

CELSO SALAMON

ENSAIOS PARA VIABILIZAR A LAMINAÇÃO DO BAMBU *Dendrocalamus giganteus* EM OPERAÇÕES DE TORNEAMENTO SEM CENTROS

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica na área de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Guaratinguetá
2009

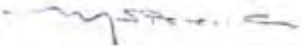
S159e	Salamon, Celso Ensaios para viabilizar a laminação do bambu <i>dendrocalamus giganteus</i> em operações de torneamento sem centros. / Celso Salamon – Guaratinguetá : [s.n], 2009. 113f. : il. Bibliografia: f. 109-113 Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2009. Orientador: Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves 1. Bambu I. Título CDU 633.584.5
-------	---

CELSO SALAMON

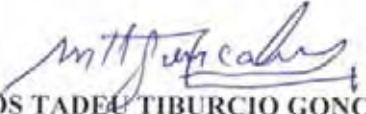
ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: MATERIAIS

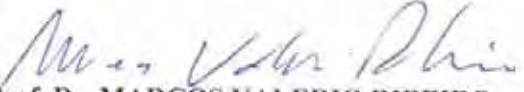
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira
Coordenador

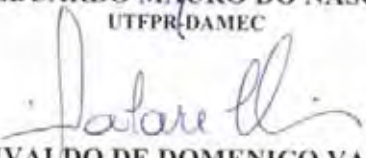
BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MARCOS TADEU TIBURCIO GONÇALVES
Orientador / Unesp-Feg


Prof. Dr. MANOEL CLÉBER DE SAMPAIO ALVES
Unesp-Feg


Prof. Dr. MARCOS VALERIO RIBEIRO
Unesp-Feg


Prof. Dr. EDUARDO MAURO DO NASCIMENTO
UTFPR-DAMEC


Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI
Unesp-Bauru

dezembro de 2009

DADOS CURRICULARES

CELSO SALAMON

NASCIMENTO	15.01.1961 – ARARUNA / PR
FILIAÇÃO	Adelmiro Salamon Maria Muraro Salamon
1980/1985	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica Faculdade de Engenharia de Joinville - UDESC, Santa Catarina
2000/2003	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, no PPGEM da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus de Curitiba.
2007/2009	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Doutorado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

DEDICATÓRIA

de modo especial, à minha filha Yasmin, que com sua sabedoria típica dos seus seis anos de vida, foi a grande incentivadora para a quebra de paradigmas a que me propus, e à minha esposa Odete.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao Absoluto, que pelo raio da criação permitiu que minha essência se manifestasse neste plano. Agradeço pela minha vida, minha família e possibilidades de auto realização,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Marcos Tadeu Tiburcio Gonçalves*, pela sua imensa contribuição e esforço, pelos seus dias, noites, feriados, viagens e até favores pessoais dedicados, sem os quais não seria possível este trabalho,

ao *Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio* pela presteza e troca de idéias,

ao amigo *Fabiano Ostapiv* pelas longas conversas de viagem que sempre foram da tecnologia do bambu à filosofia e esoterismo,

aos amigos *Ruy Nakayama* e *Sidney Gasoto*, pela atenciosa contribuição no sistema de aquisição de dados,

aos funcionários e professores do Campus de Itapeva pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar,

ao secretariado da pós-graduação, ao *Paulo*, pela dedicação e atencioso atendimento,

à UNESP pelo acolhimento,

à UTFPR, ao DAMEC e em especial ao *João Mansano* pela sua sempre oportuna e dedicada contribuição, aos professores do núcleo da Automação que assumiram minhas atividades, viabilizando este empreendimento,

à Indústria OMECO, e seus empenhados profissionais, em particular aos engenheiros *Ricardo* e *Modesto* que viabilizaram um dos experimentos deste empreendimento.

“Um dia, estava Zaratustra dormindo sob uma figueira porque fazia calor, e tinha tapado o rosto com o braço. Nisto chegou uma víbora, mordeu-lhe o pescoço, e ele soltou um grito de dor. Afastando o braço do rosto, olhou a serpente: ela reconheceu os olhos de Zaratustra, contorceu-se vagorosamente e quis se retirar. Não -disse Zaratustra- espera, ainda não te agradei! Despertaste-me a tempo, pois meu caminho é longo e eu dormia.

Assim falava Zaratustra

Nietzsche

SALAMON. C. **Ensaio para viabilizar a laminação do bambu *Dendrocalamus giganteus* em operações de torneamento sem centros**. 2009. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

RESUMO

Dentre as diversas aplicações industrializadas do bambu é atrativa a confecção de lâminas delgadas, obtidas por laminação longitudinal, corte por serra e torneamento. O domínio tecnológico dos processos envolvidos nas operações primárias de transformação desta matéria prima, influenciam na qualidade e viabilidade destes produtos laminados. Neste trabalho foi estudada a laminação por torneamento da espécie *Dendrocalamus giganteus*. Inicialmente, este bambu foi laminado em um torno industrial sem centros e os resultados comparados àqueles apresentados na literatura para a obtenção de laminados de bambu por outros meios. Na seqüência, utilizando um torno mecânico, foi realizada a laminação em um torno com garras e fuso. Para então, avaliar a variação do torque durante o processo e a qualidade das lâminas, obtidas a partir de uma determinada geometria simplificada da ferramenta e rotação de acionamento. A experiência adquirida permitiu desenvolver e avaliar variações originais no processo de laminação por torneamento capaz de operar com e sem centros. A análise dos experimentos mostra a viabilidade do processo de laminação por torneamento, para a obtenção rápida, eficaz e fácil de lâminas contínuas com pequena espessura e grande largura, inviáveis de serem obtidas por outros meios. Colabora-se desta forma, para o desenvolvimento de processos industriais eficientes na transformação dos colmos de bambu, mais aptos a explorar o real potencial técnico e econômico desta importante matéria prima.

Palavras chave: Bambu. Lâminas de Bambu. Laminação de bambu por torneamento sem centros. Processamento de bambu.

SALAMON. C. *Validated studies of veneering Dendrocalamus giganteus in center less lathe*. 2009. 113 f. *Thesis (Doctorate in Mechanical Engineering)* – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

ABSTRACT

Among several industrial applications, bamboo veneering is very desirable, either by longitudinal lamination (spllitter), by saw cut or lathe veneering. The technology used to primarily process this grass species (or raw material or Bamboo) has great influence in the quality and the viability of the product. In this work *Dendrocalamus giganteus* species was used to study lathe veneering. Initially it was laminated in an industrial Center less veneering lathe and the results were compared to what was presented in literature for obtaining bamboo veneer by other means. The second step was simulated a traditional veneering in a mechanical lathe, with a simplified tool configuration. The experience allowed a development and evaluation of a process that is simple, original and capable of centered or center less operation. Analyzing the experiments it was noted the viability of this process to obtain a fast and easy continuous lamination with dimensions (thin and very large) that would be unattainable by other processes. This is a great step for an efficient industrial development to exploit the real technical economical potential of this wonderful raw material.

Key words: Bamboo. Bamboo veneer. Center less lathe veneering bamboo. Bamboo process.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 CONTEXTO E RELEVÂNCIA DO TRABALHO	10
1.2 JUSTIFICATIVA DA LAMINAÇÃO DE COLMOS DE BAMBU POR TORNEAMENTO	11
1.3 OBJETIVOS	12
1.4 HIPÓTESES FORMULADAS	13
1.5 LIMITAÇÕES À PESQUISA DESENVOLVIDA.....	14
1.6 COMPENSAÇÃO DE EMISSÃO DE CARBONO	14
1.7 ABORDAGEM PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 O MATERIAL BAMBU E SUAS APLICAÇÕES	18
2.2 CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES MECÂNICAS, ANATOMIA E GEOMETRIA DOS COLMOS	21
2.2.1 Espécie <i>Dendrocalamus giganteus</i>	23
2.3 PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DE BAMBU	26
2.4 LAMINADOS DE BAMBU	31
2.5 FUNDAMENTAÇÃO DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO POR TORNEAMENTO	37
2.5.1 Tipos construtivos de tornos laminadores para madeira	46
2.5.2 Tornos laminadores de bambu.....	49
2.6 INDICADORES DE QUALIDADE DE LÂMINAS OBTIDAS POR TORNEAMENTO	51
2.7 SÍNTESE DE LAMINAÇÃO	54
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	56
3.1 CARACTERIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	57
3.2 SISTEMA DE FIXAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	60
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS, DISPOSITIVOS E PROCEDIMENTOS USADOS NOS EXPERIMENTOS.....	62
3.4 CARACTERIZAÇÃO DO TORNO SEM CENTROS INDUSTRIAL	67
3.5 CARACTERIZAÇÃO DO TORNO MECÂNICO CONVENCIONAL	69
3.6 CARACTERIZAÇÃO DO DISPOSITIVO LAMINADOR.....	70
3.7 DADOS PRODUZIDOS NOS EXPERIMENTOS	72
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
4.1 ESTUDO DO SISTEMA DE FIXAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	73
4.2 DEFINIÇÃO DO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DA FACA DE CORTE	75
4.3 DADOS DA LAMINAÇÃO EM TORNO INDUSTRIAL SEM CENTROS.....	76
4.4 DADOS DA LAMINAÇÃO EM TORNO MECÂNICO CONVENCIONAL	85
4.5 DADOS OBTIDOS COM DISPOSITIVO LAMINADOR	90
4.5.1 Laminação com centro e avanço flutuante da faca de corte.....	90

4.5.2 Laminação sem centro com rolo de tração interno	94
4.6 ANÁLISE GERAL DOS EXPERIMENTOS	100
5 CONCLUSÕES.....	107
REFERÊNCIAS	109

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E RELEVÂNCIA DO TRABALHO

O bambu é uma planta muito versátil que faz parte do desenvolvimento de muitas civilizações ao longo da história. No entanto, ainda é sub utilizado, se analisado todo seu potencial como matéria prima de excelentes propriedades mecânicas. Propriedades largamente estudadas por Chung (2003). A baixa utilização se deve principalmente pela falta de conhecimento de processos industriais que dêem longevidade às suas aplicações, bem como às dificuldades de industrialização do material (YU, 2007).

As necessidades atuais de produtos que, além de características tecnológicas, atendam a exigências atuais da sociedade tais como a sustentabilidade da cadeia produtiva, coloca em evidência as perspectivas de uso desta matéria prima.

A matéria prima bambu é renovável, não precisa ser replantada continuamente, pois o ciclo de replantio de algumas espécies chega a ser 5 vezes mais longo que o do pinus e do eucalipto. Além disso, é a planta que mais cresce no planeta, rendendo em peso por área valores significativamente maiores que o pinus e eucalipto (NOMURA et al, 1986), (CHUNG, 2003) e (XINGCUI, 2004). É uma das plantas que mais sequestram carbono atmosférico, além de ter propriedades mecânicas que a colocam, junto com muitas outras madeiras, no patamar de outras importantes matérias primas de engenharia como plásticos, metais e cerâmicas (YU, 2007).

Porém, como produto, em sua forma natural, o bambu não se encaixa em nenhum padrão industrial, e industrialização no contexto moderno é, além de mecanização, também padronização (YU, 2007). No contexto industrial, da busca de padronização, normalmente divide-se o colmo do bambu em unidades menores e, a partir destas, se compõem produtos maiores pela aplicação de adesivos e processos diversos, já dominados para produtos a base de madeira. Estas “unidades padronizadas” podem ser grandes como ripas ou taliscas, pequenas aparas ou partículas. A partir destas podem ser gerados produtos diversificados (ZANG, 2001). Em todos estes casos, devido à desagregação dos colmos, são perdidas muitas das potencialidades da matéria prima (YU, 2007).

Na China, grande parte do volume de industrialização do bambu é a fabricação de painéis compósitos, a partir das “unidades” padronizadas (ZANG, 2001). O grande desafio do momento, especialmente nos países tropicais do ocidente como o Brasil, é o desenvolvimento de tecnologias para a transformação dos colmos nestas “unidades padronizadas”, de forma eficiente, permitindo a produção de painéis e produtos de alto valor agregado.

Por forma eficiente entende-se, tanto o aproveitamento da estrutura particular da madeira de bambu, que apresenta um gradiente especial de distribuição de seus feixes fibrovasculares, quanto à racionalização no gasto de energia, tempo e matéria prima no processamento. Também estas tecnologias devem atender os requisitos de segurança de trabalho e ergonomia, aspectos imperativos nos empreendimentos modernos.

Como este trabalho está focado na laminação por torneamento, atividade primária na transformação de colmos de bambu, o contexto apresentado corrobora com a relevância do tema proposto, cujas soluções propostas são justificadas a seguir.

1.2 JUSTIFICATIVA DA LAMINAÇÃO DE COLMOS DE BAMBU POR TORNEAMENTO

Justifica-se o desenvolvimento deste trabalho pela natureza científica e particularmente tecnológica deste, com importantes e possíveis desdobramentos econômicos e de sustentabilidade ambiental. O trabalho propõe uma quebra de paradigma em relação à produção de laminados, capaz de atender a uma ampla gama de produtos. Estas justificativas podem ser apresentadas de forma:

- Científica - A inexistência de trabalhos científicos, sobre laminação por torneamento, de qualquer espécie de bambu nativo ou exótico no Brasil, e a pouca literatura específica sobre o assunto mesmo em países tradicionais no uso desta matéria prima. Apesar do estudo das propriedades mecânicas, físicas e anatômicas de várias espécies de bambu, por diversos autores, estes são unânimes ao discorrerem sobre as dificuldades de processamento industrial desta matéria prima.

- Tecnológica - O levantamento de dados como torque de acionamento, geometria de ferramentas e fixações, bem como produtividade, poderá contribuir para o desenvolvimento de equipamentos e processos otimizados para este material.
- Econômica - A produção de painéis compósitos, a partir do bambu, representa valor expressivo na economia de países como a China, e o desenvolvimento sustentável da exploração desta matéria prima pode vir a ser forte vetor de desenvolvimento econômico para o Brasil pelas suas potencialidades agro industriais.
- Sustentabilidade - O material bambu, por suas boas características mecânicas, aliadas a sua rápida renovação e excelente agente na captura de carbono atmosférica, pode colaborar para o desenvolvimento de cadeias produtivas sustentáveis. Esta matéria prima permite a sua exploração pelos reflorestamentos de áreas degradadas, e projetos que envolvam créditos de carbono, possibilitando assim impacto positivo sobre o meio ambiente. Este estudo, iniciando a viabilização de um novo processo que se espera mais eficiente que os em uso, por sua vez pode colaborar na implementação de empreendimentos que atendam os requisitos da sustentabilidade.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é:

- levantar dados técnicos científicos que permitam avaliar se o processo primário por torneamento, para transformação de bambu em lâminas delgadas e largas é viável tecnicamente, para a espécie *Dendrocalamus giganteus*. Deste modo, facilitar o processamento e suprir lacunas nitidamente deficitárias na industrialização deste material.

Como objetivos específicos têm-se:

- determinar os esforços de torque na laminação por torneamento;
- verificar a viabilidade da aplicação de torno com e sem centros para a laminação de *Dendrocalamus giganteus*, para a obtenção de lâminas delgadas

e largas, de forma eficiente se comparada a outros processos, particularmente o de serramento de ripas.

- avaliar os diversos componentes envolvidos na laminação por torneamento, colaborando para desenvolvimento de processos e equipamentos eficientes para laminar bambus.

1.4 HIPÓTESES FORMULADAS

Para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa foram levantadas várias hipóteses em relação ao processamento primário de bambus. Estas foram verificadas quanto a sua validade ou não, durante a análise dos experimentos. As hipóteses são:

- a grande diferença de resistência mecânica das diferentes regiões da parede do colmo, devido a existência de gradiente na concentração dos feixes de fibras, deverá indicar uma variação dos esforços de corte na laminação e por consequência no torque de acionamento.
- a estrutura de gradientes de feixes de fibras da matéria prima bambu, que causam grandes variabilidades nas propriedades da sua madeira, na orientação radial, deverá influenciar na qualidade dimensional e no acabamento final das lâminas.
- a laminação de bambu por torneamento deverá ser o processo primário com maior eficiência volumétrica, e velocidade de produção, para a obtenção de lâminas delgadas, se comparado a outros processos usuais como o serramento de ripas.
- lâminas obtidas por torneamento deverão permitir a otimização do aproveitamento das propriedades mecânicas do colmo de bambu, pelo aumento do rendimento volumétrico e pela possibilidade de estratificação do colmo em lâminas com maior ou menor resistência em função de sua posição no colmo, por conseguinte, possibilitando a fabricação de painéis compósitos de elevada resistência mecânica.
- como para as madeiras, o acabamento superficial deve melhorar para o bambu laminado cozido.

- o ângulo de incidência fixo, a rotação constante, implicando na velocidade periférica variável, e as baixas velocidades de corte não deverão influenciar substancialmente na qualidade final das lâminas..
- o uso de tornos sem centro com rolos de tração interna deverá produzir lâminas com maior produtividade e qualidade, pois neste processo a faca de corte acompanha o perfil ovalizado dos colmos.

1.5 LIMITAÇÕES À PESQUISA DESENVOLVIDA

O desenvolvimento deste trabalho foi condicionado por uma série de fatores limitantes à abrangência, sendo os mais proeminentes listados:

- poucas referências científicas disponíveis sobre a laminação de bambus, se comparado com as madeiras.
- limitações de natureza financeira e temporal. Como não existe no Brasil nenhum torno específico para laminar o bambu em uso, e pelo tempo curto para desenvolver o trabalho e alto custo para adquirir um equipamento importado, os experimentos foram feitos em equipamentos adaptados. No decorrer do trabalho, foram desenvolvidas combinações de soluções para fixação e acionamento.
- a dificuldade de instrumentar uma máquina de porte industrial, em um parque fabril, somadas às limitações comuns do chão de fábrica, onde os equipamentos são direcionados à produção e não à pesquisa; inviabilizou a verificação do torque e da potência absorvida na laminação sem centros em equipamentos industriais.

1.6 COMPENSAÇÃO DE EMISSÃO DE CARBONO

Pela natureza deste trabalho, no sentido de viabilizar processos que permitam desenvolver produtos sustentáveis, estimou-se as emissões de carbono durante os experimentos, bem como foi avaliada a quantia de colmos usados para tais experimentos. Com estes dados optou-se por plantar 20 mudas da espécie estudada na região de Garuva, Santa Catarina, visando compensar o material suprimido do meio

ambiente. Entende-se que uma estimativa pode não compensar necessariamente todas as emissões de CO₂ ao ambiente, justifica-se, porém, este plantio compensatório como uma prática salutar e alinhada aos requisitos atuais de sustentabilidade exigidos no desenvolvimento de novos materiais, produtos e processos.

1.7 ABORDAGEM PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.

Para verificação da validade das hipóteses formuladas, este trabalho experimental foi desenvolvido conforme o fluxo apresentado na Figura 1.1.

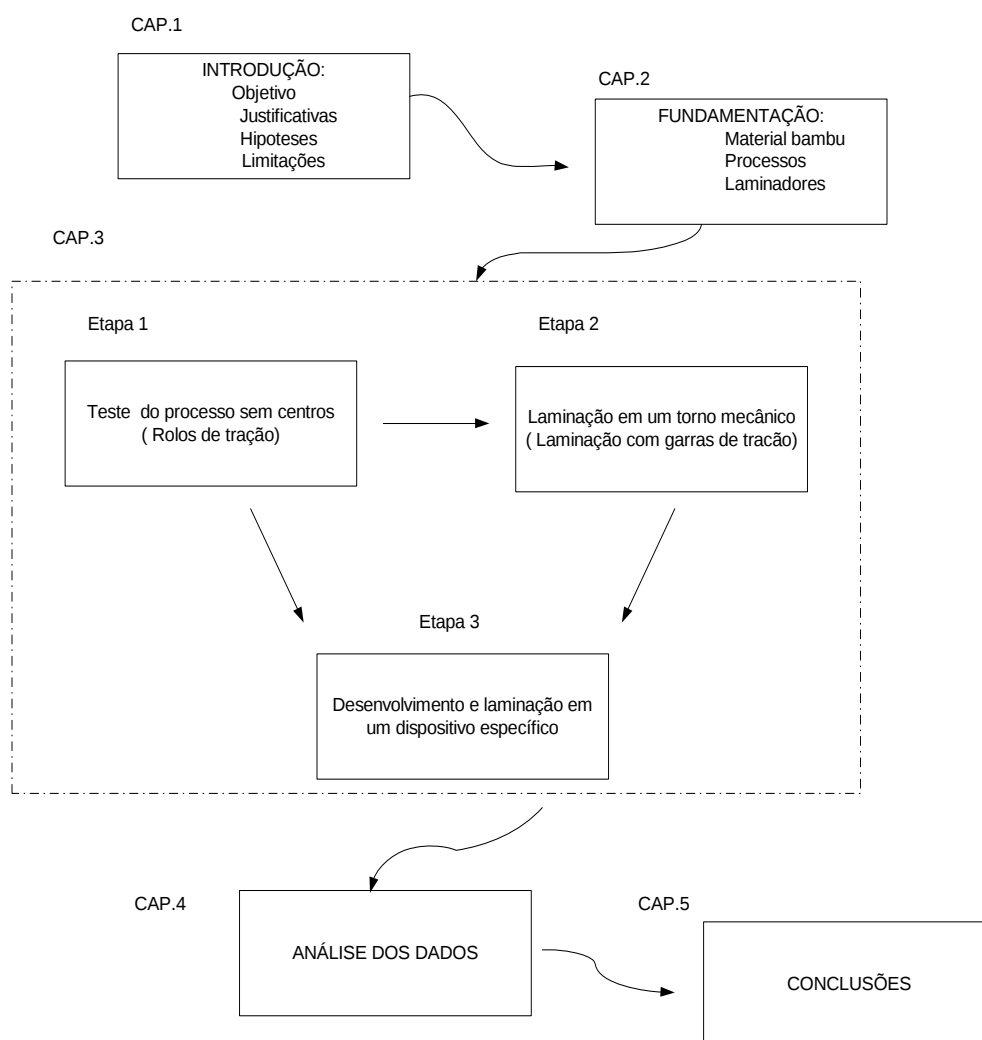


Figura 1.1- Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa

No Capítulo 1, como foram apresentados: a introdução ao tema, sua justificativa, limitações e levantadas as hipóteses a serem verificadas.

No Capítulo 2 foram apresentadas a fundamentação e revisão teórica de laminação de madeiras e bambu, bem como uma revisão dos processos para a obtenção de laminados de bambu, finalizando com uma síntese sobre os equipamentos laminadores e suas variações construtivas.

O Capítulo 3 trata da descrição dos equipamentos e procedimentos experimentais realizados em etapas seqüenciais.

Na primeira etapa mostrou-se, de forma comparativa a outros métodos de obtenção de lâminas, a viabilidade da laminação por torneamento sendo utilizado um torno industrial sem centros. Usado por apresentar algumas características interessantes e pela sua disponibilidade.

Na seqüência, usando um torno mecânico com ferramenta curta adaptada, foram realizadas laminações, fixando-se a peça com garras, usando barra de pressão fixa e avanço da faca engrenado.

Posteriormente, a partir do conhecimento adquirido nos primeiros experimentos, foi desenvolvido e avaliado um dispositivo laminador específico, com uma combinação de características construtivas mais adequadas ao torneamento eficiente dos colmos de bambu, evidenciando um novo processo.

Utilizou-se neste processo, barra de pressão giratória, avanço por um sistema de acionamento pneumático e flutuante da faca de corte, de modo a permitir esta acompanhar a geometria transversal do colmo. Neste novo sistema, diferentemente dos ora em uso, o tracionamento do colmo é realizado pela sua parte interna, através de um rolo de tração.

Nos experimentos da etapa 1 e 2, conforme apresentado na Figura 1.1, foram levantados dados referentes aos esforços de corte, para uma determinada geometria da ferramenta.

Desta forma o conjunto dos experimentos seqüenciais efetuados permitiu uma visão global dos parâmetros envolvidos e um novo processo de laminação foi desenvolvido.

No Capítulo 4 apresenta-se a discussão dos resultados experimentais, as correlações com as hipóteses inicialmente levantadas e as validações destas.

São apresentados também comparações dos resultados obtidos nos experimentos com os apresentados na literatura utilizada na introdução e no capítulo 2 para embasar e referenciar o trabalho.

No Capítulo 5 apresentam-se as conclusões obtidas com este estudo experimental, evidenciando as possibilidades de aplicabilidade do processo de laminação por torneamento sem centros na produção de lâminas e laminados de bambu.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordados aspectos sobre o material bambu, os processos industriais tradicionais usados para a transformação desta matéria prima, os processos específicos para obtenção lâminas, a teoria de laminação de madeiras e as características dos tornos laminadores para madeira e para bambu. Evidenciando neste contexto, o estado da arte da laminação de bambu.

2.1 O MATERIAL BAMBU E SUAS APLICAÇÕES

O aumento da demanda por novos materiais oriundos de recursos renováveis e de ciclo de crescimento rápido tem se intensificado. As crescentes necessidades geradas pelo aumento populacional e pelo incremento de condição de consumo de diversas sociedades, que buscam melhores condições de vida, afetam de forma negativa sobre vários recursos naturais, ameaçando-os de escassez a curto ou médio prazo. Um dos recursos naturais mais pressionados são as florestas nativas de folhosas que apesar de renováveis tem um longo ciclo de crescimento, não atendendo desta forma as crescentes demandas por madeira, mesmo que exploradas de forma racional.

Stamato et al (2006), defende a expansão do uso estrutural de pinus, oriundo de reflorestamentos como parte da solução para diminuir a pressão sobre as florestas nativas. O aumento do uso desta conífera está diretamente vinculado ao desenvolvimento de novas tecnologias, que posicionem esta matéria prima de forma técnica e científica, ampliando sua aplicação em áreas onde hoje são consideradas pouco viáveis. Somando-se ao *pinus*, o *eucalipto* também tem considerável participação no mercado brasileiro, da produção de madeiras e derivados. Ambas espécies são motivo de estudos por uma grande quantidade de pesquisadores, que caracterizam o material e desenvolvem novas tecnologias de processamento.

Manhães (2008), citando outros autores, diz que o decréscimo da oferta dos recursos florestais nativos, o aumento da população e o desenvolvimento de indústrias que demandam muita madeira têm chamado atenção para alternativas viáveis para o suprimento destes recursos. Uma das soluções empreendidas no Brasil, através da Lei 5106/66 (Programa Nacional de Reflorestamento), foi a dos incentivos

aos empreendimentos florestais, alavancando o setor de reflorestamento no país, principalmente das espécies *Eucalyptus* e *Pinus*. O objetivo principal deste programa era o suprimento de madeira, principalmente para o setor de papel, móveis, construção e energia para fins industriais. Atualmente as florestas plantadas no Brasil chegam a 5,6 milhões de hectares.

Pinus e eucalipto são muito utilizados em programas de reflorestamento, devido a sua taxa de crescimento rápido e as propriedades de sua madeira. Entretanto, ainda não há madeira disponível suficiente e as florestas nativas continuam sendo desmatadas com pouco controle e fiscalização. Outra solução possível é a substituição da madeira de árvores, por materiais não convencionais no Brasil como a madeira de bambu, denominada como “madeira do futuro” por Graça (1988).

Há um movimento crescente de pesquisa no Brasil, estudando o bambu. Devido as suas características, o bambu é um material adequado para compor com *pinus* e eucalipto, na busca de soluções tecnológicas que gerem uma alternativa para a demanda. Aspecto de fundamental importância é o fato de algumas espécies de bambu como o *mossô* e o *giganteus*, serem recursos madeiráveis com elevada produção de massa por área por ano (OSTAPIV, 2008), apud (CHUNG 2003).

Pereira et al (2003), citando vários autores, afirma que historicamente o bambu tem acompanhado o desenvolvimento do ser humano, fornecendo alimento, abrigo, calor e uma infinidade de outros itens. Hoje em dia continua sendo muito utilizado, especialmente na Ásia, onde contribui para as necessidades de sobrevivência e desenvolvimento de mais de um bilhão de pessoas. A partir dos anos 80, especialmente na China, houve uma intensificação do uso do bambu em diversas áreas industriais, tais como: alimento, celulose e papel, Engenharia, química e produtos a base de bambu laminado colado entre outros.

Para se avaliar a dimensão do mercado desta matéria prima, segundo MOFCOM (2006), apud Ostapiv et al (2007), existem mais de 10.000 empresas processando bambu na China, sendo em torno de 100 de médio e grande porte, produzindo pisos laminados. O autor afirma ainda que de 50% do papel produzido na Índia a matéria prima é a partir do bambu.

Yu (2007), afirma que no contexto industrial este excelente material natural não pode ser utilizado ao longo da história em toda sua potencialidade devido a sua forma

irregular, sua estrutura não homogênea e variação de suas propriedades. Fatores estes que dificultam seu processamento por máquinas padronizadas. Também cita que por ser tradicionalmente trabalhado de forma manual e imprecisa, sem desenvolvimento tecnológico, o bambu foi tachado de “material pobre”.

A industrialização deste material pressupõe resolver os problemas anteriormente citados dentro de um contexto industrial. Indústrias voltadas ao processamento de bambu são consideradas estratégicas para o desenvolvimento de economias locais, em vários países tropicais em desenvolvimento onde este recurso florestal é abundante. Através da industrialização são produzidos diversos produtos padronizados, principalmente para substituir de forma econômica madeiras duras. Por outro lado vale lembrar que na industrialização o bambu perde parte de sua natural qualidade estrutural.

Beraldo et al (2008), Polucha et al (2007), Silva et al (2004) e Zang et al (2001), em seus estudos, mostram a dificuldade da produção de lâminas e ripas nas operações iniciais (primárias). Além disso, apontam para a falta de equipamentos adequados para processar a particular geometria e anatomia do bambu. Decorrendo disso muito da ausência de processos produtivos eficientes no trato do bambu.

Beraldo et al (2003), afirmam que a escassez dos recursos naturais, associada ao desenvolvimento de novas tecnologias, vem incentivando pesquisas com materiais alternativos, visando à preservação da natureza e a melhoria da qualidade de vida do homem. As boas características físicas do bambu, bem como sua forma tubular peculiar, seu baixo custo e a facilidade para a sua obtenção, o tornam largamente utilizado como material de construção “in natura”, em vários países nos quais cresce com abundância.

O bambu, no entanto, apresenta várias limitações para seu emprego em construções devido à sua geometria particular, pois os colmos se assemelham a longos troncos de cone, de pequena espessura das paredes (variável ao longo da altura do colmo) e com muitos nós, os quais representam pontos de menor resistência mecânica.

No Brasil ocorrem 325 espécies de bambu, das 1200 catalogadas no mundo, e entre estas o *Dendrocalamus giganteus* (bambu gigante), planta com potencial econômico adequado à produção de produtos industrializados, tais como o bambu

laminado colado (BLC). Um fator limitante para a produção em escala industrial de painéis e outros produtos sarrafeados ou laminados colados refere-se, como foi citado anteriormente, à inexistência de equipamentos apropriados para realizar a “laminação” das taliscas, ripas ou sarrafos de bambu. Polucha et al (2006), em seus experimentos, desenvolvendo produtos voltados a sustentabilidade, usando laminados de bambu em composição com outros materiais, afirma que o bambu recomposto apresenta um bom resultado, tanto estético quanto estrutural, porém é necessário o prosseguimento das pesquisas para facilitar produção em escala comercial. Com relação ao bambu, afirma o autor, é preciso buscar maiores informações sobre o maquinário produzido em outros países para a confecção das lâminas, ou a adaptação do maquinário existente no Brasil.

Baseado nestas considerações evidencia-se o pouco uso econômico desta matéria prima no Brasil apesar de sua ampla disponibilidade no território nacional, especialmente na região do Alto Amazonas, no estado do Acre, (OSTAPIV et al, 2009). Segundo Espírito Santo et al (2003), Nelson e Bianchini (2005), citando outros autores, a população de bambu domina grandes porções de florestas tropicais, principalmente na Amazônia Ocidental. Estes autores, afirmam que foram observados cerca de 121.000 km² de florestas dominadas por essa tipologia, em 15 imagens Landsat TM (“Thematic Mapper”), entre 7° a 11° de latitude sul e 66° a 74° de longitude oeste. Desta área, 92.000 km² estão localizadas no Estado do Acre, representando 76% da área total.

2.2 CARACTERÍSTICAS, PROPRIEDADES MECÂNICAS, ANATOMIA E GEOMETRIA DOS COLMOS

Chung (2003), explica que o bambu pertence à família das gramíneas, subfamília *bambusoideae*. Silva, Ghavami e Almeida (2004) afirmam que a madeira de bambu pode ser considerada como um material compósito natural, no qual a lignina atua como matriz e as fibras de celulose como reforço. A lignina é um armazenador de energia sendo responsável pela transferência de tensões entre as fibras. As fibras de celulose promovem grande resistência à tração, à flexão e rigidez na direção longitudinal do bambu. A fração volumétrica destas fibras varia ao longo da seção transversal do bambu, sendo que na parte mais externa a fração volumétrica

é maior em relação à parte mais interna. Quando a seção transversal do bambu é cortada vários pontos de cor escura podem ser observados. Estes pontos são feixes de fibras circundados por canais vasculares.

A estrutura anatômica da seção transversal é determinada pelo formato, tamanho, disposição e número de canais vasculares. Estes são compostos por tecidos ditos mecânicos, os quais são formados por fibras e por vasos condutores sendo estes formados por dois vasos, o metaxilema e o floema, e pela protoxilema que são as artérias principais. Os vasos vasculares são cercados por células parenquimatosas. A espessura da parede do colmo decresce da base até o seu topo devido a redução de sua parte interna contendo mais vasos parenquimáticos e menos vasos vasculares. A parte superior do colmo que contém mais vasos vasculares e menos parenquimáticos, possui maior densidade. Assim, as resistências à tração e à flexão aumentam com o aumento da altura do bambu (SILVA, 2004).

Apresentam-se na Figura 2.1 as principais características geométricas e anatômicas do bambu de interesse desta pesquisa.

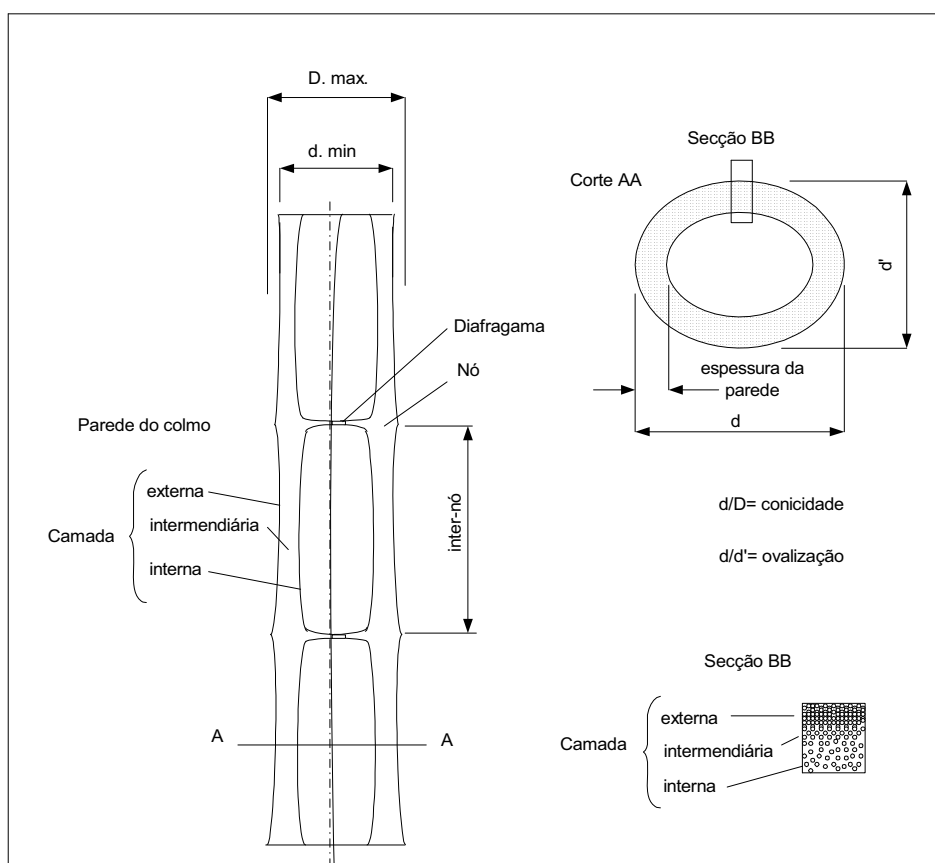


Figura 2.1- Geometria e estrutura simplificada de um colmo.

Também cabe lembrar, como forma de padronização no desenvolvimento deste trabalho, quando necessário se usará a notação apresentada na Figura 2.2, para relativizar o movimento da ferramenta e posicionar geometricamente produtos ou laminados em relação às fibras do bambu, onde:

- Lr = Plano radial, perpendicular às fibras;
- Lt= Plano tangencial, perpendicular às fibras;
- La= Plano longitudinal, paralelo às fibras.

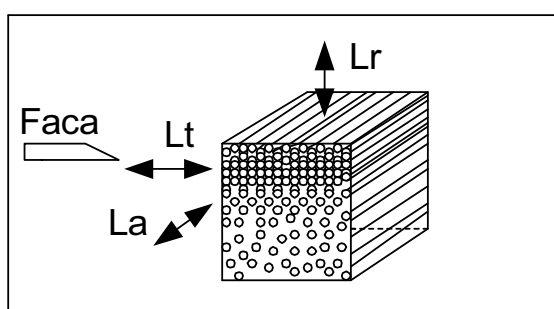


Figura 2.2. Notação dos planos.

2.2.1 Espécie *Dendrocalamus giganteus*

Esta espécie foi escolhida para esta pesquisa por apresentar características interessantes tanto para a laminação como para o cultivo.

Pereira et al (2007), apresenta esta espécie entre as mais de 1000 citadas na literatura como sendo uma das prioritárias para a implementação de reflorestamentos e exploração comercial. Apesar de exótica, esta espécie está presente e aclimatada em várias regiões do Brasil e pelo seu porte apresenta alto rendimento volumétrico por área plantada.

A grande espessura de parede do colmo, um dos maiores diâmetros de colmo das espécies de bambu, que facilmente pode chegar 160 mm na região da base e a razoável linearidade longitudinal dos colmos, sinaliza esta espécie como apropriada à laminação. Além disso, esta espécie já está sendo estudada no Brasil há alguns anos por vários pesquisadores sendo que muitas de suas propriedades já foram determinadas.

a) Características da espécie

Garbino et al (2004), baseado em suas pesquisas e corroborando com outros autores, afirmam que embora haja atualmente um grande avanço nas pesquisas sobre o bambu, a elaboração de normas específicas e metodologias apropriadas para caracterização das propriedades físicas mecânicas e o desenvolvimento de técnicas industriais de processamento das espécies de bambu, ainda é incipiente no país. Em função disto estes autores propuseram procedimentos de ensaio e metodologia para a preparação de amostras, visando à determinação de algumas propriedades físicas do bambu.

Devido à grande variabilidade das características físicas mecânicas, dentro de um mesmo colmo, e entre diferentes colmos, é fundamental o estabelecimento de normas e procedimentos, como os propostos por Garbino et al (2004). São necessários e fundamentais para o estabelecimento de referenciais para o desenvolvimento de tecnologias voltadas a uso racional desta matéria prima. Estes autores apresentam dados e comentários sobre algumas propriedades como densidade, teor de umidade e estabilidade dimensional para o *Dendrocalamus giganteus*.

- Densidade: Para as amostras sem nó, a faixa de variação da densidade apresentou-se entre 0,53 g/cm³ a 0,59 g/cm³ em relação às idades estudadas, implicando o período de amadurecimento das moitas no acréscimo gradual da densidade básica. O mesmo ocorreu para as amostras com nó, com valores maiores, situados entre e 0,61 g/cm³ a 0,72 g/cm³. Ambos intervalos estão compreendidos entre a variação de 0,50 g/cm³ a 0,80 - 0,90 g/cm³, descrita por outros autores;
- Teor de umidade: Em concordância com as investigações de outros autores, os resultados confirmaram um decréscimo gradual do teor de umidade quanto maior a altura da localização das amostras no colmo. Quanto à idade do colmo, o teor de umidade das amostras apresentou pequena variação, entre 87% a 98% para amostras sem nó, 66% a 75% para amostras com nó e foi sempre menor para as amostras com nó para todos os anos investigados;
- Estabilidade dimensional – Retração e Inchamento: Os resultados mostram que houve tendência de ocorrer maior retração quanto menor a altura da

localização das amostras no colmo confirmando os resultados obtidos por outros autores, que concluíram que as maiores retrações ocorrem na parte basal, coincidentes com o maior teor de umidade do colmo. Em relação à idade, a retração ocorreu em menor intensidade nos colmos mais velhos, tanto para amostras sem nó, quanto para as com nó.

Verificou-se que, para amostras sem nó, a retração tangencial considerada maior pela literatura não apresentou diferenças significativas se comparada à retração radial.

Para as amostras com nó, as retrações em todas as direções foram menores se comparadas com as sem nó, e a retração tangencial foi maior para todos os anos investigados.

Para as amostras sem nó, os valores de retração ficaram compreendidos entre 7,11% a 11,44% na direção radial e 6,11% a 11,78% na direção tangencial.

Para as amostras com nó, entre 1,56% a 5,67% na direção radial e entre 4,67% a 8,78% na direção tangencial. Esses valores são próximos dos apresentados por outros autores, segundo Garbino (2004). A retração axial se apresentou inexpressiva ou nula para todas as situações.

Para as amostras sem nó, os valores de inchamento ficaram compreendidos entre 3,89% a 8,67% na direção radial e entre 4,56% a 8,33% na direção tangencial. Para as amostras com nó, entre 2,67% a 4,33% na direção radial e entre 4,78% a 7,22% na direção tangencial.

Gonçalves et al (2000), estudando algumas características do *Dendrocalamus giganteus*, apresenta os seguintes resultados, Quadro 2.1 e Quadro 2.2.

Quadro 2.1- Propriedades do bambu *dendroccalamus* laminado colado, adaptado de Gonçalves, 2000.

BAMBU LAMINADO COLADO	
Ensaio	Resistência (MPa)
Dureza	352
Compressão paralela às fibras (La)	55
Compressão normal às fibras (Lr)	18
Tração paralela às fibras (La)	195
Tração normal às fibras (Lr)	2,5
Cizalhamento	10
Flexão	166

Quadro 2.2- Propriedades do bambu *dendrocalamus* serrado. Gonçalves, 2000.

BAMBU SERRADO	
Ensaio	Resistência (MPa)
Compressão paralela às fibras	89
Tração paralela às fibras	161
Flexão	298
Resistência ao impacto na flexão	137 KJ/m ²

Para finalizar este tópico, entende-se que, para efeito de padronização, no futuro será necessário uma discussão sobre as diversas terminologias de lâminas, sarrafos e laminados de bambu. Existem divergências de nomenclatura na literatura pesquisada, sendo que em alguns casos, o que alguns autores no Brasil denominam de bambu laminado, as normas para madeiras (NBR 7203 e NBR 14807) classificam como bambu sarrafeado ou ripado, dependendo de suas dimensões.

2.3 PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DE BAMBU

O interesse específico deste trabalho é o processamento mecânico primário de bambu através da laminação por torneamento, determinando os principais esforços de corte para uma geometria específica de ferramenta, bem como os parâmetros do processo.

Antes, porém, cabe uma análise global do processamento e das aplicações dos colmos de bambu. Verificando a Figura 2.3, apresentada por Yu (2007), que revisou em sua tese as aplicações e processos desta matéria prima com ênfase no design, pode ser verificado que a idéia usual para a produção de lâminas e peças delgadas é baseada no seccionamento de colmos por *splitter* (seccionamento longitudinal) ou serra e processos posteriores.

Este autor faz uma revisão global do processamento de bambu e sequer cita a laminação por torneamento como possibilidade primária de industrialização do bambu. Evidenciando com isto, que até o ano de 2007 (data da publicação do referido autor), este processo não era expressivo como possibilidade de produção de lâminas de forma eficiente mesmo em países como a China, notoriamente reconhecido como vanguarda no processamento de bambu.

Interessante ressaltar ainda, segundo apresenta Yu (2007), o bambu tem uma ampla gama de aplicações, podendo ser utilizado como alimento, vestuário, utilidades

domésticas, indústria de papel e química, móveis, pisos, reforço de concreto, entre outras aplicações, Figura 2.3.

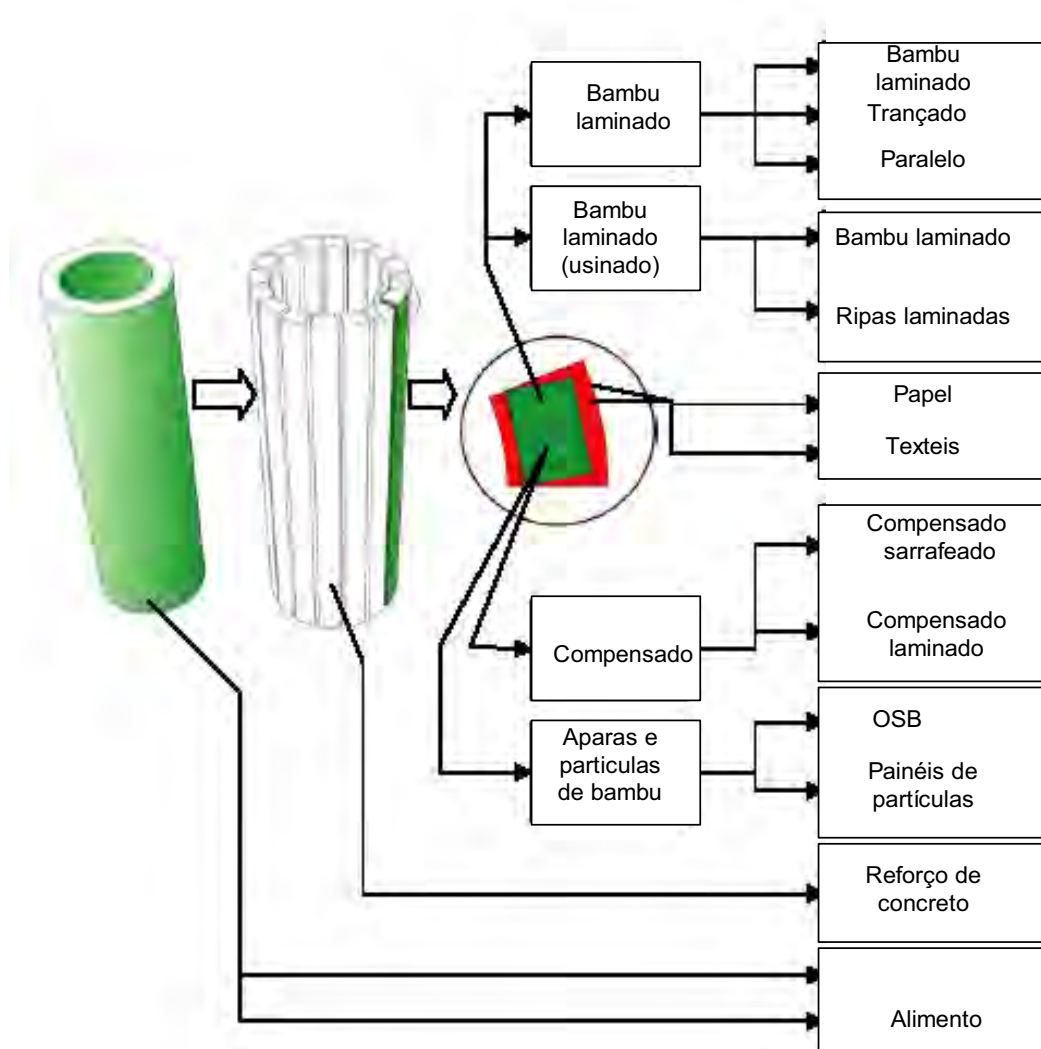


Figura 2.3- Produtos industrializados de bambu, adaptado de Yu, 2007.

Baseado na literatura apresentada por Yu (2007), Zang et al (2001), Ostapiv (2007), Marinho (2007), Hidalgo (2001), Hayashi et al (1986) e dados da Indústria Chin Yung Bamboo Co, foram realizadas as composições apresentadas nas Figuras 2.4 e Figura 2.5.

Nestas figuras relacionam-se processos viáveis para a transformação de colmos de bambu (já consagrados ou em estudo), dando ênfase ao processamento primário e a suas diversas variações, em função do produto objetivo.

Na primeira seqüência de processos, bambu “laminado” usinado, item 1 da Figura 2.4, o serramento longitudinal é a base inicial da transformação dos colmos em tiras ou taliscas. Estas, depois de passar por fresamento e aplainamento são transformadas em ripas de pequenas dimensões.

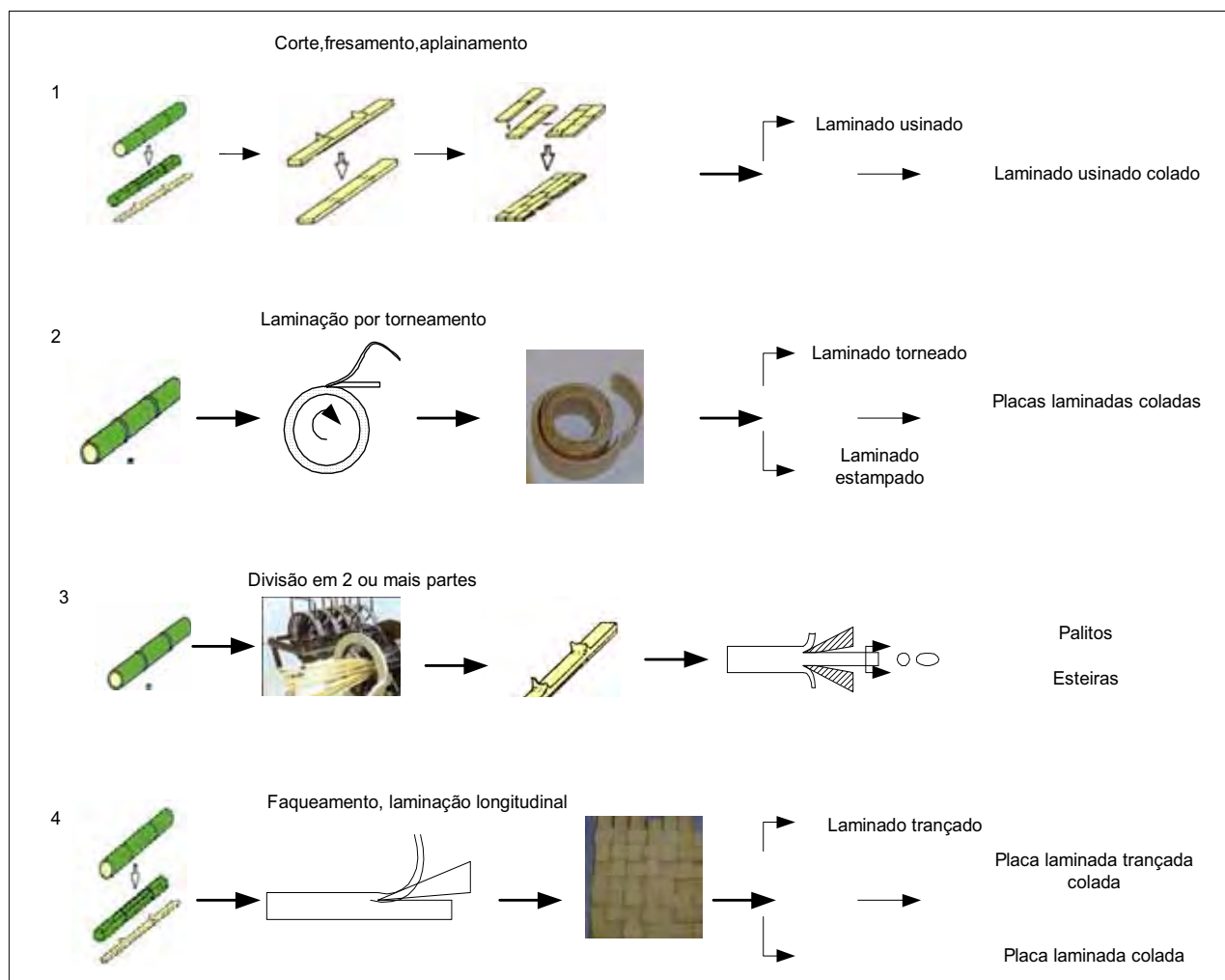


Figura 2.4- Possibilidades de processar industrialmente bambu (I).

Estas ripas, secas, tratadas, coladas e prensadas formam peças maiores para só então, serem processadas por máquinas tradicionais da indústria de madeira, compondo produtos finais tais como assoalhos, móveis entre outros produtos.

Uma das possibilidades então, é a transformação destes blocos em lâminas através de faqueamento alternativo em máquinas faqueadeiras, ou, pode ser feita a laminação destes blocos reconstituídos em torno laminador tradicional, processo abordado mais à frente.

Da Figura 2.4, item “1”, denota-se que o faqueamento e a laminação do bambu nestes casos não são processos primários, pois, os colmos passam por uma série de outros processos anteriores. Esta abordagem é distinta da desenvolvida neste trabalho.

A segunda seqüência de processo, item 2 da Figura 2.4, está baseada na laminação por torno laminador. Neste caso fica evidente o menor número de processos necessários para a obtenção de uma lâmina fina e contínua. Este é um indicativo que este processo pode permitir a simplificação da industrialização do bambu.

A terceira seqüência de processos, item 3 da Figura 2.4, apresenta o seccionamento longitudinal e obtenção de um perfil transversal uniforme do formato da ferramenta. Esta cadeia de processos é usada para a fabricação de esteiras, persianas e produtos trançados e ou costurados.

A quarta seqüência de processos, item 4 da Figura 2.4, apresenta o processo “*splitter*” como base para a produção de laminados que depois podem se trançados e ou colados formando painéis diversos. Note-se que este processo a ferramenta secciona o bambu longitudinalmente seguindo a orientação das fibras.

Na quinta seqüência de processos, item 5 da Figura 2.5, ilustra-se uma técnica apresentada por Hayashi et al (1986), usada para produzir um produto denominado *Zephir*.

Neste processo, troncos de madeira com pequeno diâmetro são prensados por rolos desagregando longitudinalmente as fibras da madeira, que depois são aglutinadas por adesivo e prensadas em uma forma geométrica regular. Entende-se este processo como umas das possibilidades reais para se produzir painéis de bambu apesar de não ser a este material citado no referido artigo.

A sexta seqüência de processos, item 6 da Figura 2.5, mostra a produção de painéis de bambu pela aplicação de calor e pressão em segmentos de colmos, onde previamente foram recortadas e suprimidos os nós internos e externos.

Este método é apresentado por Hayashi (1986), como sendo uma das possibilidades promissoras para a produção industrial de painéis no Japão.

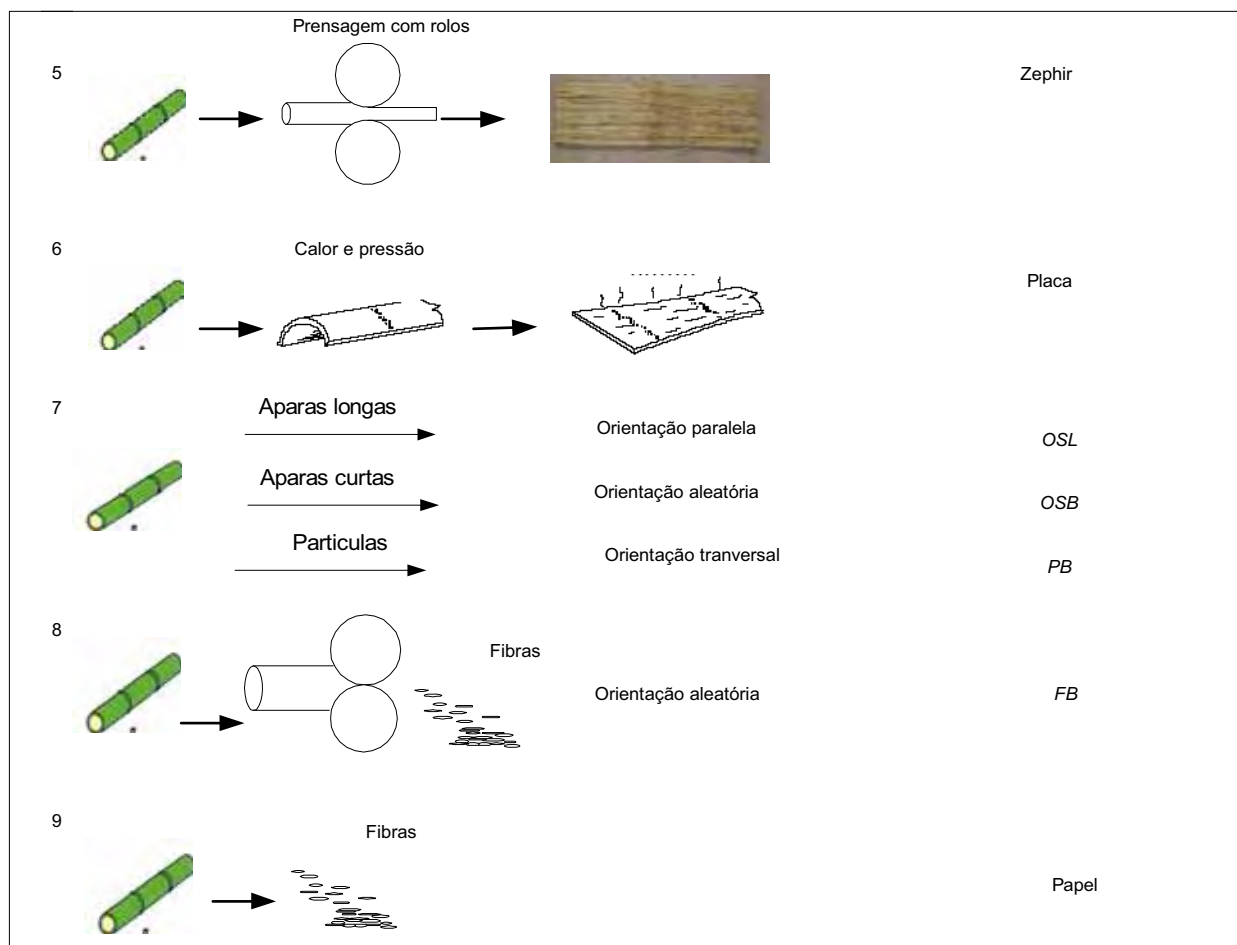


Figura 2.5- Possibilidades de processar industrialmente bambu (II).

A sétima seqüência de processos, item 7 da Figura 2.5, representa a produção de painéis *OSB* (*Oriented Strand Board*), *OSL* (*Oriented Strand Lamber*) e *PB* (*Particle Board*) pela aplicação de aparas ou partículas de bambu. Picadores transformam colmos em aparas de diversos tamanhos, que depois são misturadas a adesivos e prensadas com ou sem orientação formando diversos produtos, sob a forma de painéis mais ou menos delgadas. Atualmente vários trabalhos direcionam suas pesquisas para esta tecnologia.

A oitava seqüência de processos, item 8 da Figura 2.5, ilustra a produção por meios mecânicos de aglomeração de fibras que depois de agregadas e prensadas formam placas do tipo *Fb* (*Fiber board*).

A nona seqüência de processos, item 9 da Figura 2.5, ilustra o desfibramento mecânico e químico característicos do início da fabricação de papel.

A empresa brasileira Itapagé, produz no nordeste do Brasil papel de bambu, tendo mais de 100.000 hectares plantados de *Bambusa vulgaris*. Espécie considerada

por esta empresa como de boas características para este fim. Esta empresa apresenta vários dados sobre o cultivo do bambu, denotando-se que em média, com dois anos e meio este está apto para o processamento.

Portanto segundo esta empresa, este é um cultivo muito mais rápido que qualquer outra espécie de madeira reflorestada. Este é o único exemplo de indústria brasileira que processa bambu e, interage em todas as etapas da cadeia produtiva, em escala industrial de grande porte atuando desde o plantio até o processamento final.

As seqüência produtivas 7, 8, e 9, da Figura 2.5, de um modo geral são viáveis para grandes empreendimentos, sendo que esta constatação pode mudar em função do desenvolvimento de novas tecnologias e processos.

As seqüência produtivas 1, 2 e 4, da Figura 2.4, são as mais adequadas para a produção de lâminas, painéis e produtos laminados em pequena ou larga escala e, todas são baseadas na usinagem inicial dos colmos.

O processo apresentado no item 2, será analisado com ênfase neste trabalho e comparado aos processos tradicionais usados para a produção de lâminas, apresentados nas seqüência um e quatro da Figura 2.4.

2.4 LAMINADOS DE BAMBU

Existem algumas variações no processamento para a obtenção de lâminas delgadas de bambu.

A seguir serão analisadas as seqüências de processos para se obter dois tipos de laminados usinados e comparados à laminação por torneamento, pois estes sistemas competem entre si como possibilidades de processamento de colmos de bambu.

Compilando as informações apresentadas por vários autores, entre eles Yu (2007), Zang et al (2001), Marinho (2007), Lopez (1974) e imagens do catálogo de produtos de Chin Yung Bamboo&Wood Co. Ltd, fabricante de máquinas para processar bambu, foram formatados os quadros do processo produtivo para a obtenção e colagem de lâminas, como apresentado nas figuras 2.6, 2.7 e 2.10.

a) Bambu Laminado Colado

Para produção de painéis de bambu laminado colado, como ilustrado na Figura 2.6, primeiramente o bambu é cortado transversalmente em comprimentos definidos e removidos os nós externos, sendo depois seccionado longitudinalmente (por serra ou por “*splitter*”).

Na seqüência, são removidos os nós internos e é definida a forma geométrica por fresamento ou por corte com serras, sendo então tratado e seco para depois ser aplainado de forma a se obter uma peça regular em espessura e largura.

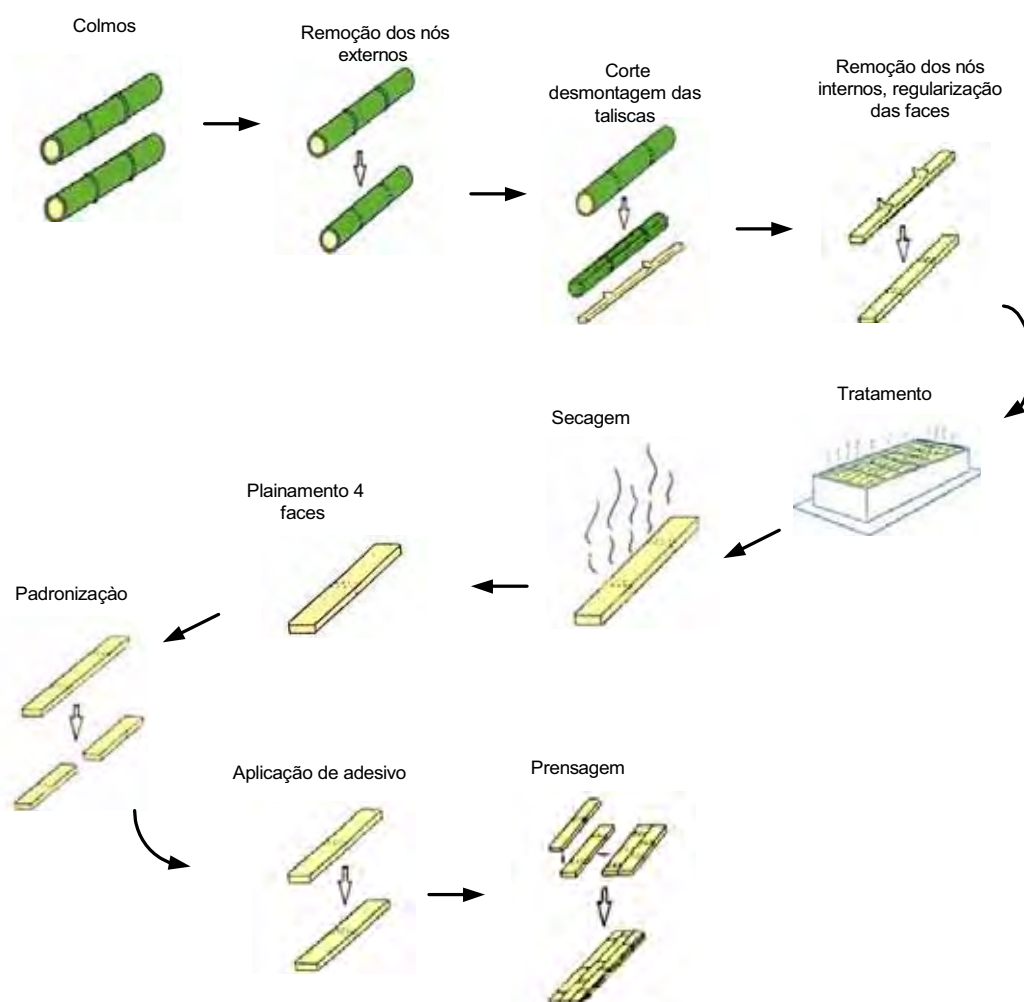


Figura 2.6- Processos para produção de laminado colado. Adaptado de Chin Yung Bamboo & Wood Co.

Finalmente estas lâminas ou ripas (dependendo da dimensão) são unidas com o uso de adesivos e prensadas a quente formando blocos reconstituídos de bambu.

A prensagem normalmente é efetuada em dois planos diferentes para que haja compactação do material formando blocos com o menor volume possível de vazios.

Os blocos ou painéis obtidos, em função de sua aplicação podem ser um produto final ou podem passar por processos posteriores tais como: lixamento, aplicação de verniz ou ainda ser fatiados ou torneados em lâminas finas.

Cabe lembrar, que uma série de outros processos intermediários podem ser necessários em uma linha de produção industrial, dependendo do equipamento utilizado e dos objetivos específicos a serem alcançados.

b) Bambu laminado trançado colado

O processo de fabricação de bambu laminado trançado colado (Figura 2.7) é consagrado na Índia e na China para a obtenção de painéis de bambu.

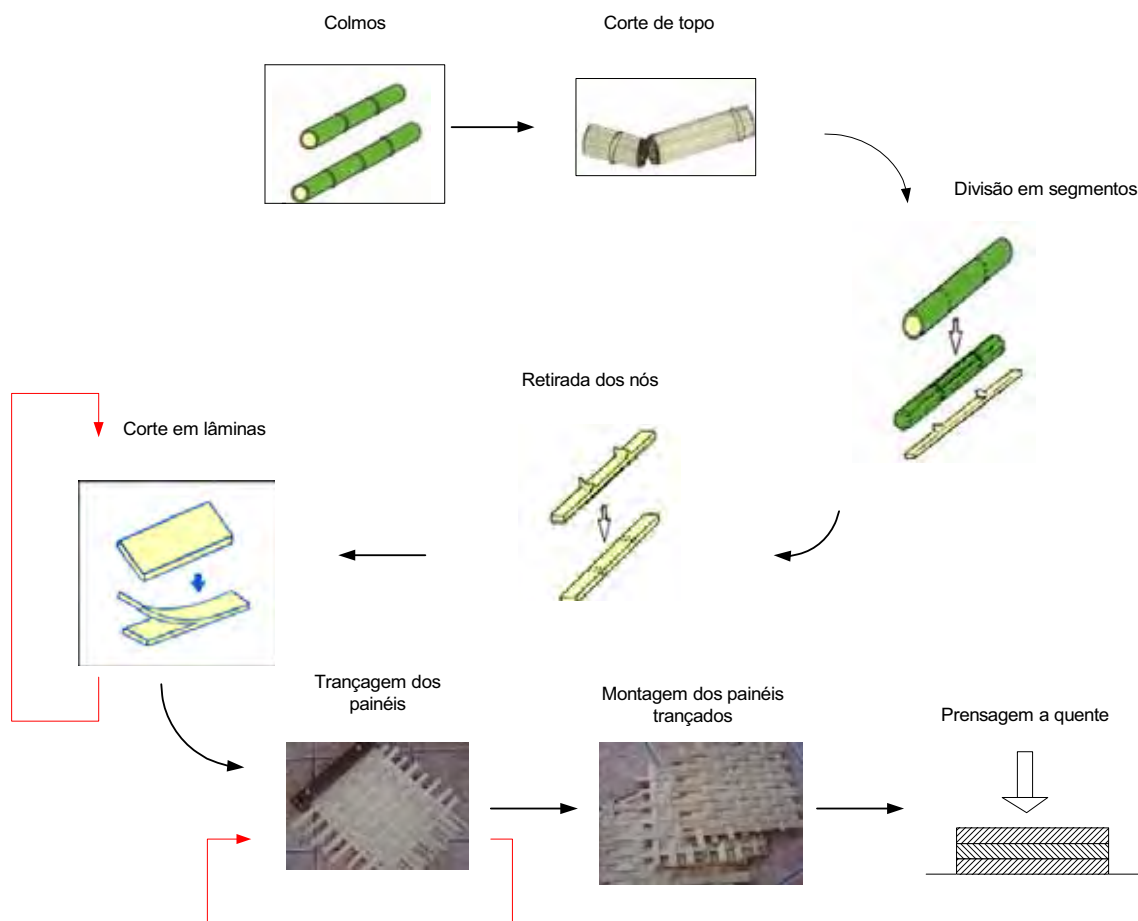


Figura 2.7 Processos para painel laminado trançado colado.

Este processo consiste no uso de ripas de bambu cortadas por serra ou seccionadas a partir de um colmo, por uma faca multicorte com disposição radial (popularmente conhecida como faca estrela), que posteriormente são seccionadas longitudinalmente em tiras finas que são então trançados em desenhos diversificados, formando mantas.

Estas mantas são prensadas a quente, após a aplicação de adesivos, compondo uma espécie de painel compensado. Estes painéis são confeccionados com três ou mais lâminas, podendo ainda ser moldados, formando relevos com fins estéticos ou estruturais dependendo da aplicação.

Ainda na Figura 2.7 se verifica de forma esquemática, que uma das principais etapas deste processo produtivo é a obtenção das lâminas a partir de uma ripa, operação esta repetitiva e que demanda tempo e dificulta a automatização. Aliado a isto a montagem das mantas também utiliza muita mão de obra por ser uma operação de difícil mecanização.

Se por um lado este processo não é produtivo por demandar muita mão de obra, por outro lado, esta grande demanda de atividade manual pode ser utilizada como um dos vetores para implementação de empreendimentos industriais de cunhos sociais, favorecendo grupos ou regiões com carência de empregos.

Os painéis de bambu laminado trançado colado tem diversificadas aplicações tais como a produção de telhas, paredes, portas internas de residências e fabricação de móveis. No caso de produtos para uso externo, como as telhas, o painel é prensado com um filme plástico em um dos lados, para que se obtenha a impermeabilização.

O processo de fabricação destas lâminas e a confecção de painéis com mantas trançadas, investigado por Marinho et. al., (2007), utilizou em uma das etapas uma máquina de laminação longitudinal, desenvolvida por Salamon, Vale e Trinkel (2007), na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

Na Figura 2.7 é apresentado laminador longitudinal em operação em um dos ciclos de produção de lâminas.



Figura 2.8- Laminador longitudinal desenvolvido na UTFPR.

Na Figura 2.9, à esquerda (A) vemos uma manta trançada produzida com lâminas longitudinais e à direita (B) o produto final, um painel de mantas já coladas e prensadas a quente.

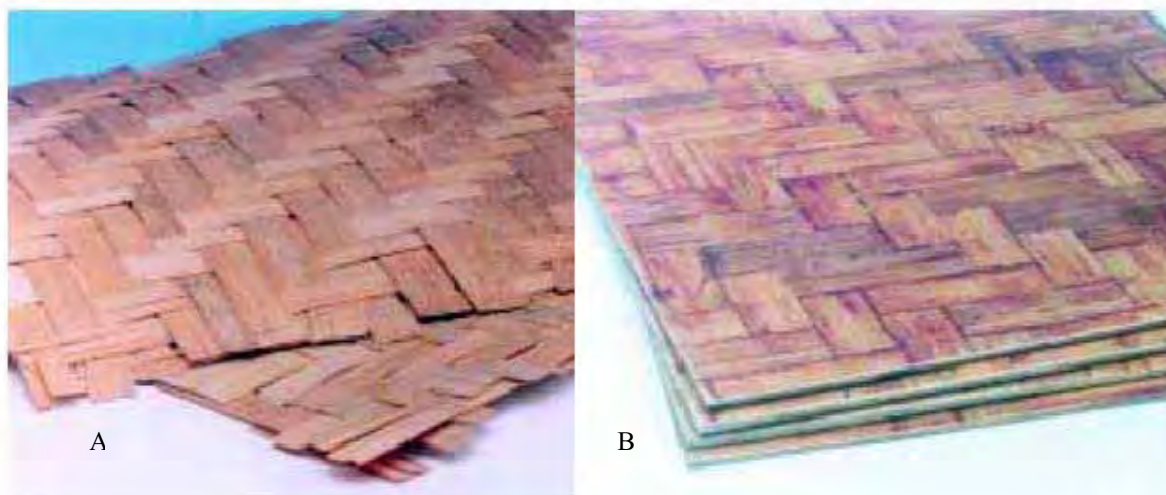


Figura 2.9- Bambu laminado trançado (A). Painel de bambu laminado trançado colado (B). (YU, 2007).

c) Bambu laminado por torneamento

No quadro apresentado na Figura 2.10 verificam-se as etapas de processo deste sistema de obtenção de lâminas delgadas largas e contínuas utilizando torno laminador.

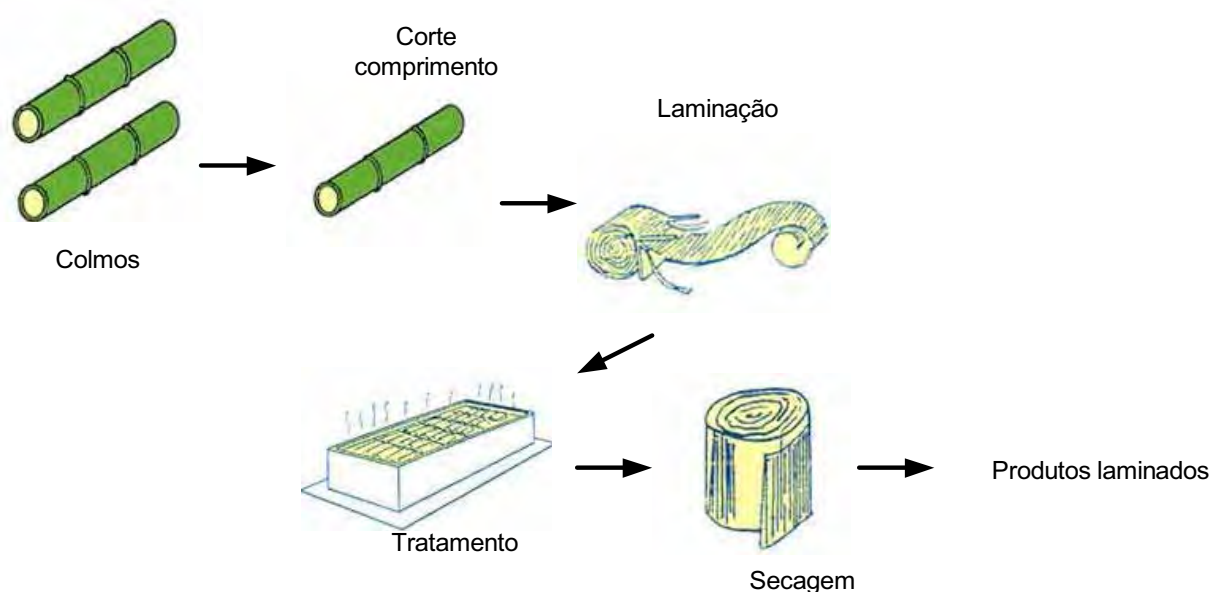


Figura 2.10- Cadeia de processos para produzir laminas de bambu por torneamento. Adaptado de Chin Yung Bamboo & Wood Co.

Os colmos, inicialmente, são cortados em comprimento de forma a se adaptar ao torno laminador e em seguida são processados obtendo-se lâminas que são tratadas e secas para então serem aplicadas a produtos ou novos processos.

Mesmo que seja necessário acrescentar nesta cadeia produtiva o processo de cozimento inicial dos colmos e o processo de corte após a laminação, o número total das etapas ainda é baixo e as operações, pela sua natureza razoavelmente contínua e fácil de mecanizar, não exigem grande quantidade de mão de obra se comparados aos sistemas anteriormente explanados. Sinalizando (em teoria) a laminação como processo atrativo para industrializar bambu, considerando apenas a possibilidade de otimização do processo produtivo.

2.5 FUNDAMENTAÇÃO DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO POR TORNEAMENTO

Como há pouca disponibilidade de referências sobre a teoria de laminação por torneamento de bambu, o desenvolvimento deste trabalho baseou-se em dados de laminação de espécies de madeiras, por estas apresentarem uma certa relação ao bambu, em sua estrutura anatômica (apesar deste ser uma monocotiledônea) e em algumas características e propriedades.

Comparando madeira e bambu em relação à densidade verifica-se que este se situa entre as folhosas de média densidade e analisando os dados apresentados anteriormente da espécie *Dendrocalamus giganteus*, verifica-se semelhança na variação da resistência em relação à orientação das fibras.

Para a obtenção de lâminas delgadas de espécies de madeiras folhosas ou coníferas, existem dois processos distintos e consagrados na indústria: o faqueamento (aplicação de plaina faqueadeira) e a laminação por torneamento (aplicação de torno laminador).

No processo de faqueamento, as lâminas são obtidas pelo movimento alternativo de uma faca de corte contra uma peça de madeira. Como este trabalho não se direciona a obtenção de lâminas por faqueamento, este processo não será abordado de forma mais ampla.

Na laminação por torneamento é imprimido um movimento rotativo na peça contra uma faca e barra de pressão, produzindo-se uma lâmina contínua e de espessura definida pela geometria e regulagem das ferramentas.

Como ocorre o movimento contínuo da faca no sentido Lt (comentado na seção 2.2, ver Figura 2.2), este processo configura-se econômico em relação à energia necessária para se obter a lâmina da peça em processo.

Para a compreensão de forma precisa deste processo de laminação, temos que considerar que para as madeiras, em razão do ordenamento de suas fibras, vasos e raios, as propriedades mecânicas variam consideravelmente em relação à direção considerada.

McKenzie, (apud GONÇALVES, 2000), propôs a padronização específica de planos de corte empregados na usinagem de madeiras, conforme ilustrado na Figura 2.11.

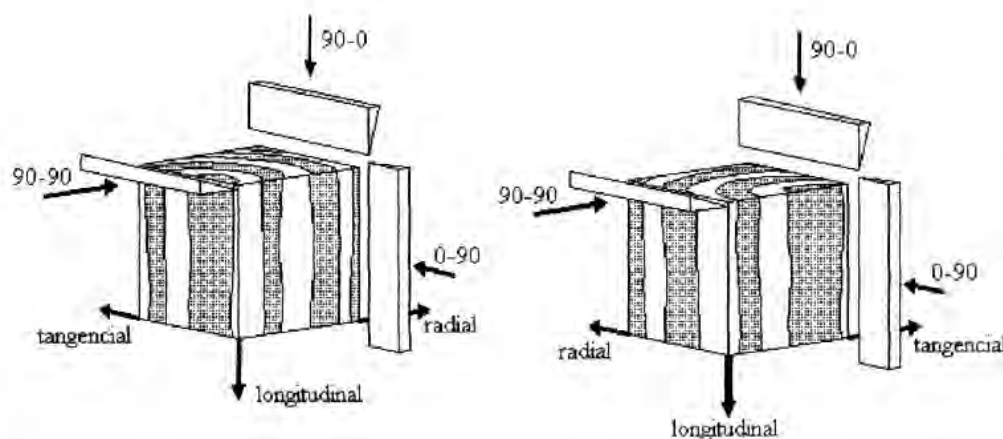


Figura 2.11- Sistemas de corte com relação à seção transversal da madeira. Gonçalves, 2000.

De acordo com esta padronização, no caso da laminação considera-se a notação de corte 0-90, pois o movimento da aresta da faca é tangencial aos anéis de crescimento e o movimento de avanço é radial em relação a peça. Estas considerações servem também para o bambu, que apesar de ser uma espécie monocotiledônea, suas fibras e vasos caracterizam-se como nas madeiras.

Os principais ângulos e geometrias do processo de laminação por torneamento são apresentados na Figura 2.12 (SUCHSLAND et al,1978)

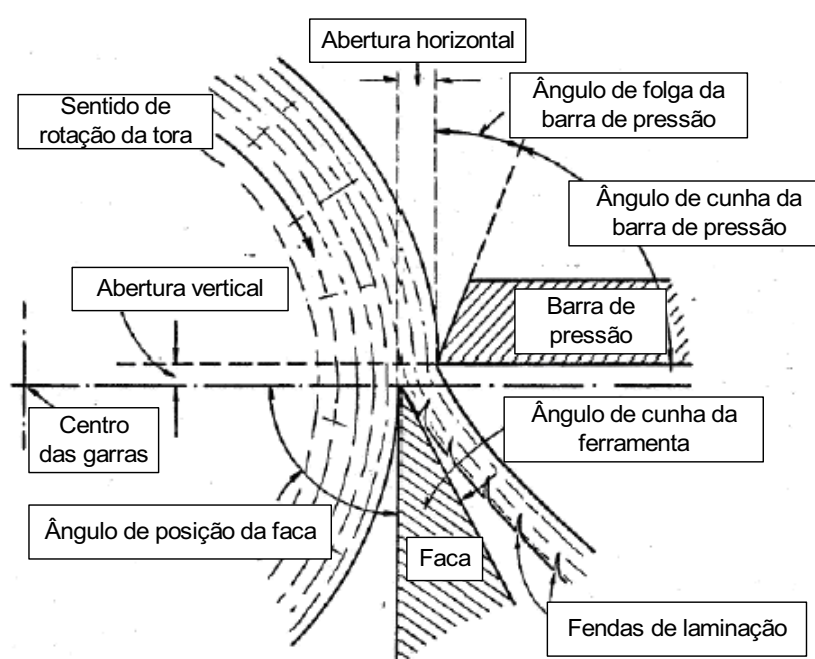


Figura 2.12- Relações geométricas entre peça, faca e barra de pressão fixa. (SUCHSLAND et al,1978).

Desta figura cabe salientar a presença de uma barra de pressão, diferenciando este de todos os outros processos de corte de madeira.

As normas de usinagem apresentam três ângulos característicos da cunha de corte da ferramenta e encontramos estes ângulos também no caso da laminação por torneamento, quais sejam: Ângulo de cunha, ângulo de saída e ângulo de folga ou incidência. Por convenção internacional a soma destes três ângulos é 90° (CTBA, 1996).

A função principal da barra de pressão é estabilizar o processo, comprimindo a madeira logo à frente do gume de corte da faca permitindo a ocorrência de lâminas com qualidade dimensional em espessura.

Uma variação desta barra de pressão, conforme apresentado na Figura 2.13, é o seu formato cilíndrico, permitindo movimento rotativo.

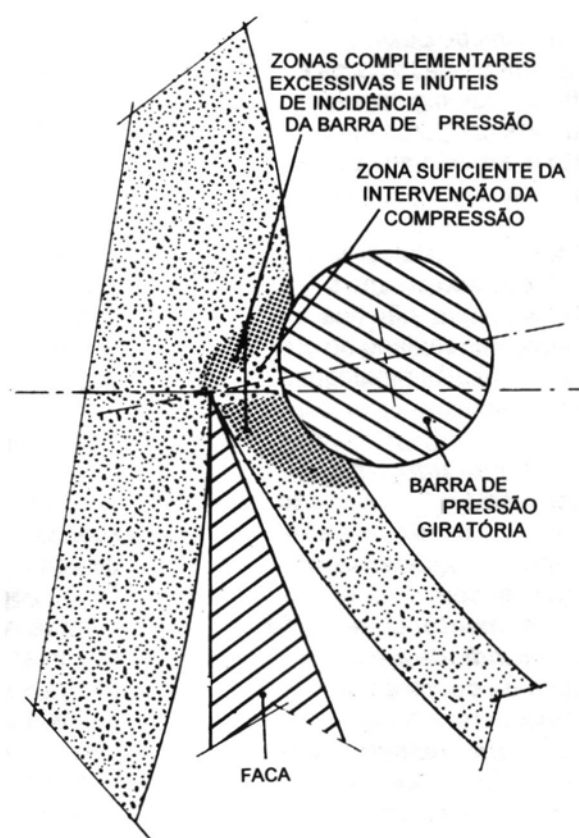


Figura 2.13- Laminação com barra de pressão giratória. (CTBA, 1996).

Segundo diversos autores, este formato de barra diminui o torque necessário para acionar a peça em processamento pela diminuição do atrito entre os componentes com movimento relativo. Apesar desta vantagem evidente, o uso da

barra de pressão cilíndrica é defendido por alguns pesquisadores e criticada por outros. Se por um lado há economia de energia, por outro lado, sua regulação é mais difícil e a região da parte comprimida ultrapassa em alguns casos (dependendo do diâmetro da barra) o ponto ideal próximo ao gume da faca. Na Figura 2.13 são denotadas as regiões de compressão efetuada pela barra rotativa, observando-se as zonas excessivas e inúteis de atuação desta barra (CTBA, 1996).

Ainda segundo CTBA, a barra de pressão rotativa não deveria ter diâmetro maior que 20 milímetros para cumprir sua função de maneira satisfatória. Porém, na prática os fabricantes de tornos sem centros usam barras de até 40 milímetros de diâmetro para este tipo de equipamento.

Na Figura 2.14, estão representadas as regulações referentes à abertura horizontal (H_o) e vertical (H_v) da laminação com barra de pressão giratória.

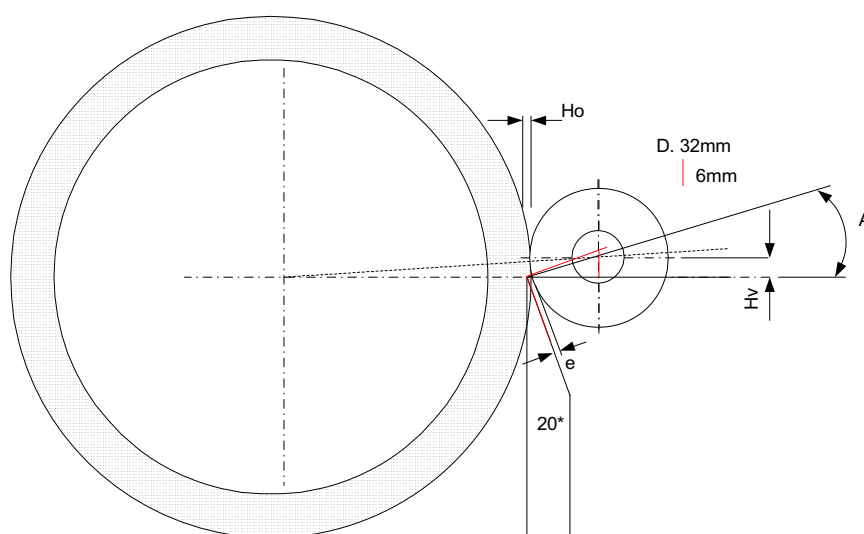


Figura 2.14 - Regulagem da barra de pressão giratória, adaptado de CBTA, 2005.

Outra característica distinta da laminação por torneamento em relação aos outros processos de usinagem é a variação do ângulo de incidência da faca de corte.

Os tornos laminadores são projetados e regulados de tal forma que, à medida que diminui o diâmetro da peça varia o ângulo de incidência. Esta variação se dá para manter uma área de contato (h) constante entre a faca e a peça, estabilizando desta forma o processo. Para toras de grande diâmetro o ângulo de incidência (ou ângulo de folga) é maior que zero, podendo ser até 1° , diminuindo para zero em diâmetro

intermediário e chegando a -1° ao final da laminação, como apresentado na Figura 2.15.

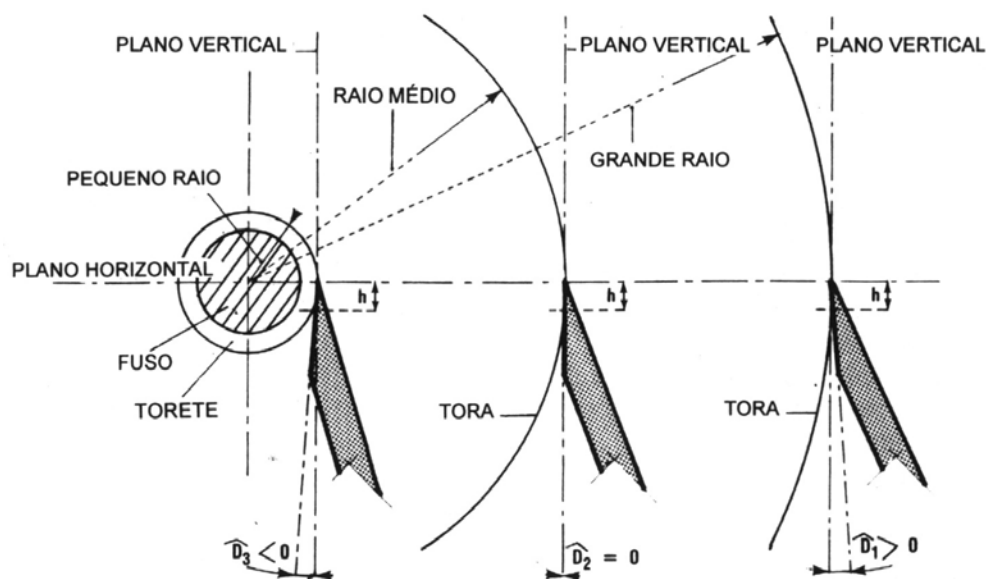


Figura 2.15- Variação do ângulo de incidência da faca ,(CTBA ,1996).

A geometria entre faca e barra de pressão e condição da matéria prima vai determinar a qualidade das laminas e consumo mínimo de energia.

Uma variação no processo de torneamento, como mostrado na Figura 2.16, é a aplicação de um movimento oscilante na faca de corte (TAKANO e KINOSHITA, 1995) e (OMECO).

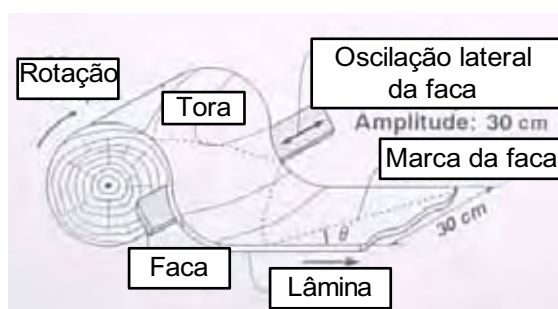


Figura 2.16 - Laminação com faca oscilante, adaptado de TAKANO e KINOSHITA (1995)

Esta oscilação tem o objetivo de diminuir o atrito, por conseguinte diminuindo os esforços envolvidos no processo. Esta oscilação pode ser de pequena frequência e grande amplitude ou de pequena amplitude e alta frequência.

A combinação da faca e barra de pressão, faca oscilante ou não, gera esforços durante o processo, ocasionando uma variação do torque necessário para girar a peça em processo, conforme mostrado na Figura 2.17.

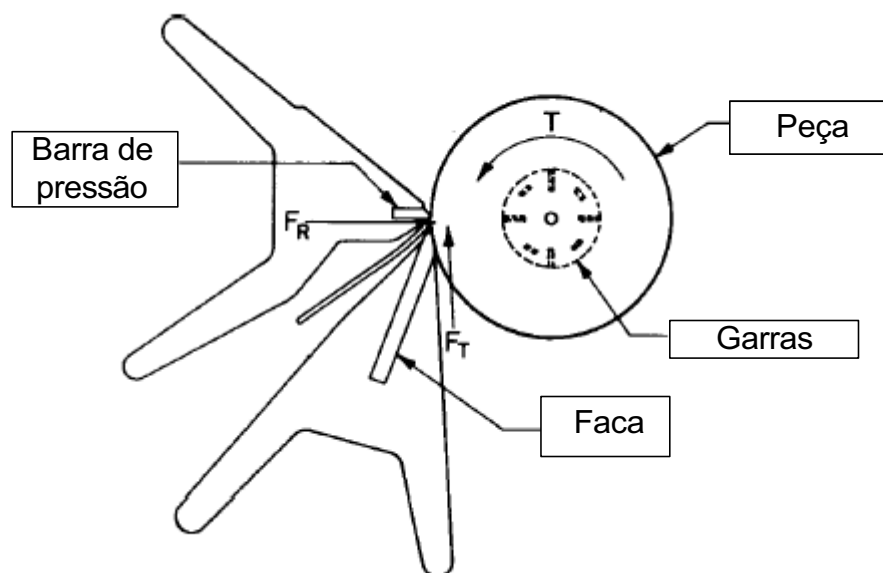


Figura 2.17 - Seção transversal da laminação mostrando Torque (T) e Forças de corte (Ft e Fr), adaptado de FRONCZAK (1982).

Fronczak et al (1982), avaliando os fatores que influenciam nas forças de corte, apresenta que a resultante destas forças aumenta com o acréscimo da espessura da lâmina que está sendo cortada. Kollmann (apud FRONCZAK et al, 1982) afirma que a potência de corte é proporcional à espessura da lâmina.

Não fica claro, entretanto, segundo Fronczak (1982), se isto é consequência direta do aumento da espessura ou da diferente pressão e atrito consequentes das diferentes regulagens da barra de pressão em função da espessura.

Lâminas de maior espessura são usualmente cortadas com maior pressão absoluta na barra de pressão, da mesma forma que lâminas finas podem ser cortadas com menores pressões na barra. O torque necessário para a laminação é função direta da componente tangencial da força de corte (Ft), do raio (R), da aceleração angular da peça em laminação e do momento de inércia desta, como expressa a equação:

$$T = F_t \times R + I\alpha$$

Na prática, nos casos mais comuns devido a grande disparidade entre os esforços, o torque de acionamento pode ser definido de forma simplificada como sendo:

$$T = F_t \times R$$

A barra de pressão é um importante fator que influencia na componente tangencial das forças de corte, devido ao atrito que esta causa e, por conseguinte o tipo de barra implica no torque requerido no eixo árvore do torno. Porém o tipo de barra de pressão a ser usado depende de outros fatores e não deve ser considerado somente o esforço de corte.

Em geral, estes dois tipos são usados, aplicando-se a barra de pressão fixa para laminar madeira de folhosas (*hardwoods*) e as rotativas para a madeira de coníferas (*softwoods*).

Apesar do uso da barra de pressão rotativa resultar em esforços de corte menores, se comparado à barra de pressão fixa convencional, o uso desta, apresenta uma significativa desvantagem inerente à sua maior complexidade, resultando em maiores custos iniciais e de manutenção.

Segundo Fronczak et al (1982), conduzidas pelo *Western Forest Products Laboratory*, podem promover à barra de pressão fixa, as desejáveis características das barras giratórias, mas sem os altos custos de manutenção. Esta barra de pressão fixa é envolvida e aquecida por vapor.

Trabalhos preliminares indicam que esta barra de pressão fixa aquecida por vapor reduz as forças de fricção se comparado às barras fixas tradicionais, porém com maior qualidade de laminado do que o produzido por barras giratórias. Somando-se a isto, a manutenção é drasticamente reduzida acompanhada de redução de tempos improdutivos de fabricação.

A regulação dos tornos laminadores, os defeitos de laminação e o cozimento da matéria prima, são aspectos importantes no processo e serão abordados a seguir:

a) regulagens dos tornos laminadores

Devido a grande variabilidade das madeiras, não existem números absolutos na regulação dos tornos. Isto evidencia, que a partir de referencias genéricas, deve ser

feita à ajustagem fina (CTBA, 1996). Os autores Suchsland et al (1978) e Lutz (1974), apresentam as seguintes regulagens gerais, como ponto de partida para laminação de madeiras em um torno, buscando conseguir lâminas menores que 1,3 mm de espessura.

- ângulo de faca: 90° 30', a 30 cm do centro das garras ou da peça, mudando automaticamente para 89° a 110 mm (diâmetro 220 mm);
- ângulo de cunha: 20°;
- ângulo de folga da barra de pressão: 15°;
- abertura horizontal: 90% da espessura da lâmina; e
- abertura vertical: cerca de 25% da abertura horizontal.

Estes autores apresentam ainda os valores indicados o Quadro 3.3 como referência para regulagem da abertura horizontal e vertical das ferramentas em função das diversas espessuras de lâminas desejadas.

Quadro 2.3- Regulagens referenciais de um torno laminador. LUTZ, 1974.

Espessura da Lâmina		Abertura horizontal		Abertura vertical	
Polegada	mm	Polegada	mm	Polegada	mm
0,010	0,25	0,009	0,23	0,005	0,13
0,032	0,81	0,029	0,74	0,010	0,25
0,042	1,07	0,038	0,97	0,012	0,30
0,0625	1,59	0,056	1,42	0,017	0,43
0,1 0	2,54	0,090	2,29	0,024	0,51
0,125	3,17	0,112	2,48	0,030	0,76
0,1875	4,76	0,169	4,29	0,043	1,09
0,250	6,35	0,225	5,71	0,056	1,42

b) defeitos de laminação

Os autores Suchsland et al (1978), apresentam os defeitos das lâminas e suas prováveis causas conforme segue:

- lâmina muito aberta (fendas de laminação profundas).

Causa: pressão insuficiente da barra de pressão, tora muito fria;

- lâminas rugosas.

Causas: pressão insuficiente da contra faca, tora fria, faca sem fio;

- lâminas felpudas (com desfibramento excessivo).

Causas: tora muito quente, faca sem fio, ângulo da barra de pressão muito grande;

- fibras arrancadas ou escamadas (lado fechado da lâmina).

Causas: ângulo da barra de pressão muito grande, pressão da barra muito alta, ângulo de cunha da faca muito pequeno;

- lâmina com face ondulada (1 ou 2 ondulações a cada 10 milímetros);

- ângulo da faca muito grande, tora muito fria, o corte está ajustado abaixo do centro das garras;

- lâmina com espessura irregular (variação da espessura na direção da laminação, isto é, em sentido perpendicular às fibras, a distância entre as ondulações é 300 milímetros ou mais).

Causas: ângulo de cunha da faca muito pequeno; e

- lâmina com maior espessura nas pontas que no centro (isto provoca o curvamento da lâmina).

Causas: distorção por aquecimento da faca e da barra de pressão causando uma redução da abertura horizontal no meio da lâmina.

c) cozimento da matéria prima

Lutz (1974), Fronczak et al (1982), Suchsland (1978), Dalavali (2007) e Iwakiri (2005), apresentam em seus trabalhos dados referentes à temperatura e tempo de cozimento da matéria prima, como fatores de grande influencia no processo de laminação, quer seja pela diminuição do torque de acionamento do eixo árvore de um torno ou pela qualidade das lâminas.

Segundo Lutz (1974), estas temperaturas e tempo de aquecimento variam de acordo com a densidade da matéria prima e diâmetro das toras (Figura 2.18).

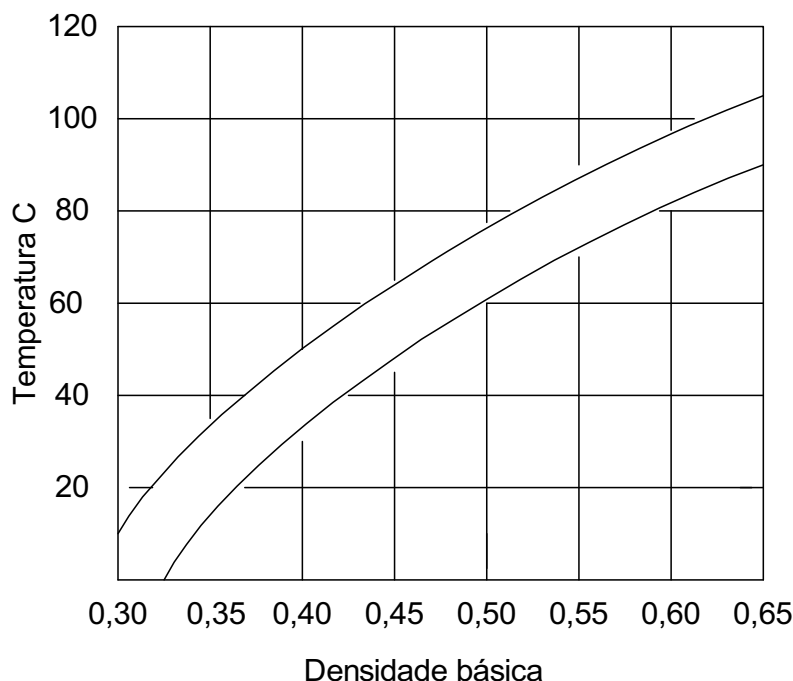


Figura 2.18 -Temperaturas favoráveis para laminar madeiras folhosas em função da densidade básica, adaptado de Lutz (1974).

Suchsland et al (1978), afirmam ainda que os dados apresentados por Lutz (1974), se referem a madeiras da América do Norte, porém servem como boa aproximação para as espécies brasileiras.

Ainda segundo Lutz (1974), o aumento de temperatura da madeira diminui a fricção entre esta e a barra de pressão, por conseguinte diminuindo o torque necessário para acionamento.

Para alguns tipos de madeira foi experimentalmente determinado que o torque necessário para laminar a 145° F é 75 % menor que o necessário a 90° F. Pelos benefícios apresentados na laminação quando a madeira é corretamente aquecida, este procedimento deverá continuar a ter atenção especial no futuro.

2.5.1 Tipos construtivos de tornos laminadores para madeira

Para as espécies de madeiras folhosas e coníferas existem dois tipos construtivos distintos de tornos laminadores descritos a seguir, diferenciando-se basicamente pela forma com que fixam e giram a peça em processo:

a) torno laminador com garras e fuso

Este tipo de torno, apresentado na Figura 2.19, caracteriza-se pela fixação da peça entre pontas, por garras e avanço engrenado do carro porta ferramentas.

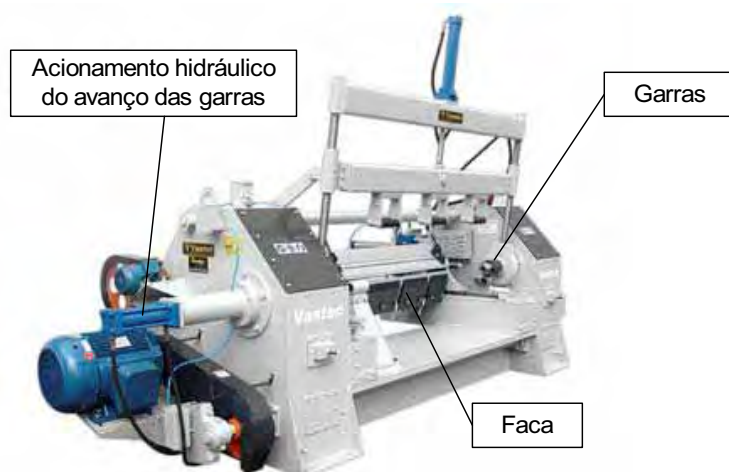


Figura 2.19- Torno laminador com garras. Fonte: VANTEC.

A velocidade de corte varia para menos à medida que o diâmetro da peça trabalhada diminui, sendo necessária contínua correção da velocidade do eixo motriz para mantê-la constante. A correção contínua desta velocidade é feita pela aplicação de inversores de frequência ou de servomotores. Também cabe citar que o processo fica instável à medida que diminui o diâmetro da peça, pois esta começa a vibrar sob o efeito das forças de corte.

Outra das limitações deste sistema é a perda ocasionada pela área da garra e, uma variação no sistema de fixação deste tipo de torno, com o intuito de minimizar esta limitação, é o uso de garras telescópicas.

O processo é iniciado com garras maiores, sendo estas, substituídas por garras menores, à medida que a peça fica com menor diâmetro.

b) torno laminador sem centros

Nos tornos laminadores sem centros a fixação e a tração das peças em processamento se dá por rolos recartilhados montados paralelamente, de forma a prenderem a peça entre si, a barra de pressão rotativa e a faca de corte.

O avanço dos rolos recartilhados (avanço radial da faca) é efetuado por um sistema hidráulico ou por servo motores. A medida que os rolos recartilhados

avançam se aproximando da faca de corte, também verifica-se um movimento no sentido de diminuir a distância entre os centros dos rolos.

Na maioria das vezes a faca esta parada e é a peça que avança sobre esta, enquanto gira. A espessura da lâmina se dá pela regulagem entre a faca e a barra de pressão e pela pressão do sistema de avanço.

Na Figura 2.20 pode ser vista a representação esquemática de um torno sem centros onde podem ser observados os rolos de tração, a barra de pressão, a faca e o posicionamento e movimentos relativos destes elementos.

Nesta figura, F representa o avanço dos rolos de tração e V o movimento de aproximação destes.

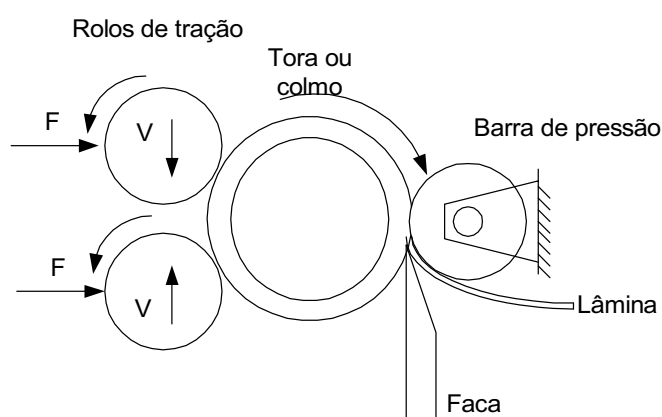


Figura 2.20 Princípio funcional do torno sem centros.

Neste tipo de torno, o torque e a velocidade periférica dos rolos de tração (normalmente acionador por motor elétrico), por atrito, são transferidas à peça. Logo, esta gira com velocidade periférica constante desde que a rotação dos rolos de tração seja constante. Pela sua concepção, este sistema é auto centrante, não exigindo tempo de processo para esta operação.

Outra característica interessante é a possibilidade de tornear peças longas e de pequeno diâmetro, já que não tem a limitação de diâmetro mínimo do rolo “resto”, imposta pelo sistema de fixação por garras e pela impossibilidade de vibração e flambagem das peças sendo laminadas.

Este fenômeno que ocorre nos tornos de fuso e garras, não se apresenta nos tornos sem centros, pois a peça é fixa ao longo de todo o comprimento pelos rolos de tração.

É comum neste tipo de torno, por não ter estas limitações, laminar as sobras dos tornos convencionais com fuso e garras, otimizando o volume de lâminas processadas a partir de uma tora.

A Figura 2.21 apresenta uma vista de um torno industrial sem centros, onde se observa lâminas de pinus sendo produzidas.



Figura 2.21- Torno laminador industrial sem centros. Fonte: OMECO.

Neste tipo de equipamento algumas características operacionais negativas ficam evidentes. A primeira delas é que é comum o sistema recartilhado patinar no tracionamento da peça e, se o sistema de avanço for engrenado o processo entra em colapso. Uma segunda questão importante é a dificuldade de ajuste direto e preciso da barra de pressão que, por ser cilíndrica, não possui uma linha de referência como o gume das barras de pressão fixa.

Outra questão importante citada na literatura é a dificuldade de achar a regulação balanceada entre pressão de avanço, tração da peça, geometria da barra de pressão e faca, de modo a produzir uma lâmina contínua e de espessura constante.

2.5.2 Tornos laminadores de bambu.

Tratando-se especificamente da produção de lâminas de bambu por torneamento, na literatura são apresentados poucos modelos de tornos com centros para este fim, com destaque para os utilizados na China e Indonésia, onde, mesmo lá não são muito difundidos.

Estes são basicamente tornos de fuso tradicional com as garras de fixação modificadas para a geometria do bambu (oca) e, pela presença de dois bedames posicionados nas pontas da faca de corte, um pouco avançados em relação ao gume desta, delimitando a largura da lâmina (Figura 2.22).

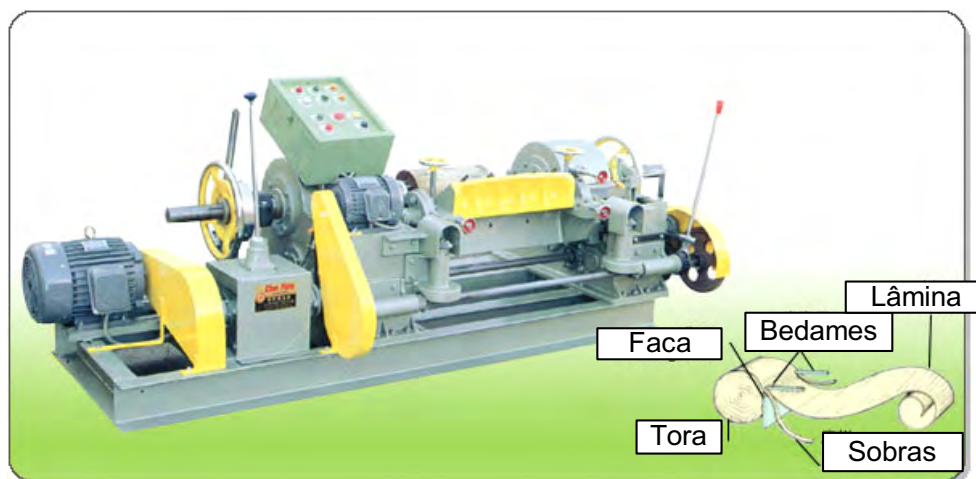


Figura 2.22 –Torno com garras para laminar bambu. Fonte: CHIN YUNG Co.

Ao final do processo as pontas da peça que servem para a fixação desta, estão com o diâmetro original do colmo.

A grande vantagem deste sistema de fixação é que o esforço de torque transmitido ao colmo distribui-se por todas a secção transversal deste, contribuindo para evitar rompimento das fibras por excesso de esforço.

Entre os fatores limitantes da aplicação deste tipo de torno cita-se a pequena distancia entre pontas, por conseguinte gerando lâminas estreitas (em torno de 500 milímetros).

É oportuno relembrar que, para o caso do equipamento da Figura 2.22, esta operação de laminação não é primaria quando este equipamento processa um bloco previamente manufaturado.

O Governo das Filipinas , através de seu Departamento de Ciência e Tecnologia criou o órgão *Products Research and Development Institute* (FPRDI), que desenvolveu, entre outros produtos, um torno laminador como parte de um programa de incentivo do uso de bambu na geração de renda de comunidades onde esta matéria prima é abundante.

O protótipo deste torno laminador é apresentado na Figura 2.23, onde pode ser observado um colmo de bambu fixado entre pontas por garras cônicas.



Figura 2.23- Torno com garras para laminar bambu.Fonte: FRDI.

2.6 INDICADORES DA QUALIDADE DAS LÂMINAS

Quanto á qualidade das lâminas produzidas por torno laminador, segundo Suchsland (1978) e Dalavali (2007), o que se espera é:

- grau de fendilhamento baixo;
- qualidade da superfície boa; e
- uniformidade da espessura.

Uma verificação imediata visual e tátil pode ser efetuada para a comprovação da qualidade das lâminas processadas; porem é conveniente o uso de instrumentos e técnicas específicas para a determinação destes parâmetros, sem depender da habilidade e percepção do operador do torno laminador.

Um dos elementos importantes usados neste trabalho para a avaliação das lâminas em função do processo e condição da matéria prima é a rugosidade da superfície.

A rugosidade é um dos parâmetros mais difundidos e aceitos para a verificação da qualidade da superfície de um material e, esta depende da natureza deste e dos processos de manufatura a que foi submetido.

Este parâmetro foi utilizado em muitas etapas deste trabalho para a verificação da melhoria da qualidade das lâminas obtidas a partir de variações da matéria prima, geometria da ferramenta e condições do processo.

Neste trabalho a rugosidade deve ser avaliada de forma comparativa e não absoluta. Isto é, os valores de rugosidade aumentaram ou diminuíram de um ajuste para outro indicando as melhores opções de ajuste entre a ferramenta, matéria prima e condições de usinagem. Visualmente podem ser observados os efeitos sobre as lâminas de uma determinada alteração no processo e, a rugosidade foi usada para validar estas observações.

Os critérios para a avaliação de rugosidade superficial dos materiais são apresentados na ABNT (NBR 6405/1988), onde consta uma série de conceitos e padrões importantes na condução de medições de rugosidade superficial, sendo que os de interesse a este trabalho são a seguir apresentados.

A dimensão l_e representa o comprimento de amostragem. Como o perfil efetivo apresenta rugosidade e ondulação, l_e filtra a ondulação.

É recomendado pela norma ISO que os rugosímetros devam medir cinco comprimentos de amostragem (l_m : comprimento de medição) e devem indicar o valor médio. A Figura 2.24 apresenta os comprimentos considerados para avaliação da rugosidade.

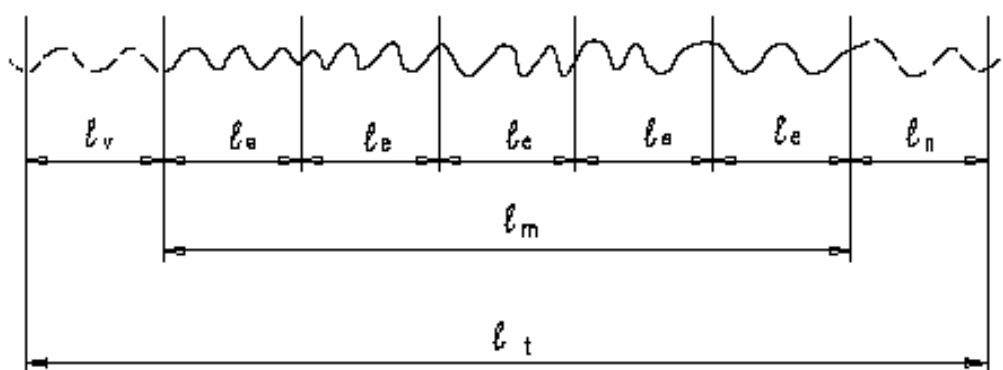


Figura 2.24 – Comprimentos para avaliação de rugosidade.

As dimensões apresentadas na Figura 2.4 representam:

l_m : comprimento do percurso de medição - extensão do trecho útil do perfil de rugosidade utilizado diretamente na avaliação, projetado sobre a linha média;

l_t : comprimento total de medição;

l_v : comprimento para atingir a velocidade de medição e l_n : comprimento para parada do apalpador - extensão da primeira e última parte do trecho apalpado não

utilizado na avaliação, com a finalidade de permitir o amortecimento das oscilações mecânicas e elétricas do sistema e ajuste de centro do perfil de rugosidade.

São usados dois sistemas básicos de medida: o da linha média M e o da envolvente. O sistema da linha média é o mais utilizado.

Alguns países adotam ambos os sistemas. No Brasil, pelas Normas ABNT NBR 6405/1988 e NBR 8404/1984, é adotado o sistema M. Linha média, ver Figura 2.25, é a linha paralela à direção geral do perfil, no comprimento da amostragem, de tal modo que a soma das áreas superiores, compreendidas entre ela e o perfil efetivo, seja igual à soma das áreas inferiores, no comprimento da amostragem (l_e).

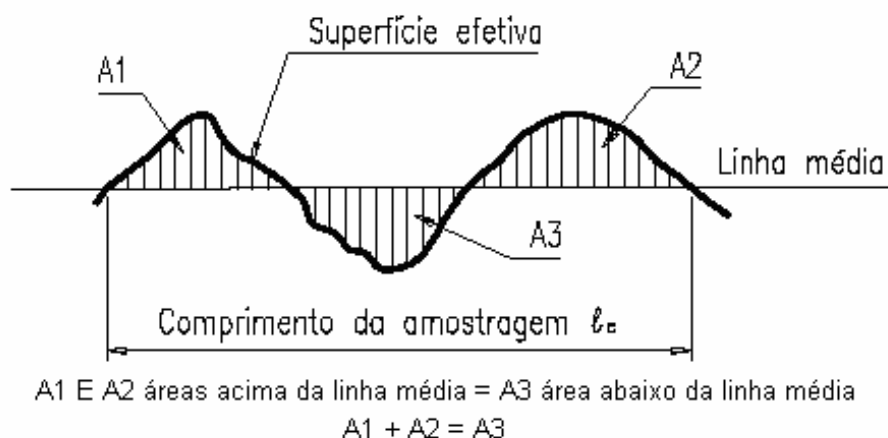


Figura 2.25- Linha média e áreas mínimas superiores e inferiores.

A Rugosidade média (R_a) é o parâmetro mais utilizado. Matematicamente é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (y_i), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição (l_m).

Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de medição (l_m).

Este parâmetro de avaliação da rugosidade superficial pode ser representado por:

$$R_a = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} |y(x)| dx$$

onde $y(x)$ é a função das ordenadas de afastamento.

O gráfico da Figura 2.26 representa a função de Rugosidade média (R_a).

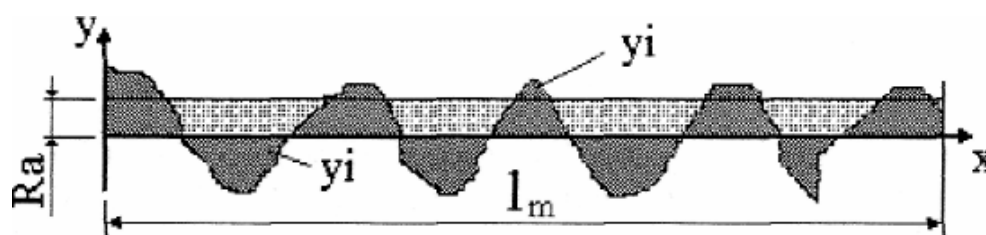


Figura 2.26 - Rugosidade média R_a ; y_i é o valor de um pico ou vale (ABNT NBR 6405/1988).

2.7 SÍNTESE DE TORNOS LAMINADORES

Para finalizar esta revisão, no quadro abaixo, são apresentadas, de forma sintética no Quadro 2.4, as possibilidades de combinação dos elementos mecânicos compondo os diversos tipos de tornos laminadores (para madeira e bambu) citados na literatura.

Quadro 2.4- Possibilidades de combinação dos componentes de um torno laminador.

Síntese dos mecanismos dos tornos laminadores				
Acionamento/ Fixação da peça	Avanço da faca	Barra de pressão	Faca (18 a 25°)	Aquecimento da faca
-Garra externa -Garra interna expansiva -Rolos de tração	-Hidráulico -Eletromecânico independente -Mecânico interligado ao eixo árvore -Servo motor+ fuso	-Fixa -Giratória	-Estática -Oscilante { Alta freq. Baixa freq.	-Aquecida -Não aquecida

Estas considerações são importantes, pois o tipo construtivo determina algumas condições do processo, influenciando nas forças de corte, produtividade, qualidade da lâmina e consumo de energia, bem como no custo de aquisição do próprio equipamento.

Do Quadro 2.4 deve-se observar que apesar de todas as combinações apresentadas serem tecnicamente possíveis, nem todas são economicamente viáveis.

Exemplificando as possibilidades de combinação, tem-se: um torno laminador com acionamento por rolos de tração (sem centros) tem o avanço da faca hidráulico como melhor opção e a barra de pressão giratória praticamente como uma imposição

para viabilizar o processo, pois esta tem atrito muito menor que uma barra de pressão fixa.

Em alguns casos para viabilizar o processo é até possível acionar a barra de pressão giratória, contribuindo assim na tração do material em processo. Dando continuidade à composição hipotética deste torno pode-se aplicar faca oscilante ou ainda optar pelo aquecimento desta.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a obtenção dos resultados que validassem as hipóteses formuladas, foram realizados experimentos em etapas distintas e seqüenciais, conforme fluxograma apresentado na Figura 3.1.

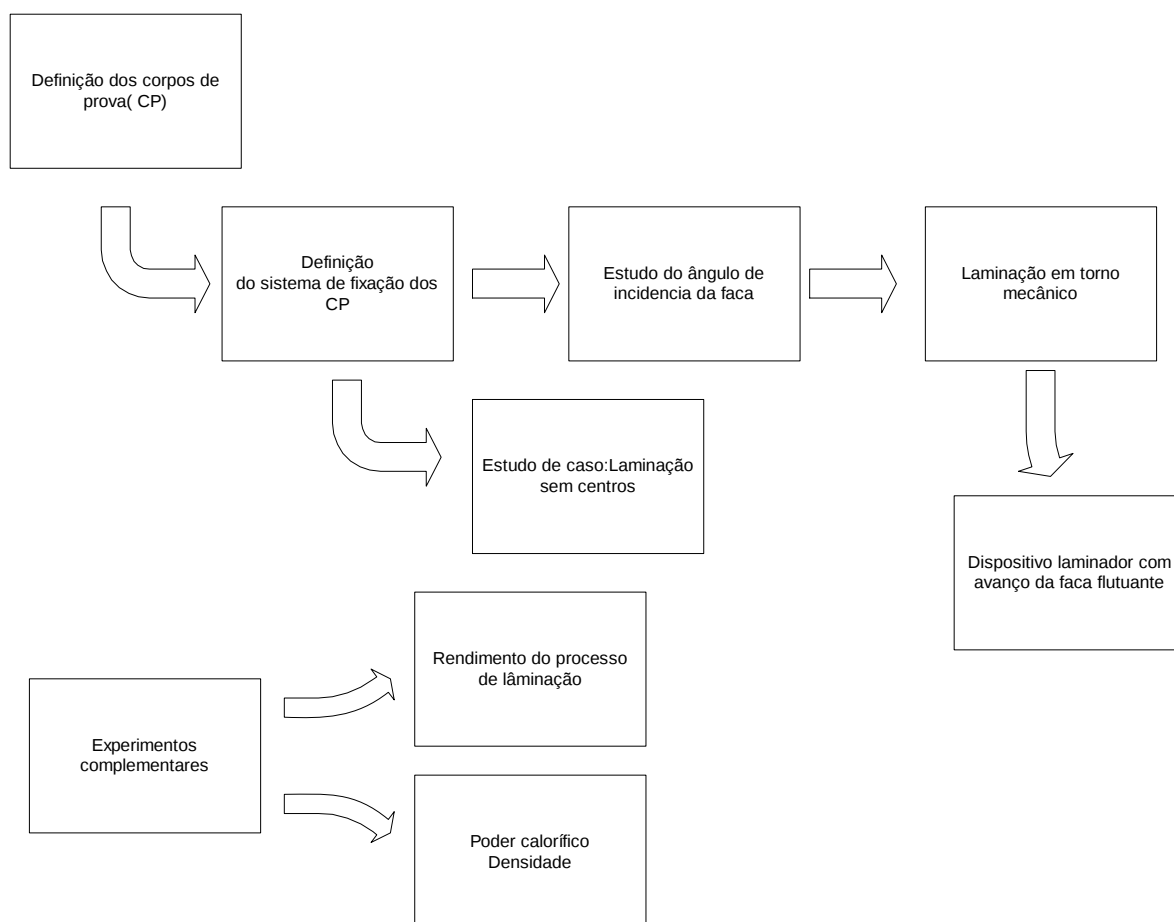


Figura 3.1 - Fluxograma da experimentação.

Este fluxograma contempla os itens relacionados a seguir:

- preparação dos corpos de prova;
- definição do sistema de fixação dos corpos de prova;
- definição do ângulo de incidência da faca;
- laminação sem centros. Obtenção de amostras de lâminas usando um torno sem centros, no sentido de verificar a aplicabilidade da laminação de bambu em um torno projetado para madeira;

- laminação em torno mecânico. Obtenção de amostras de lâminas em um torno mecânico convencional, adaptado com uma faca para simular um torno laminador com barra de pressão fixa;
- dispositivo laminador. Desenvolvimento e teste de dispositivo laminador com faca flutuante e barra de pressão giratória, com tração e fixação do corpo de provas de topo e por rolo interno (caracterizando sem centros interno); e
- experimentos complementares: verificação da densidade da espécie em estudo, poder calorífico e produtividade da laminação.

Este expediente de realizar um conjunto de experimentos em equipamentos diferentes foi utilizado pela dificuldade de disponibilizar e instrumentar um torno laminador industrial, pela inexistência de um torno com garras específico para bambu em operação no Brasil e pela dificuldade de centralizar todos os experimentos em um único tipo de equipamento.

A seguir são abordadas as etapas da experimentação e descritos os equipamentos usados nas diversas fases desta.

3.1 CARACTERIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A espécie processada nos experimentos foi o *Dendrocalamus giganteus*, escolhida por ocorrer em muitas regiões do Brasil, possuir grande espessura de parede, secção transversal com boa circularidade e pela existência de quantidade disponível de imediato para pequenos lotes de produção.

Para a realização dos experimentos no torno laminador industrial sem centros, detalhado no Item 3.2, foram usados corpos de prova em três condições distintas:

- 10 corpos de prova verdes colhidos no dia anterior do experimento;
- um corpo de prova seco ao natural (12%); e
- um corpo de prova saturado imerso em água (substituída semanalmente) por volta de 45 dias.

Nos colmos usados como corpos de prova para verificação da viabilidade da laminação do bambu no torno sem centro industrial, podem ser observados os diferentes detalhes de corte dos topos. Estas variações foram utilizadas para verificar a influência do corte sobre a laminação. Oito colmos foram cortados rentes ao diafragma, três cortados próximos a este e um deles possuía um lado rente ao diafragma e outro sem diafragma. Na Figura 3.2 podem ser vistos os doze colmos utilizados no experimento.



Figura 3.2 - Corpos de prova para experimentação em laminador sem centros.

Para a realização dos experimentos realizados no torno mecânico convencional e dispositivo laminador dedicado utilizou-se colmos com mais de 3 anos:

- verdes;
- secos (12% de umidade);
- cozido em água a 65 °C por 2 e 3 horas; e
- tratado em água por 45 dias.

Os corpos de prova, mostrados na Figura 3.3 e Figura 3.4, foram cortados com bedame em torno mecânico com comprimento de 14 milímetros nas diversas condições de matéria prima como citado.

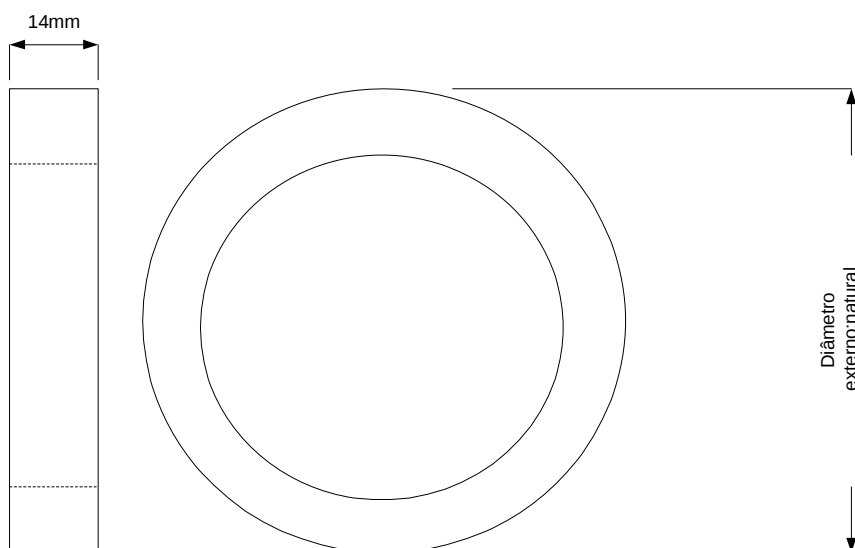


Figura 3.3 – Representação do corpo de prova utilizado no torno mecânico e dispositivo laminador.

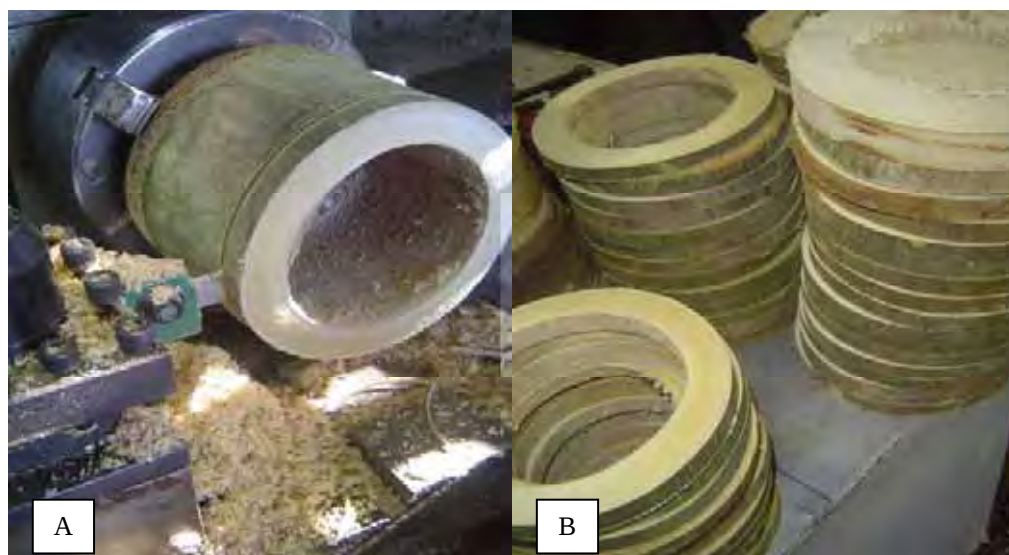


Figura 3.4 - Usinagem dos corpos de prova (A). Corpos de prova estocados (B).

Uma pequena quantidade de corpos de prova (seis unidades) de bambu verde, foi cortada com 28 milímetros de comprimento para o estudo do sistema de fixação externo por placa com três castanhas. Estes resultados específicos apresentam-se na seção 4.1.

Dados complementares dos corpos de prova:

A densidade média foi obtida no campus Experimental de Itapeva, para verificar se os corpos de prova representavam a média apresentada na literatura para o *Dendrocalamus giganteus* e, para verificar possível relação desta propriedade com a resistência à laminação. Os valores de densidade são apresentados na Tabela 3.1 sendo coerentes com as referências apresentadas no Capítulo 2.

Tabela 3.1 Densidade média dos corpos de prova (g/cm³).

	Base (1m de altura)	Sobre base (2,5 m de altura)
Próximo da casca	0,596	0,592
Intermediária	0,577	0,586
Interna	0,523	0,546
Média	0,568	0,569

3.2 SISTEMA DE FIXAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Como a variabilidade do diâmetro interno dos colmos é alta, para a fixação dos corpos de prova no torno e dispositivo laminador (simulação com centros), foram previamente usinados três suportes de fixação com diâmetros diferentes para alojar os corpos de prova.

Após alojado o corpo de prova no suporte adequado e posicionado o flange frontal, este ultimo é aparafusado contra o corpo do suporte, fixando por interferência em todo o diâmetro a peça a ser laminada.

O mesmo suporte de fixação pode ser usado tanto no torno mecânico quanto no dispositivo laminador. Para uso no torno mecânico basta prendê-lo pela parte externa à placa deste e, quando aplicado junto ao dispositivo laminador este é fixado em um porta fresas, com cone ISO 30, que por sua vez se encaixa no eixo arvore deste dispositivo.

Estes suportes são apresentados de forma esquemática nas Figuras 3.5 e 3.6, onde podem ser observados os diversos elementos que os compõem.

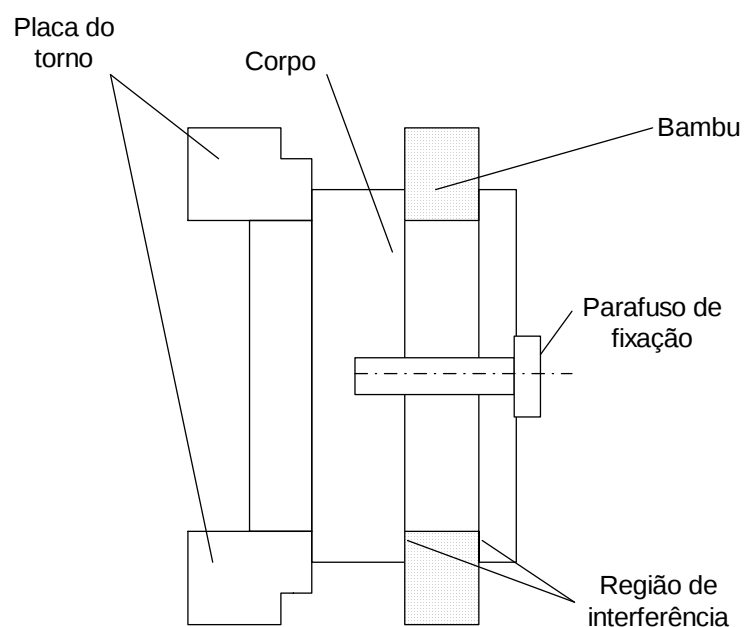


Figura 3.5 - Suporte para fixar corpo de provas no torno mecânico.

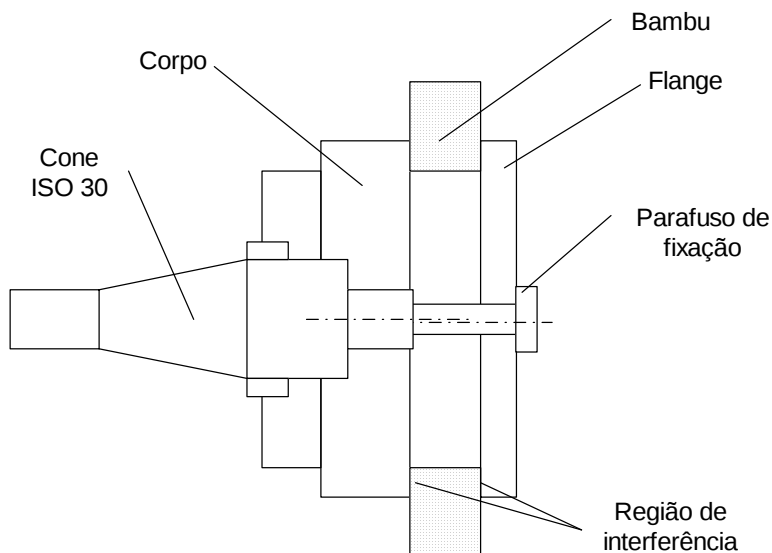


Figura 3.6.- Suporte para fixação no dispositivo laminador.

Nos experimentos realizados no torno industrial sem centros, estes suportes não foram usados e, no dispositivo laminador, quando este foi usado como torno sem centros interno, os suportes fixaram o rolo de tração e não o colmo.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS, DISPOSITIVOS E PROCEDIMENTOS USADOS NOS EXPERIMENTOS.

A seguir são listados os equipamentos e componentes usados de forma individual ou em conjunto nos diversos experimentos.

a) Sistema de aquisição de dados

Os sinais destes dispositivos de medição (*encoder*, transdutor linear e saída analógica do inversor de frequência) foram adquiridos e condicionados por uma placa de aquisição de dados de 12 bits, *Measurement Computer* modelo FS 08 com 02 entradas analógicas e 12 digitais, acoplada a um computador pessoal.

Os dados de rotação, torque e posição durante um ciclo de experimento foram adquiridos por software dedicado do próprio fabricante da placa de aquisição e salvos em arquivos texto, sendo depois manipulados em software Excel (® Microsoft) para serem visualizados em gráficos e tabelas adequadas ao escopo do projeto.

b) Rugosímetro

Marca Taylor Robson, modelo SURTRONIC 25, com esfera de diamante de diâmetro 2,5mm, com percurso de medição de 12,5mm. O rugosímetro foi calibrado imediatamente antes da realização dos experimentos com o padrão fornecido com o equipamento.

Para a medição da rugosidade foram retiradas amostras das lâminas de forma aleatória, com dimensões de 14mm por 30mm, sendo estas coladas em uma base plana. A face fendilhada das lâminas foi usada para colagem permitindo a verificação de rugosidade do lado contrario, melhor acabado.

Para cada tipo de experimento (laminação de bambu verde, bambu seco em torno industrial sem centros e, de bambu verde no torno mecânico e dispositivo laminador) foram preparadas 12 amostras e realizadas três medições cada. Nas medições, o sensor do rugosímetro sempre foi deslocado a 90° em relação às fibras das lâminas.

c) Micrômetro externo

Micrômetro externo 0 a 25mm, escala centesimal. Usado para a medição da espessura das lâminas.

d) Relógio comparador

Para a verificação da abertura vertical e horizontal da ferramenta de laminação foram usados 03 relógios comparadores marca King Star, com resolução de 0,01 mm, montados em suportes específicos para cada aplicação.

e) Inversor de frequência

Inversor de frequência modelo CFW 08 PLUS, marca WEG, com possibilidade de controle vetorial com cartão de saída analógica 0 a 10 volts, programado para a verificação do torque de acionamento do motor elétrico.

Este inversor foi programado em modo vetorial porem sem realimentação de rotação, já que nestas condições o fabricante garante erros menores que 0,5% na variação da velocidade do motor com carga.

f) *Encoder* óptico com acoplamento magnético.

A rotação do motor do torno mecânico quanto do dispositivo laminador foi monitorada por um *encoder* óptico, Modelo Vogtlin MC com acoplamento magnético e, pela relação de transmissão no dispositivo em uso foi possível monitorar a rotação imprimida na peça em determinado momento dos testes.

O uso do acoplamento magnético se deveu ao fato de facilitar a instalação e remoção nos dois dispositivos.

g) Transdutor de posição linear.

O deslocamento radial da ferramenta, realizado pelo avanço automático do torno ou pelo avanço pneumático no dispositivo laminador, foi monitorado por um transdutor de posição linear modelo GR 50, marca GEFRA, com curso de 50mm e resolução de 0,01mm.

indicados na figura. A verificação dos ajustes é feita por relógios comparadores montados em suportes adequados.

O primeiro ajuste a ser realizado é da posição da faca de corte, com seu gume paralelo e na altura do eixo de giro dos dispositivos de fixação do corpo de prova. A partir deste ajuste, a abertura horizontal e vertical é realizada pelos parafusos específicos e monitorada pelos relógios comparadores.

A Figura 3.8 apresenta a mesma ferramenta em outra vista, porém com uma barra de pressão rotativa de 32 milímetros de diâmetro.

Para aplicação da barra de pressão giratória foi necessário o desenvolvimento de um suporte lateral, pois diferentemente da barra de pressão fixa, esta não pode ser conectada diretamente ao corpo da ferramenta.

Os ajustes de abertura vertical e horizontal podem ser realizados pelos parafusos de ajuste de abertura horizontal e vertical indicados na figura.

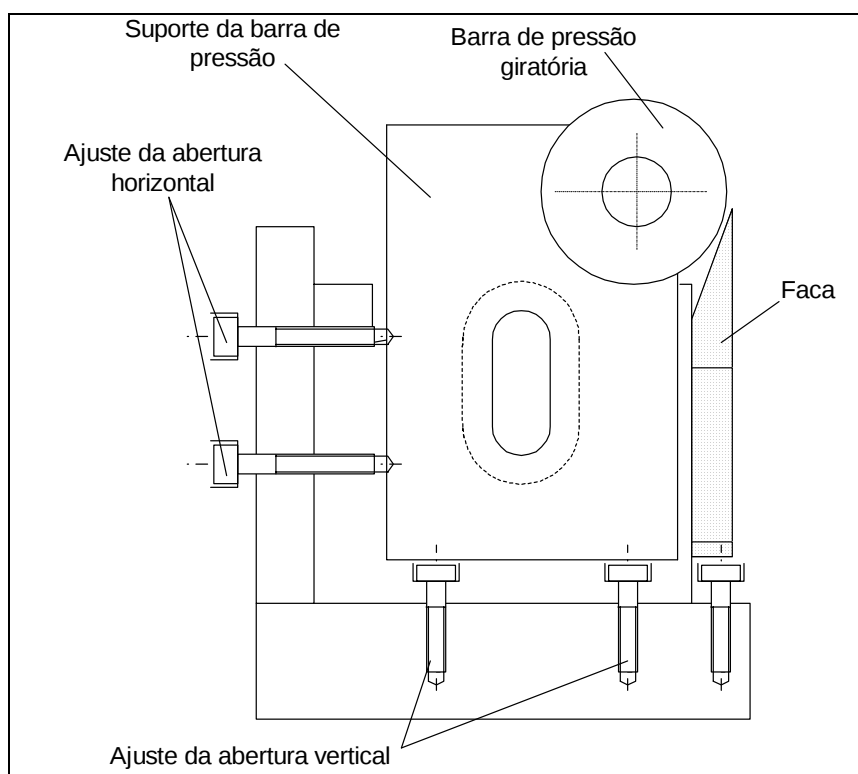


Figura 3.8 - Ferramenta de laminação com barra de pressão giratória.

A Figura 3.9 ilustra a regulagem da abertura horizontal da ferramenta com barra de pressão fixa, com os ajustes monitorados por relógios comparadores.



Figura 3.9 - Verificação do ajuste da abertura horizontal.

O sistema de aquisição de dados, a ferramenta de corte e os sensores, bem como as possibilidades de ajuste de ângulos e aplicações de barra de pressão fixa ou rotativa, estão representados na Figura 3.10

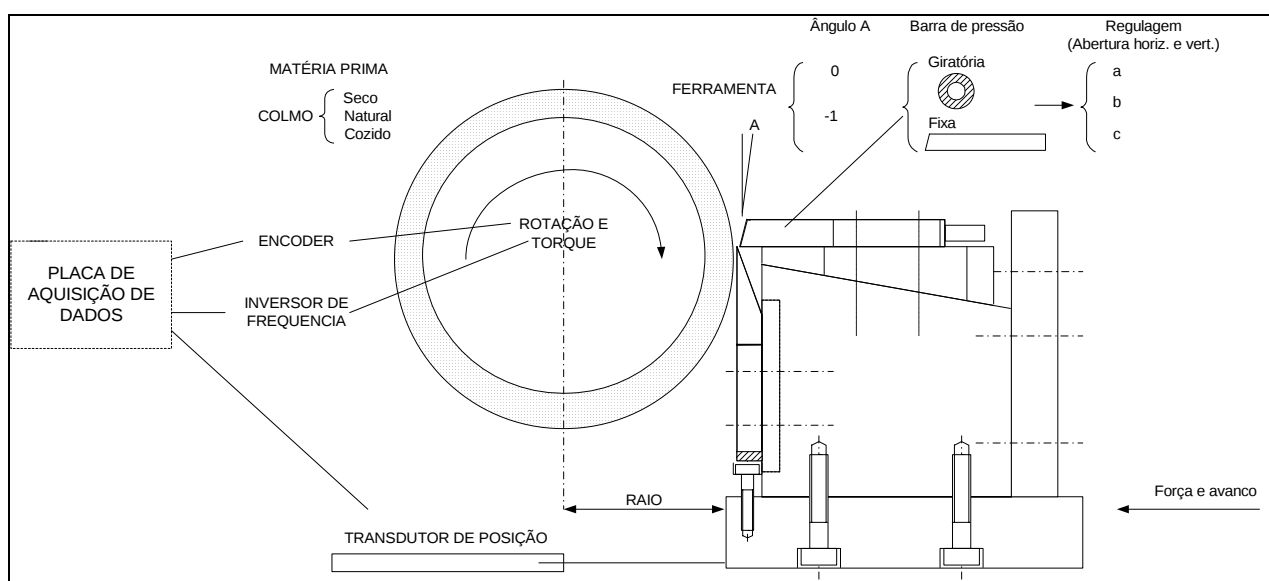


Figura 3.10 - Vista esquemática da ferramenta e sistema de aquisição de dados.

Esta combinação de elementos foi usada para as simulações tanto no torno mecânico quanto no dispositivo laminador desenvolvido.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO TORNO SEM CENTROS INDUSTRIAL

Conforme apresentado na introdução, para validar parte das hipóteses formuladas fez-se necessário à aplicação de um torno industrial projetado para laminar madeira, pois não foi encontrado nenhum torno específico para bambu em operação no Brasil e, a aplicação de torno sem centros para este fim é recente mesmo em países com tradição na laminação de bambu.

Analisando os diversos modelos de torno existentes no mercado nacional, optou-se pelo uso de um torno sem centros por apresentar características funcionais interessantes ao formato do bambu e, pela disponibilização de um modelo destes por parte de um fabricante.

O bambu é oco, logo, o sistema tradicional dos tornos de garras não tem função, sendo necessário adaptar estas garras caso deseja-se usar um modelo destes. Já no modelo sem centros como explicado no Capítulo 2, a peça é fixada e acionada por rolos de tração, adaptando-se bem a anatomia e geometria do bambu.

Este experimento foi realizado na Cidade Industrial de Curitiba, Paraná, na Empresa OMECO, fabricante nacional de equipamentos e soluções para o processamento de madeiras, que gentilmente concedeu o uso de um torno em fase final de montagem e pessoal técnico para os testes.

O modelo usado foi o TR 06, com potência instalada de 11Kw, rolos de tração com 120 mm de diâmetro, acionamento de sujeição hidráulico, barra de pressão rotativa com diâmetro de 40 milímetros e faca oscilante (300 ciclos por minuto) com 1350 mm de comprimento.

Este tipo de equipamento especificamente, foi projetado para trabalhar com oscilação em baixa frequência e grande amplitude.

Nas figuras 3.11 e 3.12 (DALAVALI, 2007) este modelo de equipamento é apresentado em duas vistas diferentes, onde pode ser visto o sistema de rolos recartilhados de tração, a faca de corte e a barra de pressão giratória ou contra rolo do torno.

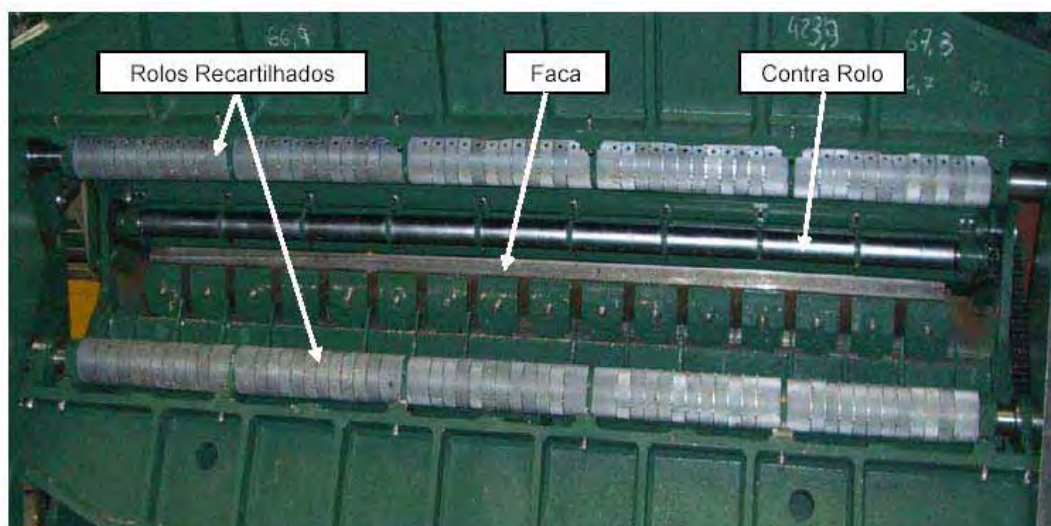


Figura 3.11 - Torno OMECO TR06. Detalhes da faca e rolos. (Dalavali, 2007).

Na Figura 3.12, observa-se em primeiro plano, o sistema de engrenagens que aproxima os rolos recartilhados de tração, à medida que diminui o diâmetro da peça que está sendo laminada, mantendo desta forma uma geometria ideal para prender e tracionar a tora (no caso do bambu, o colmo) e, ao fundo, observa-se os rolos de tração a faca de corte e contra rolos (barra de pressão).

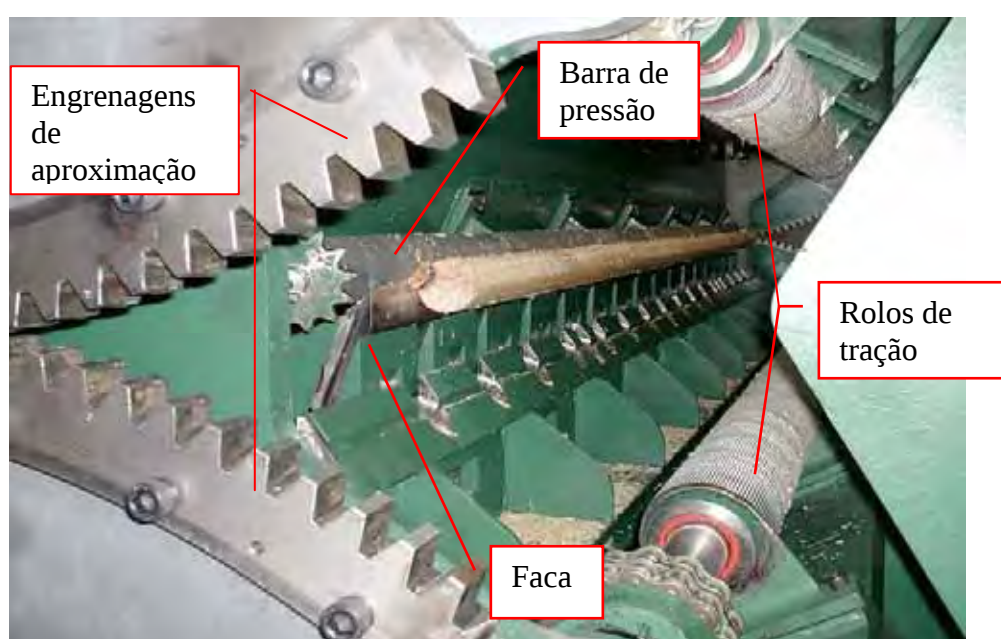


Figura 3.12 – Torno sem centros. Detalhe da faca, barra de pressão e rolos de tração. Fonte: OMECO.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DO TORNO MECÂNICO CONVENCIONAL

Para a simulação de laminação de torno com garras foi usado um torno mecânico ROMI, modelo J-35, com avanço automático no carro transversal, equipado com placa universal de três castanhas. No carro transversal foi montada a ferramenta de corte específica para laminação apresentada na Figura 3.7. Com um relógio comparador, foram verificados se os avanços correspondiam ao indicado nos engrenamentos.

Para o acionamento do eixo árvore deste, foi instalado um motor elétrico novo de 2HP, compatível com o inversor de frequência modelo CFW-08 Plus, usado no controle deste, fabricado pela mesma empresa.

Na Figura 3.13 é apresentado detalhe do torno mecânico configurado para simular a laminação de bambu com centros onde pode ser visto, a placa de três castanhas o dispositivo de fixação e o corpo de prova bem como a faca e barra de pressão. Para avaliar o sistema de fixação “E2; apresentado na secção 4.1; o corpo de prova de 28mm, foi fixado diretamente na placa de três castanhas.

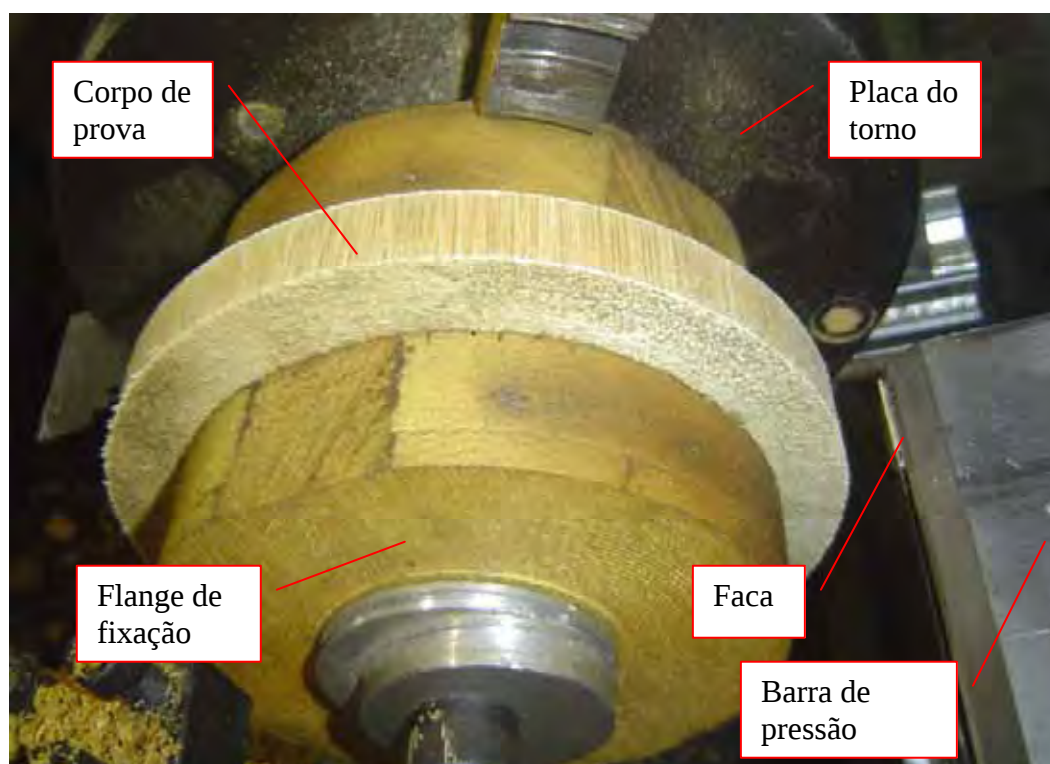


Figura 3.13– Torno mecânico. Detalhe da faca, barra de pressão e sistema de fixação do corpo de prova.

Os experimentos foram realizados com 90 rpm, sendo alterado para 180 rpm e 270 rpm, nos experimentos para verificação da influência da velocidade de corte sobre a qualidade das lâminas.

Neste equipamento foram obtidas lâminas com espessuras de 0,25; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25mm, com barra de pressão fixa. Em todos os experimentos foi verificada a qualidade das lâminas, sendo que nas espessuras de 0,5mm e 1,00 mm foi verificado também o torque de acionamento. Para cada espessura e ou objetivo específico foram usados séries de seis corpos de prova.

3.6 CARACTERIZAÇÃO DO DISPOSITIVO LAMINADOR

Para possibilitar o estudo de diversas combinações entre o acionamento da peça, fixação desta, e avanço da ferramenta de corte simulando situações de processo convencionais e novas, foi desenvolvido um dispositivo específico multifuncional a partir de um cabeçote fresador usado na indústria metal mecânica.

Neste cabeçote fresador foi incluído um sistema de avanço com guias lineares para alta carga e acionamento pneumático no eixo “Z” caracterizando-o como um torno.

Este dispositivo permitiu combinações de processo tais como fixação da peça com garras e avanço da faca por um sistema pneumático, simulando aspectos de processo não possíveis nos equipamentos industriais, permitindo avaliar aspectos positivos do torno sem centros e dos tornos laminadores convencionais.

Outro aspecto positivo deste sistema é o fato de estarem separados os acionamentos do giro da peça e do avanço da faca, logo o torque medido se refere unicamente ao absorvido pelo eixo árvore, diferentemente do torno mecânico onde parte do torque medido no motor se refere ao eixo árvore e outra parte se refere ao avanço radial.

A Figura 3.14 apresenta uma vista frontal deste dispositivo onde podem ser vistos diversos elementos, tais como, inversor de frequência, faca de corte, barra de pressão rotativa, cilindro pneumático de avanço da faca, sensor potenciométrico de curso, guias lineares e suporte do corpo de prova.

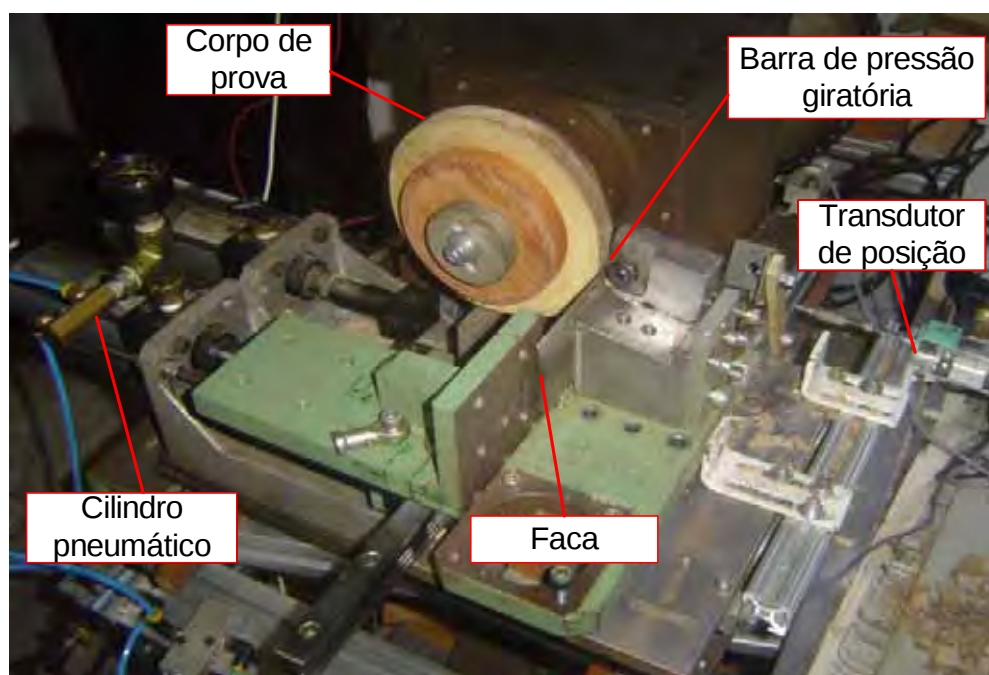


Figura 3.14 -. Dispositivo para laminação de bambu.

Um aspecto de interesse neste dispositivo é o sistema pneumático de avanço da faca de corte, configurado de maneira a permitir que esta acompanhe o formato da secção transversal do colmo, avançando ou recuando ao longo de uma volta do colmo em processo.

Outro aspecto deste dispositivo é a possibilidade de tracionar o colmo por rolo recartilhado interno a este caracterizando uma combinação de processo de corte e acionamento inéditos, isto é, um torno sem centros com rolo de tração interno.

Para aplicação deste dispositivo foi montada a ferramenta apresentada na Figura 3.8, com barra de pressão rotativa e, configurado o sistema como apresentado na Figura 3.10. Os corpos de prova foram fixados de acordo com o apresentado no item 3.2 dependendo do objetivo, sendo realizadas séries com no mínimo seis corpos de prova.

3.7 DADOS PRODUZIDOS NOS EXPERIMENTOS

Nos experimentos foi verificada a qualidade das lâminas de forma subjetiva, visual e tátil, bem como com instrumentos os dados referentes a espessuras, rugosidades e esforços presentes no processo de torneamento, verificando-se as características do processo que influenciaram os resultados. Quanto à qualidade das lâminas:

- grau de fendilhamento;
- qualidade da superfície;
- uniformidade da espessura; e
- rugosidade superficial (Ra).

Quanto aos dados de processo:

- esforços de torque;
- rotação (velocidade de corte) e relacionamento dos esforços com relação ao diâmetro da peça;
- facilidade de processamento; e
- segurança operacional.

Necessariamente não foram obtidos todos os dados citados em todos os experimentos, pois alguns destes foram realizados para fins específicos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados experimentais são a seguir explanados e analisados de forma individual e de maneira comparativa entre si e com os apresentados na literatura usados como referência.

4.1 ESTUDO DOS SISTEMAS DE FIXAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para efeito da verificação do melhor método de fixação do corpo de prova nos diversos processos, três sistemas foram testados para o torno e dispositivo laminador e comparados com a fixação do torno sem centros tradicional. O único sistema de fixação e acionamento do colmo não testado, entre os apresentados na literatura, foi o composto por um dispositivo interno expansível apresentado no *site* de uma empresa de produtos laminados de bambu que desenvolveu solução própria (BAMBOO SURFBOARDS, 2007). Após a verificação do estado da arte de sistemas de fixação foi desenvolvido um novo sistema apresentado na Figura 4.1 como “E5”.

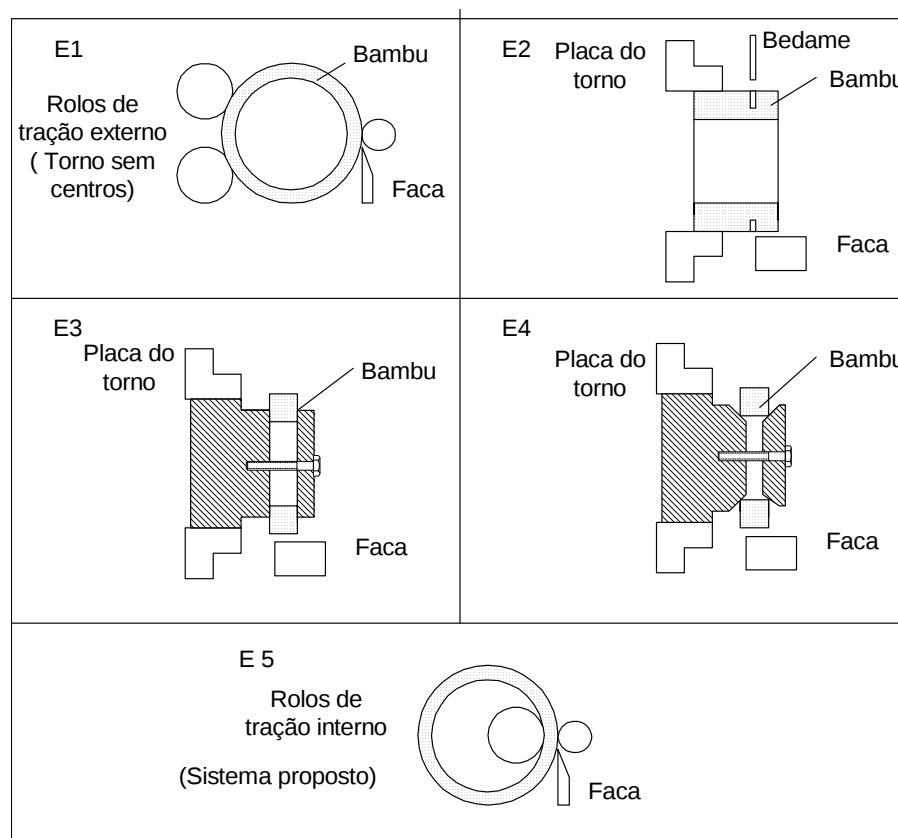


Figura 4.1 Diversos sistemas de fixação do corpo de provas testados

O sistema “E1”, apresentado na Figura 4.1, caracteriza o torno sem centros tradicional analisado no item 4.3. A grande vantagem deste é a possibilidade de laminar colmos longos que se transformam em lâminas largas.

Este sistema é autocentrante e distribui a carga ao longo do colmo, porém é difícil achar o equilíbrio entre as forças de avanço e de corte, atrito dos rolos com o colmo e resistência a compressão axial deste.

O sistema de fixação “E2”, desta figura, foi testado em 06 corpos de prova cortados com o dobro do padrão de 14 milímetros (28 milímetros) para permitir a fixação na placa do torno, tendo se mostrado bem eficiente no tocante a transferir os esforços de torque para uma grande quantidade de fibras ao longo da secção transversal, absorvendo as resultantes do torque sem romper em nenhum dos experimentos.

Este é o padrão para alguns tipos de tornos laminadores de bambu fabricados na China e, apesar da vantagem citada este tipo de fixação limita o comprimento útil da peça, e não permite o aproveitamento de todo o volume do colmo, pois uma parte (a da fixação) não é laminada. Também, neste caso a faca de corte limitada nas pontas por bedames (canivetes) não tem espaço para que seja implementado o movimento de oscilação, possibilidade esta usada para diminuir os esforços de corte.

O sistema de fixação “E3” foi escolhido para os experimentos no torno mecânico e no processo com avanço flutuante da faca e se mostrou eficiente para peças curtas por que estas ficaram estabilizadas durante a laminação, porém como uma parte nas laterais do colmo é usada para fixar a peça não permite alta eficiência volumétrica como nos dois casos anteriores (E1 e E2).

O sistema de fixação representado por “E4” é autocentrante, facilitando a montagem, porém não foi possível estabelecer um equilíbrio entre o esforço de torque e aperto de fixação. Seis corpos de prova foram testados e quebraram-se no início ou durante o processo pelo excesso de aperto para poder suportar o torque, o que levou a que se abandonasse este sistema.

O sistema de fixação da peça representado por “E5” se mostrou eficiente como os representados em “E1” e “E3” na absorção do torque e altamente eficiente no rendimento volumétrico. Este sistema, original, foi desenvolvido durante esta

pesquisa, não tendo similar apresentado na literatura e será abordado de forma mais detalhada no tópico referente ao torno sem centros com rolo de tração interno. Se por um lado também permite laminar peças largas, tem sua maior limitação na necessidade da remoção prévia dos diafragmas dos colmos o que representa mais uma operação no processo.

4.2. DEFINIÇÃO DO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DA FACA DE CORTE

Depois de analisadas as diversas opções de fixação dos colmos, foram realizados testes para definir o melhor ângulo de posição da faca. Para uma mesma abertura horizontal e vertical a faca de corte foi posicionada com três ângulos de incidência distintos como mostrado na Figura 4.2. Estas posições foram possíveis pela alteração do calço angular da faca, projetado para este fim.

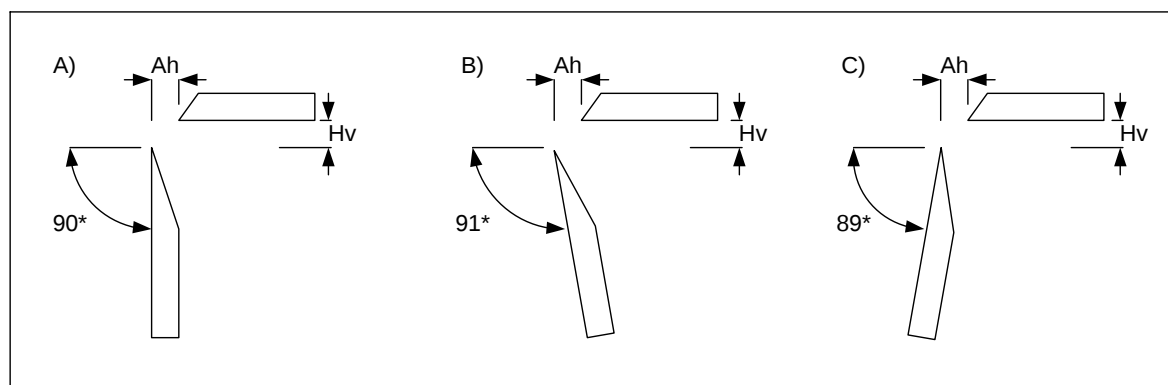


Figura 4.2. Representação das regulagens experimentadas do ângulo de posição da faca

Fixando na placa do torno mecânico pelo sistema “E3” apresentado na Figura 4.1, corpos de prova de bambu verde, e ajustado para 80 rotações por minuto com avanço radial correspondente a uma lâmina de 0,5 milímetro e 1 mm, foram realizados ensaios e verificados visualmente os melhores resultados na obtenção de uma lâmina contínua e sem abertura acentuada. Nestes experimentos, a barra de pressão fixa foi ajustada para abertura horizontal corresponde a 10% de aperto e abertura vertical com mínima pressão. Estes valores foram adotados por serem sugeridos na literatura consultada, para iniciar o processo de ajuste das ferramentas de laminação (Tabela 2.3 do Capítulo 2).

Foram realizadas três séries de testes para avanço de 0,5 mm e outras três séries para avanço equivalente a lâmina de 1 mm.

A regulagem “B” (ângulo de 91°) apresentou os piores resultados, sendo que as lâminas produzidas apresentaram alto fendilhamento e a maioria delas acabava se enrolando sobre si ou se quebrando sem caracterizar uma peça continua. As regulagens “A” e “C” por sua vez apresentaram melhor estabilidade no processo e foram adotadas a partir deste momento para todos os experimentos subsequentes.

Nas últimas séries de experimentos, no processo sem centros e com rolo de tração interno foi adotada a regulagem A (ângulo de 90°) por esta apresentar resultados satisfatórios e permitir laminação com pressões menores de avanço da faca, criando desta forma uma relação mais harmoniosa entre as forças que atuam no processo, evitando assim quebra dos corpos de provas.

Nitidamente a regulagem “C” por apresentar uma área de contato maior entre a peça e a faca, exigiu maiores esforços tornando mais crítico o rompimento da casca no início do processo.

O que se verificou é que para o bambu, tal como nas madeiras, os equipamentos de laminação, mesmo os mais simplificados, devem ter a opção deste ajuste de ângulo e o operador deve fazê-lo de acordo com o estado da matéria prima e experiência adquirida. Por outro lado como o curso radial da ferramenta de corte é muito pequeno em relação ao diâmetro não há a necessidade da mudança deste ângulo pré-fixado durante o processo como nos tornos laminadores de madeira tradicionais. As lâminas obtidas com o ângulo de ataque constante não apresentaram alteração de qualidade ao longo de seu comprimento e a isso se deve somar o fato de que em um torno para laminar para madeiras a mudança de dois graus (-1 para 0 e depois 1 grau) ocorre em um curso de aproximadamente 300 milímetros, curso este 20 vezes maior que para o bambu.

4.3 DADOS DA LAMINAÇÃO EM TORNO INDUSTRIAL SEM CENTROS

Neste tópico são apresentados os resultados do experimento realizado no torno industrial sem centros.

Na Figura 4.3, observe-se que à esquerda (A) é apresentado um colmo preste a ser introduzido neste, bem como, ao fundo o painel de controle do torno laminador.



Figura 4.3 -Alimentação do colmo (A), Lâminas imediatamente após processo (B).

O trabalho foi realizado por dois operadores, sendo que um deles depois de ajustar a pressão do sistema hidráulico de avanço, alimentava o torno e se dirigia ao painel de controle iniciando o processo e outro na saída do torno removia as lâminas. Também pela disposição da entrada dos colmos no torno, verificou-se o uso deste equipamento altamente seguro para os operadores, pois estes não se aproximavam de peças móveis apresentando ainda facilidade de automatizar esta etapa do processo usando a gravidade, se necessário para altas produções.

No experimento realizado o operador aproximou os rolos de forma intermitente para que aos poucos fosse regularizado o diâmetro do colmo e eliminada a conicidade.

Neste processo, em todos os experimentos foi gerado uma quantidade razoável de lâminas com espessura fina e irregular (aparas) com largura menor que a do colmo, devido a maior resistência das fibras na parte externa deste e como consequência da conicidade. Depois de regularizada a geometria dos colmos nas primeiras voltas as lâminas saíram contínuas com eventuais falhas devido a distorções no diâmetro.

Na falta de uma esteira na saída do torno as lâminas se acumulavam dobrando-se, pois o processo era muito mais rápido que a capacidade do operador auxiliar de retirá-las manualmente. Nesta mesma Figura 4.3, à direita (B) observa-se as lâminas logo após serem retiradas do torno, e sua disposição (muitas sobrepostas) devido à falta de esteira transportadora. Verificou-se que o uso de uma esteira é fundamental para a produção eficiente de lâminas longas contínuas e sem dobras e quebras.

Na Figura 4.4 são mostradas lâminas sendo secas ao natural e também podem ser observadas as discontinuidades nestas lâminas, devido a irregularidades geométricas, conicidade do colmo ou falhas na regulação do processo.



Figura 4.4 Lâminas sendo secas ao natural.

A Figura 4.5 mostra os rolos resto (sobras) de alguns colmos laminados e pela pequena espessura média da parede destes (observadas visualmente), verifica-se que a maior parte do material foi transformada em lâminas.



Figura 4.5. Sobras de laminação: rolo resto.

Na Figura 4.6, pela observação do topo destes rolos resto verifica-se duas situações distintas:

- os colmos apresentados à esquerda (A) possuem boa circularidade e eram alinhados em relação ao eixo geométrico, sendo laminados praticamente na sua totalidade, evidenciando um grande rendimento volumétrico do processo; e
- o colmo apresentado nesta figura à direita (B) mostra claramente que foi retirado material de forma irregular em relação ao eixo geométrico, e esta secção transversal do corpo de provas evidencia um desalinhamento em relação ao citado eixo.

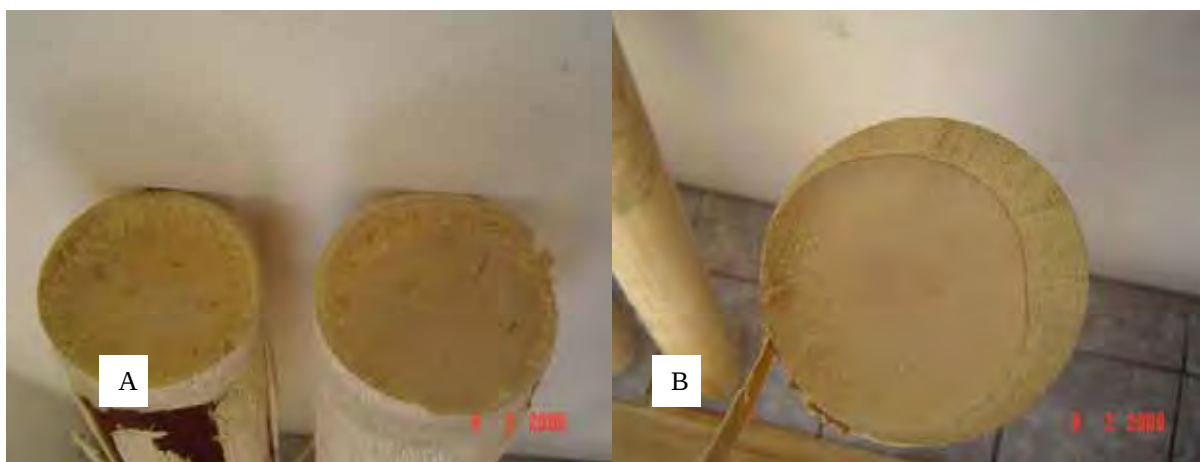


Figura 4.6. Rolo resto. Laminação concêntrica (A), Laminação excêntrica (B).

Outro tipo de sobra que deve ser considerada na laminação são as aparas produzidas no início do processo quando a peça esta sendo regularizada em sua circularidade e pela variabilidade da matéria prima nas diversas regiões ao longo da secção transversal.

No início do processo há uma grande resistência ao corte devido à casca e como a pressão que ocasiona o movimento de avanço é constante a faca de corte raspa a peça e, somando-se às irregularidades geométricas em alguns momentos tem-se mudanças repentinas nas forças envolvidas, ocasionando lâminas de maior ou menor espessura, até que o processo se estabiliza produzindo lâminas contínuas.

As lâminas de pequena espessura se subdividem formando as aparas como mostrado na Figura 4.7.



Figura 4.7. Aparas resultantes da laminação sem centros em torno industrial.

Na Figura 4.8, observa-se um corpo de provas com rompimento prematuro, sendo visível que este ocorreu antes da peça se tornar um sólido de revolução, e esta ocorrência se deve a um ou mais dos seguintes fatores:

- excesso de pressão sobre os roletes de tração;
- o material não foi cortado bem próximo do diafragma;
- corpo de provas com trincas;
- corpo de provas desalinhado em relação a seu eixo geométrico; e
- corpo de provas com conicidade acentuada.

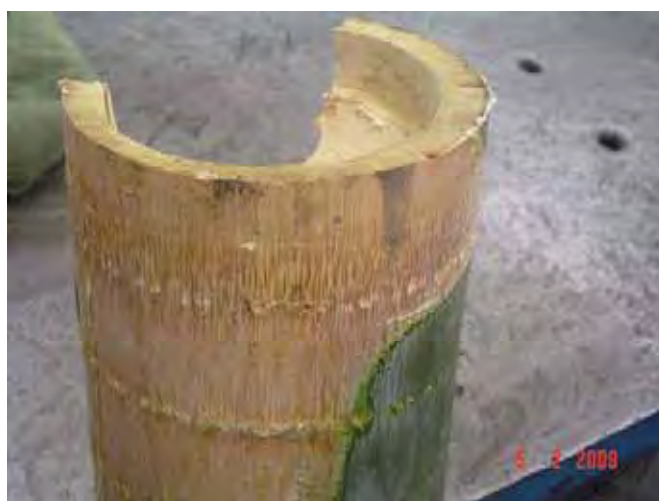


Figura 4.8. Colmo rompido no início do processo.

Dos doze colmos usados no experimento, quatro foram usados para regular o equipamento e definir os parâmetros de laminação e, oito processados de maneira satisfatória; sendo nestes casos realizadas medições para verificação do volume processado, tempo de ciclo e espessura da lâmina.

O operador do torno, pela inexistência de parâmetros confiáveis e pela variabilidade da matéria prima e pelas características dos rolos de tração projetados para madeiras, ajustava a pressão sobre os rolos de tração e a aproximação da faca por tentativa e erro até encontrar um ponto ideal de início efetivo da laminação.

Também pela inexistência de uma guilhotina para seccionar as peças logo na saída do torno, ficou dificultada a medição da área útil das lâminas. Por estas questões optou-se por verificar o rendimento das lâminas e aparas em peso e estes estão apresentados na Tabela 4.1. Se comparados estes dados experimentais de rendimentos de lâminas e o tempo de ciclo, com os apresentados por Stamm (2003) e Ostapiv (2007) conclui-se que este processo pode se viável.

Tabela 4.1- Rendimento das lâminas no torneamento sem centros (Rolos de tração externos).

Colmos	Massa inicial (kg)	Massa: lâminas e aparas (Kg)	Massa: Lâminas (Kg)	% Aproveitamento de L+A	% Aproveitamento de lâminas	Tempo de ciclo (s)
1-Colmo seco 12 %	9,35	5,1	3,26	54	35	57
2-Colmo saturado em água	5,60	4,0	2,24	71	40	52
3-Colmo verde	7,20	3,5	1,92	48,6	26,6	54
4-Colmo verde	8,30	3,9	2,57	46,9	32,3	56
5-Colmo Verde	10,5	6,2	3,8	59	36,2	70
6-Colmo verde	7,5	4,5	2,3	60	30,7	59
7-Colmo verde	6,4	4,2	2,2	66	34,3	55
8-Colmo verde	6,3	3,4	1,64	54	26	49
Média				50,6%	29,4%	56,7s

No Gráfico 4.1 são apresentados dados de amostragem de espessura de lâminas obtidas ao longo do comprimento para diferentes condições de matéria prima sendo observada nestes intervalos boa estabilidade dimensional pela análise do desvio padrão.

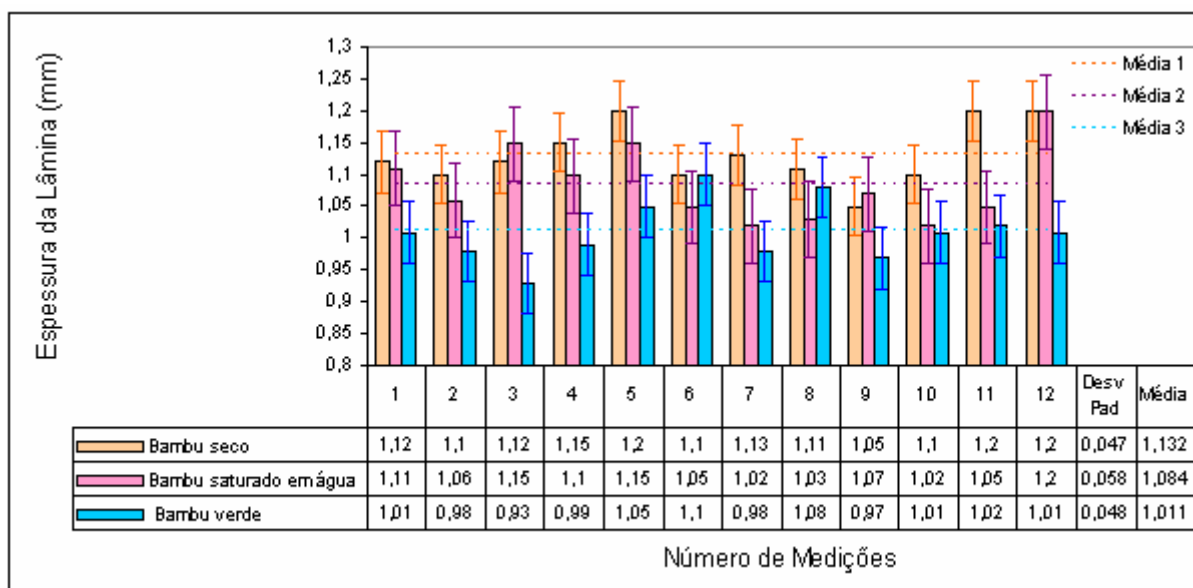


Gráfico 4.1 – Valores médios de espessura das lâminas.

No processo de torneamento sem centros ficaram evidenciados alguns aspectos positivos e negativos para a laminação de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*.

Entre os aspectos positivos relevantes observados no processamento sem centros pode-se citar:

- velocidade alta do processamento. Neste caso não deve ser considerada apenas a velocidade de corte em si, mas também a facilidade de alimentar o torno e iniciar o processo. O tempo total de ciclo é baixo se comparado ao serramento por exemplo, por ter somente o tempo improdutivo de alimentação dos colmos na máquina;
- obtenção de lâminas delgadas, largas e contínuas. No torno usado a lâmina poderia ter até 1350 mm de largura. No experimento foi obtida uma lâmina com 1200 mm de largura, sendo esta muito maior que os 500 milímetros possíveis nos tornos com garras específicos para bambu citados na revisão bibliográfica do Capítulo 2;
- em uma única operação os colmos são transformados em lâminas aptas a serem aplicadas em placas, compósitos laminados, revestimento de móveis ou ainda em produtos como pratos descartáveis, palitos para sorvete entre outros. Diferentemente, nos processos que envolvem corte por serra e laminação

longitudinal as peças oriundas de um colmo são manuseadas várias vezes para se obter o produto final;

- como o operador alimenta o torno com um colmo e se afasta para iniciar o ciclo de laminação; não ficando em nenhum momento exposto ao contato com peças móveis ou em atitude de risco, este processo é extremamente seguro quanto à operação;
- o sistema é autocentrante não exigindo tempo improdutivo para esta operação;
- o sistema permite a aplicação de faca oscilante para a diminuição do esforço de corte e a aplicação de bedames nas laterais para padronizar a largura das peças;
- o sistema laminou bambu verde ou seco, sendo que no seco é muito maior o grau de fendilhamento e a rugosidade, bem como fendas levaram ao rompimento prematuro do colmo nesta condição;
- as aparas decorrentes do processo podem ser usadas para produtos como OSB e o rolo resto se queimado, pode ser usado na complementação da energia para a secagem artificial; e
- o percentual de conversão dos colmos em lâminas deve aumentar a medida que se definam melhor os parâmetros de processo, mesmo assim analisando os resultados apresentados na Tabela 4.1, neste experimento o rendimento foi maior que o apresentado por autores como Stamm (2003) e Ostapiv (2006) que apresentam rendimento médio de 25%.

Entre os aspectos negativos do torneamento sem centros ou que exigem uma evolução podemos citar:

- a necessidade de cortar os colmos rente ao diafragma nas duas pontas (para evitar ruptura) resulta em falta de padronização e perdas da matéria prima entre nós. Como solução foi experimentado o uso de um tampão em um dos corpos de prova que não tinha diafragma em uma das pontas, porém este se movimentou pela vibração e o colmo se rompeu não permitindo concluir a validade deste método. O desenvolvimento de um sistema eficiente para evitar o rompimento nas pontas poderá eliminar esta limitação do processo para padronizar de forma otimizada a largura das lâminas;

- a variabilidade da matéria prima somado à força constante de avanço e não avanço com passo constante provoca a ocorrência de lâminas com espessura variável e aparas que diminuem o rendimento deste tipo de equipamento se comparado aos torno convencionais;
- a conicidade e desalinhamento dos colmos influenciaram diretamente no volume de lâminas produzido. Colmos retilíneos são mais produtivos o que implica em uma pré-seleção destes antes da laminação. Este fato, acrescido da necessidade de laminar somente a parte do colmo próximo da base que tem maior espessura sinalizam que o ideal para o processamento de bambu é o desenvolvimento de sistemas de produção com processos variados para otimizar o uso dos colmos. Isto é, o colmo não apto a ser laminado seria neste caso cortado por serra ou reaproveitado para outras aplicações como móveis e produtos de decoração;
- é necessário o desenvolvimento de sistema de rolos de tração mais eficientes, com realimentação automática da pressão de sujeição, evitando por um lado o escorregamento dos colmos e por outro evitando sobre pressão quebrando-os. Devido a anatomia do bambu a parte externa inicial da laminação exige esforços muito maiores que os relativos à parte interna. A falta deste balanceamento de esforços teve como consequência o rompimento prematuro de vários corpos de prova. Esta grande variação de esforços de corte não foi possível de ser quantificada neste experimento, porém, é semelhante ao obtido na laminação em torno mecânico abordada a seguir. A opção de contra rolo colaborando na tração também deve colaborar na harmonização dos esforços;
- o controle do processo precisa ser exaustivamente testado até que sejam definidos parâmetros específicos para o bambu;
- ficou evidente que neste tipo de equipamento é fundamental o uso de uma esteira para a retirada e manuseio das lâminas longas e contínuas sem rompê-las por dobramento; e
- a faca de corte deve ser continuamente afiada, pois um defeito que esta possuía deixou uma marca ao longo das lâminas acompanhando a oscilação desta. A afiação regular é preponderante na qualidade das lâminas.

4.4 DADOS DA LAMINAÇÃO EM TORNO MECÂNICO CONVENCIONAL

Esta série de experimentos se fez necessária por se tratar da situação de processo que melhor se aproxima da laminação tradicional, pelas características similares em muitos aspectos entre os tornos mecânicos com avanço transversal engrenado e os tornos laminadores tradicionais. Foi possível determinar a distribuição dos esforços de torque durante o processo, determinar a influência da velocidade de corte sobre o torque e sobre o acabamento das peças bem como comparar o avanço engrenado com o avanço hidráulico e pneumático da faca de corte usados nos outros experimentos.

As figuras 4.9, 4.10 e 4.11 apresentam de forma gráfica os resultados do torque para laminação de bambu verde natural (umidade acima de 30%) com largura de 14mm em torno mecânico, com faca não oscilante afiada com ângulo de gume de 20°, ângulo de incidência de 89°, barra de pressão com 75°, abertura horizontal de 90% e abertura vertical com mínima pressão.

Nesta série de experimentos para uma mesma condição de matéria prima, mantendo uma regulagem constante da abertura horizontal e vertical, foi alterada a rotação de acionamento dos colmos e verificada a consequência sobre o torque de acionamento e sobre a qualidade das lâminas. No eixo X estão representados as medições realizadas durante o curso radial da ferramenta e, no eixo Y estão representados os valores de torque.

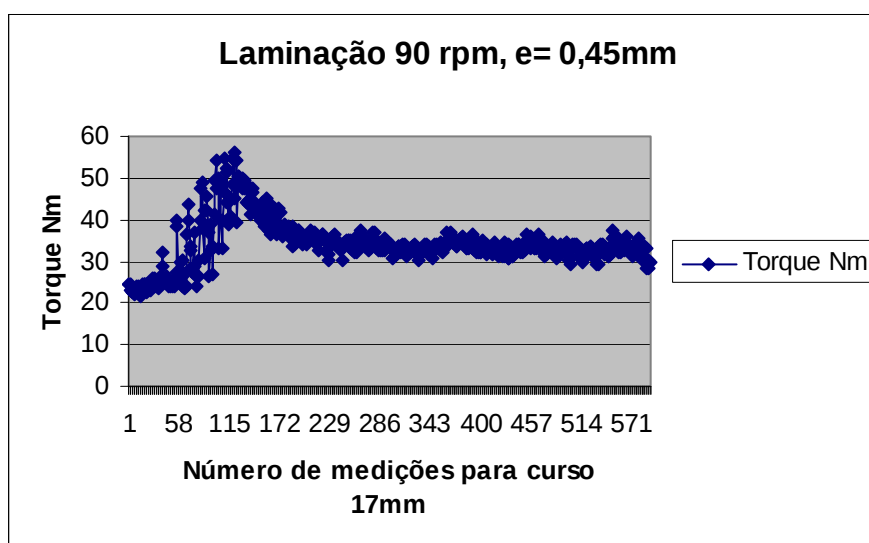


Figura 4.9- Torque para obter lâmina de bambu verde com espessura de 0,45 milímetro a 90 rpm.

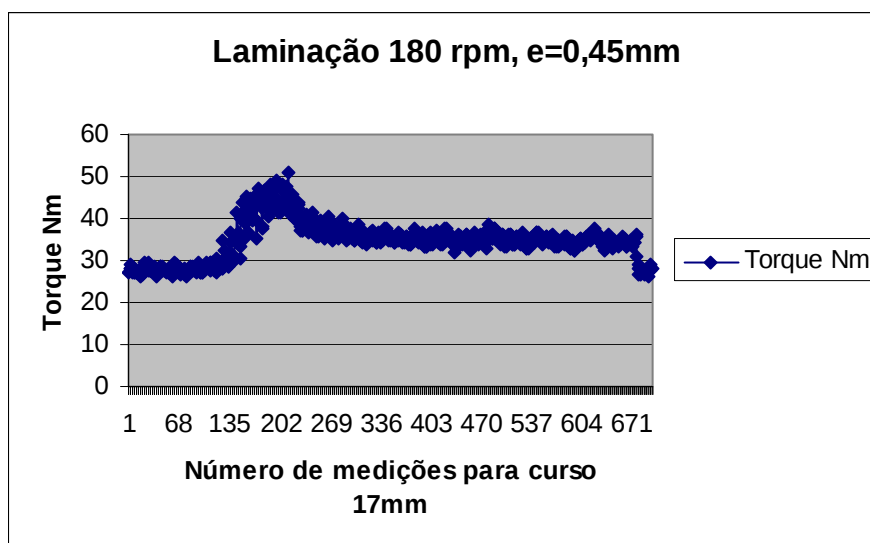


Figura 4.10- Torque para obter lâminas de bambu verde com espessura de 0,45 milímetro a 180 rpm.

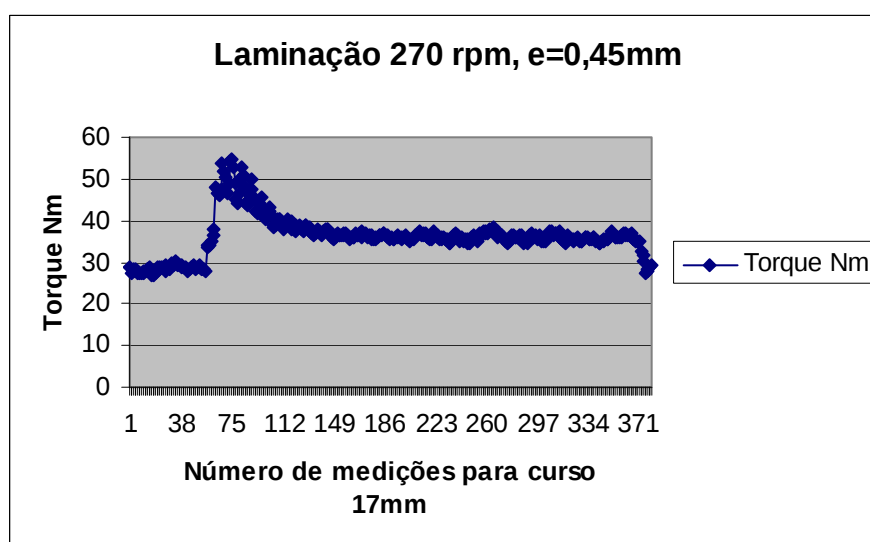


Figura 4.11 -Torque para obter lâminas de bambu com espessura de 0,45 milímetro a 270 rpm.

Para melhor entendimento dos gráficos, a Figura 4.12 exemplifica a relação destes com o colmo e avanço da faca de corte. Nesta figura “ev” representa um intervalo médio na região onde a faca avança em vazio, sendo que neste período o torque é somente o necessário para mover o eixo árvore, o colmo e os mecanismos de avanço radial do torno. Da mesma forma o intervalo “ee” representa a média do torque máximo e de forma análoga os intervalos “em” e “ei” representam a média dos esforços nas regiões médias e internas do colmo.

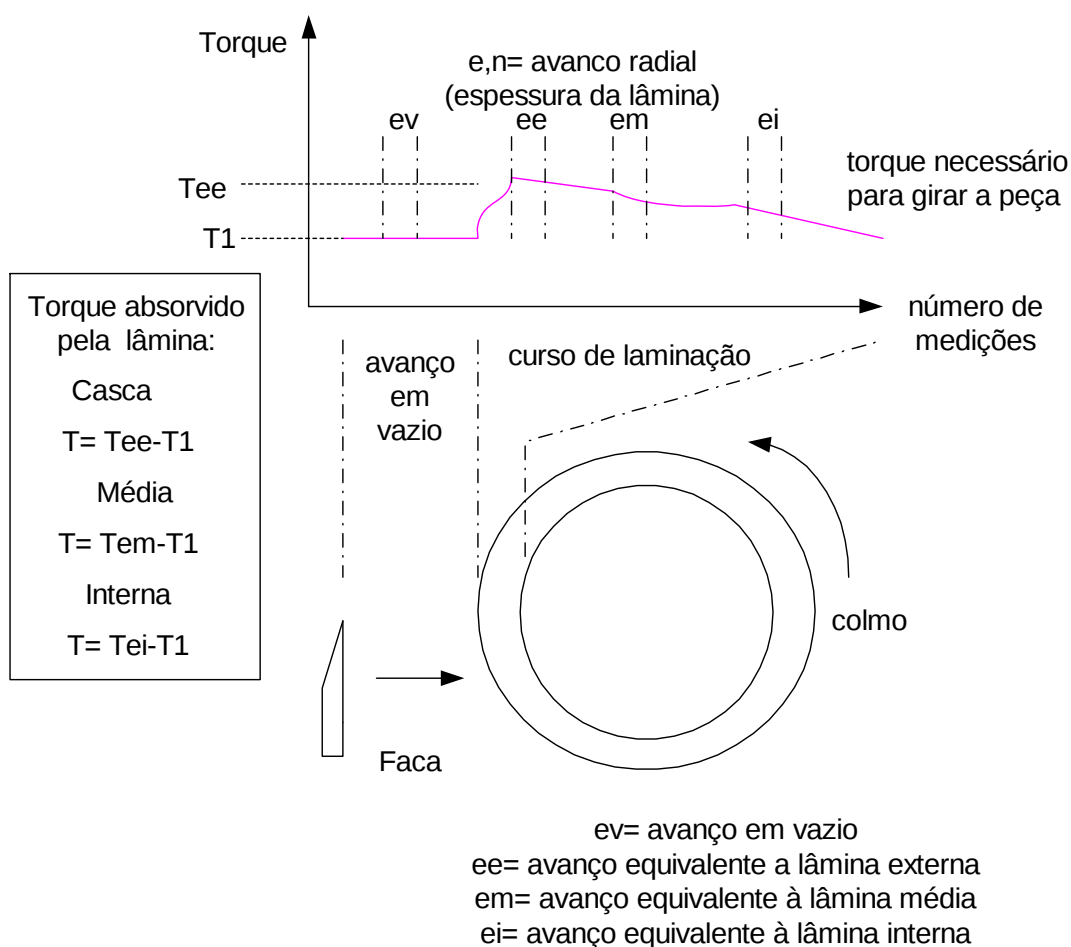


Figura 4.12. Representação gráfica para detalhar a análise dos gráficos de torque

Alterar a rotação significou alterar a velocidade de corte e, esta pode ser calculada pela multiplicação da rotação pelo raio de ação da ferramenta em um determinado momento.

A velocidade de corte média pode ser obtida pela multiplicação do raio médio do colmo pela rotação. A velocidade real varia proporcionalmente a variação do raio e para minimizar esta consequência na verificação da qualidade, foram separadas as lâminas referentes a diâmetros similares garantindo velocidade de corte praticamente constante.

Analisando de forma visual e pela rugosidade superficial média, parâmetro “Ra”, as lâminas obtidas para a mesma condição de afiação e ajuste de ferramenta, porém, com rotações diferentes, não apresentaram diferença de qualidade substancial (não caracterizando algum tipo de tendência) denotando a pouca ou nula influência da velocidade sobre o acabamento das lâminas.

Foram realizadas 12 medições de rugosidade para cada rotação utilizada, para as mesmas condições de ferramenta e matéria prima (colmo verde), sendo os resultados médios apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Rugosidade Ra média em função da velocidade de corte (μm).

	90 rpm	180 rpm	260 rpm
Experimento 1	15,3 μm	14,5 μm	14,9 μm
Experimento 2	13,9 μm	14,3 μm	15,9 μm
Experimento 3	17,2 μm	16,2 μm	17,5 μm

Pelo somatório dos experimentos, evidenciou-se que fatores tais como cozimento, afiação e regulagens da ferramenta apresentados em outros experimentos foram mais preponderantes na qualidade final das lâminas do que a velocidade de corte.

Analisando de forma qualitativa os gráficos apresentados na figuras 4.9, 4.10 e 4.11, pode-se verificar que para as diferentes rotações do eixo árvore o comportamento da curva de torque foi semelhante evidenciando que o acúmulo de fibras na região externa do colmo exige maior esforço de corte.

Para as regiões mais internas do colmo praticamente não houve variação do torque de acionamento. Este comportamento da curva de torque (muito maior próximo da casca) claramente evidência a origem da dificuldade de manter a espessura da lâmina constante nas regiões próximas da casca nos experimentos onde o avanço radial da ferramenta foi realizado por sistema hidráulico ou pneumático.

Esta análise se for feita de forma quantitativa, mostra que o esforço para laminar na região próxima à casca chega a ser três vezes maior que para as regiões mais internas do colmo. Esta variabilidade da matéria prima no sentido radial e o diferente raio de atuação da faca a medida que esta avança sobre a peça, ocasionam as variações de espessura das lâminas e surgimento de aparas como já abordado.

Dos resultados que geraram estes gráficos o valor médio do torque nos intervalos anteriormente citados obtemos o torque médio em vazio (ev) e de forma análoga se obtivermos a média do torque referente ao intervalo “ee” subtraindo deste o torque médio em vazio (ev), teremos o torque necessário para a retirada de uma lâmina

externa nas condições do experimento, bem como, nos intervalos representados por “em” e “ei” teremos o torque na região mediana e interna à parede do colmo.

Tabela 4.3 - Torque necessário para laminação em torno mecânico em condições pré-estabelecidas (Nm)

Rotações	Torque Casca (Tc) Nm	Torque Região média (Tm) Nm	Torque Região interna (Ti) Nm	Relação entre Tc e média de Tm e Ti
90 rpm	25,5	9,257	7,95	2,95
180 rpm	17,12	7,28	6,12	2,55
270 rpm	21,82	8,30	7,80	2,71

Da Tabela 4.3 verifica-se nitidamente um acentuado decréscimo do torque necessário para acionar a peça à medida que se afasta da casca do bambu, o que era esperado em função do apresentado pelos diversos autores na revisão apresentada no Capítulo 2, que afirmam ter um maior número de fibras e maior resistência nesta região.

A simulação de laminação em torno mecânico apresentou a melhor estabilidade dimensional conforme os resultados de três amostras apresentadas no Gráfico 4.2. Entre estas amostras de bambu verde, escolhidas de forma aleatória em uma determinada condição de processo, a de número dois apresentou maior desvio padrão e isto se deve provavelmente à variabilidade da matéria prima.

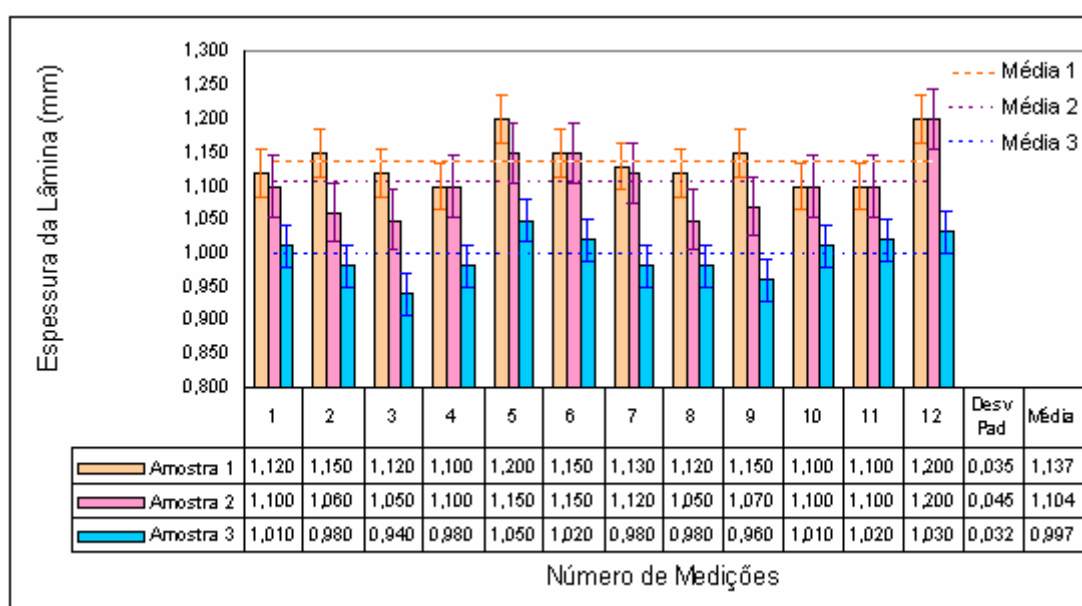


Gráfico 4.2 - Amostragem de espessura média (mm) de lâminas obtidas em torno mecânico.

4.5 DADOS OBTIDOS COM DISPOSITIVO LAMINADOR

Conforme abordado anteriormente, foram realizados dois tipos de ensaios no dispositivo laminador desenvolvido:

- laminação com centro e avanço flutuante da faca de corte; e
- laminação sem centros com rolo de tração interno.

4.5.1 Laminação com centro e avanço flutuante da faca de corte

A aplicação deste dispositivo foi feita com intuito de resolver um problema referente à laminação que é a irregularidade de circularidade dos colmos. Esta ovalização dos colmos, faz com que se perca muito material (sob a forma de aparas) até que este fique regular e produza uma lâmina continua se usado um sistema tradicional de avanço engrenado da ferramenta.

A Figura 4.13, apresenta uma vista frontal do dispositivo e nesta verifica-se o conjunto faca e barra de pressão giratória montados no carro com guias rolamentadas.

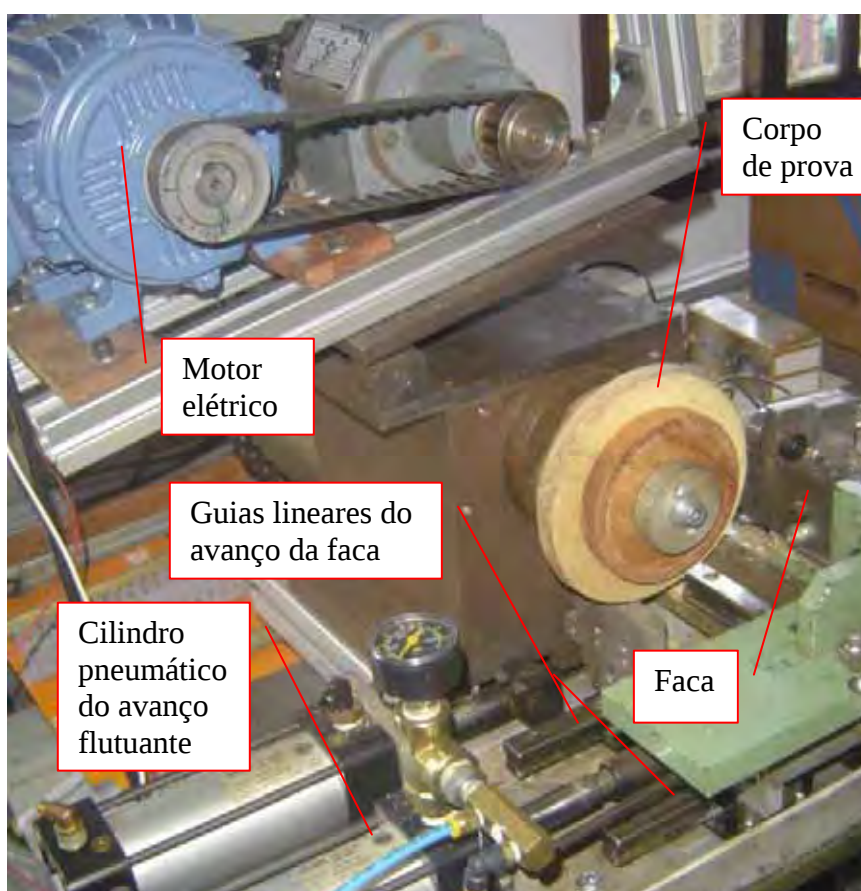


Figura 4.13- Dispositivo de laminação com centros e faca flutuante.

Também podem ser visto os atuadores pneumáticos de deslocamento, o motor e o sistema de transmissão que utiliza redutor e correntes.

Os atuadores pneumáticos realizam o trabalho na tração, puxando a ferramenta contra a peça, sendo que o controle da pressão destes implica no controle da força de avanço da faca.

Nesta figura, ainda é possível ver um corpo de provas fixado por uma flange frontal (Sistema de fixação “E3”, apresentado na Figura 4.1).

A Figura 4.14 mostra um rolo resto processado e ainda fixo ao dispositivo laminador, no qual, pela grande variação da espessura da parede pode-se constatar que a faca descreveu movimento irregular (não concêntrico com o eixo de giro e o flange de fixação frontal) ao longo do curso da laminação, indicando que esta acompanhou as regiões de menor resistência. Como consequência, nestas situações, o laminado não apresenta espessura constante.



Figura 4.14- Rolo resto da laminação com centros e faca flutuante.

A Figura 4.15 descreve o movimento da faca durante a laminação de bambu verde, em um período de 06 voltas depois que foi removida a região da casca, sendo que no eixo X verifica-se a variação radial do gume de corte desta faca em milímetros e, no eixo Y o número de medições realizadas.

A análise dos pontos entre duas cristas indica que a peça tinha diâmetro irregular e estava fixada excêntricamente em relação ao eixo de giro.

Para cada volta as cristas do gráfico deveriam ter avançado 0,55 milímetros, correspondente à regulagem da abertura horizontal da barra de pressão, o que não ocorreu.

Neste processo a faca acompanhou o perfil irregular médio da peça como previsto, realizando a laminação de forma continua após romper a casca do colmo, porém com acentuada variação de espessura das lâminas, devido à variabilidade radial do bambu e à variação do ângulo de incidência ao longo do percurso em uma volta.

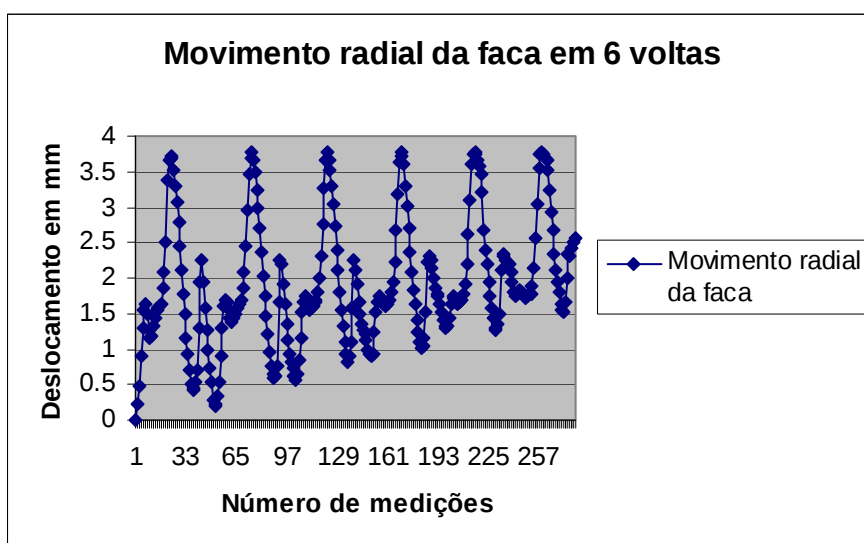


Figura 4.15 -Movimento radial flutuante da faca de corte.

O Gráfico 4.3 apresenta a amostragem da variação de espessura ao longo de uma volta, sendo que esta diferença tende a diminuir à medida que diminui o diâmetro do colmo.

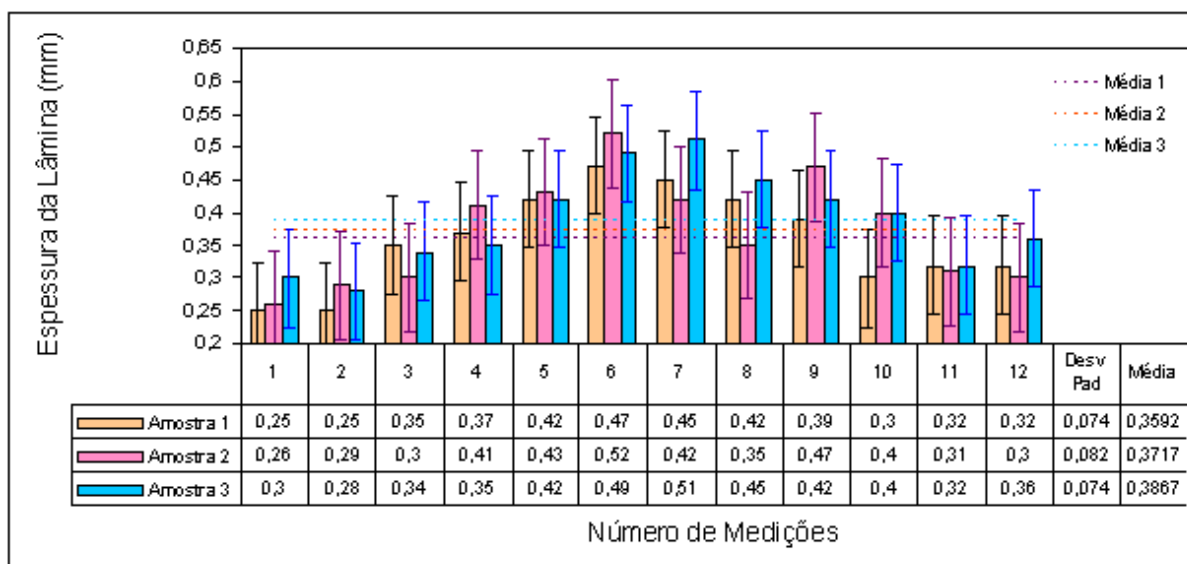


Gráfico 4.3 - Amostragem de espessura média de lâminas de bambu verde, obtidas em uma volta. Peça fixa com centro e faca flutuante.

A Figura 4.16 mostra o torque necessário para acionar o colmo do gráfico apresentado na Figura 4.15, e neste mesmo intervalo de curso da faca verifica-se também uma variação contínua deste torque devido à variação do ângulo de incidência e variabilidade da matéria prima e raio de atuação da força. Este conjunto de fatores levou ao que tudo indica a baixa qualidade dimensional da espessura das lâminas, apesar do bom acabamento superficial resultante neste processo.

Esta variação de espessura (porém de forma menos acentuada) também aconteceu em alguns momentos na laminação sem centros realizada no torno industrial anteriormente descrita.

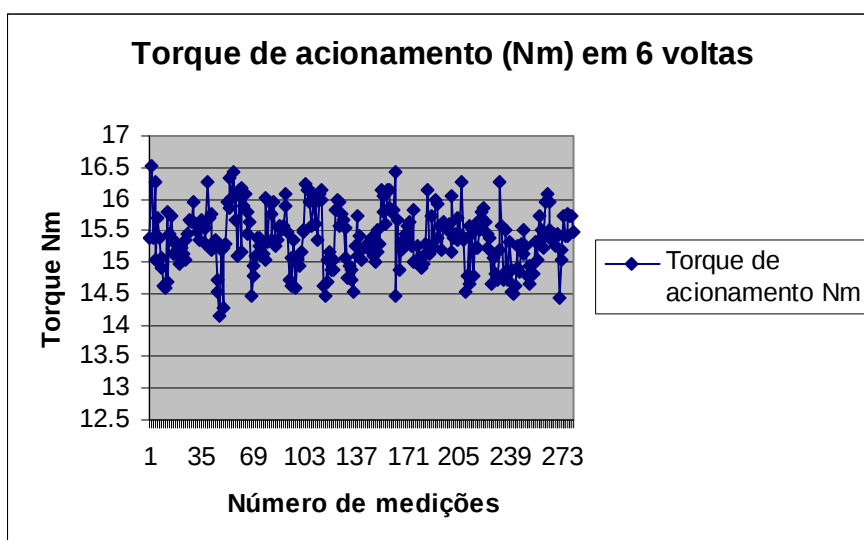


Figura 4.16-Variação do torque durante o movimento radial flutuante da faca de corte. Bambu verde, espessura da lâmina 0,5 mm.

O que se observou em repetidos experimentos com este dispositivo foi que, corpos de prova com circularidade mais regular e fixados de forma a girarem concêntricos em relação ao eixo do dispositivo, minimizaram as variações de espessura.

Destas considerações estima-se que para lâminas bem mais largas que as usadas nos corpos de prova (14mm), junto com maior precisão de fixação e contra-rolos de maior diâmetro, devem diminuir esta variação dimensional de espessura, viabilizando este processo para produzir lâminas para aplicações onde não haja necessidade de rigor desta dimensão.

4.5.2 Laminação sem centros com rolo de tração interno

Os problemas apresentados na secção anterior induziram ao desenvolvimento de um sistema de fixação e tracionamento do corpo de prova original sem qualquer referência na literatura pesquisada para fundamentar este trabalho, sendo este apresentado na Figura 4.17. Neste processo o colmo de bambu fica preso entre o rolo de tração interno a este, o contra rolo e a faca de corte sendo que a força de sujeição é feita por um sistema de avanço pneumático ou hidráulico.

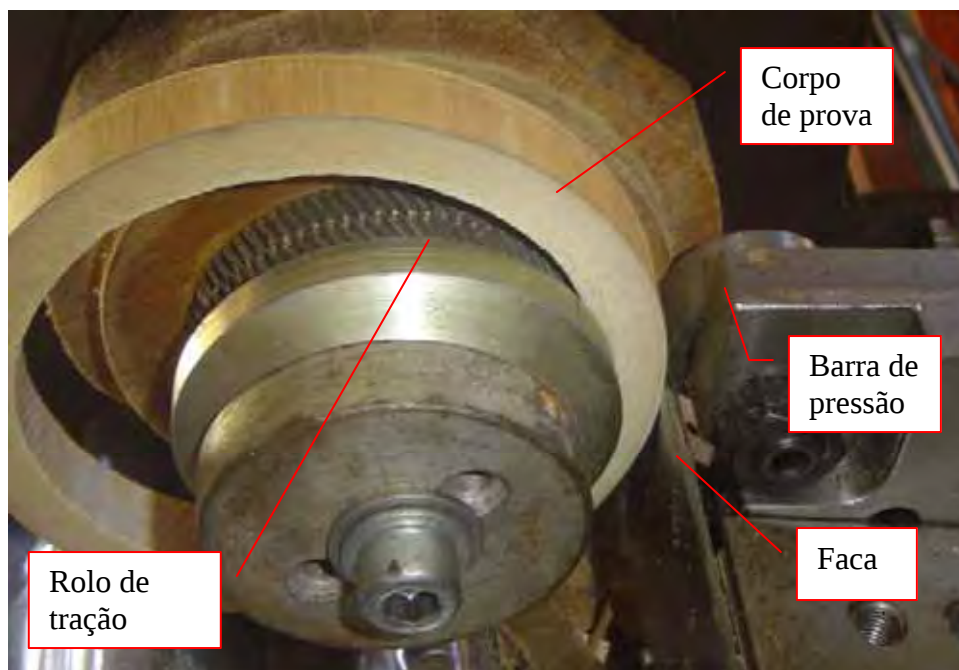


Figura 4.17- Detalhe do rolo de tração interno, faca, barra de pressão giratória e corpo de prova.

Depois que o colmo é posicionado e o rolo de tração interno acionado, a faca de corte e o contra rolo (barra de pressão) avançam gerando pressão e, por conseguinte atrito entre colmo e rolo de tração de modo que este último começa a girar sendo empurrado contra a aresta de corte produzindo assim o laminado contínuo.

Pequenos dentes na superfície de contato do rolo de tração penetram na superfície interna do colmo e, desde que a resistência ao cisalhamento desta área em contato seja maior que a força de corte para separar a lâmina, a velocidade periférica do rolo será transferida à peça. A velocidade de corte depende do diâmetro do rolo de tração e da espessura da parede do colmo.

A espessura da lâmina depende da abertura horizontal, abertura vertical e pressão do sistema de avanço da faca. O colmo gira sem centros e todo o sistema é similar ao torneamento sem centros tradicional com a diferença que neste caso a tração é interna.

Na Figura 4.18 vemos uma peça excêntrica, levemente oval e com espessura de parede irregular junto com o laminado produzido sendo que o processo foi interrompido antes que o rolo resto se rompesse, demonstrando neste caso que este processo é bem flexível quanto às variações geométricas dos colmos.



Figura 4.18- Colmo verde e lâmina produzidos em torno sem centros interno

O monitoramento da trajetória flutuante do avanço da aresta de corte da ferramenta, de uma peça com as irregularidades acima apresentadas, resultaram no gráfico apresentado na Figura 4.19. Analisando qualitativamente, verifica-se que para cada volta da peça (compreendida entre duas cristas do gráfico) o movimento acompanhou uma determinada trajetória de forma repetitiva, avançando a cada giro o equivalente à espessura da lâmina.

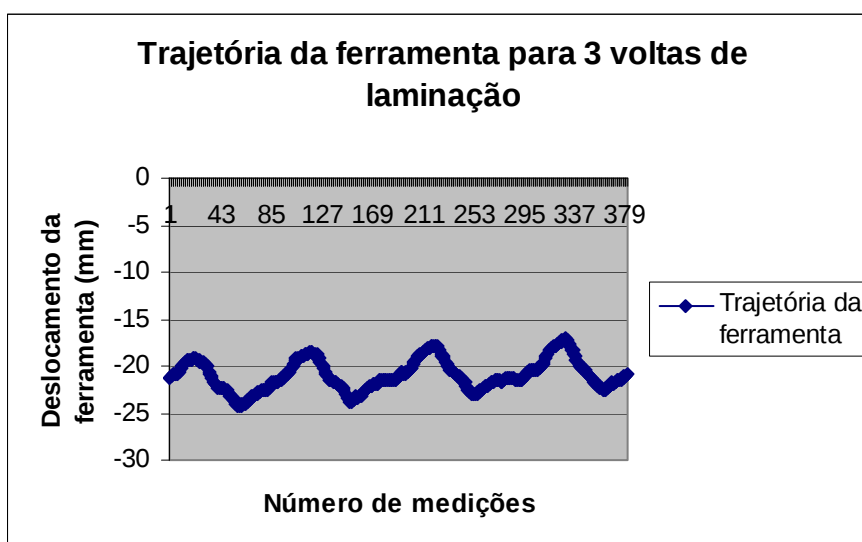


Figura 4.19- Trajetória radial da ferramenta de corte. Laminação de bambu verde com tração interna.

Analisando de forma qualitativa o torque gerado durante o processo verifica-se na Figura 4.20 uma pequena queda deste ao longo do curso devido a pequena variação para menos do raio de atuação da força de corte devido à diminuição do diâmetro da

peça. Neste gráfico a medida número 1 se refere ao maior diâmetro da peça e a última medida corresponde ao raio mínimo da peça, nesse caso 36 mm.

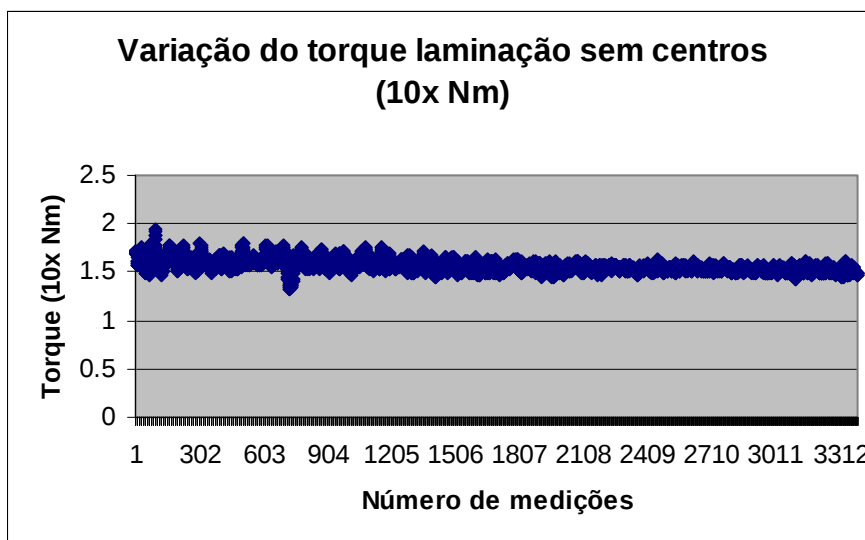


Figura 4.20- Torque durante processo de laminação sem centros tração interna.

Analizando de forma quantitativa o torque em três diâmetros do processo temos:

- torque médio entre evento 440 e 460= 1,578 Nm;
- torque médio entre evento 1760 e 1790= 1,554 Nm; e
- torque médio entre evento 3000 e 3020= 1,502 Nm

A variação percentual do torque foi de 5% e a variação do raio da peça neste mesmo intervalo foi de 59,2 milímetros para 40,86 milímetros.

A Figura 4.21 apresenta um corpo de provas de bambu seco (12% de umidade), as lâminas geradas e o rolo resto e desta verifica-se que boa parte do colmo foi transformada em lâminas.



Figura 4.21- Colmo, rolo resto e lâminas de bambu tratado laminado seco (12% de umidade).

No Gráfico 4.4 são apresentados resultados de amostragem de segmentos de lâminas de 03 corpos de provas (bambu verde) obtidas pelo processo sem centros com rolo de tração interno, e pode ser verificada a boa estabilidade dimensional deste.

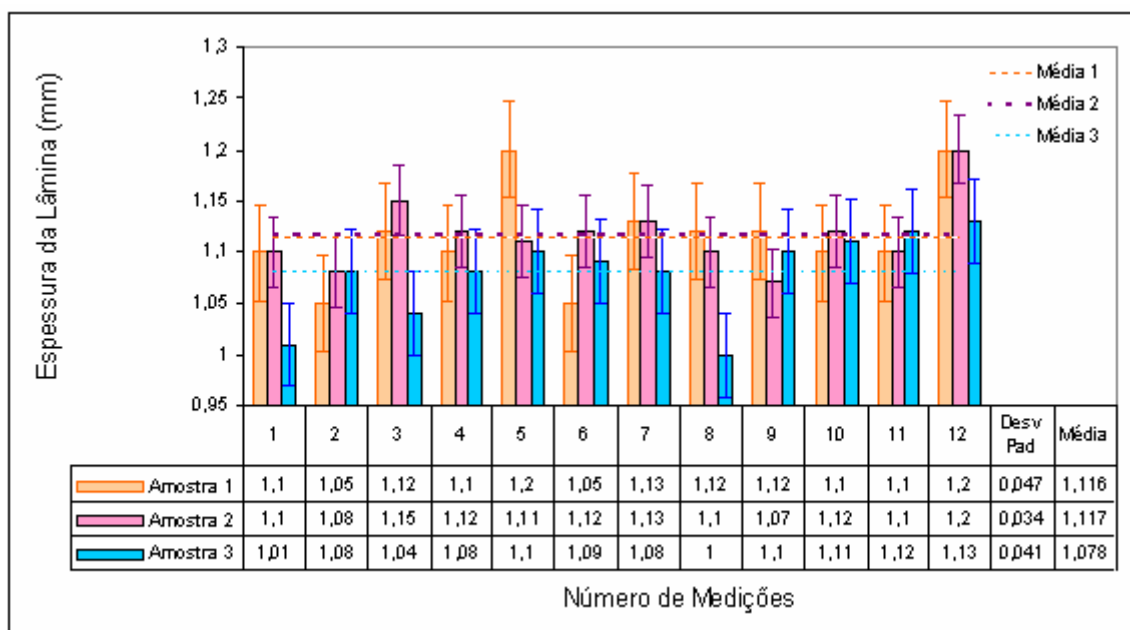


Gráfico 4.4- Amostragem de espessura média de lâminas obtidas em dispositivo laminador sem centros interno.

Da análise geral da laminação sem centros com rolo de tração interno destacam-se os seguintes aspectos positivos:

- a laminação de colmos ovalizados e com variação de espessura apresentou bom acabamento superficial e boa regularidade de espessura, pois estes defeitos tiveram mínima influência nas variações de posição relativa entre faca de corte e peça minimizando os problemas de variação de espessura da lâmina encontrados no sistema anteriormente citado;
- para um determinado diâmetro de colmo laminado pelos vários processos apresentados o esforço de torque será menor na laminação sem centros interna, devido ao menor raio de atuação das forças;
- a possibilidade de laminação de colmos com secção transversal ovalizadas tende a aumentar o rendimento volumétrico deste processo em relação aos outros anteriormente citados. Como analisado anteriormente na laminação sem centros e com torno tradicional primeiro a peça é regularizada para depois sair uma lâmina regular;
- o rendimento volumétrico das lâminas foi alto neste processo;
- possibilidade de laminar colmos de pequeno diâmetro, pequena espessura de parede e de boa largura. Estas dimensões dependem do diâmetro do rolo de tração e comprimento máximo deste em função do diâmetro sem sofrer flambagem;
- possibilidade de laminação levemente cônica, consequência da inclinação da faca em relação ao eixo longitudinal do colmo permite explorar melhor as fibras do colmo; e
- neste processo a resultante das forças é aplicada sobre a parede do colmo e no torneamento sem centros tradicional os esforços são aplicados sobre o colmo, resultando daí que o sistema interno é menos favorável à quebra da peça.

Desta mesma análise da laminação sem centros com rolo de tração interno alguns aspectos negativos destaca-se que:

- devido a aspectos de laminação relativos aos esforços de corte apresentados anteriormente, onde comprova-se que o torque para romper e laminar a casca do bambu é relativamente maior que o torque para laminar as partes mais internas, o início do processo é crítico sendo necessário aplicar tração também no contra-rola, para minimizar os problemas decorrentes desta curva típica do torque. O movimento relativo diferente entre as peças móveis internas e externas implicará em projeto mais elaborado do sistema de acionamento;
- o aspecto desfavorável de maior impacto, relativo a este processo de laminação, é a necessidade da remoção dos diafragmas para se efetuar a laminação de colmos. Mesmo sendo uma operação simples, isto implica em uma etapa a mais no processo;
- a alimentação de peças longas será mais complicada se comparada ao sistema sem centros com rolos externos.

4.6 ANÁLISE GERAL DOS EXPERIMENTOS

Nesta seção são abordados aspectos comparativos relativos à rugosidade da superfície, rendimento de laminação e aproveitamento das melhores fibras dos colmos. Dados obtidos nos experimentos são comparados entre si e com os apresentados na literatura embasando as conclusões a seguir:

a) rugosidade da superfície

Na tabela 4.4 são apresentados os índices de rugosidade média verificados nas lâminas obtidas pelo processo de torneamento sem centros no torno industrial apresentado na seção 4.3 deste capítulo e na Tabela 4.5 são apresentados os dados referentes à laminação sem centros com rolo de tração interno.

Tabela 4.4 - Rugosidades Ra (μm) para diferentes condições de matéria prima (Torno industrial sem centros com rolos de tração externos).

Corpo de prova	Medição no entre nós (μm)	Medição no nó (μm)
Colmo verde	13,7	16,6
Colmo tratado	15,5	17,3
Colmo seco	19,5	21,26

Tabela 4.5 - Rugosidades Ra para diferentes condições de matéria prima (Processo com rolo de tração interno).

Matéria prima	Colmo verde (30% umidade)	Colmo seco (12% umidade)	Colmo verde cozido a 60°, 2 h	Colmo verde cozido a 60°, 3 h
Rugosidade média Ra (μm)	12,4	20,38	10,27	9,95

Estes índices devem ser analisados de forma comparativa e considerando as mesmas condições de afiação e ajuste da ferramenta, as diferenças de rugosidade são conseqüências da variabilidade e condição da matéria prima. O bambu verde cozido apresentou os melhores resultados, seguido do bambu verde, verde saturado em água e, o bambu seco os piores.

Pelos resultados, porém, não se deve descartar o uso de bambu seco, pois representa a possibilidade de maximizar o aproveitamento de matéria prima. É comum, durante a floração, que uma grande quantidade de bambu morra e seque ao mesmo tempo, logo, sempre deve ser considerada a possibilidade de se trabalhar com o bambu seco. Apesar de produzir lâminas com baixa qualidade superficial e estas apresentarem muitas trincas podem ser usadas internamente em compensados com a vantagem de não se ter custos com secagem.

b) rendimento de laminação em torno com e sem centros

O rendimento de laminação no torno industrial sem centros, no torno mecânico e no sistema sem centros internos apresentou variações sendo a tendência favorável ao último sistema. Na Tabela 4.6 são apresentados os resultados médios obtidos para os diversos sistemas e, como anteriormente explanado, para o torno industrial sem centros só foi possível verificar o rendimento em relação ao peso.

Tabela 4.6 - Rendimento de laminação

Processo	Rendimento médio
1 - Torno sem centros, rolo externo (torno industrial)	29,4 % da massa
2 - Torno mecânico	67% do volume
3 - Torno sem centros com rolo interno	83% do volume

Para entendimento desta tabela alguns fatores de correção devem ser considerados:

- no experimento do processo 1 (torno sem centros, rolo externo) a largura das lâminas foi muito maior que nos outros, logo os efeitos das irregularidades geométricas é muito maior, diminuindo o rendimento.
- o torno mecânico utilizado no processo 2 mostra que o rendimento é dependente do tipo de fixação do colmo, pois parte deste é usada para fixar a peça não sendo laminado na sua totalidade. Neste caso foi considerado o rendimento em relação à fixação E3 da Figura 4.1.
- no processo 3 (torno sem centros com rolo interno) o experimento evidenciou, como no caso anterior, que também deve diminuir o rendimento a medida que aumente a largura da lâmina pelas questões citadas, porém, este processo, por acompanhar a forma do colmo, deve manter-se como o de maior aproveitamento em relação aos testados.

c) comparação do aproveitamento do colmo por laminação e serramento.

Na comparação do aproveitamento das fibras e rendimento entre laminação e serramento dos colmos observou-se que em todos os sistemas laminadores experimentados a maior parte das lâminas foi obtida das partes mais exteriores do colmo indicado na Figura 4.22 como sendo a área compreendida entre as linhas tracejadas, região esta com maior densidade de fibras, por conseguinte, região com melhor resistência mecânica.

Nesta mesma figura, as áreas delimitadas pela cor azul representam ripas ou sarrafos (NBR 7203/1982; NBR 14807/2002), obtidas pela usinagem por serramento deste colmo conforme apresentado por diversos autores (Stamm, 2003; Ostapiv, 2007), sendo que sua posição ocupa uma área mediana do colmo.

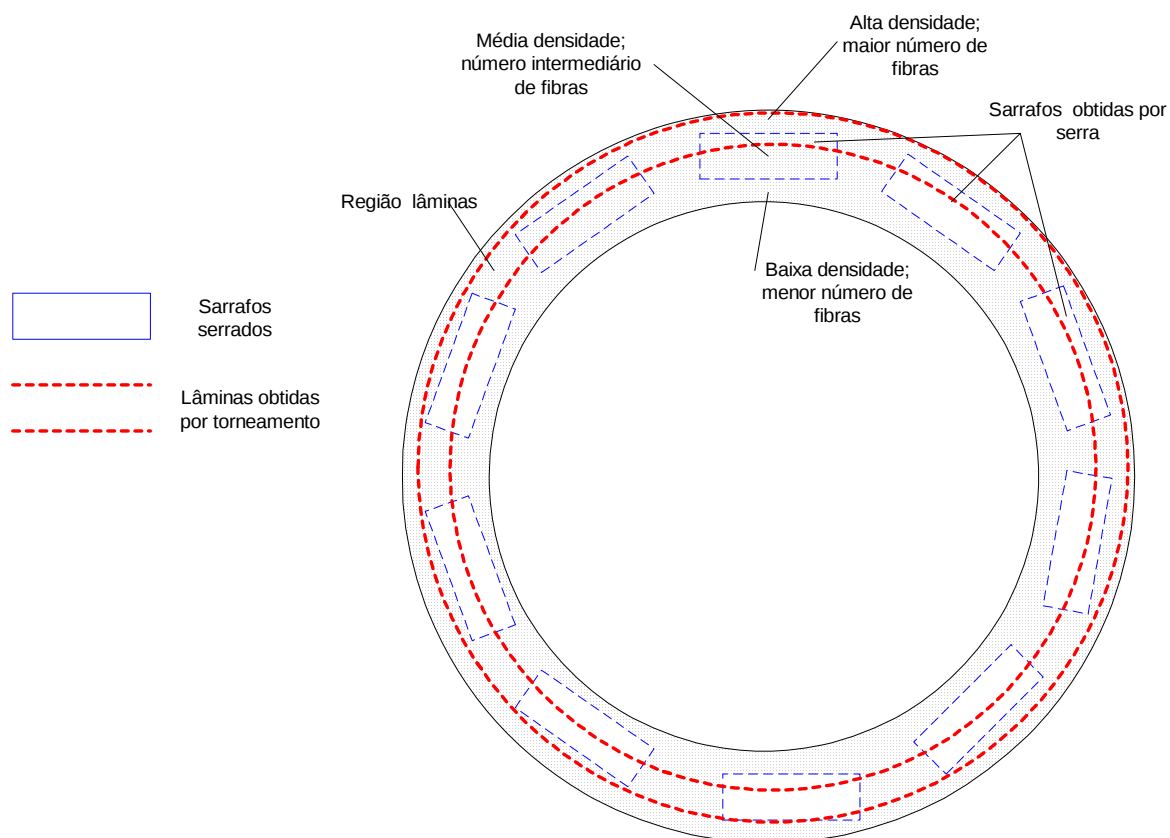


Figura 4.22 -Seção transversal de um colmo com indicação da parte útil em função do processo.

Para efeito de comparação, nesta figura, as áreas que representam tanto a laminação quanto a usinagem por serramento equivalem a um rendimento volumétrico de 30%, mínimo no caso da laminação e acima da média no caso do serramento.

Esta análise baseia-se na literatura referenciada (Stamm, 2003; Ostapiv 2007) que apresentam em torno de 25 % o rendimento de ripas ou sarrafos obtidos por serra e fresa.

A sobreposição destas áreas evidência de forma clara o melhor aproveitamento da estrutura anatômica dos colmos de bambu quando laminados por torneamento, em relação aos outros processos de usinagem.

Esta diferença de aproveitamento das fibras na laminação por torneamento fica mais pronunciada, quando os valores reais de rendimento volumétricos são

sobrepostos. Entre os processos de torneamento o sistema sem centros apresenta um rendimento maior, por se adaptar a geometria oval dos colmos.

d) perspectivas evidenciadas pelo processo de laminação

A laminação por torneamento como processo primário, pelos resultados obtidos (lâminas de pequena espessura e largas) pode vir a ser uma das alternativas viáveis para o desenvolvimento de cadeias produtivas de bambu.

A laminação por torneamento mesmo em baixa rotação (por conseguinte baixa velocidade de corte) se comparado à de coníferas e folhosas, pode ser viável para o bambu, pela simplicidade do processo.

Como este tipo de processamento primário requer menor número de etapas para a obtenção de lâminas que por outros meios e, ainda por ser contínuo, acarreta em um menor tempo de ciclo de processo.

As sobras de laminação podem gerar calor (rolo resto) e as aparas podem gerar produtos similares a *OSB* e as partes do colmo de menor espessura de parede podem gerar outros produtos.

A perspectiva de aumento da produtividade do processamento do bambu, a alta velocidade de crescimento desta gramínea e as excelentes condições climáticas do Brasil, aliado ao uso racional deste recurso natural poderá ser um dos vetores para o desenvolvimento de uma fonte de matéria prima sustentável e ilimitada, com repercussões positivas sobre outros recursos naturais de renovação muito mais lentas.

e) validação das hipótese formuladas.

Nesta secção é analisado de forma global a validade das hipóteses inicialmente formuladas:

- “a grande diferença de resistência mecânica das diferentes regiões da parede do colmo, devido a existência de gradiente na concentração dos feixes de fibras, deverá indicar uma variação dos esforços de corte na laminação e por conseqüência no torque de acionamento”.

Hipótese plenamente validada pelos experimentos em torno mecânico, que demonstraram ser o torque até 03 vezes maior, para laminar a região da casca.

- “a estrutura de gradientes de feixes de fibras da matéria prima bambu, que causam grandes variabilidades nas propriedades da sua madeira, na orientação radial, deverá influenciar na qualidade dimensional e no acabamento final das lâminas”.

A análise visual das lâminas demonstrou que as extraídas próximo da casca apresentaram um melhor acabamento superficial. No dispositivo laminador com centros e faca flutuante, notadamente houve variação de espessura das lâminas em função da região onde foram extraídas.

- “a laminação de bambu por torneamento deverá ser o processo primário com maior eficiência volumétrica, e velocidade de produção, para a obtenção de lâminas delgadas, se comparado a outros processos usuais como o serramento de ripas”.

Os resultados dos experimentos, mesmo sendo de laboratório sinalizam para a plena validação desta hipótese. O desenvolvimento de equipamentos industriais específicos, poderão confirmar ou não, esta premissa em ambiente industrial.

- “lâminas obtidas por torneamento deverão permitir a otimização do aproveitamento das propriedades mecânicas do colmo de bambu, pelo aumento do rendimento volumétrico e pela possibilidade de estratificação do colmo em lâminas com maior ou menor resistência em função de sua posição no colmo, por conseguinte, possibilitando a fabricação de painéis compósitos de elevada resistência mecânica”

Como verificado nos diversos experimentos a parte mais externa do colmo, com maior número de fibras e melhores propriedades mecânicas, foi transformada em lâminas. A natureza continua desta operação, permite o corte no comprimento das lâminas de acordo com sua posição no colmo. A primeira parte desta hipótese foi

plenamente confirmada e pelos resultados obtidos, o desenvolvimento futuro de produtos com lâminas torneadas escolhidas deverá validar o restante.

- “como para as madeiras, o acabamento superficial deve melhorar para o bambu laminado cozido”.

Esta hipótese foi confirmada pela verificação de rugosidade superficial em uma série de experimentos que demonstraram a diminuição da rugosidade função do cozimento

- “o ângulo de incidência fixo, a rotação constante, implicando na velocidade periférica variável, e as baixas velocidades de corte não deverão influenciar substancialmente na qualidade final das lâminas”.

Pela análise de vários experimentos verifica-se a validade desta hipótese.

- “o uso de tornos sem centro com rolos de tração interna deverá produzir lâminas com maior produtividade e qualidade, pois neste processo a faca de corte acompanha o perfil ovalizado dos colmos”.

Hipótese plenamente confirmada pelos resultados obtidos no torneamento sem centros com tração interna.

5 CONCLUSÕES

A laminação por torneamento possibilitou a obtenção de lâminas de bambu com dimensões de largura e espessura (área) inviáveis por outros meios.

A laminação por torneamento apresenta possibilidade de maximização no aproveitamento da resistência mecânica das fibras do bambu, pois as lâminas obtidas próximas à superfície externa têm alta resistência mecânica diminuindo até o interior.

O torneamento sem centros apresenta-se como possibilidade de processamento do bambu por vários fatores tais como; alto rendimento em relação aos processos para produção de lâminas por usinagem com remoção de cavaco; baixo tempo de ciclo e menor número de operações.

As perdas de rendimento devido às irregularidades geométricas tais como ovalização e conicidade dos colmos, podem ser minimizadas pela aplicação do processo sem centros com tração interna.

O esforço de corte para laminar a região da casca apresentou resultados até três vezes maior que para as regiões internas. Esta grande diferença tem influência decisiva na qualidade das lâminas e parâmetros do processo no torneamento sem centros.

As amostragens de rugosidade superficial indicaram que a condição de matéria prima é preponderante no acabamento superficial e qualidade das lâminas e, apesar de altos índices apresentados, sinalizaram um bom acabamento superficial para um processamento primário.

As diversas variações do processo de laminação por torneamento analisados apresentaram-se altamente seguros para o operador, principalmente no caso da aplicação de torno sem centros tradicional que, pela natureza de seu princípio funcional afasta o operador de partes móveis e regiões de risco.

O desenvolvimento de tecnologias adequadas de laminação de bambu, pode colaborar para o desenvolvimento de uma indústria otimizada com alto rendimento, minimizando as dificuldades apresentadas no processamento primário, atualmente encontrados na indústria de bambu.

Tratamentos preliminares como abrandamento das tensões, endireitamento dos colmos e uso de barras de pressão especiais entre outros podem alterar significativamente os resultados ora apresentados e deverão ser explorados em trabalhos futuros.

Para maximizar o uso do bambu há a necessidade de desenvolvimento de cadeias produtivas para aproveitamento das diversas partes de um colmo. No caso da laminação o interesse maior é pelas partes entre a base e a meia altura do colmo onde a espessura da parede é maior.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7203/1982**: madeira serrada e beneficiada. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14807/2002**: peças de madeira serrada: dimensões. Rio de Janeiro, 2002.

BAMBOO SURFBOARDS. **Catálogo de produtos**.

<<http://www.bamboosurfboardshawaii.com> >. Acesso em: 23 de set. 2007.

BERALDO, A. L.; RIVERO, L. A. **Bambu laminado colado (BLC)**. Floresta e Ambiente. V. 10, n.2, p.36 - 46, ago./dez. 2003.

CHIN YUNG Bamboo & Wood Co. Ltd. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <<http://www.chin-yung.com/> >. Acesso em: 17 de jul. 2008.

CHUNG, Z.F.; *The 20th century in retrospect for bamboo trade and prospects for the 21st century*. CBRC - Hangzhou, China, 2003.

CTBA 115 *Centre Technique du Bois e de l'Ameublement*. **Tecnologia de laminação de madeiras**. Curitiba: Optima, 1996.

DALAVALI, C. **Princípios de regulagem de torno laminador sem fusos e avaliação dos parâmetros de qualidade das lâminas**. Monografia: Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

ESPIRITO SANTO, F. D. B.; SILVA, B. S. G.; SHIMABUKURO, Y. E. **Detecção da dinâmica da floresta de bambu no sudoeste do ACRE com o uso de técnicas de processamento de imagens de satélite**. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril 2003, INPE, p. 649-656.

FEIHL, O.; GODIN, V. ***Setting veneer lathes with aid of instruments***. Canadian Forestry Service. Publication no 1206, 1970.

FRDI. ***Bamboo veneering machine fabricated***. Products Research and Development Institute (FPRDI)-Department of Science and Technology (DOST). Disponível em: <<http://www.frdi.org>>. Acesso em: 17 jul. 2008.

FRONCZAK, F. J.; PATZER, R. A. ***Influence of chuck design on spin-out torque in softwood veneer peeling blocks***. United States Department of Agriculture Forest Service. Forest Products Laboratory. Research Paper. FPL 427 September, 1982.

GARBINO, L. V.; PEREIRA, M. A. R.; GONÇALVES, M.T.T. **Procedimentos experimentais para a determinação de propriedades físicas do bambu**. IX Encontro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Cuiabá, Julho de 2004.

GONÇALVES, M.T.T.; PEREIRA, M. A. R.; GONÇALVES, C .D. **Ensaio de resistência mecânica em peças laminadas de bambu**. XXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2000. Fortaleza – Ceará, 4 a 7 de Julho de 2000.

HAYASHI, T. ***Development on the processing technology for wood-based materials in Japan***. Chief at Laboratory of Engineered Wood Joints, Wood Technology Division, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), Forestry Agency, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. Japan, 1986.

HIDALGO, L. ***Bambu- su cultivo y aplicaciones em: fabricacion de papel, construcion, arquitetura, Ingenieria, Artesania***. Estudios Tecnicos Colombianos. Colombia, 318 p., 1974.

ITAPAGÉ, Grupo João Santos. Disponível em: <www.itapagé.com.br>. Acesso em: 17 jul. 2008.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

LUTZ, J.F. *Techniques for peeling, slicing and drying veneer*. U.S.D.A. Forest Research Paper FPL 228. 1974.

MANHÃES, A. P. **Caracterização da cadeia produtiva do bambu no Brasil: abordagem preliminar**. Monografia: Curso de Engenharia Florestal - Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Fevereiro, 2008.

MARINHO, N. P.; CASAGRANDE, F.; SALAMON, C.; **Revisão de métodos para obtenção de lâminas para fabricação de painéis laminados com baixa mecanização**. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Unidade Curitiba. Curitiba, 2007.

MOFCOM (Ministry of Commerce of China); CRBC (China National Bamboo Research); *Boletim of training course on bamboo technology for developing countries 2006 – enrolment information*. Hangzhou: China, 2006.

NELSON, B.K.; BIANCHINI, M.C.; *Complete life cycle of southwest Amazon bamboos (Guadua spp) defected with orbital optical sensors*. AnaisXII Simpósio de Sensoreamento Remoto, Goiânia, Abril, INPE, pág. 1629 – 1636, 2005.

NOMURA, T.; TOMAZELLO, M. F.; AZZINI, A.; *Production and utilization of bamboo in Brasil*. XVIII IUFRO World Congress – Yugoslavia – 1986.

OMECO INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE MÁQUINAS Ltda. **Catálogo de produtos**. Disponível em: www.omeco.com.br. Acesso em: 22 de set. 2008.

OSTAPIV, F. **Análise e melhoria do processo produtivo de tábuas de bambu (Phyllostachys pubescens) com foco em pisos**. Curitiba, 2007. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica e Materiais) – PPGEM, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 112 p.

OSTAPIV, F.; SALAMON, C. e GONÇALVES, M.T.T; **Estrutura da madeira de bambu mossô (*Phyllostachys pubescens*) e seus usos industriais** – Perspectivas para o mercado brasileiro. XI EBRAMEM – Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira, Londrina, 2008.

OSTAPIV, F.; SALAMON, C.; GONÇALVES, M.T.T **Cursos tecnológicos de bambu guadua no Acre** – perspectivas sustentáveis e inovadoras. Revista Athena, volume 10, Curitiba – 2009.

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

PEREIRA, M. A. R; GARBINO, L.V. **Propriedades mecânicas do bambu *Dendrocalamus***. XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2003, Goiânia-GO, 28 de julho a 01 de agosto de 2003.

POLUCHA, F. S. **Design para sustentabilidade: Bambu Laminado e Vidro Reciclado na Produção de Móveis**. 7º Congresso de Pesquisa & Desenvolvimento em Design, Curitiba 2006.

SALAMON, C.; VALE, J. L.; TRINKEL, R.R. **Dispositivo para laminar bambu**. Curitiba, 2007. 83 f. Trabalho de Diplomação - Curso de Eng. Mecânica. UTFPR.

SILVA, F.A.; **Tenacidade de materiais compósitos não convencionais**. 234p. Dissertação de Mestrado- Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. RJ, 2004.

SILVA, F.A.; GHAVAMI, K.; MORAES d'ALMEIDA, J. R.; **Comportamento ao impacto de laminados de bambu**. IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Cuiabá, Julho 2004.

SILVA, F. D., BITTENCOURT, R. M. **Estudo do desgaste à abrasão do eucalipto madeira laminada e bambu gigante laminado utilizados como elemento de piso.**

VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Uberlândia - Julho de 2002.

STAMATO, G. C.; ANDRADE JR., J. R.; PEREIRA, M. C. M.; OLIVEIRA JR., A. C.; OLIVEIRA, F. S. **Cuidados com a utilização de coníferas nas estruturas de madeira.** Anais do X EBRAMEM- Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. São Pedro -SP, 2006.

STAMM, J. **Laminados de guadua.** Conferência de Jörg Stamm en la Universidad Tecnológica de Pereira del 16 abril 2002.

SUCHSLAND, O.; JANBOWISKY, I. P. **A Produção de lâminas de madeira por desenrolamento.** IPEF- Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Circular Técnica N 33, Março 1978.

TAKANO, T.; KINOSHITA N. **Lateral oscillating veneer peeling of softwoods.** Mokuzay Gakkaishi Vol. 40, No. 3, p. 274-279, 1994.

XINGCUI, D.; **Bamboo research in China.** Hangzhou: China National Research Center of Bamboo - CBRC, 2004.

YU, X. **Bamboo: structure and culture. Utilizing bamboo in the industrial context with reference to its structural and cultural dimensions.** Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie (Dr. Phil.) im Fachbereich Kunst und Design der Universität Duisburg-Essen, 2007.

ZANG, Q; Jiang, S; Tang, Y. **Industrial utilization on bamboo.** INBAR, Beijing, 2001.