23a).

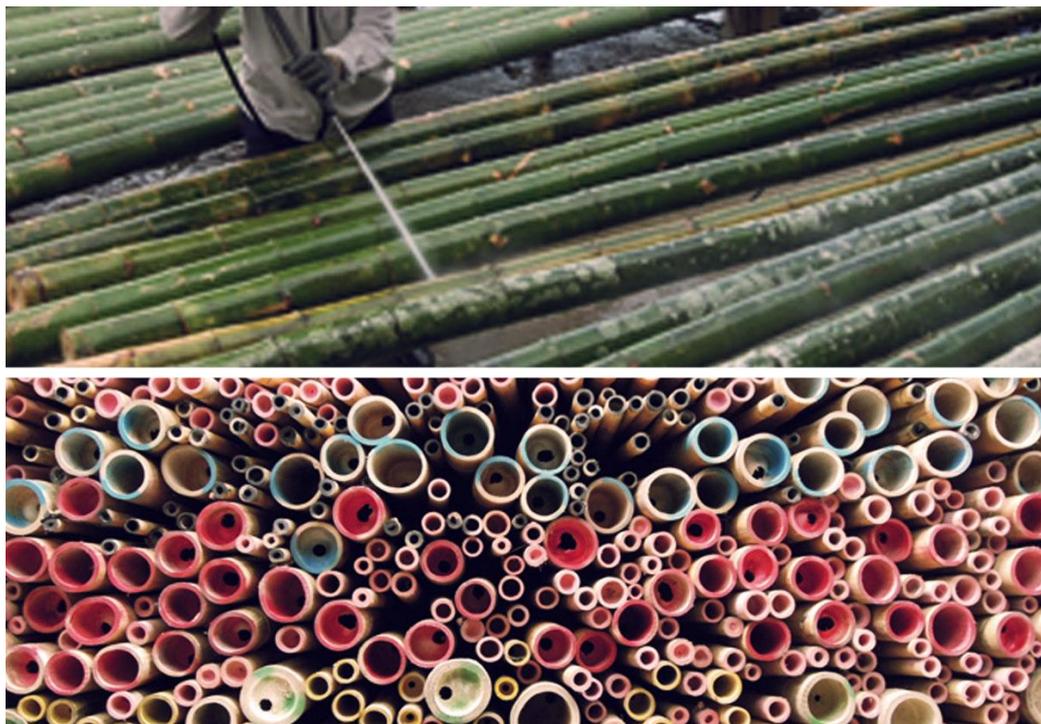


Figura 22 - Preparação dos colmos para usinagem
A: Lavagem do colmo do bambu. Fonte: Emery (2013)
B: Seções de colmo classificadas com a utilização de cores. Emery (2013)



Figura 23 - Ferramentas para confecção de ripas de bambu a partir de colmos
A: Faca de corte para fendilhamento do colmo em ripas. Fonte: Jeff (2012)
B: Serra de mesa com discos duplos paralelos. Fonte: Guzman (2010)

Esse processo cria um número de ripas já determinado, havendo então uma variação na largura das ripas. Para minimizar a variação as seções de colmo são classificadas pelo diâmetro e cortadas por facas de corte de diferentes tamanhos. As ripas, ao final, não têm nenhuma das quatro faces paralelas.

No segundo processo, as ripas são cortadas em serra de mesa com discos duplos paralelos (Figura 23b) para garantir ripas com largura padronizada e paredes paralelas, facilitando posteriormente a laminação. Esse processo tende a gerar maior desperdício de material, pois frequentemente há sobras de ripas entre os cortes.

1.3.2.2. PRODUÇÃO DE LÂMINAS

As ripas então são usinadas em lâminas. Essa é uma etapa crítica; se as lâminas apresentarem muita diferença dimensional, podem ocorrer defeitos na colagem. Há um processo mais artesanal para o esquadreamento das ripas, utilizando plaina e desgrosso, porém é mais trabalhoso e tende a produzir lâminas pouco padronizadas, comprometendo o resultado final.

É recomendado, portanto, utilizar de maquinário específico para essa função (Figura 24), constituído de quatro fresas com regulação de posição e avanço mecânico. Com esse equipamento é possível aplainar as quatro faces simultaneamente, tendo o controle preciso das dimensões finais da lâmina. Mesmo com essa produção mais especializada é preciso realizar uma etapa de controle de qualidade das lâminas, pois algumas podem apresentar vestígios da parte interna ou da casca do bambu, o que podem proporcionar falhas na colagem.

1.3.2.1. SECAGEM

A secagem das lâminas pode ocorrer em galpão aberto (Figura 25a), naturalmente ventilado, não havendo assim a necessidade de uso de energia elétrica ou de equipamento próprio. Porém é um processo mais lento, e a fábrica pode não dispor de área útil para construir galpões o bastante.

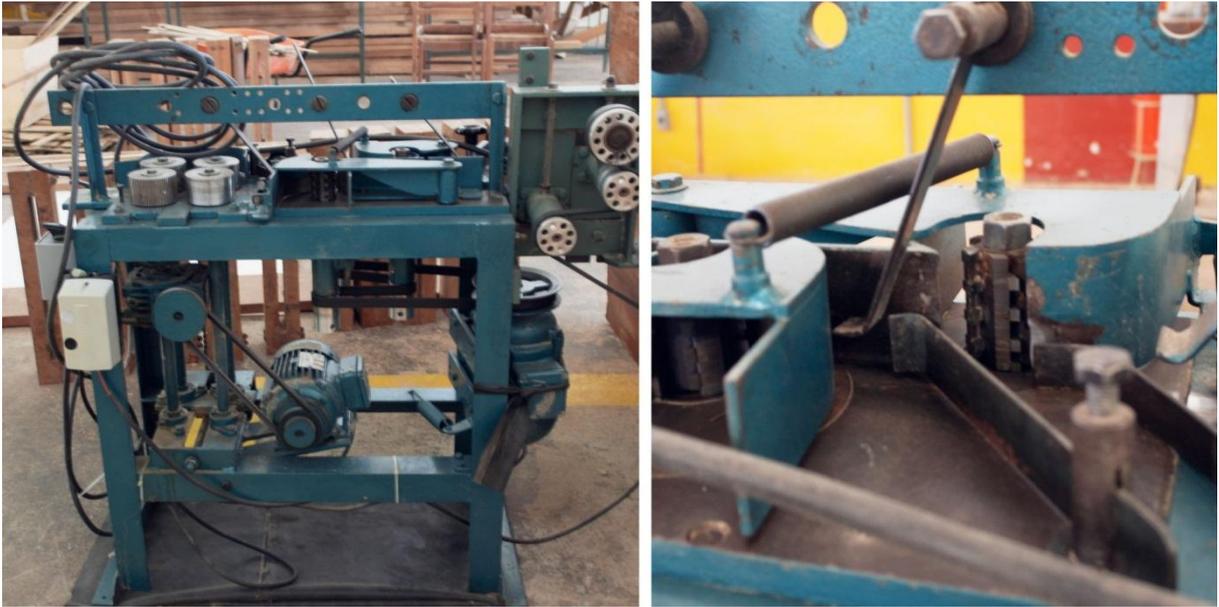


Figura 24 - Máquina laminadora de ripas de bambu
Fonte: autor

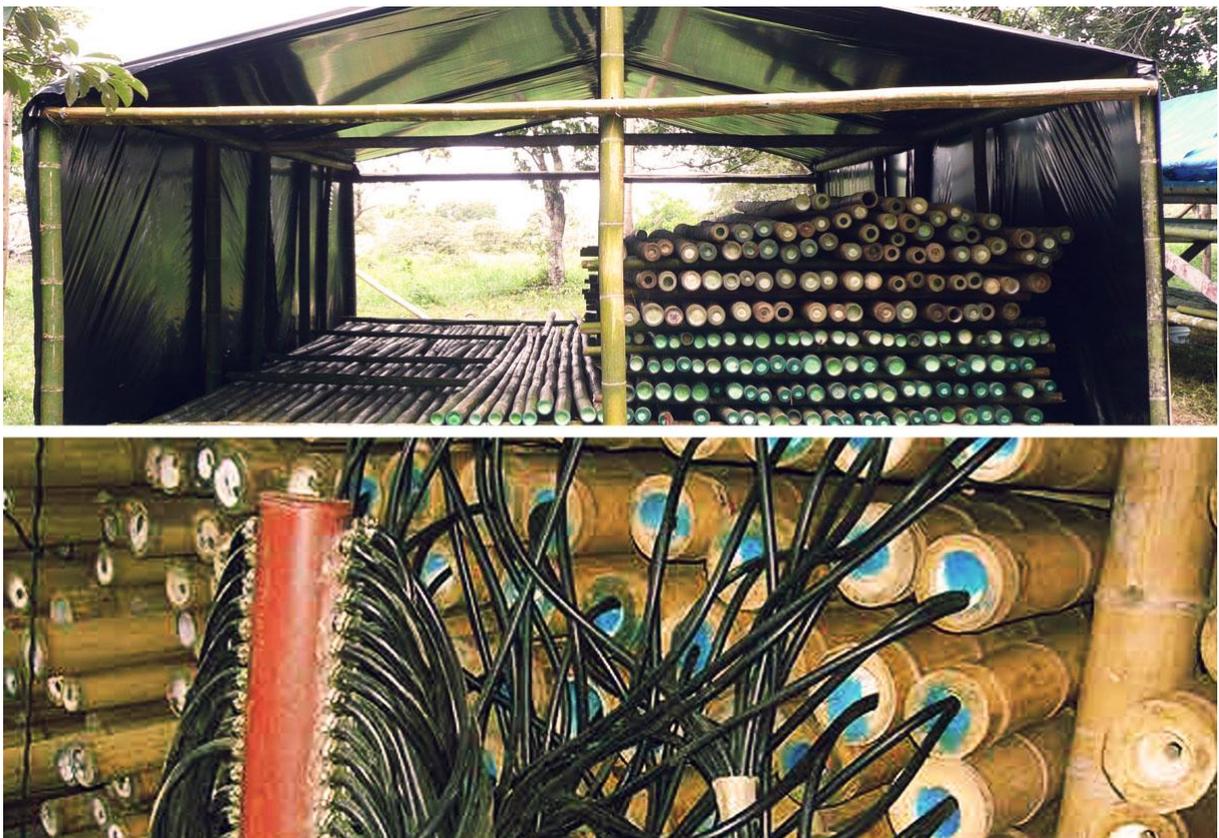


Figura 25 - Processos de secagem do bambu
A: Secagem dos colmos em galpão aberto. Fonte: Yates (2011)
B: Secagem artificial do bambu por insuflação de ar aquecido. Fonte: Stamm (2013)

Nos casos de indisponibilidade de secagem em galpões, a secagem artificial (Figura 25b) pode ser uma solução. Não é uma opção devidamente aplicada no Brasil, porém na Colômbia utiliza-se um método de circulação forçada de ar quente através de acessos abertos nos diafragmas do bambu. Dessa forma reduz-se significativamente o tempo de secagem. Esse procedimento ainda não conta com uma investigação mais profunda a nível científico, de forma a especificar os parâmetros ideais de temperatura, umidade, fluxo de ar e tempo de secagem, necessitando de mais estudos para corroborar sua viabilidade do ponto de vista técnico e econômico. Supõe-se também que os resultados variem de acordo com o clima, o teor de umidade e a espécie de bambu utilizada.

1.3.2.2. TRATAMENTO PRESERVATIVO

Os tratamentos preservativos podem ser aplicados na seção de colmo, na ripa ou na lâmina, dependendo do modelo tecnológico utilizado. Os tratamentos por imersão geralmente são aplicados no colmo ou na ripa, esta por ocupar menos volume e aumentar a área de contato do composto químico.

Os tratamentos térmicos são realizados na lâmina, pois a facilidade de usinagem do material fica comprometida após a aplicação de calor. As lâminas necessitam de controle de qualidade posterior, pois tendem a sofrer deformações com a temperatura. Os tratamentos serão analisados em detalhe na seção 1.4.

1.3.2.3. COLAGEM E MONTAGEM

A colagem é realizada em várias etapas. Primeiro são produzidas camadas do material, realizando a colagem lateral das lâminas (Figura 26). Quando secas, as camadas são coladas umas sobre as outras, podendo ser montadas de várias formas diferentes (Figura 27). Cada tipo de montagem confere ao material final propriedades distintas. As camadas são geralmente montadas de forma perpendicular umas às outras, evitando a propensão ao cisalhamento do material.



Figura 26 - Processo de montagem do BaLC
Fonte: autor



Figura 27 - Padrões de montagem do BaLC
Fonte: Higuera (2014)

O adesivo utilizado é de essencial importância. Quase sempre se dá preferência a colas ambientalmente mais amigáveis, pois geralmente se pretende produzir BaLC com baixo impacto ambiental. Os novos adesivos ecológicos mais estudados atualmente no Brasil são os poliuretanos monocomponentes de origem vegetal advindos do óleo da mamona (*Ricinus communis*) (SILVA, 2006).

1.3.2.4. LIXAMENTO E ACABAMENTO

Depois da colagem, as bordas do BaLC devem ser cortadas para retirar falhas e atingirem as dimensões finais. Para isso é utilizado uma serra de bancada com trilho de avanço, apropriada para cortes retos de peças maiores. Dependendo da destinação do material pode-se lixar e aplicar diversos acabamentos à peça final, como seladoras, vernizes e resinas.

1.3.3. BAMBU LAMINADO COLADO NO BRASIL

A montagem de um compósito de lâminas lignocelulósicas coladas é anterior ao aparecimento do BaLC. No início do século passado surgiu a Madeira Laminada Colada (MLC), constituída pela sobreposição de lâminas de madeira de comprimentos variáveis unidas por encaixes. Foi um material desenvolvido na Alemanha em 1905 por Otto Hetzer, com o intuito de ser utilizado em estruturas (PEIXOTO, 2008).

As estruturas de madeira laminada começaram a ser utilizadas no Brasil na década de 1940, trazidas por engenheiros de origem europeia. Os sistemas laminados permitiram criar peças de madeira de vários tamanhos, distribuindo os defeitos da madeira pelo material de forma mais homogênea, e assim reduzindo a propensão a falhas e deformações. Outra possibilidade advinda dessa tecnologia foi a produção de peças curvas de grandes dimensões, sem perder as qualidades mecânicas.

A MLC tem uma resistência maior ao ataque de organismo xilófagos, como o cupim e diversos tipos de fungo, devido aos componentes do adesivo, geralmente com alguma toxicidade para esses organismos.

A pressão pela utilização de outras fontes de material lignocelulósico surgiu pela escassez de madeiras nativas de maior qualidade para a construção civil. O bambu, como relatado, é uma das opções utilizadas tradicionalmente em países asiáticos, e a tecnologia da MLC foi transferida para o bambu.

As primeiras patentes registradas nos Estados Unidos que utilizam alguma forma laminada do bambu datam entre 1927 e 1934 (LANE, 1927) (JORDAN, 1930) (PIRNIE, 1934). Não há registros do primeiro sistema laminado de bambu utilizado no Brasil, porém o primeiro artigo nacional sobre o material é provavelmente do Dr. Edgar Carrasco, com o nome de “Vigas retas de bambu laminado colado” (CARRASCO, 1995).

Breno Barelli (2009) estudou em detalhe a cadeia produtiva do BaLC no Brasil, concluindo que ainda há muito o que fazer para existir uma produção efetiva do material em território nacional. Segundo ele, um dos maiores desafios para a produção de

produtos em bambu no país é a disponibilidade de matéria-prima de forma padronizada e orientada. Outras questões envolvidas nesse problema são a falta de especialização de mão de obra, o alto custo do adesivo e a falta de fabricantes de equipamentos específicos para o material.

No Brasil há poucas unidades de fornecimento de mudas, o que aumenta seu preço de venda e prejudica a consolidação de áreas plantadas destinadas à produção do compósito industrial. São necessários ainda estudos mais detalhados das técnicas agronômicas voltadas às características de solo e distribuição de terras do Brasil, com aplicação na produção das espécies classificadas como prioritárias.

A empresa Laminados Taquaruçu Indústria e Comércio, situada em Petrópolis – RJ, desenvolveu a partir de 2006 e lançou em março de 2007 uma série de maquinários especializados para a produção de laminados de bambu, fruto de desenvolvimento tecnológico realizado pelos Sr. Edson Marques da Rocha e Sr. Délio Cunha (BARELLI, 2009). Uma das várias inovações relatadas (BAMBU-BRASIL, 2013) foi a composição de uma liga metálica mais adequada ao corte do bambu, por ele conter uma quantidade maior de sílica que as madeiras tropicais.

A empresa, única em território nacional a produzir maquinário específico para o processamento do bambu, encerrou suas atividades em 2008. O motivo, segundo especulações no grupo de discussão Bambu Brasil, foi porque *“(...) a demanda ainda não existia aparentemente, já que a importação de máquinas deste tipo no Brasil era insignificante. A falta de compradores mesmo depois do lançamento demonstra que também não havia uma demanda latente posterior.”* (BAMBU-BRASIL, 2013)

Há uma intensa atividade de pesquisa sobre o material nos Institutos Federais de Ensino Superior (IFES) no Brasil. Barelli encontrou em setembro de 2008 na plataforma Lattes, do CNPQ, 411 pesquisadores doutores com alguma pesquisa ou publicação com o tema “bambu”, sendo 19 com o tema “bambu laminado”. Em 2014 a plataforma Lattes retornou 40 doutores com alguma pesquisa em “bambu laminado”, um acréscimo de 23 pesquisadores e pesquisadoras. A lista completa dos pesquisadores pode ser verificada no quadro do anexo IV.

Como pode-se perceber, nos últimos cinco anos o número de doutores pesquisando sobre o BaLC em instituições de ensino superior cresceu significativamente, incluindo novas IFES em diversas regiões do Brasil.

No segmento comercial, o Brasil mostra crescente importação de pequenos objetos em bambu laminado de países asiáticos. Barelli (2009) aponta que esse é um passo importante para a consolidação da cadeia nacional, pois estimula o mercado de compra de bens de consumo em bambu, criando uma demanda de produtos em BaLC. Espera-se que posteriormente outros setores da indústria nacional possam suprir essa demanda com a produção do material no Brasil.

1.4. TRATAMENTOS PRESERVATIVOS

Uma das maiores preocupações de potenciais usuários de produtos em bambu é relacionada à durabilidade. Culturalmente, o bambu é reconhecido como sendo muito suscetível a ataques de organismo xilófagos. Realmente, a durabilidade natural do bambu é, em geral, baixa.

Existem diversas formas de se melhorar a durabilidade do bambu. Os principais métodos de se preservar o material serão relatados a seguir, classificados em três tipos de tratamentos. Os tradicionais são métodos desenvolvidos em meio natural, utilizando recursos locais, sem recursos industriais. Muitos não são comprovados cientificamente. Os métodos convencionais são os mais utilizados pela indústria, e fazem uso de produtos químicos aplicados em larga escala. O tratamento térmico é o foco deste trabalho, e utiliza o calor para degradar o amido do bambu, sendo eficiente e de baixo impacto ambiental.

1.4.1. DURABILIDADE NATURAL DO BAMBU

O bambu, em termos gerais, é menos durável que a madeira. Segundo Liese (2003), o colmo não apresenta compostos químicos próprios para defesa contra fungos e insetos, dependendo do isolamento de sua casca. Sua geometria geralmente oca também facilita a deterioração.

Há poucos estudos evidenciando a diferença da durabilidade natural de espécies de bambu, o que dificulta a escolha da cultura mais adequada para uso industrial. Segundo Matoski (2005), a estrutura anatômica e a composição química do colmo são os principais fatores determinantes da durabilidade natural do bambu. O conteúdo das células do parênquima, em especial o amido, é um atrativo para insetos, fungos e bactérias (BAI, 1996).

Kumar *et al.* (1994) estudaram a durabilidade natural de sete espécies de bambu, utilizando o método de campo de apodrecimento⁴. O resultado pode ser conferido na Tabela 4.

A broca do bambu (*Dinoderus minutus*) é o principal inseto que ataca o colmo do bambu. Ela provoca perda de peso considerável, principalmente em bambus tropicais, sendo o maior causador de danos em produtos e bambu nas Américas. A intensidade do ataque da broca depende, dentre outros, do teor de amido presente no colmo, da espécie de bambu, da idade dos colmos, da época da colheita e do tipo de tratamento aplicado (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).

Tabela 4 - Durabilidade natural de algumas espécies de bambu (ensaio de campo)

| Espécie | máximo (meses) | mínimo (meses) | média (meses) |
|-----------------------------------|----------------|----------------|---------------|
| <i>Bambusa nutans</i> | 18 | 6 | 9,8 |
| <i>Dendrocalamus membranaceus</i> | 21 | 9 | 13,0 |
| <i>Dendrocalamus strictus</i> | 30 | 18 | 19,3 |
| <i>Melocanna bambusoides</i> | 24 | 9 | 19,9 |
| <i>Bambusa polymorpha</i> | 84 | 12 | 23,4 |
| <i>Bambusa balcooa</i> | - | - | 32,0 |
| <i>Bambusa tulda</i> | - | - | 41,0 |

Fonte: Adaptado de Kumar *et al.* (1994)

Nogueira *et al.* (2007) compararam a resistência ao ataque de insetos de dois tipos de vigas laminadas de bambu, um produzido com a parte interna e outro com a parte externa da parede do colmo de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*. Parte do material foi exposta a insetos *D. minutus*. A pesquisa apontou diferença significativa nas propriedades mecânicas do material exposto. Os insetos mostraram preferência ao material produzido com a parte interna da parede do colmo.

⁴ Campo de apodrecimento é um ensaio realizado com madeira e outros produtos naturais para estudar a durabilidade. O material é colocado em contato direto com o solo, em geral parcialmente enterrado, sem proteção das intempéries. É um ensaio longo, podendo durar mais de 10 anos (ASTM, 2006).

1.4.2. TRATAMENTOS TRADICIONAIS

Comunidades tradicionais em diversos lugares do planeta utilizam o bambu como matéria-prima. Seus habitantes desenvolveram formas de tratar o material para aumentar sua durabilidade natural. São métodos que não utilizam produtos químicos complexos e não oferecem grandes riscos aos seres humanos e ao meio ambiente.

Esses métodos foram desenvolvidos em meio natural, e também são denominados “cura do bambu”. São técnicas que não utilizam produtos industriais, se atendo aos recursos locais. Também não precisam de equipamentos sofisticados, muitas vezes sendo produzidos no próprio local de produção. Quase sempre há a necessidade de pouco treinamento para a mão de obra envolvida.

As formas tradicionais de tratamento geralmente são pouco creditadas no meio acadêmico, por faltarem embasamento teórico e rigor científico. Porém alguns estudos reconhecem seu valor, pois sua eficiência e eficácia passaram pelos crivos da tradição e do tempo.

A principal medida para a preservação do colmo de bambu é a secagem. Com ela, pretende-se reduzir a umidade para inviabilizar o ataque de fungos. Outras medidas a ser consideradas são o transporte dos colmos com segurança do local de colheita para o local de secagem, o depósito e armazenagem do material, e os cuidados tomados na fase de uso, evitando o contato do material com a água e as intempéries.

O arquiteto Simón Vélez (*VÉLEZ apud ALMEIDA, 2011*) assinala que a melhor proteção é um bom projeto. De fato, os detalhes do projeto podem fazer uma grande diferença na durabilidade do material. Nas construções que utilizam colmos inteiros de bambu, evita-se deixá-los em contato com o solo e com a umidade, ficando sempre protegidos das intempéries.

Assim como outras formas de tratamento, são três os principais efeitos pretendidos: reduzir a quantidade de umidade em equilíbrio, neutralizar o amido do colmo, sendo uma das opções o emprego de substâncias que sejam tóxicas aos organismos xilófagos (*HIDALGO-LÓPEZ, 2003*).

Dentre os métodos tradicionais (desenvolvidos ao longo do tempo de forma cultural) e usuais (sem controle preciso ou tecnologia industrial) de tratamento do bambu, os mais utilizados são os cuidados na colheita, a maturação na mata, a imersão em água, o banho quente-frio, a fumigação e uso de calor.

1.4.2.1. COLHEITA

A colheita não é exatamente um tratamento, sendo mais um conjunto comum de práticas utilizadas com o intuito de potencializar a durabilidade natural do colmo do bambu.

A idade da colheita é a principal medida utilizada. Deve-se ter certeza que os colmos estão maduros. Hidalgo-López (1974) diz que o bambu pode ser considerado maduro a partir de três anos de idade, dependendo da espécie. Há uma idade limite para a colheita, em que o bambu fica muito antigo e lignificado, perdendo assim suas características de resistência mecânica.

Ghavami e Marinho (2005) dizem que o colmo deve ser colhido em seu grau máximo de maturação, porém a maturidade máxima do colmo é uma questão relativa. Liese (2003) realizou testes para medir essa maturação máxima, mas os estudos apresentaram valores muito contraditórios. Pereira e Beraldo (2007) explicam que os colmos podem ser avaliados quanto à sua idade pela aparência de sua casca, sendo método que necessita de profissionais acostumados a esse parâmetro subjetivo, e ainda assim pode levar a erros. A melhor forma de ter certeza da idade do colmo é pelo manejo adequado, marcando os bambus ainda jovens e tendo assim uma referência exata de quando eles brotaram.

Ubidia (2002) recomenda a colheita no período chuvoso. Após a brotação os insetos tendem a estar menos ativos, e pode haver menos amido no colmo. Mas as células parenquimáticas ficam mais “macias” nesse período, e o profissional realizando a colheita do bambu na época chuvosa pode danificar os colmos jovens que estão em brotação (ALMEIDA, 2011).

Perea *et al.* (2003) realizaram estudos que corroboram o conhecimento tradicional de colher os colmos nos meses secos. A tradição no Brasil é de colher o bambu nos meses sem a letra “R”, ou seja, entre maio e agosto (ALMEIDA, 2011). É a estação do inverno, onde a umidade é mais baixa. A colheita deve ser feita à noite, quando a planta não está realizando a fotossíntese (UBIDIA, 2002).

A tradição também faz relação quanto às fases da lua. A lua tem um significado rítmico intimamente ligado ao ser humano e suas atividades na natureza, sendo uma variável ambiental muito observada, principalmente em meio rural. A tradição recomenda colher na lua minguante, que supostamente é quando o bambu está “reduzindo suas atividades” (PEREA, VILLEGAS, *et al.*, 2003). No entanto, Simão (1958) realizou um estudo específico sobre as fases da lua, e não encontrou nenhuma influência da lua na durabilidade do bambu.

1.4.2.2. MATURAÇÃO NO LOCAL DA COLHEITA

O método consiste em cortar o colmo em sua base e não retirá-lo do local, deixando ele com os ramos e as folhas, preso ou escorado nos colmos vizinhos, ou encostados em toras de madeira ou em pedras, mas sempre em posição vertical. Ele deve ficar em torno de um mês na mata, e nota-se que o tempo foi o bastante quando as folhas estiverem bem secas.

A transpiração das folhas faz com que o colmo perca a umidade de forma gradativa e natural, evitando fendilhamentos. A transpiração também contribui para a redução do amido. E como o bambu ainda está na mata, ele permanece no microclima criado pela touceira, com temperatura e umidade mais favoráveis a sua secagem gradativa, o que minimiza as tensões internas. O amido do colmo fermenta com a ação de bactérias e se transforma em álcool, então ao mesmo tempo destrói o alimento também cria compostos nocivos aos fungos e insetos.

Uma vulnerabilidade do processo é a extremidade do colmo cortado que fica exposta, podendo desta forma ser a porta de entrada para fungos e insetos. Recomenda-

se, portanto, aplicar algum repelente natural nas extremidades cortadas bem como nas partes laterais onde foram retirados os ramos.

Montoya (2002) realizou um estudo da eficiência desse tratamento, que se mostrou bastante eficaz para as espécies estudadas, em especial a *Phyllostachys pubescens*. Como problema relatou grande variação na efetividade do tratamento, possivelmente pela falta de controle das variáveis.

1.4.2.3. IMERSÃO EM ÁGUA

O colmo é cortado e retirado ramos e folhas, os diafragmas são perfurados com um vergalhão de metal, e então é imerso em água parada ou corrente. No meio rural, o colmo é colocado em lagos ou rios, presos a pesos para garantir sua imersão. Esse método é bastante utilizado nas Américas do Sul e Central (UBIDIA, 2002), sendo o colmo muitas vezes transportado por via fluvial (Figura 28a).

A finalidade da imersão é forçar o processo de lixiviação do amido e o favorecimento ao ataque de bactérias anaeróbicas. O açúcar no bambu fica assim fermentado, de forma similar ao processo de cura na mata.

O bambu deve ser mantido imerso em água de 2 semanas a 3 meses, dependendo muito da espécie, do uso ou não de água corrente, bem como do resultado que se quer ter. A imersão do colmo por tempo demasiado costuma ter um resultado negativo, danificando as propriedades mecânicas do material e deixando-o com uma cor indesejada.

Esse método é usado para produção de cestarias, mantendo o colmo pouco tempo em água (cerca de 2 semanas) para facilitar seu corte em tiras finas e longas. Também pode ser utilizado como um tratamento prévio para um posterior tratamento químico, por imersão ou pressão.

1.4.2.4. BANHO QUENTE-FRIO

Os colmos são colocados em um tanque com água aquecida (Figura 28b) até o ponto de pré-fervura (por volta de 90°C). Depois de meia hora a uma hora, ele é colocado

em outro tanque com água fria por algumas horas. Essas etapas podem se repetir diversas vezes.

O mecanismo por trás dessa técnica é aumentar a solubilidade do amido, que fica mais suscetível à lixiviação a partir dos 65°C (KUMAR, SHUKLA, *et al.*, 1994). Esse processo é utilizado para produção de papel de bambu em pequena escala. É um processo que tem resultados similares ao autoclave, mantendo-se suas proporções.

1.4.2.5. FUMIGAÇÃO

O processo de fumigação é feito utilizando fumaça para o tratamento. É um dos métodos mais antigos, segundo Ubidia (2002). Em comunidades mais isoladas o bambu é colocado em cima de fogueiras, em posição mais distante do calor, incorporando assim as substâncias advindas da fumaça.

O método tradicional de fumigação foi aperfeiçoado com o tempo, e hoje são utilizados fornos fechados para concentrar o efeito dos gases da queima. A exposição do material à fumaça dura 2 a 15 dias, dependendo do tipo de forno, da espécie de bambu utilizada e da umidade no colmo. O tratamento é predominantemente químico, devido à ação do ácido pirolenhoso (SILVA, 2011). O calor também tem o efeito de retificar o bambu de forma secundária, devido à baixa temperatura.

Uma versão industrial desse tratamento (Figura 29a) vem sendo utilizada na Colômbia (PEREA, VILLEGAS, *et al.*, 2003) para colmos de bambu empregados em construções de grande porte. O pavilhão ZERI, em Hanover, Alemanha, construído em 2000, é um exemplo do uso do bambu preservado com essa técnica, utilizando colmos tratados por fumigação advindos da Colômbia.

Os resultados demonstram ser esse um tratamento eficaz, mas espera-se ainda que trabalhos evidenciem a resistência e a durabilidade do colmo de diferentes espécies, além do impacto ambiental do processo. O bambu, com a fumigação, fica escurecido, mas não há grande impacto em suas características mecânicas.



Figura 28 - tratamentos por imersão em água (A) e banho quente-frio (B)
Fonte: Ecovila (2014)

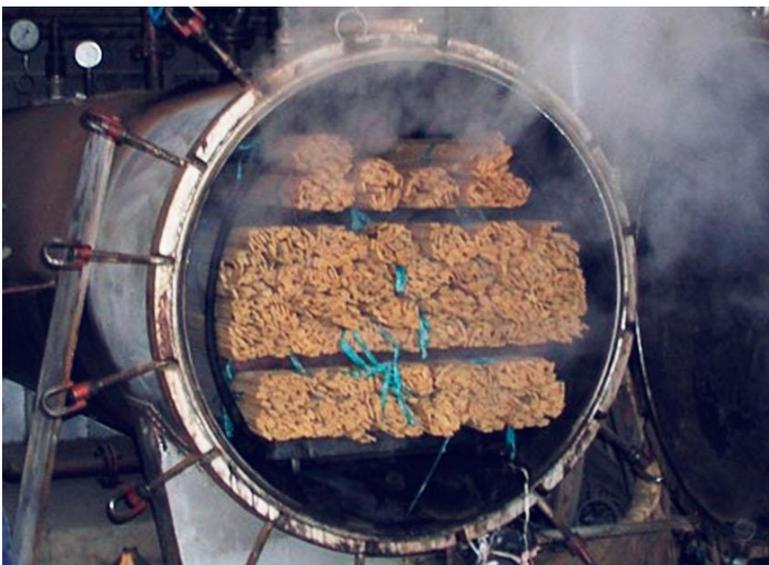


Figura 29 - Tratamento por fumigação (A) e calor por maçarico (B)
Fonte: Strand Bamboo (2013)

1.4.2.6. USO DE CALOR

O calor também é uma forma tradicional de se tratar o bambu. Ele tem o efeito de matar os organismos que se encontram naturalmente no colmo, bem como neutralizar o amido. Porém, há como desvantagem a perda de resistência mecânica do colmo.

A forma de aplicação de calor mais popular provém do uso do fogo diretamente na parte externa do colmo, com o emprego de uma fogueira ou maçarico (Figura 29b). O fogo direto faz com que a casca do colmo mude de cor e ganhe brilho (mais evidentemente no caso do *Phyllostachys* sp.), mas o calor não tem uma boa penetração na parte interna do colmo, sendo mais recomendado para espécies com menor espessura de parede. Há também o perigo do colmo expandir-se e forma desigual e favorecer o fendilhamento. Para evitar que isso aconteça, o bambu deve ter seus diafragmas perfurados.

Há outros processos de tratamento tradicionais menos populares. Entre eles, vale destacar o uso de substâncias como taninos, fumo, óleos essenciais, álcool e extrato de pimenta. Alguns têm fundamentação e estão sendo estudados para uso de forma sistematizada, como é o caso do ácido pirolenhoso (SILVA, 2011) e do óleo de *neem* (ERAKHRUMEN e OGUNSANWO, 2009).

Como visto, os processos de tratamento tradicionais são diversos e muitas vezes efetivos. Foram testados durante longos períodos em comunidades tradicionais, e têm a vantagem de usarem recursos e técnicas locais e acessíveis, sem a necessidade de mão de obra especializada.

Por outro lado, a efetividade não é conhecida utilizando a metodologia científica. Alguns métodos foram aprofundados de forma acadêmica e resultaram nas formas atuais de tratamento, portanto essa cultura tradicional de tratamentos é uma base importante para o avanço tecnológico na área.

1.4.3. TRATAMENTOS CONVENCIONAIS (QUÍMICOS)

O tratamento químico consiste na aplicação de substâncias com o objetivo de proteger o colmo do ataque de fungos, bactérias e insetos xilófagos. O tratamento químico é a forma mais difundida de se tratar industrialmente o bambu (GALVÃO, 1964). Os tratamentos variam na forma de aplicação e na substância utilizada (LIESE, 2004).

A anatomia do bambu, por ser muito distinta à da madeira, também interfere na resposta à forma de aplicação do preservativo. A tratabilidade (propensão do material a receber o tratamento), em geral, é mais baixa, variando pouco entre as espécies (LIESE, 1998).

Como o colmo do bambu é protegido externamente por uma camada hidrofóbica, chamada cutícula, e por uma camada interna, chamada pergaminho, o acesso de líquidos em seu interior é reduzido. O colmo também não tem vasos radiais, e o preservativo se restringe inicialmente ao acesso pelos vasos (Figura 30a) e pelas extremidades cortadas, dependendo apenas da difusão para chegar a outras regiões, onde há maior concentração de amido. O teor de umidade, segundo Liese (1998), interfere decisivamente no tratamento.

1.4.3.1. FORMAS DE APLICAÇÃO

As substâncias preservativas podem ser aplicadas no bambu, em sua maioria, por imersão ou pelos métodos de substituição de seiva. Para os métodos de imersão (Figura 30b) é preferível o uso de produtos hidrossolúveis, utilizando colmos inteiros ou ripas no início da maturação (por volta de 3 anos de idade). O colmo já maduro, como evidenciado na Figura 3, apresenta fibras com paredes espessas, o que causa um efeito refratário à impregnação do tratamento (LIESE, 2004).

Para os métodos de substituição de seiva são utilizados os colmos inteiros e recém cortados. Devem ser tratados imediatamente, pois perdem muito de seu potencial de absorção em 24 horas. No método chamado de tratamento por capilaridade, os colmos, muitas vezes ainda com ramos e folhas, são acondicionados verticalmente em um tanque

com o produto, onde a própria transpiração das folhas e ação dos vasos se encarrega de absorver o produto. A técnica demanda, portanto, que o tratamento seja realizado imediatamente à colheita, o que traz complicações logísticas.

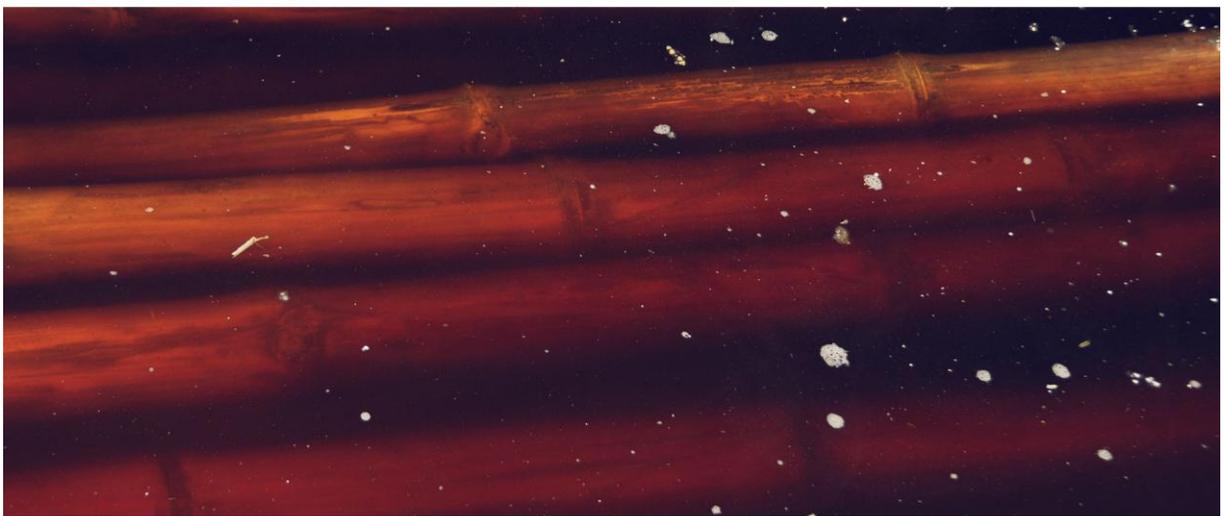
Tradicionalmente, a substituição da seiva se dava pelo método denominado Vietnam. Nele, os colmos de bambu são empilhados verticalmente. Os diafragmas são perfurados, exceto o mais baixo, e o colmo é preenchido com a substância preservativa. Ao fim de duas semanas, o último diafragma é quebrado e a substância que sobrou é recolhida. Dessa forma, a parte interna do colmo recebe maior proteção, e a parte externa fica livre de resíduos do tratamento, podendo receber melhor outros acabamentos (LIESE, 2007).

O método *Boucherie*, desenvolvido em 1840 na França por A. Boucherie, é uma forma de tratamento da madeira que utiliza pressão para substituir a seiva pela substância preservativa. O método utilizada inicialmente uma bomba manual para criar a pressão. Posteriormente, 34 anos depois, o próprio autor sugeriu uma modificação no método, utilizando uma bomba elétrica para realizar a pressão (PURUSHOTHAM, SUDAN e SAGAR, 1953). O método de *Boucherie* Modificado (Figura 30c), hoje uma das principais formas de imunização do bambu, reduz o tempo de tratamento para cerca de 1 hora por colmo, sendo uma forma confiável e limpa de tratamento químico (LIESE, GUTIÉRREZ, *et al.*, 2002).

1.4.3.2. SUBSTÂNCIAS

Duas classes de substâncias são utilizadas comercialmente para o tratamento do bambu, dependendo do uso pretendido e dos equipamentos utilizados: as hidrossolúveis e as oleossolúveis. Todos os produtos apresentam alguma toxicidade aos seres vivos.

Os preservativos menos tóxicos e de mais simples aplicação são os hidrossolúveis, penetrando com maior facilidade no colmo. Lebow (2004) ressalta que seu uso é restrito a aplicações sem contato com água, devido ao grande risco de lixiviação, ou seja, a perda do preservativo pela dissolução.



A Figura 30 - Processos de tratamento químico
A: Microscopia eletrônica de varredura evidenciando o produto químico dentro do xilema do bambu. Fonte: Espelho (2007).
B Tratamento de bambu pelo método de imersão. Fonte: Klong (2014)
C Tratamento de bambu pelo método Boucherie Modificado. Fonte: Espelho (2007).

Um produto utilizado até tempos recentes é o Arseniato de Cobre Cromatado – CCA. O cobre tem forte ação fungicida, o arsênico é inseticida, e o cromo é um excelente fixador. O produto, no entanto, tem seu uso proibido em diversos países⁵ devido ao efeito nocivo do arsênico em mamíferos (ESPELHO, 2007).

Como alternativa é utilizado o Borato de Cobre Cromatado – CCB. Utiliza-se o borato de sódio, com baixa toxicidade, porém ainda está em desenvolvimento uma forma mais eficiente de fixação do composto (ROSA, SANTINI, *et al.*, 2009).

Há também preservativos oleossolúveis, entre eles o creosoto, que necessitam de baixa umidade no bambu. São produtos aplicados sob pressão ou em banhos de imersão a quente, pela grande viscosidade do composto químico em temperatura ambiente. O creosoto atualmente é pouco utilizado devido a sua toxicidade, odor desagradável e dificuldade de fixação no bambu. Sua aplicação atual se restringe a usos marítimos e longe do contato humano.

Novos experimentos estão sendo utilizados, procurando compostos químicos eficientes e renováveis. Silva (2011) estudou a utilização de ácido pirolenhoso, um composto proveniente da queima (pirólise) de material orgânico. O tratamento se revelou promissor, classificando o bambu como resistente ao ataque de insetos.

Xu *et al.* (2013) utilizaram extrato de cânfora (*Cinnamomum camphor* Presl.) diluído em água e combinado com o polímero uréia-formaldeído. O composto demonstrou ter boa fixação, mas ainda não foram realizados ensaios de resistência a fungos e insetos.

Existem estudos utilizando a técnica de mineralização do bambu, a partir do silicato de sódio. Seu objetivo é aumentar a estabilidade dimensional e as propriedades mecânicas do material, com as desvantagens de aumentar a densidade e dificultar a colagem e aplicação de tintas e vernizes, devido à deposição de sais na superfície. Souza *et al.* (2007) demonstram a efetividade do tratamento, que é simples e tem alta

⁵ Apesar de ser proibida a importação de produtos madeireiros com o CCA, ainda não há a proibição do uso do CCA para tratamento em território nacional, tampouco a classificação da madeira tratada com CCA e outros compostos químicos como material tóxico ou perigoso para descarte (CONAMA, 2002).

aplicabilidade em construções para o meio rural. O tratamento também é utilizado com o intuito de melhorar a compatibilidade de compósitos bambu-cimento (HAHN, 2012).

Os tratamentos químicos são hoje os mais utilizados para o uso industrial do bambu. Porém ainda apresentam dificuldades, principalmente devido à baixa tratabilidade do colmo. Colla (2010) aponta que uma alternativa possível é o tratamento térmico, que independe da difusão de compostos químicos pelo material.

1.4.4. TRATAMENTOS TÉRMICOS

O tratamento térmico é um processo que utiliza do aquecimento do material a temperaturas inferiores àquela necessária para alterar seus constituintes químicos fundamentais.

O aumento da temperatura na madeira pode causar efeitos desejados e indesejados. Há diversas formas de se aplicar o tratamento térmico na madeira e em seus produtos. Os meios (fluidos) mais utilizados são o ar, o vapor, o vapor supersaturado, a fumaça, o nitrogênio, e os meios oleosos, cada um com seus objetivos.

A forma de aplicar calor e o equipamento utilizados também influenciam o resultado final. Atualmente, pode-se utilizar autoclave, estufa, túnel de aquecimento, prensa a quente, dentre outros. O teor de umidade da madeira também é algo a ser considerado, podendo ser seca no caso da termorretificação, ou úmida no caso da secagem a alta temperatura.

As alterações nas propriedades físicas e mecânicas podem ser classificadas em permanentes e temporárias (WANGAARD, 1950). As temporárias são aquelas presentes apenas quando o material está sob a ação da temperatura, portanto somem quando a madeira é resfriada. Já as alterações permanentes se mantêm mesmo com o material em temperatura ambiente, sendo variáveis à temperatura e ao tempo de exposição. O tratamento efetivo só se dá na forma de alterações permanentes.

Os principais efeitos permanentes do tratamento térmico são a degradação dos componentes químicos e a mudança da própria estrutura química da madeira. Podem também acontecer também alterações na morfologia dos componentes anatômicos, porém em menor grau (Figura 31).

A proporção do componentes na madeira também se modifica com o tratamento térmico. Em especial, nota-se o aumento da proporção de lignina e a redução dos carboidratos, que são mais suscetíveis à degradação térmica. Essa degradação é o principal responsável pela perda de massa.

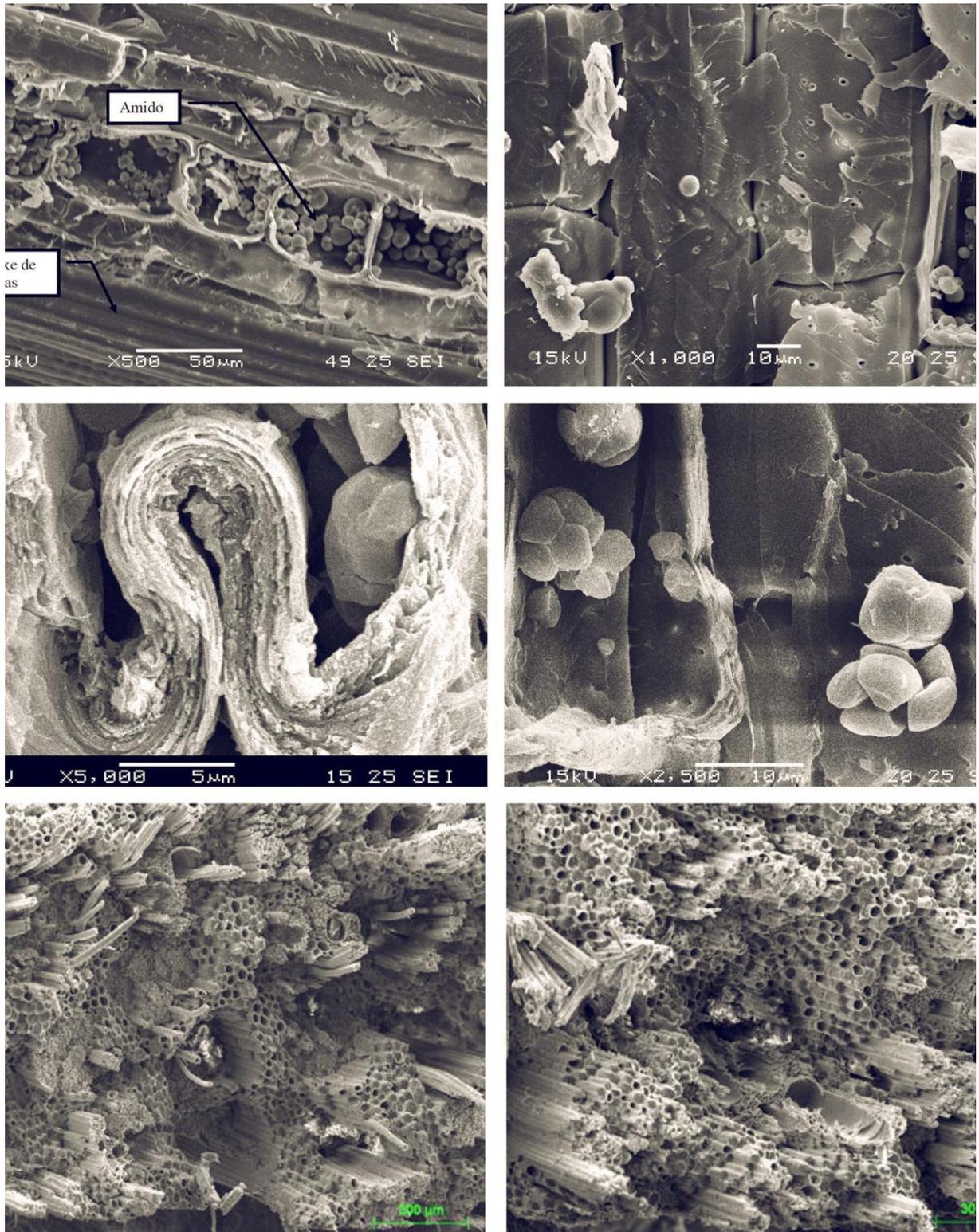


Figura 31: Microscopia Eletrônica de Varredura evidenciando o efeito do tratamento térmico nas estruturas anatômicas do bambu.

| | |
|---|---|
| A | B |
| C | D |
| E | F |

A: Bambu in natura, com destaque ao amido nas células parenquimáticas. Fonte: Colla (2010);

B: Bambu tratado a 140°C. Fonte: Colla (2010);

C: Bambu tratado a 180°C, evidenciando retração da parede do parênquima. Fonte: Colla (2010);

D: Bambu tratado a 220°C. Grãos de amido rompidos. Fonte: Colla (2010);

E: Bambu tratado a 160°C, após ensaio de flexão. Fonte: Bremer et al. (2013);

F: Bambu tratado a 220°C, após ensaio de flexão. Fonte: Bremer et al. (2013);

Outra consequência interessante é a redução do pH do material, causada pela liberação de ácidos acético e fórmico (SEKINO, INQUE e IRLE, 1998). Com a redução, o material se torna mais resistente ao ataque de fungos, conforme aponta Boonstra *et al.* (2007).

A madeira é formada por polímeros amorfos, como a lignina e as hemiceluloses, que conferem uma característica viscoelástica ao material. A viscoelasticidade é uma característica do material que o permite ter dois comportamentos distintos, dependendo principalmente da temperatura. Um polímero viscoelástico pode variar desde um fluido viscoso a um sólido linearmente elástico (vítreo). No estado vítreo, à baixa temperatura, apresenta alto módulo de ruptura e fratura do tipo quebradiça. Em alta temperatura esse polímero fica mais elástico, e apresenta módulo de ruptura até três vezes menor, além grandes deformações até a ruptura (WOLLCOTT, KAMKE e DILLARD, 1990). Acredita-se que a lignina tem maior influência nesse caso, pois atua como um “agente cimentante” entre as fibras.

Entre os estados vítreo e elástico de um material viscoelástico tem-se um estado de transição. A transformação se inicia quando o material atinge uma determinada temperatura, chamada Temperatura de Transição Viscoelástica - Tg. O polímero sofre uma grande redução de rigidez quando atinge tal estado.

Quando a madeira ultrapassa a Tg, seus polímeros passam a ter menor resistência à deformação. Como consequência, suas tensões internas são minimizadas, ou mesmo liberadas. Quando retorna à temperatura ambiente, o material volta a ter sua rigidez característica, porém em um estado de menor tensão. Dessa forma, é interessante que o tratamento térmico seja realizado acima da Tg (DEL MENEZZI, 2004).

Quando a madeira é tratada acima de 180°C, duas reações principais ocorrem. A primeira é a degradação e a modificação de seus componentes químicos. A outra é a degradação da cristalinidade da celulose (CHOW e PICKLES, 1971), ou seja, a redução da proporção de partes cristalinas em relação a partes amorfas, diminuindo o comprimento de suas cadeias (KOLLMANN e COTE JR., 1968). Pode também ocorrer, em alguns casos, a polimerização da lignina ou de alguns extrativos (substâncias naturais à madeira,

que não sejam a celulose, a hemicelulose ou a lignina, geralmente com função de defesa e conservação), gerando produtos com forte natureza adesiva, melhorando assim as propriedades mecânicas do material (DEL MENEZZI, 2004).

O calor induz uma mudança na superfície da madeira, chamada de inativação térmica. Ela causa uma redução na capacidade de absorção de líquidos. Se por um lado pode parecer uma característica desejada, por outro pode reduzir muito a capacidade de adesão do material (JORDAN e WELLONS, 1977). A inativação térmica dificulta a colagem de cinco formas: pela reorientação das moléculas superficiais; pelo fechamento dos microporos da madeira; pela exsudação de extrativos para a superfície (saída de líquidos através das paredes e membranas celulares, levando consigo os extrativos); pela acidificação desses mesmos extrativos; e pela oxidação e pirólise (decomposição através do calor) dos sítios de adesão (Figura 32). Portanto, faz-se necessário o ensaio de molhabilidade para prever de forma precisa a perda da capacidade de colagem da madeira tratada termicamente (ASTM, 2013).

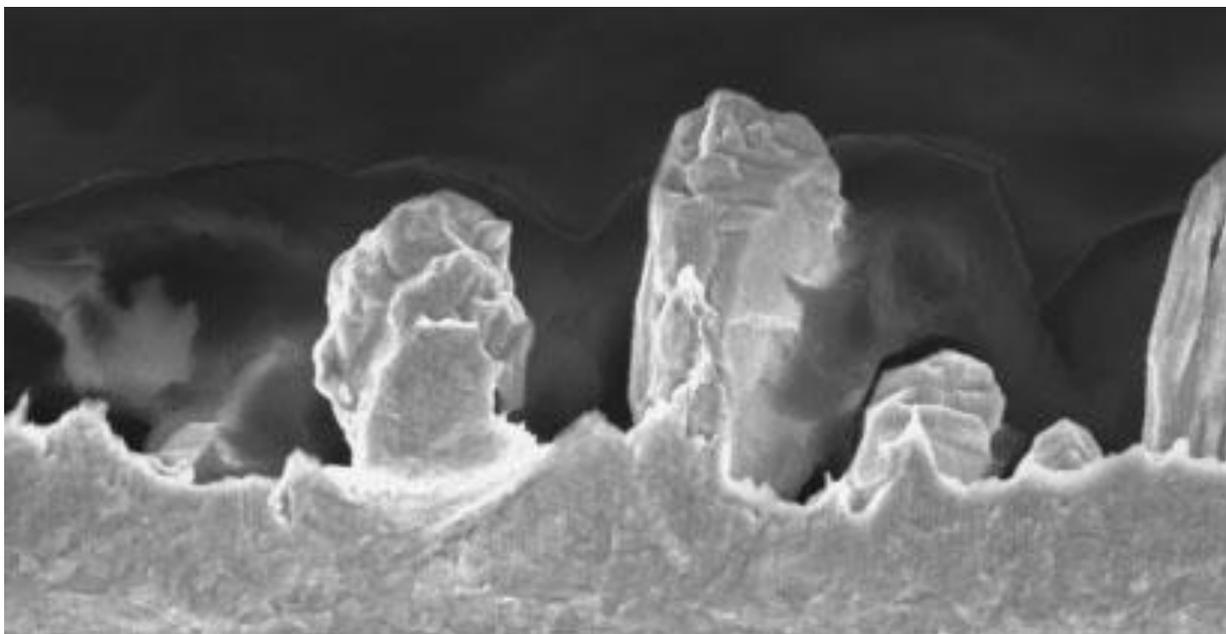


Figura 32 - Sítios de adesão
Fonte: Liu *et al.* (2007)

Um dos efeitos desejados é a redução da higroscopicidade da madeira, ou seja, de sua propriedade de absorver água. Dessa forma, ela tende a variar menos suas dimensões, ficando assim com maior estabilidade dimensional. Tal efeito acontece pela degradação (hidrólise) das hemiceluloses que compõem a parede celular.

As hemiceluloses são os componentes mais sensíveis à degradação térmica, como apontado por Stamm (1964). São também os principais responsáveis pela absorção de água pela madeira.

Um fato interessante é que a utilização de altas temperaturas por pouco tempo tem o mesmo efeito nas hemiceluloses do que baixas temperaturas por um tempo mais prolongado. Stamm (idem) demonstrou que um tratamento térmico a 320°C por 1 minuto tem efeito comparável na hemicelulosa ao tratamento a 150°C por 1 semana.

Antigamente, a teoria mais aceita afirmava que a água era eliminada da madeira, dando lugar para a formação de ligações entre os grupos de hidroxila das cadeias de celulose adjacentes. Hoje, afirma-se que a degradação térmica forma polímeros de furfural, menos higroscópicos, a partir dos açúcares degradados (STAMM, 1964). As propriedades mecânicas da madeira são afetadas negativamente pelo tratamento térmico, sendo as propriedades elásticas menos sensíveis do que as de resistência (BODIG e JAYNE, 1993).

A estabilidade dimensional é uma característica importante de ser compreendida e controlada na produção de compósitos de madeira e similares. Ela pode ser avaliada em função da absorção de água e da expansão do material quando imerso em água. A norma mais utilizada para ensaios de estabilidade dimensional é a ASTM-D143 (2014).

AYADI *et al.* (2003) comprovaram que a madeira tratada termicamente apresenta maior estabilidade de cor em comparação à madeira não tratada. Fizeram um ensaio de intemperismo acelerado⁶, também chamado *weathering*, demonstrando que a madeira

⁶ Intemperismo acelerado: Ensaio de laboratório com a intenção de simular a degradação de um material causada pela exposição ao sol, chuva e outros efeitos de ambientes externos. Geralmente realizado utilizando um aparelho chamado QUV, que aplica ciclos de raios ultra-violeta, água e calor. Com o ensaio é possível simular o efeito de anos de exposição em poucas semanas (ASTM, 2011).

tratada termicamente descolore menos com a ação do tempo. Porém, o tratamento tende a escurecer o material (Figura 33).

Há três teorias distintas que explicam a resistência da madeira termicamente tratada frente a fungos e insetos (WEILAND e GUYONETT, 2003): a primeira diz que o tratamento estimula a criação de novas moléculas livres, agindo como fungicida; a segunda diz que o tratamento dificulta o reconhecimento do material pelos fungos e insetos, por reticular a rede de lignina; a terceira diz que o tratamento elimina as hemiceluloses, o principal alvo de ataque desses organismos.

Não é recente o estudo de processos industriais de tratamento de madeira utilizando calor. Veremos a seguir um breve histórico dos métodos e técnicas desenvolvidos ao longo do tempo.



Figura 33 - Madeira termicamente modificada a 170°C por 2 a 16 horas
Fonte: Esteves e Pereira (2008)

1.4.4.1. HISTÓRICO DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS

Em 1920, Tiemann (1920) demonstrou que a secagem de madeira a altas temperaturas reduz a umidade em equilíbrio e a higroscopicidade. Kollmann (1936) desenvolveu em 1936 um processo chamado *Lignostone*, usando calor e pressão para

densificar a madeira. Um processo parecido de densificação foi utilizado na Alemanha, na mesma época, chamado *Lignifol*. Em 1937, Stamm e Hansen (1937) estudaram a influência de diversos gases no tratamento térmico. Na década de 1940 foi desenvolvido ainda os processos *Staypack* e *Staybwood*, utilizando madeiras mais leves sem densificação, com o intuito de apenas melhorar a estabilidade dimensional e a higroscopia. Nenhum desses processos teve uma aplicação em larga escala, possivelmente pela grande oferta de madeiras "nobres" tropicais na época (ESTEVES e PEREIRA, 2008). O processo de tratamento térmico, porém, continuou a ser estudado.

Existem atualmente cinco tratamentos térmicos principais na Europa: o finlandês *Thermowood*; o holandês *Plato Wood*; o alemão OHT; e os franceses *Bois Perdure* e Retificação (MILITZ, 2002).

O processo *Thermowood*, patenteado em 1997, é o tratamento térmico mais difundido atualmente, sendo utilizado em 90% dos casos na Europa (SYRJÄNEN, OY, *et al.*, 2000). Primeiro, a madeira úmida é aquecida a 150°C por 2 a 10 horas, até perder 3% de massa. Em seguida, entra em câmara com vapor, onde é rapidamente aquecido a 130°C até perder toda a umidade. Por fim, a temperatura é aumentada para 185 a 230°C, dependendo da espécie de madeira, durante 2 a 3 horas.

O tratamento *Plato Wood* é realizado em quatro etapas. A primeira, chamada hidrotermólise, aquece a madeira verde a 160°C por 4 horas em meio úmido. A segunda etapa é uma secagem tradicional por 5 dias. Repete-se então os processos, dessa vez a seco.

O processo OHT utiliza óleo com aumento lento de temperatura, totalizando 18 horas de tratamento. O material melhora as características de durabilidade, mas absorve muito óleo, chegando a ganhar 50% em massa.

Os dois processos franceses são parecidos. A Retificação aquece a madeira verde a temperaturas de 200 a 240°C, utilizando nitrogênio como meio. O processo *Bois Perdure* reutiliza os gases formados no processo de aquecimento para saturar o ar e reduzir a quantidade de oxigênio.

1.4.4.2. TRATAMENTO TÉRMICO DE BAMBU

O principal motivo do crescente interesse por tais métodos se deve ao menor impacto ambiental comparado aos tratamentos convencionais, mesmo levando em consideração o maior consumo energético (HILL, 2007). Colla (2010) aponta que uma grande vantagem do tratamento térmico é a segurança de seu uso para o homem e o meio ambiente. Utilizando-se os parâmetros corretos, pode-se ter um produto final com durabilidade comparável àqueles tratados com compostos tradicionais.

O tratamento térmico afeta a madeira e o bambu de formas distintas, sendo que o bambu pode ter uma resposta melhor ao tratamento térmico que ao tratamento químico (COLLA, 2010). Isso se deve a sua estrutura anatômica, com uma quantidade menor de feixes vasculares que a madeira, o que dificulta a difusão do tratamento convencional. Os métodos industriais de tratamento térmico podem garantir homogeneidade na imunização do bambu.

Existem várias formas tradicionais de se utilizar o calor para tratar o bambu (utilização de água quente, fumaça ou calor direto), conforme registrados na seção 1.4.2. Porém, não há ainda um consenso sobre a melhor forma de se realizar o tratamento térmico do bambu de forma homogênea e padronizada. Na China, comercialmente, os bambus utilizados para produção do BaLC são em geral carbonizados em autoclave a vapor, com pressão de 0.4MPa a 0.8 MPa, por 1 a 2 horas (ZHANG e YU, 2012).

A espécie de bambu mais imunizada termicamente na China e no Japão é o *Phyllostachys pubescens*, e na Colômbia e outros países da América latina, o *Guadua angustifolia* e o *Dendrocalamus giganteus* merecem destaque. Em geral, são espécies de grande porte e com paredes do colmo espessas.

Os principais estudos acadêmicos na área de tratamento térmico do bambu serão analisados a seguir, com destaque para os trabalhos brasileiros de Colla (2010) e Brito (2013).

Wandivaldi Colla (2010) realizou pela Universidade Federal de Campinas (UNICAMP) um estudo com a espécie de bambu *D. giganteus* tratado termicamente, o

qual denominou Bambu Termorretrificado (BTR). Utilizou ar em temperaturas de 140°C e 180°C, e nitrogênio em 220°C, 260°C e 300°C, para evitar a combustão do bambu. O bambu foi colocado na estufa a 100°C, sendo então aquecido a uma taxa constante de 0,14°C por minuto, e então resfriado dentro da estufa. Em seguida, realizou ensaios de flexão estática, colorimetria e estabilidade dimensional.

Por fim, analisou o efeito da termorretrificação na estrutura anatômica, utilizando-se de microscopia eletrônica (Figura 31). O intuito foi identificar a temperatura ideal para o tratamento do bambu visando a confecção de móveis.

O bambu sofreu importantes mudanças em sua estrutura anatômica com o tratamento, iniciando com a temperatura de 180°C. Houve uma grande redução nas propriedades mecânicas a 260°C, inviabilizando o uso de altas temperaturas para o *design* de móveis. A faixa de temperatura ideal para o tratamento foi reconhecida entre 180°C e 220°C, devendo ser ainda refinada para encontrar a temperatura ideal. Essa faixa de temperatura também é aplicada nas madeiras de reflorestamento.

O módulo de ruptura foi a propriedade mais afetada pela temperatura. Na faixa de temperatura ótima houve uma perda média de 12% na densidade, 5% no módulo de elasticidade e 28% no módulo de ruptura. O bambu tratado por Colla apresentou desempenho mecânico superior ao das madeiras tradicionais.

O material apresentou maior estabilidade dimensional com o tratamento. A expansão na direção axial mostrou-se insignificante. Os dados de expansão nas direções radial e tangencial se encontram no gráfico (Figura 34). Infelizmente o trabalho não informa os valores numéricos do ensaio de estabilidade dimensional.

A cor do bambu não sofreu variações no tratamento a 140°C, estas aparecendo a partir de 180°C. Entre 220°C e 260°C a cor se mostrou próxima a algumas madeiras tropicais, como a Imbuia e a Sucupira. O BTR poderia então ser utilizado para a substituição dessas espécies. A 300°C o bambu apresentou cor similar ao carvão, além de excessivamente deformado (Figura 35).

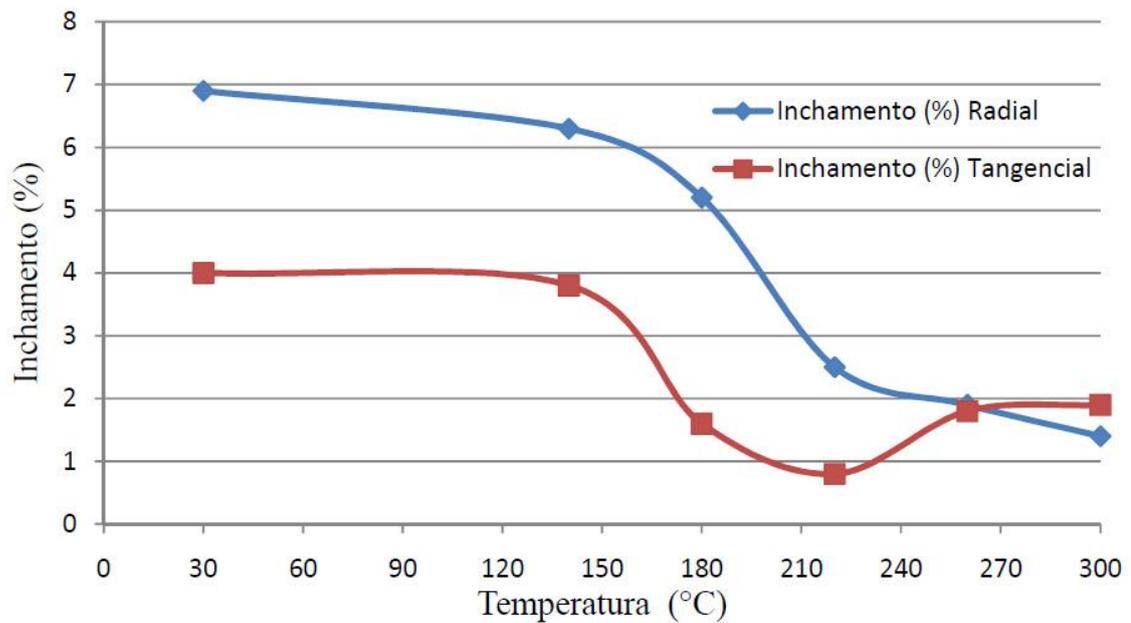


Figura 34 - Expansão do BTR de acordo com a direção anatômica.
Fonte: Colla (2010)



Figura 35 - Bambu tratado termicamente
Fonte: Colla (2010)

Flávia Brito (2013) realizou pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES um estudo sobre o efeito da termorretificação nas propriedades tecnológicas do bambu *D. giganteus*. Uma diferença essencial no tratamento foi uma primeira etapa de lixiviação do amido, através da imersão o material em água por 8 dias, sendo a água renovada diariamente.

O tratamento de termorretificação foi realizado a 140, 160, 180 e 200°C, em uma mufla (um tipo de forno utilizado em laboratório para tratamentos térmicos a temperaturas elevadas, podendo ultrapassar 1000°C), utilizando ar como meio, além da testemunha, ou seja, de parte material que não tem suas variáveis modificadas, com o intuito de ser usada para comparação dos resultados. O tempo de termorretificação foi fixado em 1 hora para todas as temperaturas. Os bambus foram então colados, criando-se peças de Bambu Laminado Colado Termorretificados (BaLCTR). Os adesivos utilizados foram: resorcinol-formaldeído (RF), uréia-formaldeído (UF), e acetato de polivinila (PVA).

Realizou-se ensaios de cisalhamento na linha de cola, compressão e flexão estática e estabilidade dimensional. Brito também realizou análises química, anatômica, de umidade e massa específica. Por fim, foram realizados ensaios de resistência a fungos e térmitas (cupins).

Para as temperaturas de 180°C e 200°C houve uma perda média na massa de 6%, O módulo de ruptura foi menor em temperaturas maiores, como esperado, e o adesivo RF obteve a maior média. O módulo de elasticidade não foi influenciado pela temperatura, tampouco pelo adesivo utilizado.

No ensaio de estabilidade dimensional não foi detectada expansão no sentido axial, o que corrobora o trabalho de Colla (2010). Foram analisadas as variáveis temperatura e adesivo, para os eixos radial e tangencial. O adesivo PVA sequer suportou o ensaio; o adesivo RF demonstrou ser mais estável que o UF, provando que o UF é menos resistente à umidade. O tratamento térmico a partir de 160°C aumentou a estabilidade do BaLCTR confeccionado com o adesivo RF. Em geral, notou-se uma maior estabilidade dimensional no sentido tangencial que no radial, um comportamento inverso à madeira.

De forma geral, o bambu termorretificado a partir de 160°C teve bom comportamento quando exposto a fungos, sendo classificado como altamente resistente, o que também está de acordo com Manalo e Garcia (2012). A termorretificação reduziu em mais de 50% a perda de massa para os fungos. O tratamento térmico se mostrou mais eficiente, inclusive, do que o tratamento químico com CCB realizado por Tiburtino

(2011). O BTR também obteve uma melhora na resistência a cupins, chegando ao dobro da resistência com o bambu tratado a 200°C. Brito, por fim, sugere a produção do BaLCTR com o adesivo RF, utilizando temperatura mínima de 160°C.

Há diversos trabalhos estudando o tratamento térmico do bambu utilizando meio líquidos, em especial óleos. Os objetivos principais são reduzir a quantidade de oxigênio do meio para evitar a combustão, inserir o óleo no material funcionando como um extrativo, e transferir o calor para o material de forma homogênea. Os meios oleosos mais utilizados são os óleos de coco (*Cocos nucifera*), de dendê (*Elaeis guineensis*) e de neem (*Azadirachta indica*).

Manalo e Acda (2009) notaram diferenças em várias propriedades físicas do corpo-de-prova. A higroscopicidade em torno de 60% para o gênero *Dendrocalamus* tratado a 180°C, ficando homogeneamente mais escuro e com leve odor (que desapareceu após três semanas). Salim *et al.* (2010) registraram uma perda média de densidade de 11,4% a 14,7%, considerada baixa se comparada à perda de massa do tratamento térmico em ar.

Há também estudos utilizando o nitrogênio como meio (JIANG, LIU, *et al.*, 2012) (NGUYEN, WAGENFÜHR, *et al.*, 2012). Bremer *et al.* (2013) estudaram a composição química de *D. barbatus* e o *D. asper* em câmara de nitrogênio, com aumento constante de temperatura até 220°C, com duração de até 5 horas. Notaram que as mudanças na composição do bambu ocorrem principalmente a partir de 180°C, e que a temperatura é muito mais significativa que o tempo de tratamento. Os compostos mais degradados foram as hemiceluloses, em especial a xilana.

Em Nanjing, China, está sendo desenvolvido um tratamento térmico em meio aquoso, utilizando soluções de hidróxido de sódio (NaOH) e acetato de sódio (NaAc) (CHENG, JIANG e ZHANG, 2013) (CHENG, JIANG e ZHANG, 2013b). O intuito é favorecer a concentração de compostos fenólicos advindos da degradação de hemiceluloses, o que pode inibir o ataque de fungos. O processo é realizado em duas fases iguais, o que favorece as reações químicas pretendidas. Estudos foram ainda realizados utilizando fibras de bambu tratadas em vácuo (FANG, WU, *et al.*, 2013) (LI, DU, *et al.*,

2013) e utilizadas em compósitos poliméricos (plásticos), demonstrando que o tratamento térmico melhorou a compatibilidade entre as partes.

Poucos trabalhos relatam a molhabilidade do bambu, tanto in natura quanto tratado (HOU, AN, *et al.*, 2010), sendo necessário ainda um estudo aprofundado dessa característica para se prever de forma mais exata as relações entre o BTR e os adesivos utilizados na produção do BaLC.

Chang e Wu (2000) encontraram ângulos de contato de 66° a 77.8° para o *Dendrocalamus latiflorus* tratado quimicamente, porém não há informações sobre o método de ensaio, as dimensões e repetição dos CP, ou mesmo do tipo de corte ensaiado (radial, tangencial ou axial).

Fuentes *et al.* (2011) estudaram a molhabilidade da fibra do bambu comparando a fibra natural com a tratada com autoclave a 150°C, e concluiu que, apesar do valor do ângulo de contato variar bastante (em até 30% entre CP), a variação angular pelo tempo se manteve relativamente constante, e o desvio-padrão dos resultados reduziu drasticamente com o tratamento. Os ângulos médios encontrados ficaram em torno de 87° para a fibra natural e 68° para a fibra tratada.

Li *et al.* (2013) também realizaram o ensaio de molhabilidade pelo método da gota séssil, comparando a superfície radial em quatro pontos da espessura da parede do colmo de *Phyllostachys pubescens*, chegando à conclusão que o ângulo de contato aumenta à medida em que se aproxima da casca.

Em termos gerais, o BTR perde massa e resistência mecânica. Por outro lado, melhora as propriedades de estabilidade dimensional e higroscopia, além de ficar mais resistente ao ataque de fungos e insetos. A interação entre a superfície do material e a água pode explicar parte da perda de resistência mecânica do BaLC produzido com o BTR.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. SELEÇÃO E PREPARAÇÃO DO MATERIAL

Colmos de *Dendrocalamus giganteus* destinados a essa pesquisa foram disponibilizados pelo Centro de Pesquisa e Aplicação do Bambu e Fibras Naturais, da Universidade de Brasília (CPAB/UnB), provenientes de plantações existentes em fazendas localizadas no Distrito Federal⁷.

Foram selecionadas seções da parte mediana dos colmos, com 120cm de comprimento, 20cm de diâmetro e 1,2cm de espessura da parede, todos com 3 a 5 anos, sem falhas na casca, sem galhos, e sem indícios de ataque de fungos ou insetos. O período de secagem desses colmos foi de 30 dias ao ar livre, sob galpão coberto e em prateleiras horizontais (Figura 36a).

Após a secagem natural, escolheram-se cinco colmos. Estes foram usinados em serra de mesa com discos duplos paralelos (Figura 36b), com a distância das serras de corte configurada em 30mm. As seções de colmo resultaram, em média, em oito ripas cada (Figura 36c).

As ripas foram usinadas em plaina de quatro faces com abertura de 25mm por 8mm (Figura 37a), sendo então denominadas lâminas (Figura 37b). Estas seguiram para o corte em serra de bancada, ficando com 20cm de comprimento.

Foram então selecionadas 100 lâminas de dimensões finais 200mm x 25mm x 8mm, todas elas com nós, sem falhas, fissuras ou presença de paredes interna ou externa (Figura 38), para a produção dos corpos-de-prova destinados aos ensaios físicos e mecânicos.

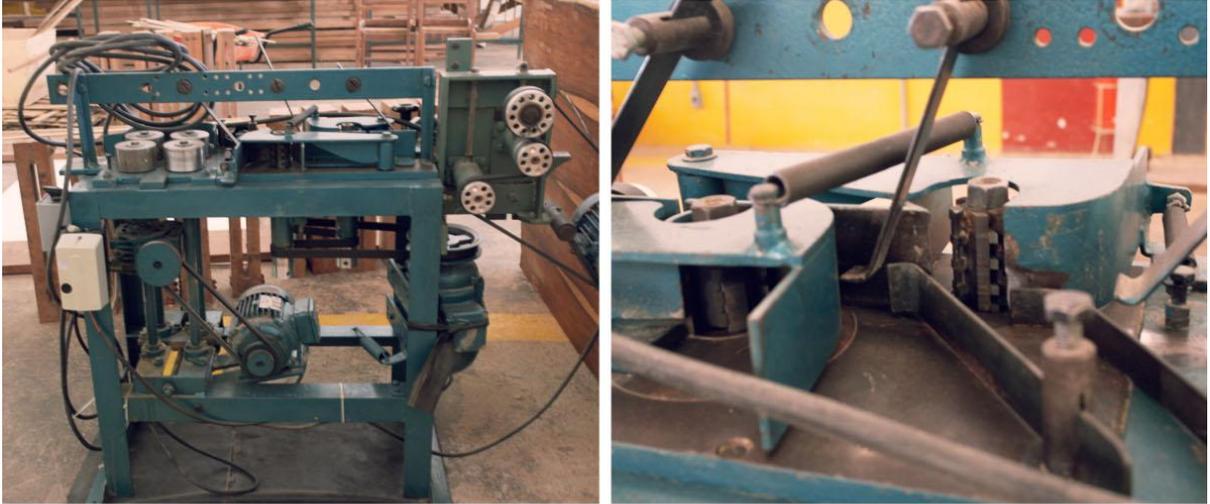
⁷ O Distrito Federal é localizado nas coordenadas 15° 50' de latitude sul, 47° 42' de longitude oeste, e altitude de 1100m. O clima da região é do tipo Aw (tropical com estação seca), de acordo com a classificação internacional de Köppen (LIMA, FELFILI, *et al.*, 2003).



A Figura 36 - Transformação de seção de colmo em ripas
A: Seção e colmo secando em prateleiras. Fonte: autor

B B: Serra de mesa com discos duplos paralelos. Fonte: autor

C C: Seção de colmo cortada em ripas. Fonte: autor



A | **A** Figura 37 - Transformação de ripas em lâminas
B A: Maquinário para usinagem de ripas em lâminas. Fonte: autor
B B: Lâminas de bambu. Fonte: autor



Figura 38 -Lâminas selecionadas, sem defeitos aparentes
Fonte: autor

O material seguiu para climatização no Laboratório de Produtos Florestais, do Serviço Florestal Brasileiro, do Ministério do Meio ambiente (LPF/SFB-MMA). As lâminas ficaram em câmara climatizadora a $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $65\pm 1\%$ de umidade por cinquenta dias, até adquirir massa constante (considerada quando o material observou diferença de massa em 48 horas menor que 0,1g), conforme recomendações da norma ASTM D143 (2014).

2.2. TRATAMENTO TÉRMICO

O tratamento térmico escolhido para ser realizado no bambu segue o modelo de Del Menezzi (2004), que utiliza uma temperatura constante para o tratamento. Contrasta com os trabalhos de Colla (2010) e Brito (2013), que aplicaram calor de forma progressiva até chegar a um ponto máximo, e imediatamente resfriado. Tal escolha se deve ao fato da temperatura ser o fator mais crítico das modificações do material, segundo apresentado na revisão bibliográfica. Ao mantê-la constante pode-se analisar separadamente os fatores temperatura e tempo de tratamento utilizando-se de análise fatorial. Tal procedimento

também foi utilizado por Korkut *et al.* (2008) com madeira e Zhang *et al.* (2012) com bambu.

Vários trabalhos apontam uma faixa ideal para o tratamento do bambu entre 180°C e 220°C. Os trabalhos de Colla (2010) e Brito (2013) tiveram tempo de tratamento variável, pela escolha do aumento constante da temperatura, utilizando uma taxa de calor média de 9°C por hora, a partir dos 100°C. No presente trabalho foram utilizadas duas temperaturas (180°C e 210°C) e dois tempos de exposição (2 horas e 4 horas), além da testemunha, totalizando 5 tratamentos, conforme a Tabela 5.

Tabela 5- Temperatura e tempo dos tratamentos térmicos realizados

| Tratamento | Temperatura | Tempo |
|----------------|--------------|--------------|
| A (180°C 2h) | 180°C | 2 horas |
| B (180°C 4h) | 180°C | 4 horas |
| C (210°C 2h) | 210°C | 2 horas |
| D (210°C 4h) | 210°C | 4 horas |
| T (testemunha) | (testemunha) | (testemunha) |

Fonte: autor

As lâminas produzidas foram medidas nas três dimensões, pesadas e separadas em cinco grupos de 20 lâminas, distribuídas de forma casualizada (foram classificadas por densidade, e em seguida separadas em grupos seguindo a sequência 1-2-3-4-5-5-4-3-2-1...), garantindo assim a randomização do material e mantendo a densidade homogênea entre os grupos.

O tratamento térmico foi realizado no laboratório do Departamento de Engenharia Florestal, da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (EFL/FT-UnB). Para tanto, foi utilizado uma estufa elétrica para esterilização e secagem com capacidade de 150 litros, modelo Nova técnica NT 515, com circulação de ar (por convecção natural) e com temperatura máxima de trabalho de 270°C. (Figura 39).

A estufa é primeiramente aquecida sem o material, até atingir a temperatura de tratamento. A temperatura foi medida utilizando um conjunto de três termopares do tipo K ligados a um termômetro *datalogger* modelo Icel TD-890 (Figura 39b).

As lâminas seguiram para medição de massa em uma balança digital modelo Marconi AS 2000C com de precisão 0,01g, e dispostas nas prateleiras de grade de alumínio da estufa, distantes 5cm entre si e das paredes do equipamento.

O tempo de tratamento se iniciou no momento em que a estufa retornou à temperatura de ensaio, por volta de 10 minutos, pois ela resfria com a abertura da porta e a manipulação das lâminas em seu interior. A variação máxima de temperatura foi de 4°C em qualquer um dos três pontos de medição. Após o tempo de ensaio, a estufa foi desligada e as lâminas resfriaram dentro do equipamento.

Com as lâminas à temperatura ambiente, a massa foi novamente medida, e elas voltaram à climatização no LPF/SFB-MMA por mais duas semanas. O efeito do tratamento térmico na cor aparente das lâminas pode ser visto na Figura 39c.

2.3. ENSAIO DE ESTABILIDADE DIMENSIONAL

O ensaio de estabilidade dimensional consistiu em medir a expansão e o ganho em massa do material quando submerso em água, levando em consideração o tempo de imersão. O objetivo é comparar a influência do tratamento térmico na expansão do material, em suas três dimensões, assim como na quantidade total de água absorvida.

O ensaio seguiu a norma ASTM D143 (2014). Para o cálculo da expansão em cada dimensão foi utilizada a Equação 1.

Equação 1

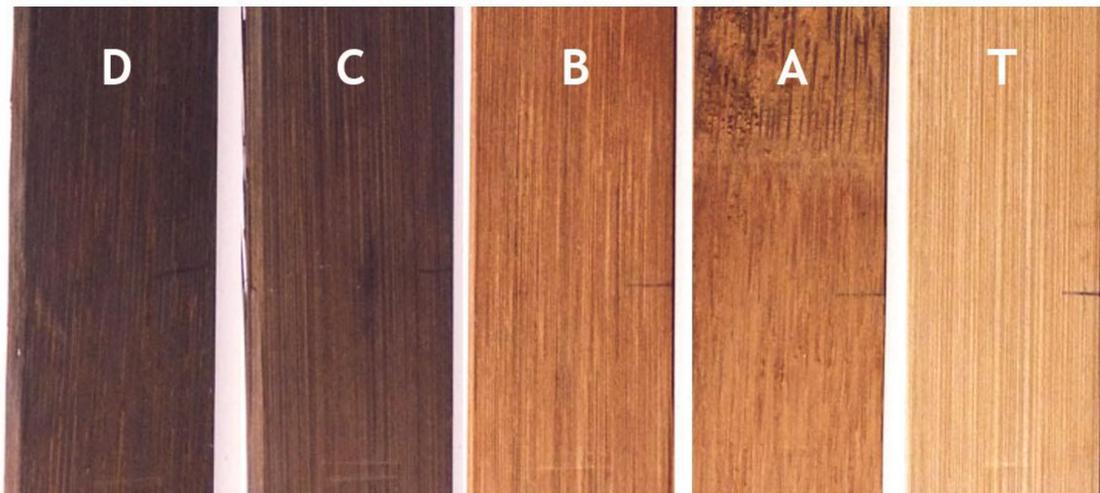
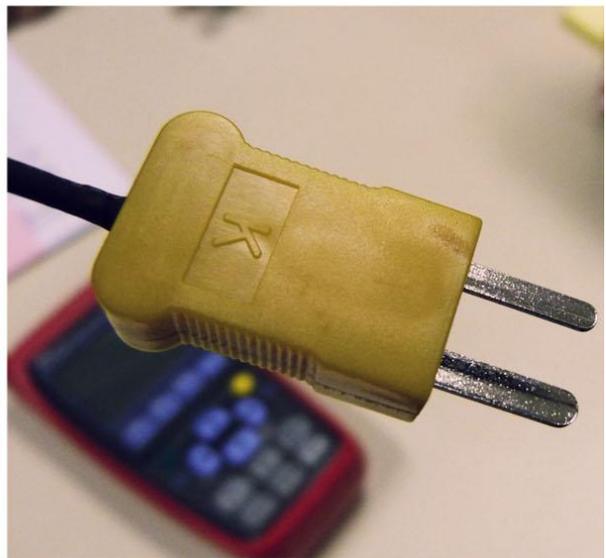
$$E = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100$$

onde:

E - Expansão do CP, em porcentagem (%)

E1 - Dimensão do CP após imersão, em milímetros (mm)

E0 - Dimensão do CP antes da imersão, em milímetros (mm)



- A** Figura 39 - Tratamento térmico das lâminas
A: Estufa para tratamento térmico. Fonte: autor
- B** B: Termopar. Fonte: autor
- C** C: Lâminas de BTR, com identificação do tratamento. D: 210°C por 4 horas; C: 210°C por 2 horas; B: 180°C por 4 horas; A: 180°C por 2 horas; T: Testemunha. Fonte: autor

O ensaio foi realizado no LPF/SFB-MMA. A partir das lâminas tratadas, foram confeccionados seis corpos-de-prova – CP, com de 25mm de comprimento por 25mm de largura e 8mm de espessura (Figura 40a) para cada tratamento, totalizando 30 CP. Inicialmente mediu-se as peças em três pontos no comprimento, três pontos na largura, e quatro pontos na espessura, utilizando para tanto um paquímetro digital com precisão de 0,01mm, modelo Mitutoyo 500-321 (Figura 39b). Os CP também tiveram a massa medida utilizando uma balança digital com precisão de 0,01g, modelo Marconi AS 2000C.

Os CP foram então posicionados em um tanque de vidro com água destilada (Figura 40c), com temperatura da água em 20°C . Foi utilizada uma tampa de cerâmica para garantir a submersão completa do material abaixo de 25mm do nível da água.

Eles foram retirados do tanque após 2 horas e 24 horas, secos com uma toalha de papel descartável, medidos e pesados, conforme procedimento relatado anteriormente. Cada etapa de medição e pesagem durou, em média, quinze minutos.

2.4. ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA

O ensaio de flexão estática consiste em apoiar o material em dois pontos fixos e aplicar uma força contrária no ponto central, medindo a força em função do deslocamento, obtendo assim uma curva de tensão-deformação.

O objetivo principal é obter o Módulo de Ruptura (MOR) e o Módulo de Elasticidade (MOE) do material. O cálculo dessas duas propriedades mecânicas pode ser realizado utilizando a Equação 2 (MOR) e a Equação 3 (MOE).

O ensaio foi realizado no laboratório do EFL/FT-UnB, em máquina universal de ensaios, modelo Emic DL3000 (Figura 41a), com célula TRD26 (Figura 41b), interligado a um computador utilizando o *software* Tesc 3.04.



A Figura 40 - Ensaio de estabilidade dimensional
A: CP para o ensaio de estabilidade dimensional. Fonte: autor
B Paquímetro . Fonte: autor
C Tanque com água para realização do ensaio de estabilidade dimensional. Fonte: autor

Equação 2

$$MOR = \frac{3PD}{2BE^2}$$

Equação 3

$$MOE = \frac{mD^3}{4BE^3}$$

Onde:

MOR - Módulo de Ruptura, em megapascals (MPa)

MOE - Módulo de elasticidade, em megapascals (MPa)

P - Carga máxima atingida, em newtons (N)

D - Distância entre os apoios do aparelho, em milímetros (mm)

B - Largura do CP, em milímetros (mm)

E - Espessura do CP, em milímetros (mm)

m - Inclinação da fase elástica na curva tensão-deformação, em newtons por milímetros (N/mm)

Foram produzidos para o ensaio 12 CP de 200mm de comprimento por 25mm de largura e 8mm de espessura para cada tratamento, totalizando 60 CP. As dimensões utilizadas foram adaptadas da norma ASTM D143 (2014), levando em consideração a dimensão máxima possível para a produção das lâminas.

Depois de medida a espessura (E) do CP em três pontos, foi estabelecido o ponto central e os pontos de apoio, utilizando uma distância (D) de 112mm entre si. O avanço da máquina permaneceu constante, em 6 milímetros por minuto. Os dados foram então exportados em forma de curva tensão-deformação. A inclinação da fase elástica (m) foi calculada utilizando dois pontos dentro do limite de proporcionalidade na fase elástica da curva, a 30% e a 60% da tensão máxima.



Figura 41 - Máquina universal de ensaio e célula de carga
Fonte: autor

2.5. ENSAIO NÃO-DESTRUTIVO UTILIZANDO ONDAS ACÚSTICAS

É possível obter uma estimativa das propriedades tecnológicas de um material sem alterar sua capacidade de uso final. Assim, pode-se ensaiar as propriedades dos mesmos CP em diferentes momentos, sem correr o risco da medição influenciar os resultados. Os ensaios realizados com essa característica são denominados ensaios não-destrutivos.

Jayne (1959) propôs a hipótese de que as propriedades de conservação e dissipação de energia na madeira podem ser mensuradas, e assim, utilizadas como mecanismos para determinar o comportamento estrutural do material. Logo, podem ser estabelecidas relações matemáticas entre essas propriedades com a resistência e elasticidade da madeira e de outros compostos lignocelulósicos. Existem várias formas de se realizar o ensaio, mas as mais comuns para o caso da madeira são os ensaio com ultrassom e com ondas acústicas (também chamado de *stress wave*).

O presente trabalho foi realizado utilizando ondas acústicas. O equipamento utilizado para o ensaio foi o *Stress Wave Timer* (SWT) modelo Metriguard 239A, um equipamento que mede o tempo de trânsito de uma onda entre dois receptores. A fonte da onda foi um pêndulo metálico acoplado à base do equipamento. A partir do tempo medido, da distância previamente medida entre os receptores, e da massa específica do material, pode-se calcular o MOEd utilizando as equações 4 e 5.

Equação 4

$$v = \frac{L}{t \times 10^{-6}}$$

Equação 5

$$MOEd = \frac{v^2 \times Me}{g}$$

Onde:

v = Velocidade de propagação da onda, em centímetros por segundo (cm/s)

L = Distância percorrida pela onda, em centímetros (cm)

t = Tempo de trânsito da onda, em microssegundos (μ s)

MOEd = Módulo de elasticidade dinâmico, em kilogramas-força por centímetro quadrado (kgf/cm²), convertido em seguida para megapascals (Mpa)

Me = Massa específica do painel, em kilograma por centímetros cúbicos (kg/cm³)

g = Constante da aceleração da gravidade, de 980,4 centímetros por segundo ao quadrado (980,4 cm/s²)

2.6. ENSAIO DE MOLHABILIDADE

O ensaio de molhabilidade tem por objetivo estudar as relações de compatibilidade entre dois materiais, sendo ao menos um deles um fluido. A forma mais utilizada para se medir a molhabilidade da superfície da madeira é chamada de método da gota séssil, onde utiliza-se uma câmera perpendicular para registrar imagens de uma gota do líquido estudado (por padrão, água destilada) entrando em contato com a superfície da

madeira, realizando medições do ângulo de contato entre os dois materiais em função do tempo.

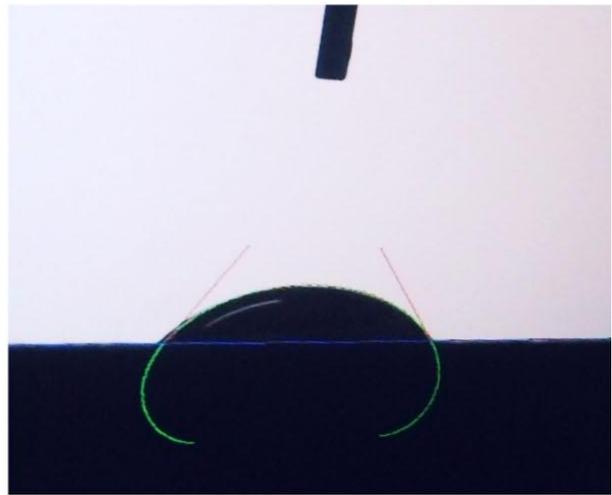
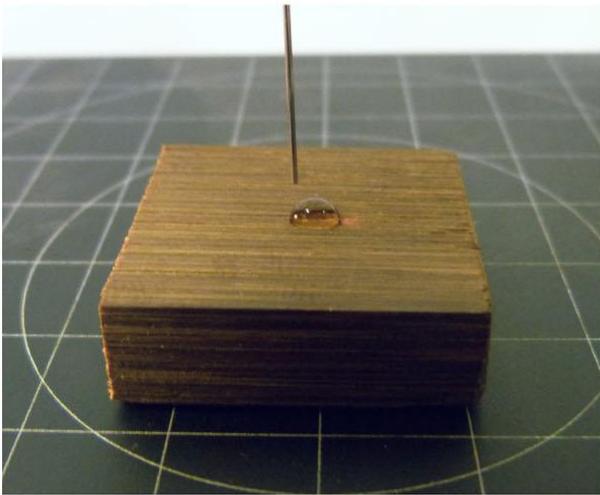
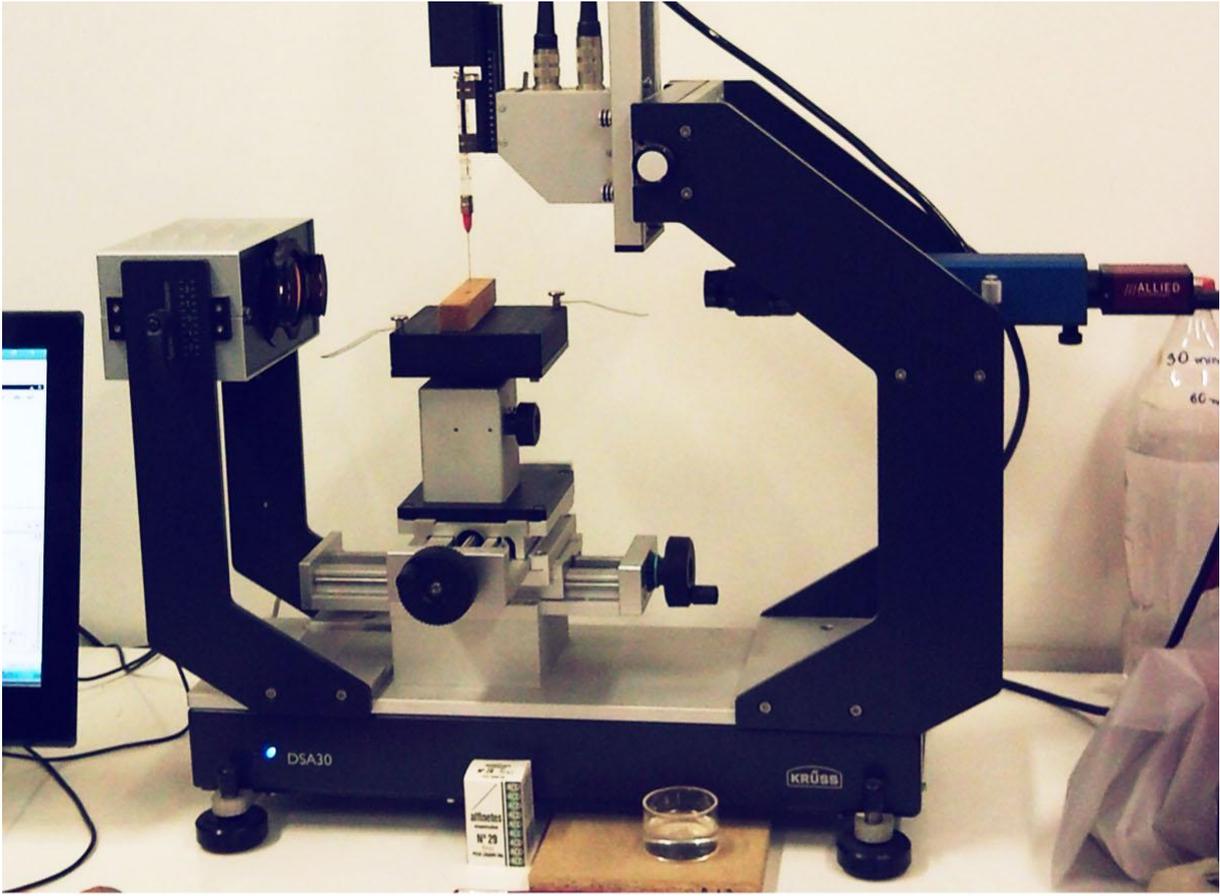
O ensaio foi realizado no laboratório do EFL/FT-UnB, utilizando um goniômetro digital, modelo Krüss DSA 30 (Figura 42a), interligado a um computador utilizando o *software* Krüss DSA 3, sendo o líquido em deposição a água destilada. As variáveis ambientais (temperatura, pressão e umidade relativa) não foram controladas.

Foram confeccionados a partir das lâminas tratadas 8 (oito) CP de 25mm de comprimento por 25mm de largura e 8mm de espessura para cada tratamento, totalizando 40 CP. O ensaio foi realizado na face tangencial do bambu, utilizando o lado mais externo (próximo à casca).

O procedimento consistiu em depositar 25 μ L de água destilada no CP através da agulha do equipamento a 0,5mm da superfície (Figura 42b). Após o tempo de 1 (um) segundo, necessário para o recolhimento da agulha, ângulo de contato dos lados direito e esquerdo da gota (Figura 42c) foram medidos a cada 2 segundos.

2.7. MODELAGEM ESTATÍSTICA

Para realizar a comparação dos resultados foi utilizada a análise de variância (ANOVA), ressaltando posteriormente os valores estatisticamente diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett (1955) a um nível de significância de 1%, e os valores estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey a um nível de significância de 5%.



A
B | **C**

Figura 42 - Ensaio de molhabilidade

A: Goniômetro digital. Fonte: autor

B: Gota de água destilada depositada no CP. Fonte: autor

C: medição dos ângulos de contato entre a água e o CP. Fonte: autor

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. PERDA DE MASSA

A redução da massa é o principal fator indicativo do tratamento térmico efetivo no material. É o parâmetro utilizado como referência de qualidade do tratamento em vários processos industriais (ESTEVES e PEREIRA, 2008). A perda de massa está diretamente relacionada com a densidade final, e é um indicativo de mudanças internas estruturais, como a degradação da hemicelulose. A Tabela 6 apresenta o efeito do tratamento térmico na redução de massa.

Tabela 6 - Resultados da perda de massa

| Tratamento | Redução de massa (%) | Densidade final (g/cm ³) | Redução de MOEd (%) |
|----------------|----------------------|--------------------------------------|---------------------|
| A (180°C 2h) | 12,66 a | 0,551 a | 4,40 a |
| B (180°C 4h) | 14,65 a | 0,549 a | 8,93 a |
| C (210°C 2h) | 16,78 b | 0,512 b | 15,07 b |
| D (210°C 4h) | 19,58 c | 0,503 c | 25,62 c |

Letras iguais representam p-valor maior que α pelo teste de Tukey a 5%. A redução na densidade e no MOEd se mostraram estatisticamente diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 1%. Os valores completos e o detalhamento estatístico podem ser conferidos nos anexos.

O teste de Dunnett a 1% de relevância demonstrou que todos os tratamentos térmicos utilizados tiveram um efeito de redução de massa, e portanto, de outras propriedades físicas e mecânicas.

De um modo geral, a diferença no tempo de tratamento para o ensaio a 180°C não foi significativa. Já para a maior temperatura houve uma variação expressiva causada pelo maior tempo de exposição. A densidade final segue de acordo com a redução de massa, o que também confirma a homogeneidade entre os quatro grupos.

O MOEd foi medido com os mesmos CP logo antes e logo depois do tratamento, e o teste de Tukey demonstra que seu valor reduz nos tratamentos C e D, de forma similar à massa. A redução de massa encontrada por Colla não foi significativa entre as temperaturas de 180°C e 220°C, apesar das médias ficarem em 0,79 e 0,75 g/cm³, respectivamente.

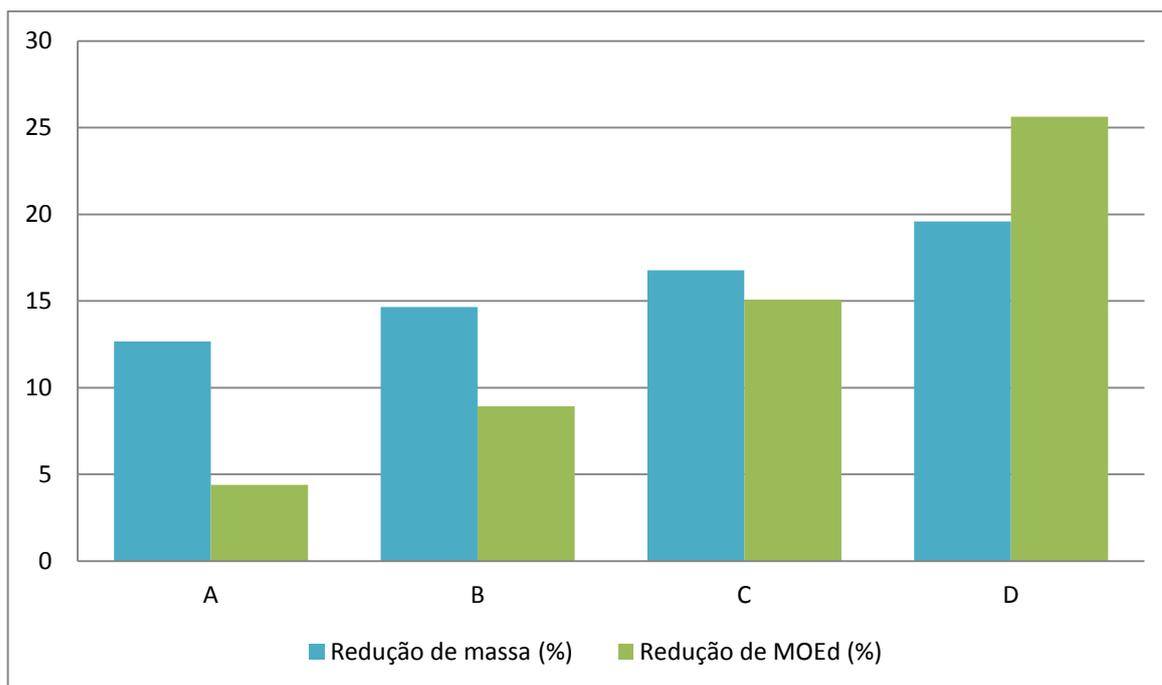


Figura 43 - Gráfico da perda de massa

Como pode-se ver, a densidade do bambu utilizado por Colla foi maior. A espécie utilizada foi a mesma, mas os colmos tinham 5 anos de idade, o que pode ter sido o responsável pela densidade maior. Brito, que também realizou ensaios com o BTR produzido com a espécie *D. giganteus*, chegou a resultados parecidos com Colla. A densidade inicial ficou em torno de $0,66 \text{ g/cm}^3$, e a perda de massa para as temperaturas de 180°C e 200°C foram de 5,33% e 6,65%.

Nguyen *et al.* (2012) chegaram a valores mais próximos ao encontrado nesse estudo, sendo o bambu *D. asper* tratado a 220°C chegando a 16% de perda de massa na parte do topo do colmo, e próximo a 18% na parte medial. Windeisen *et al.* (2009) chegaram também a valores em torno de 15% a temperaturas acima de 180°C , que é por volta da T_g da hemicelulose, demonstrando que houve nessa temperatura mudanças importantes na estrutura do bambu.

3.2. ESTABILIDADE DIMENSIONAL

A estabilidade dimensional é a característica do material de alterar suas dimensões. Com materiais lignocelulósicos, essa variação é dada principalmente pela absorção de água, por ser água, por ser um material higroscópico. A absorção do bambu pode ser entendida na Tabela 7. Como pode ser visto, a absorção de água não foi significativa para nenhum dos tratamentos. Já os valores de expansão das três direções foram mais expressivos. A

Tabela 8 apresenta os resultados do ensaio de estabilidade dimensional dos 5 tratamentos em 2 horas e 24 horas de imersão em água. As figuras 44 e 45 representam graficamente os resultados da resultados da

Tabela 8 para os valores em 2 horas e 24 horas.

Tabela 7- Resultados de absorção de água

| Tratamento | Absorção em 2 horas (%) | Absorção em 24 horas (%) |
|----------------|-------------------------|--------------------------|
| A (180°C 2h) | 16,49 a | 50,43 a |
| B (180°C 4h) | 17,82 a | 49,04 a |
| C (210°C 2h) | 15,83 a | 42,20 a |
| D (210°C 4h) | 16,67 a | 39,96 a |
| T (testemunha) | 15,30 a | 48,67 a |

Letras iguais na coluna representam p-valor maior que α pelo teste de Tukey a 5%. Os valores completos e o detalhamento estatístico podem ser conferidos nos anexos.

Tabela 8 - Resultados do ensaio de estabilidade dimensional

| Tratamento | Tempo | Radial (%) | Tangencial (%) | Axial (%) | Coefficiente de anisotropia |
|------------|----------|------------|----------------|-----------|-----------------------------|
| A | 2 horas | 1,94 a | 0,49 a | 0,37 a | 0,25 |
| | 24 horas | 5,28 e | 2,54 c | 0,86 c | 0,48 |
| B | 2 horas | 2,65 ab | 0,54 a | 0,30 a | 0,20 |
| | 24 horas | 6,05 e | 2,76 c | 0,44 c | 0,46 |
| C | 2 horas | -0,33 c | -0,14 a | 0,55 a | 0,43 |
| | 24 horas | 1,47 f | 1,56 c | 0,44 c | 1,06 |
| D | 2 horas | 2,83 abd | 1,08 a | 0,53 a | 0,38 |
| | 24 horas | 6,24 e | 2,65 c | 0,50 c | 0,42 |
| T | 2 horas | 4,11 d | 1,73 b | 0,92 b | 0,42 |
| | 24 horas | 11,42 g | 5,04 d | 0,97 d | 0,44 |

Letras iguais na coluna representam p-valor maior que α pelo teste de Tukey a 5%. Os valores de expansão dos tratamentos térmicos nas três dimensões em 24 horas se mostraram estatisticamente diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 1%.

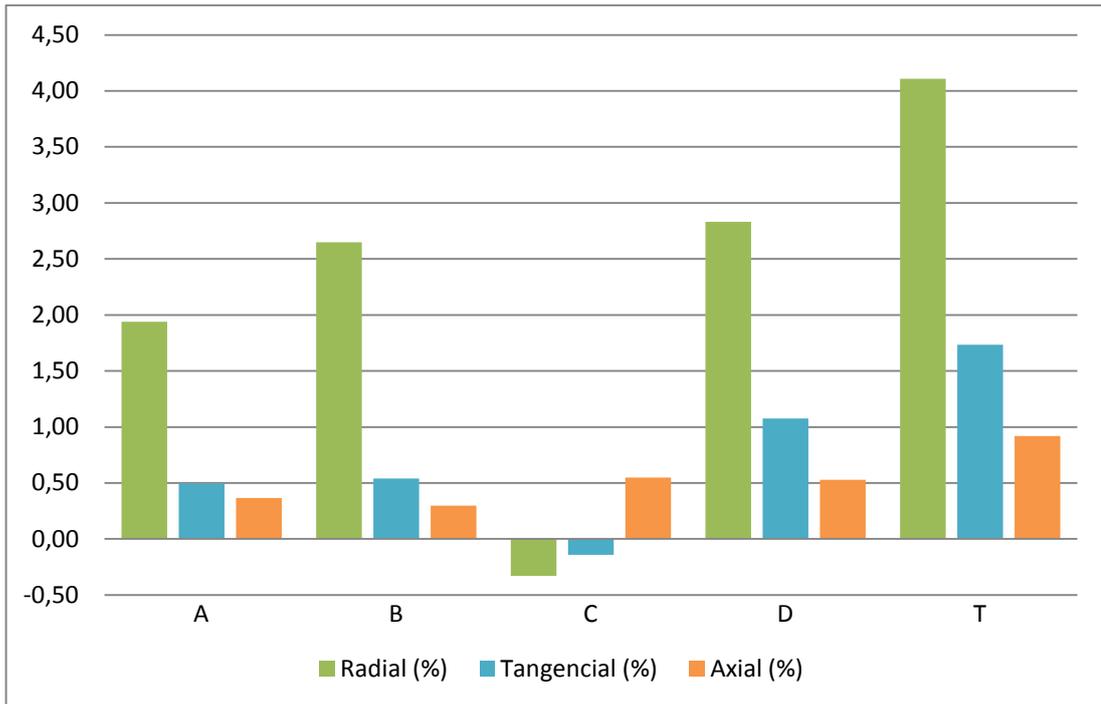


Figura 44 - Gráfico da expansão nas três dimensões após 2 horas de imersão

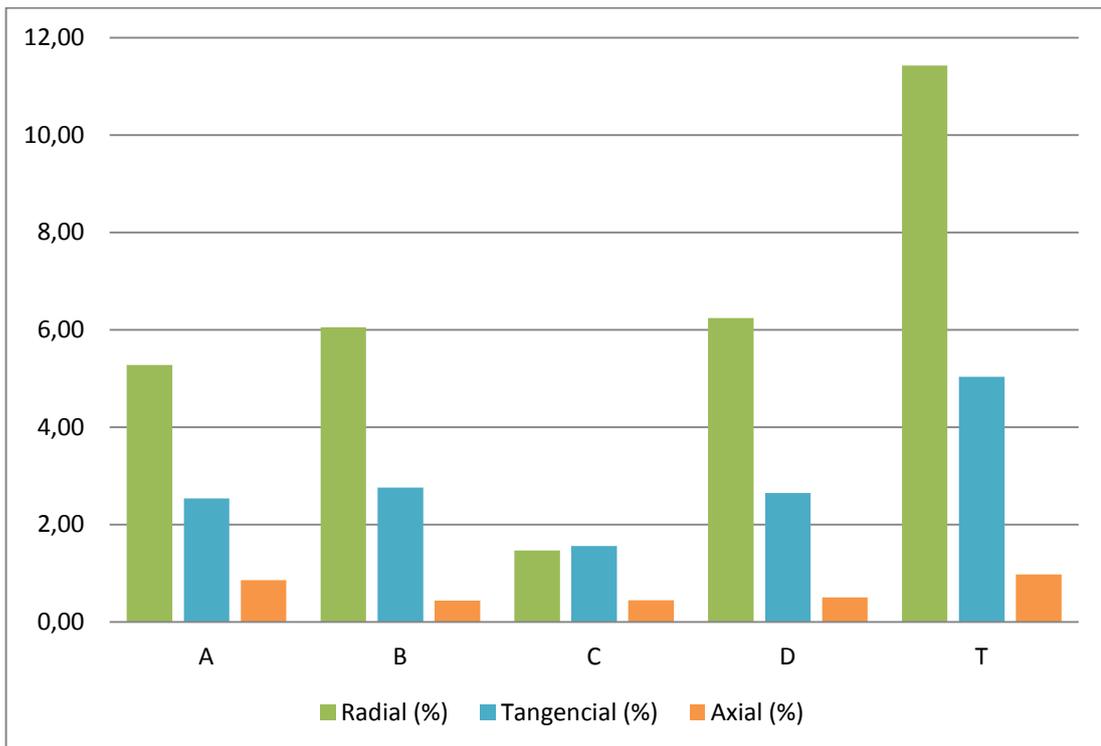


Figura 45 - Gráfico da expansão nas três dimensões após 24 horas de imersão

Pode-se perceber que a direção com maior variação dimensional é a radial, seguida da tangencial, e por último a axial. O teste de Dunnett a 1% demonstrou que a testemunha difere dos tratamentos térmicos em todas as três dimensões. A diferença na expansão radial foi quase insignificante, tendo diferença expressiva apenas quando comparado à testemunha, o que demonstra que o tratamento térmico modificou de alguma forma a estrutura do bambu mesmo à temperatura de 180°C.

O coeficiente de anisotropia se manteve razoavelmente constante, demonstrando uma proporção do dobro da expansão radial em relação ao tangencial. Os resultados de Colla corrobora essa constância, se modificando apenas em temperaturas acima de 260°C. Já Brito obteve um coeficiente de 0,9 tanto na expansão quanto na contração, possivelmente por diferenças naturais advindas do cultivo e da variabilidade fenotípica da planta estudada.

A variação dimensional no sentido radial maior que a no sentido tangencial é uma característica encontrada em vários estudos com bambu (AHMAD, 2000; FANG *et al.*, 2013; NGUYEN *et al.*, 2012), sendo o contrário do encontrado na madeira. Isso se deve, principalmente, pela não existência de fibras e estruturas radiais no colmo (LIESE, 1985). Os valores de expansão radial e tangencial do tratamento C não parecem coerentes, demonstrando algum erro não identificado na coleta dos dados. Em geral, a característica de estabilidade dimensional foi melhorada com o uso do calor, não havendo grandes diferenças entre os quatro tratamentos térmicos.

3.3. MOLHABILIDADE

A molhabilidade é uma característica do material que descreve a relação de sua superfície com um líquido. É essencial o conhecimento de tal propriedade para prever a compatibilidade entre o bambu e o adesivo utilizado para produção do BaLC.

Sua medição se deu pelo ensaio de molhabilidade pela gota séssil, que consiste na deposição de uma gota de água destilada na superfície, e a medição dos ângulos de contato em função do tempo. O ensaio foi realizado apenas na face radial. A Figura 46 apresenta graficamente a relação entre o ângulo de contato e o tempo.

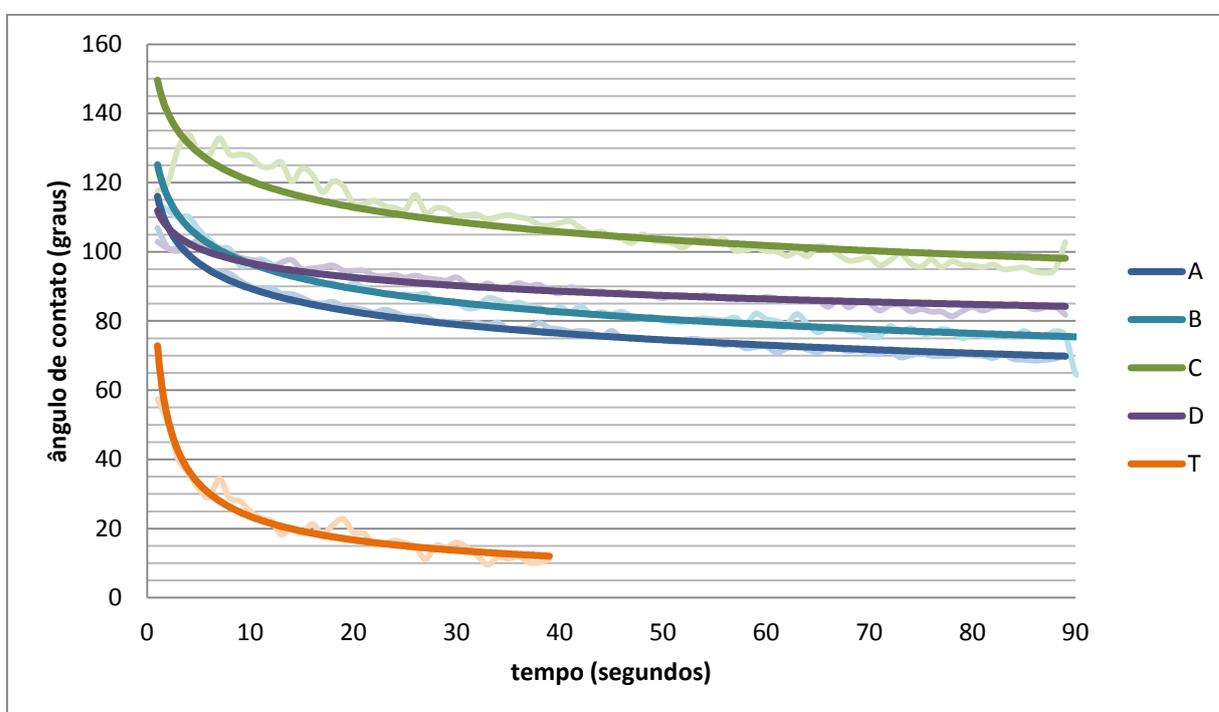


Figura 46 - Gráfico dos resultados de molhabilidade, evidenciando a regressão potencial

A interpretação dos dados de molhabilidade normalmente se dá pela análise do ângulo de contato em equilíbrio, ou seja, quando a variação do ângulo de contato no tempo tende a zero. No entanto, se a força de difusão na superfície se mantém positiva em relação ao líquido o líquido é absorvido totalmente, e um equilíbrio nunca é encontrado. É um caso comum no estudo da molhabilidade em materiais lignocelulósicos (AHMAD, 2000).

Sheldon e Gardner (2001) descrevem que o primeiro contato do líquido com a superfície do material lignocelulósico há uma maior quantidade de energia livre da superfície, ocasionando um rápido espalhamento e penetração do líquido. Inicialmente o ângulo de contato diminui rapidamente, caracterizando uma fase de espalhamento. Em seguida atinge um ponto de equilíbrio, onde a redução se dá de forma mais lenta e constante, caracterizando uma fase de difusão. Pode-se perceber claramente esse comportamento na Figura 46.

Nesses casos, para analisar os resultados de molhabilidade são utilizadas medidas de ângulo parcial e ângulo final, em momentos distintos no processo de umectação, que devem ser estar dentro da fase de difusão (SHELDON e GARDNER, 2001).

Os tempos utilizados para o os dois ângulos foram 40 segundos e 80 segundos para os quatro tratamentos térmicos, que obtiveram comportamento similar. Para a testemunha foi utilizado os tempos de 20 segundos e 35 segundos. Não há dados de molhabilidade da testemunha após os 40 segundos pela incapacidade do equipamento em diferenciar o contorno da gota e a rugosidade do bambu em ângulos menores. A Tabela 9 apresenta os resultados de ângulo parcial e final do ensaio de molhabilidade.

Tabela 9 - Resultados do ensaio de molhabilidade

| Tratamento | Ângulo parcial (°) | Ângulo final (°) | Varição angular (°/s) |
|----------------|--------------------|------------------|-----------------------|
| A (180°C 2h) | 77,27 ± 10,08 | 69,8 ± 10,97 | 0,12 |
| B (180°C 4h) | 83,64 ± 10,47 | 75,8 ± 10,11 | 0,13 |
| C (210°C 2h) | 106,0 ± 21,75 | 95,95 ± 24,77 | 0,17 |
| D (210°C 4h) | 88,97 ± 10,13 | 83,69 ± 10,32 | 0,09 |
| T (testemunha) | 17,6 ± 10,79 | 11,19 ± 9,74 | 0,43 |

Valores com seus respectivos desvios-padrão. Os valores completos e o detalhamento estatístico podem ser conferidos nos anexos.

Como citado na revisão bibliográfica, foram encontrados poucos estudos de molhabilidade com o bambu. Os resultados encontrados em bibliografia para o gênero *Dendrocalamus* ficou em torno de 80° a 40°, com desvio-padrão em torno de 10°, confirmando os dados angulares ensaiados no presente trabalho.

A variação angular é claramente diferente na testemunha comparada aos tratamentos, assim como os ângulos de contato, caracterizando como uma possível perda na qualidade da adesão. Ainda assim, os ângulos dos tratamentos a 180°C são comparáveis à madeira tratada convencionalmente, em torno de 65° (AHMAD, 2000).

3.4. MÓDULO DE ELASTICIDADE

O Módulo de Elasticidade (MOE)⁸ é uma propriedade mecânica que descreve a rigidez do material, obtido pela razão entre a tensão sofrida pelo material e sua deformação elástica correspondente. Um valor maior nessa propriedade significa geralmente um material mais rígido.

Já o Módulo de Elasticidade Dinâmico (MOEd) é uma previsão do comportamento elástico do material adquirido a partir das características de densidade e da velocidade de uma onda sonora por um corpo-de-prova. A Tabela 10 apresenta os resultados de MOE e MOEd.

Tabela 10- Resultados do MOE e do MOEd do material

| Tratamento | MOE (MPa) | MOEd (MPa) |
|----------------|-----------|------------|
| A (180°C 2h) | 9858 ac | 9887 ac |
| B (180°C 4h) | 10275 a | 10142 a |
| C (210°C 2h) | 7743 ab | 8060 ab |
| D (210°C 4h) | 8416 b | 8346 b |
| T (testemunha) | 10435 c | 11669 c |

Letras iguais representam p-valor maior que α pelo teste de Tukey a 5%. Os valores de MOE e MOEd dos tratamentos B, C e D se mostraram estatisticamente diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 1%. Os valores completos e o detalhamento estatístico podem ser conferidos nos anexos.

⁸ MOE – Também chamado de Módulo de Young, e representado pela letra E capitular.

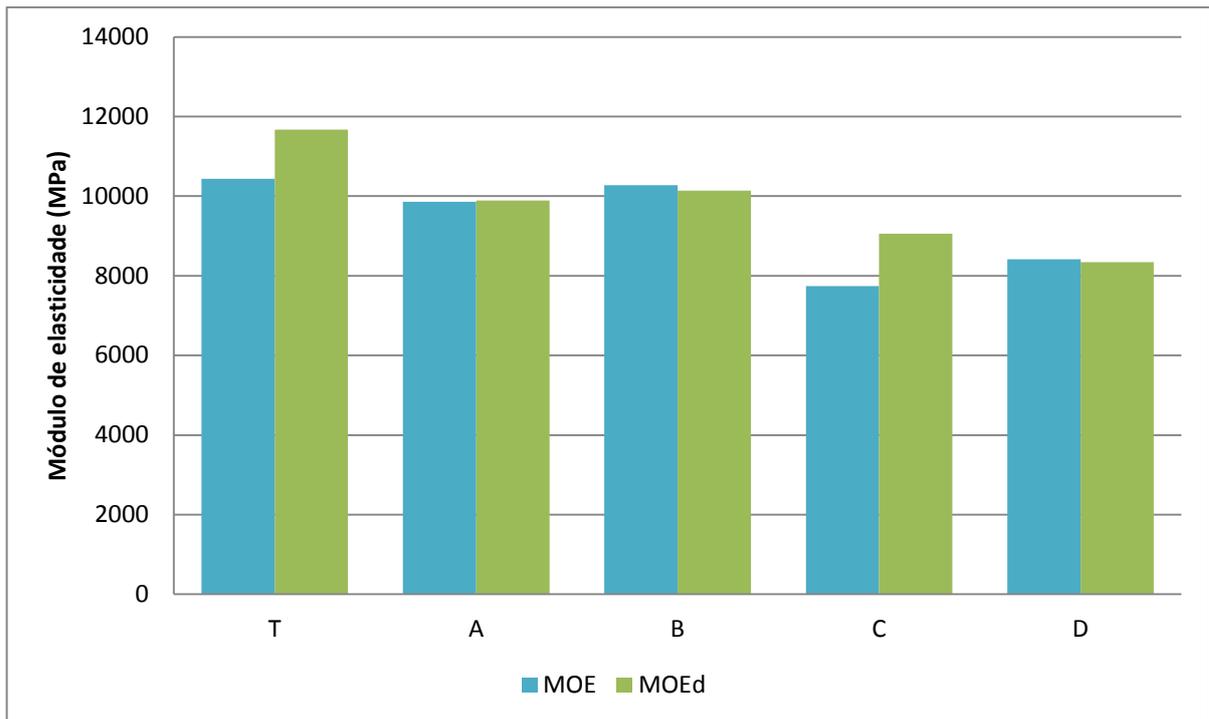


Figura 47 - Gráfico de MOE e MOEd

O teste de Dunnett demonstra que o tratamento térmico efetivamente reduziu o MOE do BaLC. Dentre os tratamentos, o mais afetado é o D, tratado a 210°C por 4 horas. Apesar de ter obtido média maior que o tratamento C, o tratamento D é estatisticamente diferente dos outros. Os tratamentos têm valores similares, com a tendência ao agrupamento pela temperatura utilizada. O MOEd apresenta um comportamento muito similar ao MOE ensaiado por flexão estática, o que corrobora o resultado esperado a partir da bibliografia.

Os valores médios dessa propriedade são menores que os encontrados por Colla (2010), e menores ainda se comparados a ensaios com o BaLC montado, como por Brito e Beraldo & Riveiro. Ainda assim, esse resultado por volta dos 9000 MPa é encontrado na literatura, como em Paes *et al.* (2009). Para outras espécies de grande porte, como o *P. pubescens* e o *G. angustifolia*, resultados similares também são encontrados, entre 8000 e 11000 MPa (LI *et al.*, 2013; ZHANG & YU, 2012).

3.5. MÓDULO DE RUPTURA

O Módulo de Ruptura (MOR)⁹ representa a tensão máxima suportada pelo material (em esforços de flexão, no caso deste estudo) até sua falha. É uma medida de resistência, e pode ser entendida no projeto como a carga máxima a qual o material consegue suportar, em média. Naturalmente se utiliza para fins de projeto uma carga máxima de trabalho menor que esse limite. A Tabela 11 e a Figura 48 apresentam os resultados de MOR e carga de ruptura, que é a carga efetiva a qual o material foi submetido até sua falha.

Pode-se notar que a temperatura de tratamento foi o fator mais significativo para definição da redução do MOR, sendo essa a propriedade mecânica mais afetada segundo bibliografia (ESTEVEES e PEREIRA, 2008). O tratamento a 180°C reduziu em média 70% do MOR, e a 210°C o MOR for reduzido em 54%. Resultados muito similares de perda de resistência pela ação do calor foram encontrados por Zhang *et al.* (2012) e Colla (2010). Em valores absolutos, O bambu teve bons resultados de MOR, acima dos encontrados por Brito (2013) e por Beraldo e Riveiro (2003) para o bambu não tratado.

Tabela 11 - Resultados do módulo de ruptura

| Tratamento | Carga de Ruptura (N) | MOR (MPa) |
|----------------|----------------------|-----------|
| A (180°C 2h) | 882,13 | 91,49 a |
| B (180°C 4h) | 684,30 | 71,32 a |
| C (210°C 2h) | 600,40 | 61,98 b |
| D (210°C 4h) | 613,13 | 63,04 b |
| T (testemunha) | 1065,89 | 115,42 c |

Letras iguais representam p-valor maior que α pelo teste de Tukey a 5%. Os valores de MOR de todos os tratamentos térmicos se mostraram estatisticamente diferentes da testemunha pelo teste de Dunnett a 1%. Os valores completos e o detalhamento estatístico podem ser conferidos nos anexos.

⁹ MOR – Também chamado de tensão de ruptura, e representado pela letra grega minúscula sigma (σ)

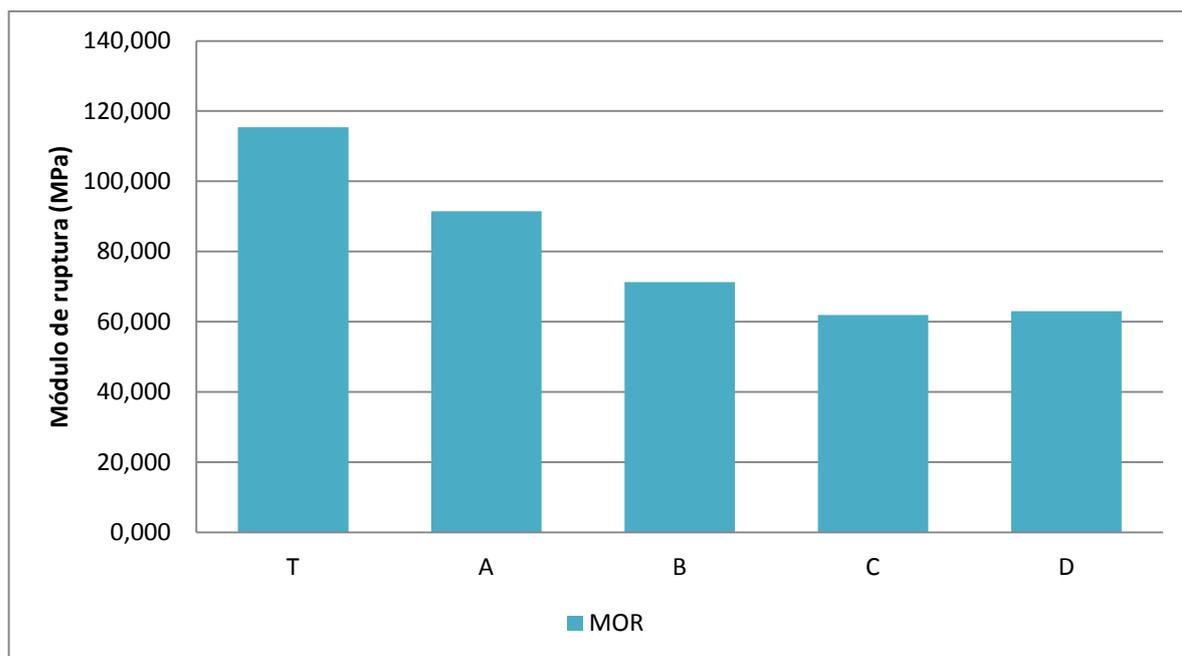


Figura 48 - Gráfico de MOR

3.6. CONCLUSÕES PARCIAIS

Em conclusão, a temperatura tem maior influência do que o tempo de tratamento nas propriedades físicas e mecânicas do BTR. Não houve diferença significativa entre os tratamentos na absorção de água; já a estabilidade dimensional foi melhorada. A molhabilidade também foi claramente afetada, reduzindo drasticamente a afinidade com a água com o aumento da temperatura de tratamento.

As propriedades mecânicas, em geral, foram reduzidas. O tratamento a 180°C por 2 horas foi o mais brando, reduzindo o MOR em 21% e o MOE em 6%. Os valores absolutos, no entanto, ainda são compatíveis com o uso pretendido, ou seja, o *design* de móveis.

O BTR obteve, em linhas gerais, propriedades físicas e mecânicas adequadas para o uso no *design* de móveis. O tratamento mais indicado para tal uso é a 180°C por 2 horas, por ter melhorias nas propriedades físicas, mantendo as propriedades mecânicas a um nível adequado.

4. PROJETO DE PRODUTO

4.1. DIRETRIZES DE PROJETO

Esta fase da dissertação caracteriza-se por ser projetual. O objetivo principal desta seção é discutir as diretrizes de projeto na área de *design* para a aplicação do BaLCTR, levando em conta um exercício de projeto de uma poltrona para ambientes internos. Pretende-se assim explorar as potencialidades advindas do uso do BaLC, e em especial o BaLCTR, no *design* de móveis.

Os móveis mais utilizados para o exercício com novos materiais são os que cumprem a função de sentar, notadamente a cadeira e a poltrona (RUSSELL, READ e GARNER, 1980). O ato de projetar uma poltrona traz diversos desafios, pois a interação do objeto com o corpo humano é intensa e dinâmica. O material é estruturalmente exigido, principalmente nos encaixes e conexões, devendo permitir configurações espaciais que favoreçam o conforto e a constante mudança de postura do usuário.

As principais propriedades do BaLC devem ser destacadas para se delinear claramente as diretrizes do projeto. O BaLCTR tem maior estabilidade dimensional, mantendo o seu coeficiente de anisotropia. Ou seja, o material tem menor variação em suas dimensões devido a diferenças na umidade, e suas proporções se modificam de forma similar ao BaLC tratado convencionalmente.

Ele também é mais hidrofóbico, sendo mais adequado para o uso em partes do objeto com maior propensão ao contato com a água, como nos pés da poltrona. Por outro lado, a hidrofobia possivelmente dificulta o processo de colagem, como demonstrado por Weiland & Guyonett (2003).

As propriedades mecânicas do BaLCTR em geral são reduzidas. O tratamento mais adequado ao *design* de móveis, evidenciado no capítulo anterior, utiliza temperatura de 180°C por 2 horas. Como consequência, as lâminas de bambu têm uma redução de 18% no MOR e 6% no MOE. O bambu tem baixa resistência ao cisalhamento (DUNKELBERG, 1985), e o tratamento térmico o deixa especialmente frágil a tais esforços.

Tendo em mente essas características do material, as diretrizes selecionadas para o projeto são:

- A. Combinar o BaLC com tratamento térmico e com tratamento convencional, com ênfase nas diferenças físicas e mecânicas, bem como na articulação de cores e texturas;
- B. Utilizar o BaLCTR em componentes não sujeitos a esforços de flexão;
- C. Explorar o uso de encaixes, levando em consideração a baixa resistência ao cisalhamento;
- D. Evitar o uso de outros materiais na parte estrutural da poltrona, evidenciando as propriedades mecânicas do BaLC;
- E. Utilizar pouco material, contribuindo para um menor impacto ambiental;
- F. Evitar a exposição do corte axial do BaLC, principalmente em parte que possam ter maior contato com água e umidade;
- G. Explorar o uso da técnica de curvamento do bambu.

Como resultado serão apresentados a seguir o processo de criação, o detalhamento técnico e a ilustração dos principais componentes da poltrona projetada. Todas as etapas foram documentadas e posteriormente analisadas, realizando-se conexões do processo de projeto com as informações e dados levantados em bibliografia e nos ensaios físicos e mecânicos do material.

4.2. DESENVOLVIMENTO DA POLTRONA

O processo de projeto iniciou-se com a tentativa de solucionar a Diretriz A, ou seja, desenvolver uma forma de utilização conjunta do BaLC convencional e o BaLCTR. Optou-se pelo BaLC convencional para formas e partes que utilizem curvas ou necessitem de uma grande peça contínua de material, pois o tratamento químico não reduz significativamente as propriedades mecânicas (ROSA, SANTINI, *et al.*, 2009). Além disso, permite a obtenção de peças de maiores dimensões em laboratório, pois não há a limitação no comprimento da peça, gerada pelo uso de forno ou mufla no tratamento térmico.

Onde há a necessidade de maior estabilidade dimensional, como em encaixes e conexões, o BaLCTR pode ser uma opção mais vantajosa. Ele também é mais indicado para peças menores e de preenchimento, por ter menor impacto ambiental (VOGTLÄNDER, VAN DER LUGT e BREZET, 2010).

Outro ponto positivo dessa combinação é a maior variabilidade de cores, com a possibilidade de uso de duas tonalidade de bambu, o que permite a criação de desenhos e efeitos visuais. Com o intuito de racionalizar o processo de produção, um perfil-base para a produção das principais peças em BaLC foi selecionado entre várias alternativas geradas. Além disso, com a padronização das proporções entre os materiais, tem-se a oportunidade de conferir um padrão visual mais conciso à poltrona (Figura 49). A espessura de cada camada deve seguir a espessura da lâmina de bambu, evitando processos de colagem e usinagem e contribuindo para a desmaterialização do projeto como um todo.

Em seguida, as considerações gerais quanto à proporções da poltrona foram estudadas. Uma parte imprescindível a ser considerada no projeto de uma poltrona é a ergonomia física conforme definida por Iida (2005), ou seja, as interações do ser humano com o objeto levando em consideração as características da anatomia humana, da antropometria, da fisiologia e da biomecânica.

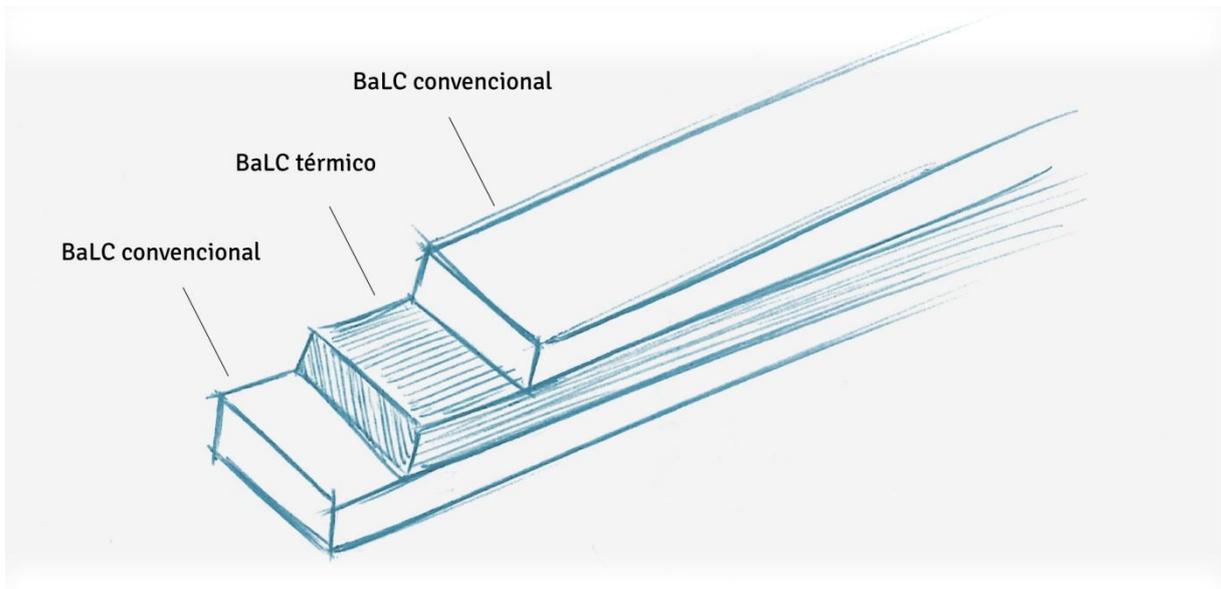


Figura 49 - Perfil-base para as peças principais da poltrona

O mesmo autor fez um levantamento antropométrico voltado para a aplicação no projeto de produtos. No presente trabalho foram considerados os dados antropométricos brasileiros, nos quais são destacados os mais relevantes para o estudo da poltrona (Tabela 12).

Tabela 12 - Dimensões antropométricas de trabalhadores brasileiros, baseadas em uma amostra de 3100 trabalhadores do Rio de Janeiro

| Medida antropométrica estática (cm) | 5% | 50% | 95% |
|---|------|------|------|
| Altura do cotovelo, a partir do assento | 18,5 | 23,0 | 27,5 |
| Altura poplítea ¹⁰ , sentado | 39,0 | 42,5 | 46,5 |
| Comprimento nádega-poplítea | 43,5 | 48,0 | 53,0 |
| Largura entre cotovelos | 39,7 | 45,8 | 53,1 |
| Comprimento do antebraço, na horizontal | 32,7 | 36,2 | 38,9 |

Observação: Os valores percentuais (5%, 50% e 95%) referem-se aos limites dos dados. Por exemplo, 5% da amostra tem o antebraço menor que 32,7cm.

Fonte: lida (2005)

A forma correta de utilizar dados antropométricos para o *design* de um objeto não é trivial, e deve-se ter clareza de quando utilizar cada um dos limites inferior ou superior

¹⁰ Poplítea: Parte posterior (de trás) do joelho. Refere-se à artéria poplítea, encontrada nessa região.

dos dados. A altura do assento, por exemplo, está diretamente relacionada à altura poplíteia, e no caso de uma poltrona deve atender ao limite inferior (os 5% menores), para garantir um apoio satisfatório dos pés do usuário na superfície do chão.

A altura do cotovelo e o comprimento do antebraço estão relacionados ao encosto de braço, e são utilizados os valores médios, por não oferecerem impedimentos à utilização confortável da poltrona. A largura entre cotovelos define a largura mínima da poltrona, que deve idealmente atender ao limite superior (os 5% maiores), garantindo assim uma experiência confortável a todos os que utilizarem o objeto.

Por fim, o comprimento do assento pode ser definido utilizando o comprimento nádega-poplíteia, ou seja, a distância entre o início das nádegas e a parte inferior do joelho. Em uma cadeira de trabalho utiliza-se o limite inferior, mantendo ao menos 2cm de folga (IIDA, 2005, p. 151), garantindo assim que o assento não comprimirá a parte posterior do joelho e que o usuário mantenha a postura ereta. No caso de uma poltrona, utiliza-se com maior frequência o valor médio para permitir uma variedade maior de posturas, aumentando assim a sensação de conforto. Levando em conta essas considerações, as principais proporções definidas para a o projeto da poltrona são apresentadas à frente, na Figura 50.

A Diretriz E, apresentada na seção anterior, está relacionada à redução do volume e da quantidade de materiais, portanto o caminho mais lógico é pelo de uso de encaixes, dispensando assim elementos fixadores metálicos. Como o BaLC é um material com propriedades tecnológicas próximas à madeira (BERNDSSEN, KLITZKE, *et al.*, 2010), procurou-se explorar os encaixes convencionais aplicados em marcenaria, ressaltando as diferenças entre os materiais.

É importante lembrar que deve-se evitar posicionamentos que possam favorecer o cisalhamento, pois o bambu tem baixa resistência a esse tipo de esforço (LIESE, 1992). A geração de alternativas de encaixes deu-se a partir de três possibilidades comuns no desenho de móveis, ilustrados na Figura 51: o encontro de três peças de forma coplanar (A); o encontro perpendicular de duas peças (B); e o encontro do fim de uma peça ao meio de outra (C).

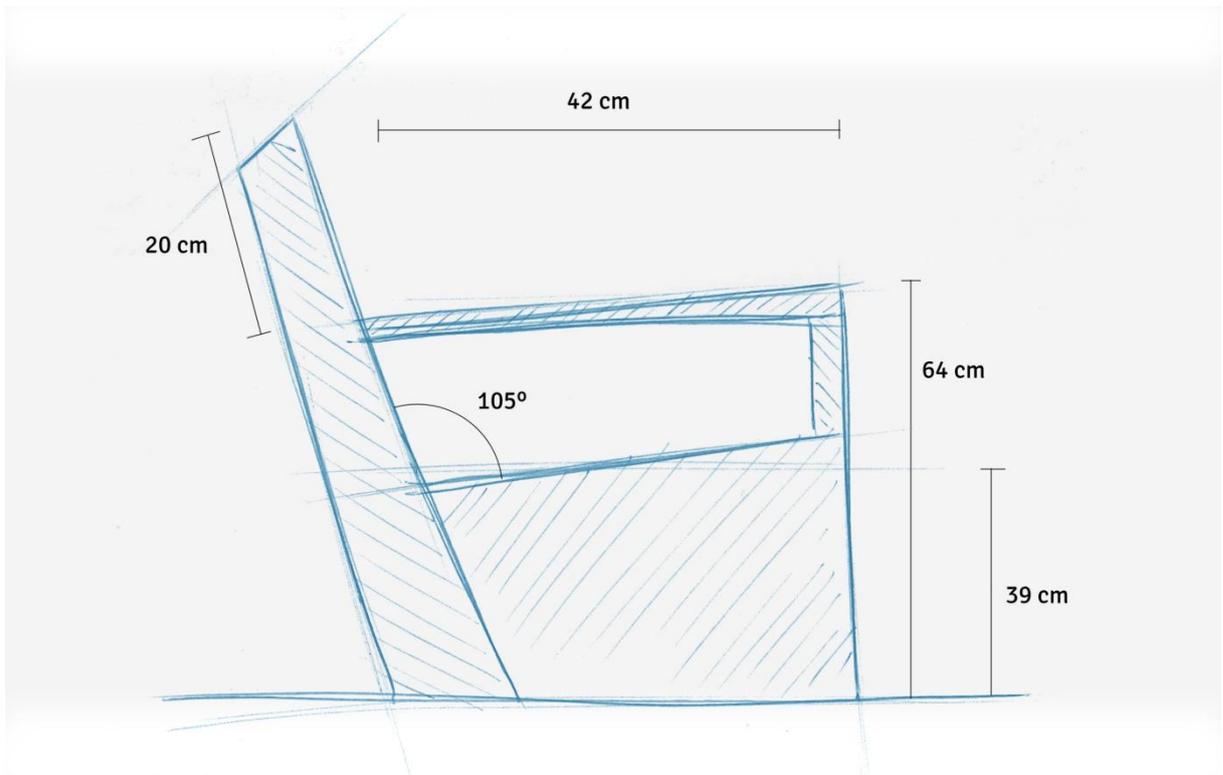


Figura 50 - Principais dimensões da poltrona

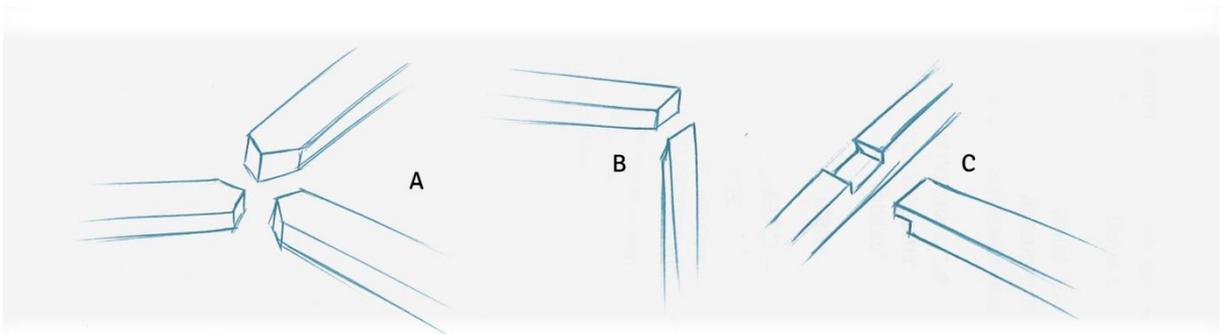


Figura 51 - Encontros comuns de peças encontrado no desenho de móveis

O BaLC oferece a oportunidade de utilizar peças curvas como alternativa para novos encaixes. Dessa forma, pode-se conectar partes do objeto em diferentes angulações, permitindo a escolha de formas de encaixe mais simples ou robustas. Um exemplo é a espreguiçadeira Lofoten Lounger (Figura 52). As alternativas de encaixe mais relevantes geradas para o projeto estão ilustradas na Figura 53.

Não há dados concretos quanto ao raio mínimo de curvatura suportado pelo material, portanto esse recurso foi usado nas alternativas tomando o cuidado de se manter curvas maiores.



Figura 52 - Lofoten Lounger, de Corey Baker
Fonte: Riva (2014)

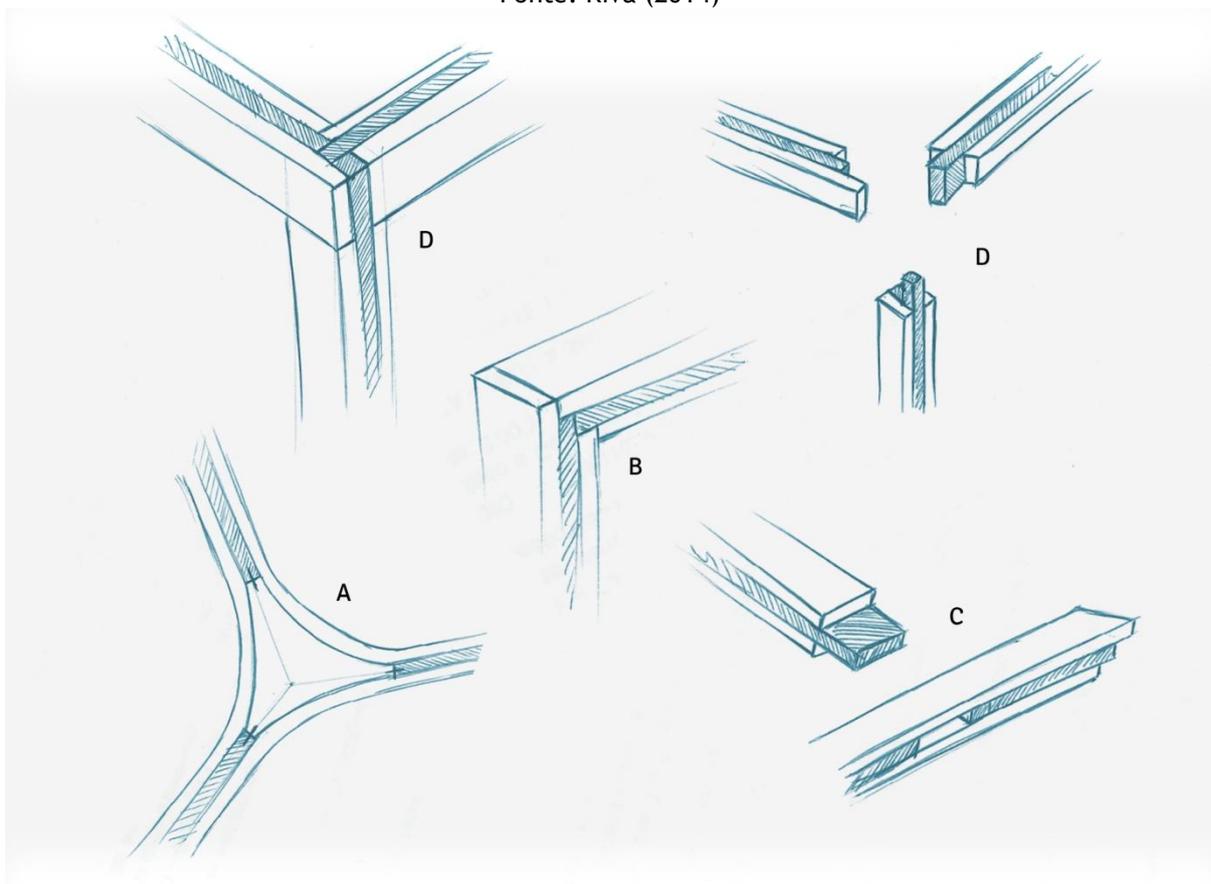


Figura 53 - Encaixes escolhidos da geração de alternativas

4.3. DETALHAMENTO DA POLTRONA

A partir dos encaixes e do dimensionamento básico da poltrona, as primeiras alternativas do objeto como um todo foram exploradas. Seguindo a Diretriz E de projeto, estreitamente relacionada aos princípios de menor impacto ambiental, a quantidade de materiais utilizada para produção do móvel foi o fator mais significativo para a seleção do desenho da poltrona, influenciando na escolha de um desenho sem a utilização de peças estofadas.

O desenho da poltrona selecionada para desenvolvimento (Figuras 54 e 55) utiliza uma estrutura em BaLC com perfil de 3,2cm por 2cm, e uma peça em tecido para o conjunto encosto- assento. Dessa forma, além de evidenciar as propriedades mecânicas do BaLC pela utilização mínima de material na estrutura, pôde-se reduzir o volume de outros materiais, deixando o material estudado em maior evidência.

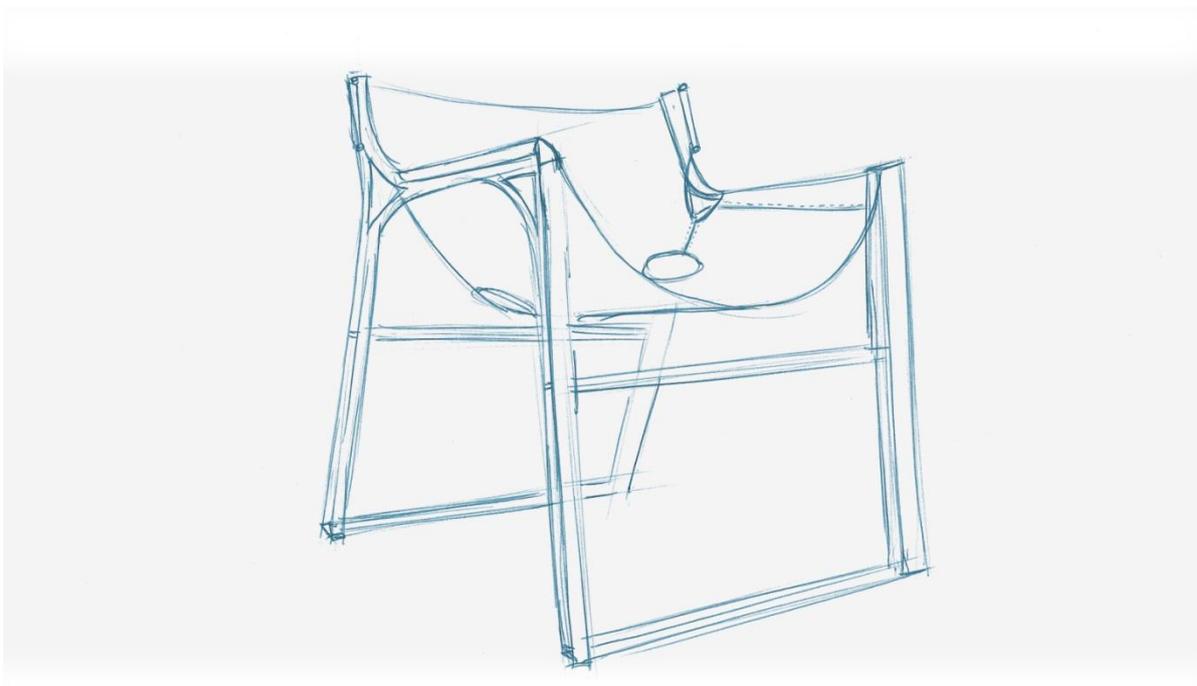


Figura 54 - Proposta inicial da poltrona selecionada



Figura 55 - Representação tridimensional da poltrona selecionada

As lâminas têm acabamento em chanfro nas bordas para evidenciar o processo de construção em peças coladas, além de ressaltar o perfil-base com dois tons de bambu, resultado dos diferentes tratamentos.

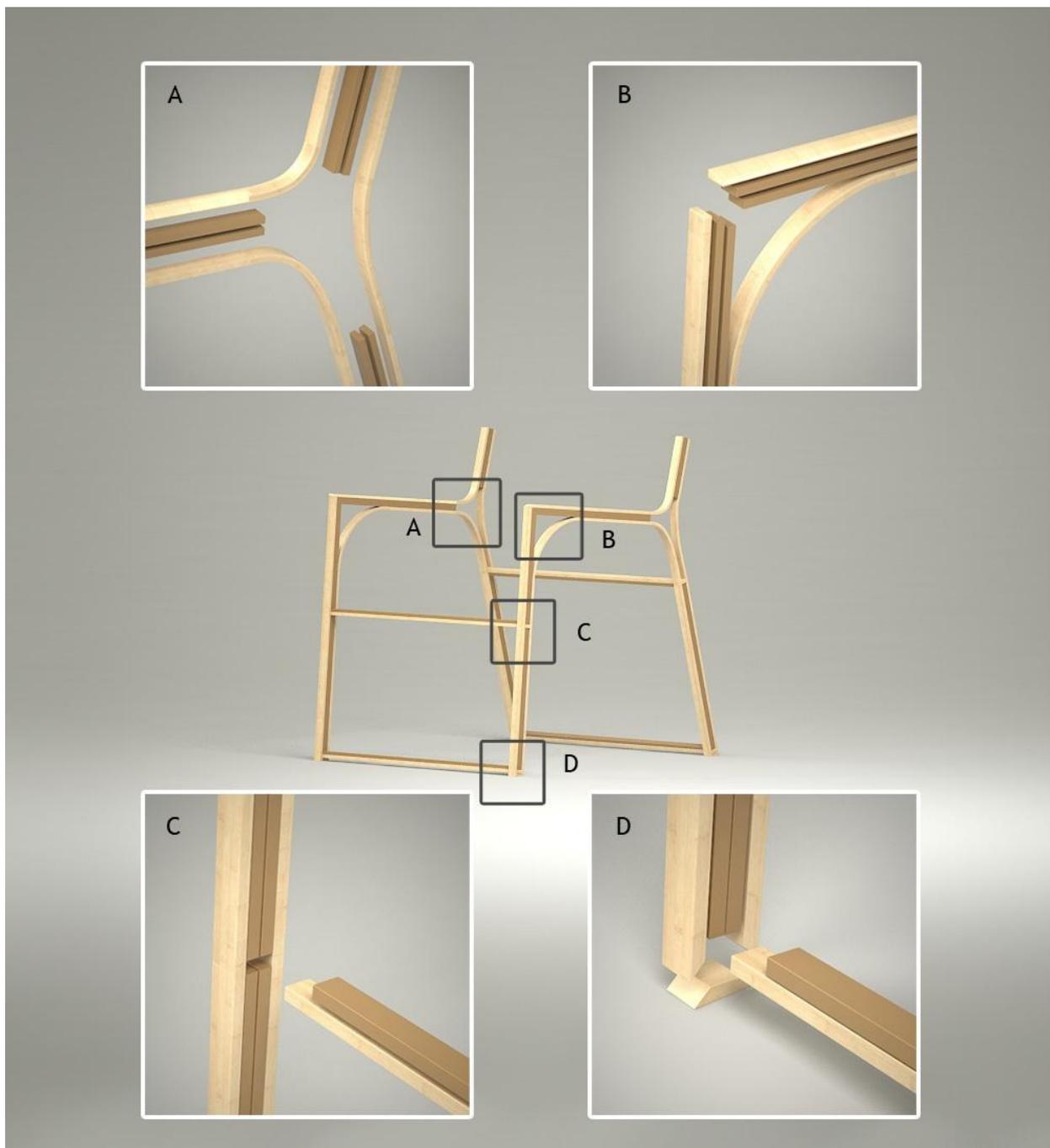


Figura 56 - Principais encaixes utilizados no projeto

Os encaixes A, B e C ilustrados na Figura 53 foram utilizados na poltrona (Figura 56). Dentre eles, o mais significativo estruturalmente é o encaixe A, pois concentra os esforços aplicados ao assento, ao encosto e à perna traseira. Sua produção é simplificada, sem a necessidade de utilização de moldes individuais para cada curva; uma peça central

de referência pode ser utilizada para criar as três curvas simultaneamente. A utilização das curvas permitiu ainda a triangulação entre as partes, favorecendo a estabilidade de angulação entre elas. Além disso, o uso de longas peças contínuas reduziu a quantidade de conexões necessárias.

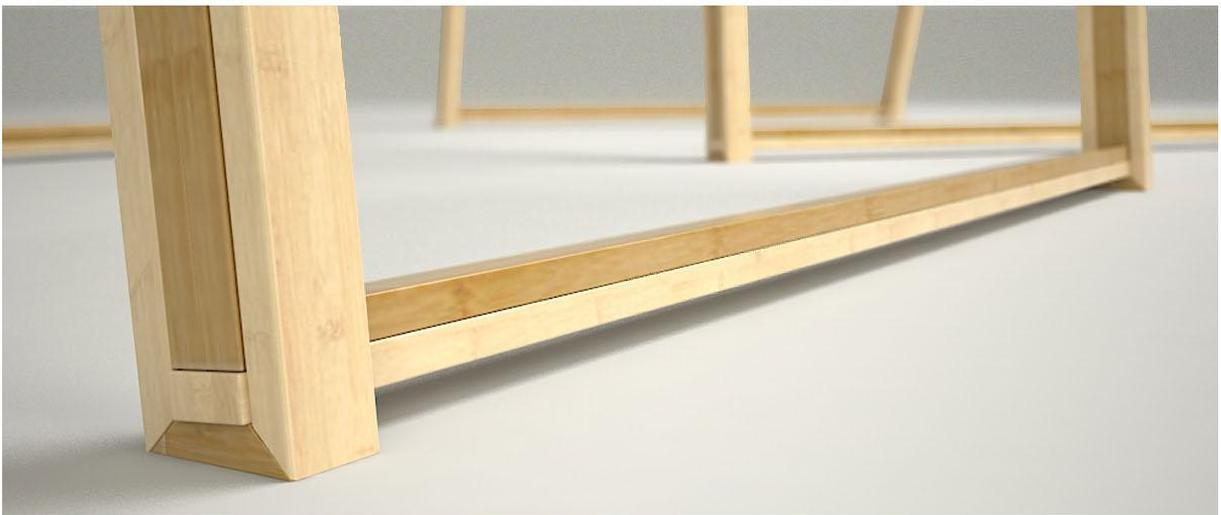
O encaixe B aproveita a produção em camadas do perfil-base para criar o encontro das lâminas de forma alternada, criando o desenho de uma escada. Dessa forma evita-se a necessidade de usinagem posterior dos encaixes, além de aumentar a área de colagem. A peça inferior foi unida por uma curva pelas mesmas razões estruturais do Encaixe A, além de esteticamente dialogar melhor com esta parte da poltrona.

O Encaixe C foi utilizado em todas as quatro travas da poltrona. Trata-se de uma solução similar a um encaixe tradicional na marcenaria, denominado espiga, com a diferença da fenda ser produzida sem a utilização de maquinário, apenas sendo deixada a abertura nas peças centrais do perfil-base no momento de sua montagem.

Foram utilizadas as quatro travas para dar maior estabilidade à poltrona, pois a peça em tecido cria esforços horizontais na laterais da poltrona. Dessa forma, foi previsto que seria necessário um sistema de estabilização. A trava em altura média sofre esforços de compressão, servindo de eixo aos esforços transferidos, e a trava mais próxima ao pé sofre esforços de tração, equilibrando as tensões no objeto (Figura 57).

Outros detalhes na parte em bambu são os encostos de braço chanfrados conferindo maior conforto ao usuário, e os pés com uma pequena peça adicional de BaLCTR com as fibras em posição horizontal, evitando a absorção de água e umidade do chão (Figura 57).

Optou-se por uma peça em material maleável para o conjunto encosto-assento (Figura 58), por ser uma forma simples e eficaz de se adaptar a diferentes formas de sentar. Como dito anteriormente, peças estofadas foram evitadas para manter o baixo impacto ambiental, além de reduzir o volume no centro da peça, deixando assim a estrutura em maior destaque.



- A** Figura 57 - Detalhes na estrutura da poltrona
A: Esforços nos elementos de travas.
B B: Encosto de braço chanfrado.
C C: Detalhe da configuração dos pés.
Fonte: Autor

Vários materiais podem ser utilizados para a confecção dessa peça. O uso de couro é tradicional, principalmente no formato de couro-sola. Ele é aplicado, por exemplo, nas poltronas Kilin, de Sérgio Rodrigues, e Paulistano, de Paulo Mendes da Rocha (Figura 58). O couro, porém, deforma-se com o tempo, e tem pouca resistência a climas secos, sendo necessário manutenção frequente.

Outra opção é a lona de algodão, um tecido de grande resistência também utilizado em projetos contemporâneos de mobiliário. A Poltrona Alice, de Aristeu Pires e Marcus Ferreira, e a poltrona Pelicano, de Michel Arnoult (Figura 58), ambas premiadas no Museu da Casa Brasileira, utilizam a lona de algodão como interface principal entre o objeto e o usuário. O algodão cria uma interface agradável à pele, tendo textura suave e boas propriedades de resistividade térmica, proporcionando assim um toque natural. Seus pontos fracos são a baixa resistência à umidade e à abrasão, também exigindo cuidados frequentes.

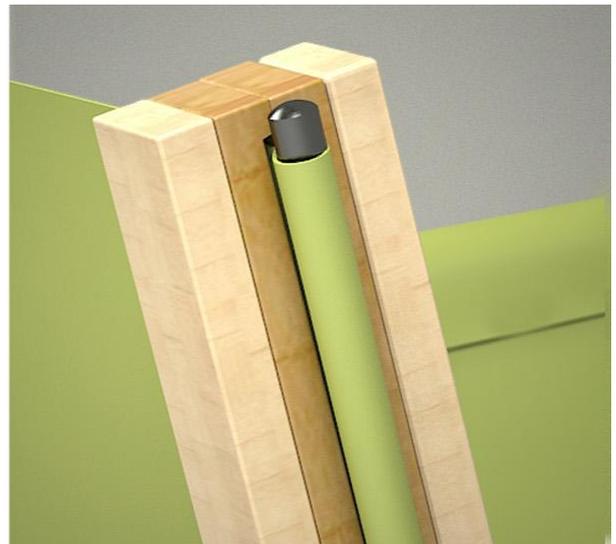
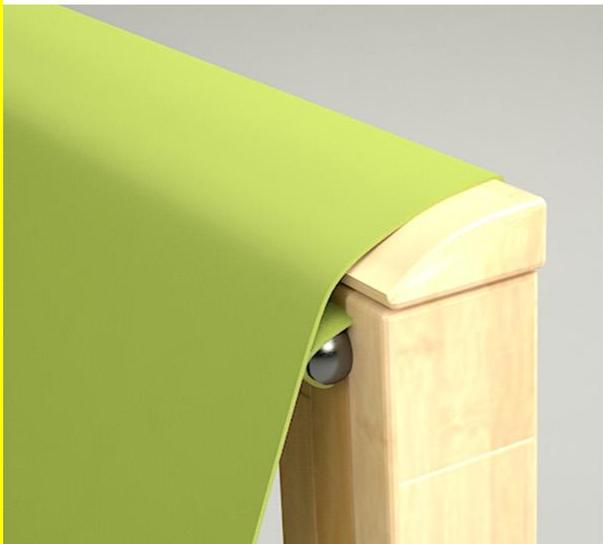
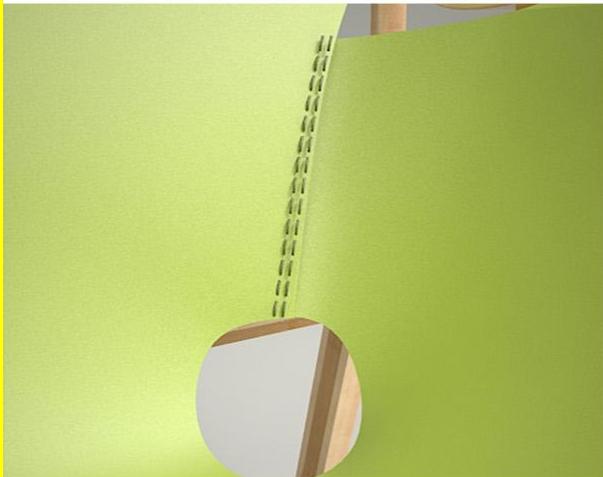
Há ainda tecidos em desenvolvimento com a função específica de suprir o mercado de produtos sustentáveis, produzidos a partir de matéria vegetal ou reciclada. Há, por exemplo, uma viscose produzida a partir do colmo do bambu. Seu processo de produção, no entanto, ainda não se mostrou adequado ao *design* de baixo impacto ambiental, por utilizar processos tradicionais de produção de viscose.

A geometria da peça em tecido é sintética. Uma forma simétrica e sem emendas constitui a integração entre o assento e o encosto. Uma pequena aba é presa para manter a angulação entre as partes funcionais. Dessa fixação surge um orifício com raio de 6cm, cuja função é aliviar as tensões do material causadas pela angulação entre as partes do tecido. O usuário sentado fica assim a 40cm do chão, com o assento a uma inclinação de 5° do chão, e uma inclinação de outros 100° entre o assento e o encosto (Figura 59).

A fixação desta parte maleável na estrutura em bambu é feita através de rasgos de 3mm de largura na parte central do encosto de braço e do encosto das costas, permitindo a passagem do tecido pela abertura criada no BaLC (Figura 59). Tarugos de bambu são utilizados para fixar a parte do braço e do encosto, de forma similar às poltronas Kilin e Alice (Figura 58).



A | **B** Figura 58 - Poltronas que utilizam assento e encosto em couro ou tecido
C | **D** A: Poltrona Kilin, de Sérgio Rodrigues.
 B: Poltrona Paulistano, de Paulo Mendes da Rocha.
 C: Poltrona Pelicano, de Michel Arnoult.
 D: Poltrona Alice, de Aristeu Pires e Marcus Ferreira.



| | |
|---|---|
| A | |
| B | C |
| D | E |

Figura 59 - Peça da poltrona em tecido
 A: Planificação do tecido.
 B: Detalhe do orifício criado.
 C: Posição do usuário ao sentar-se.
 D: Fixação do tecido na estrutura de bambu.
 Fonte: Autor

5. CONCLUSÕES

Essa dissertação teve como objetivo principal estudar as relações entre o processo de tratamento térmico do bambu e suas modificações nas propriedades físicas e mecânicas, com vistas ao emprego do BaLC no *design* de móveis. Para tanto, propôs-se a estudar as características físicas e mecânicas do BaLCTR e evidenciar as implicações dos resultados obtidos no projeto de uma poltrona que utilize conjuntamente o BaLCTR e o BaLC convencional.

Quanto à variações no tratamento térmico, o fator temperatura teve mais influência que o fator tempo. A absorção de água pelo material tratado foi homogênea, não apresentando diferença em relação à testemunha.

Já a estabilidade dimensional foi melhorada, reduzindo a expansão nas direções axial e radial em mais de 50%, ainda mantendo seu coeficiente de anisotropia. O aumento do ângulo de contato no ensaio de molhabilidade demonstrou que o tratamento térmico tende a reduzir a compatibilidade com o adesivo, um dado que deve ser verificado em trabalhos posteriores. Por outro lado, aponta para uma maior hidrofobia do BaLCTR, o que indica maior possibilidade de resistir ao ataque de organismo xilófagos.

As propriedades mecânicas foram minimizadas, corroborando registros em bibliografia. O MOE foi reduzido em 5% a 25%, e o MOR em 20% a 45%. Ainda assim os valores absolutos de resistência a flexão são maiores que outras espécies de bambu tratadas convencionalmente, como o *P. pubescens*.

O BaLCTR obteve, em linhas gerais, propriedades físicas e mecânicas adequadas para o uso no *design* de móveis. O tratamento mais indicado para tal uso é a 180°C por 2 horas, por manter as características de melhor estabilidade dimensional e menor densidade, mantendo as propriedades mecânicas a um nível adequado.

A etapa de projeto de produto utilizando o BaLCTR demonstrou que o material é apto ao *design* de móveis, trazendo características únicas ao projeto. As dimensões da lâmina individual de bambu faz com que o material tenha que ser colado em camadas para ser utilizado, o que traz diferentes possibilidades para o projeto. No caso a poltrona

desenhada, trouxe a possibilidade de racionalização dos encaixes, reduzindo as etapas de corte do material.

As diferenças entre o BaLCTR e o BaLC convencional fazem com que se tenha dois materiais similares e compatíveis entre si, cada um podendo ser especializado em uma função no produto. O BaLCTR é mais recomendado em peças onde se necessita maior estabilidade dimensional, ou onde há necessidade de maior volume de material sem grandes esforços. O BaLC convencional é mais apto à produção de peças curvas e mais longas.

As propriedades mecânicas e o modo de produção do material permitiram o desenho de uma poltrona com pouco uso de material, sendo previsto a necessidade de não mais que 8 metros de colmo para tal. Espera-se no futuro ter a possibilidade de produzir um protótipo da poltrona para corroborar tal informação, analisando também os pormenores do processo produtivo, em especial com relação à usinabilidade, facilidade de colagem e qualidade de acabamento do BaLCTR.

Como trabalhos futuros, recomenda-se o estudo de delaminação do BaLCTR e do BaLC misto (utilizando ambos os tratamentos), conjuntamente com testes de cisalhamento na linha de cola. A resistência do material ao ataque de fungos, térmitas e outros insetos também é um passo importante para a viabilização do material para adoção no mercado. Outro dado imprescindível é a compatibilidade do BaLCTR com os acabamentos superficiais, como tintas e vernizes, que podem ser verificados através do ensaio de intemperismo acelerado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, M. **Analysis of calcutta bamboo for structural composite materials** (Dissertação). Virginia Polytechnic Institute. Virgínia, EUA, p. 185. 2000. (URN etd-08212000-10440027).

ALMEIDA, J. G. Preservação de bambu: processos e meios tradicionais de cura de colmos do bambu para a construção. **Anais do II Seminário Nacional do Bambu**, v. 2, n. 1, p. 108-118, 2011.

ALVES, J. D. **Influência das fibras nas propriedades do concreto**. IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, XVIII Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural. Salvador: [s.n.]. 1976. p. 47-52.

ASSAM. bamboo Sofa set. **Assam Bamboo Furniture**, 2014. Disponível em: <<http://www.assambamboofurniture.com/sofa.html>>. Acesso em: 3 Abril 2014.

ASTM. **D1758: Standard Test Method of Evaluating Wood Preservatives by Field Tests with Stakes**. American Society for Testing and Materials. [S.l.]. 2006.

ASTM. **D4587: Standard Practice for Fluorescent UV-Condensation Exposures of Paint and Related Coatings**. American Society for Testing and Materials. [S.l.]. 2011.

ASTM. **D7334: Standard Practice for Surface Wettability of Coatings, Substrates and Pigments by Advancing Contact Angle Measurement**. American Society for Testing and Materials. [S.l.]. 2013.

ASTM. **D143: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber**. American Society for Testing and Materials. [S.l.]. 2014.

AYADI, N. et al. Color stability of heat-treated wood during artificial weathering. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 61, n. 3, p. 221-226, 2003. ISSN 0018-3768.

AZZINI, A. et al. Produção conjunta de fibras celulósicas e etanol a partir do bambu. **Bragantia**, Campinas, v. 46, n. 1, p. 17-25, 1987. ISSN 0006-8705.

AZZINI, A.; CIARAMELLO, D. Bambu como matéria-prima para papel: IV- Estudos sôbre o emprêgo de cinco espécies de Bambusa, na produção de celulose sulfato. **Boletim Científico do Instituto Agrônômico de São Paulo**, v. 30, n. 23, p. 305-319, 1971.

AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; SALGADO, A. L. B. **Velocidade de crescimento dos colmos de algumas especies de bambu**. Instituto Agrônômico de Campinas. [S.l.]. 1981.

BAI, X. **Experimental and numerical evaluations of structural bamboo-based composite materials (Dissertação)**. Clemson University. Clemson, p. 292. 1996.

BAMBU-BRASIL. **Bambu Brasil - Lista de discussão sobre os aspectos desta planta maravilhosa (plantio, tratamento, usos, etc.)**, 2013. Disponível em: <<https://br.groups.yahoo.com/neo/groups/bambu-brasil/>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

BARELLI, B. G. P. **Design para a sustentabilidade: Modelo de cadeia produtiva do bambu laminado colado (BLC) e seus produtos (Dissertação)**. Universidade Estadual Paulista - UNESP. Bauru, p. 152. 2009.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A. M. **The hitchhiker's guide to LCA, an orientation in life cycle assessment methodology and application**. [S.l.]: Studentlitteratur AB, 2004.

BELL, N. Bamboo Canes. **Bamboo Garden**, 2012. Disponível em: <<http://www.bamboogarden.com>>. Acesso em: 15 Janeiro 2014.

BERALDO, A. L.; RIVEIRO, L. A. Bambu Lamindo Colado (BLC). **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 36-46, 2003. ISSN 2179-8087.

BERNDSSEN, R. S. et al. Propriedades Físicas do Bambu-mossô (*Phyllostachys pubescens* Mazel ex H. de Lehaie) em Diferentes Idades e Posições do Colmo. **Floresta**, v. 40, n. 1, p. 183-192, 2010.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. [S.l.]: Krieger Publishing, 1993.

BOONSTRA, M. J. et al. Optimisation of a two-stage heat treatment process: durability aspects. **Wood Science and Technology**, v. 41, n. 1, p. 31-57, 2007. ISSN 0043-7719.

BÖSCH, M. E. et al. Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to theecoinvent database. **International journal of Life Cycle Assessment**, v. 12, n. 3, p. 181-190, 2007.

BOTERO, L. F. et al. **Asistencia técnica y organización para el procesamiento industrial de la guadua (Guadua angustifolia)**. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago. 2006.

BREMER, M. et al. The effects of thermal modification on the properties of two vietnamese bamboo species, part I: effects on chemical composition. **BioResources**, Raleigh, EUA, v. 7, n. 1, p. 981-993, 2013. ISSN 1930-2126.

BRITO, F. M. S. **Efeito da termorreificação nas propriedades tecnológicas do bambu (Dissertação)**. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Jerônimo Monteiro, ES, p. 99. 2013.

BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SALGADO, A. L. B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF**, Piracicaba - SP, v. 1, n. 36, p. 13-17, 1987. ISSN 2318-1222.

CARRASCO, E. V. M. **Vigas retas de bambu laminado colado**. V Encontro brasileiro em madeira e em estruturas de madeira. Belo Horizonte - MG: [s.n.]. 1995. p. 411-424.

CARVALHO, A. L. D. **Ciclo de vida de populações de bambu (Guadua spp.), no tempo e no espaço, no sudoeste da Amazônia**. INPA. Manaus, p. 52. 2009.

CAVALETT, O. et al. Comparative LCA of ethanol versus gasoline in Brazil using different LCIA methods. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 3, p. 647-658, 2013.

CCI. **ILCD Handbook**: analysis of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment. [S.l.]: [s.n.], 2010.

CHANG, S.; WU, J. Green-color conservation of ma bamboo (*Dendrocalamus latiflorus*) treated with chromium-based reagents. **Journal of Wood Science**, v. 1, n. 46, p. 40-44, 2000. ISSN 1435-0211.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise de Ciclo de Vida de Produtos–ferramenta gerencial da ISO 14000**. [S.l.]: Qualitymark, 1998.

CHEN, L. et al. **Method of forming a bamboo wood composite board**. U.S. Patent N° 7981233, 19 Julho 2011.

CHENG, D.; JIANG, S.; ZHANG, Q. Mould resistance of Moso bamboo treated by two step heat treatment with different aqueous solutions. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 71, n. 1, p. 143-145, 2013. ISSN 0018-3768.

CHENG, D.; JIANG, S.; ZHANG, Q. Effect of hydrothermal treatment with different aqueous solutions on the mold resistance of Moso bamboo with chemical and FTIR analysis. **BioResources**, v. 8, n. 1, p. 371-382, 2013b. ISSN 1930-2126.

CHOW, S. Z.; PICKLES, K. J. Thermal softening and degradation of wood and bark. **Wood and Fiber**, v. 3, n. 3, p. 166-178, 1971.

CHRISTIANSEN, K. **Simplifying LCA: Just a Cut?** [S.l.]: SETAC, 1997.

COHEN, M. J. Sustainable consumption research as democratic expertise. **Journal of Consumer Policy**, v. 29, n. 1, p. 66-67, 2006.

COLLA, W. A. **Efeito do tratamento térmico nas características físicas e mecânicas do bambu (*Dendrocalamus giganteus* Munro) (Dissertação)**. Universidade Estadual de Campinas - Unicamp. Campinas - SP, p. 97. 2010.

CONAMA. **Resolução nº 001/86: Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente**. CONAMA. [S.l.]. 1986.

CONAMA. **Resolução nº 307 - Dispõe sobre Gestão dos Resíduos da Construção Civil.** CONAMA. [S.l.], p. 4. 2002.

COSTA, F. OB-00409 - Cestos. **A Casa**, 2005. Disponível em: <http://www.acasa.org.br/reg_mv/OB-00409>. Acesso em: 01 Março 2014.

COTE, J. E.; SCHWARTZ, S. J. Comparing psychological and sociological approaches to identity: Identity status, identity capital, and the individualization process. **Journal of Adolescence**, v. 26, n. 6, p. 571-586, 2002. ISSN 0140-1971.

DEFORGES, Y. Por um design ideológico. **Estudos em Design**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 15-22, 1994.

DEL MENEZZI, C. H. S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB).** Universidade Federal do Paraná. [S.l.]. 2004.

DELGADO, E. S. **Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia.** Universitat Politècnica de Catalunya. barcelona. 2006.

DENIS, R. C. **Uma introdução à história do design.** São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

DUNKELBERG, K. **Bamboo as a building material.** Stuttgart: Institute of Lightweight Materials, 1985.

DUNNETT, C. W. A multiple comparison procedure for comparing several treatments with a control. **Journal of the American Statistical Association**, v. 50, n. 272, p. 1096-1121, 1955.

EBERTS, W. Phyllostachys Edulis 'Jaquith'. **Bamboo Garden**, 2012. Disponível em: <<http://www.bamboogarden.com/Phyllostachys%20edulis%20%20Moso.htm>>. Acesso em: 25 Março 2014.

ECOVILA. Tratamentos naturais para bambu. **Ecovila da Montanha**, 2014. Disponível em: <<http://ecoviladamontanha.com.br/tratamentos-naturais-para-bambu/>>. Acesso em: 19 Fevereiro 2014.

EL-BASSAM, N.; JAKOB, K. Bamboo - a new resource for raw materials. First experimental results. **Landbauforschung Völkenrode**, v. 46, n. 2, p. 76-83, 1996.

EMERY, M. About Bamtoo. **Bambooroo**, 2013. Disponível em: <http://www.bambooroo.net/about_bamboo.php>. Acesso em: 15 Janeiro 2014.

ERAKHRUMEN, A. A.; OGUNSANWO, O. K. Water absorption, anti-swell efficacy, and dimensional stability properties of neem seed oil-treated wild grown *Bambu vulgaris* Schrad. Ex JC Wendl. in southwest Nigeria. **BioResources**, v. 4, n. 4, p. 1417-1429, 2009.

ESPELHO, J. C. C. **Tratamento químico de colmos de bambu pelo método de boucherie modificado (dissertação)**. Universidade Estadual de Campinas - Unicamp. Campinas - SP, p. 113. 2007.

ESTEVES, B.; PEREIRA, H. Wood modification by heat treatment: a review. **BioResources**, v. 4, n. 1, p. 370-404, 2008.

FANG, H. et al. Effects of thermal treatment on durability of short bamboo fibers and its reinforced composites. **Fibers and Polymers**, v. 14, n. 3, p. 436-440, 2013.

FARRELY, D. **The book of bamboo**. San Francisco: Sierra Club Book, 1984.

FARRELY, D. **The book of bamboo**. Londres: Thames & Hudson, 1996.

FERREIRA, J. V. R. **Análise do ciclo de vida dos produtos. Gestão Ambiental**. [S.l.]: Instituto Politécnico de Viseu., 2004.

FILGUEIRAS, T. Pesquisador encontra 'superbambu' em Goiás. **G1**, 2007. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,MUL32880-5603-1853,00.html>>. Acesso em: 22 Março 2014.

FILGUEIRAS, T. S. A floração dos bambus e seu impacto ecológico. **Eugeniana**, v. 15, p. 1-8, 1988.

FILGUEIRAS, T. S.; GOLÇALVES, A. P. S. A Checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (Poaceae). **Journal of American Bamboo Society**, 18, 2004.

FLOOR, B. Produtos. **Bamboo Floor**, 2014. Disponível em: <<http://www.bamboofloor.com.br/produtos>>. Acesso em: 28 Fevereiro 2014.

FOELKEL, C. **Pergunte ao Euca Expert: Fibras de bambu**. Eucalyptus online book. [S.l.]. 2011.

FUENTES, C. A. et al. Wetting behaviour and surface properties of technical bamboo fibers. **Colloids and Surfaces**, v. 380, n. 1-3, p. 89-99, 2011.

FÜLLER, B. **Synergetics**. [S.l.]: Pacific Tape Library, 1975.

GALVÃO, A. P. M. Tratamento preservativo do bambu pelo processo do banho frio. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 24, p. 13-33, 1964.

GARTNER, E. Industrially interesting approaches to “low-CO₂” cements. **Cement and Concrete research**, v. 34, n. 9, p. 1489-1498, 2004.

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**, v. 9, n. 1, p. 107-114, 2005.

GOMES, F. et al. Adaptation of environmental data to national and sectorial context: application for reinforcing steel sold on the French market. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 5, p. 926-938, 2013.

GPWG, G. P. W. G. Phylogeny and subfamilial classification of the grasses (Poaceae). **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 1, n. 88, p. 373-457, 2001.

GRAÇA, V. L. **Bambu: técnicas para o cultivo e suas aplicações**. [S.l.]: Ícone, 1992.

GREENSENSE. Dicas para salvar o planeta. **Green Sense**, 2014. Disponível em: <www.greensense.com.br/ecologia/dicas-para-salvar-o-planeta>. Acesso em: 26 jun. 2014.

GUHA, R. How much should a person consume? **Vikalpa**, v. 28, n. 2, p. 1-12, 2003.

GUIMARÃES, M.; MOVACK, K. M.; BOTARO, V. R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 11, n. 7, p. 442-456, 2010.

GUZMAN, J. Bamboo Preparation - Part 2. **Cycfi Research**, 2010. Disponível em: <<http://www.cycfi.com/2010/10/bamboo-preparation-part-2>>. Acesso em: 1 Fevereiro 2014.

HACKER, S. bamboo Bike Renovo Pandurban. **Bird House**, 2010. Disponível em: <<http://birdhouse.org/blog/2010/10/11/bamboo-bike-renovo-pandurban/>>. Acesso em: 28 Fevereiro 2014.

HAHN, E. **Determining an Inorganic Mineralization Process to Inhibit Organic Degradation and Preserve the Dimensional Stability of Bamboo**. California: California Polytechnic State University, 2012.

HEIJUNGS, R. Identification of key issues for further investigation in improving the reliability of life-cycle assessments. **Journal of Cleaner Production**, v. 4, n. 3, p. 159-166, 1996.

HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bambú: su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía**. Bogotá: Estudios Técnicos Colombianos, 1974.

HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo: the gift of the gods**. Bogotá: [s.n.], 2003.

HIGUERA. Bamboo Panels. **Higuera Hardwoods**, 2014. Disponível em: <<http://www.higuerahardwoods.com/products-bamboo-panel.cfm>>. Acesso em: 8 Fevereiro 2014.

HILL, C. A. S. **Wood modification - chemical, thermal and other processes**. [S.l.]: John Wiley & Sons, v. 5, 2007.

HISCHIER, R. et al. **Implementation of life cycle impact assessment methods**. Ecoinvent. Saint Gallen. 2009.

HOU, L. Y. et al. Influence of surface wettability on bamboo by steam heat treatment. **Journal of Fujian College Forestry**, v. 30, n. 1, p. 92-96, 2010.

HUIJBREGTS, M. A. J. et al. Framework for modelling data uncertainty in life cycle inventories. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 6, p. 127-132, 2001.

HUKE, J. Nung. **Jared Huke Design**, 2010. Disponível em: <<http://www.jaredhukedesign.com/work/nung/>>. Acesso em: 1 Abril 2014.

HUNT, R. G.; FRANKLIN, W. E. LCA—How it came about. **The international journal of life cycle assessment**, v. 1, n. 1, p. 4-7, 1996.

ICHENG, I. Types of Joints. **Bamboo Wikispaces**, 2011. Disponível em: <<http://bamboo.wikispaces.asu.edu/7.+Types+of+Joints>>. Acesso em: 17 Março 2014.

ICSID. Definition of Design. **International Council of Societies of Industrial Design**. Disponível em: <<http://www.icsid.org/about/about/articles31.htm>>. Acesso em: 16 dezembro 2013.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2ª. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2005.

ISO, N. 14044 - **Gestão Ambiental-Avaliação do ciclo de vida**. São Paulo: ABNT, 2006.

JAIN, S.; KUMAR, R.; JINDAL, U. C. Mechanical behaviour of bamboo and bamboo composite. **Journal of Materials Science**, v. 27, n. 17, p. 4598-4604, 1992.

JARAMILLO, S. V. **La guadua en los grandes proyectos de inversión**. Congresso Mundial de Bambu / Guadua. Colômbia: Anais. 1992.

JAYNE, B. A. Vibrational properties of wood as indices of quality. **Forest Products Journal**, v. 9, n. 11, p. 413-416, 1959.

JEFF. Bamboo Flooring. **Complete Bamboo**, 2012. Disponível em: <http://www.completebamboo.com/products/bamboo_flooring.html>. Acesso em: 1 Fevereiro 2014.

JENSEN, A. A. et al. **Life Cycle Assessment**: a guide to approaches, experiences and information sources. [S.l.]: Environmental Issues Series, 1997.

JIANG, Z. et al. The pyrolysis characteristics of moso bamboo. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 94, n. 1, p. 48-52, 2012.

JORDAN, D. L.; WELLONS, J. D. Wettability of dipterocarp veneers. **Wood Science**, v. 10, n. 1, p. 22-27, 1977.

JORDAN, W. **Archery bow**. US 1.779.277, 21 outubro 1930.

KAI, Z.; XUHE, C. Potential of bamboo-based panels serving as prefabricated construction materials. **International Network for Bamboo and Rattan - INBAR**, Beijing, 2006.

KINLENHON, A. Bamboo Kitchenware. **Alibaba**, 2014. Disponível em: <<http://www.bambookitchenware.en.alibaba.com>>. Acesso em: 28 Fevereiro 2014.

KLONG. bamboo Treatment. **Chiangmai Life Construction**, 2014. Disponível em: <<http://www.chiangmailifeconstruction.com/welcome/bamboo/bamboo-treatment/>>. Acesso em: 6 Fevereiro 2014.

KOLLMANN, F. **Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe**. 1^a. ed. Berlin: Springer Verlag, 1936.

KOLLMANN, F. F.; COTE JR., W. A. **Principles of wood science and technology. vol. I. Solid Wood**. Principles of Wood Science and Technology. [S.l.]: [s.n.]. 1968.

KORKUT, D. S.; KORKUT, S.; DILIK, T. Effect of Heat Treatment on Some Mechanical Properties of Laminated Window Profiles Manufactured Using Two Types of Adhesives. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 1, n. 9, p. 454-463, 2008.

KUMAR, P. Aiming for Domination. **World Construction Network**, 2012. Disponível em: <www.worldconstructionnetwork.com/features/aiming-for-domination/>. Acesso em: 2 Abril 2014.

KUMAR, S. et al. Bamboo preservation techniques: a review, 1994.

LANE, L. J. **Process for the manufacture of split bamboo fishing rods.** US 1.645.812, 18 outubro 1927.

LEBOW, S. **Alternatives to chromated copper arsenate (CCA) for residential construction.** Environmental Impacts Of Preservative-Treated Wood Conference. [S.l.]: [s.n.]. 2004. p. 8-11.

LEE, A. W. C.; YIHAI, L. Selected physical properties of commercial bamboo flooring. **Forest Products Journal**, v. 53, n. 6, p. 23-26, 2003.

LI, Y. et al. Bamboo and high density polyethylene composite with heat-treated bamboo fiber: thermal decomposition properties. **BioResources**, v. 8, n. 1, p. 900-912, 2013.

LIESE, W. **Anatomy and properties of bamboo.** INBAR. hangzhou. 1985.

LIESE, W. The Structure of bamboo in relation to its proprieties and utilization. **Proceedings on International symposium on Industrial Use of bamboo**, p. 7-11, 1992.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms.** [S.l.]: Brill, v. 18, 1998.

LIESE, W. Protection of bamboo in service. **World bamboo and Rattan**, Beijing, p. 29-33, 2003.

LIESE, W. **A preservação do colmo de bambu com relação à sua extrutura.** Simpósio Internacional Guadua. Pereira: Beraldo, A. L. (trad.). 2004.

LIESE, W. Protection of Bamboo Structures. **Xiii Sympozjum Rogow, Polska Akademia Nauk, Komitet Technologii Drewna PAN**, v. 5, n. 7, 2007.

LIESE, W. et al. **Preservation of bamboo for the construction of houses for lowincome people.** Proceedings of the V International Bamboo Congress. San José: INBAR. 2002. p. 481-494.

LIMA, E. S. et al. Diversidade, estrutura e distribuição espacial de palmeiras em um cerrado sensu stricto no Brasil Central-DF. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 3, p. 361-370, 2003.

- LIN, W. **The bamboos of thailand**. Taipei: Taiwan Forestry Research, 1968.
- LIU, Y. et al. Improving PPy Adhesion by Surface Roughening. **Journal of Physics Chemistry**, v. 111, n. 30, p. 11329-11338, 2007.
- LJUNGBERG, L. Y. Materials selection and design for development of sustainable products. **Materials & Design**, v. 28, n. 2, p. 466-479, 2007.
- LON, Q. Lon & Queta Photostream. **Flickr**, 1995. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/lonqueta/>>. Acesso em: 26 Março 2014.
- MANALO, R. D.; ACDA, M. N. Effects of hot oil treatment on physical and mechanical properties of three species of philippine bamboo. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 21, n. 1, p. 19-24, 2009.
- MANALO, R. D.; GARCIA, C. M. Termite Resistance of Thermally-Modified *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) Backer ex Heyne. **Insects**, n. 3, p. 390-395, 2012.
- MANDA, B. M.; BLOK, K.; PATEL, M. K. Innovations in papermaking: An LCA of printing and writing paper from conventional and high yield pulp. **Science of the Total Environment**, v. 439, p. 307-320, 2012.
- MANZINI, E. Small, local, open and connected: design research topics in the age of networks and sustainability. **Journal of Design Strategies**, v. 4, n. 1, p. 24-30, 2010.
- MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de prontos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. [S.l.]: Edusp, 2002.
- MARGOLIN, V. Design for a Sustainable World. **Design Issues**, v. 4, n. 2, p. 83-92, 1998.
- MARTÍNEZ, J. R. Construcciones. **Sig Guadua**, 2012. Disponível em: <<http://www.sigguadua.gov.co/?q=node/282>>. Acesso em: 08 Março 2014.
- MATOSKI, S. L. S. **Comportamento de *Dinoderus minutus* Fabricius (1775) (coleoptera: Bostrichidae) em lâminas torneadas de madeira**. Curitiba. 2005.

MILITZ, H. Heat treatment of wood: European processes and their background. **International Research Group Wood Protection**, v. 40241, 2002.

MIOTTO, J. L.; DIAS, A. A. Produção e avaliação de vigas de madeira laminada colada confeccionadas com lâminas de eucalipto. **Revista Tecnológica**, p. 37-47, 2010.

MISKALO, E. P. **Avaliação do potencial de utilização de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) na produção de painéis de partículas orientadas**. UTFPR. Paraná. 2009.

MOIZÉS, F. A. **Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em bauru**. São Paulo. 2007.

MONTOYA, J. A. **Investigación tecnológica en métodos para la preservación de la guadua**. Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua. Pereira: [s.n.]. 2002. p. 1-16.

MOTOROLA. Moto X Bamboo. **Motorola**, 2014. Disponível em: <<http://www.motorola.com.br/moto-X-da-Motorola/moto-x-brpt.html>>. Acesso em: 15 Abril 2014.

NGUYEN, C. T. et al. The effects of thermal modification on the properties of two vietnamese bamboo species, part I: effects on physical properties. **BioResources**, v. 7, n. 4, p. 5355-5366, 2012.

NILSSON, J. Guadua Angustifolia. **Bamboo Land**, 2014. Disponível em: <<http://www.bambooland.com.au/bamboo/guadua-angustifolia>>. Acesso em: 18 Março 2014.

NIRMAL. Arte em Bambu. **Vila das Artes em Campinas**, 2010. Disponível em: <<http://viladasartescampinas.wordpress.com/2010/05/27/arte-em-bambu/>>. Acesso em: 1 Abril 2014.

NOGUEIRA, C. L. et al. Ultrastructural characterization of bamboo woody tissue and related proprieties of bamboo beam manufactured with laminas from inner and outer part of culm wall. **Anais do XXI Congresso da Sociedade Brasileira de Microscopia e Microanálise**, Búzios, 2007.

NUNES, A. R. S. **Construindo com a natureza bambu: uma alternativa de eco desenvolvimento**. São Cristóvão. 2005.

NURCO, D. J. *Bambusa tuldooides* grown in Dixon, California. **Davis bamboo**, 2014. Disponível em: <<http://www.davisbamboo.com/species/btuldooides.htm>>. Acesso em: 20 Março 2014.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. [S.l.]: Cengage Learning Editores, 2006.

PADOVAN, R. B. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. UNESP. Bauru. 2010.

PAES, J. B. et al. Caracterização físico-mecânica do laminado colado de bambu. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 1, p. 41-51, 2009.

PAPADOPOULOS, A. N. et al. Bamboo chips (*Bambusa vulgaris*) as an alternative lignocellulosic raw material for particleboard manufacture. **Holz Roh Werkst**, v. 62, n. 36, p. 36-39, 2004.

PAPANEEK, V. **Design for the real world: Human ecology and social change**. Londres: Thames and Hudson, 1985.

PAPANEEK, V. **Arquitetura e design: ecologia e ética**. Lisboa: Edições, 1995.

PAYAK, K. *Dendrocalamus Giganteus*. **Nan Giant Bamboo**, 2012. Disponível em: <<http://paiyaknan.blogspot.com.br/2012/02/blog-post.html>>. Acesso em: 20 Março 2014.

PEIXOTO, L. K. **Sistema construtivo em Bambu Laminado Colado: proposição e ensaio do desempenho estrutural de uma treliça plana do tipo warren**. Universidade de Brasília. [S.l.]. 2008.

PEREA, J. et al. **Evaluación y documentación de prácticas sobresalientes sobre el manejo de la cosecha y maduración de la Guadua en el Departamento del Huila**. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. Neiva, p. 122. 2003.

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

PIGOSSO, D. C. A.; SOUSA, S. R. **Life Cycle Assessment (LCA)**: Discussion on Full-Scale and Simplified Assessments to Support the Product Development Process. 3rd International Workshop: Advances in Cleaner Production. São Paulo: [s.n.]. 2011.

PIRNIE, W. B. **Fishing rod**. US 1.961.642, 5 junho 1934.

PORTILHO, F. **Consumo verde, consumo sustentável e a ambientalização dos consumidores**. GT Abicultura, riscos e conflitos ambientais. [S.l.]: Unicamp/IFCH. 2003.

PRINCEN, T.; MANIATES, M.; CONCA, K. **Confronting consumption**. [S.l.]: The MIT Press, 2002.

PURUSHOTHAM, A.; SUDAN, S. K.; SAGAR, V. Preservative treatment of green bamboos under low pneumatic pressures. **Indian Forester**, v. 79, n. 12, p. 652-672, 1953.

RESTREPO, Á. et al. Exergetic and environmental analysis of a pulverized coal power plant. **Energy**, v. 45, n. 1, p. 195-202, 2012.

ROSA, C. A. M. et al. **Eficiência do tratamento preservativo de três espécies de bambu com CCB**. II Congresso Nordestino de Engenharia Florestal. Campina Grande: UFCG. 2009.

RUSSELL, F.; READ, J.; GARNER, P. **A century of chair design**. [S.l.]: Rizzoli, 1980.

SALGADO, A. L. B.; GODOY JR., G. **O bambu em nossa vida, nossa cultura, seu cultivo e utilização**. Seminário Internacional: O uso do bambu na construção civil. Alagoas: [s.n.]. 2002.

SALIM, R. et al. Effect of oil treatment on physical properties of Semantan Bamboo (*Gigantochla scortechinii* Gamble). **Modern Applied Science**, v. 4, n. 2, p. 107-113, 2010.

SANCHÉZ, L. H. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. [S.l.]: Oficina de Textos, 2006.

SANTOS, M. F. N. **Análise dos Impactos na Construção Civil: Avaliação do Ciclo de Vida em Chapas de Partículas para forros**. Universidade Estadual Paulista. Bauru. 2010.

SCHRÖDER, S. Corrugated bamboo Sheets. **Guadua Bamboo**, 2014. Disponível em: <<http://www.guaduabamboo.com/blog/corrugated-bamboo-roofing-sheets>>. Acesso em: 12 Abril 2014.

SCHRÖDER, S. Crushed Bamboo Mats. **Guadua Bamboo**, 2014. Disponível em: <<http://www.guaduabamboo.com/crushed-bamboo/>>. Acesso em: 12 Abril 2014.

SEGRE, R. Arquitetura hispano-americana na mudança de Milênio. **Arquitextos**, Maio 2003.

SEKINO, N.; INQUE, M.; IRLE, M. **The bond quality of steam pre-treated particles**. The 2nd European Panel Products Symposium. [S.l.]: [s.n.]. 1998. p. 30-38.

SHELDON, S.; GARDNER, D. Dynamic adhesive wettability of wood. **Wood and fiber science**, v. 33, p. 58-68, 2001.

SHEN-XUE, J.; QI-SHENG, Z.; SHU-HAI, J. On structure, production, and market of bamboo-based panels in China. **Journal of Forestry Research**, v. 13, n. 2, p. 151-156, 2002.

SILVA, B. B. R. D. **Desenvolvimento de adesivos de poliuretano a base de óleo de mamona**. UFRGS. Porto Alegre. 2006.

SILVA, D. A. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2012.

SILVA, R. B.; KAZIMI, M. S.; HEJZLAR, P. Nuclear fuel recycling: National and regional options for the US nuclear energy system. **Energy & Environmental Science**, v. 3, n. 8, p. 996-1010, 2010.

SILVA, R. G. **Tratamento de bambu com ácido pirolenhoso contra a deterioração por brocas**. Unicamp. Campinas. 2011.

SILVA, R. G. **Tratamento de bambu com ácido pirolenhoso contra a deterioração por brocas**. Campinas: Unicamp, 2011.

SIMÃO, S. Conservação do bambu. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 14, p. 151-160, 1958.

SOUZA, D. D. P. et al. Environmental and socioeconomic analysis of producing biodiesel from used cooking oil in Rio de Janeiro. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. 4, p. 655-664, 2012.

SOUZA, J. M. F. et al. **Resistência à tração e compressão do bambu *Dendrocalamus giganteus* após tratamento de mineralização**. SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. Anápolis: [s.n.]. 2007. p. 1-5.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. Nova Iorque: Ronald Press, 1964.

STAMM, A. J.; HANSEN, L. A. Minimizing wood shrinkage and swelling effect of heating in various gases.. **Industrial & Engineering Chemistry**, v. 29, n. 7, p. 831-833, 1937.

STAMM, J. Secagem do Bambu. **Apuama**, 2013. Disponível em: <<http://www.apuama.org/bambu/secagem/>>. Acesso em: 3 Fevereiro 2014.

STRAND. Bambo production. **Strand Bamboo**, 2013. Disponível em: <<http://strandbamboo.com/strand-bamboo-production/>>. Acesso em: 5 Fevereiro 2014.

SYRJÄNEN, T. et al. Heat treatment of wood in Finland - State of the art. **Proceedings of the Trä skydd-, vä rmebehandlat trä-, egenskaper och användningsområden**, Estocolmo, v. 21, p. 9-13, 2000.

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de bambu para habitações econômicas: avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa**. UnB. Brasília. 2006.

TIBURTINO, R. F. **Qualidade e eficiência do tratamento preservativo de duas espécies de bambu**. Universidade Federal do Espírito Santo. [S.l.]. 2011.

TIEMANN, H. Effect of different methods of drying on the strength and hygroscopicity of wood. In: TIEMANN, H. **The kiln drying of lumber**. 3ª. ed. [S.l.]: J. P. Lippincot Co., 1920.

TOLEDO FILHO, R. D.; BARBOSA, N. P. **Aplicação de bambu e de fibras naturais nas construções rurais**. Piracicaba: SBEA. 1990. p. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola.

UBIDIA, J. A. M. **Preservación del Bambú en América Latina, mediante Métodos Tradicionales**. INBAR. Guayaquil, p. 70. 2002.

UEDA, K. Studies on the physiology of bamboo, with reference to practical application. **Bulletin of Kyoto University**, n. 30, 1960.

VAN DER LUGT, P.; VOGTLÄNDER, J.; BREZET, H. **Bamboo, a Sustainable Solution for Western Europe: Design Cases LCAs and Land-use**. [S.l.]: Centre for Indian Bamboo Resource and Technology, 2008.

VOGTLÄNDER, J. G. **The model of the Eco-costs/Value Ratio. A new LCA based decision support tool**. Delft University of Technology. Delft. 2001.

VOGTLÄNDER, J. G. **The Model of the Eco-costs / Value Ratio (EVR)**, 2014. Disponível em: <<http://www.ecocostsvalue.com/>>. Acesso em: 27 Maio 2014.

VOGTLÄNDER, J.; VAN DER LUGT, P.; BREZET, H. The sustainability of bamboo products for local and Western European applications. LCAs and land-use. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 13, p. 1260-1269, 2010.

WANG, E.; SHEN, Z. A hybrid Data Quality Indicator and statistical method for improving uncertainty analysis in LCA of complex system: application to the whole-building embodied energy analysis. **Journal of cleaner production**, v. 43, p. 166-173, 2013.

WANGAARD, F. F. **The mechanical properties of wood**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1950.

WEDEIMA, B. P. Multi-User test of the data quality matrix for product lyfe cycle inventory data. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 3, n. 5, p. 259-265, 1998.

WEIDEMA, B.; WESNÆS, M. S. Data quality management for life cycle inventories - an example of using data quality indicators. **Journal of Cleaner Production**, v. 4, n. 3, 1996.

WEILAND, J. J.; GUYONETT, R. Study of chemical modifications and fungi degradation of thermally modified wood using DRIFT spectroscopy. **Holz als Rohwerkstoff**, v. 61, n. 2, p. 216-220, 2003.

WILLIAMS, J. T.; RAO, V. R. **Priority species of bamboo and rattan**. [S.l.]: INBAR, 1994.

WOLLCOTT, M. P.; KAMKE, F. A.; DILLARD, D. A. Fundamental of flakeboard manufacture: viscoelastic behavior. **Wood and Fiber Science**, v. 22, n. 4, p. 345-361, 1990.

WORLD COMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our common future (Relatório Brundtland)**. Organização das Nações Unidas - ONU. [S.l.], p. 27. 1992. (ISBN 019282080X).

XU, G. et al. Decay resistance and thermal stability of bamboo preservatives prepared using camphor leaf extract. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 78, p. 103-107, 2013.

YATES, S. Bamboo Treatment. **Everythings Unlimited**, 2011. Disponível em: <<http://everythings-unlimited.com/bamboo/bamboo-treatment/>>. Acesso em: 3 Fevereiro 2014.

YONGYU, T. **Current situation and future development of bamboo timber processing industry in China**. Beijing: Journal of Bamboo Research, 1999.

YUMING, Y.; JIRU, X. **Bamboo resources and their utilization in China**. Bamboo – conservation, diversity, ecogeography, germplasm, resource utilization and taxonomy. Kunming: International Plant Genetic Resources Institute. 1998. p. 275.

ZABALZA BRIBIÁN, I.; ARANDA USÓN, A.; SCARPELLIN, S. Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. **Building and Environment**, v. 44, n. 12, p. 2510-2520, 2009.

ZHANG, Y.; YU, W. **Effects of thermal treatment on surface color, dimensional stability and mechanical properties of bamboo-based fiber composites**. 2012 International

Conference on Biobase Material Science and Engineering (BMSE). Changsha: [s.n.]. 2012.
p. 132-136.

ANEXOS

ANEXO I - PROPRIEDADES DO BALCTR

I.II. EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO

Tabela 13 - Dados brutos das variações de massa, densidade e MOEd (módulo de elasticidade dinâmico) causadas pelo tratamento térmico.

(continua)

| Tratamento | Volume (cm ²) | Massa inicial (g) | Massa final (g) | Densidade Inicial (g/cm ²) | Densidade Final (g/cm ²) | MOEd inicial (MPa) | MOEd final (MPa) |
|------------|---------------------------|-------------------|-----------------|--|--------------------------------------|--------------------|------------------|
| A | 41,051 | 22,81 | 18,79 | 0,556 | 0,458 | 7948 | 7684 |
| | 40,601 | 25,62 | 21,39 | 0,631 | 0,527 | 11283 | 10597 |
| | 40,510 | 25,24 | 20,88 | 0,623 | 0,515 | 11141 | 10367 |
| | 41,165 | 28,29 | 23,79 | 0,687 | 0,578 | 9408 | 9247 |
| | 41,366 | 26,81 | 22,45 | 0,648 | 0,543 | 10370 | 10283 |
| | 41,141 | 25,33 | 21,17 | 0,616 | 0,515 | 11009 | 9201 |
| | 40,765 | 24,85 | 20,57 | 0,610 | 0,505 | 8720 | 8962 |
| | 38,895 | 23,21 | 19,26 | 0,597 | 0,495 | 9548 | 8369 |
| | 40,008 | 26,37 | 21,99 | 0,659 | 0,550 | 10404 | 9164 |
| | 39,685 | 29,00 | 24,18 | 0,731 | 0,609 | 11613 | 11467 |
| | 39,503 | 23,88 | 19,88 | 0,605 | 0,503 | 9672 | 9536 |
| | 39,244 | 29,86 | 24,92 | 0,761 | 0,635 | 14192 | 13767 |
| | 38,724 | 29,18 | 24,46 | 0,754 | 0,632 | 13565 | 12049 |
| | 38,976 | 28,14 | 23,12 | 0,722 | 0,593 | 10468 | 11316 |
| | 39,972 | 25,54 | 21,17 | 0,639 | 0,530 | 8326 | 8474 |
| | 39,367 | 29,13 | 24,47 | 0,740 | 0,622 | 10656 | 9945 |
| B | 40,234 | 25,07 | 20,76 | 0,623 | 0,516 | 10531 | 9777 |
| | 40,741 | 26,22 | 21,61 | 0,644 | 0,530 | 10731 | 10525 |
| | 40,576 | 24,08 | 19,82 | 0,593 | 0,488 | 9895 | 10308 |
| | 40,467 | 25,41 | 21,07 | 0,628 | 0,521 | 11738 | 10987 |
| | 40,148 | 24,35 | 20,16 | 0,607 | 0,502 | 10481 | 10381 |
| | 40,600 | 25,15 | 20,47 | 0,619 | 0,504 | 10119 | 10424 |
| | 38,662 | 25,74 | 21,44 | 0,666 | 0,555 | 12192 | 9059 |
| | 40,637 | 24,92 | 20,50 | 0,613 | 0,504 | 11230 | 10429 |
| | 40,192 | 30,32 | 25,24 | 0,754 | 0,628 | 13910 | 12292 |
| | 42,180 | 24,53 | 20,20 | 0,582 | 0,479 | 8150 | 7877 |
| | 39,605 | 25,72 | 21,18 | 0,649 | 0,535 | 10535 | 10325 |
| | 39,362 | 29,17 | 24,23 | 0,741 | 0,616 | 11225 | 9324 |
| | 39,483 | 27,42 | 22,89 | 0,694 | 0,580 | 12085 | 10690 |
| | 38,700 | 28,38 | 23,27 | 0,733 | 0,601 | 10039 | 7835 |
| | 39,659 | 30,20 | 25,25 | 0,761 | 0,637 | 15213 | 12720 |
| 39,645 | 27,81 | 23,09 | 0,701 | 0,582 | 11856 | 9844 | |
| C | 40,833 | 23,76 | 18,02 | 0,582 | 0,441 | 9436 | 9568 |

(continua)

| Tratamento | Volume (cm ³) | Massa inicial (g) | Massa final (g) | Densidade Inicial (g/cm ³) | Densidade Final (g/cm ³) | MOEd inicial (MPa) | MOEd final (MPa) |
|------------|---------------------------|-------------------|-----------------|--|--------------------------------------|--------------------|------------------|
| C | 41,074 | 25,88 | 19,87 | 0,630 | 0,484 | 8743 | 8287 |
| | 40,257 | 24,20 | 18,55 | 0,601 | 0,461 | 11467 | 10574 |
| | 40,636 | 25,26 | 19,40 | 0,622 | 0,477 | 11115 | 10882 |
| | 40,165 | 23,89 | 18,14 | 0,595 | 0,452 | 8566 | 9084 |
| | 40,190 | 25,43 | 19,14 | 0,633 | 0,476 | 9852 | 7415 |
| | 40,327 | 30,56 | 23,96 | 0,758 | 0,594 | 13368 | 9907 |
| | 38,986 | 29,20 | 22,50 | 0,749 | 0,577 | 13212 | 8199 |
| | 38,997 | 28,30 | 21,90 | 0,726 | 0,562 | 13565 | 11143 |
| | 39,622 | 25,75 | 19,94 | 0,650 | 0,503 | 8897 | 6890 |
| | 39,775 | 27,01 | 20,86 | 0,679 | 0,524 | 9296 | 7955 |
| | 40,022 | 25,02 | 19,13 | 0,625 | 0,478 | 10878 | 8814 |
| | 39,859 | 28,34 | 22,27 | 0,711 | 0,559 | 9964 | 8700 |
| | 39,491 | 30,36 | 23,65 | 0,769 | 0,599 | 12993 | 10708 |
| | 40,035 | 24,57 | 18,79 | 0,614 | 0,469 | 10826 | 7826 |
| | 39,517 | 27,58 | 21,23 | 0,698 | 0,537 | 13046 | 11337 |
| D | 40,359 | 25,72 | 19,39 | 0,637 | 0,480 | 10059 | 8981 |
| | 40,944 | 24,86 | 18,66 | 0,607 | 0,456 | 10710 | 8519 |
| | 40,360 | 26,13 | 19,93 | 0,647 | 0,494 | 10795 | 7795 |
| | 40,383 | 24,31 | 18,40 | 0,602 | 0,456 | 11253 | 8037 |
| | 40,332 | 24,05 | 17,66 | 0,596 | 0,438 | 10010 | 7777 |
| | 40,470 | 25,17 | 18,59 | 0,622 | 0,459 | 10441 | 8158 |
| | 39,405 | 30,35 | 23,17 | 0,770 | 0,588 | 13017 | 8468 |
| | 40,281 | 28,67 | 22,05 | 0,712 | 0,547 | 13486 | 8304 |
| | 39,716 | 30,18 | 23,39 | 0,760 | 0,589 | 12843 | 10531 |
| | 39,730 | 28,88 | 22,25 | 0,727 | 0,560 | 12369 | 10082 |
| | 40,665 | 28,39 | 21,66 | 0,698 | 0,533 | 11246 | 8134 |
| | 39,848 | 23,25 | 17,09 | 0,583 | 0,429 | 8910 | 5361 |
| | 40,428 | 25,33 | 19,07 | 0,627 | 0,472 | 10733 | 8080 |
| | 39,386 | 28,92 | 22,05 | 0,734 | 0,560 | 14007 | 11337 |
| | 39,951 | 27,44 | 21,01 | 0,687 | 0,526 | 11766 | 8085 |
| 40,296 | 25,41 | 18,88 | 0,631 | 0,469 | 12029 | 8938 | |
| T | 41,448 | 25,00 | n/a | 0,603 | n/a | 11429 | n/a |
| | 40,783 | 24,02 | n/a | 0,589 | n/a | 9954 | n/a |
| | 40,292 | 24,78 | n/a | 0,615 | n/a | 11653 | n/a |
| | 38,906 | 28,36 | n/a | 0,729 | n/a | 13034 | n/a |
| | 40,815 | 26,03 | n/a | 0,638 | n/a | 12084 | n/a |
| | 41,212 | 26,69 | n/a | 0,648 | n/a | 10946 | n/a |
| | 40,444 | 24,12 | n/a | 0,596 | n/a | 8589 | n/a |

(conclusão)

| Tratamento | Volume (cm ²) | Massa inicial (g) | Massa final (g) | Densidade Inicial (g/cm ²) | Densidade Final (g/cm ²) | MOEd inicial (MPa) | MOEd final (MPa) |
|------------|---------------------------|-------------------|-----------------|--|--------------------------------------|--------------------|------------------|
| T | 40,429 | 31,61 | n/a | 0,782 | n/a | 14815 | n/a |
| | 40,390 | 28,77 | n/a | 0,712 | n/a | 14327 | n/a |
| | 40,561 | 25,58 | n/a | 0,631 | n/a | 11950 | n/a |
| | 38,393 | 28,36 | n/a | 0,739 | n/a | 10638 | n/a |
| | 39,444 | 27,58 | n/a | 0,699 | n/a | 10607 | n/a |
| | 40,313 | 24,55 | n/a | 0,609 | n/a | 9744 | n/a |
| | 39,210 | 29,39 | n/a | 0,750 | n/a | 14203 | n/a |
| | 40,350 | 25,31 | n/a | 0,627 | n/a | 9515 | n/a |
| | 40,441 | 26,41 | n/a | 0,653 | n/a | 9405 | n/a |

Tabela 14 - Médias das reduções de massa, densidade e MOEd (módulo de elasticidade dinâmico) causadas pelo tratamento térmico.

| Tratamento | Volume (cm ²) | Redução de massa (%) | Redução de densidade (%) | Redução de MOEd (%) |
|------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|
| A | 40,061 | 16,74% | 16,74% | 4,40% |
| B | 40,056 | 17,29% | 17,29% | 8,93% |
| C | 39,987 | 23,05% | 23,05% | 15,07% |
| D | 40,214 | 24,39% | 24,39% | 25,62% |

I.I. ENSAIO DE ESTABILIDADE DIMENSIONAL

Tabela 15 - Dados brutos do ensaio de estabilidade dimensional a 0 horas em imersão
(continua)

| Tratamento | Massa (kg) | Espessura (mm) | Largura (mm) | Comprimento (mm) |
|------------|------------|----------------|--------------|------------------|
| A | 2,67 | 7,98 | 23,99 | 25,14 |
| | 2,78 | 7,81 | 24,20 | 25,31 |
| | 2,92 | 8,22 | 24,69 | 25,24 |
| | 2,59 | 7,75 | 23,75 | 24,90 |
| | 2,93 | 7,83 | 24,03 | 24,91 |
| | 2,52 | 8,39 | 23,88 | 25,12 |
| | 2,91 | 8,24 | 24,77 | 25,16 |
| | 2,90 | 7,92 | 24,32 | 25,22 |
| | 2,78 | 8,09 | 24,04 | 25,13 |
| | 2,85 | 7,76 | 24,56 | 25,05 |
| | 2,70 | 8,11 | 23,91 | 25,03 |
| | 2,86 | 7,67 | 24,19 | 24,80 |
| B | 2,77 | 7,91 | 24,45 | 25,39 |
| | 3,00 | 7,98 | 24,10 | 25,21 |
| | 2,71 | 7,90 | 24,14 | 25,32 |
| | 2,76 | 8,24 | 24,39 | 24,86 |
| | 2,65 | 8,20 | 24,20 | 25,08 |
| | 2,90 | 8,05 | 24,24 | 25,42 |
| | 2,68 | 8,10 | 24,43 | 24,96 |
| | 2,65 | 8,09 | 24,12 | 25,03 |
| | 2,80 | 7,85 | 23,55 | 25,18 |
| | 2,91 | 7,95 | 24,15 | 25,10 |
| | 2,70 | 7,82 | 24,08 | 25,09 |
| | 2,63 | 8,00 | 24,24 | 24,88 |
| C | 2,38 | 7,56 | 22,92 | 24,80 |
| | 2,60 | 7,65 | 23,48 | 24,87 |
| | 2,86 | 7,70 | 23,40 | 24,97 |
| | 2,56 | 7,96 | 23,29 | 24,79 |
| | 2,13 | 7,97 | 23,12 | 25,08 |
| | 2,53 | 8,03 | 22,87 | 24,92 |
| | 2,23 | 8,07 | 23,54 | 24,99 |
| | 2,74 | 8,08 | 23,28 | 24,80 |
| | 2,62 | 8,14 | 24,03 | 25,09 |
| | 2,22 | 8,18 | 23,42 | 25,04 |

(conclusão)

| Tratamento | Massa (kg) | Espessura (mm) | Largura (mm) | Comprimento (mm) |
|------------|------------|----------------|--------------|------------------|
| C | 2,42 | 8,25 | 23,21 | 24,85 |
| | 2,31 | 8,27 | 23,33 | 25,10 |
| D | 2,38 | 7,27 | 23,14 | 25,06 |
| | 3,10 | 7,34 | 22,82 | 24,84 |
| | 2,03 | 7,38 | 22,78 | 24,81 |
| | 2,17 | 7,42 | 21,92 | 24,74 |
| | 2,64 | 7,56 | 22,94 | 24,57 |
| | 2,45 | 7,57 | 23,41 | 24,94 |
| | 2,88 | 7,66 | 22,86 | 24,57 |
| | 2,92 | 7,66 | 22,83 | 25,00 |
| | 2,97 | 7,67 | 23,17 | 25,14 |
| | 2,75 | 7,69 | 22,39 | 24,90 |
| | 2,94 | 8,06 | 23,32 | 25,24 |
| | 2,90 | 8,11 | 22,99 | 25,28 |
| T | 3,08 | 7,76 | 24,38 | 24,98 |
| | 3,31 | 7,74 | 24,04 | 24,38 |
| | 2,91 | 7,81 | 23,54 | 24,91 |
| | 2,78 | 7,96 | 23,76 | 25,04 |
| | 3,04 | 7,83 | 24,34 | 24,89 |
| | 3,43 | 7,75 | 24,07 | 24,80 |
| | 3,80 | 7,74 | 23,91 | 24,84 |
| | 2,81 | 7,81 | 23,58 | 24,96 |
| | 3,48 | 7,74 | 23,68 | 24,95 |
| | 3,09 | 7,79 | 24,06 | 24,77 |
| | 3,25 | 7,77 | 24,31 | 24,94 |
| | 3,44 | 7,79 | 24,04 | 25,09 |

Tabela 16 - Dados brutos do ensaio de estabilidade dimensional a 2 horas em imersão
(continua)

| Tratamento | Massa (kg) | Espessura (mm) | Largura (mm) | Comprimento (mm) |
|------------|------------|----------------|--------------|------------------|
| A | 3,15 | 8,14 | 23,91 | 25,13 |
| | 3,27 | 7,84 | 24,20 | 25,45 |
| | 3,47 | 8,33 | 24,90 | 25,15 |
| | 3,06 | 7,94 | 23,86 | 24,92 |
| | 3,23 | 7,94 | 24,05 | 25,26 |
| | 2,95 | 8,65 | 24,00 | 25,22 |

(continuação)

| Tratamento | Massa (kg) | Espessura (mm) | Largura (mm) | Comprimento (mm) |
|------------|------------|----------------|--------------|------------------|
| A | 3,43 | 8,50 | 24,80 | 25,37 |
| | 3,42 | 8,02 | 24,42 | 25,25 |
| | 3,32 | 8,35 | 24,12 | 25,10 |
| | 3,23 | 7,92 | 24,78 | 24,98 |
| | 3,22 | 8,23 | 24,20 | 25,23 |
| | 3,15 | 7,78 | 24,52 | 25,07 |
| B | 3,27 | 8,30 | 24,53 | 25,41 |
| | 3,41 | 8,22 | 24,29 | 25,38 |
| | 3,18 | 8,15 | 24,52 | 25,41 |
| | 3,25 | 8,57 | 24,47 | 24,83 |
| | 3,14 | 8,31 | 24,35 | 24,99 |
| | 3,42 | 8,31 | 24,37 | 25,39 |
| | 3,19 | 8,22 | 24,23 | 25,08 |
| | 3,42 | 8,02 | 23,65 | 25,21 |
| | 3,27 | 8,11 | 24,40 | 25,43 |
| | 3,18 | 8,14 | 24,28 | 25,20 |
| | 3,17 | 7,93 | 24,22 | 25,09 |
| 3,13 | 8,34 | 24,32 | 25,00 | |
| C | 2,35 | 7,43 | 22,83 | 24,99 |
| | 2,87 | 7,65 | 23,62 | 24,94 |
| | 2,92 | 7,69 | 23,50 | 25,22 |
| | 2,57 | 7,84 | 22,92 | 24,83 |
| | 3,22 | 7,97 | 23,00 | 25,31 |
| | 2,63 | 8,02 | 23,47 | 25,24 |
| | 2,86 | 8,07 | 23,32 | 24,92 |
| | 3,20 | 8,11 | 23,50 | 24,97 |
| | 2,98 | 8,11 | 22,99 | 25,04 |
| | 3,09 | 8,14 | 23,42 | 24,98 |
| | 2,59 | 8,24 | 23,33 | 25,33 |
| 2,73 | 8,28 | 23,56 | 25,17 | |
| D | 2,90 | 7,42 | 23,29 | 25,14 |
| | 2,98 | 7,42 | 22,96 | 24,57 |
| | 3,08 | 7,47 | 22,33 | 24,92 |
| | 3,48 | 7,50 | 23,21 | 25,07 |
| | 2,64 | 7,61 | 21,87 | 24,79 |
| | 2,87 | 7,76 | 22,97 | 24,58 |
| | 3,40 | 7,84 | 23,20 | 25,17 |
| | 3,35 | 7,96 | 23,28 | 25,07 |

(conclusão)

| Tratamento | Massa (kg) | Espessura (mm) | Largura (mm) | Comprimento (mm) |
|------------|------------|----------------|--------------|------------------|
| D | 3,24 | 8,02 | 23,14 | 24,96 |
| | 3,08 | 8,24 | 24,20 | 25,70 |
| | 2,94 | 8,31 | 23,56 | 25,53 |
| | 2,87 | 8,42 | 23,41 | 25,17 |
| T | 3,66 | 8,05 | 24,71 | 25,04 |
| | 3,78 | 8,08 | 24,49 | 24,53 |
| | 3,38 | 8,12 | 23,98 | 25,04 |
| | 3,26 | 8,21 | 24,01 | 25,25 |
| | 3,63 | 8,26 | 24,81 | 25,07 |
| | 3,87 | 8,03 | 24,53 | 25,04 |
| | 4,16 | 7,95 | 24,24 | 24,94 |
| | 3,31 | 8,17 | 24,01 | 25,22 |
| | 3,89 | 8,06 | 24,09 | 25,37 |
| | 3,62 | 8,10 | 24,60 | 25,29 |
| | 3,76 | 8,14 | 24,81 | 25,09 |
| | 3,89 | 8,15 | 24,41 | 25,40 |

Tabela 17 - Dados brutos do ensaio de estabilidade dimensional a 24 horas em imersão
(continua)

| Tratamento | Massa (kg) | Espessura (mm) | Largura (mm) | Comprimento (mm) |
|------------|------------|----------------|--------------|------------------|
| A | 4,13 | 8,37 | 24,29 | 25,37 |
| | 4,24 | 8,31 | 24,70 | 25,44 |
| | 4,55 | 8,74 | 25,42 | 25,36 |
| | 3,98 | 8,23 | 24,47 | 25,14 |
| | 3,87 | 8,14 | 24,63 | 25,14 |
| | 3,86 | 8,77 | 24,38 | 25,50 |
| | 4,46 | 8,78 | 25,28 | 25,35 |
| | 4,42 | 8,42 | 25,14 | 25,54 |
| | 4,45 | 8,60 | 24,80 | 25,29 |
| | 4,30 | 8,07 | 25,08 | 25,18 |
| | 4,14 | 8,56 | 24,45 | 25,30 |
| 3,81 | 7,84 | 25,06 | 24,99 | |
| B | 4,14 | 8,46 | 25,09 | 25,38 |
| | 4,20 | 8,38 | 24,78 | 25,27 |
| | 4,11 | 8,42 | 24,90 | 25,52 |
| | 4,14 | 8,76 | 24,93 | 24,82 |

(continuação)

| Tratamento | Massa (kg) | Espessura (mm) | Largura (mm) | Comprimento (mm) |
|------------|------------|----------------|--------------|------------------|
| B | 3,99 | 8,55 | 24,72 | 25,06 |
| | 4,28 | 8,53 | 24,86 | 25,38 |
| | 4,02 | 8,59 | 25,06 | 25,20 |
| | 3,97 | 8,56 | 24,83 | 25,18 |
| | 3,99 | 8,48 | 24,79 | 25,03 |
| | 4,23 | 8,55 | 25,00 | 25,36 |
| | 4,08 | 8,34 | 24,79 | 25,22 |
| | 4,22 | 8,25 | 24,31 | 25,42 |
| C | 2,99 | 7,62 | 23,12 | 25,00 |
| | 3,29 | 7,76 | 23,92 | 24,98 |
| | 3,71 | 7,91 | 24,02 | 25,20 |
| | 3,04 | 7,85 | 23,49 | 24,77 |
| | 3,73 | 8,02 | 23,37 | 25,16 |
| | 3,31 | 8,26 | 23,86 | 25,12 |
| | 3,57 | 8,24 | 23,76 | 25,05 |
| | 3,90 | 8,33 | 24,00 | 25,22 |
| | 3,74 | 8,37 | 23,43 | 25,02 |
| | 3,77 | 8,25 | 23,70 | 24,93 |
| | 3,33 | 8,35 | 23,72 | 25,12 |
| | 3,40 | 8,30 | 23,83 | 25,06 |
| D | 3,64 | 7,59 | 23,70 | 25,14 |
| | 3,41 | 7,62 | 23,47 | 24,66 |
| | 3,62 | 8,17 | 22,78 | 25,04 |
| | 3,89 | 7,73 | 23,47 | 24,98 |
| | 3,34 | 7,93 | 22,21 | 25,08 |
| | 3,47 | 7,89 | 23,31 | 24,61 |
| | 3,91 | 7,99 | 23,69 | 25,25 |
| | 3,94 | 8,35 | 23,79 | 25,12 |
| | 3,74 | 8,24 | 23,63 | 25,14 |
| | 3,91 | 8,48 | 24,42 | 25,36 |
| | 3,74 | 8,42 | 23,59 | 25,07 |
| | 3,62 | 8,68 | 23,66 | 25,12 |
| T | 4,84 | 8,76 | 25,49 | 25,13 |
| | 4,87 | 8,75 | 25,48 | 24,72 |
| | 4,48 | 8,41 | 24,76 | 25,16 |
| | 4,51 | 8,75 | 24,66 | 25,26 |
| | 4,67 | 8,85 | 25,59 | 25,13 |
| | 4,98 | 8,63 | 25,42 | 25,19 |

(conclusão)

| Tratamento | Massa (kg) | Espessura (mm) | Largura (mm) | Comprimento (mm) |
|------------|------------|----------------|--------------|------------------|
| T | 4,93 | 8,48 | 24,88 | 25,03 |
| | 4,31 | 8,67 | 24,46 | 25,22 |
| | 4,89 | 8,64 | 24,97 | 25,12 |
| | 4,63 | 8,72 | 25,15 | 25,06 |
| | 4,81 | 8,75 | 25,69 | 25,09 |
| | 4,93 | 8,76 | 25,66 | 25,34 |

Tabela 18 - Médias do ensaio de estabilidade dimensional

| Tratamento | Tempo | Massa (kg) | Radial (%) | Tangencial (%) | Axial (%) |
|------------|--------------|-------------|---------------|----------------|---------------|
| A | 0 horas | 2,78 | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| | 2 horas | 3,24 | 1,94% | 0,49% | 0,37% |
| | 24 horas | 4,18 | 5,28% | 2,54% | 0,86% |
| | média | 3,40 | 3,61% | 1,52% | 0,61% |
| B | 0 horas | 2,76 | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| | 2 horas | 3,25 | 2,65% | 0,54% | 0,30% |
| | 24 horas | 4,11 | -6,05% | -2,76% | -0,44% |
| | média | 3,38 | -1,70% | -1,11% | -0,07% |
| C | 0 horas | 2,47 | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| | 2 horas | 2,83 | -0,33% | -0,14% | 0,55% |
| | 24 horas | 3,48 | 1,47% | 1,56% | 0,44% |
| | média | 2,93 | 0,57% | 0,71% | 0,50% |
| D | 0 horas | 2,68 | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| | 2 horas | 3,07 | 2,83% | 1,08% | 0,53% |
| | 24 horas | 3,69 | 6,24% | 2,65% | 0,50% |
| | média | 3,14 | 4,53% | 1,86% | 0,52% |
| T | 0 horas | 3,20 | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| | 2 horas | 3,68 | 4,11% | 1,73% | 0,92% |
| | 24 horas | 4,74 | 11,42% | 5,04% | 0,97% |
| | média | 3,87 | 7,77% | 3,38% | 0,95% |

I.III. ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA

Tabela 19 - Dados brutos do ensaio de flexão estática

(continua)

| Tratamento | Carga de Ruptura (N) | Módulo de Ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidade (MPa) | Módulo de Elasticidade Dinâmico (MPa) |
|------------|----------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| A | 468,66 | 46,471 | 7372 | 7684 |
| | 940,75 | 94,754 | 10764 | 10597 |
| | 821,21 | 83,272 | 9611 | 10367 |
| | 768,45 | 76,910 | 9442 | 9247 |
| | 1076,28 | 106,971 | 10386 | 10283 |
| | 912,71 | 91,436 | 10386 | 9201 |
| | 653,61 | 66,017 | 8457 | 8962 |
| | 838,57 | 90,135 | 8000 | 8369 |
| | 994,10 | 104,597 | 11840 | 9164 |
| | 1050,20 | 109,776 | 11840 | 11467 |
| | 875,34 | 91,703 | 8110 | 9536 |
| | 1025,48 | 110,992 | 12082 | 13767 |
| B | 698,33 | 72,024 | 10512 | 9777 |
| | 883,29 | 90,637 | 10193 | 10525 |
| | 777,86 | 79,166 | 9611 | 10308 |
| | 885,35 | 91,058 | 10851 | 10987 |
| | 913,98 | 94,419 | 9705 | 10381 |
| | 757,76 | 76,983 | 9705 | 10424 |
| | 990,77 | 108,366 | 11170 | 9059 |
| | 778,45 | 79,338 | 9867 | 10429 |
| | 1183,08 | 123,307 | 14625 | 12292 |
| | 815,91 | 79,858 | 8409 | 7877 |
| | 850,63 | 88,741 | 8305 | 10325 |
| | 1038,92 | 111,597 | 10350 | 9324 |
| C | 558,78 | 56,378 | 5708 | 9568 |
| | 773,16 | 77,358 | 9914 | 8287 |
| | 500,04 | 51,981 | 5980 | 10574 |
| | 672,35 | 68,380 | 7245 | 10882 |
| | 644,98 | 66,585 | 7554 | 9084 |
| | 654,30 | 66,860 | 7176 | 7415 |
| | 606,93 | 62,410 | 7176 | 9907 |
| | 767,18 | 83,262 | 9568 | 8199 |
| | 733,73 | 79,535 | 10572 | 11143 |
| | 410,61 | 42,743 | 7220 | 6890 |
| | 681,66 | 71,417 | 8222 | 7955 |

(conclusão)

| Tratamento | Carga de Ruptura (N) | Módulo de Ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidade (MPa) | Módulo de Elasticidade Dinâmico (MPa) |
|------------|----------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| C | 614,29 | 62,535 | 6578 | 8814 |
| D | 478,66 | 48,143 | 7774 | 8981 |
| | 596,25 | 59,826 | 7605 | 8519 |
| | 317,83 | 32,660 | 8135 | 7795 |
| | 477,39 | 48,869 | 7139 | 8037 |
| | 649,59 | 66,247 | 8649 | 7777 |
| | 588,89 | 60,251 | 7941 | 8158 |
| | 805,23 | 85,434 | 12109 | 8468 |
| | 638,32 | 65,990 | 9497 | 8304 |
| | 682,35 | 71,451 | 10207 | 10531 |
| | 674,31 | 70,929 | 8970 | 10082 |
| | 530,15 | 53,824 | 7048 | 8134 |
| | 422,67 | 43,998 | 5920 | 5361 |
| T | 827,88 | 81,081 | 9497 | 11429 |
| | 915,35 | 90,985 | 9497 | 9954 |
| | 867,99 | 89,340 | 8970 | 11653 |
| | 1088,25 | 117,632 | 10764 | 13034 |
| | 945,36 | 95,434 | 10275 | 12084 |
| | 998,12 | 98,623 | 10867 | 10946 |
| | 892,01 | 90,563 | 9418 | 8589 |
| | 1372,05 | 140,863 | 14871 | 14815 |
| | 1080,89 | 111,410 | 11330 | 14327 |
| | 1016,85 | 102,748 | 9096 | 11950 |
| | 1092,27 | 120,518 | 11533 | 10638 |
| | 1039,51 | 110,321 | 9096 | 10607 |

Tabela 20 - Médias dos resultados do ensaio de flexão estática

| Tratamento | Carga de Ruptura (N) | Módulo de Ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidade (MPa) | Módulo de Elasticidade Dinâmico (MPa) |
|------------|----------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| A | 868,78 | 89,419 | 9858 | 9887 |
| B | 881,19 | 91,291 | 10275 | 10142 |
| C | 634,83 | 65,787 | 7743 | 9060 |
| D | 571,80 | 58,969 | 8416 | 8346 |
| T | 1011,38 | 104,126 | 10435 | 11669 |

I.IV. ENSAIO DE MOLHABILIDADE

Tabela 21 - Dados brutos do ensaio de molhabilidade: Tratamento a 180°C por 2 horas (A).

(continua)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 0 | 114,3 | 87,3 | 108,8 | 107,7 | 102,0 | 102,9 | 123,4 | 108,6 | 106,88 |
| 1 | 114,3 | 87,3 | 108,8 | 107,7 | 101,9 | 102,9 | 91,3 | 95,2 | 101,18 |
| 2 | 114,3 | 87,3 | 108,8 | 102,1 | 98,3 | 99,5 | 101,7 | 95,2 | 100,90 |
| 3 | 110,9 | 87,3 | 103,8 | 100,6 | 95,1 | 100,6 | 101,7 | 93,5 | 99,18 |
| 4 | 105,1 | 82,4 | 102,6 | 99,6 | 93,3 | 100,5 | 99,0 | 92,3 | 96,84 |
| 5 | 103,9 | 82,1 | 103,0 | 95,8 | 91,4 | 97,0 | 99,2 | 87,8 | 95,01 |
| 6 | 104,5 | 82,1 | 100,0 | 100,3 | 89,1 | 93,6 | 93,8 | 90,4 | 94,22 |
| 7 | 103,1 | 82,1 | 99,2 | 98,8 | 88,5 | 92,3 | 96,1 | 88,9 | 93,64 |
| 8 | 102,4 | 78,7 | 94,3 | 94,6 | 86,5 | 92,4 | 94,5 | 89,5 | 91,63 |
| 9 | 94,4 | 77,7 | 96,6 | 94,1 | 85,9 | 89,8 | 93,8 | 87,8 | 90,00 |
| 10 | 98,0 | 75,5 | 96,1 | 93,2 | 84,7 | 88,7 | 92,4 | 85,2 | 89,22 |
| 11 | 99,1 | 73,8 | 91,8 | 92,8 | 85,1 | 88,1 | 98,2 | 87,4 | 89,54 |
| 12 | 91,8 | 72,2 | 93,3 | 94,5 | 84,2 | 83,9 | 96,0 | 87,9 | 87,98 |
| 13 | 95,3 | 74,9 | 92,3 | 93,3 | 84,0 | 83,6 | 94,2 | 84,6 | 87,79 |
| 14 | 91,2 | 73,2 | 92,0 | 91,5 | 83,4 | 83,8 | 94,3 | 84,7 | 86,76 |
| 15 | 95,5 | 69,8 | 90,4 | 91,7 | 82,2 | 81,8 | 90,2 | 81,7 | 85,42 |
| 16 | 95,8 | 69,9 | 89,9 | 90,9 | 79,5 | 81,6 | 91,7 | 81,7 | 85,10 |
| 17 | 94,0 | 70,8 | 89,4 | 95,1 | 79,5 | 80,9 | 91,7 | 83,1 | 85,56 |
| 18 | 91,3 | 68,9 | 86,8 | 92,1 | 77,3 | 81,3 | 93,0 | 83,0 | 84,19 |
| 19 | 88,9 | 73,9 | 88,3 | 89,7 | 77,9 | 81,9 | 88,1 | 81,5 | 83,78 |
| 20 | 91,1 | 70,4 | 83,8 | 89,6 | 75,9 | 81,5 | 92,9 | 81,2 | 83,30 |
| 21 | 89,5 | 67,9 | 84,7 | 89,2 | 76,1 | 81,5 | 92,2 | 78,6 | 82,44 |
| 22 | 89,0 | 70,8 | 86,0 | 89,1 | 74,4 | 81,1 | 94,2 | 81,8 | 83,29 |
| 23 | 87,4 | 67,1 | 83,1 | 88,6 | 75,2 | 82,7 | 93,3 | 82,3 | 82,48 |
| 24 | 87,8 | 66,2 | 82,0 | 88,7 | 74,6 | 80,7 | 88,3 | 82,8 | 81,39 |
| 25 | 90,9 | 68,6 | 80,7 | 88,1 | 73,9 | 78,4 | 87,5 | 82,7 | 81,35 |
| 26 | 87,6 | 67,9 | 80,9 | 87,8 | 74,5 | 80,0 | 91,3 | 78,8 | 81,10 |
| 27 | 87,3 | 64,7 | 78,9 | 87,6 | 74,1 | 80,1 | 87,7 | 79,6 | 80,00 |
| 28 | 87,0 | 64,1 | 75,0 | 87,5 | 73,1 | 80,1 | 90,3 | 81,3 | 79,80 |
| 29 | 84,6 | 64,2 | 79,9 | 87,5 | 73,2 | 79,9 | 89,3 | 78,7 | 79,67 |
| 30 | 86,5 | 63,8 | 76,0 | 87,5 | 72,7 | 77,4 | 88,9 | 79,4 | 79,02 |
| 31 | 84,7 | 66,4 | 77,1 | 88,9 | 72,6 | 77,4 | 90,5 | 78,6 | 79,50 |
| 32 | 86,8 | 66,9 | 75,9 | 87,5 | 72,0 | 77,6 | 86,0 | 77,7 | 78,81 |
| 33 | 85,6 | 67,3 | 74,2 | 90,5 | 71,1 | 79,2 | 90,7 | 77,7 | 79,54 |
| 34 | 85,2 | 63,9 | 72,7 | 87,1 | 70,0 | 78,6 | 86,8 | 77,1 | 77,68 |

(continuação)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 35 | 85,2 | 65,1 | 73,2 | 88,8 | 69,7 | 78,8 | 84,5 | 78,0 | 77,92 |
| 36 | 86,5 | 64,9 | 70,5 | 88,2 | 68,8 | 78,2 | 86,4 | 79,5 | 77,87 |
| 37 | 87,7 | 68,4 | 72,4 | 89,1 | 68,7 | 82,2 | 89,7 | 77,5 | 79,45 |
| 38 | 86,8 | 62,1 | 69,2 | 88,3 | 68,7 | 81,4 | 90,7 | 76,8 | 78,00 |
| 39 | 89,4 | 65,3 | 68,3 | 87,1 | 67,2 | 79,5 | 88,7 | 76,1 | 77,69 |
| 40 | 85,5 | 65,2 | 66,4 | 87,0 | 66,9 | 77,7 | 91,4 | 75,8 | 76,96 |
| 41 | 86,9 | 65,0 | 66,5 | 87,0 | 66,9 | 79,8 | 88,6 | 76,3 | 77,14 |
| 42 | 83,4 | 65,0 | 65,9 | 86,6 | 66,2 | 79,6 | 90,1 | 77,7 | 76,82 |
| 43 | 82,9 | 63,3 | 64,7 | 86,6 | 65,4 | 79,5 | 84,0 | 76,6 | 75,36 |
| 44 | 84,5 | 68,5 | 65,4 | 86,4 | 65,0 | 78,4 | 89,0 | 80,1 | 77,16 |
| 45 | 82,5 | 65,5 | 65,6 | 85,0 | 64,3 | 75,7 | 85,7 | 77,9 | 75,26 |
| 46 | 82,1 | 64,9 | 64,4 | 85,2 | 64,9 | 77,5 | 85,9 | 76,4 | 75,16 |
| 47 | 83,6 | 61,7 | 64,7 | 85,2 | 63,5 | 79,7 | 84,3 | 75,8 | 74,83 |
| 48 | 82,4 | 63,5 | 63,5 | 84,3 | 63,0 | 76,1 | 88,3 | 76,2 | 74,66 |
| 49 | 83,9 | 64,2 | 62,1 | 84,2 | 62,1 | 76,4 | 87,0 | 76,1 | 74,51 |
| 50 | 82,2 | 60,5 | 63,5 | 84,1 | 61,4 | 78,0 | 87,3 | 75,6 | 74,08 |
| 51 | 80,4 | 63,9 | 61,8 | 85,0 | 61,0 | 79,5 | 89,3 | 75,6 | 74,57 |
| 52 | 83,1 | 63,1 | 61,1 | 83,9 | 62,4 | 77,6 | 93,2 | 74,6 | 74,88 |
| 53 | 83,0 | 63,5 | 60,6 | 83,6 | 61,3 | 76,7 | 91,4 | 75,5 | 74,46 |
| 54 | 80,2 | 64,6 | 62,4 | 83,5 | 60,3 | 75,9 | 87,4 | 75,8 | 73,76 |
| 55 | 79,3 | 62,5 | 60,2 | 82,4 | 61,2 | 74,9 | 89,2 | 74,9 | 73,07 |
| 56 | 78,9 | 66,5 | 60,3 | 82,8 | 63,4 | 76,3 | 87,1 | 72,6 | 73,50 |
| 57 | 82,3 | 62,1 | 59,4 | 79,0 | 59,5 | 77,2 | 84,5 | 73,2 | 72,16 |
| 58 | 80,4 | 62,2 | 60,0 | 81,2 | 60,2 | 77,2 | 84,8 | 74,2 | 72,53 |
| 59 | 81,1 | 61,2 | 59,7 | 80,7 | 61,7 | 79,0 | 83,9 | 74,0 | 72,67 |
| 60 | 78,2 | 58,1 | 58,9 | 80,8 | 60,7 | 73,0 | 83,9 | 73,5 | 70,88 |
| 61 | 78,1 | 64,4 | 60,4 | 80,5 | 59,0 | 74,3 | 85,8 | 74,2 | 72,07 |
| 62 | 82,2 | 60,2 | 58,6 | 80,2 | 63,4 | 75,8 | 89,2 | 72,3 | 72,74 |
| 63 | 79,7 | 64,3 | 57,5 | 81,4 | 59,5 | 71,6 | 86,0 | 73,9 | 71,73 |
| 64 | 77,5 | 61,1 | 58,3 | 80,3 | 59,3 | 74,3 | 85,5 | 72,1 | 71,04 |
| 65 | 84,7 | 61,2 | 56,5 | 77,1 | 59,5 | 76,8 | 85,8 | 76,2 | 72,23 |
| 66 | 80,7 | 59,6 | 57,7 | 79,6 | 62,2 | 74,2 | 87,0 | 74,8 | 71,97 |
| 67 | 79,3 | 59,8 | 56,1 | 78,7 | 62,0 | 76,1 | 86,3 | 72,3 | 71,33 |
| 68 | 80,9 | 57,7 | 55,9 | 81,0 | 59,5 | 78,0 | 85,7 | 73,7 | 71,54 |
| 69 | 78,5 | 59,7 | 56,8 | 79,2 | 59,2 | 75,9 | 83,8 | 72,0 | 70,66 |
| 70 | 75,8 | 62,0 | 56,7 | 79,7 | 60,0 | 73,1 | 85,1 | 72,1 | 70,55 |
| 71 | 76,1 | 63,2 | 56,3 | 80,4 | 60,5 | 76,1 | 84,5 | 73,2 | 71,28 |
| 72 | 76,0 | 57,9 | 54,8 | 78,9 | 60,2 | 69,9 | 85,8 | 72,8 | 69,53 |
| 73 | 78,8 | 60,1 | 55,2 | 78,8 | 57,1 | 72,2 | 85,0 | 73,7 | 70,12 |

(conclusão)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 74 | 74,8 | 59,8 | 57,2 | 80,3 | 59,4 | 76,9 | 84,2 | 73,1 | 70,70 |
| 75 | 74,7 | 56,4 | 53,9 | 80,1 | 60,4 | 77,5 | 83,3 | 73,6 | 69,97 |
| 76 | 74,6 | 58,2 | 54,9 | 78,4 | 59,0 | 77,9 | 84,0 | 72,5 | 69,94 |
| 77 | 73,6 | 59,3 | 54,1 | 80,5 | 57,0 | 76,9 | 83,4 | 74,7 | 69,92 |
| 78 | 73,3 | 58,9 | 55,1 | 80,1 | 58,7 | 77,2 | 84,8 | 74,8 | 70,37 |
| 79 | 78,7 | 57,2 | 54,3 | 79,2 | 58,5 | 77,8 | 83,4 | 71,9 | 70,11 |
| 80 | 79,2 | 59,3 | 54,1 | 79,2 | 58,5 | 76,3 | 83,6 | 69,4 | 69,96 |
| 81 | 73,2 | 62,8 | 53,9 | 79,0 | 59,1 | 72,8 | 83,0 | 71,1 | 69,37 |
| 82 | 73,3 | 59,3 | 53,9 | 82,7 | 60,8 | 75,3 | 85,2 | 71,9 | 70,31 |
| 83 | 74,5 | 60,2 | 53,1 | 78,0 | 57,4 | 74,2 | 84,2 | 70,3 | 68,99 |
| 84 | 73,6 | 59,7 | 54,5 | 78,9 | 57,1 | 72,5 | 83,5 | 71,1 | 68,86 |
| 85 | 72,4 | 57,2 | 52,9 | 80,2 | 57,1 | 73,2 | 84,6 | 70,9 | 68,56 |
| 86 | 72,4 | 57,7 | 52,8 | 79,5 | 57,1 | 75,4 | 84,0 | 71,4 | 68,78 |
| 87 | 73,5 | 57,5 | 51,7 | 80,1 | 57,8 | 76,5 | 84,0 | 72,0 | 69,14 |
| 88 | 74,1 | 59,0 | 56,5 | 80,2 | 57,8 | 73,8 | 87,9 | 71,7 | 70,11 |

Tabela 22 - Dados brutos do ensaio de molhabilidade: Tratamento a 180°C por 4 horas (B).

(continua)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 0 | - | 126,8 | 125,0 | - | - | - | 98,8 | 105,0 | 113,89 |
| 1 | - | 122,2 | 122,5 | - | 119,1 | 107,7 | 98,6 | 102,0 | 112,02 |
| 2 | 101,6 | 120,4 | 119,9 | 109,9 | 119,8 | 104,0 | 102,7 | 101,3 | 109,95 |
| 3 | 98,2 | 124,8 | 118,0 | 111,9 | 129,4 | 100,7 | 101,1 | 96,9 | 110,14 |
| 4 | 98,4 | 99,0 | 127,4 | 105,7 | 120,6 | 100,0 | 97,3 | 102,8 | 106,40 |
| 5 | 95,2 | 101,4 | 111,0 | 101,5 | 125,1 | 98,9 | 98,5 | 95,8 | 103,43 |
| 6 | 92,6 | 103,1 | 116,3 | 100,9 | 114,0 | 95,3 | 96,4 | 90,9 | 101,16 |
| 7 | 94,5 | 102,3 | 115,5 | 97,0 | 110,9 | 96,2 | 94,8 | 95,5 | 100,82 |
| 8 | 86,2 | 98,7 | 105,9 | 97,6 | 105,0 | 93,0 | 94,7 | 87,8 | 96,10 |
| 9 | 89,6 | 101,4 | 110,9 | 93,2 | 102,8 | 91,2 | 96,4 | 87,1 | 96,59 |
| 10 | 92,2 | 103,0 | 108,7 | 96,4 | 102,6 | 98,0 | 95,5 | 86,4 | 97,86 |
| 11 | 89,2 | 98,7 | 114,7 | 97,5 | 102,9 | 85,4 | 96,4 | 87,3 | 96,50 |
| 12 | 90,7 | 100,1 | 109,8 | 98,0 | 87,5 | 93,8 | - | 86,5 | 95,20 |
| 13 | 90,9 | 98,6 | 102,1 | 91,8 | 90,6 | 90,0 | 94,6 | 84,9 | 92,93 |
| 14 | 88,3 | 98,1 | 106,4 | 87,6 | 92,6 | 89,0 | 95,0 | 85,7 | 92,83 |
| 15 | 89,2 | 96,7 | 96,0 | 88,1 | 95,9 | - | 95,0 | 88,1 | 92,70 |
| 16 | 87,6 | 93,2 | 104,4 | 87,4 | 88,6 | 82,5 | 97,7 | 83,5 | 90,60 |
| 17 | 86,8 | 97,5 | 106,0 | 87,5 | 88,1 | 81,3 | 93,9 | 86,4 | 90,94 |
| 18 | 85,6 | 95,9 | 108,5 | 86,1 | 84,5 | 81,1 | 92,8 | 82,9 | 89,67 |

(continuação)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 19 | 80,8 | 93,7 | 115,1 | 83,7 | 89,8 | 80,5 | 93,7 | 89,2 | 90,82 |
| 20 | 83,9 | 93,1 | 107,4 | 83,8 | 90,3 | 79,8 | 95,7 | 83,3 | 89,67 |
| 21 | 83,5 | 91,9 | 106,7 | 79,0 | 85,8 | 83,0 | 95,0 | 85,1 | 88,75 |
| 22 | 82,9 | 88,5 | 109,8 | 78,9 | 85,4 | 79,0 | 92,3 | 86,1 | 87,88 |
| 23 | 84,1 | 84,5 | 106,1 | 79,4 | 87,9 | 80,0 | 92,4 | 84,6 | 87,38 |
| 24 | 82,0 | 83,4 | 110,3 | 77,4 | 90,5 | 83,9 | 92,0 | 82,3 | 87,70 |
| 25 | 85,4 | 86,3 | 107,9 | 76,4 | 88,5 | 77,4 | 93,3 | 83,9 | 87,37 |
| 26 | 88,5 | 89,1 | 105,2 | 76,1 | 84,7 | 78,2 | 97,2 | 83,7 | 87,83 |
| 27 | 81,4 | 85,0 | 108,3 | 75,2 | 87,0 | 76,7 | 86,4 | 83,5 | 85,44 |
| 28 | 83,7 | 87,1 | 101,5 | 72,6 | 87,7 | 79,8 | 91,3 | 80,2 | 85,50 |
| 29 | 80,8 | 83,3 | 102,3 | 73,1 | 89,7 | 77,7 | 92,5 | 82,7 | 85,26 |
| 30 | 80,5 | 87,1 | 90,6 | 72,6 | 90,4 | 77,8 | 88,8 | 81,8 | 83,71 |
| 31 | 80,1 | 83,6 | 101,8 | 71,6 | 87,4 | 75,5 | 90,0 | 81,9 | 84,00 |
| 32 | 87,6 | 85,9 | 111,0 | 70,8 | 87,7 | 77,9 | 89,8 | 82,1 | 86,59 |
| 33 | 86,8 | 86,5 | 109,0 | 71,8 | 87,2 | 75,0 | 90,8 | 81,0 | 86,02 |
| 34 | 83,8 | 82,9 | 104,7 | 72,9 | 85,6 | 80,4 | 90,4 | 78,6 | 84,91 |
| 35 | 82,9 | 86,3 | 109,0 | 72,4 | 86,5 | 77,2 | 85,9 | 82,6 | 85,35 |
| 36 | 82,5 | 85,4 | 100,4 | 71,2 | 82,5 | 77,7 | 90,7 | 83,8 | 84,29 |
| 37 | 82,1 | 79,1 | 103,9 | 70,9 | 88,4 | 79,0 | 85,9 | 81,9 | 83,89 |
| 38 | 81,8 | 87,6 | - | 71,7 | 92,4 | 77,9 | 87,3 | 77,8 | 82,36 |
| 39 | 81,7 | 81,1 | 106,7 | 71,3 | 88,4 | 77,9 | 86,5 | 78,6 | 84,02 |
| 40 | 81,6 | 77,8 | 101,1 | 72,5 | 84,9 | 77,9 | 88,9 | 75,8 | 82,58 |
| 41 | 81,5 | 77,7 | 101,0 | 70,9 | 102,5 | 78,1 | 87,4 | 75,6 | 84,32 |
| 42 | 77,7 | 80,2 | 100,4 | 70,5 | 86,4 | 76,6 | 87,0 | 77,1 | 82,00 |
| 43 | 77,7 | 80,2 | 99,8 | 70,4 | 91,7 | 76,7 | 86,3 | 77,9 | 82,59 |
| 44 | 77,5 | 75,1 | 96,7 | 69,4 | 87,5 | 77,4 | 92,6 | 79,7 | 81,99 |
| 45 | 81,1 | 82,4 | 100,4 | 69,2 | 85,3 | 75,6 | 88,0 | 79,5 | 82,70 |
| 46 | 79,7 | 75,9 | 100,0 | 69,2 | 84,4 | 75,7 | 87,8 | 77,6 | 81,28 |
| 47 | 80,1 | 74,0 | 100,0 | 68,4 | 86,8 | 74,3 | 86,2 | 74,3 | 80,51 |
| 48 | 76,8 | 75,4 | 100,3 | 69,7 | 90,8 | 76,4 | 85,4 | 74,5 | 81,18 |
| 49 | 75,7 | 74,8 | 92,7 | 68,6 | 91,8 | 76,9 | 84,4 | 75,9 | 80,12 |
| 50 | 81,8 | 72,4 | 90,7 | 67,6 | 87,0 | 75,8 | 87,2 | 76,0 | 79,80 |
| 51 | 77,4 | 74,1 | 99,0 | 67,2 | 84,4 | 75,7 | 85,1 | 75,0 | 79,74 |
| 52 | 81,7 | 73,9 | 98,0 | 68,4 | 80,8 | 75,4 | 87,7 | 77,7 | 80,46 |
| 53 | 79,3 | 79,1 | 98,0 | 68,1 | 82,9 | 77,1 | 86,4 | 75,3 | 80,77 |
| 54 | 79,5 | 70,2 | 100,9 | 66,9 | 86,1 | 78,2 | 85,0 | 76,6 | 80,41 |
| 55 | 76,2 | 71,1 | 107,4 | 67,7 | 83,2 | 75,2 | 84,7 | 76,5 | 80,24 |
| 56 | 79,0 | 69,6 | 104,7 | 67,3 | 89,3 | 77,1 | 84,4 | 76,5 | 80,98 |
| 57 | 78,4 | 69,5 | 100,0 | 67,1 | 83,6 | 75,1 | 84,1 | 75,8 | 79,20 |
| 58 | 80,4 | 72,5 | 99,2 | - | 84,5 | 76,0 | 86,1 | 76,2 | 82,13 |
| 59 | 80,8 | 72,8 | 104,4 | 65,9 | 83,4 | 74,4 | 82,4 | 80,4 | 80,56 |

(conclusão)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 60 | 85,2 | 72,3 | 99,2 | 64,9 | 83,7 | 75,4 | 84,0 | 75,6 | 80,04 |
| 61 | 78,2 | 74,1 | 89,9 | 71,1 | 86,1 | 74,7 | 84,1 | 75,6 | 79,21 |
| 62 | 80,8 | 74,3 | 110,6 | 65,9 | 88,5 | 74,5 | 85,8 | 75,7 | 82,02 |
| 63 | 77,9 | 70,1 | 98,7 | 65,6 | 81,4 | 75,3 | 88,6 | 75,2 | 79,10 |
| 64 | 74,9 | 69,9 | 91,9 | 65,4 | 79,2 | 74,7 | 82,9 | 75,0 | 76,75 |
| 65 | 72,1 | 69,8 | 103,5 | 64,3 | 82,4 | 74,7 | 83,8 | 74,6 | 78,13 |
| 66 | 77,2 | 68,4 | 98,6 | 64,5 | 83,9 | 77,2 | 84,9 | 73,6 | 78,53 |
| 67 | 76,9 | 68,3 | 91,5 | 63,3 | 82,9 | 75,6 | 86,6 | 72,7 | 77,21 |
| 68 | 78,3 | 69,5 | 89,3 | 63,6 | 81,4 | 74,2 | 83,3 | 75,5 | 76,89 |
| 69 | 76,2 | 68,1 | 87,8 | 64,6 | - | 72,7 | 82,7 | 77,1 | 75,59 |
| 70 | 74,1 | 71,0 | 88,1 | 63,4 | - | 74,1 | 83,1 | 75,9 | 75,64 |
| 71 | 75,7 | 67,9 | 87,9 | 63,7 | 97,2 | 74,7 | 85,6 | 75,2 | 78,49 |
| 72 | 75,8 | 68,9 | 98,1 | 63,2 | 80,8 | 74,6 | 80,0 | 74,1 | 76,94 |
| 73 | 72,3 | 70,4 | 103,6 | 62,7 | 83,4 | 74,1 | 82,2 | 74,2 | 77,86 |
| 74 | 74,6 | 74,9 | 88,2 | 60,9 | 81,5 | 74,0 | 82,9 | 74,0 | 76,38 |
| 75 | 71,9 | 67,3 | 97,5 | 62,2 | 82,3 | 73,9 | 82,0 | 74,0 | 76,40 |
| 76 | 70,9 | 74,8 | 100,1 | 60,3 | 84,7 | 75,0 | 81,1 | 73,9 | 77,60 |
| 77 | 71,7 | 67,3 | 100,8 | 60,6 | 83,7 | 74,2 | 82,8 | 75,5 | 77,07 |
| 78 | 70,4 | 70,1 | 87,3 | 60,3 | 82,3 | 73,8 | 81,6 | 74,1 | 75,00 |
| 79 | 78,1 | 67,1 | 97,4 | 58,6 | 82,6 | 72,2 | 77,4 | 75,5 | 76,10 |
| 80 | 74,9 | 67,8 | 93,8 | 59,9 | 79,5 | 73,6 | 81,5 | 75,0 | 75,76 |
| 81 | 76,7 | 66,1 | 87,3 | 60,9 | 83,1 | 74,3 | 83,5 | 73,3 | 75,65 |
| 82 | 76,1 | 66,6 | 96,1 | 59,2 | 77,7 | 73,8 | 86,0 | 73,3 | 76,10 |
| 83 | 73,9 | 67,0 | 93,2 | 60,0 | 81,5 | 73,4 | 83,6 | 72,1 | 75,59 |
| 84 | 73,9 | 73,6 | 97,3 | 59,9 | 82,8 | 73,4 | 84,6 | 71,2 | 77,10 |
| 85 | 74,3 | 67,2 | 92,1 | 59,1 | 83,5 | 70,3 | 84,8 | 73,0 | 75,53 |
| 86 | 76,5 | 70,6 | 87,1 | 59,3 | 80,4 | 73,6 | 83,8 | 72,9 | 75,52 |
| 87 | 75,6 | - | 96,0 | 59,1 | 81,0 | 74,1 | 82,0 | 71,7 | 77,07 |
| 88 | 71,7 | - | 96,1 | 58,6 | 83,0 | 74,2 | - | 71,7 | 75,86 |
| 87 | 71,7 | - | - | 58,0 | - | - | - | - | 64,85 |
| 88 | 71,7 | - | - | 58,9 | - | - | - | - | 65,30 |

Tabela 23 - Dados brutos do ensaio de molhabilidade: Tratamento a 210°C por 2 horas (C).

(continua)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 0 | - | - | - | - | - | 108,2 | 133,0 | 111,5 | 117,55 |
| 1 | - | - | 126,9 | - | - | 108,2 | 133,0 | 111,5 | 119,87 |
| 2 | 127,9 | 145,0 | 127,0 | 155,1 | 117,3 | 138,3 | 132,8 | 95,1 | 129,81 |
| 3 | 138,3 | 150,5 | 136,4 | 145,1 | 128,8 | 149,1 | 131,8 | 92,3 | 134,03 |

(continuação)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 4 | 128,7 | 146,0 | 124,3 | 150,1 | 119,3 | 130,1 | 145,2 | 85,7 | 128,67 |
| 5 | 131,0 | 146,0 | 122,9 | 148,9 | 119,6 | 138,7 | 132,8 | 84,4 | 128,05 |
| 6 | 131,7 | 146,7 | 131,1 | 150,0 | 121,3 | 127,6 | 173,4 | 81,0 | 132,84 |
| 7 | 132,9 | 148,0 | 124,4 | 153,6 | 122,5 | 133,7 | 130,5 | 79,7 | 128,16 |
| 8 | 134,8 | 150,0 | 129,0 | 150,0 | 117,2 | 126,8 | 139,1 | 78,2 | 128,13 |
| 9 | 132,6 | 142,7 | 119,4 | 150,8 | 108,8 | 133,1 | 156,4 | 76,6 | 127,55 |
| 10 | 130,4 | 155,2 | 119,9 | 143,7 | 112,5 | 127,6 | 135,0 | 74,1 | 124,79 |
| 11 | 129,5 | 143,3 | 120,0 | 173,2 | 106,4 | 123,8 | 125,1 | 74,9 | 124,54 |
| 12 | 141,1 | 141,8 | 119,8 | 149,4 | 111,8 | 126,3 | 144,7 | 72,1 | 125,87 |
| 13 | 141,2 | 137,0 | 116,2 | 141,3 | 108,9 | 127,2 | 118,8 | 72,1 | 120,35 |
| 14 | 136,7 | 133,4 | 120,3 | 140,0 | 117,7 | 129,0 | 144,1 | 71,4 | 124,08 |
| 15 | 145,2 | 125,3 | 120,9 | 139,0 | 115,6 | 131,2 | 129,8 | 71,5 | 122,33 |
| 16 | 143,9 | 136,7 | 120,0 | 127,7 | 97,1 | 124,8 | 115,9 | 71,7 | 117,22 |
| 17 | 136,4 | 148,5 | 119,3 | 127,9 | 98,5 | 125,8 | 136,6 | 70,2 | 120,40 |
| 18 | 148,5 | 145,9 | 120,2 | 126,6 | 96,5 | 125,3 | 118,2 | 70,3 | 118,94 |
| 19 | 129,5 | 123,3 | 119,7 | 118,3 | 107,3 | 124,3 | 118,3 | 69,8 | 113,82 |
| 20 | 129,5 | 125,2 | 118,4 | 125,7 | 109,2 | 124,8 | 109,5 | 68,3 | 113,82 |
| 21 | 139,5 | 127,5 | 118,3 | 126,0 | 99,1 | 130,0 | 107,6 | 70,3 | 114,78 |
| 22 | 133,2 | 122,6 | 118,4 | 128,2 | 90,5 | 134,6 | 109,2 | 69,3 | 113,25 |
| 23 | 134,0 | 118,8 | 127,3 | 126,6 | 88,8 | 129,4 | 107,8 | 69,1 | 112,73 |
| 24 | 135,9 | 126,4 | 117,8 | 126,9 | 88,0 | 124,6 | 108,3 | 68,9 | 112,08 |
| 25 | 140,7 | 129,7 | 117,4 | 131,1 | 104,1 | 132,7 | 106,9 | 69,0 | 116,45 |
| 26 | 130,4 | 123,4 | 117,1 | 123,0 | 101,0 | 121,5 | 104,8 | 69,0 | 111,26 |
| 27 | 135,1 | 123,0 | 119,3 | 130,0 | 95,9 | 123,0 | 106,4 | 68,4 | 112,65 |
| 28 | 130,2 | 120,6 | 116,4 | 122,7 | 106,3 | 127,6 | 106,4 | 68,6 | 112,34 |
| 29 | 130,4 | 114,5 | 118,5 | 124,9 | 92,2 | 132,1 | 102,0 | 69,3 | 110,48 |
| 30 | 129,1 | 120,5 | 113,6 | 126,5 | 96,3 | 125,4 | 104,3 | 68,6 | 110,54 |
| 31 | 131,1 | 121,9 | 120,0 | 123,8 | 91,1 | 129,3 | 100,4 | 68,3 | 110,73 |
| 32 | 128,9 | 114,9 | 117,9 | 123,9 | 91,0 | 128,5 | 101,4 | 68,1 | 109,33 |
| 33 | 139,6 | 112,5 | 118,4 | 124,4 | 92,3 | 125,1 | 100,5 | 68,0 | 110,12 |
| 34 | 144,3 | 114,7 | 117,0 | 124,6 | 90,9 | 127,7 | 97,4 | 68,3 | 110,63 |
| 35 | 144,0 | 119,9 | 115,6 | 121,6 | 90,8 | 121,8 | 99,1 | 67,4 | 110,02 |
| 36 | 142,3 | 110,3 | 119,4 | 124,3 | 89,1 | 122,4 | 100,4 | 66,9 | 109,39 |
| 37 | 132,0 | 113,7 | 123,2 | 124,0 | 85,6 | 120,1 | 96,5 | 67,2 | 107,78 |
| 38 | 133,5 | 107,0 | 120,6 | 125,2 | 82,6 | 126,7 | 98,0 | 67,2 | 107,59 |
| 39 | 132,0 | 104,9 | 117,3 | 124,6 | 94,7 | 130,0 | 95,7 | 67,2 | 108,31 |
| 40 | 136,0 | 107,5 | 114,0 | 124,4 | 94,3 | 132,2 | 96,0 | 66,2 | 108,83 |
| 41 | 132,7 | 106,5 | 114,3 | 122,9 | 89,0 | 126,8 | 96,2 | 66,9 | 106,92 |
| 42 | 131,9 | 108,6 | 112,8 | 122,6 | 88,1 | 117,5 | 94,8 | 66,5 | 105,35 |
| 43 | 132,9 | 108,1 | 112,9 | 123,5 | 86,3 | 121,2 | 95,0 | 66,4 | 105,77 |
| 44 | 129,7 | 106,6 | 112,8 | 121,6 | 77,8 | 128,7 | 92,8 | 66,1 | 104,53 |

(continuação)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 45 | 130,1 | 100,8 | 110,4 | 118,8 | 83,6 | 126,5 | 94,1 | 65,3 | 103,72 |
| 46 | 128,8 | 95,7 | 106,3 | 124,0 | 83,1 | 124,2 | 93,3 | 65,0 | 102,55 |
| 47 | 129,9 | 96,1 | 111,8 | 122,5 | 96,0 | 125,6 | 93,3 | 64,9 | 105,00 |
| 48 | 129,4 | 94,9 | 109,7 | 123,6 | 87,0 | 122,8 | 94,8 | 64,3 | 103,33 |
| 49 | 132,9 | 97,5 | 106,5 | 122,2 | 87,1 | 119,8 | 92,1 | 65,3 | 102,92 |
| 50 | 129,6 | 92,6 | 104,9 | 127,7 | 86,6 | 120,5 | 92,0 | 65,3 | 102,39 |
| 51 | 129,9 | 88,1 | 107,1 | 122,6 | 86,0 | 121,2 | 89,8 | 65,2 | 101,24 |
| 52 | 134,7 | 90,6 | 107,0 | 119,0 | 100,7 | 122,4 | 89,2 | 64,6 | 103,52 |
| 53 | 140,4 | 89,1 | 104,3 | 117,5 | 98,2 | 125,9 | 91,7 | 64,8 | 103,97 |
| 54 | 132,1 | 90,4 | 105,1 | 119,3 | 97,3 | 125,0 | 91,2 | 64,9 | 103,17 |
| 55 | 131,2 | 89,5 | 105,2 | 121,6 | 98,0 | 130,9 | 87,2 | 63,8 | 103,42 |
| 56 | 127,5 | 86,1 | 104,8 | 122,0 | 89,6 | 118,4 | 89,9 | 64,7 | 100,37 |
| 57 | 130,9 | 87,4 | 108,7 | 125,1 | 85,1 | 114,3 | 89,2 | 64,0 | 100,59 |
| 58 | 134,7 | 85,1 | 102,9 | 122,4 | 88,6 | 123,3 | 87,4 | 64,3 | 101,07 |
| 59 | 131,3 | 85,5 | 104,5 | 121,6 | 84,9 | 123,2 | 86,9 | 64,0 | 100,21 |
| 60 | 133,6 | 89,8 | 102,1 | 120,3 | 84,8 | 119,0 | 87,3 | 63,6 | 100,07 |
| 61 | 134,0 | 87,7 | 102,7 | 122,2 | 80,5 | 112,7 | 86,9 | 63,9 | 98,83 |
| 62 | 135,8 | 84,1 | 104,2 | 121,6 | 88,2 | 116,0 | 86,7 | 63,7 | 100,04 |
| 63 | 132,9 | 86,2 | 98,1 | 120,5 | 88,1 | 115,4 | 84,6 | 64,0 | 98,72 |
| 64 | 131,7 | 85,3 | 103,7 | 119,9 | 95,4 | 129,1 | 82,9 | 63,9 | 101,50 |
| 65 | 136,9 | 83,1 | 104,5 | 121,3 | 96,8 | 119,1 | 85,8 | 62,2 | 101,21 |
| 66 | 138,3 | 88,5 | 102,2 | 119,4 | 79,8 | 118,5 | 82,4 | 63,7 | 99,09 |
| 67 | 130,4 | 82,5 | 101,8 | 112,3 | 87,2 | 117,1 | 83,6 | 64,4 | 97,43 |
| 68 | 133,2 | 87,9 | 89,8 | 120,1 | 87,5 | 116,8 | 82,6 | 63,7 | 97,71 |
| 69 | 127,9 | 82,3 | 102,1 | 120,4 | 88,2 | 122,1 | 81,2 | 63,3 | 98,44 |
| 70 | 128,9 | 81,9 | 103,2 | 125,4 | 83,5 | 102,1 | 79,5 | 64,1 | 96,09 |
| 71 | 128,2 | 81,6 | 101,3 | 121,3 | 86,9 | 117,1 | 80,7 | 62,8 | 97,50 |
| 72 | 138,2 | 86,8 | 101,7 | 121,2 | 92,6 | 116,0 | 79,3 | 61,1 | 99,61 |
| 73 | 127,8 | 81,4 | 102,7 | 122,6 | 84,5 | 114,0 | 78,4 | 62,0 | 96,67 |
| 74 | 126,8 | 80,9 | 92,0 | 120,1 | 86,6 | 115,9 | 81,2 | 61,8 | 95,66 |
| 75 | 127,8 | 86,0 | 101,0 | 120,5 | 86,0 | 117,2 | 80,2 | 63,1 | 97,69 |
| 76 | 126,5 | 80,9 | 90,2 | 119,4 | 94,9 | 117,2 | 73,0 | 62,4 | 95,54 |
| 77 | 128,5 | 80,7 | 99,9 | 118,8 | 95,1 | 117,1 | 76,2 | 61,3 | 97,21 |
| 78 | 127,8 | 80,6 | 100,7 | 118,9 | 86,0 | 120,2 | 73,6 | 61,9 | 96,21 |
| 79 | 127,0 | 80,2 | 99,3 | 121,2 | 85,5 | 117,4 | 75,1 | 62,6 | 96,03 |
| 80 | 128,5 | 79,8 | 99,8 | 118,7 | 85,9 | 116,8 | 72,9 | 62,4 | 95,59 |
| 81 | 137,6 | 77,9 | 100,4 | 118,0 | 85,4 | 117,4 | 70,7 | 62,6 | 96,24 |
| 82 | 129,0 | 79,2 | 100,4 | 117,4 | 85,7 | 114,3 | 71,2 | 62,4 | 94,95 |
| 83 | 127,7 | 82,7 | 100,7 | 118,8 | 81,5 | 117,2 | 70,2 | 62,2 | 95,14 |
| 84 | 128,4 | 78,7 | 98,2 | 117,2 | 85,5 | 116,6 | 76,4 | 62,5 | 95,44 |
| 85 | 137,5 | 78,1 | 98,3 | 117,8 | 81,1 | 110,4 | 69,2 | 62,0 | 94,31 |

(conclusão)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 86 | 133,8 | 74,0 | 100,4 | 112,2 | 84,2 | 115,3 | 69,1 | 62,1 | 93,91 |
| 87 | 127,6 | 77,5 | 100,7 | 116,6 | 90,7 | 116,3 | 67,9 | 61,8 | 94,89 |
| 88 | 150,2 | - | 96,9 | 121,3 | 84,1 | - | - | 61,4 | 102,77 |

Tabela 24 - Dados brutos do ensaio de molhabilidade: Tratamento a 210°C por 4 horas (D).

(continua)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 0 | 102,9 | - | - | - | - | - | - | - | 102,95 |
| 1 | 95,0 | 113,0 | 99,4 | - | 99,0 | 98,8 | - | - | 101,02 |
| 2 | 92,4 | 113,0 | - | - | 98,9 | 98,6 | 97,2 | 101,6 | 100,28 |
| 3 | 95,1 | 110,2 | 111,2 | - | 96,9 | 102,7 | 98,9 | 98,2 | 101,90 |
| 4 | 93,0 | 112,9 | 111,9 | 115,0 | 95,7 | 101,1 | 97,2 | 98,4 | 103,15 |
| 5 | 91,1 | 110,8 | 107,0 | 111,4 | 96,0 | 97,3 | 97,6 | 95,2 | 100,81 |
| 6 | 92,4 | 108,0 | 106,5 | 108,1 | 92,8 | 98,5 | 94,9 | 92,6 | 99,21 |
| 7 | 92,1 | 114,4 | 107,7 | 108,6 | 91,1 | 96,4 | 93,4 | 94,5 | 99,77 |
| 8 | 91,4 | 111,5 | 108,3 | 110,1 | 91,6 | 94,8 | 93,1 | 86,2 | 98,38 |
| 9 | 92,0 | 111,5 | 106,4 | 107,5 | 89,1 | 94,7 | 91,6 | 89,6 | 97,79 |
| 10 | 93,3 | 109,4 | 100,6 | 105,5 | 88,4 | 96,4 | 91,4 | 92,2 | 97,14 |
| 11 | 91,2 | 104,5 | 102,7 | 105,4 | 87,1 | 95,5 | 88,7 | 89,2 | 95,53 |
| 12 | 93,7 | 106,5 | 106,7 | 104,9 | 85,8 | - | 90,1 | 90,7 | 96,92 |
| 13 | 93,2 | 109,5 | 108,2 | 107,0 | 86,2 | 96,4 | 90,0 | 90,9 | 97,66 |
| 14 | 92,1 | 105,2 | 105,8 | 102,8 | 84,6 | 94,6 | 86,6 | 88,3 | 95,03 |
| 15 | 91,3 | 103,2 | 108,7 | 103,6 | 84,0 | 95,0 | 87,7 | 89,2 | 95,32 |
| 16 | 90,9 | 103,2 | 109,7 | 103,4 | 86,1 | 95,0 | 88,8 | 87,6 | 95,58 |
| 17 | 93,2 | 110,1 | 108,8 | 103,8 | 82,8 | 97,7 | 85,7 | 86,8 | 96,10 |
| 18 | 92,3 | 102,7 | 106,1 | 105,9 | 83,8 | 93,9 | 86,8 | 85,6 | 94,64 |
| 19 | 91,8 | 111,7 | 105,7 | 104,5 | 82,4 | 92,8 | 86,7 | 80,8 | 94,56 |
| 20 | 91,6 | 106,6 | 107,6 | 105,6 | 80,4 | 93,7 | 87,4 | 83,9 | 94,59 |
| 21 | 90,2 | 101,7 | 101,2 | 104,9 | 80,3 | 95,7 | 88,4 | 83,5 | 93,25 |
| 22 | 91,1 | 102,0 | 104,3 | 99,0 | 81,2 | 95,0 | 88,3 | 82,9 | 92,96 |
| 23 | 91,9 | 101,9 | 104,1 | 105,2 | 81,4 | 92,3 | 85,6 | 84,1 | 93,31 |
| 24 | 89,3 | 104,0 | 108,9 | 99,4 | 80,2 | 92,4 | 84,7 | 82,0 | 92,63 |
| 25 | 88,4 | 105,2 | 113,8 | 94,6 | 79,8 | 92,0 | 86,1 | 85,4 | 93,15 |
| 26 | 89,8 | 100,6 | 104,4 | 97,9 | 79,6 | 93,3 | 85,2 | 88,5 | 92,40 |
| 27 | 88,0 | 101,5 | 107,7 | 96,7 | 78,6 | 97,2 | 85,5 | 81,4 | 92,09 |
| 28 | 89,2 | 105,7 | 107,6 | 99,5 | 78,6 | 86,4 | 83,2 | 83,7 | 91,75 |
| 29 | 91,3 | 103,7 | 109,9 | 101,2 | 78,5 | 91,3 | 84,3 | 80,8 | 92,63 |
| 30 | 89,2 | 100,0 | 104,6 | 97,6 | 76,6 | 92,5 | 83,5 | 80,5 | 90,57 |
| 31 | 89,1 | 100,5 | 103,5 | 95,5 | 75,2 | 88,8 | 82,9 | 80,1 | 89,45 |

(continuação)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 32 | 87,1 | 100,6 | 103,8 | 98,7 | 76,1 | 90,0 | 83,5 | 87,6 | 90,94 |
| 33 | 86,7 | - | 104,0 | 97,5 | 77,6 | 89,8 | 84,1 | 86,8 | 89,49 |
| 34 | 84,2 | 100,0 | 103,1 | 96,4 | 77,3 | 90,8 | 84,5 | 83,8 | 89,99 |
| 35 | 86,5 | 106,0 | 101,7 | 98,0 | 77,1 | 90,4 | 85,1 | 82,9 | 90,96 |
| 36 | 85,8 | 106,2 | 103,9 | 96,7 | 77,1 | 85,9 | 83,1 | 82,5 | 90,16 |
| 37 | 86,3 | 104,0 | 102,7 | 98,2 | 75,2 | 90,7 | 84,7 | 82,1 | 90,48 |
| 38 | 85,4 | 103,6 | 101,7 | 94,2 | 76,2 | 85,9 | 81,4 | 81,8 | 88,78 |
| 39 | 86,5 | 100,3 | 99,3 | 93,9 | 74,4 | 87,3 | 80,9 | 81,7 | 88,04 |
| 40 | 85,6 | 108,4 | 102,7 | 96,8 | 75,8 | 86,5 | 81,0 | 81,6 | 89,79 |
| 41 | 86,8 | 100,9 | 101,8 | 95,7 | 75,3 | 88,9 | 81,7 | 81,5 | 89,07 |
| 42 | 85,8 | 102,5 | 99,6 | 99,1 | 74,8 | 87,4 | 80,7 | 77,7 | 88,45 |
| 43 | 86,2 | 101,1 | 99,4 | 98,9 | 75,7 | 87,0 | 83,1 | 77,7 | 88,62 |
| 44 | 86,4 | 99,2 | 101,8 | 94,5 | 75,1 | 86,3 | 83,8 | 77,5 | 88,06 |
| 45 | 85,3 | 98,9 | 98,9 | 93,7 | 73,7 | 92,6 | 83,6 | 81,1 | 88,48 |
| 46 | 85,9 | 97,7 | 98,8 | 95,3 | 74,5 | 88,0 | 83,1 | 79,7 | 87,88 |
| 47 | 83,9 | 98,0 | 103,0 | 94,9 | 72,9 | 87,8 | 82,8 | 80,1 | 87,93 |
| 48 | 83,5 | 103,4 | 98,9 | 94,5 | 73,9 | 86,2 | 80,9 | 76,8 | 87,29 |
| 49 | 83,9 | 99,9 | 101,7 | 92,3 | 73,6 | 85,4 | 80,5 | 75,7 | 86,63 |
| 50 | 85,5 | 102,3 | 98,7 | 93,5 | 73,8 | 84,4 | 79,6 | 81,8 | 87,44 |
| 51 | 83,5 | 103,9 | 98,9 | 94,1 | 74,1 | 87,2 | 81,2 | 77,4 | 87,54 |
| 52 | 83,0 | 101,8 | 98,6 | 91,4 | 72,3 | 85,1 | 81,2 | 81,7 | 86,90 |
| 53 | 84,3 | 104,7 | 101,4 | 92,1 | 69,6 | 87,7 | 80,9 | 79,3 | 87,49 |
| 54 | 82,8 | 98,3 | 99,9 | 95,7 | 72,6 | 86,4 | 82,1 | 79,5 | 87,16 |
| 55 | 82,3 | 102,4 | 104,0 | 91,3 | 70,3 | 85,0 | 79,9 | 76,2 | 86,43 |
| 56 | 84,2 | 99,2 | 99,7 | 90,7 | 70,9 | 84,7 | 81,7 | 79,0 | 86,26 |
| 57 | 84,5 | 100,3 | 100,8 | 92,1 | 68,2 | 84,4 | 81,2 | 78,4 | 86,25 |
| 58 | 82,0 | 98,0 | 100,8 | 93,5 | 70,7 | 84,1 | 80,8 | 80,4 | 86,28 |
| 59 | 83,0 | 101,0 | 100,1 | 92,8 | 72,2 | 86,1 | 80,2 | 80,8 | 87,02 |
| 60 | 81,9 | 97,6 | 100,1 | 91,6 | 71,1 | 82,4 | 81,5 | 85,2 | 86,44 |
| 61 | 81,6 | 98,8 | 100,7 | 91,5 | 70,9 | 84,0 | 79,1 | 78,2 | 85,60 |
| 62 | 82,8 | 98,0 | 101,0 | 92,3 | 72,6 | 84,1 | 78,1 | 80,8 | 86,22 |
| 63 | 82,4 | 98,0 | 100,0 | 91,8 | 71,6 | 85,8 | 77,8 | 77,9 | 85,66 |
| 64 | 83,2 | 95,6 | 100,9 | 92,3 | 71,4 | 88,6 | 80,3 | 74,9 | 85,91 |
| 65 | 82,1 | 91,0 | 100,9 | 92,4 | 71,8 | 82,9 | 79,8 | 72,1 | 84,11 |
| 66 | 84,0 | 95,8 | 102,1 | 95,5 | 71,7 | 83,8 | 78,9 | 77,2 | 86,13 |
| 67 | 83,7 | - | 102,0 | 89,2 | 71,5 | 84,9 | 79,8 | 76,9 | 83,99 |
| 68 | 80,7 | 103,6 | 99,3 | 89,4 | 70,2 | 86,6 | 78,0 | 78,3 | 85,74 |
| 69 | 83,7 | 99,4 | 99,2 | 90,2 | 71,0 | 83,3 | 77,6 | 76,2 | 85,07 |
| 70 | 83,5 | 95,7 | 97,6 | - | 70,4 | 82,7 | 77,5 | 74,1 | 83,06 |
| 71 | 81,4 | 96,0 | 99,3 | 93,9 | 69,7 | 83,1 | 77,7 | 75,7 | 84,60 |
| 72 | 82,0 | 98,4 | 96,6 | 92,8 | 70,2 | 85,6 | 76,7 | 75,8 | 84,77 |

(conclusão)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 73 | 81,3 | 95,1 | 98,6 | 88,3 | 70,0 | 80,0 | 76,7 | 72,3 | 82,77 |
| 74 | 81,6 | 96,8 | 97,1 | 89,3 | 69,2 | 82,2 | 77,2 | 74,6 | 83,50 |
| 75 | 80,1 | 94,3 | 95,8 | 90,3 | 70,0 | 82,9 | 76,4 | 71,9 | 82,72 |
| 76 | 82,1 | 94,9 | 98,2 | 88,4 | 70,1 | 82,0 | 75,1 | 70,9 | 82,73 |
| 77 | 80,5 | 84,6 | 98,8 | 89,2 | 69,2 | 81,1 | 76,0 | 71,7 | 81,38 |
| 78 | 80,0 | 94,2 | 99,9 | 86,6 | 70,3 | 82,8 | 78,8 | 70,4 | 82,86 |
| 79 | 82,0 | 98,7 | 98,1 | 88,3 | 68,4 | 81,6 | 77,0 | 78,1 | 84,03 |
| 80 | 81,0 | 97,8 | 96,1 | 88,3 | 69,1 | 77,4 | 79,6 | 74,9 | 83,01 |
| 81 | 80,4 | 97,9 | 96,9 | 91,3 | 68,9 | 81,5 | 78,6 | 76,7 | 84,03 |
| 82 | 79,1 | 100,9 | 98,2 | 87,7 | 68,0 | 83,5 | 81,5 | 76,1 | 84,36 |
| 83 | 82,0 | 99,1 | 97,7 | 89,7 | 69,0 | 86,0 | 81,5 | 73,9 | 84,84 |
| 84 | 80,5 | 99,5 | 98,1 | 89,0 | 68,5 | 83,6 | 82,4 | 73,9 | 84,43 |
| 85 | 78,9 | 96,5 | 97,1 | 89,4 | 68,5 | 84,6 | 77,9 | 74,3 | 83,38 |
| 86 | 79,3 | 99,0 | 99,3 | 87,1 | 67,6 | 84,8 | 77,4 | 76,5 | 83,88 |
| 87 | 79,9 | 100,4 | 101,0 | 87,4 | 66,5 | 83,8 | 78,5 | 75,6 | 84,14 |
| 88 | - | 99,0 | 95,0 | - | 67,0 | 81,0 | 77,3 | 71,7 | 81,83 |

Tabela 25 - Dados brutos do ensaio de molhabilidade: Testemunha (T)

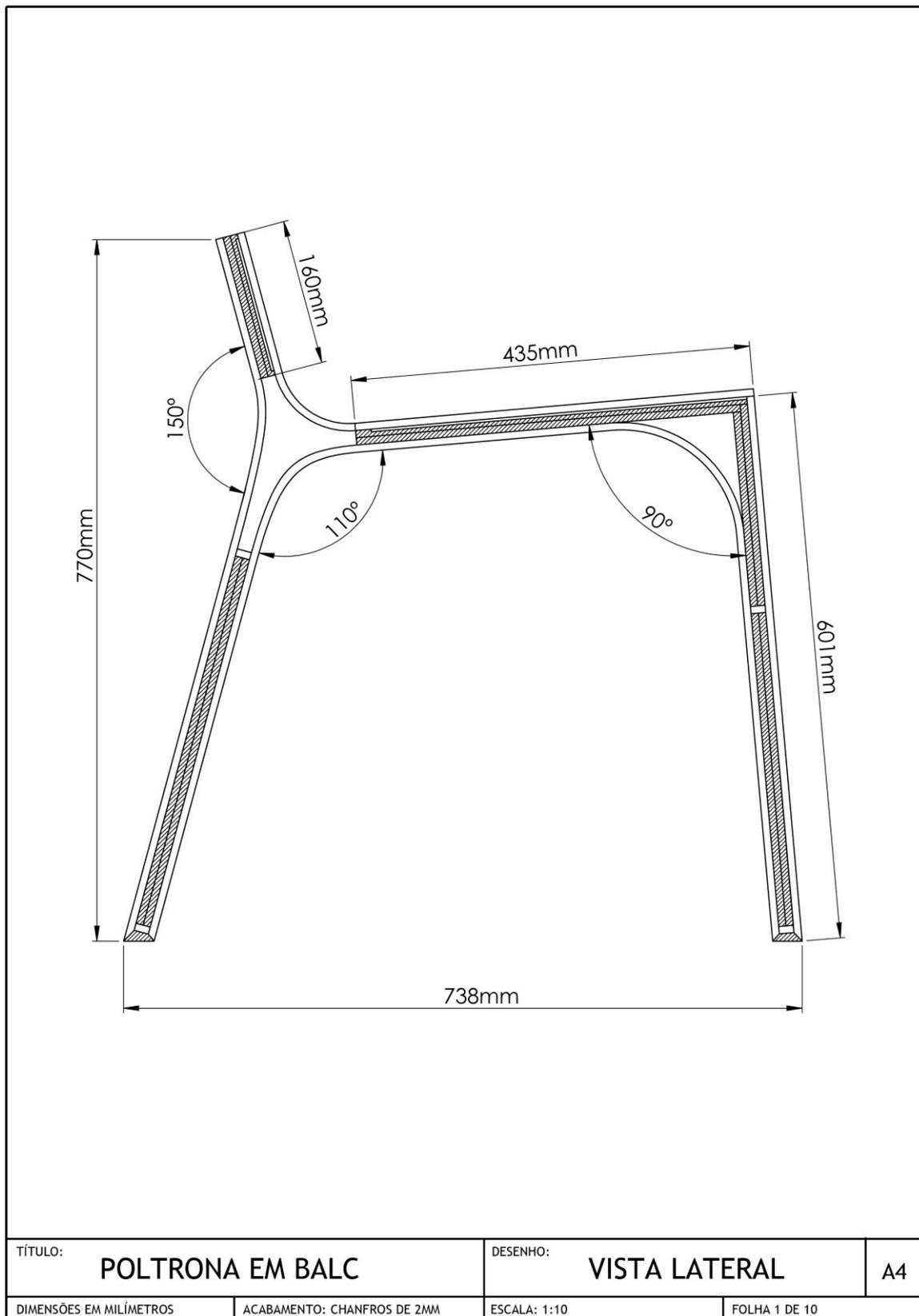
(continua)

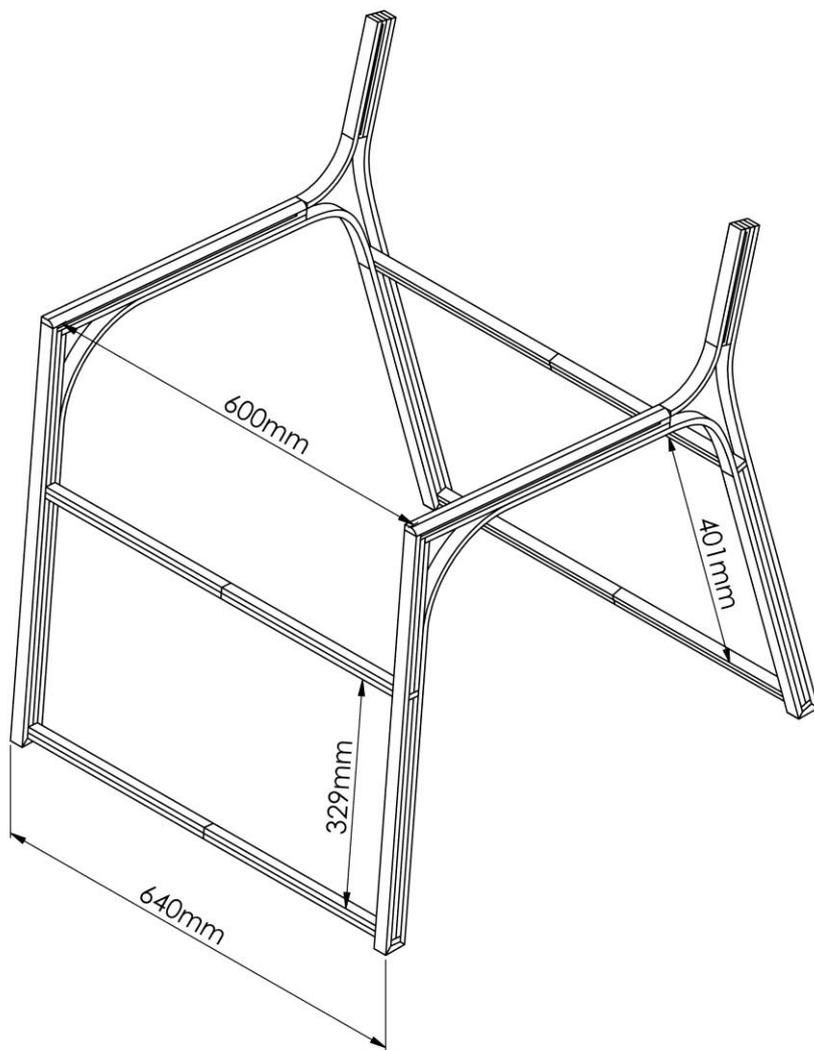
| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 0 | - | - | - | - | 36,4 | - | 78,5 | - | 57,47 |
| 1 | 45,5 | 43,3 | - | - | 32,4 | 57,6 | 73,5 | - | 50,48 |
| 2 | 43,7 | 24,5 | 45,0 | - | 26,9 | - | 63,8 | 37,4 | 40,21 |
| 3 | 37,1 | 20,5 | 36,0 | - | 24,7 | - | 65,0 | 33,2 | 36,09 |
| 4 | 37,1 | 18,8 | 35,4 | - | 19,3 | - | 51,4 | 27,9 | 31,64 |
| 5 | 32,3 | 16,6 | 32,1 | - | 18,0 | - | 48,6 | 26,5 | 29,00 |
| 6 | 34,7 | - | 35,2 | 50,0 | - | 15,2 | 45,8 | 25,6 | 34,42 |
| 7 | 30,1 | 13,2 | 30,6 | 40,7 | - | 13,7 | 47,5 | 26,2 | 28,86 |
| 8 | 30,0 | 13,1 | - | 40,7 | - | 12,4 | 41,9 | 29,7 | 27,96 |
| 9 | - | 11,3 | 26,3 | 37,5 | - | 11,1 | 39,3 | - | 25,10 |
| 10 | - | 10,6 | 23,6 | 35,9 | 13,1 | 10,6 | 39,0 | 28,7 | 23,05 |
| 11 | 26,8 | 9,5 | 23,4 | 34,4 | 12,1 | 12,8 | 37,4 | 22,0 | 22,31 |
| 12 | - | 9,1 | 22,9 | - | 11,3 | 8,4 | 37,0 | 21,3 | 18,34 |
| 13 | - | 10,3 | 21,0 | 35,2 | 10,8 | 8,0 | 36,3 | 20,8 | 20,33 |
| 14 | 29,6 | 7,8 | 20,6 | 33,7 | 10,4 | 8,0 | - | 20,2 | 18,60 |
| 15 | 22,2 | - | 19,9 | 35,1 | 10,5 | 7,2 | 35,4 | 19,0 | 21,33 |
| 16 | 21,7 | - | 19,6 | 34,9 | 9,7 | 7,3 | - | 17,6 | 18,48 |
| 17 | 21,4 | - | 19,7 | 34,1 | 9,5 | 6,0 | 35,4 | - | 21,03 |
| 18 | 20,7 | - | 18,3 | 35,6 | - | 5,4 | 34,4 | - | 22,87 |

(conclusão)

| Tempo (s) | CP1 (graus) | CP2 (graus) | CP3 (graus) | CP4 (graus) | CP5 (graus) | CP6 (graus) | CP7 (graus) | CP8 (graus) | Média (graus) |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| 19 | 20,2 | 6,5 | 17,6 | 29,9 | - | 6,4 | 33,0 | - | 18,94 |
| 20 | 19,5 | 6,3 | 17,3 | 28,3 | - | 6,0 | 34,7 | - | 18,69 |
| 21 | 18,7 | 5,8 | 16,8 | 31,0 | - | 4,9 | - | 15,4 | 15,43 |
| 22 | 18,7 | 6,1 | 15,4 | 27,9 | 8,3 | 5,2 | 30,0 | 13,8 | 15,68 |
| 23 | 18,1 | 5,7 | 14,7 | 33,0 | 7,7 | 10,1 | 28,3 | 15,5 | 16,63 |
| 24 | 18,2 | 5,6 | 13,7 | 32,7 | 8,8 | 4,8 | 27,1 | - | 15,84 |
| 25 | 17,2 | 5,4 | 12,4 | 32,1 | 7,2 | 4,1 | 24,6 | - | 14,73 |
| 26 | 14,5 | 5,2 | 12,2 | - | 7,4 | 4,0 | 23,6 | - | 11,16 |
| 27 | 16,6 | 4,6 | 11,2 | 31,8 | - | 3,6 | 22,7 | - | 15,08 |
| 28 | 16,4 | 5,0 | 10,7 | 31,0 | - | 3,3 | 21,9 | 14,0 | 14,60 |
| 29 | 16,1 | - | 10,6 | 31,6 | - | 3,1 | 20,9 | 14,0 | 16,04 |
| 30 | 15,8 | - | 10,0 | 25,5 | - | 2,7 | 20,3 | 13,5 | 14,63 |
| 31 | 16,0 | 4,6 | 9,8 | 27,8 | 6,2 | 2,4 | 19,4 | - | 12,30 |
| 32 | 15,2 | 4,8 | 10,7 | - | 5,8 | 2,2 | 18,7 | - | 9,58 |
| 33 | 15,2 | 4,1 | 9,1 | 28,4 | 5,7 | 2,0 | 17,9 | - | 11,77 |
| 34 | 15,0 | 4,3 | 9,2 | 24,5 | 7,0 | 1,7 | 17,4 | - | 11,31 |
| 35 | 14,7 | 3,8 | 9,5 | 30,7 | 5,2 | 1,6 | 16,8 | 13,5 | 11,96 |
| 36 | 4,9 | 3,7 | 8,9 | 28,4 | 5,9 | 1,2 | 16,1 | 13,5 | 10,30 |
| 37 | 13,4 | 3,4 | 9,0 | - | 8,5 | - | 15,4 | 11,3 | 10,18 |
| 38 | - | - | - | - | - | - | - | 11,1 | 11,15 |

ANEXO II - DESENHOS TÉCNICOS DA POLTRONA





TÍTULO:

POLTRONA EM BALC

DESENHO:

VISTA ISOMÉTRICA

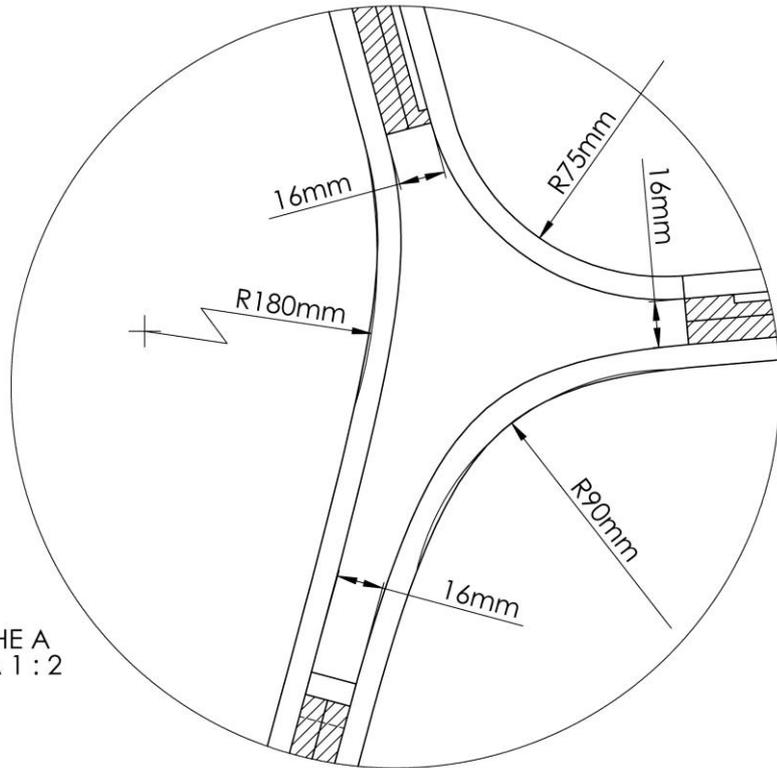
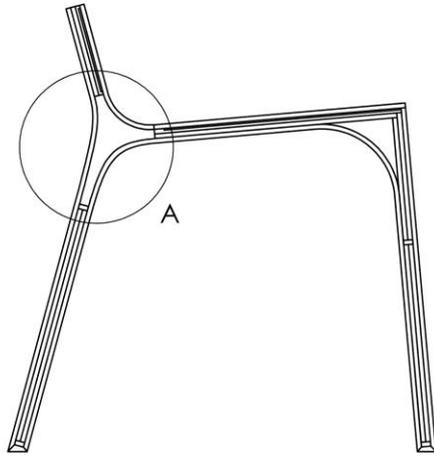
A4

DIMENSÕES EM MILÍMETROS

ACABAMENTO: CHANFROS DE 2MM

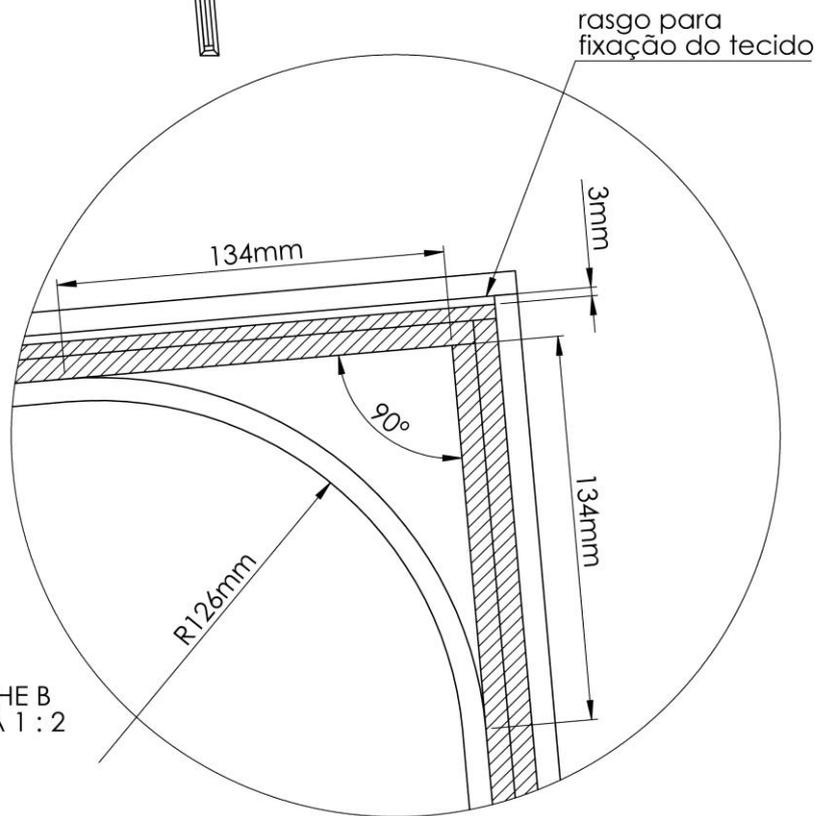
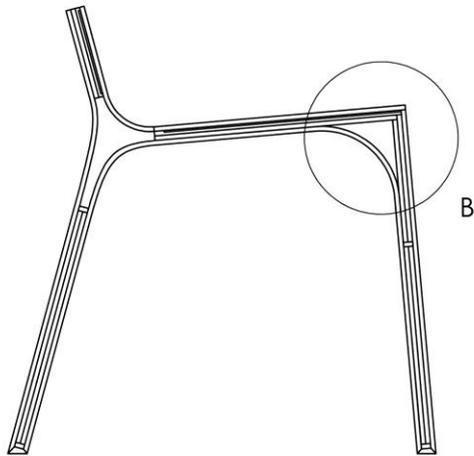
ESCALA: 1:7

FOLHA 2 DE 10



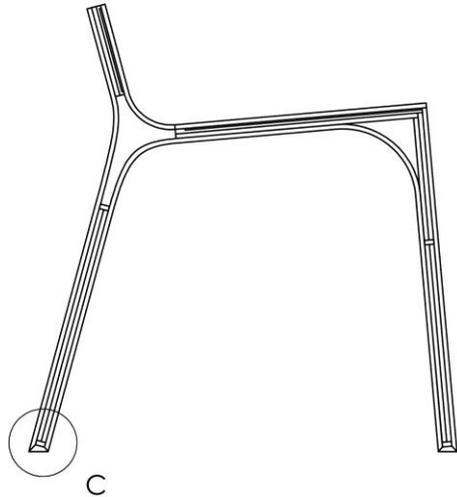
DETALHE A
ESCALA 1 : 2

| | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|----|
| TÍTULO: POLTRONA EM BALC | | DESENHO: DETALHE A | | A4 |
| DIMENSÕES EM MILÍMETROS | ACABAMENTO: CHANFROS DE 2MM | ESCALA: 1:2 | FOLHA 3 DE 10 | |

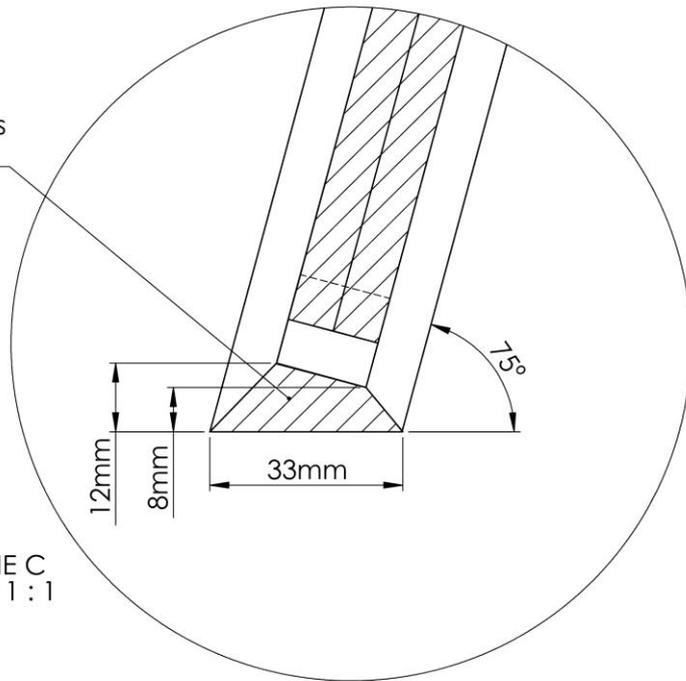


DETALHE B
ESCALA 1 : 2

| | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|
| TÍTULO: POLTRONA EM BALC | | DESENHO: DETALHE B | A4 |
| DIMENSÕES EM MILÍMETROS | ACABAMENTO: CHANFROS DE 2MM | ESCALA: 1:2 | FOLHA 4 DE 10 |

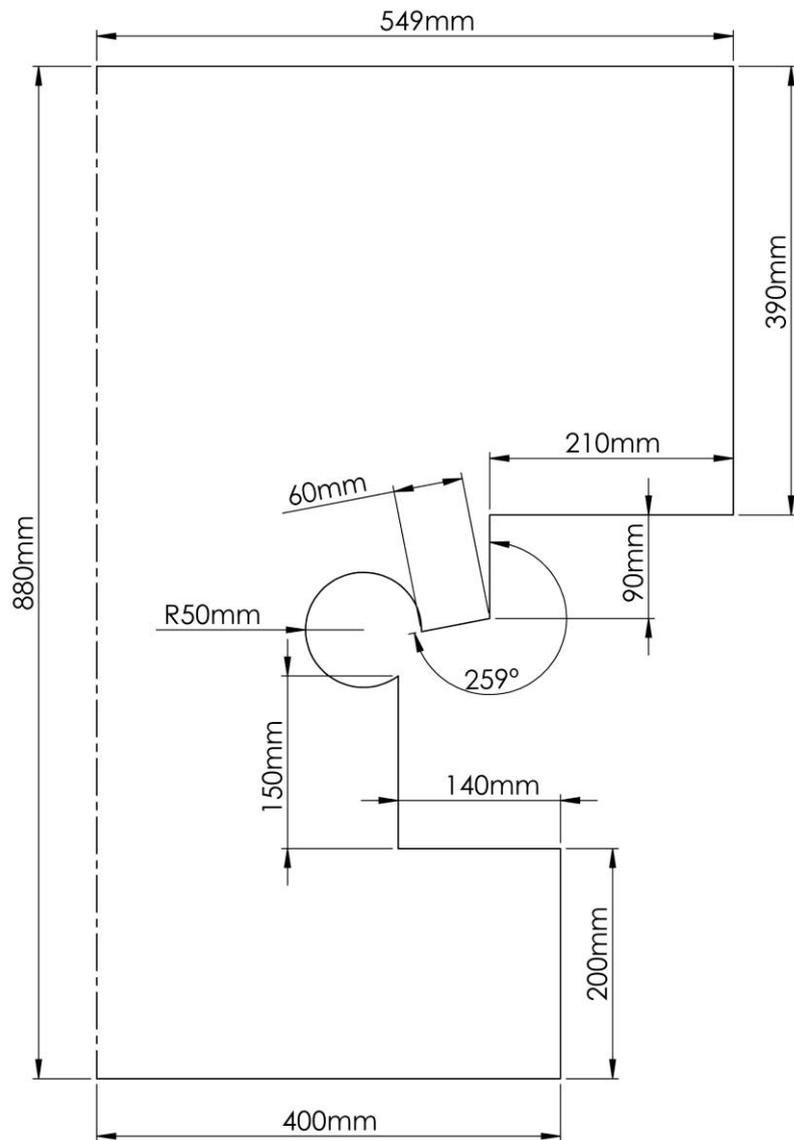


fibras paralelas
ao chão



DETALHE C
ESCALA 1 : 1

| | | | | |
|-------------------------|-----------------------------|-------------|------------------|----|
| TÍTULO: | POLTRONA EM BALC | DESENHO: | DETALHE C | A4 |
| DIMENSÕES EM MILÍMETROS | ACABAMENTO: CHANFROS DE 2MM | ESCALA: 1:2 | FOLHA 5 DE 10 | |



| | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|----|
| TÍTULO: POLTRONA EM BALC | | DESENHO: PARTE EM TECIDO | | A4 |
| DIMENSÕES EM MILÍMETROS | ACABAMENTO: CHANFROS DE 2MM | ESCALA: 1:10 | FOLHA 6 DE 10 | |

ANEXO III - ESTRATÉGIAS PARA MEDIR O IMPACTO AMBIENTAL

Primeiramente, deve-se diferenciar dois enfoques quando se fala de impacto ambiental: o primeiro é o enfoque administrativo ou regional, onde se realiza uma Avaliação de Impacto Ambiental – AIA. Nesse caso, estuda-se o impacto de várias fontes em um local específico. O segundo é o enfoque no objeto, onde se estuda o impacto de um único material ou produto ao meio ambiente (SANCHÉZ, 2006). A ferramenta mais difundida para medir de forma precisa o impacto ambiental de um material ou produto é a Avaliação do Ciclo de Vida – ACV.

Segundo Chehebe (1998), a ACV é um instrumento de gestão ambiental, com o objetivo de avaliar as incidências ambientais dos materiais, processos e produtos, desde a extração dos recursos naturais (berço) até seu completo retorno à natureza (cova). É um instrumento com foco nas interações do objeto de estudo com o ambiente, durante todo o ciclo de vida¹¹.

Os primórdios da ACV data de 1969. Nesse ano, segundo Hunt e Franklin (1996), realizou-se um estudo ambiental denominado Resource and Environmental Profile Analysis – REPA, que foi realizado com o intuito de analisar e comparar diferentes tipos de embalagens de bebidas. O trabalho foi encomendado pela empresa de refrigerantes Coca Cola, ao Midwest Research Institute – MRI. Foram quantificados o consumo de recursos e as emissões ao meio ambiente na produção de embalagens plásticas.

O MRI realizou em 1974 um trabalho mais amplo e complexo, sendo o REPA mais ambicioso já realizado (FERREIRA, 2004). O instituto comparou diferentes embalagens de cerveja, levando em conta os dados dos processos de fabricação e de todas as suas interconexões, em todas as fases do seu ciclo de vida. Foi estudado em detalhe a cadeia produtiva de cada material utilizado (vidro, alumínio e polímeros).

Em 1992, a International Organization for Standardization – ISO criou o comitê técnico TC207/SC5, com o intuito de normalizar a metodologia da ACV. Desse

¹¹ Ciclo de vida: As atividades no decurso da vida do produto desde a sua fabricação, utilização, manutenção, e deposição final; incluindo aquisição de matéria-prima necessária para a fabricação do produto.

trabalhou culminou as normas ISO 14040 a 14043, com validade até 2005, sendo então substituídas pelas normas ISO 14040:2006 e 14044:2006. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT fez a transcrição das normas internacionais para o Brasil, em 2009, identificando-as com a sigla NBR antes das nomenclaturas.

A norma ABNT NBR ISO 14040 (2006) especifica que os passos para realização da Avaliação de ciclo de vida são:

1. Definição dos objetivos e do escopo;
2. Análise do Inventário de Ciclo de Vida – ICV, com a compilação de dados de uso de recursos e energia utilizados durante o ciclo de vida;
3. Avaliação dos potenciais impactos associados às emissões de poluentes e do uso de recursos naturais, chamado de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida – AICV;
4. Interpretação dos resultados dos estudos, em relação aos objetivos declarados.

A ACV é um processo iterativo, onde os objetivos e o escopo são constantemente ajustados, dependendo das limitações da obtenção dos dados e dos *insights* provenientes dos acessos de impacto ambiental (BAUMANN e TILLMAN, 2004). Seu uso é voltado idealmente para o cálculo efetivo do impacto ambiental de materiais e produtos já consolidados, com a cadeia produtiva operacional e acessível. O termo Impacto Ambiental é utilizado na ACV para se referir aos efeitos do objeto de estudo no meio ambiente. O entendimento do impacto ambiental depende diretamente do método de avaliação adotado na etapa de AICV.

Tal metodologia está sendo utilizada em diversos setores produtivos há mais de vinte anos. Existem várias dificuldades no processo de medir com precisão o impacto ambiental, como a alocação dos dados, o método utilizado para simular o efeito dos impactos, e a própria definição dos limites do estudo. Porém, a principal dificuldade reportada ainda é a qualidade dos dados externos utilizados (GOMES, BRIÈRE, *et al.*, 2013).

A produção de um material ou produto industrial é fruto de uma série de processos distintos. Utilizaremos como exemplo uma ACV simplificada da produção de um fardo de celulose (Figura 60). Os dados são fictícios e as etapas foram reduzidas por questões didáticas. Um estudo completo de ACV de celulose e papel pode ser encontrado em Manda et al. (2012).

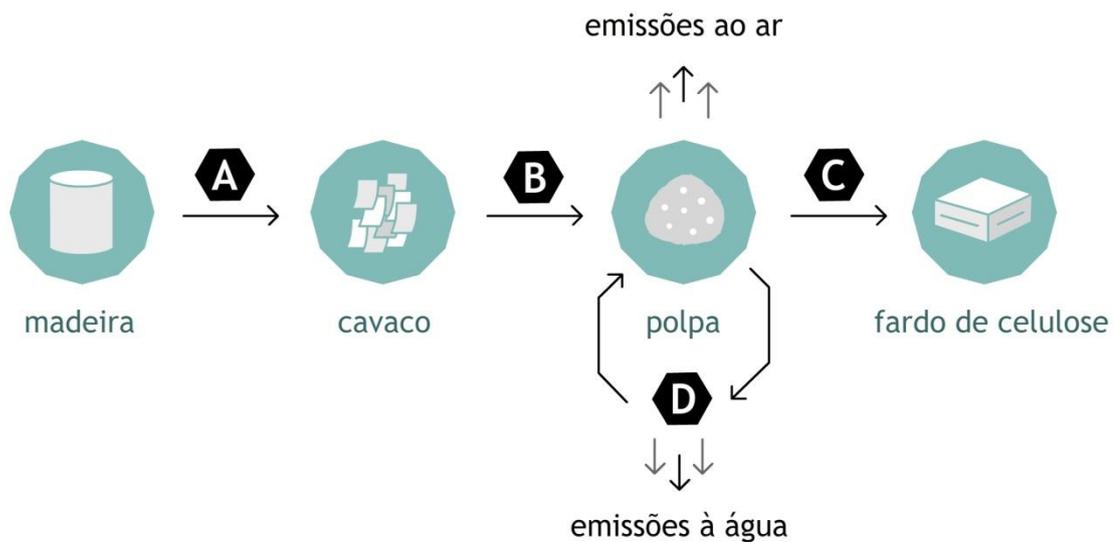


Figura 60- Exemplo de ACV: etapas de produção da celulose

A: Picador de madeira, transformando-a em cavaco

B: Cozimento do cavaco no digestor, com adição do licor branco (NaOH)

C: Secagem da polpa, transformando-a em folhas, e separadas em fardos de 1 tonelada

D: Tratamento do licor negro, onde parte volta ao processo e parte é descartado

Fonte: Autor

Podemos entender que a qualidade da ACV do exemplo acima depende até da qualidade dos dados sobre a obtenção de energia elétrica da região (matriz energética), um processo geograficamente e tecnologicamente distantes da produção do produto estudado.

É essencial distinguir o que são dados primários e secundários na metodologia. Os dados primários são informações técnicas relacionadas à quantidade de material e a energia utilizada em cada processo de produção. Os dados secundários são informações referentes a outros ciclos de produção.

Retornando ao exemplo da produção de celulose: a quantidade de madeira utilizada para produzir um fardo é um dado primário. Informações referentes ao plantio, manejo e colheita das toras de madeira são dados secundários, que podem vir de fontes externas. Esses dados (primários e secundários) são consolidados na metodologia sob a forma de um ICV (Tabela 26).

Tabela 26 - Exemplo de ACV: inventário de ciclo de vida

| etapa do processo | quantidade | unidade |
|-----------------------|------------|--------------------------|
| transporte da madeira | 300 | km/UF |
| licor branco | 100 | kg soda/UF |
| energia no processo A | 350 | kWh/UF |
| energia no processo B | 150 | kWh/UF |
| energia no processo C | 100 | kWh/UF |
| energia no processo D | 100 | kWh/UF |
| Emissões à água | 50 | M ³ /UF |
| Emissões ao ar | 1000 | kg CO ₂ eq/UF |

Fonte: Autor

Mensurar a qualidade e a confiabilidade dos dados secundários é uma das preocupações da metodologia de ACV. Weidema & Wesnæs (1996) desenvolveram um método para classificar a qualidade dos dados externos, utilizando uma matriz (Tabela 23) com notas para a idade do estudo, a correlação geográfica, dentre outros. É uma ferramenta simples e precisa, testada pelos próprios autores (1998) e por Huijbergts et al (2001).

Na ACV de de novas tecnologias, ainda em desenvolvimento, as informações podem não ser tão precisas. Nesse caso, deve-se manter o foco em aprimorar dados que tenham um alto grau de incerteza, ou que representem uma grande porcentagem do impacto total (WANG e SHEN, 2013). Por essa razão, Heijungs (1996) introduziu os conceitos de incerteza e contribuição como dois parâmetros para categorizar os dados do ICV.

Tabela 27 - Matriz para qualificação de dados externos

| pontuação | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------------|--|--|--|--|--|
| correlação temporal | menos de 3 anos do estudo | menos de 6 anos | menos de 10 anos | menos de 15 anos | tempo incerto ou maior que 15 anos |
| correlação geográfica | Dado da área em estudo | Dado de área maior, onde o estudo está incluso | Dado de área com condições de produção similares | Dado de área com condições de produção aproximadas | Dado de área desconhecida ou muito diferente |
| correlação tecnológica | Dado de empresa, processo ou material sob estudo | Dados de processo e material sob estudo, mas empresa diferente | Dado de processo e material sob estudo, mas tecnologia diferente | Dado de processo ou material diferente, mas mesma tecnologia | Dado de processo, material e tecnologia diferentes |

Fonte: Adaptado de Weidema & Wesnæs (1996)

No caso de processos industrializados, os dados primários advêm de tecnologias padronizadas, que pouco diferem entre diferentes locais de produção. Enquanto os locais de produção utilizarem processos tecnológicos similares, os dados primários são passíveis de generalização (BÖSCH, HELLWEG, *et al.*, 2007) (GARTNER, 2004).

Uma vez realizado o ICV, tem-se uma série de informações sobre a quantidade de cada material que entra no sistema, e de cada material que sai do sistema. As entradas são os insumos e produtos utilizados para se produzir o produto estudado. As saídas são o próprio produto final e subprodutos enviados a outros ciclos de vida, além de materiais emitidos ao ar, ao solo e a água.

Para a etapa de AICV, utilizam-se indicadores de impacto. Os indicadores são utilizados para se compreender, analisar e comparar os resultados do ICV, cada um utilizando um método diferente para trazer dados díspares a um patamar comparável. Um indicador pode ser classificado como *midpoint* ou *endpoint*.

De acordo com Cavalett et al (2013), nos indicadores *midpoint* as saídas do ICV são reunidas em categorias de impacto, de acordo com alguma característica comum na cadeia de causa-efeito do mecanismo ambiental. Elas não representam consequências finais sobre o impacto ambiental em si, sendo indicadores potenciais.

Já os indicadores *endpoint* ponderam sobre a gravidade ou o dano final das categorias de impacto. Esta ponderação relaciona as categorias de impacto a categorias de dano, e geralmente aplicam pesos e ponderações (CAVALETT, CHAGAS, *et al.*, 2013). Os dados tornam-se assim mais compreensíveis aos tomadores de decisão. No entanto, possuem alta subjetividade. Os métodos *midpoint* apresentam pouca subjetividade, ao preço de menor relevância no suporte à tomada de decisões. A Figura 61 demonstra a classificação das emissões em categorias de impacto (*midpoint*) e categorias de dano (*endpoint*), conforme entendido pelo indicador Ecoinvent (HISCHIER, WEIDEMA, *et al.*, 2009).

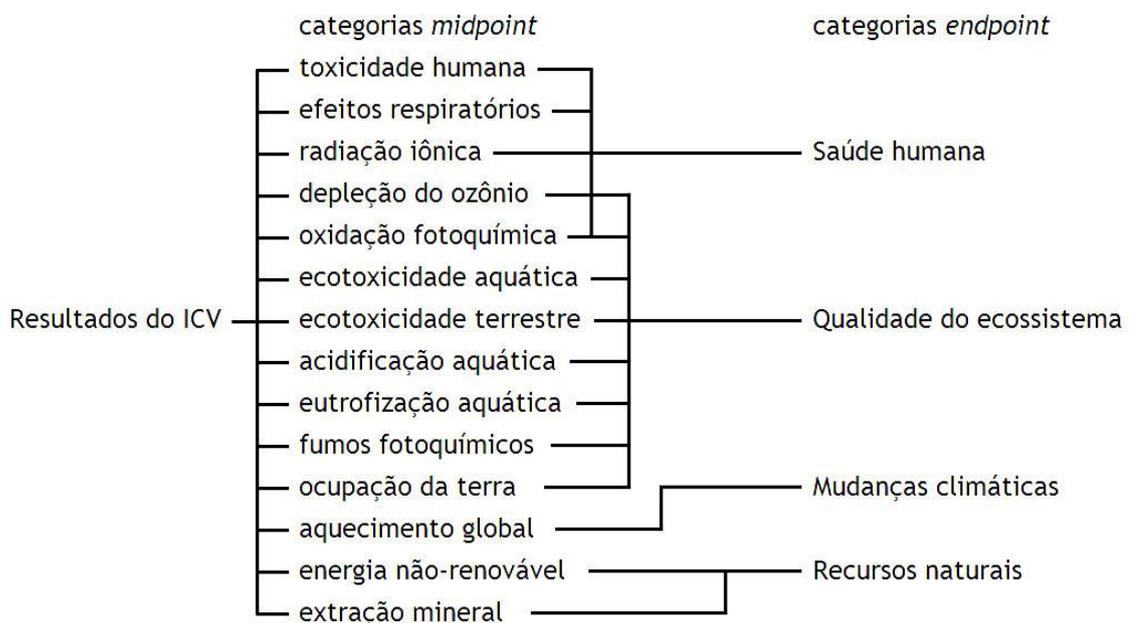


Figura 61 - Categorias de impacto *midpoint* e *endpoint*
 Fonte: Adaptado de Hischier et al. (2009)

Vários indicadores têm sido desenvolvidos e aplicados: CML (SOUZA, MENDONÇA, *et al.*, 2012), Eco-indicador 99 (RESTREPO, MIYAKE, *et al.*, 2012), EDIP 2003 (SANTOS, 2010), IMPACT 2002+ (SILVA, KAZIMI e HEJZLAR, 2010), ReCiPe (SILVA, 2012). Estes métodos estão entre os mais citados e utilizados em ACV de materiais e produtos brasileiros, devido a sua robustez e precisão (CCI, 2010). São apenas indicados, porém, para especialistas na metodologia de ACV.

Entre os indicadores *endpoint* está o Eco-costs, uma parte de um modelo maior de cálculo de sustentabilidade chamado Eco-costs Value Ratio – EVR (VOGTLÄNDER, 2001). O indicador foi desenvolvido em 1999 e publicado em etapas entre 2000 e 2004. Ele utiliza uma metodologia baseada no custo preventivo. São os custos das ações necessárias para reduzir os impactos ambientais até um nível considerado aceitável para o planeta.

Por exemplo: para cada tonelada de CO₂ emitida, deve-se investir 135 euros em energia eólica (ou outra medida de redução de CO₂ a esse preço ou menos). Se a medida fosse tomada globalmente, ocorreria uma redução de 65% na emissões, tendo como resultado a estabilização desse efeito no aquecimento global (VOGTLÄNDER, 2001). De forma resumida, o Eco-costs de 1 tonelada de CO₂ é 135 euros.

Cálculos similares foram realizados para todas as categorias de impacto (acidificação, eutrofização, etc.), e correlacionados a ICVs em bancos de dados. O resultado pode ser encontrado na tabela Eco-costs (VOGTLÄNDER, 2014). Torna-se assim simples comparar materiais e produtos, pois se resume os impactos a um valor único. A aplicação desse indicador no exemplo da ACV de celulose encontra-se a seguir (Tabela 28), podendo ser verificado ainda os dados de contribuição e incerteza, conforme a metodologia de Weidema & Wesnæs (1996).

Sendo assim, o valor encontrado no Eco-costs é um custo virtual, não sendo confundido com o custo real da produção. Seu cálculo é fácil e transparente se comparado a outros indicadores baseados em danos, que têm a desvantagem de necessitar de cálculos complexos e ponderações subjetivas.

Tabela 28 - Exemplo de ACV: utilização do indicador Eco-costs

| etapa do processo | Eco-costs (€/UF) | contribuição (%) | Pontuação de Incerteza (3-15) |
|-----------------------|------------------|------------------|-------------------------------|
| transporte da madeira | 10 | 1 | 5 |
| licor branco | 300 | 30 | 9 |
| energia no processo A | 140 | 14 | 4 |
| energia no processo B | 60 | 6 | 4 |
| energia no processo C | 40 | 4 | 4 |
| energia no processo D | 40 | 4 | 5 |
| emissões à água | 210 | 21 | 12 |
| emissões ao ar | 200 | 20 | 6 |
| TOTAL | 1000 | 100 | n/a |

Fonte: Autor

O acesso a dados sobre o produto em exemplo, um fardo de celulose, pode não parecer trazer muitos desafios. A metodologia de ACV realmente se mostra complexa quando o objeto de estudo é um produto industrial com vários componentes e materiais distintos, como um aparelho eletrônico. Nesses casos, o estudo completo do ciclo de vida de cada peça demanda de muito tempo e recursos, e pode não ser muito preciso. Nesses casos um modelo simplificado de ACV se mostra útil, principalmente em etapas de projeto do produto (JENSEN, HOFFMAN, *et al.*, 1997).

Formas simplificadas de ACV vêm sendo desenvolvidas para o estudo de novas tecnologias, onde se procura simplificação e agilidade, além da possibilidade de utilização por outras áreas, como arquitetos, engenheiros e *designers*. O foco principal dessa simplificação é a redução de rigidez no escopo e delineamento do estudo, permitindo sua utilização em qualquer etapa de projeto, inclusive em fases de conceituação (ZABALZA BRIBIÁN, ARANDA USÓN e SCARPELLIN, 2009).

Há uma pressão para o desenvolvimento de técnicas de ACV simplificado, permitindo o uso rápido e preciso de informações sobre impacto ambiental em fases iniciais de projeto, o que reduziria custos posteriores (CHRISTIANSEN, 1997). Os métodos de ACV simplificado geralmente são focados em como contornar a falta de dados, e em como manter a imprecisão a um nível aceitável. Pigosso e Sousa (2011)

realizaram um estudo sistemático de todas as metodologias voltadas ao *design* de produtos, ressaltando o funcionamento e recomendações de uso de cada uma.

ANEXO IV - PESQUISADORES DOUTORES BRASILEIROS DO BALC

Quadro 1 - Pesquisadores doutores brasileiros do BaLC, conforme a plataforma Lattes - CNPQ.

| Instituição | Área de atuação | Doutor(a) |
|----------------------------------|-------------------------------------|--|
| ASSER | Arquitetura | Claudia de Lima Nogueira |
| IFB | Engenharia Florestal | Ricardo Faustino Teles |
| PUC Rio | Engenharia Civil | Khosrow Ghavami |
| Serviço Florestal | Engenharia Florestal | Divino Eterno Teixeira |
| UFBA | Engenharia Civil | Sandro Fábio César |
| UFES | Engenharia Civil | <i>Pedro Gutemberg de Alcântara Segundinho</i> |
| | Engenharia Florestal | Graziela Baptista Vidaurre |
| | | José Tarcísio da Silva Oliveira |
| UFMG | Engenharia Civil | Juarez Benigno Paes |
| | | Edgar Vladimiro Mantilla Carrasco |
| UFPB | Engenharia Civil | Lúis Eustáquio Moreira |
| | | Humberto Correia Lima Júnior |
| UFPR | <i>Design</i> | Dulce Maria Paiva Fernandes |
| | | Maria Lucia Leite Ribeiro Okimoto |
| UFRJ | <i>Design</i> | Ana Karla Freire de Oliveira |
| UFSC | Engenharia Civil | Carlos Alberto Szucs |
| UFU | <i>Design</i> | Juliano Aparecido Pereira |
| Um Tec Fed PR | Desenvolvimento Sustentável | Eloy Fassi Casagrande Junior |
| UnB | Arquitetura | Jaime Gonçalves de Almeida |
| | Engenharia Florestal | Cláudio Henrique Soares Del Menezzi |
| | | Juliana Cortez Barbosa |
| | <i>Design</i> | Cassia Leticia Carrara Domiciano |
| | | Luis Carlos Paschoarelli |
| | | Solange M Bigal |
| | | Paula da Cruz Landim |
| | Engenharia Agrícola | Marizilda dos Santos Menezes |
| | | Marco Antonio dos Reis Pereira |
| | UNESP | Engenharia Civil |
| Rosa Maria Bittencourt | | |
| José Luiz Pinheiro Melges | | |
| Engenharia Elétrica | | Maximiliano dos Anjos Azambuja |
| | | José Angelo Cagnon |
| Engenharia Mecânica | | Luiz Gonzaga Campos Porto |
| | | Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves |
| Engenharia Química | Ivaldo De Domenico Valarelli | |
| Unicamp | Engenharia Agrícola | Maria Angélica Martins Costa |
| | | Antonio Ludovico Beraldo |
| USP | Engenharia Civil | Jose Nivaldo Garcia |
| | | Antonio Alves Dias |
| UTFPR | Engenharia Mecânica | Eduardo Mauro do Nascimento |

Fonte: Autor, realizando pesquisa de currículos na plataforma Lattes (LATTES, 2014)