**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Aplicação de tratamentos estabilizadores pós-secagem
convencional visando a redução do potencial higroscópico da
madeira**

Saly Takeshita

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos
Florestais

**Piracicaba
2016**

Saly Takeshita
Tecnólogo Agroindustrial

**Aplicação de tratamentos estabilizadores pós-secagem convencional visando
a redução do potencial higroscópico da madeira**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **IVALDO PONTES JANKOWSKY**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Programa: Recursos
Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos
Florestais

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Takeshita, Saly

Aplicação de tratamentos estabilizadores pós-secagem convencional visando a redução do potencial higroscópico da madeira / Saly Takeshita. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

145 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Madeiras tropicais 2. Secagem 3. Higroscopicidade 4. Variação dimensional
5. Umidade de equilíbrio I. Título

CDD 674.38
T136a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais, Ryuichi e Rosa,
pelo apoio incondicional.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram ao longo desses anos para realização e concretização desta tese.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Departamento de Ciências Florestais pelo acolhimento e suporte durante o período de pós-graduação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa concedida durante o período de doutorado, em especial a FAPESP por também ter concedido a Bolsa de Estágio de Pesquisa no Exterior (BEPE) e proporcionado oportunidade de estágio na École Centrale Paris, na França.

Ao Prof. Ivaldo P. Jankowsky por sua orientação em mais uma etapa da vida acadêmica, por compartilhar sua sabedoria, por seus ensinamentos, amizade e confiança.

À Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira (ANPM) e ao Projeto PIMADS/ITTO pelo apoio à pesquisa, parceria em trabalhos técnicos e fornecimento de material de pesquisa.

À empresa Indusparquet por apoiar, contribuir e sempre disposta a nos auxiliar durante o desenvolvimento do projeto de pesquisa.

Ao Prof. José Otávio Brito pela disponibilização do equipamento para realização dos tratamentos estabilizadores do experimento e ao Udemilson pelo auxílio do manuseio.

Ao LQCE pela oportunidade de realizar as análises de composição química, em especial ao Prof. Francides, Camila e Regina.

Ao Laboratório de Anatomia e Identificação da Madeira, em especial ao Prof. Mário Tommaziello pela oportunidade de realizar as caracterizações anatômicas.

Um agradecimento especial à Maria, Alex, Aparecido e Biro pela “mãozinha” durante a execução da parte prática do projeto.

Ao Prof. Aprígio pelo apoio para realização das análises cromatográficas, em especial a Marcia para obtenção dos resultados durante a análise.

Ao Núcleo de Apoio à Pesquisa em Microscopia Eletrônica (NAP/MEPA), em especial ao Prof. Francisco pelo apoio durante a captação de imagens por MEV.

Ao Prof. Patrick Perré, Giana Perré, Floran Pierre, Lu Pin, Catherine Kruch pela orientação, apoio e amizade durante o período de estágio na École Centrale Paris.

Aos amigos, companheiros de profissão, parceiros da vida Ariel, Inês, Laura, Lú, Paula, Xiua, pela amizade dentro e fora da universidade, pelos momentos de descontração, confraternizações, desabafos, risos e choros, o apoio de vocês foi imprescindível.

Aos companheiros de laboratório, amigos do Departamento de Ciências Florestais e amigos da Esalq, Antonio (Pingu), Ananias, Camila, Cláudia, Facco, Flávia, Giovana, Ju, Karina, Magnos, Marília, Murilo (Ipod), Patrícia (Grãja), Tiago, Victor, pelas contribuições, convívio diário, risadas e amizade, em especial a Grãja por acompanhar parte do experimento durante o período que estive fora do Brasil.

Aos grandes amigos que fiz em Piracicaba e que agora se espalharam pelo mundo Manu, Marise, Moisés, Paula, Pri, Rafa, Susu, Vinícius, Vivian, Victor Hugo.

Um agradecimento especial ao amigo, companheiro e noivo Bruno Yamaguti por compreender e me apoiar durante esta jornada de doutorado.

E por último, mas não menos importante, aos meus pais e irmãos, meu muito obrigado!

"No fundo, todos temos necessidade de dizer quem somos e o que é que estamos a fazer e a necessidade de deixar algo feito, porque esta vida não é eterna e deixar coisas feitas pode ser uma forma de eternidade."

José Saramago

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Características gerais das espécies estudadas	19
3.2 Composição da madeira.....	21
3.3 Relação água-madeira	27
3.4 Tratamentos térmicos.....	30
3.5 Efeito da temperatura e tempo de tratamento	33
3.6 Síntese da revisão bibliográfica.....	35
4 MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1 Amostragem e preparo dos corpos de prova	38
4.2 Propriedades físicas	40
4.2.1 Densidade básica	40
4.2.2 Retratibilidade	41
4.3 Composição Química	41
4.3.1 Teor de Extrativos, Lignina e Holocelulose	41
4.3.2 Quantificação de carboidratos	42
4.4 Caracterização anatômica do lenho	42
4.4.1 Microscopia ótica.....	42
4.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	43
4.5 Tratamentos estabilizadores	44
4.6 Condicionamentos higroscópicos.....	46
4.6.1 Condicionamento utilizando solução salina saturada	46
4.6.2 Condicionamento utilizando dispositivo de sorção (Rubotherm)	49
4.7 Movimentação dimensional	53
4.7.1 Amostras condicionadas em soluções salinas saturadas.....	53
4.7.2 Análise de imagens	54
4.8 Tratamento piloto	55
4.9 Delineamento estatístico	59
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
5.1 Caracterização anatômica do lenho	61

5.2 Características gerais de retratibilidade (não tratadas).....	70
5.2 Densidade básica	72
5.3 Composição Química.....	73
5.4 Condicionamentos higroscópicos	77
5.4.1 Condicionamento utilizando dispositivo Rubotherm	77
5.4.2 Condicionamento utilizando solução salina	79
5.5 Variação dimensional.....	89
5.5.1 Programa de análise Meshpore	89
5.5.2 Variação dimensional de acordo com os condicionamentos higroscópicos.....	92
5.6 Resposta do tratamento piloto	99
6 CONCLUSÕES.....	107
REFERÊNCIAS	109
ANEXOS.....	117

RESUMO

Aplicação de tratamentos estabilizadores pós-secagem convencional visando a redução do potencial higroscópico da madeira

Além da secagem convencional, a aplicação de tratamentos térmicos a altas temperaturas é um dos processos mais empregados para potencializar a estabilidade da madeira, porém necessitam de estrutura e equipamentos próprios. Diante disto, a proposta desta pesquisa fundamenta-se no estudo da aplicação de tratamentos estabilizadores para redução da higroscopicidade do material madeira, mediante temperaturas mais brandas (abaixo de 150°C) e que permitam a aplicação prática em equipamentos de secagem utilizados na indústria nacional. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar os efeitos dos tratamentos estabilizadores nas propriedades físicas e componentes químicos da madeira para sua viabilização prática. O trabalho consistiu em duas etapas, na primeira: foram utilizadas três espécies de folhosas: Cedrinho (*Erismia uncinatum*), Tachi preto (*Tachigali myrmecophyla*) e Itaúba amarela (*Mezilaurus itauba*), foi realizada a caracterização anatômica das espécies utilizando Microscopia Ótica e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), e análise da composição química e propriedades físicas. As amostras destinadas aos tratamentos estabilizadores, inicialmente, foram secas em estufa convencional e em seguida passaram pelos tratamentos estabilizadores em autoclave a 90°C (24 e 96h) e 120°C (2h e 8h). Em seguida, foram realizados os condicionamentos higroscópicos (adsorção e dessorção) nas umidades relativas de 30, 60 e 90% para avaliação do potencial higroscópico e das variações dimensionais. Na segunda etapa, a partir dos resultados obtidos na primeira etapa, foi possível aplicar o tratamento propriamente dito, o piloto em escala industrial, utilizando uma estufa de secagem convencional (90°C por 24 horas); e em escala laboratorial (90°C por 24 e 96 horas), em uma câmara de climatização simulando um secador convencional. Para o tratamento piloto, foi levado em consideração a disponibilidade de matéria prima da empresa e tendo como foco o trabalho concomitante entre laboratório e aplicação industrial, a espécie utilizada foi o Cumarú (*Dipterix* sp), uma vez que essa espécie é considerada pela indústria como uma das mais problemáticas e, portanto, uma das espécies prioritárias para receber um tratamento que contribua para reduzir a variação dimensional após secagem. Os principais resultados permitiram observar que os tratamentos estabilizadores na forma em que foram aplicados na presente pesquisa, não causaram alterações na composição química na madeira das espécies e quando realizados em ambiente com alta umidade relativa, não apresentam redução significativa da higroscopicidade e da variação dimensional na maioria dos condicionamentos. Com aplicação do tratamento piloto foi possível observar que com o controle da umidade relativa do ar, tanto no início quanto no final do processo, é possível reduzir o potencial higroscópico da madeira mediante aplicação de tratamentos estabilizadores.

Palavras-chave: Madeiras tropicais; Secagem; Higroscopicidade; Variação dimensional; Umidade de equilíbrio

ABSTRACT

Stabilizing treatments application after conventional drying to reduce the potential hygroscopic of wood

Besides conventional drying, the application of heat treatment at high temperatures is one of the processes employed to improve the stability of wood, however they require its own structure and equipment. Therefore, the purpose of this research is based on the application of the stabilizers treatments studies of wood material hygroscopicity reduction, using low temperatures (below 150°C) and that allows practical application in drying equipment used in the domestic industry. The aim of this study was to evaluate the effects of stabilizing treatments on the physical properties and chemical components of wood for its practical feasibility. The research was comprised for two steps, the first: a total of three species of hardwoods had been used: Cedrinho (*Erismia uncinatum*), Tachi preto (*Tachigali myrmecophyla*) e Itaúba amarela (*Mezilaurus itauba*). The characterization of this three species was made by anatomical description, using Optical Microscope and Scanning Electron Microscopy (SEM), the chemical composition analysis and the physical properties. Samples of the stabilizing treatment, initially, were dried in a conventional kiln dryer and then the stabilizing treatment was applied in an autoclave at 90°C (24 e 96h) e 120°C (2h e 8h). Next, the hygroscopic conditioning were conducted (adsorption and desorption) in relative humidity (RH) of 30, 60 and 90% for evaluation of hygroscopic potential and dimensional changes. In the second stage, from the results obtained in the first step, it was possible to apply the treatment itself, the industrial scale pilot, using a conventional kiln dryer (90°C for 24 hours); and laboratory scale (90°C for 24 and 96 hours) in a climate chamber simulating a conventional dryer. For the pilot treatment, the availability of raw materials in the company was taken into account and focusing on the concurrent work between laboratory and industrial application, the selected specie was Cumarú (*Dipterix* sp), considered by the industry as one of the most problematic and, therefore a priority species to receive a treatment that can help to reduce the dimensional change after drying. The main results allowed to observe that the stabilizing treatments in the way that were applied in this study, did not cause changes in the chemical composition and when performed in an environment with high relative humidity, show no significant reduction of hygroscopicity and dimensional variation in most of conditionings. From the implementation of pilot treatment was observed that adopting the control of relative humidity, both in the beginning and the end of the process, is possible to reduce hygroscopic potential of wood by applying stabilizers treatments.

Keywords: Tropical lumber; Kiln drying; Hygroscopicity; Dimensional variation; Equilibrium moisture content

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais mais versáteis encontrados na natureza, além de ser matéria prima de grande importância econômica para geração de energia e na indústria de celulose, é um material indispensável para a construção civil, mobiliário, utensílios domésticos e objetos decorativos, principalmente quando são utilizadas espécies de folhosas tropicais.

Neste contexto, o Brasil destaca-se por sua grande vocação florestal, seja na boa produtividade de espécies plantadas, quanto na rica variedade que ocorrem na floresta Amazônica. A diversidade de espécies, tonalidades, desenhos e texturas da madeira, tornam as espécies amazônicas muito apreciadas no mercado nacional e internacional, sendo consideradas madeiras de alto valor agregado.

Porém, nem todas as espécies encontradas na Amazônia são utilizadas ou comercializadas, muitas delas ainda não foram estudadas e há poucas informações à respeito de suas características tecnológicas. Além disso, aspectos relacionados à falta de conhecimento técnico e a correta maneira de empregar o produto madeira acabam prejudicando e, por vezes, até impossibilitando o uso mais intenso desse material em nosso país.

Por se tratar de um material proveniente de um ser biologicamente ativo (a árvore), e que usa a água como meio de transporte dos nutrientes, a madeira necessita de secagem prévia ao processo de manufatura, para agregar qualidade e valor ao produto final, a fim de evitar defeitos como rachaduras e empenamentos durante seu uso.

Além dos processos de secagem tradicionais utilizados no momento, também são aplicados tratamentos térmicos a altas temperaturas com o intuito de potencializar a estabilidade da madeira. No entanto, necessitam de equipamentos específicos e alto investimento inicial.

Sendo que a maior parte dos estudos é baseada na aplicação de processos de secagem convencional (temperatura varia entre 40°C até 90°C) e os efeitos dos tratamentos térmicos a altas temperaturas (acima de 150°C), sendo escassas as informações relacionadas à utilização de temperatura na faixa de 90°C.

O termo “tratamento térmico” é frequentemente associado à utilização de altas temperaturas (geralmente acima de 150°C), ao contrário da presente estudo, que visa a utilização de temperaturas abaixo de 150°C. Desta maneira, para eliminar

esta ambiguidade de termos, se considerou mais adequado referir-se ao processo adotado na pesquisa, que é um tratamento adicional à secagem convencional, como “tratamento estabilizador”.

Neste sentido, este estudo fundamenta-se no estudo da aplicação de tratamentos estabilizadores para redução da higroscopicidade do material madeira, mediante temperaturas mais brandas e que permitam a aplicação prática em equipamentos de secagem utilizados na indústria nacional.

Entretanto, para aplicabilidade desta metodologia, existe a necessidade de se obter conhecimentos prévios, como a compreensão do efeito da temperatura na estrutura celular da madeira e seus componentes e a relação com a combinação de tempo de exposição ao tratamento.

A principal hipótese do trabalho é que a alteração da higroscopicidade da madeira pode ser obtida através de tratamento térmico aplicado adicionalmente ao processo de secagem convencional, o qual promoverá uma diminuição dos sítios de sorção da madeira e a consequente redução na sua movimentação dimensional.

O presente estudo, de uma maneira geral, visa a melhor compreensão do efeito do tratamento estabilizador, suas interações com as características químicas e anatômicas e a viabilidade de sua aplicação prática.

2 OBJETIVOS

Geral

A presente pesquisa teve como objetivo geral avaliar os efeitos dos tratamentos estabilizadores nas propriedades físicas e componentes químicos da madeira para sua viabilização prática.

Específicos

- Caracterizar estrutura anatômica das madeiras;
- Realizar composição química das madeiras submetidas ao tratamento estabilizador;
- Avaliar o comportamento da movimentação dimensional;
- Ajuste de equipamento para aplicação de tratamento piloto em laboratório;
- Avaliar os ajustes técnicos dos equipamentos para utilização em escala industrial;
- Realização de tratamento piloto em escala industrial.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Características gerais das espécies estudadas

As espécies selecionadas foram o Cedrinho (*Erismia uncinatum*), o Tachi preto (*Tachigali myrmecophyla*) e a Itaúba amarela (*Mezilaurus itauba*). São espécies que vêm conquistando aos poucos seu espaço no mercado consumidor. No geral, os estudos envolvendo estas três espécies estão voltados para caracterização anatômica, física e mecânica, sendo encontrados poucos trabalhos avaliando suas propriedades em termos de processamento e manufatura de produtos a base de madeira.

O Cedrinho possui densidade básica variando de 0,46 a 0,48 g/cm³, e sua ocorrência abrange toda região amazônica. Apresenta cerne castanho avermelhado distinto do alburno pela cor, sem brilho, cheiro e gosto imperceptíveis. Trata-se de uma espécie fácil de aplainar, serrar e lixar, mas apresenta superfície de acabamento ruim (felpuda). Durante a secagem ao ar, a madeira é considerada de fácil secagem e sem ocorrência significativa de defeitos; em estufa, a secagem é rápida com moderada tendência a rachaduras e torcimentos. As contrações radial, tangencial e volumétrica estão na faixa de 3 a 4%, 7 a 10% e 12 a 13%, respectivamente. Utilizada na construção civil para estruturas leves e no setor moveleiro (TEIXEIRA et al., 1988; JANKOWSKY, 1990; IBAMA, 2007; LPF, 2014).

O Cedrinho foi utilizado nos estudos de Peres Filho et al. (2006), para o desenvolvimento de substâncias químicas naturais visando o tratamento de madeiras e por Segundinho et al. (2013) para a manufatura de vigas de madeira laminada colada (MLC), pelo fato da espécie apresentar densidade básica indicada para produção de MLC e compatibilidade com os adesivos do painel.

O Tachi preto possui densidade básica em torno de 0,57g/cm³ e ocorre nos estados de Mato Grosso, Pará e Amapá. Apresenta cerne e alburno distintos pela cor, com cerne amarelado a castanho-amarelado-claro, cheiro e gosto imperceptíveis. A madeira é considerada moderadamente difícil de serrar e difícil de aplainar. O trabalho com brocas é fácil e de bom acabamento. A secagem em estufa é moderadamente lenta com tendência ao surgimento de rachaduras moderadas a fortes. As contrações radial, tangencial e volumétrica são de aproximadamente 4%,

7% e 11%, respectivamente. A madeira é utilizada na construção civil para estruturas leves e mobiliário em geral (IPT, 1983; IBAMA, 1997; LPF, 2014).

Para o Tachi preto, Zerbini (2008) realizou ensaios tecnológicos por ser uma das espécies mais abundantes na região de Altamira/PA, visando a melhoria do sistema produtivo das indústrias madeireiras em larga escala. Outro estudo realizado por Lôbo et al. (2008) não envolve a madeira, mas destaca o uso de folhas de Tachi como potencial alelopático.

A Itaúba amarela possui densidade básica entre 0,70 e 0,80 g/cm³ e ocorre na região Amazônia, estendendo-se até o Mato Grosso. Apresenta cerne amarelo-esverdeado quando recém serrado, tornando-se castanho-esverdeado-escuro, cheiro agradável e gosto imperceptível. A madeira é moderadamente difícil de ser trabalhada em ferramentas manuais e em máquina devido a presença de sílica, entretanto permite bom acabamento. A secagem ao ar é lenta, caracterizando a espécie como de difícil secagem, porém com pouca incidência de defeitos; a secagem em estufa é lenta, com ocorrência acentuada de rachaduras e empenamentos moderados. As contrações radial, tangencial e volumétrica estão na faixa de 2 a 3%, 6 a 8% e 10 a 12%, respectivamente. A madeira é utilizada na construção civil para estruturas leves e pesadas, em mobiliário, assoalhos e embarcações (IPT, 1983; TEIXEIRA et al., 1988; JANKOWSKY, 1990; LPF, 2014).

Em relação a Itaúba, Miranda et al. (2013) realizaram a determinação de volume de toras mediante modelos matemáticos para comparação em relação ao volume real, com objetivo de tornar o processo de mensuração florestal mais ágil e reduzir seu custo. O autor também destaca seu crescimento econômico no estado do Mato Grosso pela disponibilidade de exploração e grande valor agregado. Outro estudo conduzido por Garcia et al. (2012) avaliou o rendimento no processo de desdobro das toras de Itaúba, alcançando uma média 50%.

O Cumarú (*Dipteryx* sp) possui densidade básica em torno de 0,90 g/cm³ e ocorre na região amazônica, na América Central e alguns países da América do Sul. Apresenta cerne e alburno distintos pela cor, cerne castanho-claro-amarelado, brilho moderado, cheiro e gosto imperceptíveis. A madeira de cumaru é difícil de ser trabalhada, mas recebe excelente acabamento no torneamento. Acabamento ruim nos trabalhos de plaina e lixa, difícil de ser perfurada. Devido à natureza oleosa, a madeira apresenta dificuldade em ser colada. Aceita polimento, pintura, verniz e lustre. A secagem ao ar é relativamente fácil, com pequena tendência a rachadura

superficial, apresenta empenamento moderado. A secagem artificial é lenta, com torcimento médio. As contrações radial, tangencial e volumétrica estão na faixa de 5%, 8% e 13,5%, respectivamente. A madeira é utilizada na construção civil para estruturas pesadas externas e internas, assoalhos, mobiliário e cabo de ferramentas (JANKOWSKY, 1990; LPF, 2014; IPT, 2015).

3.2 Composição da madeira

A estrutura de folhosas é caracterizada pela presença de elementos de vaso, traqueídes, fibras, parênquima longitudinal e radial. Os elementos de vaso variam de tamanho e de acordo com a espécie, e a presença de traqueídes pode ser observada apenas em algumas folhosas, desempenhando o papel de condução. As fibras podem constituir até 60% do volume da madeira e conferem o suporte mecânico. Os parênquimas longitudinais e radiais podem compreender até 40% do volume da madeira e exercem a função de armazenamento de reserva da planta (THOMAS, 1991).

A composição química da madeira é complexa, sendo formada por vários componentes químicos (polímeros) distribuídos de maneira não uniforme pela parede celular, organizados de acordo com sua estrutura anatômica. As madeiras são compostas por celulose, hemicelulose e lignina, denominados componentes principais, contendo também uma infinidade de compostos e substâncias minerais, denominados extrativos ou componentes acidentais.

A Tabela 1 indica o percentual da composição química da madeira e a Figura 1 apresenta um esquema geral desta composição.

Tabela 1 - Constituintes químicos da madeira

	COMPOSIÇÃO (%)	NATUREZA POLIMÉRICA
Celulose	45-50	Molécula linear cristalina
Hemicelulose	20-25	Molécula ramificada amorfa
Lignina	20-30	Molécula tri-dimensional
Extrativos	0-10	Polimérica

Fonte: THOMAS, 1991.

Figura 1 - Composição química da madeira (adaptado de BROWNING, 1967)

A celulose é um polímero constituído por cadeias de unidades monoméricas de 1-4 β glicopirranose (Figura 2). Seu comportamento físico e químico pode ser atribuído aos grupos hidroxílicos (OH) que, através de suas pontes de hidrogênio, realizam ligações intra e intermoleculares e também com as hidroxilas da água. As ligações laterais entre moléculas de celulose para formação de cadeias lineares é resultado destas ligações por pontes de hidrogênio. O grande número destas ligações resulta em uma associação lateral de moléculas de celulose muito forte, originando as regiões cristalinas da parede celular (IMMERGUT, 1975; LEPAGE, 1989; THOMAS, 1991).

Figura 2 - Cadeia de celulose (FENGEL; WEGENER, 1984)

As hemiceluloses ou polioses, assim como a celulose, são polissacarídeos; porém são polímeros menores, ramificados, não formam região cristalina e usualmente a molécula contém mais de um tipo de açúcar, como mostra a Figura 3 (LEPAGE, 1989; THOMAS, 1991).

Figura 3 - Cadeia dos açúcares que compõem a hemicelulose (FENGEL; WEGENER, 1984)

Os principais açúcares encontrados na madeira são a glicose, manose, galactose, xilose e arabinose. O percentual encontrado varia de acordo com a espécie. A manose, por exemplo, é um importante componente de coníferas, porém em folhosas sua concentração é menor (BROWNING, 1967).

A lignina é a principal fração não-carboidrato da parede celular, sendo um polímero tridimensional, formado por unidades fenólicas e muito complexa (Figura 4). Pode ser encontrada entrelaçada com moléculas de celulose na parede celular e preenchendo o espaço entre células, na lamela média. Adicionalmente, a lignina é quimicamente ligada aos carboidratos da madeira, proporcionando resistência mecânica. A natureza aromática das unidades fenólicas torna a lignina hidrofóbica e a tridimensão proporciona rigidez para a parede celular. As folhosas possuem lignina do tipo guaiacil e siringil, tendo sua fórmula menos condensada quando comparada com a de uma conífera que possui lignina do tipo guaiacil apenas (FENGEL; WEGENER, 1984; LEPAGE, 1989).

Figura 4 - Fórmula esquemática da lignina de uma folhosa (FENGEL; WEGENER, 1984)

Além da diferença de lignina entre folhosas e coníferas, a distribuição ao longo da árvore e na parede celular também não é uniforme, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Distribuição da lignina na parede celular obtidas por microdensitômetro – medições realizadas na linha pontilhada (FENGEL; WEGENER, 1984)

Os extrativos compreendem um grande número de diferentes componentes que podem ser extraídos da madeira em água e/ou solventes orgânicos e estão presentes principalmente no cerne, depositado em canais de resina e células de

parênquima. São responsáveis por proporcionarem à madeira propriedades como durabilidade natural, cor e cheiro, podendo afetar nos processos de manufatura as etapas de secagem, colagem e acabamento. O teor e a composição dos extrativos variam de acordo com as espécies, mas também pode depender da localização geográfica, tipo de solo e do clima da região (FENGEL; WEGENER, 1984; LEPAGE, 1989).

Deve-se levar em consideração que a celulose, a hemicelulose e a lignina ocorrem na madeira como um sistema integrado. A separação de todos estes componentes, sem mudanças e livres de mistura ainda não foi alcançado. Parte da dificuldade de realizar esta separação tem sido atribuída à ligação entre a lignina e carboidratos. Apesar destes problemas, técnicas de separação e análise têm fornecido informações consideráveis sobre a composição química da madeira (EASTY; THOMPSON, 1991).

A análise mais confiável para uma estimativa aproximada da quantidade total de polissacarídeos é baseada na determinação separada dos constituintes dos polissacarídeos usando o método da cromatografia. A amostra de madeira livre de extrativos é submetida a uma hidrólise ácida (normalmente ácido sulfúrico) que libera os monossacarídeos, os quais são separados e quantificados (SJOSTROM; WESTERMARK, 1999).

Além de conhecer os constituintes da madeira, também é importante entender como estes componentes estão dispostos para formação da parede celular. Muitos estudos e vários modelos foram desenvolvidos ao longo dos anos baseados nas propriedades físicas e composição química da madeira. Podem-se citar modelos que consideram somente a associação entre polissacarídeos, como o Modelo de Preston, de 1962 (Fig. 6-a) e o de Marchessault, de 1964 (Fig. 6-b). O Modelo de Preston considerava que a fibrila da celulose era envolvida por moléculas de celulose menos ordenadas e polioses, adicionalmente estas polisoses estavam incorporadas na estrutura fibrilar da celulose. O modelo de Marchessault organiza as moléculas de poliose como feixes entre as folgas das fibrilas de celulose (FENGEL; WEGENER, 1984).

Para os modelos que levam em consideração a presença de lignina pode-se citar o modelo proposto por Fengel, de 1970 (Fig. 6-d) e Kerr e Goring, de 1975 (Fig. 6-c). O modelo de Fengel explica a existência de camadas de várias unidades de fibrilas de celulose diferindo-se na espessura, onde as menores unidades são

separadas por uma camada monomolecular de polioses e as maiores unidades são delimitadas por polioses e lignina. O modelo de Kerr e Goring consiste em camadas de blocos celulose-poliose interrompidas na direção radial e tangencial por blocos de lignina-poliose (FENGEL; WEGENER, 1984).

Figura 6 - Modelos de associação de componentes da parede celular proposto por vários autores. a) Modelo de Preston; b) Modelo de Marchessault; c) Modelo de Kerr e Goring; d) Modelo de Fengel. (FENGEL; WEGENER, 1984)

Neste sentido, nas Figuras 7 e 8 é possível observar o modelo conhecido atualmente sobre as estruturas que formam a parede celular. O conjunto de cadeias de celulose que se ligam entre si pelas pontes de hidrogênio formando estruturas primárias, as fibrilas, e o conjunto destas fibrilas formam as camadas da parede celular (LEPAGE, 1986).

Figura 7 - Detalhe da estrutura das paredes da célula (Fonte: RAVEN; EVERT; EICHHORNI, 2001)

A parede celular é formada basicamente pela lamela média, parede primária e parede secundária; camadas individuais organizadas em um arranjo concêntrico (Figura 8). A lamela média, com espessura variando de 0,2 a 1,0 μ , apresenta grande percentual de lignina e está localizada entre as células, servindo de elemento de ligação. A parede primária, de espessura fina entre 0,1 a 0,2 μ , é composta de celulose, hemicelulose, pectina e proteína, imersos numa matriz de lignina, caracterizando-se como uma zona de transição onde as microfibrilas dispõem-se irregularmente na face externa e orientadas quase perpendicularmente ao eixo da célula na face interna. A parede secundária é formada por três camadas denominadas S_1 e S_3 (delgadas) e S_2 (espessa). A camada S_1 (0,2 a 0,3 μ de espessura) apresenta arranjo microfibrilar formando um ângulo entre 50° a 70° em relação ao eixo da célula; a camada S_2 (1 a 5 μ de espessura) é a porção principal da célula e o ângulo varia entre 10° a 30°; e na camada S_3 (aproximadamente 0,1 μ de espessura) o ângulo das microfibrilas varia consideravelmente de acordo com a espécie, com valores entre 50° a 90° (FENGEL; WEGENER, 1984; LEPAGE, 1989; THOMAS, 1991).

Figura 8 - Organização das microfibrilas de celulose e as três camadas S_1 , S_2 e S_3 da parede secundária (Fonte: RAVEN; EVERT; EICHHORNI, 2001)

3.3 Relação água-madeira

As propriedades físicas e mecânicas, a resistência à deterioração biológica e a estabilidade dimensional dos produtos de madeira são afetados diretamente pelo teor de umidade e sua variação ao longo do tempo. Uma vez que todas as propriedades da madeira e produtos à base de madeira são afetadas pela umidade,

é importante entender o comportamento da água na madeira e sua associação com os demais componentes (HAYGREEN; BOWYER, 1989).

A água líquida ou “livre” nos poros de vasos e lumens de fibras não causa inchamento e não afeta as propriedades de resistência da madeira. Porém a água higroscópica presente nas paredes celulares, ao ser removida, pode causar contração e aumentar as propriedades de resistência. A transição entre a água líquida e a água higroscópica geralmente ocorre quando a madeira alcança teores de umidade entre 28 e 30%, valor conhecido como Ponto de Saturação das Fibras (PSF). A variação dimensional da madeira ocorre somente na parede celular, sendo que o volume dos poros permanece inalterado (SIAU, 1984; SUCHSLAND, 2004).

A madeira recém cortada e saturada tende a perder água para o ambiente até estabilizar a umidade com o ar, etapa que corresponde a situação de equilíbrio dinâmico entre a madeira e o ar externo, denominada de umidade de equilíbrio (OLIVEIRA et al, 1989).

O tempo necessário para uma peça de madeira alcançar a condição de equilíbrio vai depender da diferença entre o teor de umidade presente e a umidade de equilíbrio, da temperatura, da espécie e da dimensão da peça. Deve-se levar em consideração também o gradiente de umidade, pois as células mais próximas à superfície têm uma resposta mais rápida ao clima quando comparadas com as células mais internas da madeira. Este gradiente não é um valor facilmente identificado, porém pode causar significantes problemas de empenamento e rachaduras (SUCHSLAND, 2004).

A higroscopicidade da madeira é causada basicamente pelos grupos hidroxílicos (OH), atraindo e retendo moléculas de água por meio de pontes de hidrogênio. A Figura 9 ilustra as regiões cristalinas das microfibrilas, onde as hidroxilas disponíveis das moléculas de celulose são mutuamente ligadas, tornando as hidroxilas inacessíveis às moléculas de água. No entanto, nas regiões amorfas, as moléculas de celulose possuem grupos OH livres, permitindo a ligação com moléculas de água através de pontes de hidrogênio (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Figura 9 - Região cristalina e amorfa da celulose e as ligações com moléculas de água (BOWEYER, 2007)

A adsorção de água pela celulose vai depender do número de hidroxilas livres ou de grupos OH da celulose não ligados entre si. Skaar (1988) cita inúmeras teorias de sorções desenvolvidas para explicar como este fenômeno ocorre. Segundo o autor, uma das teorias que melhor descreve este comportamento aplicado à madeira foi proposta por Dent, onde as moléculas “primárias” são adsorvidas diretamente nos sítios de sorção primária dentro da parede celular, e as moléculas “secundárias” são adsorvidas nos sítios secundários. Os sítios principais são aqueles de alta energia de ligação, tais como os grupos hidroxílicos acessíveis. Os sítios secundários apresentam menor energia de ligação e pode estar sobreposta nos sítios primários ou em outros locais secundários (Figura 10).

Figura 10 - Diagrama esquemático ilustrando os sites primários de sorção (linhas verticais) na parede celular, as moléculas de água primárias são representadas pela bola preta, as moléculas secundárias adsorvidas são representadas pela bola branca e o H representa a ligação por ponte de hidrogênio (Adaptado de SKAAR, 1988)

Galvão e Jankowsky (1985) também citam a importância do efeito da história da exposição, uma vez que a umidade de equilíbrio segundo uma adsorção é maior quando uma amostra seca é exposta diretamente a uma umidade relativa (UR) alta do que uma exposição à mesma UR através de uma série de etapas intermediárias de adsorção.

O histórico de exposição de uma amostra de madeira também afeta sua umidade de equilíbrio, e é denominada de histerese. A isoterma de dessorção é medida trazendo a madeira que estava inicialmente úmida para o equilíbrio com valores sucessivamente mais baixos de umidade relativa. A isoterma de adsorção é medida na direção oposta a partir do estado seco com valores sucessivamente mais altos de umidade relativa (IBACH, 2010). Segundo definição de Skaar (1972), o coeficiente de histerese (A/D) é a relação das umidades de equilíbrio para adsorção e a dessorção a uma determinada umidade relativa.

Em condições normais de uso da madeira, o fenômeno da histerese tem pouco efeito prático. Considerando que a umidade de equilíbrio depende fundamentalmente da temperatura e da umidade relativa do ar e que as condições climáticas variam constantemente ao longo do tempo; a madeira estará em constante troca de umidade com o ar buscando o equilíbrio higroscópico. Assim, em uma mesma peça de madeira ocorrerão simultaneamente os processos de dessorção e de adsorção, minimizando o efeito da histerese.

Como resposta a este comportamento observado na madeira em adsorver e dessorver umidade do ambiente, ocorrem as variações dimensionais (retração e inchamento), caracterizando este material como dimensionalmente instável. Vale ressaltar que todas as variações ocorrem somente abaixo do ponto de saturação das fibras, quando há ganho ou perda da água higroscópica localizada nas paredes celulares.

3.4 Tratamentos térmicos

O emprego de temperaturas elevadas para melhorar as propriedades da madeira não é recente. McMillen e Wengert (1978) destacam pesquisas nos Estados Unidos desde 1918 utilizando secagem a altas temperaturas com vapor super aquecido. Kollmann e Côté (1968) apontam patentes datadas desde 1867 utilizando

vapor superaquecido com o intuito de acelerar o processo de secagem. Desde então a realização de tratamentos térmicos se tornou um dos processos mais bem sucedidos para quem trabalha com o material madeira, tanto que na atualidade existem centenas de trabalhos voltados para este tipo de processo, inúmeras patentes e vários processos sendo utilizados comercialmente.

No Brasil, ao se falar em tratamento térmico, deve-se levar em consideração um fator muito questionado por Batista (2012), que é a nomenclatura técnica dos processos que utilizam a temperatura para alguma forma de alteração na estrutura da madeira. Em seu estudo, Batista (2012) cita que, baseados em processos europeus, considerados os principais processos industriais, as nomenclaturas que mais aparecerem na literatura são: “heat treatment (tratamento com calor)”, “thermal modification (modificação térmica)” e “thermal treatment (tratamento térmico)”. Todos estes termos são e/ou foram empregados para designar processos e faixas de temperatura semelhantes, porém não é possível explicar pela análise de publicação dos trabalhos, se a escolha do autor foi somente uma questão de tradução do termo para o inglês ou se trata de outra razão.

Além destes processos, pode-se incluir neste grupo o controle fitossanitário, a secagem a altas temperaturas e a secagem convencional, como formas de tratamento térmico, pois todos são processos que empregam temperaturas acima da temperatura ambiente.

O controle fitossanitário, de acordo com a Norma Internacional de Medida Fitossanitária – o NIMF 15, estabelece que para utilização embalagens de madeira, as mesmas devem passar um processo denominado “tratamento térmico – HT”, onde a madeira é aquecida em uma estufa até alcançar temperatura de 56°C em seu interior por um período mínimo de 30 minutos para eliminação de possíveis pragas associadas a este material (NIMF 15).

A secagem a alta temperatura é caracterizada por utilizar temperaturas acima de 100°C, passando basicamente por três estágios. No primeiro estágio, ocorre, inicialmente, uma secagem superficial da madeira, onde a taxa de secagem varia de acordo com a intensidade de transferência de calor do meio de secagem para madeira. O segundo estágio tem início quando o fluxo de água livre para superfície é cessado e, em seguida, a temperatura da superfície ultrapassa 100°C; terminando quando toda água livre é evaporada. O terceiro estágio é o período em que a

madeira alcança a umidade de equilíbrio desejada (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968; HILDEBRAND, 1970; TOMASELLI, 1976).

Tomaselli (1976) relata que a secagem utilizando altas temperaturas é mais eficiente em coníferas, sendo facilmente secas em 20 horas (para madeiras de 25 mm de espessura). Por outro lado, para madeira de folhosas pode provocar problemas como colapso. Além deste fato, Ponce e Watai (1985) destacam que a secagem a alta temperatura causa rápida deterioração na alvenaria das estufas e ferragens devido às severas condições do processo, pois temperaturas de 120°C ou 130°C em atmosfera saturada de vapor são consideradas extremamente agressivas para materiais de construção.

A secagem a altas temperaturas é utilizada na Finlândia somente para a secagem da madeira de coníferas (MOTTONEN; KARKI, 2008). No leste do Canadá o processo também é aplicado principalmente para coníferas (NABHANI et al., 2010). No Brasil, em um estudo publicado por Tomaselli (1976), o pesquisador estimava se tratar de um processo com grandes perspectivas de sucesso, desde que fossem introduzidas modificações nas estufas já existentes e melhorias no conhecimento técnico.

Por outro lado, o processo de secagem convencional é o principal método utilizado no mundo. Trata-se de um equipamento projetado para operar com temperaturas entre 40°C a 90°C (JANKOWSKY, 2000). Para espécies tropicais a temperatura máxima empregada durante a secagem é ainda menor, usualmente é utilizada temperaturas entre 40°C e 70°C (JANKOWSKY; GALINA, 1996; GALINA, 1997).

Andrade et al. (2001), ao indicarem programas de secagem baseados na degradação causada pela secagem drástica, obtiveram para 13 espécies de folhosas programas de secagem com temperaturas variando de 40°C a 80°C. Jankowsky e Luiz (2006) indicaram programas de secagem para 31 espécies tropicais, também na mesma faixa de temperatura.

Além dos processos convencionais normalmente utilizados, existem diferentes tipos de tratamentos térmicos comerciais em expansão em vários países da Europa, como Finlândia, Holanda, Alemanha e França. São processos aplicados à madeira serrada, com temperaturas de tratamento entre 160°C a 260°C e em condições variadas, como a presença de gases de proteção (nitrogênio ou vapor), processos úmidos e secos e utilização de óleos. Dentre estes processos, pode-se

citar a Retificação realizada na França que utiliza temperaturas de 200°C a 240°C na presença de nitrogênio; e o Thermowood (Finlândia), que é considerado o de maior sucesso na Europa por ser utilizado em larga escala, processo este que utiliza uma atmosfera úmida com temperaturas superiores a 150°C por 2 a 10 horas (ESTEVES; PEREIRA, 2009).

3.5 Efeito da temperatura e tempo de tratamento

A exposição da madeira a altas temperaturas promove a redução na sua higroscopicidade, a qual ocorre, principalmente, pela decomposição térmica da hemicelulose; considerada como o componente mais higroscópico dentre os principais constituintes da madeira (SKAAR, 1988).

Fengel e Wegener (1984) destacam cinco estágios básicos da decomposição da madeira por efeito da temperatura:

- de 90 a 150°C evaporação da água higroscópica;
- de 100 a 250°C degradação parcial de polioses;
- de 150 a 350°C degradação parcial de celulose;
- de 220 a 500°C degradação parcial de lignina;
- acima de 500°C pirólise da madeira (pirólise parcial pode começar a partir de 280°C).

Segundo Skaar (1988), a elevação da temperatura da madeira produz como efeito imediato a redução da umidade de equilíbrio para uma considerada umidade relativa e uma permanente redução na higroscopicidade da madeira após retornar para temperatura ambiente. Entretanto, este efeito depende da temperatura e do tempo de exposição. Para Kollmann e Côte (1968) as madeiras que são tratadas com temperaturas abaixo de 100°C, a perda de material orgânico não é significativamente alta e algumas variações de massa observadas nestes casos podem ser atribuídas somente à perda de água adsorvida na madeira. Byrne e Nagle (1997), afirmam que a degradação térmica mais intensa das polioses inicia-se à temperatura em torno de 200°C. Tal degradação causa mudanças na higroscopicidade, resistência da madeira aos fungos, na coloração e alteração das propriedades mecânicas.

Até 100°C e tempo de exposição em torno de 48 horas, os componentes químicos da madeira apresentam boa estabilidade. A partir deste ponto o teor de

holocelulose vai decrescendo, sendo as polioses mais sensíveis a temperatura em relação à celulose (FENGEL; WEGENER, 1984).

Em temperaturas de até 200°C é difícil traçar uma linha de demarcação entre a degradação térmica e o envelhecimento normal da celulose, que é acelerado pelo aquecimento. As mudanças que ocorrem durante a decomposição térmica da celulose a baixas temperaturas incluem redução no peso molecular, surgimento de radicais livres, eliminação de água, formação de grupos de carbonila, carboxila e hidroperóxido, e liberação de monóxido de carbono e dióxido de carbono. Todos estes processos ocorrem em uma taxa muito mais rápida ao ar do que em uma atmosfera inerte como o nitrogênio (MCGINNIS; SHAFIZADEH, 1991).

No entanto, independente da temperatura e do tempo de exposição, os benefícios proporcionados pelos tratamentos térmicos são inúmeros. Tanto que na literatura é possível encontrar uma gama muito variada de tratamentos, nas mais variadas temperaturas e tempo de exposição. No geral, as taxas de temperatura e duração dos tratamentos térmicos variam de 120°C a 250°C por um período de 15 minutos a 24 horas, variando de acordo com o tipo de processo (BAKAR et al, 2013).

Takeshita (2011) avaliou a aplicação de tratamentos térmicos em duas espécies de folhosas (Jatobá e Muiracatiara), utilizando temperaturas na faixa de 60°C, 75°C e 90°C, com quatro intervalos de tempos (24, 48, 72 e 96 horas), tanto em madeiras secas ao ar como secas em estufa; visando quantificar a melhoria na estabilidade dimensional. Os resultados apresentaram respostas satisfatórias, indicando que a aplicação de tratamentos térmicos adicionais reduziu a higroscopicidade da madeira em termos do seu potencial higroscópico e a correspondente movimentação dimensional; destacando-se a temperatura de 90°C como a mais eficiente.

Na faixa de temperaturas entre 100°C e 150°C a literatura registra os mais variados tipos de processos, duração de tratamento e forma de execução. Os tipos de processos utilizando essa faixa de temperatura recebem denominação de retificação térmica, termorretificação, tratamento térmico, tratamento hidrotermal e secagem a alta temperatura. Para a temperatura de 120°C, os períodos de tratamentos mais utilizados foram de 2 horas e 8 horas, porém, também foram observados tratamentos com duração de 96 horas a 14 dias, sendo executadas em estufas de laboratórios, câmaras de secagem e autoclaves (PINCELLI et al., 2002; BORGES; QUIRINO, 2004; DOI et al., 2005; BRITO et al., 2006; OBATAYA et al.,

2006a; OBATAYA et al., 2006b; GUNDUZ et al., 2008; KORKUT et al., 2008; MATSUSHITA et al., 2008; KORKUT; HIZIROGLU, 2009; OLIVEIRA et al., 2010; BAL; BEKTAS, 2012; KASEMSIRIA et al., 2012; BAKAR et al., 2013; JOUDEIKIENÉ, 2013; TODARO, 2013).

Bakar et al. (2013) utilizando as espécies de seringueira (*Hevea brasiliensis*), carvalho (*Quercus rubra*) e redcedar (*Juniperus virginiana*) observaram melhorias nas propriedades de rugosidade e molhabilidade, e pequena redução na resistência ao cisalhamento e na dureza em madeiras tratadas a 120°C por 2 e 8 horas, quando comparadas com amostras sem tratamento.

Para Pincelli et al. (2002), ao utilizar o tratamento a 120°C em uma das faixas de temperatura durante a termorretificação, concluiu que, apesar de observar uma pequena redução na resistência ao cisalhamento, o tratamento não reduziu a eficácia da interação entre madeira e adesivo, fato este que não desabonaria sua utilização em indústrias madeireiras.

3.6 Síntese da revisão bibliográfica

A presente revisão bibliográfica traz uma breve descrição encontrada na literatura sobre as espécies estudadas neste trabalho. Também são apresentadas informações sobre a composição química da madeira, abordando a importância em entender um pouco melhor como estes componentes estão dispostos na parede celular, e a organização estrutural do material madeira. São aspectos que influenciam diretamente a característica higroscópica da madeira, a qual é causada basicamente pelos grupos hidroxílicos (OH) capazes de atrair e reter moléculas de água por meio de pontes de hidrogênio. Os radicais hidroxílicos livres, localizados nas moléculas de hemiceluloses e nos segmentos das moléculas da celulose amorfa, são denominados como sítios de sorção primária ou monomolecular em regiões amorfas, onde as moléculas de celulosas possuem grupos OH livre. Como consequência, a instabilidade dimensional é uma das respostas dada pela madeira.

A instabilidade dimensional é a principal consequência decorrente da higroscopicidade da madeira e, para amenizar este efeito, é necessário realizar uma secagem ao ar ou em estufas. Adicionalmente, tratamentos térmicos utilizando altas temperaturas, com diferentes combinações de tempo, pressão ou presença de gases protetores (nitrogênio ou vapor) já estão sendo utilizados em escala comercial

para reduzir o efeito da higroscopicidade da madeira. Trata-se de um tema muito abordado atualmente, e inúmeros estudos são encontrados na literatura ou estão sendo executados em pesquisas espalhadas por todos os continentes. No Brasil, também observa-se um crescimento na quantidade de trabalhos relacionados à esta temática, porém verifica-se também a ampla terminologia empregada para designar este mesmo tratamento térmico, provavelmente uma questão muito relacionada à tradução do termo em inglês para o português.

Quanto ao efeito da temperatura, basicamente o estágio se iniciaria em 90°C com a evaporação de água higroscópica e finalizando com temperaturas acima de 500°C com a pirólise da madeira. No geral, a temperatura e duração dos tratamentos térmicos variam de 120°C a 250°C por um período de 15 minutos a 24 horas, variando de acordo com o tipo de processo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

As temperaturas de 90°C e 120°C foram selecionadas para os tratamentos estabilizadores a serem avaliados na presente pesquisa.

A temperatura de 90°C foi definida em função dos resultados de trabalhos anteriores (TAKESHITA, 2011), onde se observaram resultados satisfatórios em relação a redução da higroscopicidade utilizando essa temperatura no tratamento de folhosas tropicais. De acordo com a revisão bibliográfica, a temperatura empregada durante a secagem de folhosas tropicais é usualmente entre 40°C e 70°C e, portanto, 90°C poderia ser considerada uma temperatura mais agressiva para essas espécies. Adicionalmente, utilizando esta temperatura também seria possível adaptar o processo às estufas convencionais já existentes nas indústrias madeireiras, uma vez que a maioria dos secadores convencionais não foi projetada para operar acima dos 100°C.

Considerando que a temperatura de 120°C, aplicada por um período de 2 a 8 horas e sem a necessidade da injeção de gases inertes, é o tratamento relatado por vários trabalhos descritos na revisão bibliográfica, decidiu-se por utilizar essa temperatura no tratamento estabilizador para efeitos de comparação.

O planejamento experimental seguiu as etapas apresentadas na Figura 11.

Figura 11 - Etapas do planejamento experimental

4.1 Amostragem e preparo dos corpos de prova

O material para realização do ensaio foi cedido pelo Projeto PIMADS (Piso de Madeira Sustentável), coordenado pela Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeiras (ANPM) e financiado pela Organização Internacional de Madeira Tropical (ITTO). A madeira cedida faz parte do projeto para caracterizar novas espécies para produção de pisos. O material foi coletado na área de exploração florestal do Grupo Jari, localizada no estado do Pará.

Na Tabela 2 encontra-se a relação de espécies utilizadas.

Tabela 2 - Relação de espécies

Nome Popular	Nome científico	Número de árvores
Cedrinho	<i>Erismia uncinatum</i> Warm.	03
Tachi preto	<i>Tachigali myrmecophyla</i> (Ducke) Ducke	03
Itaúba amarela	<i>Mezilaurus itauba</i>	03

De cada espécie, foi retirada uma tábua por árvore com dimensão nominal inicial de 2,5 x 9,5 x 200 cm, espessura (E), largura (L) e comprimento (C), respectivamente.

Após o recebimento do material, as madeiras foram empilhadas (Figura 12) para realização do processo de secagem convencional em estufa. Esta secagem foi realizada na empresa Indusparquet, localizada em Tiête/SP.

Figura 12 - Madeira empilhada, pronta para a secagem convencional

A secagem convencional foi realizada em uma estufa de escala comercial com capacidade para 40 m³ de madeira serrada e seguiu o programa de secagem descrito na Figura 13.

Schedule 2						
Madeiras ITTO; 8,0 a 10,0%						
Schedule type:DM			Species:84 - Itauba amarela			
Date:10/01/2014			Operator:Jankowsky			
	EMC	C	Hours	Fan Speed %	Reversing	
					A	B
Heating up	19,0	40	3	70	2:00	2:00
Warming thru	18,0	40		70	2:00	2:00
Drying - MC% > 60	17,0	40		70	2:00	2:00
MC% = 55	17,0	40		70	2:00	2:00
50	16,4	40		70	2:00	2:00
45	15,7	40		70	2:00	2:00
40	15,0	40		70	2:00	2:00
35	14,3	40		70	2:00	2:00
30	13,6	45		70	2:00	2:00
25	11,4	50		70	2:00	2:00
20	9,1	55		70	2:00	2:00
15	6,8	60		70	2:00	2:00
10	4,5	63		70	2:00	2:00
5	2,3	65		70	3:00	3:00
Conditioning	Jump	3				

Figura 13 - Programa adotado para a secagem da madeira utilizada na pesquisa

Foi utilizado o mesmo programa de secagem para todas as espécies e após o processo de secagem, a pilha de madeira foi avaliada para verificar a ocorrência de defeitos decorrentes da secagem (Figura 14).

Figura 14 - Defeitos observados na pilha de madeira após a secagem em estufa. a) Rachadura na face e presença de alborno; b) Peça empenada; c) Peça arqueada

Após avaliação das pilhas e retirada das tábuas defeituosas, as tábuas foram aplainadas, seccionadas e confeccionados blocos de 2 x 3 x 15 cm (E x L x C, respectivamente) para aplicação dos tratamentos estabilizadores. Em seguida, de cada bloco foram retirados corpos de prova com 5 mm de espessura, 25 mm de largura e 60 mm de comprimento para avaliar a movimentação dimensional durante

o condicionamento higroscópico. A retirada destes corpos de prova seguiu a orientação no sentido tangencial por se tratar de uma posição que apresenta uma variação mais pronunciada na movimentação dimensional quando comparada com peças orientadas no sentido radial. A retirada das amostras seguiu o esquema apresentado na Figura 15.

Figura 15- Esquema para retirada dos corpos de prova para tratamentos estabilizadores e condicionamentos higroscópicos. A- Blocos para tratamentos estabilizadores; B- Corpos de prova para condicionamentos

Além do material seco em estufa, de cada espécie foi selecionada uma tábua por árvore, na condição seca ao ar (in natura), para caracterização anatômica do lenho e determinação da densidade básica e da composição química.

4.2 Propriedades físicas

4.2.1 Densidade básica

A determinação da densidade básica das amostras utilizadas no experimento foi obtida pelo método da balança hidrostática, descrito por Barrichello (1983) e expressa pela equação (1).

$$Db = \left(\frac{ms}{mu - mi} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

Db = Densidade básica (g/cm^3);

ms = massa seca da amostra (g);

mu = massa saturada da amostra (g);

mi = massa da amostra saturada imersa em água (g)

4.2.2 Retratibilidade

A avaliação de retratibilidade baseou-se na metodologia descrita no Anexo B da norma brasileira ABNT NBR 7190/1997. Com os valores das retrações tangencial e radial totais foi calculado o índice T/R (retração tangencial total/retração radial total).

4.3 Composição Química

4.3.1 Teor de Extrativos, Lignina e Holocelulose

A determinação da composição química foi realizada no Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE), do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP.

Inicialmente a madeira foi transformada em serragem utilizando moinho de facas e classificada em conjunto de peneiras 40 e 60 mesh. De cada tratamento foram retiradas três amostras para análise dos seguintes componentes: (a) Teor de extrativos (baseados na norma TAPPI T204 cm-97); (b) Teor de lignina (baseada na norma TAPPI T222 om-02); (c) Teor de holocelulose, calculada por diferença de acordo com a equação (2).

$$\text{Holoceluloce (\%)} = 100 - (\% \text{ Extrativos} + \% \text{ Lignina}) \quad (2)$$

Os detalhes dos procedimentos utilizados para determinação da composição química da madeira estão descritos no Anexo A.

4.3.2 Quantificação de carboidratos

Para determinação do teor de carboidratos foi realizada análise de cromatografia líquida de alta precisão (HPLC) do filtrado obtido na determinação do teor de lignina Klason solúvel, identificando e quantificando os seguintes compostos hidrolisados: celobiose, glicose, xilose, arabinose, ácido acético, ácido fórmico e ácido levulínico. A análise foi realizada em triplicata.

O cromatógrafo líquido utilizado foi da marca Shimadzu, modelo LC-10. Para a análise, a solução contendo os hidrolisados foi filtrada em membrana SEP PACK C₁₈ (Waters) para separação da lignina solúvel e demais produtos de degradação. As demais condições de análise foram:

Colunas: Aminex HPX-87H (Bio-Rad)

Eluente: 0,005M H₂SO₄

Fluxo: 0,6 mL/min

Pressão: 60 Kgf/cm²

Detector: Índice de Refração

4.4 Caracterização anatômica do lenho

4.4.1 Microscopia ótica

A caracterização anatômica microscópica das espécies utilizadas neste experimento foi realizada no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeira do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP.

Análise do lenho macerado: pequenas lascas do lenho da madeira foram retiradas para processo de maceração. Este material foi transferido para tubos de ensaio (ácido acético + peróxido de hidrogênio, na proporção 1:1), fechados e mantidos em estufa a 60°C por 48 h. Em seguida o material foi lavado para remoção das substâncias macerantes e posterior montagem das lâminas. Em cada lâmina utilizou-se uma gota de safranina e uma gota de glicerina. Para captação de

imagens das fibras foi utilizada um microscópio de luz, para a mensuração do seu comprimento (ampliação de x25), largura e diâmetro do lume (ampliação de x400). A espessura da parede foi determinada pela diferença entre largura e diâmetro do lume dividido por dois. As medições foram realizadas pelo software Image-Pro Plus.

Lâminas histológicas do lenho: para caracterização microscópica do lenho nos sentidos transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial foram retirados corpos de prova de aproximadamente 1 cm³. Os mesmos foram levados à ebulição em solução de água e glicerina para amolecimento. Em seguida, o material foi fixado em micrótomo de deslize e cortado em seções transversais (15-20 µm de espessura). Em um vidro de relógio, os cortes histológicos foram lavados (água destilada) e corados (safranina); a seguir foram transferidos para lâminas de vidro e cobertas com lamínulas de vidro para captação de imagem utilizando câmera digital e as imagens analisadas pelo programa Image-Pro Plus.

A caracterização das lâminas histológicas foi realizada de acordo com as normas da Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas – COPANT (1974), da IAWA (IAWA COMMITTEE, 1989) e do IBAMA (CORADIN; MUNIZ, 1992).

4.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Microscopia Eletrônica de Varredura foi realizada no Núcleo de Apoio à Pesquisa em Microscopia Eletrônica aplicada à Pesquisa Agropecuária (NAP/MEPA) da ESALQ/USP. Foram captadas imagens da face transversal e longitudinal (radial e tangencial) das amostras para caracterização dos elementos anatômicos.

A madeira, por se tratar de um material não metálico, apresenta uma superfície não condutora de elétrons, com isso os elétrons adsorvidos não fluem e se emitem espontaneamente interferindo na formação da imagem, gerando o efeito conhecido como “charging”, ou seja, a imagem fica brilhante e instável. Para evitar este efeito, a superfície em estudo foi metalizada com uma fina camada de ouro.

Para captação das imagens, as amostras utilizadas foram as mesmas obtidas no preparo das lâminas histológicas descritas no item anterior. Os cortes foram lavados com água destilada e fixados em um suporte metálico denominado “stub”. As amostras foram acondicionadas em sílica gel para secagem e em seguida metalizadas (Figura 16).

Figura 16 – A: Metalizador; B: Amostras metalizadas nos “stubs” prontas para captação de imagem

4.5 Tratamentos estabilizadores

Os tratamentos estabilizadores foram realizados no Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE) do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP.

Como o tratamento estabilizador se trata de uma combinação de temperatura e umidade por um determinado período de tempo, realizar o tratamento a 120°C com umidade final de aproximadamente 12%, com base na tabela psicrométrica, requer uma alta umidade relativa. Por este motivo e por questões técnicas de equipamento, onde há limitações para operar acima dos 70°C e com controle de umidade relativa; tomou-se a decisão de realizar ambos os tratamentos estabilizadores em uma autoclave, com umidade relativa próxima a 100%.

Os tratamentos são apresentados na Tabela 3, os quais foram aplicados seguindo o perfil descrito na Figura 17.

Tabela 3 - Identificação dos tratamentos estabilizadores, com a respectiva combinação de temperatura e tempo sob aquecimento

AMOSTRAS	TEMPERATURA	TEMPO (HORAS)
Testemunha (E)	Seca em estufa	-
Tratamento 1 (T90/24)	90°C	24
Tratamento 2 (T90/96)	90°C	96
Tratamento 3 (T120/2)	120°C	2
Tratamento 4 (T120/8)	120°C	8

Figura 17 - Perfil dos tratamentos estabilizadores. A: Tratamento 90°C por 24 e 96 horas; B: Tratamento 120°C por 2 e 8 horas

Após os tratamentos, algumas amostras apresentaram pequenas fissuras e rachaduras, tanto superficiais como de topo. Este comportamento foi observado principalmente pelas amostras tratadas a 90°C durante 96 horas e a 120°C por 8 horas (Figura 18). Apesar do ocorrido, não foi necessário refazer os tratamentos, pois ao seccionar os blocos tratados para retirada dos corpos de prova para os condicionamentos as rachaduras foram eliminadas. Este comportamento também pode ser observado em secagens convencionais em algumas espécies consideradas difíceis de secar, como por exemplo, o Cumarú.

Figura 18 - Rachaduras superficiais e de topo, observadas após a aplicação dos tratamentos estabilizadores

Vale ressaltar que, após a aplicação dos tratamentos estabilizadores, é importante incluir um período de condicionamento para liberar as tensões da madeira e evitar possíveis defeitos de secagem. Os corpos de prova preparados para os condicionamentos higroscópicos podem ser visualizados na Figura 19.

Figura 19 - Corpos de prova para o condicionamento higroscópico

4.6 Condicionamentos higroscópicos

4.6.1 Condicionamento utilizando solução salina saturada

Após a aplicação dos tratamentos estabilizadores, iniciou-se a fase dos condicionamentos higroscópicos utilizando soluções salinas saturadas para obter a umidade relativa desejada.

Em um pequeno espaço fechado com temperatura controlada, soluções salinas saturadas produzem umidade relativa do ar própria de cada sal, mantendo uma umidade de equilíbrio constante no interior do recipiente (SIAU, 1984; MEDEIROS, 2006). As soluções mantêm constante a umidade relativa na atmosfera ao seu redor, pois uma solução aquosa de uma substância não volátil gera uma determinada pressão de vapor d'água a uma temperatura específica, quando a fase de vapor está em equilíbrio com o líquido (WINSTON; BATES, 1960).

O preparo das soluções e acompanhamento dos condicionamentos seguiram as orientações das normas ASTM E104 e ASTM D4933.

As soluções salinas utilizadas nos condicionamentos estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Umidade relativa (%) de soluções salinas saturadas

Solução Salina		Umidade Relativa % (UR)
		20 °C
Cloreto de magnésio	MgCl ₂	≈ 33
Brometo de sódio	NaBr	≈ 59
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₃	≈ 97

Fonte: ASTM E104 (2012)

Os corpos de prova foram acondicionados em um recipiente fechado, contendo em seu interior soluções salinas saturadas, e os recipientes mantidos em uma sala climatizada com a temperatura ajustada para 20°C (±3°C). Estas caixas possuem um pequeno sistema de ventilação interno, para circulação e homogeneização do ar em seu interior.

A troca das soluções salinas saturadas é realizada após as amostras atingirem massa constante e o equilíbrio higroscópico com o ambiente a qual estão expostas, obedecendo a sequência apresentada na Figura 20.

Figura 20 - Etapas para realização dos condicionamentos higroscópicos. C1: Condicionamento 1; C2: Condicionamento 2; C3: Condicionamento 3; C4: Condicionamento 4; C5: Condicionamento 5; UR: Umidade relativa prevista

Em cada uma das caixas de condicionamento foram selecionadas aleatoriamente três amostras, denominadas “amostras-controle” que foram suspensas dentro da caixa de condicionamento através de uma haste metálica (o modelo é apresentado na Figura 21). Este dispositivo foi desenvolvido com o intuito de acompanhar a variação de massa das amostras controle sem a necessidade de abrir a caixa de condicionamento a cada pesagem.

Finalizando os condicionamentos, todas as amostras foram secas em estufa a 103°C (±2°C), para obtenção de massa seca e cálculo do teor de umidade real dos corpos de prova.

Figura 21 - A: Caixas de condicionamento; B: Recipientes com solução salina saturada e cooler para ventilação interna; C: Disposição das amostras no interior da caixa de condicionamento; D: Dispositivo montado para acompanhar a variação de massa das amostras controle; E: Balança para pesagem das amostras

A partir do teor de umidade das amostras para avaliar o ganho e perda de umidade, foi calculada a variação de umidade, representado pelo Δ , onde o $\Delta 1$ corresponde a variação de umidade 1, ou seja, é a diferença do teor de umidade entre C1 e C2, em valores absolutos; o $\Delta 2$ (variação de umidade 2) representa a diferença do teor de umidade entre C2 e C3, em valores absolutos, e assim, sucessivamente.

4.6.2 Condicionamento utilizando dispositivo de sorção (Rubotherm)

Esta etapa da pesquisa foi realizada no “Laboratoire de Génie des procédés et matériaux (LGPM)”, da École Centrale Paris, França.

Utilizando um dispositivo de sorção desenvolvido pelos próprios pesquisadores do laboratório, o equipamento é capaz de realizar condicionamentos de pequenas amostras de madeira em um ambiente hermeticamente fechado com controle automático de temperatura e umidade relativa. Para facilitar sua identificação, o dispositivo foi denominado “Rubotherm”, marca de um dos componentes do equipamento.

Com este equipamento, uma amostra pode ser submetida à consecutivos estágios de umidade relativa e sua massa acompanhada por uma balança de suspensão magnética (Rubotherm), de alta resolução (0,01 mg), durante todo o experimento. Uma ampla gama de temperaturas e umidades relativas pode ser testada, pois é possível realizar o controle eletrônico destas variáveis separadamente do da câmara de teste (PERRÉ et al., 2007). O dispositivo também conta com um sistema óptico com duas lentes (iluminação e câmera) para determinação de variações dimensionais através da captação e análise de imagem (PERRÉ; HUBER, 2007; ALMEIDA et al., 2014). O dispositivo é detalhado na Figura 22.

Figura 22 - Detalhes do equipamento. (1) Balança de suspensão magnética; (2) Capa de aquecimento da célula de medição; (3) Termo Criostato; (4) Iluminação; (5) Câmera; (6) Controle da balança; (7) Controle de umidade relativa; (8) Central de comando e aquisição de dados

Com o auxílio de uma serra de fio de diamante (diamond wire saw) as amostras com 8 x 8 mm (radial x tangencial) foram seccionadas em 1 mm no sentido longitudinal (Figura 23). A dimensão da amostra foi baseada nos estudos realizados por Almeida et al. (2009) para garantir a uniformidade da umidade da amostra durante o experimento.

Figura 23 - A: serra de fio de diamante (diamond wire saw); B: Detalhe do corte das amostras

A amostra obtida foi fixada em um suporte (Figura 24) composto por duas garras para mantê-la na mesma posição durante todo o ensaio e evitar movimentos durante as medições de massa pela balança de suspensão magnética.

Figura 24 – Suporte e amostra do equipamento

Para o controle do equipamento, um software específico (Figura 25) foi desenvolvido para registrar os dados de temperatura da sala e do interior da câmara, umidade relativa da sala e do interior da câmara, massa da amostra e aquisição de imagens.

Figura 25 – Layout do software utilizado para controlar o dispositivo

Baseado em Perré et al. (2007), os parâmetros adotados para condução das etapas de sorção foram:

- Temperatura no interior da câmara: 30°C
- Sequência de Umidade Relativa (UR) adotada: 15%, 30%, 45%, 60%, 75%, 90%, 75%, 60%, 45%, 30% e 15%
- Aquisição de dados (massa, temperatura e UR) pelo software: a cada 30 segundos
- Aquisição de imagem: após cada 30 aquisições de dados

O dispositivo foi programado para alternar a umidade relativa automaticamente para a etapa seguinte a cada 16 horas, totalizando 116 horas de ensaio por amostra. O tempo de condicionamento foi programado especificamente para a espécie Cedrinho após observar, em testes preliminares, que a amostra alcançava o equilíbrio após 16 horas.

Vale reassaltar que o experimento envolvendo o dispositivo de sorção Rubotherm foi realizado durante o período de estágio no exterior que teve duração de 4 meses. Devido à este curto prazo foi ensaiada somente a madeira de Cedrinho.

4.7 Movimentação dimensional

4.7.1 Amostras condicionadas em soluções salinas saturadas

Para a determinação da movimentação dimensional foram medidas as dimensões das amostras após terem atingido o equilíbrio higroscópico nos condicionamentos C1 a C5 (item 4.6.1; Figura 20). A mensuração de espessura e largura das amostras foi realizada com o auxílio de um micrômetro digital (Figura 26), precisão de 0,001mm, e para o comprimento foi utilizado um paquímetro digital, com precisão de 0,01mm. Os índices de retração e de inchamento foram calculados com a equação (3).

$$MD = \left(\frac{DU - du}{du} \right) \times 100 \quad (3)$$

onde:

MD = Movimentação dimensional (%);

DU = Dimensão na Umidade Relativa maior (mm);

du = Dimensão na Umidade Relativa menor (mm).

Figura 26 - Micrômetro digital para mensuração das dimensões dos corpos de prova

4.7.2 Análise de imagens

A análise de imagens também foi realizada no “Laboratoire de Génie des procédés et matériaux (LGPM)”, da École Centrale Paris, França, sendo realizada somente para a espécie Cedrinho.

Para avaliar as variações dimensionais através da análise de imagens captadas pela câmera acoplada ao Rubotherm, foi utilizado programa MeshPore, desenvolvido por Perré (2005). Este programa utiliza uma imagem como referência e a compara com as demais para calcular as deformações entre elas durante os estágios de sorção.

Conforme o parâmetro citado no item 4.6.1, o ciclo de sorção iniciou com umidade relativa de 15%. Desta maneira, a imagem de referência utilizada para calcular as deformações foi selecionada após a amostra entrar em equilíbrio nessa condição de umidade relativa.

A face analisada pelo programa corresponde a seção transversal da amostra. Utilizando o MeshPore, inicialmente a imagem é selecionada (Figura 27A), com o auxílio do mouse é definida a área com qual deseja-se analisar (Figura 27B) e o MeshPore compara automaticamente com as demais imagens captadas pelo Rubotherm (Figura 27C).

Figura 27 - A: Imagem captada pela câmera acoplada no Rubotherm utilizada como referência para comparação pelo MeshPore; B: Definindo a área da imagem a ser analisada; C: parte branca representa a área da imagem referência e parte preta representa a imagem da amostra no momento de retração

4.8 Tratamento piloto

Para o tratamento piloto foi selecionada a temperatura de 90°C, aplicada por 24 e 96 horas, pois trata-se de uma temperatura em que há viabilidade de aplicação nos secadores convencionais utilizados na indústria.

O tratamento a 120°C não foi possível realizar, pois seria necessária a adaptação física dos secadores (ex: alvenaria), equipamentos e controladores especiais para garantir a segurança do tratamento nesta faixa.

Tendo como foco o trabalho concomitante entre laboratório e aplicação industrial, desenvolvido em parceria com a empresa Indusparquet, decidiu-se por aplicar o tratamento piloto na madeira de Cumarú (*Dipterix* sp), uma vez que essa espécie é considerada pela indústria como uma das mais problemáticas e, portanto, uma das espécies prioritárias para receber um tratamento que contribua para reduzir a variação dimensional após secagem.

O lote selecionado foram tábuas com dimensões brutas de 2,5 cm de espessura, 9,0 cm de largura e comprimento variável, destinadas a produção de lamela para pisos engenheirados e/ou estruturados. Inicialmente foi realizada a secagem convencional utilizando o programa de secagem descrito na Figura 28.

Date: 13/10/2015		Operator: Milton			
Schedule type: DM		Species: 37 - Cumaru			
Description: Cumaru 2,5 Secagem 8%					
	EMC	* C	Hours	Fan Speed %	Reversing A B
Heating up	19,0	35		70	2:00 2:00
Warming thru	19,0	40	0	100	2:00 2:00
Drying - MC% > 60	16,0	40		100	2:00 2:00
MC% = 55	16,0	40		100	2:00 2:00
50	16,0	42		100	2:00 2:00
45	15,5	42		100	2:00 2:00
40	15,0	45		100	2:00 2:00
35	14,5	50		100	3:00 2:00
30	14,0	53		100	3:00 2:00
25	13,5	55		100	3:00 2:00
20	13,0	60		100	3:00 2:00
15	10,0	63		100	3:00 2:00
10	6,5	65		100	3:00 2:00
5	5,0	68		100	3:00 2:00
Conditioning	Jump	12			

Figura 28 – Programa de secagem adotado para a secagem convencional da madeira de Cumarú, posteriormente submetida ao tratamento piloto

Após a secagem, metade da carga foi retirada do secador, e, deste material, foram coletadas amostras para a aplicação do tratamento piloto em laboratório, determinação do teor de umidade e execução do teste do garfo (avaliação das tensões residuais de secagem). A outra metade continuou na estufa e passou pelo tratamento estabilizador, que foi aplicado em duas situações distintas, ou seja, indústria e laboratório:

- a) Indústria: realizado na empresa Indusparquet, utilizando estufa de secagem convencional (Figura 29), executado à temperatura de 90°C por 24 horas;

Figura 29 – Estufa da empresa Indusparquet onde foi realizado o tratamento estabilizador

- b) Laboratório: utilizando câmara de climatização da marca Marconi, modelo MA-835/UR (Figura 30), com ventilação forçada e controle de umidade, com sensores para acompanhamento da umidade equilíbrio no interior da câmara. O tratamento estabilizador em laboratório foi executado à temperatura de 90°C por 24 e 96 horas.

Figura 30 – Câmara de climatização adaptada para aplicação de tratamento piloto em laboratório. A: Vista frontal da câmara; B: Disposição das amostras; C: Controlador de temperatura e umidade

Na Tabela 5 é apresentada a notação utilizada para designar cada um dos tratamentos realizados durante o piloto.

Tabela 5 – Notação utilizada para designar os tratamentos ao longo dos experimentos

AMOSTRAS	Notação
Seca em Estufa	E
Piloto 90°C/24h – Indústria	Pi
Piloto 90°C/24h – Laboratório	PL1
Piloto 90°C/96h - Laboratório	PL2

A aplicação do tratamento piloto em laboratório seguiu os mesmos parâmetros adotados na indústria. A temperatura inicial foi padronizada em 30°C e a taxa de aquecimento em 15°C por hora, até alcançar os 90°C; permanecendo nesta temperatura por 24 e 96 horas, de acordo com o tratamento adotado. Durante o tratamento tomou-se o cuidado de ajustar adequadamente a umidade relativa em cada uma das etapas de aquecimento (Tabela 6), para obter a umidade de equilíbrio média de 8% (umidade final obtida após a secagem convencional para uso comercial deste lote de madeira).

Tabela 6 – Tabela de Umidade Relativa (UR) adotada em cada temperatura

	30°C	45°C	60°C	75°C	90°C
UR (%)	45	49	55	61	67

Após a aplicação do tratamento estabilizador, a temperatura da câmara foi sendo reduzida gradativamente, mantendo-se o controle da ventilação e da umidade relativa, até atingir 60°C; sendo então desligada para que resfriasse naturalmente. O perfil da variação da temperatura ao longo do tratamento estabilizador pode ser observado na Figura 31.

Figura 31 – Perfil do programa do tratamento piloto executado em laboratório

Além do controle de umidade e temperatura realizada pelo controlador da câmara, com auxílio de um sensor específico (usualmente utilizado em secadores convencionais) e um medidor de umidade da marca Lignomat, foi possível acompanhar a variação da umidade de equilíbrio no interior da câmara de climatização (Figura 32).

Figura 32 – A: Medidor de umidade; B: Suporte com sensor e lâmina de celulose instalados no interior da câmara para acompanhamento da umidade de equilíbrio

Para avaliação de tensões decorrentes da secagem e dos tratamentos estabilizadores foi realizado teste de tensão, baseado no procedimento descrito por Galvão e Jankowsky (1985).

Para finalizar o tratamento piloto e avaliar seu comportamento higroscópico, foi realizado o condicionamento higroscópico “drástico”, simulando um ambiente extremamente úmido (ex: época chuvosa) e um segundo ambiente extremamente seco (ex: período de longa estiagem). Para estes condicionamentos foram utilizados a solução saturada de Sulfato de potássio (K_2SO_3) e sílica gel, de acordo com os procedimentos já descritos no item 4.6.

4.9 Delineamento estatístico

O delineamento estatístico adotado foi o inteiramente casualizado, com uma testemunha. Foram realizadas as análises de variância (ANOVA) e, para os fatores que acusaram significância para o teste F, aplicou-se o Teste Tukey para comparação de médias. Quando se considerou importante a comparação de médias dos tratamentos com a testemunha foi aplicado o Teste Dunnett.

Para auxiliar nas análises estatísticas foi utilizado o Programa Assistat – Assistência Estatística, versão 7.7.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização anatômica do lenho

A caracterização anatômica e ilustração destes elementos foram realizadas como ferramenta para auxiliar na compreensão do comportamento das espécies diante da aplicação dos tratamentos estabilizadores. As imagens foram obtidas tanto por microscópio ótico quanto por Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

Em relação ao MEV, apesar da qualidade proporcionada pelas imagens, muitos equívocos relacionados a falta de padronização ou maneira incorreta de corte de amostras utilizadas para captação de imagens são encontradas em publicações relacionadas ao material madeira. De Moura (1999), em seu relatório de pesquisa, já alertava para a dificuldade de preparo de amostras de origem florestal e sugere protocolos metodológicos específicos para o preparo de amostras de madeira.

Este tópico serve como um alerta, pois imagens captadas de forma inadequada podem gerar interpretações equivocadas e levar a falsas conclusões, como pode ser observado nas imagens da Figura 33, sobre o efeito de tratamentos térmicos na madeira. O polimento ou corte da superfície pode obstruir os elementos anatômicos, dificultando a interpretação do real efeito do tratamento térmico na estrutura da madeira.

Figura 33 – Imagens de MEV apresentadas em diferentes publicações, ilustrando o efeito prejudicial do corte nas superfícies analisadas

Com base nessa argumentação e a fim de evitar um julgamento precipitado sobre o efeito dos tratamentos estabilizadores na estrutura anatômica da madeira, até que se desenvolva uma tecnologia que possibilite realizar os cortes de madeira sem que ocorram grandes danos, as imagens captadas pelo MEV são apresentadas como alternativa complementar da caracterização anatômica.

O aproveitamento do mesmo material utilizado para o preparo de lâminas histológicas apresentou-se um excelente método para obtenção de imagens de boa qualidade.

As imagens obtidas por microscopia ótica são apresentadas nas Figuras 34, 36 e 38, e as obtidas por microscopia eletrônica de varredura nas Figuras 35, 37 e 39 respectivamente para as madeiras de Cedrinho, Tachi preto e Itaúba amarela. Com base nessas imagens foi feita a descrição anatômica da madeira das três espécies estudadas.

Cedrinho: *Erismia uncinatum*

Apresenta porosidade difusa e camada de crescimento pouco distinta demarcada por zona fibrosa. **Vasos** na maioria solitários e múltiplos de 2 a 3, de médios a muito grandes (diâmetro entre 167 a 370 μm), muito poucos e poucos (até 5 por mm^2), obstruído por tilos. **Fibras** libriforme, curtas (de 1,1 a 1,8 mm) parede fina (4 a 9 μm) e lume espesso (variando de 10 a 29 μm). **Parênquima axial** em faixas largas tangenciais. **Raios** heterocelulares, maioria procunberante; bisseriados e trisseriados predominantes; de poucos a numerosos (4 a 9 por mm linear), muito baixos com altura variando de 245 a 745 μm . Floema incluso no parênquima axial (Figura 34).

Além das imagens obtidas pelo microscópio ótico, através das imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), pode-se observar na Figura 35 o detalhamento da estrutura da fibra com parede delgada e lume espesso e sinais de presença de amido.

Figura 34 – Cedrinho: A) Plano transversal; B) Plano tangencial; C) Plano radial; D) Detalhe do vaso no plano tangencial; E) Floema incluído; F) Detalhe do comprimento de fibra; G) Detalhe da largura, espessura da parede e diâmetro do lume; H) detalhe do elemento de vaso, obstruído por tilo

Figura 35 – Cedrinho: A, B – Plano transversal; C - Plano tangencial; D – Plano radial

Tachi preto: *Tachigali myrmecophyla*

Apresenta porosidade difusa e camada de crescimento distinta demarcada por zona fibrosa mais escura. **Vasos** solitários e múltiplos de até 5, de médios a grandes (diâmetro entre 111 a 280 µm), poucos a numerosos (de 2 até 12 por mm²), desobstruídos. **Fibras** libriforme, curtas (de 0,8 a 1,5 mm) parede fina (2 a 6µm) e lume espesso (variando de 5 a 19µm). **Parênquima axial** paratraqueal vasicêntrico escasso. **Raios** homocelulares, composto por células procunberantes; exclusivamente unisseriados; de numerosos a muito numerosos (8 a 14 por mm linear), extremamente baixo com altura variando de 82 a 278 µm (Figura 36).

Pelas imagens obtidas pelo MEV, pode-se observar na Figura 37 o detalhamento da estrutura da fibra com parede delgada e lume espesso, face tangencial e radial.

Figura 36 – Tachi preto: A) Plano transversal ; B) Plano tangencial ; C) Plano radial; D) Detalhe da face transversal; E) Detalhe do vaso no plano tangencial; F) e G) Detalhe da fibra; H) Elemento de vaso

Figura 37 - Tachi preto: A, B – Plano transversal; C* - Plano tangencial; D – plano radial; *(Foto tirada no LGPM)

Itaúba Amarela: *Mezilaurus itauba*

Apresenta porosidade difusa e camada de crescimento pouco distinta individualizada por zona fibrosa mais escura. **Vasos** solitários e geminados na maioria e múltiplos de até 5, de pequenos a grandes (diâmetro entre 42 e 272 μm), pouco numerosos (de 4 a 11 por mm^2), obstruídos por tilos. **Fibras** libriforme, longas (de 1,2 a 2,3 mm), parede espessa a muito espessa e lume delgado (variando de 2,86 a 14,18 μm). **Parênquima axial** paratraqueal escasso. **Raios** heterocelulares, margem com células quadradas ou eretas e corpo procumbente; bisseriados predominantes; pouco numerosos (6 a 9 por mm linear), extremamente baixo com altura variando de 90 a 644 μm (Figura 38).

Pelas imagens obtidas pelo MEV, pode-se observar na Figura 39 na face transversa o detalhamento da estrutura da fibra com parede bem espessa e lume reduzido, além da face tangencial e radial.

Figura 38 – Itaúba amarela: A) Plano transversal; B) Plano tangencial; C) Plano radial; D) Detalhe da face transversal; E) Detalhe do vaso no plano tangencial; F) e G) Detalhe da fibra; H) Elemento de vaso, obstruído por tilo

Figura 39 – Itaúba amarela: A, B – Plano transversal; C - Plano tangencial; D* – plano radial; *(Foto tirada no LGPM)

A média dos comprimentos, largura, diâmetro do lume, espessura de parede e fração parede das fibras do Cedrinho, Tachi preto e Itaúba amarela são apresentadas na Figura 40.

A Itaúba amarela foi a espécie que apresentou os maiores valores de comprimento, espessura de parede e percentual de fração parede e menor diâmetro de lume, daí o fato de ser a espécie com maior densidade básica dentre elas.

O Cedrinho, em comparação com o Tachi preto, apresentou os maiores valores de comprimento, largura, espessura de parede e diâmetro do lúmen, com valor similar da fração parede. Na Figura 40 verifica-se que a densidade básica é inversamente relacionada com o diâmetro do lume, demonstrando que espécies com elementos anatômicos maiores podem apresentar menor densidade básica.

Figura 40 – Gráfico comparando as dimensões das fibras entre as espécies

Adicionalmente, como observado na Figura 36, a madeira de Cedrinho apresenta grande quantidade de células parenquimáticas, o que pode também interferir na densidade básica.

5.2 Características gerais de retratibilidade (não tratadas)

Os valores médios de retração e o índice T/R são apresentados de forma gráfica na Figura 41. Na Tabela 7, os valores de retração são comparados com os valores obtidos por outros pesquisadores.

Figura 41 – Gráfico de retratibilidade e relação T/R

Tabela 7 – Retrabilidade e relação T/R, comparadas com valores de literatura. Db: Densidade básica; T, R e V: respectivamente, retração total Tangencial, Radial e Volumétrica

Espécies	Db (g/cm³)	T (%)	R (%)	V (%)	Relação T/R	Fonte
Cedrinho	0,45	9,78	2,93	12,78	3,33	Presente pesquisa
	0,53	9,06	4,53	13,59	2,00	PIMADS (2015)
	0,48	7,70	3,30	12,50	2,33	IPT (2015)
	0,46	10,00	4,30	13,40	2,33	LPF (2015)
Tachi	0,62	8,93	4,14	13,03	2,15	Presente pesquisa
	0,60	7,31	4,26	11,58	1,72	PIMADS (2015)
	0,57	7,50	5,20	11,90	1,44	IPT (2015)
	0,56	7,30	4,10	11,10	1,78	LPF (2015)
Itaúba	0,74	7,56	2,33	10,13	3,24	Presente pesquisa
	0,76	8,13	3,16	11,29	2,57	PIMADS (2015)
	0,80	6,70	2,30	12,10	2,91	IPT (2015)
	0,70	7,90	2,60	10,50	3,04	LPF (2015)

Os valores de retração volumétrica quantificados na presente pesquisa estão na mesma ordem dos valores relatados por outros pesquisadores, porém a relação T/R é superior para as três espécies consideradas. Essa diferença é decorrente das diferenças nos valores das retrações lineares, e que pode ser explicada pela orientação dos sentidos tangencial e radial em relação aos corpos de prova. Os valores de literatura foram medidos em amostras retiradas de pranchões, seguindo normas específicas para tal, com a orientação dos sentidos tangencial e radial coincidentes com as superfícies laterais das amostras; enquanto que os corpos de

prova medidos na presente pesquisa foram retirados de tábuas comerciais, em que não é possível obter exatamente a mesma orientação.

O Cedrinho e o Tachi preto apresentaram os maiores valores absolutos de contração tangencial, radial e volumétrico, e a Itaúba o menor. O Tachi preto apresentou o menor valor de relação T/R, sendo que os valores para o Cedrinho e a Itaúba são similares. Com base na classificação adotada por Mainieri e Chimelo (1989), a retração tangencial das três espécies é classificada como média, a retração radial do Cedrinho e da Itaúba é baixo e a do Tachi preto é média e, em relação à retração volumétrica, os valores obtidos para o Cedrinho e o Tachi são considerados médio e para Itaúba, baixo.

5.2 Densidade básica

Este ensaio foi realizado com o intuito de obter a densidade básica de cada espécie utilizada na presente pesquisa e desta maneira avaliar sua possível influência nos resultados decorrentes dos tratamentos estabilizadores. Na Tabela 8 são apresentadas as médias da densidade básica de cada espécie, por tratamento. A análise de variância (Anexo B) comprovou não haver diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

Tabela 8 – Densidade básica (g/cm³) das espécies após a aplicação dos tratamentos

Tratamento	Cedrinho (<i>Erismia uncinatum</i>)	Tachi preto (<i>Tachigali myrmecophyla</i>)	Itaúba amarela (<i>Mezilaurus itauba</i>)
Não tratada	0,45	0,62	0,74
Estufa	0,50	0,58	0,76
90°C/24h	0,48	0,50	0,77
90°C/96h	0,48	0,52	0,74
120°C/2h	0,45	0,61	0,78
120°C/8h	0,46	0,54	0,77

Apesar da temperatura de 120°C ser relativamente alta quando comparada com as temperaturas utilizadas durante a secagem convencional, e alguns autores utilizarem esta faixa de temperatura para realização de retificação térmica, o tratamento estabilizador executado em autoclave, na presença de alta umidade relativa, não provocou alterações significativas na densidade básica do material.

Neste sentido ao comparar com outros trabalhos, tanto Brito et al. (2006) quanto Batista et al. (2011) ao utilizarem temperaturas de tratamento na faixa de 120°C a 200°C em madeiras de *Eucalyptus grandis*, observaram uma redução na densidade básica com o aumento da temperatura, porém as diferenças não foram significativas, assim como Kasemsiri et al. (2012) utilizando outra espécie, *Juniperus virginiana* L. (eastern redcedar) na faixa de 120°C a 190°C. Por outro lado, Bal e Bektas (2012) ao avaliar o efeito do tratamento térmico em madeira juvenil e adulta de *Eucalyptus grandis*, nas temperaturas de 120°C, 150° e 180°C, observaram um decréscimo da densidade básica.

5.3 Composição Química

Nas Tabelas 9, 10 e 11 são apresentados os resultados obtidos na análise da composição química das madeiras de Cedrinho, Tachi preto e Itaúba amarela. A análise de variância, aplicada a esses resultados, é apresentada no ANEXO C.

Tabela 9 – Composição química da madeira de Cedrinho

TRATAMENTO	Extrativos Totais (%)	Lignina Klason Insolúvel (%)	Lignina Klason Solúvel (%)	Lignina Total (%)	Holocelulose (%)
Estufa	2,75 c	33,16 a	2,03 a	35,19 a	62,06 a
T90/24	2,78 c	32,59 a	2,11 a	34,70 a	62,52 a
T90/96	2,64 c	34,38 a	1,70 a	36,08 a	61,28 ab
T120/2	5,96 b	33,16 a	1,85 a	35,01 a	59,03 b
T120/8	8,64 a	34,43 a	1,61 a	36,04 a	55,31 c

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05

Tabela 10 – Composição química da madeira de Tachi preto

TRATAMENTO	Extrativos Totais (%)	Lignina Klason Insolúvel (%)	Lignina Klason Solúvel (%)	Lignina Total (%)	Holocelulose (%)
Estufa	3,40 a	29,98 a	1,43 a	31,41 a	65,19 a
T90/24	3,07 a	30,37 a	1,42 a	31,79 a	65,14 a
T90/96	2,17 a	30,99 a	1,38 a	32,37 a	65,45 a
T120/2	2,78 a	31,18 a	1,28 a	32,45 a	64,77 a
T120/8	3,12 a	31,47 a	1,35 a	32,82 a	64,06 a

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05

Tabela 11 – Composição química da madeira de Itaúba amarela

TRATAMENTO	Extrativos Totais (%)	Lignina Klason Insolúvel (%)	Lignina Klason Solúvel (%)	Lignina Total (%)	Holocelulose (%)
Estufa	9,24 a	31,69 ab	0,61 a	32,29 ab	58,47 a
T90/24	9,58 a	31,34 b	0,45 a	31,80 b	58,62 a
T90/96	10,22 a	31,95 ab	0,51 a	32,46 ab	57,32 a
T120/2	9,20 a	31,40 b	0,53 a	31,92 b	58,88 a
T120/8	8,75 a	32,68 a	0,60 a	33,28 a	57,98 a

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05

Ao contrário do esperado, os valores de extrativos, lignina e holocelulose apresentaram valores semelhantes, independente do tratamento estabilizador recebido; ou seja, não se verificou alteração na composição química em função da exposição à temperatura. A exceção foi a madeira de Cedrinho, que apresentou diferença significativa para percentual de extrativos e holocelulose; sendo que os tratamentos a 120°C apresentaram os maiores teores de extrativos e menor valor de holocelulose.

De acordo com as análises, também é possível observar que a espécie Itaúba amarela apresenta o percentual de extrativos superior quando comparada com o Cedrinho e o Tachi preto. A análise química da madeira de Itaúba amarela acusou uma ligeira diferença nos teores de lignina insolúvel, porém estatisticamente significativa.

Segundo Kollmann e Côte (1968), até 100°C, a perda de material orgânico não é significativamente alta e algumas variações de massa observadas nestes casos podem ser atribuídas somente à perda de água adsorvida na madeira. Byrne e Nagle (1997), afirmam que a degradação térmica mais intensa das polioses inicia-se à temperatura em torno de 200°C.

Para maior detalhamento, a partir do filtrado obtido na determinação do teor de lignina Klason solúvel, foi realizada a análise de cromatografia para detectar compostos gerados após a hidrólise ácida. A Figura 34 apresenta o cromatograma dos padrões utilizados para determinação de celobiose, glicose, xilose, arabinose, ácido fórmico, ácido acético e ácido levulínico.

Figura 42 – Cromatograma dos padrões utilizados nas análises de carboidratos

A celobiose, prevista para ser detectada durante a análise, é a unidade fundamental da celulose, produzida a partir da hidrólise ácida parcial da celulose que é reduzida a dissacarídeos, ou seja, caso detectado poderia sugerir que a hidrólise não foi totalmente eficaz. No entanto, para todas as amostras analisadas, o valor para celobiose foi igual a zero.

As Tabelas 12, 13 e 14 apresentam a quantificação dos carboidratos obtidos a partir da cromatografia, expressa em porcentagem.

Tabela 12 – Percentual de carboidratos do Cedrinho

Tratamentos	Glicose	Xilose	Arabinose	Ác. acético	Ác. fórmico	Ác. levulínico
Estufa	46,77 a	12,51 a	0,52 b	2,07 a	0,00	0,19 a
90°C/24h	46,86 a	13,70 a	0,58 b	1,15 a	0,00	0,23 a
90°C/96h	47,56 a	12,33 a	0,53 b	0,61 a	0,00	0,24 a
120°C/2h	44,62 a	12,69 a	0,86 a	0,30 a	0,00	0,04 a
120°C/8h	44,70 a	9,85 a	0,56 b	0,13 a	0,00	0,05 a

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05

Tabela 13 – Percentual de carboidratos do Tachi preto

Tratamentos	Glicose	Xilose	Arabinose	Ác. acético	Ác. fórmico	Ác. levulínico
Estufa	48,42 a	13,77 a	0,53 a	1,33 a	0,25 a	0,89 a
90°C/24h	47,50 a	14,70 a	0,84 a	1,57 a	0,00 a	0,52 a
90°C/96h	48,15 a	14,62 a	0,92 a	1,48 a	0,00 a	0,28 a
120°C/2h	47,48 a	14,06 a	0,88 a	1,52 a	0,33 a	0,49 a
120°C/8h	47,02 a	15,62 a	0,72 a	0,70 a	0,00 a	0,00 a

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05

Tabela 14 – Percentual de carboidratos da Itaúba amarela

Tratamentos	Glicose	Xilose	Arabinose	Ác. acético	Ác. fórmico	Ác. levulínico
Estufa	40,77 a	14,46 a	0,71 ab	1,43 a	0,49 a	0,60 a
90°C/24h	41,19 a	14,88 a	0,71 ab	1,12 a	0,37 a	0,34 a
90°C/96h	40,68 a	14,33 a	0,72 ab	1,22 a	0,14 b	0,22 a
120°C/2h	41,88 a	14,66 a	0,77 a	1,13 a	0,00 b	0,43 a
120°C/8h	40,96 a	14,76 a	0,55 b	1,10 a	0,17 ab	0,43 a

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05

Estudos de Brito et al. (2008) que apresentam o teor de carboidratos para a madeira de *Eucalyptus* sp termorreificadas entre as temperaturas de 120°C e 180°C, também não apresentaram diferenças significativas para o teor de glicose e xilose. Assim como Severo et al. (2012), realizando modificação térmica a 200°C em madeira de *Pinus elliottii* também não observaram essas diferenças.

A glicose e a xilose são os carboidratos mais comuns da parede celular da madeira. Porém, com a ação de ácido concentrado e altas temperaturas pode ocorrer a degradação, por exemplo, de hexoses em hidroximetilfurfural, ácido levulínico e ácido fórmico (SJOSTROM, 1981).

A madeira geralmente é um material ácido e o valor de pH da madeira ou mais precisamente de soluções no interior da madeira úmida, é altamente importante para várias situações de uso. Metal em contato com madeira pode sofrer corrosão, bem como o poder de cola de adesivos e a fixação de preservantes da madeira podem ser influenciados (FENGEL; WEGENER, 1984).

A reação ácida da maioria das madeiras é causada pelos grupos que são facilmente eliminados, predominantemente ácidos acéticos e grupos acetila. Mas outros ácidos, particularmente de madeiras tropicais, podem contribuir para o valor do pH (FENGEL; WEGENER, 1984; MOORE; JOHNSON, 1967; PACKMAN, 1960).

O ácido predominante encontrado na madeira é o acético, mas pequenas concentrações de outras substâncias como ácido fórmico e taninos podem contribuir para acidez. Tais condições podem ocorrer durante o processo de secagem em estufa, tratamento a vapor ou armazenamento de madeira. O ácido acético liberado durante o aquecimento da madeira com alto teor de acetil pode ser suficiente para causar uma considerável degradação e resultar em significativa perda de resistência. (MOORE; JOHNSON, 1967; PACKMAN, 1960).

Os resultados das Tabelas 12 a 14 mostram que os tratamentos estabilizadores não provocaram mudanças na composição química da fração carboidratos da madeira das três espécies avaliadas. A exceção foi no teor de arabinose das madeiras de Cedrinho e Itaúba amarela e no teor de ácido fórmico na madeira de Itaúba amarela, mas são diferenças que não indicam um efeito consistente da temperatura adotada nos tratamentos estabilizadores. Assim, é possível concluir que os tratamentos estabilizadores, na forma em que foram aplicados na presente pesquisa, não causaram alterações na composição química na madeira das espécies sob estudo.

Muito provavelmente, na faixa de temperaturas adotadas nos tratamentos estabilizadores, o efeito seja menos pronunciado na porção carboidrato da madeira, e tenha mais influência na liberação de ácidos e VOC (Componentes Orgânicos Voláteis).

5.4 Condicionamentos higroscópicos

5.4.1 Condicionamento utilizando dispositivo Rubotherm

No condicionamento realizado no dispositivo Rubotherm foi possível acompanhar a variação de massa em cada uma das etapas de umidade relativa. Como todo equipamento, o Rubotherm também possui suas limitações, não sendo possível obter um ambiente com 0% ou 100% de UR.

A grande vantagem deste equipamento é a possibilidade de realizar os condicionamentos em diferentes umidades relativas sem que haja interrupção e em um ambiente totalmente controlado, com acompanhamento de massa durante todo o ensaio.

A Figura 43 apresenta o perfil de variação de massa de acordo com cada estágio de umidade relativa, podendo ser observado que as variações mais relevantes de massa ocorrem logo após a passagem de uma umidade relativa para outra, e logo em seguida, o ganho ou perda de massa torna-se muito pequeno. Destaca-se, também, a grande influência da umidade no comportamento da madeira, como destacado na Figura 43-A, mesmo uma pequena interferência na umidade relativa, é refletida na madeira.

Figura 43 – Gráfico de massa e umidade relativa dos condicionamentos realizados no Rubotherm (o valor de massa representa: peso do suporte + massa da amostra)

As amostras secas em estufa e tratadas a 90°C e 120°C apresentaram perfil de ganho e perda de massa semelhante entre si, pois a perda de massa foi praticamente a mesma do ganho de massa na fase de adsorção. Já para a amostra tratada a 250°C, adicionada nesta análise para comparação entre o tratamento estabilizador e um tratamento de termorretificação, fica visível o efeito da temperatura na redução da higroscopicidade, diminuindo consideravelmente a sorção de umidade, principalmente na fase de dessorção.

A partir deste acompanhamento da variação de massa durante o condicionamento, na Figura 44 são apresentadas as isotermas de sorção para cada um dos tratamentos.

Figura 44 – Isotermas de sorção para a madeira de Cedrinho

Como esperado, a amostra termorretificada apresentou os menores valores de umidade de equilíbrio. Em relação aos valores similares observados entre as amostras submetidas ao tratamento estabilizador e a amostra controle (seca estufa), provavelmente pode ser atribuído à liberação de Componentes Orgânicos Voláteis (VOC), uma vez que estão numa faixa de temperaturas muito próximas.

O VOC abrange uma grande variedade de componentes químicos, que incluem hidrocarbonetos cíclicos (terpenos e terpenóides), álcools, éter, aldeídos, cetonas, ácidos, hidrocarbonos alifáticos e fenóis (BROWING, 1967). A quantidade de VOC e cada componente emitido da madeira dependem do método de secagem, temperatura, tempo e distribuição dos extrativos (ISHIKAWA et al., 2009).

5.4.2 Condicionamento utilizando solução salina

Os condicionamentos tiveram duração média de 14 dias para o Cedrinho e o Tachi preto, e 20 dias para a Itaúba amarela. Os valores médios de umidade relativa e umidade de equilíbrio previstos e obtidos durante os condicionamentos, de acordo com cada solução salina, constam da Tabela 15.

Tabela 15 - Umidade relativa (UR) das soluções salinas saturadas e valor estimado para a umidade de equilíbrio (UE) da madeira

Solução Salina		UR(%)	UR(%)	UE*(%)
		Previsto ASTM E104 (2012)	Obtido	Estimado
Cloreto de magnésio	MgCl ₂	≈ 33	≈ 36	≈ 7
Brometo de sódio	NaBr	≈ 59	≈ 60	≈ 11
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₃	≈ 97	≈ 92	≈ 25

A partir destes condicionamentos foram traçadas as isotermas de sorção (Figuras 45, 46 e 47). Por apresentarem teores de umidade muito próximos entre si, ao serem apresentadas agrupadas em um mesmo gráfico, torna-se mais difícil avaliar as diferenças entre as isotermas. Por outro lado, ao analisarmos cada tratamento separadamente, em comparação à testemunha (estufa), é possível notar as diferenças nas isotermas. As amostras tratadas a 120°C, das três espécies, atingem umidade de equilíbrio inferior à da testemunha para umidades relativas de 90%. Nas demais situações, as isotermas do material tratado e da testemunha se sobrepõem.

Assim como ocorreu no ensaio realizado no dispositivo Rubotherm, as amostras submetidas ao tratamento a 90°C, das três espécies, apresentaram resultados muito semelhantes ao da testemunha, em certos casos até com valores levemente superiores. A hipótese mais provável para tal comportamento é o fato dos tratamentos terem sido executados em ambiente com alta umidade relativa e podem ter ocorrido reações que deixaram disponíveis espaços para ligação dos grupos OH e as moléculas de água. Segundo Biziks et al. (2013), que também realizaram em seu estudo tratamentos térmicos em autoclave na presença de vapor, notaram a presença de pequenas rachaduras entre as fibras da madeira, que não estavam presentes antes do tratamento e, portanto, liberando mais um caminho de acesso para as moléculas de água ou criando condições para condensação de água líquida nas microfissuras.

Figura 45 – Isotermas de sorção para madeira de Cedrinho em cada um dos condicionamentos, onde:
 ▲ Testemunha, ▲ T90/24, ▲ T 90/96, ▲ T120/2, ▲ T120/8

Figura 46 – Isotermas de sorção para madeira de Tachi preto em cada um dos condicionamentos, onde: ▲ Testemunha, ▲ T90/24, ▲ T 90/96, ▲ T120/2, ▲ T120/8

Figura 47 – Isotermas de sorção para madeira de Itaúba amarela em cada um dos condicionamentos, onde: ▲ Testemunha, ▲ T90/24, ▲ T 90/96, ▲ T120/2, ▲ T120/8

Nas Tabelas 16, 17 e 18 e na Figura 48 encontram-se os valores médios de umidade para cada um dos condicionamentos, onde podemos observar que o teor de umidade das amostras está de acordo com os valores estimados na Tabela 15.

Tabela 16 – Teor de umidade em cada um dos condicionamentos higroscópicos (Cedrinho)

Tratamentos	Ui	C1 ↓	C2 ↑	C3 ↑	C4 ↓	C5 ↓
Estufa	10,00 b	7,82 a	10,01 c	23,30 a	12,34 a	8,41 a
T90/24	*16,18 a	8,21 a	*11,27 a	22,56 a	12,52 a	8,52 a
T90/96	*16,02 a	8,23 a	*10,91 ab	23,43 a	12,14 a	8,60 a
T120/2	12,21 b	8,36 a	*10,70 ab	21,05 a	*11,26 b	*7,96 b
T120/8	*12,66 b	8,09 a	*10,53 bc	22,73 a	*10,64 b	*7,60 b

Ui: Umidade Inicial, C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; ↑: Adsorção e ↓:Dessorção; Médias apresentando (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05; análise de variância podem ser consultadas no Anexo D

Tabela 17 – Teor de umidade em cada um dos condicionamentos higroscópicos (Tachi preto)

Tratamentos	Ui	C1 ↓	C2 ↑	C3 ↑	C4 ↓	C5 ↓
Estufa	10,06 c	7,96 a	9,91 b	19,56 ab	12,04 a	9,05 a
T90/24	*15,04 a	7,79 a	10,43 ab	19,45 ab	11,84 ab	8,67 a
T90/96	*15,25 a	8,22 a	*10,78 a	20,47 a	12,20 a	9,22 a
T120/2	11,71 bc	7,96 a	10,45 ab	*17,78 c	11,54 bc	8,80 a
T120/8	*12,18 b	7,68 a	10,30 ab	18,87 bc	*11,28 c	8,78 a

Ui: Umidade Inicial, C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; ↑: Adsorção e ↓:Dessorção; Médias apresentando (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05; análise de variância podem ser consultadas no Anexo D

Tabela 18 – Teor de umidade em cada um dos condicionamentos higroscópicos (Itaúba amarela)

Tratamentos	Ui	C1 ↓	C2 ↑	C3 ↑	C4 ↓	C5 ↓
Estufa	10,15 d	8,36 a	9,89 a	16,73 ab	11,24 a	8,31 a
T90/24	*12,07 b	8,14 ab	9,97 a	*15,63 bc	10,93 a	8,15 ab
T90/96	*13,67 a	*7,86 ab	9,89 a	16,80 a	11,07 a	*8,02 abc
T120/2	10,62 cd	*7,67 b	9,45 a	*13,98 d	*10,28 b	*7,89 bc
T120/8	*11,36 bc	*7,72 b	9,52 a	*14,75 cb	*10,35 b	*7,73 c

Ui: Umidade Inicial, C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; ↑: Adsorção e ↓:Dessorção; Médias apresentando (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05; análise de variância podem ser consultadas no Anexo D

Primeiramente, neste estudo observou-se que a umidade de equilíbrio foi menor na espécie mais densa e maior na espécie de menor densidade.

A Umidade inicial (Ui) representa o teor de umidade das amostras ao iniciar o Condicionamento 1. Como, nesta etapa, os tratamentos foram realizados em

autoclave na presença de alta umidade relativa, o teor de umidade inicial apresenta o reflexo deste tratamento. Nesta fase, nas três espécies houve diferença entre tratamentos e testemunha, exceto para o tratamento a 120°C/2h.

O Condicionamento 1 (C1) foi caracterizado como a fase de uniformização dos teores de umidade. O Condicionamento 2 (C2), correspondente a primeira adsorção, somente a espécie Itaúba não apresentou diferença estatística entre os tratamentos.

No Condicionamento 3 (C3), dando continuidade a fase de adsorção, o Cedrinho foi a espécie que apresentou o maior teor de umidade de equilíbrio dentre as três espécies. Neste condicionamento foi observado que as amostras com maior tempo de tratamento, em uma mesma temperatura, também apresentaram maior teor de umidade.

No Condicionamento 4 (C4), passando para a fase de dessorção, destaca-se o tratamento a 120°C por apresentar o menor teor de umidade equilíbrio.

A quinta e última etapa de dessorção, o Condicionamento 5 (C5), apenas o Tachi não apresentou diferença estatística entre os tratamentos. Tanto no Cedrinho quanto na itaúba, o tratamento a 120°C diferiu estatisticamente da testemunha.

Ao avaliar os valores de variação de umidade de um condicionamento ao outro, ou seja, analisando separadamente somente o ganho ou perda de umidade de acordo com o condicionamento, é possível observar mais claramente o comportamento higroscópico ao longo das fases de sorção. O $\Delta 1$ (variação de umidade 1) representa a diferença do teor de umidade entre C1 e C2, em valores absolutos; o $\Delta 2$ (variação de umidade 2) representa a diferença do teor de umidade entre C2 e C3, em valores absolutos, e assim sucessivamente.

Figura 48 – Gráfico de teor de umidade média e variação de umidade das amostras em cada um dos condicionamentos. Onde, Ui: Umidade Inicial, C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; Δ1 a Δ4: Variação de umidade do condicionamento 1 ao 5; ↑: Adsorção e ↓: Dessorção

Nas Tabelas 19, 20 e 21 e na Figura 48, encontram-se os valores médios de variação de umidade para cada um dos condicionamentos.

Tabela 19 – Variação de umidade de um condicionamento para o outro (Cedrinho)

Tratamentos	$\Delta 1 \uparrow$	$\Delta 2 \uparrow$	$\Delta 3 \downarrow$	$\Delta 4 \downarrow$
Estufa	2,26 b	13,13 a	11,10 ab	4,00 a
T90/24	*2,94 a	11,11 ab	9,84 ab	3,93 a
T90/96	2,56 ab	12,41 a	11,10 ab	*3,54 ab
T120/2	2,31 b	*9,66 b	9,22 b	*3,18 bc
T120/8	2,30 b	11,81 ab	11,80 a	*2,95 c

Ui: Umidade Inicial, C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; $\uparrow$: Adsorção e $\downarrow$:Dessorção; Médias apresentando (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05; análise de variância podem ser consultadas no Anexo E

Tabela 20 – Variação de umidade de um condicionamento para o outro (Tachi preto)

Tratamentos	$\Delta 1 \uparrow$	$\Delta 2 \uparrow$	$\Delta 3 \downarrow$	$\Delta 4 \downarrow$
Estufa	2,05 a	9,73 a	7,58 a	3,09 a
T90/24	*2,47 a	8,72 ab	7,33 a	2,97 ab
T90/96	*2,51 a	9,55 ab	8,18 a	*2,85 bc
T120/2	2,36 a	*6,96 c	*5,94 b	*2,67 c
T120/8	*2,56 a	*8,39 b	7,42 a	*2,41 d

Ui: Umidade Inicial, C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; $\uparrow$: Adsorção e $\downarrow$:Dessorção; Médias apresentando (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05; análise de variância podem ser consultadas no Anexo E

Tabela 21 – Variação de umidade de um condicionamento para o outro (Itaúba amarela)

Tratamentos	$\Delta 1 \uparrow$	$\Delta 2 \uparrow$	$\Delta 3 \downarrow$	$\Delta 4 \downarrow$
Estufa	1,59 b	6,99 a	5,56 ab	3,00 a
T90/24	1,78 ab	*5,51 b	*4,50 bc	2,72 ab
T90/96	2,06 a	6,57 a	5,58 a	2,97 a
T120/2	1,93 ab	*4,62 b	*3,78 c	*2,29 b
T120/8	1,93 ab	*5,06 b	*4,29 c	*2,57 ab

Ui: Umidade Inicial, C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; $\uparrow$: Adsorção e $\downarrow$:Dessorção; Médias apresentando (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05; análise de variância podem ser consultadas no Anexo E

A variação de umidade 1 ($\Delta 1$), etapa de adsorção, observa-se uma homogeneidade nessa variação. A partir do terceiro condicionamento ($\Delta 2$) foi possível observar o efeito dos tratamentos estabilizadores na sorção de umidade, com exceção para o tratamento de maior duração, de ambas as temperaturas, que adsorveram maior quantidade de umidade quando comparadas com o de menor duração. Porém, somente no quinto condicionamento ($\Delta 4$) foi observado uma tendência de diminuição de sorção de acordo com os tratamentos estabilizadores para as espécies Cedrinho e Tachi. A Itaúba não apresentou o mesmo comportamento das demais, que pode ser um reflexo da sua densidade mais elevada.

Apesar das diferenças observadas na sorção de umidade, as quais refletem um efeito dos tratamentos estabilizadores na higroscopicidade da madeira, previa-se um efeito mais acentuado, principalmente nas temperaturas mais elevadas, como observado em trabalhos anteriores.

Uma explicação plausível para interpretar os resultados obtidos deve ser baseada, obrigatoriamente, no conhecimento sobre os mecanismos de sorção da água pela madeira.

É consensual na literatura (KOLMANN, 1959; CECHE; PFAFF, 1977; GALVÃO; JANKOWSKY, 1985; SIAU, 1984; SKAAR, 1988; KEEY; LANGRISH; WALKER, 1999) o reconhecimento de que a água higroscópica ou de impregnação (“bound”) está localizada no interior da parede celular, em todos os elementos anômicos da madeira. São moléculas de água que estão ligadas em camadas polimoleculares, principalmente por pontes de hidrogênio, aos grupos hidroxílicos acessíveis nas regiões não cristalinas da parede celular.

Os sítios de sorção, ou grupos hidroxílicos livres, estão localizados nas moléculas das diferentes hemiceluloses e nos segmentos das moléculas de celulose amorfa. É consensual que o componente mais importante no comportamento higroscópico da madeira é a celulose amorfa, ou seja, os principais sítios de sorção (radicais OH livres) estão localizados nos segmentos das moléculas de celulose amorfa.

Os principais modelos que buscam explicar a atração e fixação das moléculas de água pela madeira são apresentados e discutidos por Skaar (1988), os quais propõem a sorção polimolecular, definindo a sorção primária como a ligação da molécula de água diretamente ao grupo hidroxílico livre; e a sorção secundária como a ligação da molécula de água a outra molécula de água, que pode ser primária ou secundária.

A redução na capacidade higroscópica da madeira seria decorrente da redução nos sítios de sorção primária, seja por degradação parcial de hemiceluloses ou por aproximação suficiente entre grupos hidroxílicos de diferentes segmentos das moléculas da celulose amorfa, criando condições para a formação de uma ponte de hidrogênio entre eles (que não mais seriam radicais livres). Essa aproximação entre radicais OH da celulose amorfa somente ocorrerá se houver retração da parede celular, o que necessariamente implica na perda de água higroscópica.

Uma das principais características da madeira submetida a tratamentos térmicos, em temperaturas superiores a 120°C e ambientes secos ou inertes, é a redução na umidade de equilíbrio; ou seja, a redução na capacidade higroscópica do material. Esse comportamento comprova, de forma indireta, a teoria de redução nos sítios de sorção primária decorrente da perda de água higroscópica e consequente retração da parede celular.

Os resultados obtidos demonstraram que não ocorreram alterações na composição química em decorrência da aplicação dos tratamentos estabilizadores, o que permite desconsiderar a hipótese de redução nos sítios de sorção primária por degradação parcial das hemiceluloses.

Considerando que os tratamentos estabilizadores foram aplicados na madeira previamente seca e em ambiente com alta umidade relativa, é possível inferir que o ar saturado impediu a continuidade na perda de água higroscópica (secagem), que ocorreria por efeito da exposição da madeira a temperaturas mais elevadas do que as aplicadas durante a secagem convencional.

Não havendo continuidade na retirada da água higroscópica, a retração da parede celular na madeira apenas seca em estufa e na madeira submetida aos tratamentos estabilizadores seria similar; e a higroscopicidade, por consequência, também seria similar. Essa hipótese, fundamentada no conhecimento sobre o fenômeno de sorção da água pela madeira, explica a similaridade no comportamento higroscópico em diferentes condições de umidade relativa que foi observada na presente pesquisa.

5.5 Variação dimensional

5.5.1 Programa de análise Meshpore

Para avaliar as variações dimensionais, o software utilizado considera o valor da imagem de referência igual a 1 e calcula as deformações de contração e inchamento na direção tangencial e radial. Por exemplo, o valor de deformação de contração é $(1 - n)$ e de inchamento $(1 + n)$, onde “n” é a unidade de deformação.

As variações dimensionais nos sentidos tangencial e radial de todos os tratamentos são apresentadas nas Figuras 49 e 50. A análise das imagens

realizadas pelo MeshPore mostraram a boa performance do software, permitindo traçar as curvas de contração e inchamento.

A análise de imagem mostrou ser uma ferramenta muito útil para avaliar as variações dimensionais da madeira decorrentes das condições climáticas do ambiente. Além de observarmos o comportamento higroscópico, apresentado no item 5.4, se refletindo na variação dimensional, um fenômeno interessante foi observado em relação ao sentido da sorção; ou seja, a histerese presente nas isotermas de sorção é observada apenas na amostra testemunha. Para as amostras tratadas o efeito da histerese não chega a ser visível, isto é, ambas as curvas de dessorção e adsorção apresentam um perfil linear, corroborando as observações relatadas por Perré (2007) e Almeida et al (2009).

Figura 49 – Taxa de deformação no sentido tangencial

Figura 50 – Taxa de deformação no sentido radial

5.5.2 Variação dimensional de acordo com os condicionamentos higroscópicos

Nas Tabelas 22 a 27 e na Figura 51 são apresentados os valores de variação dimensional nos sentidos tangencial (largura) e radial (espessura), em cada um dos condicionamentos, os quais correspondem ao quanto a madeira retraiu ou inchou em relação à dimensão anterior.

Tabela 22 – Variação dimensional (%) média no sentido tangencial (largura) em cada um dos condicionamentos higroscópicos (Cedrinho)

Tratamentos	C1 ↓	C2 ↑	C3 ↑	C4 ↓	C5 ↓
Estufa	0,66 c	0,62 b	4,93 a	3,77 ab	1,46 a
90/24	*2,79 a	*0,89 a	3,86 ab	3,37 ab	1,39 a
90/96	*2,97 a	*0,86 ab	4,29 ab	3,86 ab	1,41 a
120/2	*1,34 bc	0,78 ab	*3,17 b	3,01 b	*1,17 a
120/8	*1,56 b	0,79 ab	4,26 ab	4,25 a	1,24 a

C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; Médias apresentando (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05; ↑: Adsorção e ↓: Dessorção; análises de variância podem ser consultadas no Anexo F

Tabela 23 – Variação dimensional média no sentido tangencial (largura) em cada um dos condicionamentos higroscópicos (Tachi preto)

Tratamentos	C1 ↓	C2 ↑	C3 ↑	C4 ↓	C5 ↓
Estufa	0,64 c	0,60 b	3,89 a	2,77 ab	1,13 a
90/24	*2,62 a	*0,88 a	*3,18 ab	2,58 ab	1,13 a
90/96	*2,48 a	*0,78 a	3,44 ab	2,92 a	1,12 a
120/2	*1,39 b	*0,80 a	*2,74 b	*2,19 b	1,01 a
120/8	*1,59 b	*0,79 a	*3,16 ab	2,69 ab	1,07 a

C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; Médias apresentando (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05; ↑: Adsorção e ↓: Dessorção; análises de variância podem ser consultadas no Anexo F

Tabela 24 – Variação dimensional média no sentido tangencial (largura) em cada um dos condicionamentos higroscópicos (Itaúba amarela)

Tratamentos	C1 ↓	C2 ↑	C3 ↑	C4 ↓	C5 ↓
Estufa	0,65 c	0,61 a	3,28 a	2,33 a	1,20 a
90/24	*1,66 b	0,72 a	*2,38 b	*1,84 abc	1,08 a
90/96	*2,29 a	0,66 a	2,79 ab	2,16 ab	1,18 a
120/2	1,02 c	0,62 a	*1,76 c	*1,38 c	0,97 a
120/8	*1,51 b	0,65 a	*2,25 bc	*1,72 bc	1,04 a

C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; Médias apresentando (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05; ↑: Adsorção e ↓: Dessorção; análises de variância podem ser consultadas no Anexo F

Tabela 25 – Variação dimensional média no sentido radial (espessura) em cada um dos condicionamentos higroscópicos (Cedrinho)

Tratamentos	C1 ↓	C2 ↑	C3 ↑	C4 ↓	C5 ↓
Estufa	0,31 c	0,38 a	2,25 a	1,66 ab	0,79 a
90/24	*1,13 a	0,47 a	1,78 a	1,51 ab	0,70 a
90/96	*1,19 a	0,41 a	2,06 a	1,65 ab	0,64 a
120/2	0,54 bc	0,43 a	1,52 a	1,32 b	0,61 a
120/8	*0,74 b	0,50 a	2,07 a	1,98 a	0,62 a

C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; Médias apresentando (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05; ↑: Adsorção e ↓: Dessorção; análises de variância podem ser consultadas no Anexo F

Tabela 26 – Variação dimensional média no sentido radial (espessura) em cada um dos condicionamentos higroscópicos (Tachi preto)

Tratamentos	C1 ↓	C2 ↑	C3 ↑	C4 ↓	C5 ↓
Estufa	0,69 b	0,47 a	1,93 a	1,37 ab	0,85 a
90/24	*1,32 a	0,60 a	1,81 a	1,34 ab	0,82 a
90/96	*1,40 a	0,53 a	2,12 a	1,53 a	0,79 a
120/2	0,67 b	0,49 a	1,69 a	1,17 b	0,73 a
120/8	0,93 b	0,56 a	2,11 a	1,45 ab	0,81 a

C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; Médias apresentando (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05; ↑: Adsorção e ↓: Dessorção; análises de variância podem ser consultadas no Anexo F

Tabela 27 – Variação dimensional média no sentido radial (espessura) em cada um dos condicionamentos higroscópicos (Itaúba amarela)

Tratamentos	C1 ↓	C2 ↑	C3 ↑	C4 ↓	C5 ↓
Estufa	0,25 c	0,27 a	0,94 a	0,67 a	0,39 a
90/24	*0,50 ab	0,28 a	0,90 a	0,78 a	0,35 a
90/96	*0,52 a	0,25 a	0,83 a	0,59 a	0,43 a
120/2	0,28 bc	0,25 a	0,59 a	0,56 a	0,28 a
120/8	*0,46 abc	0,22 a	0,73 a	0,63 a	0,27 a

C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; Médias apresentando (*) diferem significativamente da testemunha pelo teste de Dunnett a 0,05; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05; ↑: Adsorção e ↓: Dessorção; análises de variância podem ser consultadas no Anexo F

Assim como na análise de imagens realizada pelo programa MeshPore, as variações dimensionais ocorridas durante os condicionamentos higroscópicos utilizando soluções salinas saturadas refletiram o perfil semelhante ao do comportamento da variação de umidade. Destaque-se que esse comportamento era esperado, uma vez que a variação dimensional é decorrente das variações no teor de água higroscópica.

Apesar das diferenças de valores observadas nos gráficos, pela análise estatística se obteve apenas um pequeno número de amostras estatisticamente diferentes.

Figura 51– Variação dimensional média no sentido tangencial (largura) e radial (espessura) das amostras em cada um dos condicionamentos. Onde, C1 a C5: Condicionamento 1 a 5; Δ tg: variação no sentido tangencial; Δ rd: variação no sentido radial; $\uparrow$: Adsorção e $\downarrow$:Dessorção

Levando em consideração a curva/isoterma de variação de umidade obtida pelo programa MeshPore e a partir das medições das dimensões das amostras em cada um dos condicionamentos, foi realizada uma análise de regressão. Com as equações obtidas estimou-se a dimensão da amostra a 0% e 28% (Ponto de Saturação das Fibras - PSF) de umidade e, assim, obteve-se os valores de retração

total. As equações obtidas para cada uma das amostras estão descritas no ANEXO G.

A Figura 52 apresenta o diagrama de dispersão para variação dimensional no sentido tangencial para amostra Testemunha da espécie Cedrinho. Os diagramas de dispersão (não apresentado) das demais amostras apresentaram perfil semelhante.

Figura 52 – Diagrama de dispersão para variação dimensional no sentido tangencial para amostra de Cedrinho (Testemunha).

A Figura 53 apresenta os valores médios de retração total nos sentidos tangencial e radial. A respectiva análise da variância consta do Anexo H.

No sentido tangencial, apesar da análise estatística de comparação de médias não acusar diferenças significativas, no gráfico é possível observar que as amostras tratadas das madeiras de Cedrinho e de Tachi preto apresentaram os menores valores de retração, principalmente para o tratamento a 120°C/2h. No sentido radial essa tendência entre os tratamentos é um pouco mais sutil.

A partir da retração total também estimou-se o coeficiente de variação tangencial/radial, ou seja, o percentual de variação dimensional correspondente a cada 1% na variação no teor de umidade, estimado de 0% até o PSF. Os coeficientes obtidos são apresentados nas Tabelas 28 e 29.

Tabela 28 – Coeficiente de variação dimensional no sentido tangencial

Tratamentos	Cedrinho	Tachi	Itaúba
Estufa	0,35	0,35	0,36
T90/24	0,34	0,34	0,34
T90/96	0,34	0,34	0,34
T120/2	0,32	0,33	0,32
T120/8	0,35	0,35	0,34

Tabela 29 – Coeficiente de variação dimensional no sentido radial

Tratamentos	Cedrinho	Tachi	Itaúba
Estufa	0,16	0,20	0,09
T90/24	0,15	0,18	0,11
T90/96	0,15	0,19	0,09
T120/2	0,14	0,19	0,09
T120/8	0,17	0,20	0,09

Figura 53 – Retração total nos sentidos tangencial e radial calculados pelas equações de regressão. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 0,05; análises de variância podem ser consultadas no Anexo H

Estas informações obtidas através do coeficiente de variação podem ser de grande contribuição para o processo produtivo de produtos com alto valor agregado como, por exemplo, os pisos de madeira maciça. Pois segundo a NBR 15799: Pisos de madeira com e sem acabamento – Padronização e classificação; a tolerância máxima admitida nas variações de largura e espessura é de $\pm 0,20$ mm. Esta tolerância significa que um assoalho com largura nominal de 70 mm pode apresentar uma variação dimensional máxima de $\pm 0,29\%$.

De acordo com a estimativa realizada, independente da espécie ou tratamento, o coeficiente de variação médio no sentido tangencial seria de 0,34%, o que significa que uma variação no teor de umidade na ordem de 2,0% seria suficiente para gerar uma não conformidade. A implicação do ponto de vista do processo industrial de manufatura é a necessidade de uma secagem conduzida de acordo com critérios técnicos rigorosos, principalmente em relação à uniformidade no teor de umidade da madeira seca.

No sentido radial observa-se a influência da espécie, onde o coeficiente de variação seria de 0,15% para o Cedrinho, 0,19% para o Tachi preto e 0,09% para a Itaúba amarela.

Em situações práticas, caso ocorram variações muito bruscas de umidade no ambiente de armazenagem e a orientação das peças forem predominantemente tangenciais, há grande chances de ocorrer não conformidade. No entanto, sabe-se que a maioria das peças de madeira ocorrem os cortes no sentido popularmente conhecido como “falso tangenciais”; em outras palavras, as peças em sua maioria não são bem orientadas, o que de certa forma ameniza a variação dimensional de peças tendendo para tangencial à não apresentarem a não conformidade.

Em suma, tanto a variação dimensional quanto a questão de higroscopicidade da madeira estão longe de serem equações perfeitas de matemática. Variáveis internas e externas afetam diretamente no comportamento da madeira e por mais homogêneo que seja o material, não é possível, até o momento, prever com exatidão seu comportamento. Por exemplo, de acordo com a teoria de Dent (SKAAR, 1988), as camadas de polímeros da parede celular atraem as moléculas de água, porém mais de uma molécula pode ser atraída para um mesmo sítio de sorção, fato este que explicaria a movimentação dimensional irregular de peças de madeira quando uma parte da madeira está mais úmida que outra, até a peça alcançar o equilíbrio (ROWELL, 2005).

5.6 Resposta do tratamento piloto

5.6.1 Condições gerais do material

a) Teor de umidade

O teor de umidade médio após a secagem convencional foi de 6,8%, um pouco abaixo da umidade final desejada, de 8,0%. Ainda na indústria, com a aplicação do tratamento piloto, a umidade média final apresentou um valor de 4,8%. Em laboratório, a umidade média final após os tratamentos pilotos de 24 e 96 horas foram de 6,5% e 6,0%, respectivamente. A aplicação do tratamento piloto em laboratório afetou menos a umidade em relação ao seu valor inicial do que o tratamento na indústria (Figura 54).

Figura 54 – Teor de umidade médio das madeiras após o tratamento piloto. Onde, E: Seca em estufa, Pi : Tratamento Piloto, 90°C/24h, na Indústria, PL1: Tratamento Piloto, 90°C/24h, em Laboratório, PL2: Tratamento Piloto, 90°C/96h, em Laboratório

b) Teste de Tensão

O teste de tensão ou teste do garfo, como também é conhecido, trata-se de uma prática comum adotada em indústrias que realizam a secagem convencional para avaliar a qualidade da secagem, o nível de tensões residuais e a possível ocorrência de encruamento.

O teste de tensão foi realizado primeiramente nas tábuas coletadas da indústria logo após a secagem convencional; e após a aplicação dos tratamentos estabilizadores, tanto na indústria quanto em laboratório.

Para as amostras secas em estufa o teste de tensão foi positivo (Figura 55), demonstrado boa execução e qualidade na secagem, com exceções de algumas peças com corte tangencial e pequena presença de medula que apresentaram pequena tendência à tensão, pois trata-se de peças com maior propensão em apresentar defeitos.

Figura 55 - Teste de tensão após a secagem convencional

5.6.2 Tratamento Piloto - Indústria

Durante a aplicação do tratamento estabilizador a estufa convencional não manteve a temperatura de 90°C ao longo de todo o processo. Diante desta situação, o operador da estufa realizou procedimentos manuais para manter o máximo estabilizado possível.

Finalizado o tratamento, a estufa foi desligada para que resfriasse naturalmente, permanecendo assim por aproximadamente 24 horas. Porém foi detectada presença de tensão superficial ao realizar o teste do garfo (Figura 56).

Figura 56 - Teste de tensão após aplicação de tratamento estabilizador em estufa convencional na indústria

Neste caso, recomenda-se, tendo em vista a prática adotada durante o processo convencional, o resfriamento com aumento da umidade para evitar as tensões superficiais.

Para reverter o quadro de tensão superficial observado após o tratamento piloto e seguir no fluxo de produção, a madeira foi novamente acondicionada para realização do “banho”, termo utilizado na indústria, ou seja, a superfície da madeira foi reumedecida com vapor úmido por um período aproximado de 3 horas. Desta maneira conseguiu-se reverter o quadro de tensão que as madeiras estavam apresentando e após resfriamento seguiu normalmente para linha de produção.

5.6.3 Tratamento Piloto - Laboratório

Concomitantemente foi realizado o tratamento piloto em laboratório.

A Figura 57 apresenta o perfil de umidade de equilíbrio captado pelo sensor instalado no interior da câmara de climatização durante a aplicação dos tratamentos pilotos.

Figura 57 – Gráfico de umidade de equilíbrio no interior da câmara de climatização durante os tratamentos pilotos

A umidade de equilíbrio média obtida durante os tratamentos pilotos em laboratório foi de 9% para o tratamento a 90°C por 24 horas e 7,5% para o tratamento a 90°C por 96 horas. Ambos os tratamentos foram ajustados com os mesmos parâmetros de temperatura e umidade relativa,

Em ambos os tratamentos pilotos, a temperatura de 90°C manteve-se estabilizada com variação $\pm 1^\circ\text{C}$. Para umidade relativa, em ambos os casos, a programação foi a mesma e manteve-se estável, porém no tratamento 90°C/96h a umidade de equilíbrio captada pelo sensor ficou um pouco abaixo do tratamento 90°C/24h.

Baseada na prática adotada pela indústria para esta espécie e para evitar que a superfície das amostras ficasse muito ressecada, após a finalização do tratamento, durante o resfriamento da câmara, a umidade relativa foi elevada para evitar a formação de tensões superficiais.

E como pode ser observada na Figura 58, a adoção desta técnica evitou a presença de tensão após a finalização dos tratamentos pilotos.

Figura 58 - Teste de tensão após aplicação de tratamento estabilizador Câmara de Climatização de Laboratório, A: 90°C por 24 horas; B: a 90°C por 96 horas

Com a realização do teste do garfo logo após a secagem convencional e a aplicação dos tratamentos estabilizadores foi possível observar que a execução da secagem e dos tratamentos foi de boa qualidade. Com exceção, inicialmente, para o tratamento piloto que apresentou pequenos índices de tensões superficiais, mas após aplicação do “banho”, as tensões presentes foram eliminadas.

5.6.4 Variação de umidade e movimentação dimensional

Para finalização do teste piloto, as amostras foram condicionadas em ambientes de alta e baixa umidade relativa, onde a umidade relativa média obtida no condicionamento úmido foi de 99% e no condicionamento seco foi de 14%.

Após o condicionamento úmido foi observado a presença de algumas amostras emboloradas, principalmente as amostras testemunhas. Mas somente no condicionamento seco foi possível observar defeitos de empenamento, onde representaram aproximadamente 33% do total das amostras testemunha, 22% para o tratamento na indústria, 33% para o tratamento em laboratório a 90°C/24h e 27% para o tratamento em laboratório a 90°C/96h. Sendo que para as amostras testemunha o empenamento foi alto e nos tratamentos pilotos os empenamentos foram de médio a leve.

O teor de umidade inicial e nos condicionamentos úmido e seco é apresentado na Figura 59.

Figura 59 – Teor de umidade das amostras após os condicionamentos, onde Ui: Umidade Inicial; U úmido: teor de umidade no condicionamento úmido; U seco: teor de umidade no condicionamento seco; E: Seca em estufa, Pi : Tratamentos Piloto – 90°C/24h – Indústria, PL1: Tratamentos Piloto – 90°C/24h – Laboratório, PL2: Tratamentos Piloto – 90°C/96h – Laboratório; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 0,05; análises de variância podem ser consultadas no Anexo I

Na Figura 60 são apresentados os valores da variação percentual de um condicionamento para o outro, ou seja, o ganho percentual de umidade no condicionamento úmido e ganho percentual no condicionamento seco.

Figura 60 – Variação percentual do teor de umidade; E: Seca em estufa, Pi : Tratamentos Piloto – 90°C/24h – Indústria, L1: Tratamentos Piloto – 90°C/24h – Laboratório, L2: Tratamentos Piloto – 90°C/96h – Laboratório; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 0,05; análises de variância podem ser consultadas no Anexo I

De acordo com os dados obtidos, as madeiras que passaram pelo tratamento piloto adsorveram menos umidade que a testemunha. Já na dessorção de umidade, essa diferença torna-se mais suave, no entanto, ainda sim, é possível observar os benefícios promovidos pelos tratamentos nas trocas higroscópicas.

Nas Figuras 61 e 62 são apresentados os valores de variação dimensional no sentido tangencial e radial de acordo com cada condicionamento.

Como o esperado, a variação dimensional apresentou a mesma tendência de comportamento observada na variação de umidade. E, apesar dos valores não apresentarem diferenças estatísticas (sentindo tangencial), pelo gráfico é possível observar que, há sim, uma diferença entre tratamentos estabilizadores e testemunha. Vale ressaltar que foi realizado um condicionamento drástico, ou seja, condicionamentos simulando dois extremos de ambiente, úmido e seco, onde teve duração média de 26 e 22 dias, respectivamente.

Em termos práticos, caso ocorra alguma variação climática muito brusca ou a madeira seja estocada inadequadamente, as amostras submetidas ao tratamento estabilizador diminuiriam seus índices de sorção e, conseqüentemente sua variação dimensional seria reduzida, o que contribuiria para diminuição de peças fora do padrão ou processos de retrabalho.

Figura 61 – Variação dimensional no sentido tangencial; E: Seca em estufa, Pi : Tratamentos Piloto – 90°C/24h – Indústria, PL1: Tratamentos Piloto – 90°C/24h – Laboratório, PL2: Tratamentos Piloto – 90°C/96h – Laboratório; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 0,05; análises de variância podem ser consultadas no Anexo I

Figura 62 – Variação dimensional no sentido radial; E: Seca em estufa, Pi : Tratamentos Piloto – 90°C/24h – Indústria, PL1: Tratamentos Piloto – 90°C/24h – Laboratório, PL2: Tratamentos Piloto – 90°C/96h – Laboratório; Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 0,05; análises de variância podem ser consultadas no Anexo I

Como resultado geral, a resposta do tratamento piloto foi positiva, tendo em vista que foi possível observar uma redução do potencial higroscópico da madeira e da variação dimensional. Em relação ao tempo de tratamento, para esta faixa de temperatura adotada o resultado de 24h e 96h foi praticamente o mesmo, sendo assim um período de tratamento de 24h já seria o suficiente e benéfico, tanto em termos econômicos quanto na questão do tempo.

No entanto, neste momento, algumas ressalvas são necessárias em relação a aplicação do tratamento estabilizador em uma estufa convencional, como o cuidado com a boa vedação da estrutura, bom funcionamento do controle do sistema de aquecimento e umidificação e ventilação uniforme.

Para a madeira submetida aos tratamentos piloto, tanto a higroscopicidade como a variação dimensional do material tratado foram inferiores ao da testemunha (madeira seca em estufa), comportamento diferente do material tratado em autoclave, situação em que as amostras do material tratado apresentaram comportamento similar ao da testemunha.

Considerando que os tratamentos estabilizadores no ensaio piloto foram conduzidos em clima com menor umidade relativa, tem-se uma comprovação da hipótese apresentada anteriormente; destacando a importância da umidade relativa do ar nos tratamentos estabilizadores.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e na respectiva análise, respeitando-se as condições experimentais da presente pesquisa, é possível relacionar as seguintes conclusões:

- A descrição anatômica foi utilizada como ferramenta de identificação e caracterização das espécies estudadas;
- Os tratamentos estabilizadores, na forma em que foram aplicados na presente pesquisa, não causaram alterações na composição química na madeira das espécies sob estudo;
- Os tratamentos estabilizadores, quando realizados em ambiente com alta umidade relativa, não apresentam redução significativa da higroscopicidade e da variação dimensional na maioria dos condicionamentos;
- As amostras submetidas ao tratamento estabilizador não apresentam o efeito da histerese quando é mensurada a variação dimensional durante o ciclo de sorção;
- Para viabilidade prática do tratamento piloto, a estufa deve possuir boa vedação da estrutura, bom funcionamento do controle do sistema de aquecimento e umidificação e ventilação uniforme;
- O tratamento estabilizador realizado na indústria e em laboratório foi eficiente, reduzindo tanto a higroscopicidade como a movimentação dimensional da madeira tratada.

Considerando-se a importância da redução da variação dimensional da madeira, principalmente quando essa matéria-prima é destinada à manufatura de produtos com alto valor agregado, recomenda-se como possíveis iniciativas em continuidade a presente pesquisa:

- Quantificar o efeito do tratamento estabilizador em madeira de outras espécies, principalmente as folhosas tropicais destinadas a produtos de maior valor agregado;

- Aperfeiçoar a aplicação do tratamento estabilizador em secadores industriais, visando incorporar a fase de estabilização nos tradicionais programas de secagem.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G.; BRITO, J.O.; PERRÉ, P. Changes in wood-water relationship due to heat treatment assessed on micro-samples of three *Eucalyptus* species. **Holzforschung**, Berlin, v. 63, n. 1, p. 80-88, 2009.

ALMEIDA, G.; HUBER, F.; PERRÉ, P. Free shrinkage of wood determined at the cellular level using an environmental scanning electron microscope. **Maderas: Ciencia y tecnología**, Concepcion, v. 16, n. 2, p. 187-198, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4933-99**: Standard guide for moisture conditioning of wood and wood-based materials. West Conshohocken, 2010. 8p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E104-02**: Standard practice for maintaining constant relative humidity by means of aqueous solutions. West Conshohocken, 2012. 5p.

ANDRADE, A.; JANKOWSKY, I.; DUCATTI, M. *Grupamento de madeiras para secagem convencional*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 59, p. 89-99, 2001. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15799**: Pisos de madeira com e sem acabamento - Padronização e Classificação. Rio de Janeiro, 2010. 6p.

BAL, B. C.; BEKTAS, I. The effects of heat treatment on the physical properties of juvenile wood and mature wood of *eucalyptus grandis*. **Bioresources**, North Carolina, v. 7, n. 4, p. 5117-5127, 2012.

BRITO, J.O.; GARCIA, J.N.; BORTOLETTO, G.; PESSOA, A.M. C.; SILVA, P.H.M. Densidade Básica e Retratibilidade da Madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 182-188, abr./jun. 2006.

BRITO, J. O.; SILVA, F.G.; LEÃO, M.M.; ALMEIDA, G. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 18, p. 8545-8548, Dec 2008.

BAKAR, B.F.A.; HIZIROGLU, S.; TAHIR, P.M. Properties of some thermally modified wood species. **Materials & Design**, Surrey, v. 43, p. 348-355, 2013.

BARRICHELLO, L.E.G. Densidade básica: subsídios para determinação (1ª parte). **Informações SQCE**, Piracicaba, n.3, p1-6, 1983.

BATISTA, D.C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em esala industrial pelo processo brasileiro Vap HolzSysteme®**. 2012. 339p. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BIZIKS, V.; ANDERSONS, B.; BELKOVA, KAPAKA, E.; MILITZ, H. Changes in the microstructure of birch wood after hydrothermal treatment. **Wood Science and Technology**, New York, v. 47, n. 4, p. 717-735, 2013.

BORGES, L.M.; QUIRINO, W.F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Biomassa & Energia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

BOWYER, J.L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J.G. **Forest products and wood science: an introduction**. Iowa: Blackwell Publishing, 2007. 554p

BRITO, O.B.; GARCIA, J.N.; BORTOLLETO JUNIOR, G.; PESSOA, A.M.C.; SILVA, P.H.M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus Grandis* submetida a diferentes temperaturas de termorreificação. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 182-188, 2006.

BROWNING, B.L. **Methods of Wood chemistry**. v.1. Wisconsin: Interscience publishers, 1967. 384p.

BYRNE, C.E.; NAGLE, D.C. Carbonization of wood for advanced materials applications. **Carbon**, Elmsford, v.35, n.2, p. 259-266, 1997.

CECH, M.Y.; PFAFF, F. **Kiln operator's manual**: Eastern Canada. Ontario: Eastern Forest Products Laboratory, 1977. 189p.

COMISSÃO PAN-AMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **Descrição macroscópica, microscópica e geral da madeira**. São Paulo, 1974, v.30, 19p.

CORADIN, V.T.R.; MUÑIZ, G.I.B. de. Normas e procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiospermae. II. Gimnospermae. **Laboratório de Produtos Florestais**. Série Técnica, Brasília, v. 15, p. 1-19, 1992.

DE MOURA, L.F. **Utilização de Microscopia Eletrônica de Varredura para Análise de Produtos Florestais**. 1999. 106p. Monografia. (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

DOI, S.; AOYAMA, M.; YAMAUCHI, S.; KURIMOTO, Y. Changes of decay and termite durabilities of Japanese larch (*Larix leptolepis*) wood due to high-temperature kiln drying processes. **Journal of Wood Science**, London, v. 51, n. 5, p. 526-530, 2005.

EASTY, D.B.; THOMPSON, N.S. **Wood analysis**. In: LEWIN, M.; GOLDSTEIN, I.S. Wood structure and composition. New York: Marcel Dekker, 1991. 488p.

ESTEVEES, B.M.; PEREIRA, H.M. Wood modification by heat treatment: a review. **Bioresources**, Carolina do Norte, n. 4, p. 370-404, 2009.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood, chemistry, ultrastructure, reactions**. New York: Waster & Grugter, 1984. 613p.

GALINA, I.C.M. **Variação da resistência elétrica em madeiras visando o grupamento de espécies**. 1997. 97p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da madeira) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem Racional da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p

GARCIA, F.M.; MANFIO, D.R.; SANSIGOLO, C.A.; MAGALHAES, P.A.D. Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora. **Floresta e Ambiente**, Seropédica. v.19, n.4, p. 468-474, 2012,

GUNDUZ, G.; KORKUT, S.; KORKUT, D.S. The effects of heat treatment on physical and technological properties and surface roughness of Camiyani Black Pine (*Pinus nigra* Arn. subsp *pallasiana* var. *pallasiana*) wood. **Bioresource Technology**, North Carolina, v. 99, n. 7, p. 2275-2280, 2008.

HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. **Forest Products and Wood science**. 2nd ed. Iowa: Iowa State University, 1989. 500p.

HILDEBRAND, R. **Kiln drying of saw timber**. Plochingen: Richard Schorndorfer, 1970. 199p.

IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, n.3, p.221-332, 1989.

IBACH, R.E. **Specialty Treatments**. In: Forest Products Laboratory. Wood handbook – Wood as an engineering material. Wisconsin: USDA, 2010. 509p.

IMMERGUT, E.H. Cellulose. In: BROWNING, B.L. (Ed.). **The Chemistry of Wood**. New Yoork: Interscience Publishers, 1975. p. 103-190.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília: IBAMA-LPF, 1997. 152 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de identificação das principais madeiras comerciais brasileiras**. São Paulo, 1983. 241 p.

_____. **Informações sobre madeira**. Disponível em: http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira/busca. Acesso em: 24 jul. 2013.

ISHIKAWA, OHIRA, T.; KOBAYASHI, I.; MIYAMOTO, K.; TOHMURA, S. INOUE, A. Effect of drying methods on volatile organic compound emission from sugi wood. **Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute**, Tsukuba, v. 8, n. 4, p. 215-222, 2009.

JANKOWSKY, I.P. (COORD.) **Madeiras Brasileiras**. Caxias do Sul: Spectrum, 1990. v. 1. 172p.

JANKOWSKY, I.P. Melhorando a eficiência dos secadores para Madeira serrada. **Circular Técnica – IPEF**, Piracicaba, 191, 2000. 14p

JANKOWSKY, I.P.; GALINA, I.C.M. Improving accuracy of resistance type moisture meter to improve drying control. In: INTERNATIONAL IUFRO WOOD DRYING CONFERENCE, 5., 1996, Quebec. **Anais...** Quebec: IUFRO, 1996, p. 545-550.

JANKOWSKY, I.P.; LUIZ, M.G. Review of wood drying research in Brazil: 1984-2004. **Drying Technology**, New York, n. 24, p. 447-445, 2006.

JUODEIKIENE, I. Influence of Thermal Treatment on the Hygroscopicity and Dimensional Stability of Oak Wood. **Materials Science-Medziagotyra**, Lithuania, v. 19, n. 1, p. 51-55, 2013.

KASEMSIRI, P.; HIZIROGLU, S.; RIMDUSIT, S. Characterization of heat treated eastern redcedar (*Juniperus virginiana* L.). **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 212, n. 6, p. 1324-1330, 2012.

KEEY, R.B.; LANGRISH, T.A.; WALKER, J.C.F. **Kiln-drying of wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1999. 326p.

KESIK, H.I.; KORKUT, S.; HIZIROGLU, S.; SEVIK, H. An evaluation of properties of four heat treated wood species. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 60, p. 60-65, 2014.

KOLMANN, F.F.P. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. 2 ed. Madrid: Gráficas Reunidas, 1959. 592p.

KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ, W.A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, v. 1, 1968. 592p.

KORKUT, S.; AKGUL, M.; DUNDAR, T. The effects of heat treatment on some technological properties of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood. **Bioresource Technology**, North Carolina, v. 99, n. 6, p. 1861-1868, 2008.

KORKUT, S.; HIZIROGLU, S. Effect of heat treatment on mechanical properties of hazelnut wood (*Corylus colurna* L.). **Materials & Design**, Surrey, v. 30, n. 5, p. 1853-1858, 2009.

LABORATÓRIOS DE PRODUTOS FLORESTAIS – LPF. **Banco de dados de madeiras brasileiras**. Disponível em:

<http://sistemas.florestal.gov.br/madeirasdobrasil/default.htm>. Acesso em: 17.abr.2014.

LEPAGE E.S. Química da madeira. In: LEPAGE E.S (Coord.). **Manual de preservação de madeiras**. v.1. SãoPaulo: IPT, 1986. p. 69-97.

LOBO, L.T. CASTRO, K.C.F.; ARRUDA, M.S.P.; SILVA, M.N.; ARRUDA, A.C.; MULLER, A.H.; ARRUDA, G.M.S.P.; SANTOS, A.S. Potencial alelopático de catequinas de *Tachigali myrmecophyla* (leguminosae). **Química Nova**, São Paulo, v.31, n.3, p. 493-497, 2008.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. Fichas de características das madeiras brasileiras. 2.ed. São Paulo: IPT, 1989.

MATSUSHITA, Y.; SUGAMOTO, K.; MIYAKUBO, K.; KUROGI, C.; MATSUI, T.; ODA, H.; FUJIMOTO, H. Chemical changes in terpenes of sugi (*Cryptomeria japonica*) wood during steam drying in kiln at high temperature. **Journal of Wood Science**, Madison, v. 54, n. 6, p. 476-482, 2008.

MCGINNIS, G.D.; SHAFIZADEH, F. Cellulose. In: In: LEWIN, M.; GOLDSTEIN, I.S. **Wood structure and composition**. New York: Marcel Dekker, 1991. p.139 -181.

McMILLEN, J.M.; WENGERT, E.M. **Drying eastern hardwood lumber**. Madison: Forest Products Laboratory, 1978. 104p.

MIRANDA, D.L.C.; AZEVEDO, F.F.; SANTOS, J.P. Determinação do volume de toras da espécie *Mezilaurus itauba* (Meissn.) Taub. **Scientia Plena**. s.l., v.9, n.8, p. 1-7, 2013.

MEDEIROS, A.C.S. **Preparo e uso de soluções salinas saturadas para a caracterização fisiológica de sementes florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 6p.

MOORE, W.E.; JOHNSON, D. B. **Procedures for the chemical Analysis of wood and wood products**. Madison: Forest Products Laboratory, 1967. 258p.

MOTTONEN, V.; KARKI, T. Color changes of birch wood during high-temperature drying. **Drying Technology**, New York, v. 26, n. 9, p. 1125-1128, 2008.

NABHANI, M.; LAGHDIR, A.; FORTIN, Y. Simulation of High-Temperature Drying of Wood. **Drying Technology**, New York, v. 28, n. 10, p. 1142-1147, 2010.

NORMA INTERNACIONAL PARA MEDIDAS FITOSSANITÁRIAS nº 15. **NIMF Nº 15/2009**. Regulamentação de Material de Embalagem de Madeira no Comércio Internacional - da Convenção Internacional para a Proteção dos Vegetais da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (CIPV/FAO). Brasília, 2009. 15p.

OBATAYA, E.; SHIBUTANI, S.; HANATA, K.; DOI, S. Effects of high temperature kiln drying on the practical performances of Japanese cedar wood (*Cryptomeria japonica*) I: changes in hygroscopicity due to heating. **Journal of Wood Science**, Madison, v. 52, n. 1, p. 33-38, 2006a.

_____. Effects of high temperature kiln drying on the practical performances of Japanese cedar wood (*Cryptomeria japonica*) II: changes in mechanical properties due to heating. **Journal of Wood Science**, Madison, v. 52, n. 2, p. 111-114, 2006b.

OLIVEIRA, R.; BRISOLARI, A.; SALES, A.; GONCALVES, D. Wettability, Shrinkage and Color Changes of *Araucaria angustifolia* After Heating Treatment. **Material Research Bulletin**. New York, v.13, n.3, p. 351-354, 2010.

OLIVEIRA, A.M.F. ;LELIS, A.T.; LEPAGE, E.S.; LOPEZ, G.A.C.; OLIVEIRA, C.S.; CAÑEDO, M.D.; MILANO, S. Agentes destruidores da madeira. In:_____. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1989. p. 99-56.

PACKMAN, D.F. The acidity of Wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 14, n. 178, p. 178-183, 1960.

PERES FILHO, O.; DUDA, M.J.; MOURA, R.G. Efeito de extratos de madeiras de quatro espécies florestais em cupins *Nasutitermes* sp. (Isoptera, Termitidae) **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 71, p. 51-54, 2006.

PERRÉ, P. Meshpore: A software able to apply image-based meshing techniques to anisotropic and heterogeneous porous media. **Drying Technology**, New York, v. 23, n. 9-11, p. 1993-2006, 2005.

PERRÉ, P. Experimental device for the accurate determination of wood-water relations on micro-samples. **Holzforschung**, Berlin, v. 61, n. 4, p. 419-429, 2007.

PERRÉ, P.; HOUNGAN, A. C.; JACQUIN, P. Mass diffusivity of beech determined in unsteady-state using a magnetic suspension balance. **Drying Technology**, New York, v. 25, n. 7/8, p. 1341-1347, 2007.

PERRÉ, P.; HUBER, F. Measurement of free shrinkage at the tissue level using an optical microscope with an immersion objective: results obtained for Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) and spruce (*Picea abies*). **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 64, n. 3, p. 255-265, 2007.

PINCELLI, A.L.P.S.M.; BRITO, J.O.; CORRENTE, J.E. Avaliação da termorreificação sobre a colagem na madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 61, p. 122-132, 2002.

PONCE, R.H. ; WATAI, L.T. **Manual de secagem da madeira**. São Paulo, IPT/STI, 1985. 72p.

PROJETO PISO DE MADEIRA SUSTENTÁVEL. **PIMADS**. Pisos de Madeira Sustentável: características de espécies brasileiras. Disponível em: <http://www.pimads.org/pt-br/> . Acesso 02.nov.2015.

PRIADI, T.; HIZIROGLU, S. Characterization of heat treated wood species. **Materials & Design**, Surrey, v. 49, p. 575-582, 2013.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.F. **Biologia Vegetal**. Sexta edição. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan ; 2001. 906p.

ROWELL, R.M. **Moisture Properties**. In: ROWELL, R.M. (Ed.). 2005. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. Boca Raton: Taylor and Francis, 2005. 487p.

SALCA, E.-A.; HIZIROGLU, S. Evaluation of hardness and surface quality of different wood species as function of heat treatment. **Materials & Design**, Surrey, v. 62, p. 416-423, 2014.

SEGUNDINHO, P.G.A.; ZANGIACOMO, A.L.; CARREIRA, M.R.; DIAS, A.A.; ROCCO, F.A. Avaliação de vigas de madeira laminada colada de cedrinho (*Erismia uncinatum* Warm.). **CERNE**, Lavras, v.19, n.3, p. 441-449, 2013.

SEVERO, E. T. D.; CALONEGO, F. W.; SANSIGOLO, C. A. Physical and chemical changes in juvenile and mature woods of *Pinus elliottii* var. *elliottii* by thermal modification. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n. 5, p. 741-747, Sep 2012.

SIAU, J.F. **Transport processes in wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 245p.

SJOSTROM, E. **Wood chemistry - Fundamentals and applications**. New York: Academic press, 1981. 223p.

SJOSTROM, E.; WESTERMARK, U. Chemical of Wood and pulps: basic constituents and their distribution. In: SJOSTROM, E.; ALÉN, R. **Analytical methods in wood chemistry, pulping and papermaking**. Berlin: Springer-Verlag, 1999. p.1-19.

SKAAR, C. **Wood-Water Relations**. Berlin: Springer-Verlag, 1988. 263p

SUCHSLAND, O. **The swelling and shrinkage of Wood – A practical technology primer**. Madison: Forest Products Society. 2004. 189p.

TAKESHITA, S. **Redução na higroscopicidade e na movimentação dimensional da madeira de folhosas submetidas a tratamentos térmicos**. 2011. 107p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 204 cm-97**:Solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, 1997. 4p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 222 om-02**: Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Atlanta, 2002. 5p.

TEIXEIRA, D.E.; SANTANA, M.A.E.; SOUZA, M.R. **Amazonian timbers for the international market**. Brasília: IBDF/ITTO, 1988. 94p.

THOMAS, R.J. Overview of the chemical composition of Wood. In: LEWIN, M.; GOLDSTEIN, I.S. (Ed.). **Wood Structure and Composition**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 7-47.

TODARO, L.; DICHICCO, P.; MORETTI, N.; D'AURIA, M. Effect of Combined Steam and Heat Treatments on Extractives and Lignin in Sapwood and Heartwood of Turkey Oak (*Quercus cerris* L.) Wood. **Bioresources**, North Carolina, v. 8, n. 2, p. 1718-1730, 2013.

TOMASELLI, I. Secagem a alta temperatura e sua aplicação nas condições brasileiras. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 50-57, 1976.

WINSTON, P.W.; BATES, D.H. Saturated solutions for the control of humidity in biological-research. **Ecology**, Tempe, v. 41, n. 1, p. 232-237, 1960.

ZERBINI, N.J. **Madeiras tropicais com potencial comercial da região do rio Xingu (Pará - Brasil)**: Propriedades tecnológicas e cadeia produtiva. 2008. 187p. (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

ANEXOS

Anexo A – Determinação do teor de extrativos totais e lignina

Extrativos totais

1. Pesar o equivalente a 1g absolutamente seco (a.s.) de serragem e transferir para saquinho de papel filtro;
2. Colocar a amostra no corpo do extrator;
3. Fazer a extração com álcool:tolueno (1:2) e álcool 96° GL, durante 8 horas em cada solvente, deixando secar ao ar após cada extração;
4. Ligar o banho-maria e mantê-lo em ebulição;
5. Transferir toda a serragem do saquinho para erlenmeyer de 250 mL;
6. Adicionar 100 mL de água destilada e colocar o erlenmeyer no banho-maria (que já deverá estar fervendo) e cobri-lo;
7. Agitar suavemente a cada 15 minutos;
8. Após três horas filtrar através de cadinho de vidro sinterizado tarado, transferindo toda a serragem do erlenmeyer para o cadinho;
9. Lavar o cadinho com 250 mL de água quente;
10. Levar o cadinho à estufa a 103 ± 2 °C até peso constante;
11. Pesar o cadinho seco;
12. Calcular o teor de “Extrativos Totais” através da fórmula:

$$\text{E.T. (\%)} = (1 - \text{massa a.s. serragem}) \times 100$$

Onde:

Massa a.s. serragem: massa de serragem seca já descontando a tara do cadinho, em g.

Lignina

13. Pesar 300 mg da serragem livre de extrativos seca e transferir para erlenmeyer de 250 mL;
14. Adicionar 3 mL de H₂SO₄ 72 % resfriado a 10 – 12 °C;
15. Manter em banho-maria a 30 ± 2 °C durante 1 hora, misturando frequentemente com auxílio de bastonete;
16. Retirar do banho-maria e adicionar 84 mL de água destilada quente, transformando o H₂SO₄ 72 % em H₂SO₄ 3 %;
17. Colocar o erlenmeyer em autoclave, devidamente vedado com papel alumínio, a 118 °C (27 psi) durante 60 minutos;

18. Filtrar através de cadinho sinterizado tarado, fazendo um fundo com papel de filtro, e transferir toda a lignina do erlenmeyer para o cadinho;
19. Lavar com 700 mL de água quente;
20. Levar o cadinho à estufa a 103 ± 2 °C até peso constante;
21. Pesar o cadinho seco;
22. Calcular o teor de lignina residual (L.R.) através da fórmula:

$$L.R. (\%) = \left[\frac{\text{Massa a.s. final}}{\frac{0,3}{1 - \frac{E.T.}{100}}} \right] \times 100$$

Onde:

Massa a.s. final: massa da lignina seca já descontando a tara do cadinho, em g.

23. Transferir o filtrado obtido nos itens 18 e 19 para balão volumétrico de 1000 mL, completando o volume com água destilada;
24. Preparar prova em branco, diluindo 3 mL de ácido sulfúrico 72 % para 1000 mL;
25. Utilizando cubeta de quartzo e a prova em branco, ajustar o espectrofotômetro em 0 de absorbância no comprimento de onda 215 nm e 280 nm;
26. Prosseguir com a leitura dos filtrados
27. Calcular os teores de lignina solúvel (L.S.) e lignina total (L.T.) através das fórmulas:

$$L.S. (\%) = \left[\frac{4,53 \times L_{215} - L_{280}}{300 \times \left(\frac{0,3}{1 - \frac{E.T.}{100}} \right)} \right] \times 100$$

$$L.T. = L.R. (\%) + L.S. (\%)$$

Anexo B – Densidade Básica (Análise de variância)

Tabela 30 – Análise de variância para o fator Densidade básica do Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0,00404	0,00081	1,0016 ns
Resíduo	7	0,00565	0,00081	
Total	12	0,00969		

ns não significativo

Tabela 31 – Análise de variância para o fator Densidade básica do Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0,02833	0,00567	1,6697 ns
Resíduo	7	0,02375	0,00339	
Total	12	0,05208		

ns não significativo

Tabela 32 – Análise de variância para o fator Densidade básica da Itaúba amarela

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0,00374	0,00075	1,4120 ns
Resíduo	7	0,00370	0,00053	
Total	12	0,00744		

ns não significativo

Anexo C – Composição Química (Análise de variância)

Cedrinho

Tabela 33 - Análise de variância para o fator % de Extrativos

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	86,35677	21,58919	37,2961**
Resíduo	10	5,78860	0,57886	
Total	14	92,14537		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 34 - Análise de variância para o fator % de Lignina Total

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	4,68721	1,17180	1,0471 ns
Resíduo	10	11,19097	1,11910	
Total	14	15,87818		

ns não significativo

Tabela 35 - Análise de variância para o fator % de Holocelulose

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	105,47983	26,36996	37,3115 **
Resíduo	10	7,06751	0,70675	
Total	14	112,54734		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 36 - Análise de variância para o fator % de Ácido acético

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	7,33925	1,83481	1,8551 ns
Resíduo	10	9,89066	0,98907	
Total	14	17,22992		

ns não significativo

Tabela 37 - Análise de variância para o fator % de Arabinose

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,23709	0,05927	10,3806 **
Resíduo	10	0,05710	0,00571	
Total	14	0,29419		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 38 - Análise de variância para o fator % de Ác. fórmico

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	21,97573	5,49393	0,6656 ns
Resíduo	10	82,53746	8,25375	
Total	14	104,51319		

ns não significativo

Tabela 39 - Análise de variância para o fator % de Ác. levulínico

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,11034	0,02759	3,7373 *
Resíduo	10	0,07381	0,00738	
Total	14	0,18415		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 40 - Análise de variância para o fator % de Xilose

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	24,36330	6,09082	0,9491 ns
Resíduo	10	64,17594	6,41759	
Total	14	88,53924		

ns não significativo

Tachi preto

Tabela 41 - Análise de variância para o fator % de Extrativos

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	2,61637	0,65409	1,0945 ns
Resíduo	10	5,97607	0,59761	
Total	14	8,59244		

ns não significativo

Tabela 42 - Análise de variância para o fator % de Lignina Total

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	3,80947	0,95237	1,9019 ns
Resíduo	10	5,00740	0,50074	
Total	14	8,81687		

ns não significativo

Tabela 43 - Análise de variância para o fator % de Holocelulose

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	3,48179	0,87045	0,9871 ns
Resíduo	10	8,81793	0,88179	
Total	14	12,29972		

ns não significativo

Tabela 44 - Análise de variância para o fator % de ác. acético

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	1,53331	0,38333	2,5080 ns
Resíduo	10	1,52841	0,15284	
Total	14	3,06172		

ns não significativo

Tabela 45 - Análise de variância para o fator % de arabinose

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,29680	0,07420	0,5774 ns
Resíduo	10	1,28501	0,12850	
Total	14	1,58181		

ns não significativo

Tabela 46 - Análise de variância para o fator % de ác. fórmico

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,31278	0,07819	0,7596 ns
Resíduo	10	1,02938	0,10294	
Total	14	1,34216		

ns não significativo

Tabela 47 - Análise de variância para o fator % de glicose

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	3,77605	0,94401	0,3625 ns
Resíduo	10	26,03899	2,60390	
Total	14	29,81503		

ns não significativo

Tabela 48 - Análise de variância para o fator % ác. levulínico

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	1,29988	0,32497	0,5867 ns
Resíduo	10	5,53856	0,55386	
Total	14	6,83844		

ns não significativo

Tabela 49 - Análise de variância para o fator % xXlose

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	6,07959	1,51990	0,8450 ns
Resíduo	10	17,98802	1,79880	
Total	14	24,06762		

ns não significativo

Itaúba amarela

Tabela 50 - Análise de variância para o fator % de Extrativos

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	3,57916	0,89479	1,3557 ns
Resíduo	10	6,60040	0,66004	
Total	14	10,17956		

ns não significativo

Tabela 51 - Análise de variância para o fator % de Lignina Total

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	4,09450	1,02362	4,7968 *
Resíduo	10	2,13399	0,21340	
Total	14	6,22849		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 52 - Análise de variância para o fator % de Holocelulose

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	4,55869	1,13967	2,3462 ns
Resíduo	10	4,85742	0,48574	
Total	14	9,41611		

ns não significativo

Tabela 53 - Análise de variância para o fator % de ác. acético

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,22587	0,05647	0,5987 ns
Resíduo	10	0,94312	0,09431	
Total	14	1,16899		

ns não significativo

Tabela 54 - Análise de variância para o fator % de arabinose

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,08199	0,02050	5,2022 *
Resíduo	10	0,03940	0,00394	
Total	14	0,12139		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 55 - Análise de variância para o fator % de ác. fórmico

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,58850	0,14713	8,2111 **
Resíduo	10	0,17918	0,01792	
Total	14	0,76768		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 56 - Análise de variância para o fator % de glicose

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	2,76373	0,69093	0,9319 ns
Resíduo	10	7,41445	0,74145	
Total	14	10,17818		

ns não significativo

Tabela 57 - Análise de variância para o fator % de ác. levulínico

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,23199	0,05800	2,0266 ns
Resíduo	10	0,28618	0,02862	
Total	14	0,51817		

ns não significativo

Tabela 58 - Análise de variância para o fator % de xilose

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,59321	0,14830	0,1329 ns
Resíduo	10	11,15841	1,11584	
Total	14	11,75161		

ns não significativo

Anexo D - Teor de Umidade (Análise de variância)

CEDRINHO

Tabela 59 – Análise de variância para o fator Umidade Inicial - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	84,31398	21,07849	21,3155 **
Resíduo	10	9,88883	0,98888	
Total	14	94,20280	CV% = 7,41	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ;

Tabela 60 – Análise de variância para o fator Umidade C1 - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,56902	0,14225	1,8064 ns
Resíduo	10	0,78752	0,07875	
Total	14	1,35654	CV% = 3,44	

ns não significativo

Tabela 61 – Análise de variância para o fator Umidade C2 - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	2,61991	0,65498	14,6302 **
Resíduo	10	0,44769	0,04477	
Total	14	3,06760	CV% = 1,98	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 62 – Análise de variância para o fator Umidade C3 - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	10,75354	2,68838	2,7978 ns
Resíduo	10	9,60883	0,96088	
Total	14	20,36236	CV% = 4,33	

ns não significativo

Tabela 63 – Análise de variância para o fator Umidade C4 - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	7,64106	1,91027	33,2418 **
Resíduo	10	0,57466	0,05747	
Total	14	8,21572	CV% = 2,03	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 64 – Análise de variância para o fator Umidade C5 - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	2,18337	0,54584	23,0302 **
Resíduo	10	0,23701	0,02370	
Total	14	2,42038	CV% = 1,87	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tachi

Tabela 65 – Análise de variância para o fator Umidade Inicial - Tachi

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	60,42751	15,10688	26,5934 **
Resíduo	10	5,68068	0,56807	
Total	14	66,10819	CV% = 5,87	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 66 – Análise de variância para o fator Umidade C1 - Tachi

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,50474	0,12619	1,5816 ns
Resíduo	10	0,79785	0,07978	
Total	14	1,30259	CV% = 3,56	

ns não significativo

Tabela 67 – Análise de variância para o fator Umidade C2 - Tachi

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	1,19802	0,29951	3,7011 *
Resíduo	10	0,80923	0,08092	
Total	14	2,00725	CV% = 2,74	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 68 – Análise de variância para o fator Umidade C3 - Tachi

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	11,73007	2,93252	10,4662 **
Resíduo	10	2,80188	0,28019	
Total	14	14,53195	CV% = 2,75	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 69 – Análise de variância para o fator Umidade C4 - Tachi

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	1,65262	0,41316	7,5454 **
Resíduo	10	0,54756	0,05476	
Total	14	2,20018	CV% = 1,99	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

Tabela 70 – Análise de variância para o fator Umidade C5 -Tachi

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,59133	0,14783	3,5381 *
Resíduo	10	0,41784	0,04178	
Total	14	1,00917	CV% = 2,30	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade;

Itaúba

Tabela 71 – Análise de variância para o fator Umidade Inicial - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	22,86793	5,71698	35,2799 **
Resíduo	10	1,62046	0,16205	
Total	14	24,48839	CV% = 3,48	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 72 – Análise de variância para o fator Umidade C1 - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	1,04442	0,26111	6,9751 **
Resíduo	10	0,37434	0,03743	
Total	14	1,41877	CV% = 2,43	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

Tabela 73 – Análise de variância para o fator Umidade C2 - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,68647	0,17162	4,1848 *
Resíduo	10	0,41010	0,04101	
Total	14	1,09657	CV% = 2,08	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 74 – Análise de variância para o fator Umidade C3 - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	18,25673	4,56418	24,9578 **
Resíduo	10	1,82876	0,18288	
Total	14	20,08549	CV% = 2,74	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 75 – Análise de variância para o fator Umidade C4 - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	2,23976	0,55994	16,2419 **
Resíduo	10	0,34475	0,03447	
Total	14	2,58451	CV% = 1,72	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 76 – Análise de variância para o fator Umidade C5 - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,61391	0,15348	11,1622 **
Resíduo	10	0,13750	0,01375	
Total	14	0,75140	CV% = 1,46	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ; ns não significativo

Anexo E - Variação de umidade (Análise de variância)

CEDRINHO

Tabela 77 – Análise de variância para Variação de umidade em C1 – Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	79,83423	19,95856	24,7192 **
Resíduo	10	8,07411	0,80741	
Total	14	87,90835		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 78 – Análise de variância para Variação de umidade em C2 – Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,98189	0,24547	5,6520 *
Resíduo	10	0,43431	0,04343	
Total	14	1,41620		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 79 – Análise de variância para Variação de umidade em C3 – Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	21,13815	5,28454	5,6564 *
Resíduo	10	9,34257	0,93426	
Total	14	30,48072		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 80 – Análise de variância para Variação de umidade em C4 – Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	13,27928	3,31982	4,7028 *
Resíduo	10	7,05932	0,70593	
Total	14	20,33860		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 81 – Análise de variância para Variação de umidade em C5 – Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	2,51703	0,62926	17,8246 **
Resíduo	10	0,35303	0,03530	
Total	14	2,87006		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tachi preto

Tabela 82 – Análise de variância para Variação de umidade em C1 – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	47,99244	11,99811	19,7449 **
Resíduo	10	6,07657	0,60766	
Total	14	54,06902		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 83 – Análise de variância para Variação de umidade em C2 – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,49373	0,12343	3,4360 ns
Resíduo	10	0,35923	0,03592	
Total	14	0,85296		

ns não significativo

Tabela 84 – Análise de variância para Variação de umidade em C3 – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	14,66924	3,66731	16,1784 **
Resíduo	10	2,26679	0,22668	
Total	14	16,93602		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 85 – Análise de variância para Variação de umidade em C4 – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	8,12868	2,03217	8,8537 **
Resíduo	10	2,29527	0,22953	
Total	14	10,42394		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 86 – Análise de variância para Variação de umidade em C5 – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,83714	0,20929	27,3486 **
Resíduo	10	0,07652	0,00765	
Total	14	0,91367		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Itaúba amarela

Tabela 87 – Análise de variância para Variação de umidade em C1 – Itaúba amarela

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	22,70096	5,67524	53,9867 **
Resíduo	10	1,05123	0,10512	
Total	14	23,75219		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

Tabela 88 – Análise de variância para Variação de umidade em C2 – Itaúba amarela

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,38107	0,09527	5,1657 *
Resíduo	10	0,18442	0,01844	
Total	14	0,56550		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 89 – Análise de variância para Variação de umidade em C3 – Itaúba amarela

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	12,03849	3,00962	22,4506 **
Resíduo	10	1,34055	0,13406	
Total	14	13,37904		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 90 – Análise de variância para Variação de umidade em C4 – Itaúba amarela

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	7,64156	1,91039	12,3137 **
Resíduo	10	1,55144	0,15514	
Total	14	9,19300		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 91 – Análise de variância para Variação de umidade em C5 – Itaúba amarela

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	1,03945	0,25986	8,6710 **
Resíduo	10	0,29969	0,02997	
Total	14	1,33914		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Anexo F - Variação Dimensional (Análise de variância)

CEDRINHO

Tabela 92 – Análise de variância para Variação dimensional em C1 (Largura) - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	11,66124	2,91531	36,1606 **
Resíduo	10	0,80621	0,08062	
Total	14	12,46746	CV% = 15,25	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 93 – Análise de variância para Variação dimensional em C2 (Largura) - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,12782	0,03196	4,0905 *
Resíduo	10	0,07812	0,00781	
Total	14	0,20595	CV% = 11,23	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 94 – Análise de variância para Variação dimensional em C3 (Largura) - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	5,00946	1,25237	5,4215 *
Resíduo	10	2,31000	0,23100	
Total	14	7,31946	CV% = 11,72	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 95 – Análise de variância para Variação dimensional em C4 (Largura) - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	2,74415	0,68604	3,2583 ns
Resíduo	10	2,10550	0,21055	
Total	14	4,84966	CV% = 12,56	

ns não significativo

Tabela 96 – Análise de variância para Variação dimensional em C5 (Largura) - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,18268	0,04567	3,7882 *
Resíduo	10	0,12056	0,01206	
Total	14	0,30323	CV% = 8,23	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 97 – Análise de variância para Variação dimensional em C1 (Espessura) - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	1,71837	0,42959	27,0403 **
Resíduo	10	0,15887	0,01589	
Total	14	1,87724	CV% = 16,08	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 98 – Análise de variância para Variação dimensional em C2 (Espessura) - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,02501	0,00625	0,5102 ns
Resíduo	10	0,12254	0,01225	
Total	14	0,14755	CV% = 25,30	

ns não significativo

Tabela 99 – Análise de variância para Variação dimensional em C3 (Espessura) - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,99859	0,24965	2,4210 ns
Resíduo	10	1,03117	0,10312	
Total	14	2,02977	CV% = 16,59	

ns não significativo

Tabela 100 – Análise de variância para Variação dimensional em C4 (Espessura) - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,69290	0,17322	4,2989 *
Resíduo	10	0,40295	0,04030	
Total	14	1,09585	CV% = 12,36	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 101 – Análise de variância para Variação dimensional em C5 (Espessura) - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,06914	0,01728	0,9786 ns
Resíduo	10	0,17661	0,01766	
Total	14	0,24575	CV% = 19,75	

ns não significativo

Tachi preto

Tabela 102 – Análise de variância para Variação dimensional em C1 (Largura) – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	8,04695	2,01174	37,5918 **
Resíduo	10	0,53515	0,05352	
Total	14	8,58210	CV% = 13,27	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 103 – Análise de variância para Variação dimensional em C2 (Largura) – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,12532	0,03133	8,5345 **
Resíduo	10	0,03671	0,00367	
Total	14	0,16202	CV% = 7,86	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 104 – Análise de variância para Variação dimensional em C3 (Largura) – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	2,12412	0,53103	6,6659 **
Resíduo	10	0,79664	0,07966	
Total	14	2,92076		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 105 – Análise de variância para Variação dimensional em C4 (Largura) – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,89706	0,22426	4,4698 *
Resíduo	10	0,50173	0,05017	
Total	14	1,39879	CV% = 8,51	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 106 – Análise de variância para Variação dimensional em C5 (Largura) – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,03185	0,00796	1,0686 ns
Resíduo	10	0,07450	0,00745	
Total	14	0,10635	CV% = 7,89	

ns não significativo

Tabela 107 – Análise de variância para Variação dimensional em C1 (Espessura) – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	1,42074	0,35519	19,1720 **
Resíduo	10	0,18526	0,01853	
Total	14	1,60601	CV% = 13,59	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 108 – Análise de variância para Variação dimensional em C2 (Espessura) – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,03335	0,00834	2,2974 ns
Resíduo	10	0,03630	0,00363	
Total	14	0,06965	CV% = 11,39	

ns não significativo

Tabela 109 – Análise de variância para Variação dimensional em C3 (Espessura) – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,41696	0,10424	1,2595 ns
Resíduo	10	0,82766	0,08277	
Total	14	1,24462	CV% = 14,91	

ns não significativo

Tabela 110 – Análise de variância para Variação dimensional em C4 (Espessura) – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,21586	0,05397	3,1344 ns
Resíduo	10	0,17218	0,01722	
Total	4	0,38804	CV% = 9,56	

ns não significativo

Tabela 111 – Análise de variância para Variação dimensional em C5 (Espessura) – Tachi preto

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,02190	0,00548	0,3986 ns
Resíduo	10	0,13737	0,01374	
Total	14	0,15928	CV% = 14,65	

ns não significativo

Itaúba amarela

Tabela 112 – Análise de variância para Variação dimensional em C1 (Largura) - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	4,72014	1,18003	40,3647 **
Resíduo	10	0,29234	0,02923	
Total	14	5,01248	CV% = 11,97	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 113 – Análise de variância para Variação dimensional em C2 (Largura) - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,02178	0,00544	1,0026 ns
Resíduo	10	0,05430	0,00543	
Total	14	0,07608	CV% = 11,32	

ns não significativo

Tabela 114 – Análise de variância para Variação dimensional em C3 (Largura) - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	3,97657	0,99414	22,2192 **
Resíduo	10	0,44742	0,04474	
Total	14	4,42399	CV% = 8,48	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 115 – Análise de variância para Variação dimensional em C4 (Largura) - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	1,68018	0,42004	10,0427 **
Resíduo	10	0,41826	0,04183	
Total	14	2,09844	CV% = 10,85	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 116 – Análise de variância para Variação dimensional em C5 (Largura) - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,11496	0,02874	1,7344 ns
Resíduo	10	0,16571	0,01657	
Total	14	0,28068	CV% = 11,78	

ns não significativo

Tabela 117 – Análise de variância para Variação dimensional em C1 (Espessura) - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,19709	0,04927	7,2577 **
Resíduo	10	0,06789	0,00679	
Total	14	0,26498	CV% = 20,58	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 118 – Análise de variância para Variação dimensional em C2 (Espessura) - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,00593	0,00148	0,3360 ns
Resíduo	10	0,04414	0,00441	
Total	14	0,05008	CV% = 25,92	

ns não significativo

Tabela 119 – Análise de variância para Variação dimensional em C3 (Espessura) - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,23726	0,05931	2,6386 ns
Resíduo	10	0,22480	0,02248	
Total	14	0,46205	CV% = 18,73	

ns não significativo

Tabela 120 – Análise de variância para Variação dimensional em C4 (Espessura) - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,09238	0,02309	2,0032 ns
Resíduo	10	0,11529	0,01153	
Total	14	0,20766	CV% = 16,60	

ns não significativo

Tabela 121 – Análise de variância para Variação dimensional em C5 (Espessura) - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	0,05730	0,01433	1,1950 ns
Resíduo	10	0,11987	0,01199	
Total	14	0,17717	CV% = 31,63	

ns não significativo

Anexo G - Equações de regressão

Cedrinho

Tabela 122 – Equações de regressão para variação dimensional: Cedrinho Estufa (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0,0825x + 24,785$	0,9821	24,79	27,01	8,98	0,32
2	$y = 0,0797x + 24,742$	0,9955	24,74	26,97	9,00	0,32
3	$y = 0,0815x + 24,664$	0,9960	24,66	26,95	9,27	0,33
4	$y = 0,0868x + 24,262$	0,9952	24,26	26,69	10,02	0,36
5	$y = 0,0927x + 24,317$	0,9992	24,32	26,91	10,65	0,38
6	$y = 0,0875x + 24,269$	0,9975	24,27	26,72	10,09	0,36
7	$y = 0,0997x + 24,458$	0,9979	24,45	27,25	11,45	0,41
8	$y = 0,0884x + 24,603$	0,9989	24,6	27,08	10,08	0,36
9	$y = 0,0866x + 24,505$	0,9948	24,51	26,93	9,87	0,35
Média		0,9969	24,51	26,95	9,94	0,35

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 123 – Equações de regressão para variação dimensional: Cedrinho 90°C/24h (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0,0759x + 24,05$	0,9978	24,05	26,17	8,81	0,31
2	$y = 0,762x + 24,121$	0,9984	24,12	26,25	8,83	0,32
3	$y = 0,0744x + 24,05$	0,9977	24,05	26,13	8,65	0,31
4	$y = 0,0865x + 23,963$	0,9970	23,96	26,38	10,10	0,36
5	$y = 0,0846x + 23,822$	0,9949	23,82	26,19	9,95	0,36
6	$y = 0,0871x + 23,941$	0,9973	23,94	26,38	10,19	0,36
7	$y = 0,0744x + 23,882$	0,9964	23,88	25,96	8,71	0,31
8	$y = 0,0879x + 23,518$	0,9985	23,52	25,98	10,46	0,37
9	$y = 0,0758x + 24,104$	0,9992	24,1	26,23	8,84	0,32
Média		0,9975	23,94	26,19	9,39	0,34

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 124 – Equações de regressão para variação dimensional: Cedrinho 90°C/86h (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0,082x + 24,075$	0,9946	24,07	26,37	9,56	0,34
2	$y = 0,0748x + 23,775$	0,9942	23,77	25,87	8,83	0,32
3	$y = 0,0804x + 23,942$	0,9950	23,94	26,19	9,39	0,34
4	$y = 0,866x + 23,655$	0,9984	23,66	26,08	10,23	0,37
5	$y = 0,0878x + 23,908$	0,9899	23,91	26,37	10,29	0,37
6	$y = 0,0906x + 23,354$	0,9962	23,35	25,89	10,88	0,39
7	$y = 0,0776x + 23,989$	0,9932	23,99	26,16	9,05	0,32
8	$y = 0,079x + 24,141$	0,9941	24,141	26,1	8,11	0,29
9	$y = 0,0832x + 24,054$	0,9981	24,05	26,38	9,69	0,35
Média		0,9949	23,88	26,16	9,56	0,34

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 125 – Equações de regressão para variação dimensional: Cedrinho 120°C/2h (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0,0731x + 24,268$	0,9973	24,27	26,31	8,41	0,30
2	$y = 0,0751x + 24,605$	0,9996	24,60	26,71	8,58	0,31
3	$y = 0,0766x + 24,411$	0,9986	24,41	26,56	8,81	0,31
4	$y = 0,0845x + 24,125$	0,9953	24,12	26,49	9,83	0,35
5	$y = 0,0834x + 24,031$	0,9945	24,03	26,37	9,74	0,35
6	$y = 0,085x + 24,17$	0,9928	24,17	26,55	9,85	0,35
7	$y = 0,0756x + 24,44$	0,9960	24,44	26,56	8,67	0,31
8	$y = 0,0696x + 24,519$	0,9978	24,52	26,47	7,95	0,28
9	$y = 0,07x + 24,414$	0,9956	24,41	26,37	8,03	0,29
Média		0,9964	24,33	26,49	8,87	0,32

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 126 – Equações de regressão para variação dimensional: Cedrinho 120°C/8h (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0,0821x + 24,526$	0,9959	24,53	26,82	9,34	0,33
2	$y = 0,0861x + 24,416$	0,9945	24,42	26,83	9,87	0,35
3	$y = 0,0836x + 24,359$	0,9943	24,36	26,70	9,61	0,34
4	$y = 0,0881x + 24,161$	0,9956	24,16	26,63	10,22	0,37
5	$y = 0,0946x + 23,867$	0,9851	23,87	26,52	11,10	0,40
6	$y = 0,0924x + 24,002$	0,9924	24,00	26,59	10,79	0,39
7	$y = 0,0738x + 24,576$	0,9934	24,58	26,64	8,38	0,30
8	$y = 0,082x + 24,484$	0,9856	24,48	26,78	9,40	0,34
9	$y = 0,077x + 24,49$	0,9883	24,49	26,65	8,82	0,31
Média		0,9917	24,32	26,68	9,72	0,35

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 127 – Equações de regressão para variação dimensional: Cedrinho Estufa (Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0,009x + 5,2261$	0,9378	5,23	5,48	4,78	0,17
2	$y = 0,0069x + 5,1895$	0,9923	5,19	5,38	3,66	0,13
3	$y = 0,0076x + 4,9919$	0,9928	4,99	5,20	4,21	0,15
4	$y = 0,0076x + 5,5345$	0,9984	5,53	5,75	3,98	0,14
5	$y = 0,0086x + 5,5762$	0,9987	5,58	5,82	4,30	0,15
6	$y = 0,0081x + 5,6097$	0,9819	5,61	5,84	4,10	0,15
7	$y = 0,012x + 5,0255$	0,9075	5,02	5,36	6,77	0,24
8	$y = 0,0089x + 4,9679$	0,9841	4,97	5,22	5,03	0,18
9	$y = 0,008x + 5,1782$	0,9945	5,18	5,4	4,25	0,15
Média		0,9764	5,26	5,49	4,56	0,16

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Tabela 128 - Equações de regressão para variação dimensional: Cedrinho 90°C/24h (Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0,0076x + 5,2976$	0,9793	5,30	5,51	3,96	0,14
2	$y = 0,0075x + 5,0972$	0,9904	5,10	5,31	4,12	0,15
3	$y = 0,0065x + 5,1887$	0,9882	5,19	5,37	3,47	0,12
4	$y = 0,0076x + 5,4407$	0,9677	5,44	5,65	3,86	0,14
5	$y = 0,0077x + 5,4613$	0,9812	5,46	5,68	4,03	0,14
6	$y = 0,0070x + 5,3662$	0,9527	5,37	5,59	4,10	0,15
7	$y = 0,0072x + 5,2747$	0,9954	5,27	5,48	3,98	0,14
8	$y = 0,0092x + 5,0291$	0,9869	5,03	5,29	5,17	0,18
9	$y = 0,0083x + 5,1076$	0,9833	5,11	5,34	4,50	0,16
Média		0,9806	5,25	5,47	4,13	0,15

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Tabela 129 – Equações de regressão para variação dimensional: Cedrinho 90°C/96h (Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0.008x + 5.1391$	0,9867	5,14	5,36	4,28	0,15
2	$y = 0.007x + 4.9322$	0,9820	4,93	5,13	4,06	0,14
3	$y = 0.0069x + 5.0099$	0,9801	5,01	5,20	3,79	0,14
4	$y = 0.0072x + 5.4059$	0,9625	5,41	5,61	3,70	0,13
5	$y = 0.0086x + 5.3559$	0,9967	5,36	5,60	4,48	0,16
6	$y = 0.0087x + 5.3095$	0,9934	5,31	5,55	4,52	0,16
7	$y = 0.0083x + 5.2267$	0,9763	5,23	5,46	4,40	0,16
8	$y = 0.0079x + 5.1875$	0,9686	5,19	5,41	4,24	0,15
9	$y = 0.0082x + 4.8664$	0,9955	4,87	5,1	4,72	0,17
Média		0,9824	5,16	5,38	4,24	0,15

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Tabela 130 – Equações de regressão para variação dimensional: Cedrinho 120°C/2h (Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0.0066x + 4.8724$	0,9838	4,87	5,06	3,90	0,14
2	$y = 0.007x + 4.9984$	0,9943	5,00	5,19	3,80	0,14
3	$y = 0.0073x + 4.9546$	0,9947	4,95	5,16	4,24	0,15
4	$y = 0.0068x + 5.4812$	0,9871	5,48	5,67	3,47	0,12
5	$y = 0.0075x + 5.5826$	0,9696	5,58	5,79	3,76	0,13
6	$y = 0.0088x + 5.501$	0,9835	5,50	5,75	4,55	0,16
7	$y = 0.0079x + 5.0034$	0,9926	5,00	5,22	4,40	0,16
8	$y = 0.0069x + 5.165$	0,9898	5,16	5,36	3,88	0,14
9	$y = 0.0074x + 5.0805$	0,9090	5,08	5,29	4,13	0,15
Média		0,9783	5,18	5,39	4,01	0,14

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Tabela 131 – Equações de regressão para variação dimensional: Cedrinho 120°C/8h (Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0.0084x + 5.0556$	0,9707	5,06	5,29	4,55	0,16
2	$y = 0.0082x + 4.8956$	0,9938	4,90	5,12	4,49	0,16
3	$y = 0.0092x + 5.124$	0,9947	5,12	5,38	5,08	0,18
4	$y = 0.0091x + 5.5017$	0,9883	5,50	5,76	4,73	0,17
5	$y = 0.0081x + 5.502$	0,9962	5,50	5,72	4,00	0,14
6	$y = 0.0101x + 5.407$	0,9961	5,41	5,69	5,18	0,18
7	$y = 0.0067x + 5.0595$	0,9840	5,05	5,24	3,76	0,13
8	$y = 0.00687x + 5.2076$	0,9953	5,21	5,45	4,61	0,16
9	$y = 0.0103x + 5.2517$	0,9778	5,25	5,54	5,52	0,20
Média		0,9885	5,22	5,47	4,66	0,17

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Tachi Preto

Tabela 132 – Equações de regressão para variação dimensional: Tachi Estufa (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0.795x + 24.44$	0,9868	24,44	26,67	9,12	0,33
2	$y = 0.0805x + 24.431$	0,9937	24,43	26,69	9,25	0,33
3	$y = 0.0826x + 24.429$	0,9813	24,43	26,74	9,46	0,34
4	$y = 0.0969x + 24.389$	0,9783	24,39	27,10	11,11	0,40
5	$y = 0.0958x + 24.314$	0,9777	24,31	27,00	11,07	0,40
6	$y = 0.0954x + 24.344$	0,9882	24,34	27,02	11,01	0,39
7	$y = 0.0795x + 24.459$	0,9836	24,46	26,69	9,12	0,33
8	$y = 0.0877x + 24.702$	0,9877	24,70	27,16	9,96	0,36
9	$y = 0.0801x + 24.68$	0,9815	24,68	26,92	9,08	0,32
Média		0,9843	24,46	26,89	9,91	0,35

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 133 – Equações de regressão para variação dimensional: Tachi 90°C/24h (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0.0808x + 23.92$	0,9972	23,92	26,18	9,45	0,34
2	$y = 0.075x + 24.051$	0,9983	24,05	26,15	8,73	0,31
3	$y = 0.0805x + 24.001$	0,9874	24,00	26,38	9,92	0,35
4	$y = 0.088x + 23.82$	0,9937	23,82	26,28	10,33	0,37
5	$y = 0.0847x + 23.88$	0,9984	23,88	26,25	9,92	0,35
6	$y = 0.0831x + 23.879$	0,9956	23,88	26,21	9,76	0,35
7	$y = 0.0741x + 23.707$	0,9957	23,71	25,78	8,73	0,31
8	$y = 0.0748x + 23.422$	0,9958	23,42	25,52	8,96	0,32
9	$y = 0.081x + 23.797$	0,9954	23,80	26,07	9,54	0,34
Média		0,9953	23,83	26,09	9,48	0,34

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 134 – Equações de regressão para variação dimensional: Tachi 90°C/96h (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0.0939x + 23.55$	0,9852	23,55	26,18	11,17	0,40
2	$Y = 0.0805x + 23.877$	0,9919	23,88	26,13	9,42	0,34
3	$y = 0.0798x + 23.893$	0,9976	23,89	26,13	9,38	0,33
4	$y = 0.0848x + 23.731$	0,9964	23,73	26,11	10,03	0,36
5	$y = 0.0913x + 23.584$	0,9921	23,58	26,14	10,86	0,39
6	$y = 0.0815x + 23.899$	0,9943	23,90	26,18	9,54	0,34
7	$y = 0.0761x + 24.178$	0,9942	24,18	26,31	8,81	0,31
8	$y = 0.0749x + 23.881$	0,9959	23,88	25,98	8,79	0,31
9	$y = 0.0714x + 24.199$	0,9884	24,20	26,20	8,26	0,30
Média		0,9929	23,87	26,15	9,58	0,34

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 135 – Equações de regressão para variação dimensional: Tachi 120°C/2h (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0.0812x + 24.121$	0,9939	24,12	26,40	9,45	0,34
2	$y = 0.0749x + 24.024$	0,9912	24,02	26,12	8,74	0,31
3	$y = 0.0752x + 24.28$	0,9934	24,28	26,39	8,69	0,31
4	$y = 0.0878x + 23.913$	0,9816	23,91	26,37	10,27	0,37
5	$y = 0.0843x + 24.107$	0,9821	24,11	26,47	9,80	0,35
6	$y = 0.09x + 24.179$	0,9850	24,18	26,70	10,42	0,37
7	$y = 0.0821x + 24.406$	0,9941	24,41	26,71	9,44	0,34
8	$y = 0.0744x + 24.562$	0,9954	24,56	26,65	8,51	0,30
9	$y = 0.0792x + 24.5$	0,9973	24,50	26,72	9,06	0,32
Média		0,9904	24,23	26,50	9,38	0,33

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 136 – Equações de regressão para variação dimensional: Tachi 120°C/8h (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0.0832x + 24.255$	0,9946	24,26	26,59	9,60	0,34
2	$y = 0.0877x + 24.009$	0,9928	24,01	26,47	10,25	0,37
3	$y = 0.0895x + 23.968$	0,9934	23,97	26,47	10,43	0,37
4	$y = 0.0874x + 24.093$	0,9860	24,09	26,54	10,17	0,36
5	$y = 0.0859x + 24.034$	0,9923	24,03	26,44	10,03	0,36
6	$y = 0.0902x + 24.107$	0,9956	24,11	26,63	10,45	0,37
7	$y = 0.077x + 24.449$	0,9963	24,45	26,61	8,83	0,32
8	$y = 0.0783x + 24.466$	0,9942	24,47	26,66	8,95	0,32
9	$y = 0.0805x + 24.61$	0,9981	24,61	26,86	9,14	0,33
Média		0,9937	24,22	26,59	9,76	0,35

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 137 – Equações de regressão para variação dimensional: Tachi Estufa (Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0.0103x + 5.381$	0,9914	5,38	5,67	5,39	0,19
2	$y = 0.0106x + 5.2162$	0,9712	5,22	5,51	5,56	0,20
3	$y = 0.0098x + 5.3102$	0,9900	5,31	5,59	5,27	0,19
4	$y = 0.0103x + 5.5997$	0,9769	5,60	5,89	5,18	0,18
5	$y = 0.0102x + 5.5933$	0,9705	5,59	5,88	5,19	0,19
6	$y = 0.0107x + 5.5666$	0,9880	5,57	5,87	5,39	0,19
7	$y = 0.0101x + 4.8941$	0,9064	4,89	5,18	5,93	0,21
8	$y = 0.0109x + 4.8183$	0,9809	4,82	5,12	6,22	0,22
9	$y = 0.0099x + 5.1635$	0,9786	5,16	5,44	5,43	0,19
Média		0,9727	5,28	5,57	5,51	0,20

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Tabela 138 – Equações de regressão para variação dimensional: Tachi 90°C/24h (Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0.0106x + 5.4955$	0,9932	5,50	5,79	5,27	0,19
2	$y = 0,0091x + 5,2825$	0,9708	5,28	5,54	4,92	0,18
3	$y = 0,011x + 5,4288$	0,9692	5,43	5,74	5,71	0,20
4	$y = 0,0099x + 5,4548$	0,9784	5,46	5,73	4,95	0,18
5	$y = 0,0107x + 5,4606$	0,9792	5,46	5,76	5,49	0,20
6	$y = 0,0104x + 5,4031$	0,9789	5,40	5,69	5,37	0,19
7	$y = 0,0089x + 5,2541$	0,9833	5,25	5,50	4,76	0,17
8	$y = 0,009x + 5,2455$	0,9781	5,25	5,50	4,76	0,17
9	$y = 0,0084x + 4,8528$	0,8741	4,85	5,09	4,95	0,18
Média		0,9672	5,32	5,59	5,13	0,18

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Tabela 139 – Equações de regressão para variação dimensional: Tachi 90°C/96h (Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0,0105x + 5,3863$	0,9896	5,39	5,68	5,38	0,19
2	$y = 0,0105x + 5,3256$	0,9695	5,33	5,62	5,44	0,19
3	$y = 0,0115x + 5,3603$	0,9656	5,36	5,68	5,97	0,21
4	$y = 0,0105x + 5,433$	0,9838	5,43	5,73	5,47	0,20
5	$y = 0,0108x + 5,5026$	0,9922	5,50	5,81	5,64	0,20
6	$y = 0,0109x + 5,4911$	0,9561	5,49	5,80	5,65	0,20
7	$y = 0,0087x + 4,9824$	0,9863	4,98	5,23	5,02	0,18
8	$y = 0,0089x + 5,1156$	0,9933	5,12	5,37	4,88	0,17
9	$y = 0,0098x + 5,0971$	0,9404	5,10	5,37	5,29	0,19
Média		0,9752	5,30	5,59	5,42	0,19

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Tabela 141 – Equações de regressão para variação dimensional: Tachi 120°C/2h (Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0,0116x + 5,4058$	0,9490	5,41	5,73	5,91	0,21
2	$y = 0,0096x + 5,4921$	0,9783	5,50	5,76	4,73	0,17
3	$y = 0,0103x + 5,481$	0,9616	5,48	5,77	5,29	0,19
4	$y = 0,0095x + 5,4211$	0,9814	5,42	5,69	4,98	0,18
5	$y = 0,0103x + 5,4912$	0,9880	5,49	5,78	5,28	0,19
6	$y = 0,0101x + 5,4552$	0,9795	5,46	5,74	5,13	0,18
7	$y = 0,0106x + 5,0766$	0,9615	5,08	5,37	5,71	0,20
8	$y = 0,0085x + 5,0633$	0,9563	5,06	5,30	4,74	0,17
9	$y = 0,0108x + 5,2433$	0,9658	5,24	5,55	5,92	0,21
Média		0,9690	5,35	5,63	5,30	0,19

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Tabela 142 – Equações de regressão para variação dimensional: Tachi 120°C/8h (Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0,0111x + 5,4459$	0,9812	5,45	5,76	5,69	0,20
2	$y = 0,0117x + 5,4978$	0,9858	5,50	5,83	6,00	0,21
3	$y = 0,0123x + 5,4791$	0,9462	5,48	5,82	6,20	0,22
4	$y = 0,0111x + 5,5379$	0,9638	5,54	5,85	5,60	0,20
5	$y = 0,0109x + 5,5759$	0,9547	5,58	5,88	5,38	0,19
6	$y = 0,0102x + 5,5199$	0,9419	5,52	5,81	5,25	0,19
7	$y = 0,0119x + 5,3705$	0,9142	5,37	5,70	6,15	0,22
8	$y = 0,0098x + 5,2267$	0,9877	5,23	5,50	5,16	0,18
9	$y = 0,0101x + 5,165$	0,8909	5,17	5,45	5,42	0,19
Média		0,9518	5,43	5,73	5,65	0,20

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Itaúba

Tabela 143 – Equações de regressão para variação dimensional: Itaúba Estufa (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0.0868x + 24.089$	0,9583	24,09	26,52	10,09	0,36
2	$y = 0.92x + 23.838$	0,9633	23,84	26,41	10,78	0,39
3	$y = 0.0894x + 23.808$	0,9301	23,81	26,31	10,50	0,37
4	$y = 0.845x + 24.828$	0,9539	24,83	27,19	9,50	0,34
5	$y = 0.0808x + 24.457$	0,9496	24,46	26,72	9,24	0,33
6	$y = 0.863x + 24.56$	0,9754	24,56	26,98	9,85	0,35
7	$y = 0.0817x + 21.428$	0,9609	21,43	23,72	10,69	0,38
8	$y = 0.825x + 21.515$	0,9623	21,51	23,82	10,74	0,38
9	$y = 0.081x + 21.474$	0,9674	21,47	23,74	10,57	0,38
Média		0,9579	23,33	25,71	10,22	0,36

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 144 – Equações de regressão para variação dimensional: Itaúba 90°C/24h (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0.0706x + 21.168$	0,9691	21,17	23,14	9,31	0,33
2	$y = 0.0678x + 21.313$	0,9759	21,31	23,21	8,92	0,32
3	$y = 0.0709x + 21.361$	0,9754	21,36	23,35	9,32	0,33
4	$y = 0.0805x + 24.23$	0,9752	24,23	26,48	9,29	0,33
5	$y = 0.0782x + 24.146$	0,9847	24,15	26,34	9,07	0,32
6	$y = 0.0808x + 24.186$	0,9829	24,19	26,45	9,34	0,33
7	$y = 0.0781x + 21.22$	0,9774	21,22	23,41	10,32	0,37
8	$y = 0.0743x + 21.221$	0,9717	21,22	23,30	9,80	0,35
9	$y = 0.079x + 21.194$	0,9816	21,19	23,41	10,48	0,37
Média		0,9771	22,23	24,34	9,54	0,34

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 145 – Equações de regressão para variação dimensional: Itaúba 90°C/96h (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0.0713x + 21.093$	0,9803	21,09	23,09	9,48	0,34
2	$y = 0.0676x + 21.293$	0,9969	21,29	23,19	8,92	0,32
3	$y = 0.0717x + 21.209$	0,9795	21,21	23,22	9,48	0,34
4	$y = 0.0885x + 24.103$	0,9845	24,10	26,58	10,29	0,37
5	$y = 0.0769x + 24.045$	0,9882	24,04	26,20	8,99	0,32
6	$y = 0.0803x + 24.13$	0,9831	24,13	26,38	9,32	0,33
7	$y = 0.0848x + 23.922$	0,9874	23,92	26,30	9,95	0,36
8	$y = 0.862x + 23.898$	0,9758	23,90	26,31	10,08	0,36
9	$y = 0.0852x + 23.88$	0,9760	23,88	26,27	10,01	0,36
Média		0,9835	23,06	25,28	9,61	0,34

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 146 – Equações de regressão para variação dimensional: Itaúba 120°C/2h (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0.0674x + 21.471$	0,9703	21,47	23,36	8,80	0,31
2	$y = 0.0592x + 21.505$	0,9835	21,51	23,16	7,70	0,27
3	$y = 0.065x + 21.515$	0,9925	21,52	23,34	8,46	0,30
4	$y = 0.0808x + 24.702$	0,9885	24,70	26,96	9,15	0,33
5	$y = 0.0759x + 24.511$	0,9825	24,51	26,64	8,69	0,31
6	$y = 0.0798x + 24.655$	0,9816	24,66	26,89	9,07	0,32
7	$y = 0.0715x + 21.425$	0,9796	21,43	23,43	9,36	0,33
8	$y = 0.0721x + 21.485$	0,9812	21,49	23,50	9,38	0,33
9	$y = 0.073x + 21.402$	0,9717	21,40	23,45	9,58	0,34
Média		0,9813	22,52	24,53	8,91	0,32

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 147 – Equações de regressão para variação dimensional: Itaúba 120°C/8h (Largura)

Amostra	Equação	R ²	D Tg 0	D Tg 28	R Tg tot	CV Tg
1	$y = 0.0825x + 24.039$	0,9584	24,04	26,35	9,61	0,34
2	$y = 0.0811x + 24.299$	0,9885	24,30	26,57	9,34	0,33
3	$y = 0.0852x + 24.208$	0,9722	24,21	26,59	9,84	0,35
4	$y = 0.0779x + 23.23$	0,9654	23,23	25,41	9,38	0,34
5	$y = 0.722x + 23.325$	0,9754	23,33	25,35	8,68	0,31
6	$y = 0.0721x + 23.868$	0,9783	23,87	25,89	8,46	0,30
7	$y = 0.074x + 21.381$	0,9707	21,38	23,45	9,68	0,35
8	$y = 0.0788x + 21.254$	0,9830	21,25	23,46	10,40	0,37
9	$y = 0.0722x + 21.344$	0,9674	21,34	23,37	9,51	0,34
Média		0,9733	22,99	25,16	9,43	0,34

Onde: D Tg 0 (Dimensão tangencial a 0%); D Tg 28 (Dimensão tangencial a 28%); R Tg Total (retração tangencial total); CV tg (Coeficiente de variação tangencial)

Tabela 148 – Equações de regressão para variação dimensional: Itaúba Estufa (Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0.0049x + 5.5043$	0,8837	5,50	5,64	2,55	0,09
2	$y = 0.0055x + 5.5216$	0,8727	5,52	5,68	2,90	0,10
3	$y = 0.0049x + 5.4712$	0,7802	5,47	5,61	2,56	0,09
4	$y = 0.0039x + 5.3001$	0,8276	5,30	5,41	2,08	0,07
5	$y = 0.0042x + 4.8765$	0,8458	4,88	4,99	2,25	0,08
6	$y = 0.0044x + 4.8524$	0,8905	4,85	4,98	2,68	0,10
7	$y = 0.006x + 5.5319$	0,8217	5,53	5,70	3,07	0,11
8	$y = 0.005x + 5.5189$	0,0946	5,52	5,66	2,54	0,09
9	$y = 0.0047x + 5.4119$	0,8485	5,41	5,54	2,40	0,09
Média		0,7628	5,33	5,47	2,56	0,09

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Tabela 149 – Equações de regressão para variação dimensional: Itaúba 90°C/24h(Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0.0054x + 5.4808$	0,9225	5,48	5,63	2,74	0,10
2	$y = 0.005x + 5.5232$	0,9209	5,52	5,66	2,54	0,09
3	$y = 0.005x + 5.5114$	0,9667	5,51	5,65	2,54	0,09
4	$y = 0.0055x + 5.1677$	0,9562	5,17	5,32	2,90	0,10
5	$y = 0.0066x + 5.1022$	0,8417	5,10	5,29	3,73	0,13
6	$y = 0.005x + 5.3313$	0,9289	5,33	5,47	2,63	0,09
7	$y = 0.0053x + 5.4558$	0,9162	5,46	5,60	2,56	0,09
8	$y = 0.00676x + 5.4874$	0,9471	5,49	5,70	3,83	0,14
9	$y = 0.0072x + 5.3189$	0,8208	5,32	5,52	3,76	0,13
Média		0,9134	5,38	5,54	3,02	0,11

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Tabela 150 – Equações de regressão para variação dimensional: Itaúba 90°C/96h(Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0.0047x + 5.3761$	0,9815	5,38	5,51	2,49	0,09
2	$y = 0.0042x + 5.5653$	0,9529	5,57	5,68	1,97	0,07
3	$y = 0.0044x + 5.4551$	0,9317	5,45	5,58	2,39	0,09
4	$y = 0.0049x + 5.0655$	0,8895	5,07	5,20	2,56	0,09
5	$y = 0.0049x + 5.1464$	0,0851	5,15	5,28	2,52	0,09
6	$y = 0.0022x + 4.721$	0,8649	4,72	4,78	1,27	0,05
7	$y = 0.0058x + 5.5759$	0,8236	5,58	5,74	2,87	0,10
8	$y = 0.0053x + 5.5767$	0,9231	5,58	5,73	2,69	0,10
9	$y = 0.0055x + 5.5463$	0,9061	5,55	5,70	2,77	0,10
Média		0,8176	5,34	5,47	2,39	0,09

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Tabela 151 – Equações de regressão para variação dimensional: Itaúba 120°C/2h(Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0.0047x + 5.4126$	0,8793	5,41	5,54	2,40	0,09
2	$y = 0.0041x + 5.2485$	0,8323	5,25	5,36	2,10	0,07
3	$y = 0.0052x + 5.4961$	0,8215	5,50	5,64	2,62	0,09
4	$y = 0.004x + 4.7826$	0,8892	4,78	4,89	2,30	0,08
5	$y = 0.0041x + 4.9936$	0,9534	4,99	5,11	2,33	0,08
6	$y = 0.0045x + 5.3043$	0,8244	5,30	5,43	2,45	0,09
7	$y = 0.0049x + 5.4089$	0,8664	5,41	5,55	2,59	0,09
8	$y = 0.0051x + 5.2297$	0,9244	5,23	5,37	2,68	0,10
9	$y = 0.0053x + 5.3867$	0,9145	5,39	5,54	2,78	0,10
Média		0,8784	5,25	5,38	2,47	0,09

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Tabela 152 – Equações de regressão para variação dimensional: Itaúba 120°C/8h(Espessura)

Amostra	Equação	R ²	D Rd 0	D Rd 28	R Rd tot	CV Rd
1	$y = 0.005x + 5.483$	0,9004	5,48	5,62	2,55	0,09
2	$y = 0.0048x + 5.6082$	0,9071	5,61	5,74	2,32	0,08
3	$y = 0.0055x + 5.4911$	0,9326	5,49	5,65	2,91	0,10
4	$y = 0.0045x + 5.0086$	0,8933	5,01	5,14	2,59	0,09
5	$y = 0.0037x + 4.9923$	0,7466	4,99	5,10	2,20	0,08
6	$y = 0.004x + 5.2848$	0,6581	5,29	5,40	2,08	0,07
7	$y = 0.005x + 5.2139$	0,8458	5,21	5,35	2,69	0,10
8	$y = 0.0042x + 5.0265$	0,9630	5,03	5,14	2,19	0,08
9	$y = 0.0044x + 5.341$	0,9019	5,34	5,46	2,25	0,08
Média		0,8610	5,27	5,40	2,42	0,09

Onde: D Rd 0 (Dimensão Rd a 0%); D Rd 28 (Dimensão Radial 28%); R Rd Total (retração Radial total); CV Rd (Coeficiente de variação Radial)

Anexo H - Análise de variância da estimativa de retração total

Tabela 153 – Análise de variância para Retração total no sentido tangencial - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	5,81865	1,45466	2,2374 ns
Resíduo	40	26,00607	0,65015	
Total	44	31,82472		

ns não significativo

Tabela 154 – Análise de variância para Retração total no sentido radial - Cedrinho

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	2,76842	0,69211	2,1395 ns
Resíduo	40	12,93981	0,32350	
Total	44	15,70824		

ns não significativo

Tabela 155 – Análise de variância para Retração total no sentido tangencial - Tachi

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	1,64287	0,41072	0,6943 ns
Resíduo	40	23,66099	0,59152	
Total	44	25,30387		

ns não significativo

Tabela 156 – Análise de variância para Retração total no sentido radial - Tachi

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	1,39874	0,34968	2,4586 ns
Resíduo	40	5,68909	0,14223	
Total	44	7,08783		

ns não significativo

Tabela 157 – Análise de variância para Retração total no sentido tangencial - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	7,87208	1,96802	6,3767 **
Resíduo	40	12,34504	0,30863	
Total	44	20,21712		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 158 – Análise de variância para Retração total no sentido radial - Itaúba

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	2,42475	0,60619	3,8513 **
Resíduo	40	6,29591	0,15740	
Total	44	8,72066		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Anexo I - Análise de variância para Umidade e variação dimensional do tratamento piloto

Tabela 159 – Análise de variância para Umidade inicial

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	3,35831	1,11944	4,4903 *
Resíduo	13	3,24094	0,24930	
Total	16	6,59925		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 160 – Análise de variância para Umidade após o condicionamento úmido

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	20,30193	6,76731	3,5904 *
Resíduo	13	24,50303	1,88485	
Total	16	44,80496		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 161 – Análise de variância para Umidade após o condicionamento seco

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	0,39611	0,13204	1,3740 ns
Resíduo	13	1,24924	0,09610	
Total	16	1,64535		

ns não significativo

Tabela 162 – Análise de variância para variação percentual de umidade no condicionamento úmido

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	2655,32040	885,10680	4,0833 *
Resíduo	13	2817,89549	216,76119	
Total	16	5473,21588		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 163 – Análise de variância para variação percentual de umidade no condicionamento seco

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	89,11575	29,70525	6,2004 **
Resíduo	13	62,28117	4,79086	
Total	16	151,39692		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 164 – Análise de variância para Variação dimensional no sentido tangencial – Condicionamento úmido

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	3,74192	1,24731	2,4657 ns
Resíduo	13	6,57620	0,50586	
Total	16	10,31812		

ns não significativo

Tabela 165 – Análise de variância para Variação dimensional no sentido tangencial – Condicionamento seco

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	3,02219	1,00740	2,5182 ns
Resíduo	13	5,20068	0,40005	
Total	16	8,22288		

ns não significativo

Tabela 166 – Análise de variância para Variação dimensional no sentido radial – Condicionamento úmido

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	4,05042	1,35014	7,0275 **
Resíduo	13	2,49759	0,19212	
Total	16	6,54802		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 167 – Análise de variância para Variação dimensional no sentido radial – Condicionamento seco

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	1,67830	0,55943	3,4530 *
Resíduo	13	2,10615	0,16201	
Total	16	3,78445		

ns não significativo