



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

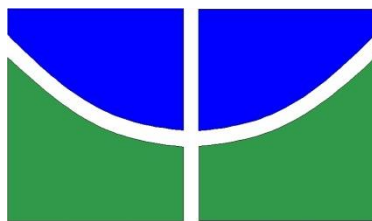
**DEFEITOS DA SECAGEM ARTIFICIAL E A SUA RELAÇÃO COM AS
CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA**

Giovanna Henrique Queiroz Albuquerque

Brasília, abril de 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

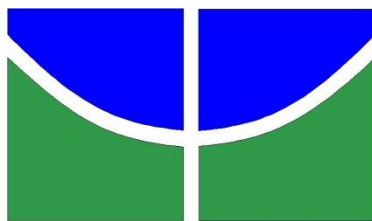
**DEFEITOS DA SECAGEM ARTIFICIAL E A SUA RELAÇÃO COM AS
CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA**

Giovanna Henrique Queiroz Albuquerque

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da
Universidade de Brasília, como parte das exigências para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: M.Sc. Helder Resende de Carvalho

Brasília-DF, abril de 2022



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal - EFL

**DEFEITOS DA SECAGEM ARTIFICIAL E A SUA RELAÇÃO COM AS
CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA**

Estudante: Giovanna Henrique Queiroz Albuquerque

Matrícula: 17/0011348

Orientador: M.Sc. Helder Resende de Carvalho

Menção: _____

M.Sc. Helder Resende de Carvalho
Laboratório de Produtos Florestais (LPF)
Orientador (EFL)

Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca

M.Sc. Alexandre Bahia Gontijo
Laboratório de Produtos Florestais (LPF)
Membro da Banca

Brasília-DF, abril de 2022.

FICHA CATALOGRÁFICA

ALBUQUERQUE, GIOVANNA HENRIQUE QUEIROZ

DEFEITOS DA SECAGEM ARTIFICIAL E A SUA RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA [Distrito Federal] 2022. 58 p., 210 x 297mm (EFL/FT/UnB, Engenharia, Engenharia Florestal, 2022).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Florestal.

1. Secagem de madeiras

2. Madeiras da Amazônia

3. Anatomia da madeira

4. PCA

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALBUQUERQUE, G. H. Q. (2022). DEFEITOS DA SECAGEM ARTIFICIAL E A SUA RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 58 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Giovanna Henrique Queiroz Albuquerque

TÍTULO: DEFEITOS DA SECAGEM ARTIFICIAL E A SUA RELAÇÃO COM AS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA MADEIRA.

GRAU: Bacharel em Engenharia Florestal ANO: 2022.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Giovanna Henrique Queiroz Albuquerque

Departamento de Engenharia Florestal (EFL)-FT

Universidade de Brasília (UnB)

Campus Darcy Ribeiro

CEP 70919-970 – Brasília – DF – Brasil

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Fernanda, e ao meu pai, Jefferson, por todos os ensinamentos e proteção. Por me proporcionarem o melhor da educação e me preparem para o mundo. Por serem meus amigos e me motivarem a alcançar os meus objetivos.

Ao meu irmão, Pedro, por todo companheirismo, ensinamentos, conversas e discussões, que me possibilitaram crescer cada vez mais. À toda a minha família, por todo o incentivo e dedicação, amor e afeto.

Ao Prof. Dr. Alexandre Florian da Costa, por todo o ensinamento durante a graduação. Por acolher a minha ideia e tornar este trabalho possível.

Ao meu orientador de PIBIC e guia na anatomia de madeiras, M.Sc. Alexandre Bahia Gontijo, pelas oportunidades de estágio e pesquisa científica, pelo enriquecimento dos meus conhecimentos e suporte nesta pesquisa. À Juliana, Elisa e Fernando por todo suporte e ensinamento na anatomia de madeiras.

Ao meu orientador, M.Sc. Helder Resende de Carvalho, por acatar a minha pesquisa e aprimorá-la. Me guiar e auxiliar na condução deste trabalho. Por toda a disponibilidade e tempo dedicado.

Ao meu namorado e melhor amigo, Leonardo de Oliveira Costa, por ser meu porto-seguro, me acalmar e me ajudar. Por sempre estar presente em todos os momentos e compartilhar a vida.

À minha colega e grande amiga de graduação, Letícia Barros, por todo apoio durante a jornada universitária. Por ser tornar uma grande amiga e dividir as dificuldades, compartilhar experiências e caminhar ao meu lado durante a graduação.

Aos meus amigos de escola, em especial ao Lucas Silva, a Ana Luiza e a Letícia Longanezi, que torcem pelas minhas conquistas e que prevalecem na minha vida há anos.

À Universidade de Brasília (UnB) pelo incentivo à pesquisa, à ciência e a educação. Pelas oportunidades e caminhos abertos, pela grande experiência de vida e acolhimento.

“Na vida, não existe nada a temer, mas a entender.”

(Marie Curie)

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a correlação entre os defeitos causados pela secagem artificial da madeira e a sua estrutura anatômica microscópica. Foram selecionadas três espécies de madeiras tropicais utilizadas como pisos de madeira e que apresentassem massa específica básica de média a alta, sendo elas: jarana-amarela, maparajuba e sucupira-preta. O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Produtos Florestais (LPF) em Brasília/DF, onde foram confeccionadas 135 amostras de tamanho reduzido e submetidas a três tratamentos de temperatura, 60°, 80° e 100°C. Para as medições anatômicas, foi preparado lâminas de dissociado, antes e após a secagem, de 5 amostras por espécie por tratamento. As medições dos elementos anatômicos foram feitas por microscópio óptico em aumento de 40X para dimensionamento dos elementos de comprimento de vaso, diâmetro e comprimento de fibra, fração de parede e diâmetro de lume. Após a secagem das amostras, os defeitos foram avaliados e mensurados. Para correlação dos dados de secagem e os parâmetros anatômicos foi utilizado a análise de componentes principais (PCA). Os resultados mostraram o aparecimento de rachaduras de topo, rachaduras superficiais, torcimento, encanoamento e encurvamento, sendo que a madeira jarana-amarela apresentou um maior percentual de defeitos e tempo de secagem. A PCA explicou 45,59% da variação dos dados e quando subdividido por tratamento, 57,23% para a temperatura de 60°C, 51,88% para 80°C e 60,94% para 100°C. Este estudo sugere que os defeitos de torcimento e rachaduras de topo estão relacionadas fortemente com o elemento anatômico de comprimento de fibra.

Palavras-chave: Secagem artificial; caracteres anatômicos; madeiras tropicais; PCA.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the correlation between defects caused by artificial drying of wood and its microscopic anatomical structure. Three tropical wood species used as flooring and presenting medium to high basic specific weight were selected: jarana-amarela, maparajuba and sucupira-preta. The study was carried out at the Forest Products Laboratory (LPF) in Brasília/DF, where 135 reduced size samples were made and submitted to three temperature treatments, 60°, 80° and 100°C. For the anatomical measurements, dissociated slides were prepared, before and after drying, of 5 samples per species per treatment. Measurements of anatomical elements were made by optical microscope at 40X magnification to size the elements of vessel length, fiber diameter and length, wall fraction, and lumen diameter. After drying the samples, defects were evaluated and measured. Principal component analysis (PCA) was used to correlate the drying data and the anatomical parameters. The results showed the appearance of top cracking, surface cracking, twisting, buckling, and curling, with the jarana-amarela wood showing a higher percentage of defects and drying time. PCA explained 45.59% of the variation in the data and when subdivided by treatment, 57.23% for the 60°C temperature, 51.88% for 80°C, and 60.94% for 100°C. This study suggests that twisting and butt cracking defects are strongly related to the fiber length anatomical element.

Keywords: Artificial drying; anatomical characters; tropical wood; PCA.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1. Estrutura anatômica das árvores	17
3.1.1. Estrutura anatômica de folhosas.....	17
3.1.2. Elementos vasculares (vasos).....	17
3.1.3. Fibras	18
3.1.4. Parênquimas	18
3.2. Secagem de madeiras em secadoras	18
3.2.1. Defeitos oriundos da secagem de madeiras.....	19
3.3. Anatomia da madeira e sua secagem	20
3.4. Projeto de Pisos de Madeira Sustentável – “PIMADS” e espécies selecionadas 20	
3.4.1. <i>Lecythis poiteaui</i> O. Berg. (Jarana-amarela)	21
3.4.2. <i>Manilkara bidentata</i> (A.DC.) A. Chev. (Maparajuba).....	22
3.4.3. <i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth. (Sucupira-preta).....	22
4. MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1. Local de realização	24
4.2. Escolha das espécies e confecção das amostras	24
4.3. Confecção e numeração das amostras	24
4.4. Obtenção dos parâmetros anatômicos	25
4.5. Secagem artificial das amostras	26
4.6. Avaliação dos defeitos na secagem artificial	28
4.7. Análise anatômica	29

4.8. Análise estatística.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1. Secagem das amostras e defeitos	31
5.2. Parâmetros anatômicos de fibras e vasos	36
5.3 Relação entre fibras e vasos e os defeitos da secagem.....	41
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
7. APÊNDICE	54
7.1. Dados da secagem das espécies.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Anatomia macroscópica de <i>Lecythis poiteau</i> O. Berg. a) Seção transversal (aumento 10x); b) Face tangencial (10x); c) Face radial (10x); d) Superfície longitudinal (sem aumento) (Fonte: CORADIN et al, 2010; JANKOWSKY & GALINA, 2013).....	21
Figura 2. Anatomia macroscópica de <i>Manilkara bidentata</i> (A.DC.) A. Chev. a) Seção transversal (aumento 10x); b) Face tangencial (10x); c) Face radial (10x); d) Superfície longitudinal (sem aumento) (Fonte: CORADIN et al, 2010).....	22
Figura 3. Anatomia macroscópica de <i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth. a) Seção transversal (aumento 10x); b) Face tangencial (10x); c) Face radial (10x); d) Superfície longitudinal (sem aumento) (Fonte: CORADIN et al, 2010).	23
Figura 4. Fragmentos imersos em solução Franklin	25
Figura 5. Disposição das amostras na bandeja de secagem.	26
Figura 6. Amostras em tabiques utilizados para suporte.....	27
Figura 7. Método de transparência para avaliação de rachaduras.....	28
Figura 8. Esquema utilizado para medição de encaçamento. Fonte: ROCHA (2000).	29
Figura 9. Esquema utilizado para medição de torcimento. Fonte: SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU (1994).	29
Figura 10. Defeitos na secagem da espécie jarana-amarela no interior da estufa.....	35
Figura 11. Lâmina de dissociado de maparajuba; amostra G3-6-1, com aumento de 4x.	41
Figura 12. Análise de Componentes Principais (PCA), onde o tratamento de 60°C é representado pelo círculo, o tratamento de 80°C pelo losango e o tratamento de 100°C pelo triângulo. As espécies são representadas pelas cores: <i>Lecythis poiteau</i> (roxo); <i>Manilkara bidentata</i> (azul) e <i>Bowdichia nitida</i> (vermelho).....	42
Figura 13. Elipse de 95% de confiança aplicado os dados da Figura 6, onde o tratamento de 60°C é representado pelo círculo, o tratamento de 80°C pelo losango e o tratamento de 100°C pelo triângulo. As espécies são representadas pelas cores: <i>Lecythis poiteau</i> (roxo); <i>Manilkara bidentata</i> (azul) e <i>Bowdichia nitida</i> (vermelho).....	43
Figura 14. Análise de Componentes Principais (PCA) para o tratamento de 60°C, onde as espécies são representadas pelas cores: <i>Lecythis poiteau</i> (roxo); <i>Manilkara bidentata</i> (azul) e <i>Bowdichia nitida</i> (vermelho).....	44
Figura 15. Elipse de 95% de confiança aplicada para os dados da Figura 8, onde as espécies são representadas pelas cores: <i>Lecythis poiteau</i> (roxo); <i>Manilkara bidentata</i> (azul) e <i>Bowdichia nitida</i> (vermelho).....	44

Figura 16. Análise de Componentes Principais (PCA) para o tratamento de 80°C, onde as espécies são representadas pelas cores: <i>Lecythis poiteau</i> (roxo); <i>Manilkara bidentata</i> (azul) e <i>Bowdichia nitida</i> (vermelho).....	45
Figura 17. Elipse de 95% de confiança aplicada para os dados da Figura 10, onde as espécies são representadas pelas cores: <i>Lecythis poiteau</i> (roxo); <i>Manilkara bidentata</i> (azul) e <i>Bowdichia nitida</i> (vermelho).....	46
Figura 18. Análise de Componentes Principais (PCA) para o tratamento de 100°C, onde as espécies são representadas pelas cores: <i>Lecythis poiteau</i> (roxo); <i>Manilkara bidentata</i> (azul) e <i>Bowdichia nitida</i> (vermelho).....	47
Figura 19. Elipse de 95% de confiança aplicada para os dados da Figura 18, onde as espécies são representadas pelas cores: <i>Lecythis poiteau</i> (roxo); <i>Manilkara bidentata</i> (azul) e <i>Bowdichia nitida</i> (vermelho).....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dimensões de amostras propostas por Jankowsky (2009).	24
Tabela 2. Valores brutos dos defeitos da secagem artificial para a espécie jarana-amarela. ..	31
Tabela 3. Valores brutos dos defeitos da secagem artificial para a espécie sucupira-preta. ...	32
Tabela 4. Valores brutos dos defeitos da secagem artificial para a espécie maparajuba.	33
Tabela 5. Tempos e temperaturas de secagem para as três espécies de madeiras estudadas. .	35
Tabela 6. Valores médios dos parâmetros anatômicos comprimento e diâmetro de fibra, diâmetro do lume, fração parede e comprimento do vaso para o tratamento de 60°C.....	37
Tabela 7. Valores médios dos parâmetros anatômicos comprimento e diâmetro de fibra, diâmetro do lume, fração parede e comprimento do vaso para o tratamento de 80°C.....	38
Tabela 8. Valores médios dos parâmetros anatômicos comprimento e diâmetro de fibra, diâmetro do lume, fração parede e comprimento do vaso para o tratamento de 100°C.....	39

LISTA DE SIGLAS

PCA	Análise de Componentes Principais
PC	Componente Principal
PIMADS	Projeto de Pisos de Madeira Sustentável
IAWA	International Association of Wood Anatomists (Associação Internacional de Anatomistas de Madeira)
RT	Rachadura de Topo
RS	Rachadura Superficial
mm	Milímetros
µm	Micrômetros
LPF	Laboratório de Produtos Florestais
SFB	Serviço Florestal Brasileiro

1. INTRODUÇÃO

A secagem de madeiras é um tema bastante complexo no campo da Engenharia Florestal e possui um estudo limitado quanto aos métodos consolidados. Os principais métodos utilizados no mercado são os métodos convencionais, na qual a secagem acontece por meio de equipamentos, onde se tem um ambiente controlado, ou através da secagem natural, um método no qual a madeira está sujeita às condições climáticas do ambiente.

A problemática acerca desses métodos de secagem está no custo do processo, tempo e qualidade da secagem. Os métodos convencionais de secagem possuem uma série de vantagens em relação ao método de secagem natural, incluindo uma demanda de tempo menor, diminuição dos defeitos e uma secagem mais controlada, em compensação, o gasto incluído é maior. A dificuldade em secar madeiras está, principalmente, no fato de como a madeira vai reagir à secagem, ou seja, dependendo da anatomia e fatores físico-químicos, a madeira pode acabar gerando algum defeito.

A temática dos defeitos provocados pela secagem e o porquê são ocasionados é um assunto que precisa ser explorado de forma mais detalhada. É sabido que os defeitos ocorrem em alguma estrutura anatômica microscópica da madeira, podem estar relacionados com compostos químicos, principalmente quando possuem extrativos, podem ser ocasionados por diferentes densidades ou até mesmo devido a erros relacionados diretamente ao processo de secagem. Partindo do pressuposto de que a anatomia de madeiras está intrinsicamente relacionada com o processo de secagem, é possível que os defeitos sejam provocados devido às suas estruturas anatômicas, logo, podemos considerar principalmente as células que estão envolvidas no processo da perda de água quando a madeira é levada à uma câmara de secagem.

A anatomia de madeiras é um campo da Engenharia Florestal que permeia os mais diversos estudos com relação a madeiras. Esta área serve de base para um estudo de secagem, já que as estruturas anatômicas microscópicas são responsáveis por absorver e reter a água na madeira.

Compreender onde a água está localizada na madeira é fundamental para realizar uma boa secagem, livre de defeitos. A água no interior da madeira pode ser encontrada na forma de água de capilaridade (água livre) que se localiza em vasos, canais e lume das células, e a água higroscópica (água de adesão) que se localiza no interior das paredes celulares, além da água de constituição. A água de capilaridade está presente no estado líquido e é facilmente retirada

da madeira, já a água higroscópica se encontra no estado de vapor, que necessita de alguma fonte de energia para que ocorra a sua remoção.

A partir da íntima relação entre a anatomia da madeira com o processo de secagem é possível correlacionar os parâmetros quantitativos dos defeitos de secagem com as variáveis de dimensionamento dos elementos celulares, vasos e fibras, para uma maior compreensão sobre os programas de secagem. Podendo desta forma deduzir informações de quais as melhores condições para se utilizar durante a secagem de espécies e ainda se o dimensionamento de estruturas anatômicas afeta no aparecimento de defeitos. A temperatura, um dos grandes responsáveis pela secagem de madeiras, também pode estar ou não influenciando nessa correlação.

Tendo em vista a complexidade em se desenvolver programas de secagem que promovam um mínimo de defeitos possíveis através de metodologias mais simplificadas, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a correlação entre os defeitos causados pela secagem artificial da madeira e a sua estrutura anatômica microscópica. Para tanto, foram utilizadas amostras de madeira de tamanho reduzido, de densidade média a alta, de espécies que apresentam tendência ao aparecimento de defeitos, submetidas a três diferentes temperaturas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a relação entre os caracteres microscópicos da madeira (vasos e fibras) e os defeitos provocados pela secagem artificial em estufa.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a ocorrência de defeitos em diferentes temperaturas em três espécies florestais tropicais de uso comercial, tomando em conta parâmetros quantitativos de frequência e dimensão;
- Verificar alterações nos elementos anatômicos, vasos e fibras, antes e após a secagem;
- Analisar possível correlação dos defeitos com os elementos anatômicos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Estrutura anatômica das árvores

As árvores como plantas superiores apresentam raízes, folhas, caules, flores e frutos, mas o que as diferenciam das demais plantas superiores é a presença de caule (tronco), responsável pela condução da seiva e sustentação mecânica (CORADIN E CAMARGOS, 2002).

O tronco das árvores é composto de uma série de desenhos concêntricos chamados de anéis de crescimento, na qual podem ser diferenciados o lenho inicial e lenho tardio. Além disso, o crescimento do tronco se dá sempre no sentido do seu diâmetro com as células presentes no lenho podendo encolher ou dilatar, conforme absorvem ou perdem umidade (GONZAGA, 2006).

A estrutura anatômica das madeiras se diferencia ainda entre coníferas, que possuem uma anatomia mais simples, e folhosas que possuem células mais especializadas e são o objeto de estudo neste trabalho.

3.1.1. Estrutura anatômica de folhosas

Os tecidos que constituem a madeira e a tornam um material poroso dentre os quais alguns serão analisados no presente trabalho são: elementos vasculares (vasos), parênquima axial, parênquima radial (raios) e fibras, de acordo com a norma da Associação Internacional de Anatomistas de Madeira - IAWA Committee on Nomenclature (1964) e IAWA Committee (1989).

3.1.2. Elementos vasculares (vasos)

Os elementos vasculares ocorrem em todas as angiospermas e são as estruturas que as diferenciam das coníferas (gimnospermas). São elementos que se assemelham a um tubo que variam de 20 μm a 500 μm e servem para condução ascendente de líquidos na árvore (BOTOSSO, 2009).

Esta estrutura é bastante utilizada na identificação de madeiras e pode ser diferenciada quanto a visibilidade, diâmetro, frequência, porosidade, arranjo, obstruções e agrupamentos (ZENID E CECCANTINI, 2007).

Os vasos possuem uma resistência muito baixa para o fluxo de água e o modo que as placas de perfuração se apresentam faz com que a circulação de água seja mais ou menos intensa (Lepage, 1986). A obstrução desses vasos também pode gerar dificuldades na permeabilidade da madeira.

3.1.3. Fibras

As fibras assim como os vasos são bastante estudadas na caracterização da madeira. Nesse elemento, é possível se avaliar o comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede (Castelo, 2007). As fibras podem variar de 0,8 a 1,5 mm no comprimento, de 20 a 50 µm no diâmetro do lume e de 3 a 5 µm na espessura da parede (MIRANDA; CASTELO, 2012).

3.1.4. Parênquimas

Podem ser axiais ou radiais. As células do parênquima axial são células menores com paredes mais finas que as fibras e os elementos vasculares, no entanto com dimensão maior no sentido longitudinal (Coradin e Camargos, 2002). Possui a função de armazenamento de reserva e podem estar presentes com arranjos distintos nas espécies (BOTOSSO, 2009).

Já as células do parênquima radial são células alongadas dispostas horizontalmente tem uma função de condução da seiva entre medula e casca (ZENID E CECCANTINI, 2012).

3.2. Secagem de madeiras em secadoras

A secagem de madeiras tem um importante papel na utilização de madeiras para fornecimento de algum produto derivado, conseguindo melhorar a trabalhabilidade e evitar ataques de insetos e fungos. A utilização de secadoras para realizar esse processo consegue diminuir consideravelmente o tempo e os defeitos associados (ANDRADE, 2000).

Os programas de secagem podem ser compreendidos como uma sequência de ações que são feitas durante o processo de secagem, controlando-se a temperatura e a umidade relativa (Oliveira, 1981). Esses programas são preparados de forma experimental com o objetivo de secar a madeira em menor tempo possível de forma a obter um material de melhor qualidade ao final para que possa ser utilizado para diversas finalidades, seja produção de móveis, laminados, vigas, forros e dentre outros. Os programas de secagem devem ser específicos para uma determinada espécie ou grupo de espécies de características semelhantes, tendo em vista que apenas um programa não atende as necessidades de todas as espécies de madeira (BRANDÃO, 1989).

Espécies mais trabalhadas e usualmente conhecidas possuem programas próprios e já pré-definidos para a secagem de madeira, em contrapartida, para espécies pouco conhecidas e menos usuais, os programas de secagem são elaborados por métodos de tentativa e erro, sendo um modo lento e dispendioso de criação (Jankowski et al., 2002). A dificuldade em elaborar programas de secagem para madeiras tem forçado muitos pesquisadores a buscarem definir uma metodologia que atendesse a esse fim (BARBOSA et. al., 2005).

Além dessa problemática, o fato de a secagem proporcionar uma variação dimensional na madeira, a qual pode ser dessorção (quando a madeira perde água), ou adsorção (quando a madeira incha), se relaciona principalmente com a água higroscópica localizada na parede das fibras. Se interligando também à variação dimensional, a secagem pode proporcionar tensões que são a causa básica da maioria dos defeitos (JANKOWSKY E GALINA, 2013).

3.2.1. Defeitos oriundos da secagem de madeiras

Madeiras com defeitos podem ter o seu uso como matéria-prima bastante comprometido. Dentre os defeitos que podem aparecer, pode-se diferenciar em defeitos visíveis do exterior, como encanoamento, torcimento, encurvamento, colapso, rachaduras superficiais e rachaduras de topo, e em defeitos internos, como o ataque de fungos e xilófagos e rachaduras internas. (SERGIO & QUORIN, 2004).

3.2.1.1. *Encanoamento e Torcimento*

O encanoamento e o torcimento são tipos de empenamentos causadas por retrações diferenciadas nos planos originais da peça. O encanoamento é gerado quando uma das faces da madeira tende a retrair mais que as outras. Já o torcimento pode ser causado por desvios na grã, presença de madeira juvenil ou madeira de reação (JANKOWSKY E GALINA, 2013).

3.2.1.2. *Rachaduras*

É ocasionada quando a tensão de tração na superfície é maior que a resistência mecânica do material, levando ao aparecimento de rachaduras superficiais, no sentido longitudinal. Podendo ocorrer também rachaduras no sentido dos raios, quando a taxa de movimentação de umidade é maior no sentido das fibras do que no sentido transversal, fazendo com que o topo da peça seque mais rapidamente (JANKOWSKY E GALINA, 2013).

Rachaduras aparecem devido a programas de secagem muito drásticos, no qual a parte interna da madeira permanece com umidade enquanto a superfície se encontra seca.

3.3. Anatomia da madeira e sua secagem

A madeira caracteriza-se por ser um material poroso, devido aos seus elementos anatômicos, como por exemplo traqueóides, fibras, vasos, parênquima axial e radial, por onde ocorre a passagem de fluidos líquidos e gasosos (Monteiro et al., 2017). Além disso, são características da madeira, a anisotropia, a heterogeneidade e a higroscopicidade. A anisotropia se refere a variação dimensional de acordo com os planos tangencial, radial e longitudinal da estrutura anatômica. A heterogeneidade se trata do conjunto de elementos anatômicos e suas devidas funções, que caracteriza as espécies com particularidades únicas. E a higroscopicidade está relacionada com a capacidade de troca de umidade da madeira com o meio na qual está inserida, até encontrar um equilíbrio em seu teor de umidade (BRAZ et al., 2015).

Compreender a influência da variação nos componentes biológicos da anatomia de madeiras, na sua eficiência em condução de líquidos ao longo do caule, é uma forma de reduzir rachaduras, empenamentos, fendilhamentos, colapsos e outros defeitos provindos da secagem (Monteiro et al., 2017). As características anatômicas, em especial as quantitativas, são fatores relevantes na liberação de água durante a secagem (Ferreira, 2012), já que devido ao dimensionamento e quantidade de elementos anatômicos a água consegue ser retirada com mais facilidade. Klitzke (2007) relata que os aspectos anatômicos são fatores inerentes no processo de secagem.

A textura está relacionada com as características estruturais dos elementos anatômicos. Diâmetro e número de vasos, largura de raios e quantidade de parênquima axial são características referenciais para determinação de textura em folhosas (Coradin e Camargos, 2002). Na secagem, madeiras de texturas grossas secam mais rápido que madeiras de texturas mais finas (U.S. Department of Agriculture, 1988), pois essas madeiras possuem elementos celulares com maiores dimensões fazendo com que a retirada de água do interior da madeira ocorra de maneira mais facilitada.

As estruturas anatômicas podem ser utilizadas para compreender o processo de secagem, estando relacionada, em termos estruturais, diretamente com os defeitos da secagem.

3.4. Projeto de Pisos de Madeira Sustentável – “PIMADS” e espécies selecionadas

O projeto PIMADS foi criado com o intuito de contribuir para o uso sustentável dos recursos florestais relacionando com o setor de pisos de madeira. Dentre as madeiras utilizadas no projeto PIMADS, estão as madeiras de jarana-amarela, maparajuba e sucupira-preta,

madeiras estas que não são muito utilizadas para tal finalidade, já que são pouco difundidas no mercado madeireiro, mas possuem um grande potencial para este setor. Essas espécies podem ser utilizadas para aliviar a pressão sobre espécies que já se encontram neste ramo de mercado há muitos anos e hoje se encontram ameaçadas e/ou com risco de extinção.

3.4.1. *Lecythis poiteaui* O. Berg. (Jarana-amarela)

A madeira popularmente conhecida como jarana-amarela representada na Figura 1, é uma madeira da família Lecythidaceae, da Amazônia, não considerada uma espécie com risco de extinção, de acordo com a lista oficial de espécies da flora brasileira. Com relação a secagem, essa madeira é considerada moderada para secagem ao ar livre e secagem convencional. Possui tendência a empenamentos, e a secagem drástica pode causar rachaduras internas e colapso (ANDRADE & JANKOWSKY, 2015).

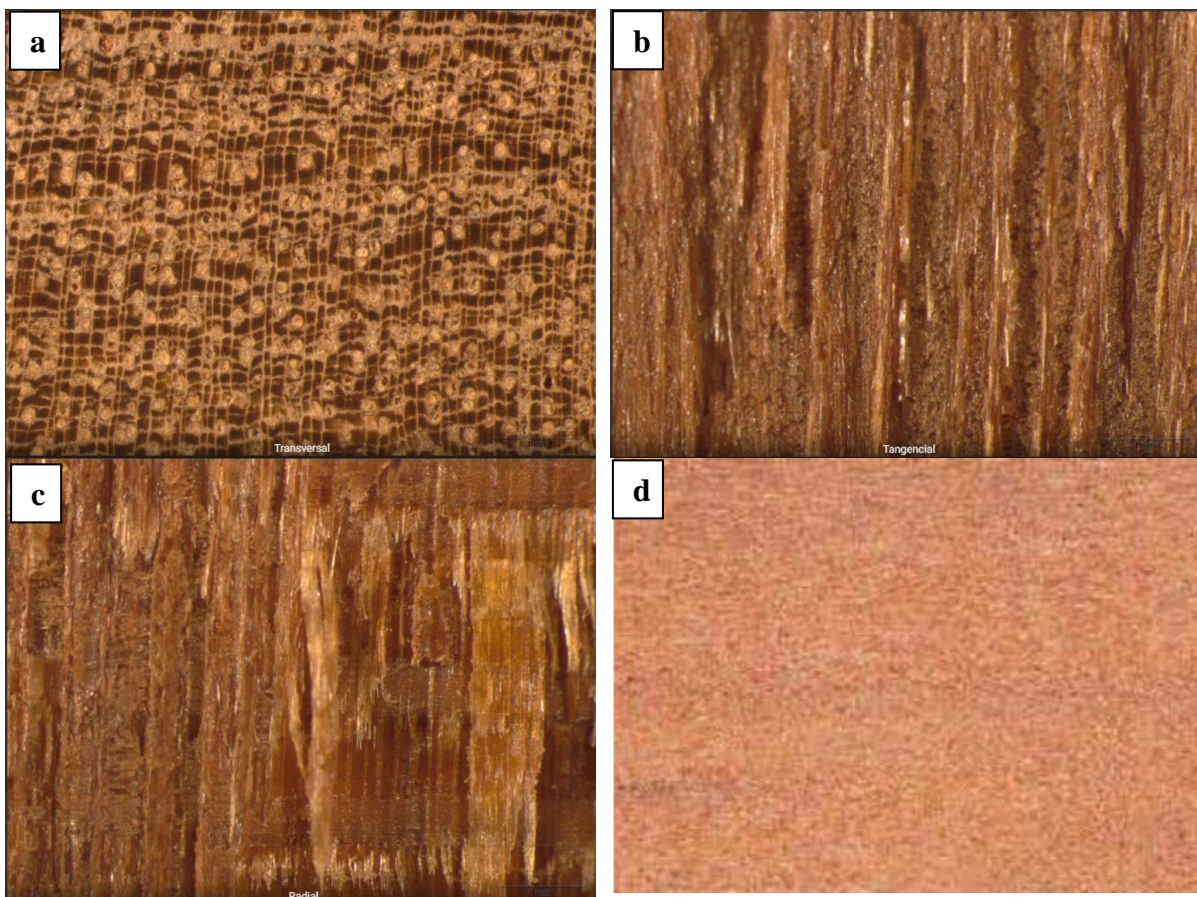


Figura 1. Anatomia macroscópica de *Lecythis poiteaui* O. Berg. **a)** Seção transversal (aumento 10x); **b)** Face tangencial (10x); **c)** Face radial (10x); **d)** Superfície longitudinal (sem aumento) (Fonte: CORADIN et al, 2010; JANKOWSKY & GALINA, 2013).

3.4.2. *Manilkara bidentata* (A.DC.) A. Chev. (Maparajuba)

A madeira de maparajuba (Figura 2) pertence à família Sapotaceae, sendo de domínio da Amazônia e do Cerrado, e não é uma madeira com risco de extinção de acordo com a lista oficial de espécies da flora brasileira. A secagem dessa espécie também é moderada para secagem ao ar livre, e de difícil a moderada para a secagem convencional. Pode apresentar empenamentos e tendência a rachaduras, principalmente de superfície (ANDRADE & JANKOWSKY, 2015).

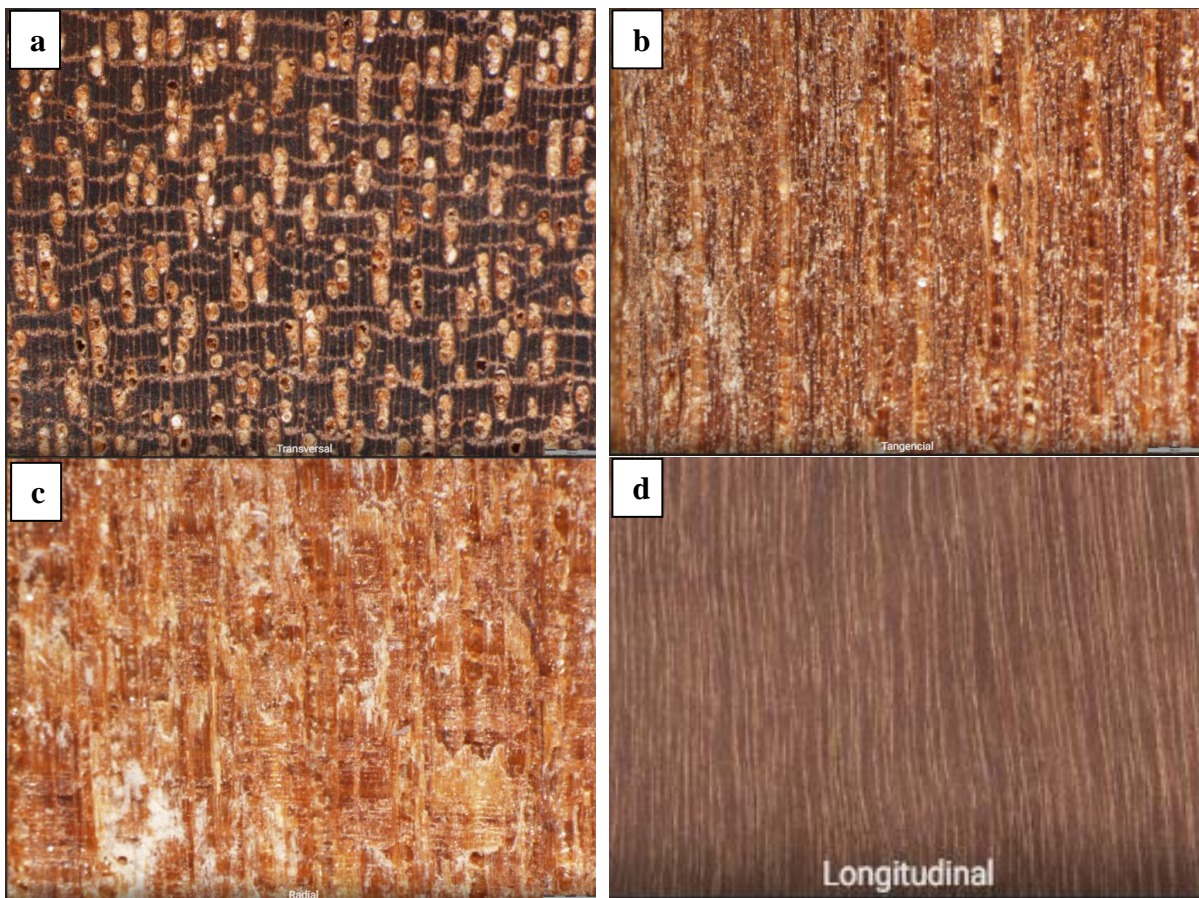


Figura 2. Anatomia macroscópica de *Manilkara bidentata* (A.DC.) A. Chev. **a)** Seção transversal (aumento 10x); **b)** Face tangencial (10x); **c)** Face radial (10x); **d)** Superfície longitudinal (sem aumento) (Fonte: CORADIN et al, 2010).

3.4.3. *Bowdichia nitida* Spruce ex Benth. (Sucupira-preta)

A madeira de sucupira-preta ilustrada na Figura 3, pertence à família Fabaceae, ocorre na Amazônia, e não está incluída na lista de espécies com risco de extinção de acordo com a lista oficial de espécies da flora brasileira. A secagem é moderada ao ar livre e para secadoras

convencionais. Possui tendência a leves empenamentos e pouca incidência de rachaduras de topo e de superfície (ANDRADE & JANKOWSKY, 2015).

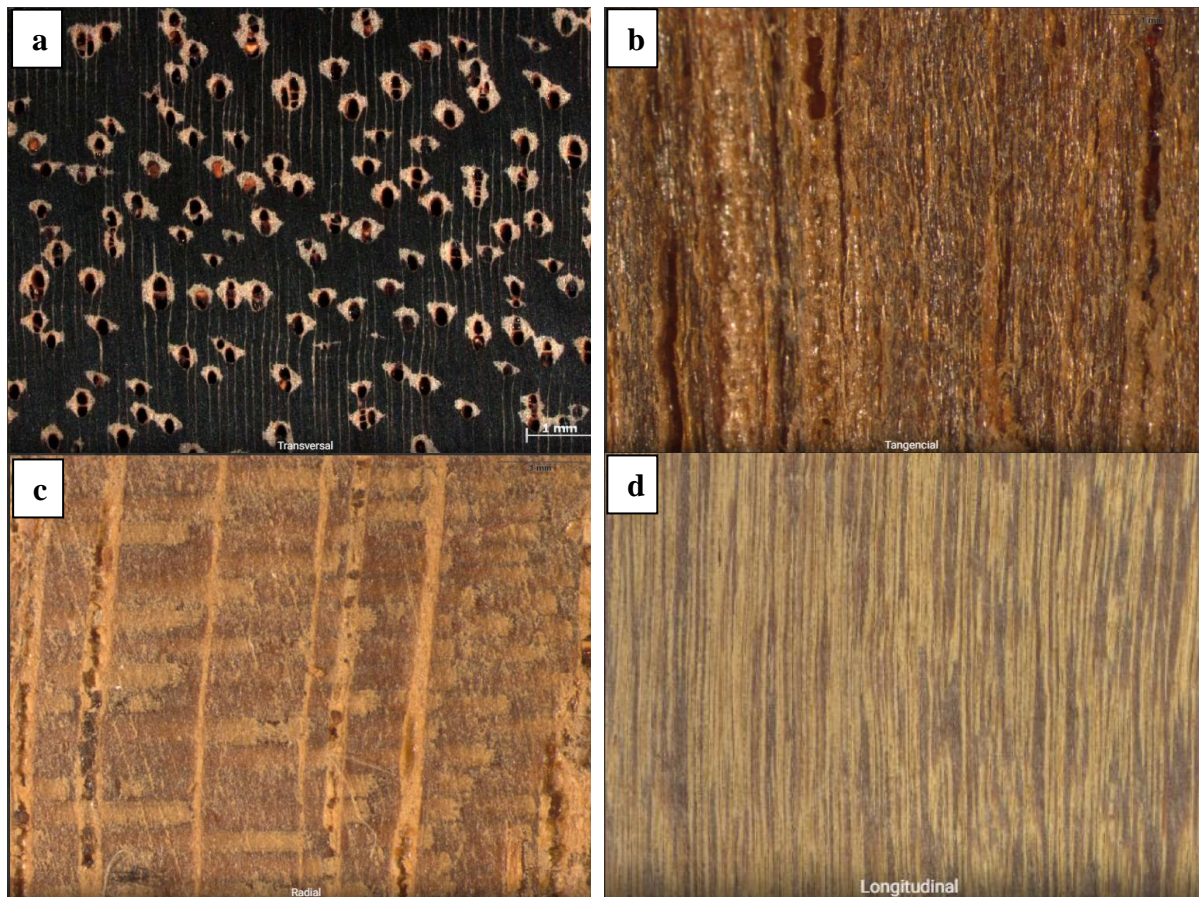


Figura 3. Anatomia macroscópica de *Bowdichia nitida* Spruce ex Benth. **a)** Seção transversal (aumento 10x); **b)** Face tangencial (10x); **c)** Face radial (10x); **d)** Superfície longitudinal (sem aumento) (Fonte: CORADIN et al, 2010).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Local de realização

O trabalho foi realizado na área de Secagem de Madeira e de Anatomia e Morfologia do Laboratório de Produtos Florestais – LPF do Serviço Florestal Brasileiro – SFB, em Brasília/DF.

4.2. Escolha das espécies e confecção das amostras

Foram utilizadas três espécies de madeiras do Projeto de Pisos de Madeira Sustentável (PIMADS), executado pela Associação Nacional de Produtores de Pisos de Madeira – ANPM, em parceria com o LPF e Embrapa, com recursos da ITTO (Organização Internacional de Madeiras Tropicais). Foram selecionadas madeiras com massa específica de média a alta e com propensão a defeitos. As espécies escolhidas foram *Lecythis poiteaui* O. Berg. (Jarana-amarela) com massa específica básica de 0,86 g/cm³, *Manilkara bidentata* (A.DC.) A. Chev. (Maparajuba) e *Bowdichia nitida* Spruce (Sucupira-preta) ambas com massa específica básica de 0,80 g/cm³.

4.3. Confecção e numeração das amostras

As amostras selecionadas foram confeccionadas seguindo a metodologia simplificada de acordo com Jankowsky (2009), para indicação de programas de secagem. Nessa proposta são sugeridas quatro dimensões diferentes de amostras diferentes como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Dimensões de amostras propostas por Jankowsky (2009).

Tipo da amostra	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)
A	20	100	200
B	15	75	150
C	10	50	100
D	5	50	100

As amostras foram confeccionadas seguindo o tipo C da Tabela 1, considerado o tamanho mais adequado para o estudo com amostras reduzidas. Seguindo esse parâmetro foram preparadas 15 amostras para cada árvore, sendo 3 árvores por espécie, totalizando 45 amostras por espécie. Considerando as três espécies estudadas, foram confeccionadas um total de 135 amostras.

Para numeração das amostras atribuiu-se uma letra para cada espécie, da seguinte forma: jarana-amarela (N), maparajuba (G) e sucupira-preta (I). Em seguida três numerações foram designadas, a primeira correspondendo ao indivíduo, a segunda à numeração da tábua e a terceira ao número da amostra, por exemplo: N3-3-2, que corresponde a um indivíduo da espécie de jarana-amarela, da árvore 3, da tábua 3 e da amostra 2.

4.4. Obtenção dos parâmetros anatômicos

Com as amostras ainda úmidas, foram retirados fragmentos de madeira de 5 amostras por espécie por tratamento para serem levadas à anatomia e preparadas em lâminas temporárias para medição de vasos e fibras. As amostras foram acondicionadas em frascos de vidro que foram identificados como descrito em 4.3.

Para preparação do dissociado, utilizou-se o método de Franklin (1945), na qual os fragmentos longitudinais de madeira são imersos em solução de ácido acético glacial ($C_2H_4O_2$) P.A. e peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 30% P.A., P.M 34,01, classe 5.1 em proporção 1:1 conforme Figura 4.



Figura 4. Fragmentos imersos em solução Franklin

Após imersão, os frascos de vidro com as lascas foram armazenados em estufa à aproximadamente 60°C por aproximadamente 48 horas ou até que as fibras estivessem

totalmente dissociadas. Após o período de dissociação, as amostras foram armazenadas em álcool etílico diluído a 50% para fim de conservação. Para análise, os fragmentos foram corados com safranina e montados em lâminas temporárias com glicerina para possível medição microscópica. Para medição dos elementos anatômicos foi utilizado um microscópio óptico (Olympus BH-2) com câmera digital de mesma marca e objetiva de 40X. Essa etapa foi realizada antes e após a secagem para verificar se os elementos analisados apresentaram diferença estatística nas medições.

4.5. Secagem artificial das amostras

As amostras foram secas de acordo com os tratamentos definidos, previamente, para cada amostra. Antes de serem levadas à estufa, as amostras foram organizadas em bandejas de alumínio de acordo como ilustrado pela Figura 5, de forma que cada espécie ocupasse uma bandeja da estufa.



Figura 5. Disposição das amostras na bandeja de secagem.

Buscando aprimorar o método de secagem desenvolvido no trabalho, as amostras foram colocadas sobrepostas por pequenos tabiques de madeira como mostra a Figura 6, para que a circulação do ar na câmara de secagem pudesse ser o mais homogênea possível em cada amostra, na qual nenhuma das superfícies da amostra se encontra totalmente em contato com a prateleira da estufa.



Figura 6. Amostras em tabiques utilizados para suporte.

Durante a secagem, foi realizado monitoramento da massa das amostras para que elas pudessem ser retiradas da estufa o mais próximo do teor de umidade de 10%. Após as amostras se encontrarem secas (massa constante), ou seja, em torno da massa estimada anteriormente a 10%, foram obtidos os parâmetros: teor de umidade final; intensidade, frequência e dimensionamento dos defeitos resultantes. Para estimativa do teor de umidade final utilizou-se a Equação 1:

$$TU = \frac{M}{M_s} - 1 \quad (1)$$

Em que:

TU - teor de umidade das amostras em porcentagem;

M – massa úmida em gramas;

Ms – massa seca em estufa até massa constante em gramas.

Para obter a massa das amostras a um teor de umidade de 10%, foi realizado um teste piloto utilizando-se de três amostras sobrantes de cada espécie. A partir do ponto que a massa dessas amostras permaneceu constante, considerou-se que elas mesmas atingiram 10% de umidade. Desta forma, realizando uma média das três amostras, obteve-se a massa final aproximada das amostras em um teor de 10% de umidade nos tratamentos.

4.6. Avaliação dos defeitos na secagem artificial

Para acompanhamento dos defeitos, as amostras foram avaliadas visualmente antes da secagem, os defeitos encontrados foram anotados em planilha de Microsoft Office Excel 365 para que não ocorresse erros na avaliação de defeitos pós-secagem.

Após submetidas a secagem, as amostras foram marcadas com dois riscos de caneta (verde e vermelho), em uma das quinas da madeira, para que possibilitasse avaliar a frequência e proporção de rachaduras na amostra. Utilizou-se ainda o método de transparência, feito em papel reforçado transparente com quadriculado feito com caneta permanente de quadrados de 1cm x 1cm que ocupassem toda a região da amostra, totalizando 50 quadrados, para auxiliar na quantificação dos defeitos do tipo rachaduras, esse método pode ser visualizado na Figura 7.

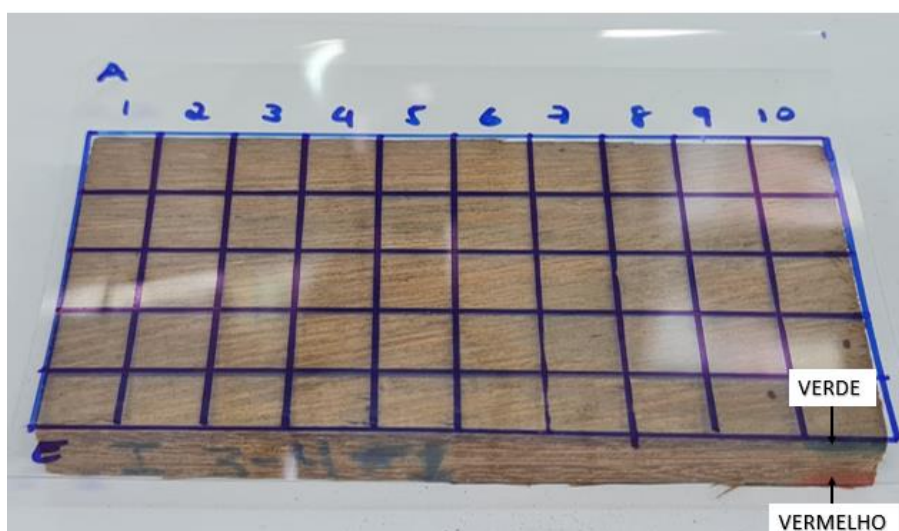


Figura 7. Método de transparência para avaliação de rachaduras

No que tange ao comprimento das rachaduras, para contabilizar essa variável foi utilizado um paquímetro digital (0,01mm) acoplado por cabo a um computador para quantificação de forma automática. Mediu-se comprimento de rachaduras de topo e rachaduras superficiais encontradas nas faces verde e vermelha demarcadas com caneta nas laterais da amostra no canto direito para facilitar a diferenciação das faces.

Já os defeitos do tipo empenamento, verificou-se presente, encanoamento e torcimento. Esses dois tipos de defeitos foram medidos como variáveis contínuas com um instrumento de calibrador de folga de 20 lâminas (0,05mm a 1,00mm), para avaliar o tamanho desses defeitos, a medição para encanoamento foi feita conforme esquematizado na Figura 8.

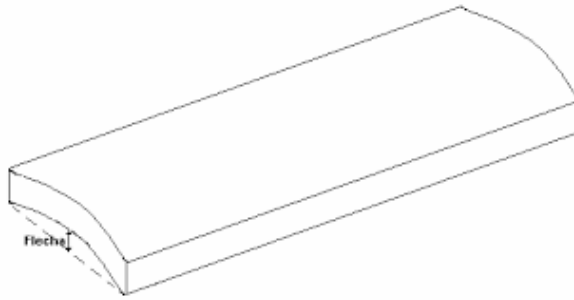


Figura 8. Esquema utilizado para medição de encaçamento. Fonte: ROCHA (2000).

Para torcimento, seguiu-se a mesma linha de raciocínio da medição de encaçamento, o esquema de medição pode ser visualizado na Figura 9.

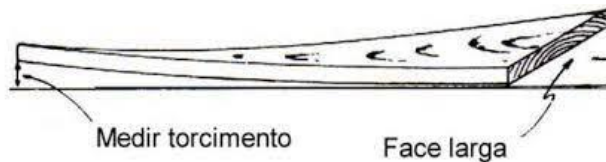


Figura 9. Esquema utilizado para medição de torcimento. Fonte: SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU (1994).

4.7. Análise anatômica

Na análise de dissociado foram medidas o comprimento, o diâmetro da fibra e o diâmetro do lume de 30 fibras e comprimento de 10 vasos por amostra. Ao todo foram analisadas 45 amostras com 2 repetições, antes e após a secagem, todas as medidas foram tomadas em unidade de micrômetros. A espessura da parede celular da fibra foi determinada matematicamente pela diferença entre a largura da fibra e o diâmetro do lume, conforme apresentado na Equação 2.

$$\text{Fração de parede} = \frac{D_f - D_l}{2} \quad (2)$$

Sendo que:

D_f – diâmetro total da fibra, em μm;

D_l – diâmetro do lume, em μm.

4.8. Análise estatística

Para a análise estatística dos dados e a correlação entre os dados obtidos na secagem artificial e na anatomia foi utilizado o método de análise dos componentes principais (PCA). Essa análise se refere a uma técnica de estatística multivariada, na qual um conjunto de variáveis originais são transformadas em um novo conjunto de variáveis de mesma dimensão, ou seja, os componentes principais (VARELLA, 2008).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Secagem das amostras e defeitos

Os resultados da secagem das amostras em três diferentes temperaturas evidenciaram a ocorrência de rachaduras de topo, rachadura superficial, torcimento, encanoamento e encurvamento. Os dados quantitativos desses defeitos são apresentados na Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 2. Valores brutos dos defeitos da secagem artificial para a espécie jarana-amarela.

(continua)

Amostra	RT seca¹ (quantidade/amostra)	RS seca² (quantidade/amostra)	Torcimento (mm)	Encanoamento (mm)	Encurvamento (mm)
N3-3-2-60	3	2	-	-	-
N2-1-1-60	2	-	-	-	-
N1-1-1-60	2	-	0,50	-	-
N3-2-1-60	-	-	2,12	-	-
N2-2-2-60	5	-	0,20	-	-
N1-4-1-60	5	-	-	-	-
N3-1-1-60	1	-	0,30	-	-
N2-5-2-60	1	-	0,50	-	0,50
N1-3-3-60	-	-	-	-	-
N3-4-4-60	3	4	1,63	0,30	-
N2-4-1-60	1	-	-	-	0,80
N1-2-2-60	3	3	0,30	-	-
N3-4-1-60	2	2	-	0,30	-
N2-4-3-60	-	-	0,15	-	-
N1-6-2-60	-	-	-	-	-
N1-2-3-80	1	3	0,20	0,20	-
N2-3-1-80	-	-	-	-	-
N3-2-2-80	1	-	1,90	0,20	-
N1-5-1-80	-	-	0,30	-	-
N2-5-3-80	-	-	-	-	-
N3-3-3-80	3	-	0,70	-	-
N1-1-2-80	1	2	0,30	-	-
N2-3-2-80	-	1	-	-	-
N3-6-1-80	-	-	0,90	-	-
N1-5-2-80	1	1	0,70	-	-
N2-5-1-80	2	-	-	-	-
N3-4-2-80	-	-	-	0,25	-
N1-2-1-80	-	-	1,80	-	0,25

¹ Rachadura de topo das amostras secas

² Rachadura superficial de amostras secas

Amostra	RT seca¹ (quantidade/amostra)	RS seca² (quantidade/amostra)	Torcimento (mm)	Encanoamento (mm)	Encurvamento (mm)
N2-1-3-80	-	-	0,20	-	-
N3-1-2-80	1	-	0,40	-	-
N3-1-3-100	5	-	0,60	-	-
N2-1-2-100	10	-	-	-	-
N1-3-1-100	4	-	0,30	0,20	-
N3-4-3-100	5	-	0,20	-	-
N2-2-1-100	-	1	0,20	-	-
N1-6-1-100	2	-	-	-	-
N3-3-1-100	1	-	1,15	-	-
N2-4-2-100	-	-	2,26	-	-
N1-4-2-100	3	-	0,90	-	-
N3-3-4-100	-	-	0,50	-	-
N2-1-4-100	-	-	-	-	-
N1-1-3-100	2	-	-	-	-
N3-6-2-100	-	-	-	-	-
N2-2-3-100	3	-	0,60	-	-
N1-3-2-100	2	-	0,15	-	-

Tabela 3. Valores brutos dos defeitos da secagem artificial para a espécie sucupira-preta.

(continua)

Amostra	RT seca (quantidade/amostra)	RS seca (quantidade/amostra)	Torcimento (mm)	Encanoamento (mm)	Encurvamento (mm)
I3-1-3-60	3	-	-	-	-
I2-3-3-60	1	-	-	-	-
I1-4-1-60	2	-	-	-	-
I3-6-2-60	10	-	-	-	-
I2-3-2-60	2	-	-	-	-
I1-3-2-60	4	-	-	-	-
I3-2-2-60	3	-	-	-	-
I2-2-3-60	4	-	-	-	-
I1-2-3-60	1	-	-	-	-
I3-4-1-60	5	-	-	-	-
I2-1-4-60	5	-	-	-	-
I1-1-4-60	1	-	-	-	-
I3-1-1-60	6	-	-	-	-
I2-1-1-60	3	-	-	-	-
I1-1-1-60	2	-	-	-	-
I1-4-2-80	-	-	0,2	-	-
I2-4-2-80	-	-	-	-	-
I3-2-3-80	1	-	0,91	-	-
I1-3-3-80	-	-	0,15	-	-
I2-4-1-80	-	-	0,5	-	-
I3-4-2-80	-	-	4,09	-	-
I1-2-4-80	1	-	0,8	-	-
I2-2-4-80	1	-	-	0,15	-

Amostra	RT seca (quantidade/amostra)	RS seca (quantidade/amostra)	Torcimento (mm)	Encanoamento (mm)	Encurvamento (mm)
I3-3-2-80	1	-	0,6	-	-
I1-2-1-80	-	-	0,6	-	-
I2-2-1-80	-	-	0,85	-	-
I3-5-1-80	-	-	0,5	-	-
I1-1-2-80	-	-	0,2	-	-
I2-1-2-80	-	-	-	-	-
I3-2-1-80	-	-	1,25	-	-
I3-3-3-100	2	-	-	-	-
I2-4-3-100	2	-	-	-	-
I1-4-3-100	1	-	-	-	-
I3-5-2-100	4	-	1,84	-	-
I2-3-4-100	1	-	-	-	-
I1-3-4-100	-	-	-	-	-
I3-1-2-100	-	-	-	-	-
I2-4-4-100	1	-	-	-	-
I1-3-1-100	1	-	0,4	-	-
I3-6-1-100	4	-	2,19	-	-
I2-2-2-100	3	-	-	-	-
I1-2-2-100	3	-	0,4	-	-
I3-3-1-100	2	-	0,3	-	-
I2-1-3-100	2	-	0,2	-	-
I1-1-3-100	1	-	0,3	-	-

Tabela 4. Valores brutos dos defeitos da secagem artificial para a espécie maparajuba.

(continua)

Amostra	RT seca (quantidade/amostra)	RS seca (quantidade/amostra)	Torcimento (mm)	Encanoamento (mm)	Encurvamento (mm)
G3-4-1-60	-	-	-	-	-
G2-3-3-60	3	-	-	0,25	-
G1-4-1-60	5	-	-	-	-
G3-1-1-60	1	-	-	-	-
G2-4-2-60	5	-	-	-	-
G1-2-3-60	4	-	-	-	-
G3-4-2-60	-	-	-	-	-
G2-3-1-60	4	-	-	0,2	-
G3-2-3-60	-	-	-	-	-
G2-6-1-60	6	-	-	-	-
G1-3-1-60	2	-	-	-	-
G3-7-1-60	-	-	-	-	-
G2-3-2-60	3	-	-	-	-
G1-5-3-60	5	-	-	-	-
G1-5-4-60	5	-	-	-	-
G1-5-1-80	4	-	-	0,2	-
G2-2-1-80	2	-	0,3	-	-
G3-6-2-80	-	-	0,15	-	-

Amostra	RT seca (quantidade/amostra)	RS seca (quantidade/amostra)	Torcimento (mm)	Encanoamento (mm)	Encurvamento (mm)
G1-1-5-80	1	-	0,25	-	-
G2-2-2-80	-	-	0,15	-	-
G3-1-2-80	-	-	0,3	-	-
G1-1-2-80	-	-	0,5	-	-
G2-1-3-80	-	-	-	0,15	-
G3-1-3-80	-	-	-	-	-
G1-2-1-80	1	-	0,25	-	-
G2-6-2-80	2	-	0,3	-	-
G3-5-1-80	-	-	-	0,15	-
G1-2-3-80	-	-	0,2	-	-
G2-5-1-80	-	-	0,15	-	-
G3-2-1-80	-	-	-	-	-
G3-3-1-100	-	-	-	-	-
G2-2-3-100	6	-	0,3	-	-
G1-5-2-100	3	-	0,15	-	-
G3-5-2-100	1	-	-	-	-
G2-4-1-100	7	-	0,15	-	-
G1-3-2-100	-	-	-	-	-
G3-3-2-100	2	-	0,2	-	-
G2-1-2-100	-	-	-	-	-
G1-2-2-100	6	-	-	-	-
G3-6-1-100	2	-	-	-	-
G2-5-2-100	-	-	-	-	-
G1-1-4-100	3	-	0,3	-	-
G3-7-2-100	-	-	-	-	-
G2-1-1-100	4	-	0,2	-	-
G1-1-1-100	-	-	-	-	-

Os resultados mostram que com o aumento da temperatura a dimensão dos defeitos também aumentou. Vermaas (1998) constatou que rachaduras de topo e de superfície aumentaram com o aumento da temperatura de secagem. A madeira jarana-amarela foi a que apresentou maior percentual de defeitos e dimensões de defeitos (Figura 10) em relação as outras duas estudadas. Essa espécie foi classificada como pertencente ao Grupo II de secagem convencional por Andrade e Jankowsky (2015), os quais recomendam uma temperatura inicial de 40° C relatando a facilidade no aparecimento de defeitos. Tal fato pode ser corroborado quando analisados os tempos de secagem para as três espécies na Tabela 5.



Figura 10. Defeitos na secagem da espécie jarana-amarela no interior da estufa.

Tabela 5. Tempos e temperaturas de secagem para as três espécies de madeiras estudadas.

Espécies	Tempo de secagem		
	60°C	80°C	100°C
sucupira-preta	6hr00	8hr10	4hr30
maparajuba	13hr50	14hr10	9hr00
jarana-amarela	39hr30	16hr00	10hr00

A espécie de jarana-amarela apresentou o maior tempo de secagem dentre os três selecionados, sendo que a secagem a 60°C levou aproximadamente 40 horas para alcançar o teor de umidade aproximado de 10%, indicando uma maior dificuldade na sua secagem dessa espécie que pode ter influenciado no aparecimento do número alto de defeitos.

Ao contrário do esperado, a espécie sucupira-preta, apresentou um aumento no tempo de secagem na temperatura de 80°C. Este fenômeno pode ter sido ocasionado devido a falhas no controle do monitoramento das massas, já que a estufa não permaneceu ligada constantemente durante todos os dias. Diante desse motivo, o tempo de secagem não foi um parâmetro utilizado para relacionar os defeitos e a anatomia.

5.2. Parâmetros anatômicos de fibras e vasos

A análise anatômica não pode abarcar todo o conjunto de amostras inicialmente estabelecido, de 135 amostras. As medições anatômicas demandaram um tempo maior do que o previsto já que a análise de fibras e vasos contemplaram um conjunto de 100 medições por amostra, englobando os parâmetros de comprimento de vaso, comprimento de fibra, diâmetro de fibra e diâmetro de lume. O total de medições realizadas para as 45 amostras se mostrou representativo para as espécies.

Os resultados da análise anatômica para as amostras verdes e secas à 60°C, 80°C e 100°C são apresentados, respectivamente, na Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8.

Tabela 6. Valores médios dos parâmetros anatômicos comprimento e diâmetro de fibra, diâmetro do lume, fração parede e comprimento do vaso para o tratamento de 60°C.

Amostra	Amostras verdes sujeitas ao tratamento de 60°C (µm)					Amostras secas pelo tratamento de 60°C (µm)				
	Comprimento de fibra	Diâmetro de fibra	Diâmetro de lume	Fração de parede	Comprimento de vaso	Comprimento de fibra	Diâmetro de fibra	Diâmetro de lume	Fração de parede	Comprimento de vaso
N1-6-2	1486,46	23,07	6,81	16,26	784,87	1507,41	20,14	7,72	12,41	468,27
N2-4-3	1409,68	20,75	8,75	12	514,49	1442,77	18,76	7,79	10,97	428,13
N3-4-1	1468,19	22,06	8,65	11,11	626,78	1532,32	20,4	7,91	12,5	451,08
N1-2-2	1480,91	24,02	11,11	12,91	628,05	1552,98	22,75	8,79	13,96	481,5
N2-5-2	1366,73	22,42	10,77	11,66	547,98	1486,02	22,32	7,94	14,38	484,31
I1-1-1	1445,2	21,52	9,03	12,49	406,71	1320,41	20,76	8,56	12,2	400,95
I2-1-1	1406,05	22,44	10,24	10,24	406,68	1346,08	20,55	7,86	12,7	336,74
I3-1-1	1355,61	21,47	9,75	11,73	367,49	1289,94	21,13	8,06	13,07	331,97
I1-2-3	1398,41	21,17	10,04	11,13	416,85	1415,02	19,17	8,04	11,13	351,21
I2-2-3	1524,7	20,69	8,97	11,71	346,21	1292,94	21,08	7,76	13,32	305,05
G1-5-3	1402,34	26,67	12,77	13,9	598,39	1209,93	25,93	11,37	14,56	589,47
G2-3-2	1302,54	25,19	9,75	15,44	669,31	1304,91	22,75	9,17	13,58	636,58
G3-7-1	1327,05	27,85	11,1	16,75	618,63	1270,16	22,73	8,94	13,79	522,05
G1-3-1	1211,49	27,24	11,77	15,47	562,12	1229,76	24,03	9,57	14,47	504,9
G2-6-1	1324,6	29,46	11,84	17,62	581,41	1476,94	23,49	9,14	14,35	639,25

Tabela 7. Valores médios dos parâmetros anatômicos comprimento e diâmetro de fibra, diâmetro do lume, fração parede e comprimento do vaso para o tratamento de 80°C.

Amostra	Amostras verdes sujeitas ao tratamento de 80°C (µm)					Amostras secas pelo tratamento de 80°C (µm)				
	Comprimento de fibra	Diâmetro de fibra	Diâmetro de lume	Fração de parede	Comprimento de vaso	Comprimento de fibra	Diâmetro de fibra	Diâmetro de lume	Fração de parede	Comprimento de vaso
N1-1-2	1571,35	26,54	11,42	15,12	597,96	1579,35	22,86	7,95	14,91	459,98
N2-3-1	1439,20	23,63	9,95	13,68	559,38	1485,14	20,73	6,92	13,81	433,26
N3-6-1	1468,92	22,96	11,57	11,39	520,16	1366,82	20,96	7,89	13,07	463,58
N1-5-1	1637,88	22,77	10,76	12,01	575,61	1296,82	22,22	8,07	14,15	495,86
N3-2-2	1561,68	23,45	10,92	12,53	526,16	1412,15	21,84	6,88	14,95	436,44
I1-4-2	1459,59	23,96	10,02	13,94	364,83	1389,02	21,56	9,83	11,73	344,47
I2-4-2	1295,78	22,20	9,67	12,53	372,11	1740,25	21,26	9,55	11,72	316,44
I3-2-3	1470,77	20,37	9,77	10,60	350,08	1250,35	21,93	10,09	11,84	321,47
I3-4-2	1421,34	21,88	9,56	12,32	320,57	1317,75	21,47	9,36	12,11	306,81
I1-3-3	1519,69	26,27	11,50	14,77	392,41	1407,85	20,77	9,47	11,30	346,23
G1-2-3	1345,07	30,21	13,35	16,86	661,72	1140,59	24,21	9,59	14,622	579,71
G2-5-1	1380,18	24,28	11,34	12,94	669,51	1378,98	23,27	8,08	15,19	455,43
G3-2-1	1300,26	23,95	12,64	11,30	560,34	1211,07	21,78	7,91	13,87	522,23
G3-5-1	1323,03	24,91	11,44	13,47	560,44	1260,67	23,07	7,81	15,26	604,74
G2-1-3	1486,00	25,11	12,63	12,48	601,34	1425,28	22,44	8,35	14,10	633,25

Tabela 8. Valores médios dos parâmetros anatômicos comprimento e diâmetro de fibra, diâmetro do lume, fração parede e comprimento do vaso para o tratamento de 100°C.

Amostra	Amostras verdes sujeitas ao tratamento de 100°C (µm)					Amostras secas pelo tratamento de 100°C (µm)				
	Comprimento de fibra	Diâmetro de fibra	Diâmetro de lume	Fração de parede	Comprimento de vaso	Comprimento de fibra	Diâmetro de fibra	Diâmetro de lume	Fração de parede	Comprimento de vaso
N1-3-1	1667,17	26,10	10,95	15,15	591,62	1659,68	22,78	9,80	12,98	408,06
N2-1-2	1539,17	22,42	9,67	12,75	591,05	1571,94	21,81	8,11	13,70	391,87
N3-1-3	1530,32	21,67	9,34	12,33	561,87	1425,23	21,15	7,26	13,89	426,30
N2-2-1	1239,77	20,99	9,66	11,33	434,16	1320,93	22,98	8,74	14,24	302,64
N3-3-4	1325,30	23,37	9,77	13,61	481,37	1257,35	20,80	6,34	14,46	402,77
I1-4-3	1455,73	21,35	9,03	12,32	349,50	1364,17	19,18	7,95	11,23	336,76
I2-3-4	1291,30	21,56	9,50	12,05	347,13	1395,52	21,83	8,03	13,80	347,34
I3-5-2	1233,69	21,86	9,86	12,00	340,90	1276,45	21,75	7,76	13,99	304,86
I3-6-1	1280,54	22,10	9,97	12,13	328,19	1283,62	19,87	6,71	13,16	313,75
I2-2-2	1454,91	20,19	9,21	10,99	320,86	1373,53	20,80	7,82	12,98	285,82
G1-1-4	1242,92	25,59	11,57	14,02	570,68	1139,34	24,01	10,29	13,72	547,65
G2-2-3	1390,82	23,41	9,77	13,64	749,87	1372,22	23,13	9,55	13,58	496,29
G3-3-1	1257,78	22,60	8,82	13,77	566,72	1251,27	21,82	9,56	12,27	476,61
G3-6-1	1309,43	23,79	10,19	13,60	561,97	1303,40	23,62	9,17	14,45	395,94
G2-4-1	1491,07	24,26	10,06	14,20	722,48	1391,42	23,23	8,71	14,52	492,30

Para a espécie de sucupira-preta, os valores encontrados corroboram com os observados na literatura. De acordo com Soares (2014) para a espécie sucupira-preta, os vasos podem variar de 280 a 510 μm , já para as fibras os valores de comprimento variaram de 1.020 a 2.360 μm ; espessura da parede de 3,92 a 11,86 μm , apenas os valores encontrados para largura do lume divergiram dos valores encontrados no estudo de Soares (2014), onde essa variável variou de 0,84 a 4,76 μm .

Espécie de mesmo gênero da maparajuba foi descrita por Ribeiro (2017) que relatou para a espécie *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev (maçaranduba) vasos de comprimento médio de 115,85 μm , fibras com comprimento médio de 1690 μm , largura de 24,43 μm , parede espessas de 10,78 μm e lumes pequenos de 2,88 μm . Os dados encontrados para a espécie de mesmo gênero neste estudo divergiram dos dados encontrados na literatura, justificados pela ausência de valores exatos para a espécie trabalhada.

A ausência de dados microscópicos para a espécie jarana-amarela não permitiu a comparação e validação dos resultados com outros estudos.

Após análise de variação, entre os valores das amostras secas e os valores das amostras verdes menos 1, foi observada a variação entre essas amostras. Os percentuais observados foram baixos, em torno de 40% de variação para mais ou para menos, em apenas 2 amostras de um total de 45 amostras. Os resultados mostraram ainda, que o comprimento de vaso representou o parâmetro anatômico que mais sofreu variação entre as amostras verdes e secas. Este elemento anatômico tem papel fundamental no fluxo de líquidos na madeira e diversos estudos relatam o efeito positivo das dimensões deste elemento nesse fluxo (Engelund et al., 2013; Kedrov, 2012; Siau, 1971; Sperry et al., 2006).

Outro efeito observado nas medições anatômicas, foi o visual obtido pelo microscópio. A espécie de maparajuba apresentou grande quantidade de elementos de vasos, como mostra a Figura 11, em geral com mais de 10 vasos por lâmina (efeito quantitativo).

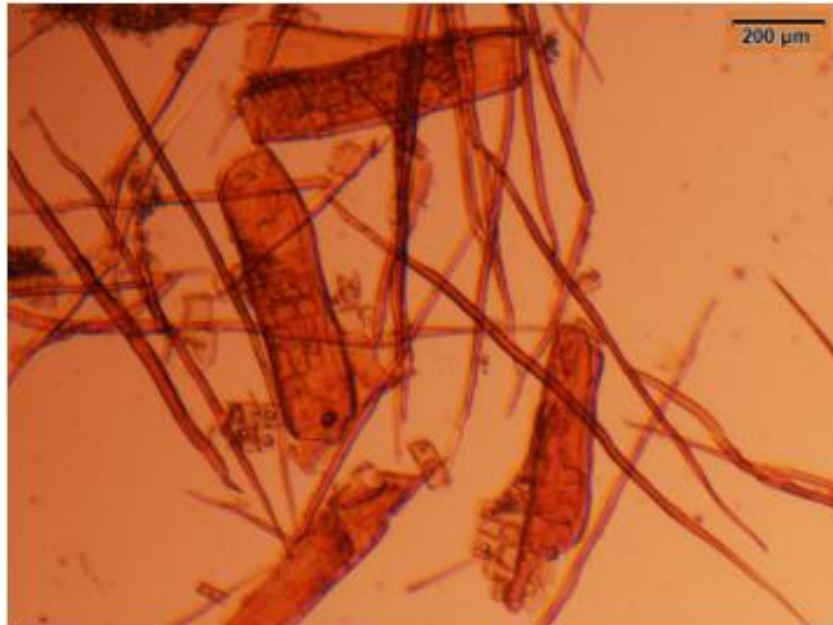


Figura 11. Lâmina de dissociado de maparajuba; amostra G3-6-1, com aumento de 4x.

Em geral, foi possível observar que as amostras verdes apresentavam elementos anatômicos mais íntegros do que as amostras secas, principalmente com relação as fibras. Após a secagem o número de fibras rompidas foi bastante alto, no entanto, este efeito não foi mensurado, apenas contemplado visualmente durante as medições.

5.3 Relação entre fibras e vasos e os defeitos da secagem

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada para as espécies cujos parâmetros anatômicos e de secagem foram contabilizados dentre as 45 amostras utilizadas para esta correlação. Inicialmente, a PCA foi realizada para todos os dados levantados pela secagem e anatomia, para que fosse possível realizar uma filtragem daqueles dados mais relevantes para a análise em questão. Posteriormente, foram filtrados os dados que apresentavam os maiores *loadings* para as componentes principais 1 e 2 e retirados, aqueles que pareciam prever a mesma coisa (sobrepunham) na PCA, bem como aqueles cujas medições de defeitos apareceram em uma quantidade reduzida de amostras. Essa filtragem foi realizada com base na literatura especializada, na qual não recomenda utilizar PCA quando são observados muitos *outliers*, ou seja, quando a matriz apresenta muitos zeros e dados ausentes, bem como em casos de variáveis pouco correlacionadas (HONGYU, 2015; REGAZZI, 2000).

Após filtragem dos dados, os defeitos de encanoamento e rachaduras superficiais foram retirados da PCA, por se apresentarem como *outliers*, juntamente dos parâmetros: comprimento total de rachadura de topo e comprimento médio de rachadura de topo os quais tornavam a

análise redundante, além de apresentarem baixos valores de *loadings*. O resultado da análise pode ser visualizado na Figura 12.

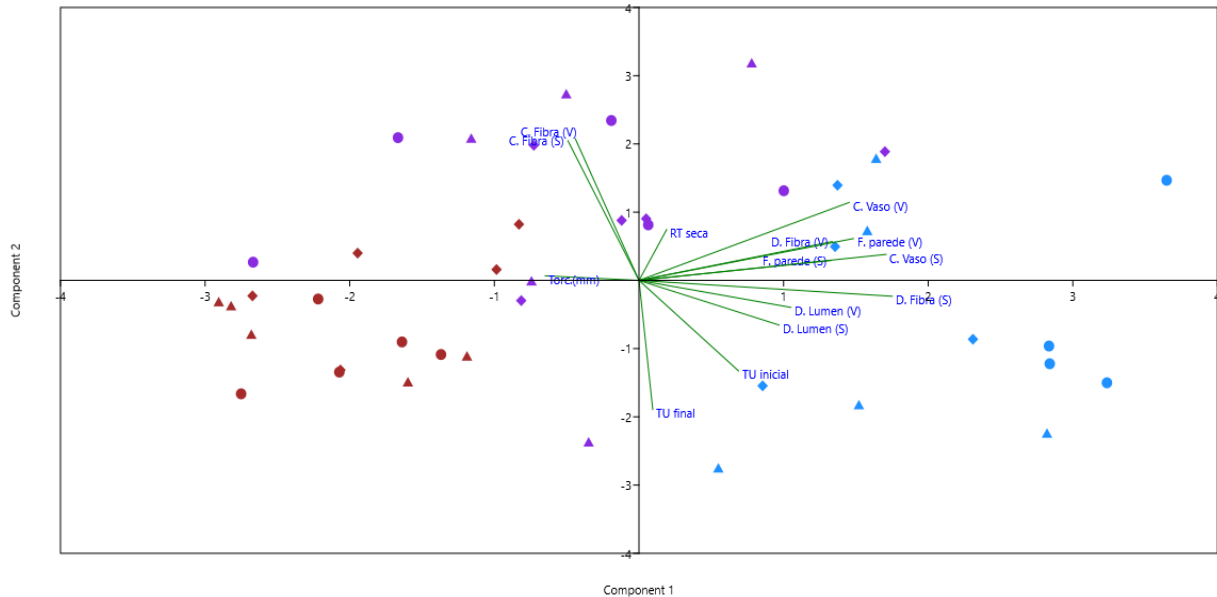


Figura 12. Análise de Componentes Principais (PCA), onde o tratamento de 60°C é representado pelo círculo, o tratamento de 80°C pelo losango e o tratamento de 100°C pelo triângulo. As espécies são representadas pelas cores: *Lecythis poiteaui* (roxo); *Manilkara bidentata* (azul) e *Bowdichia nitida* (vermelho).

Seguindo o método de Kaiser (KAISER, 1958) para selecionar as componentes principais (PC) que explicam a maior variação dos dados, foram consideradas aquelas $PC > 1$. De acordo com esse critério as seis primeiras PCs foram responsáveis por explicar 80,76% da variação total dos dados. Sendo que a PC1 e a PC2 juntas explicaram 45,59% da variação total, separadamente, corresponderam a 30,11% e 15,48%, respectivamente. Os dados da Figura 6 quando submetidos a uma elipse de 95% de confiança não possibilitaram uma separação por espécie ou por tratamento como mostra a Figura 13.

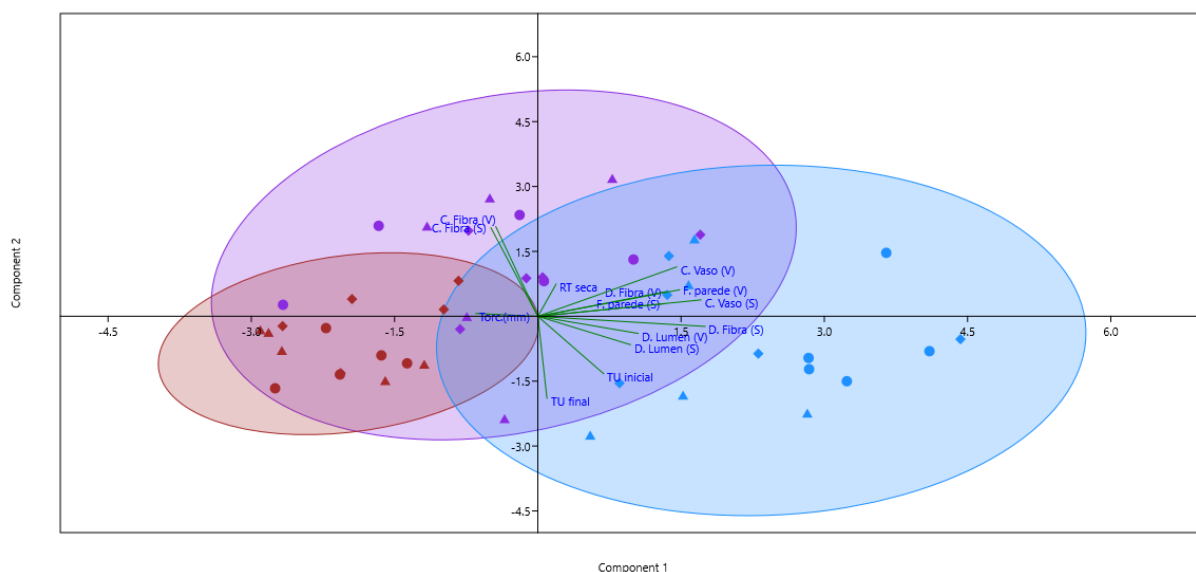


Figura 13. Elipse de 95% de confiança aplicado os dados da Figura 6, onde o tratamento de 60°C é representado pelo círculo, o tratamento de 80°C pelo losango e o tratamento de 100°C pelo triângulo. As espécies são representadas pelas cores: *Lecythis poiteauai* (roxo); *Manilkara bidentata* (azul) e *Bowdichia nitida* (vermelho)

A PCA não conseguiu discriminar totalmente as espécies. No entanto, a espécie sucupira-preta mostrou uma elipse bastante restrita à suas amostras. O defeito de torcimento foi a característica marcante nessa espécie, por ser o único parâmetro de defeito que se encontra dentro da elipse de confiança vermelha. De acordo com Jankowsky e Galina (2013) a espécie sucupira-preta apresenta pouca propensão a rachaduras de topo, corroborando com os resultados deste estudo. De acordo com os mesmos autores, as espécies jarana-amarela e maparajuba apresentam maior ocorrência de rachaduras, fato comprovado nas elipses de 95%, onde ambas apresentaram rachaduras de topo como características da espécie.

Foram realizadas mais três análise de PCA para os diferentes tratamentos de temperatura a fim de inferir informações mais específicas de cada tratamento. A Figura 14 e Figura 15 ilustram graficamente, respectivamente, a PCA para o tratamento de 60°C e a elipse de 95% de confiança para o tratamento de 60°C.

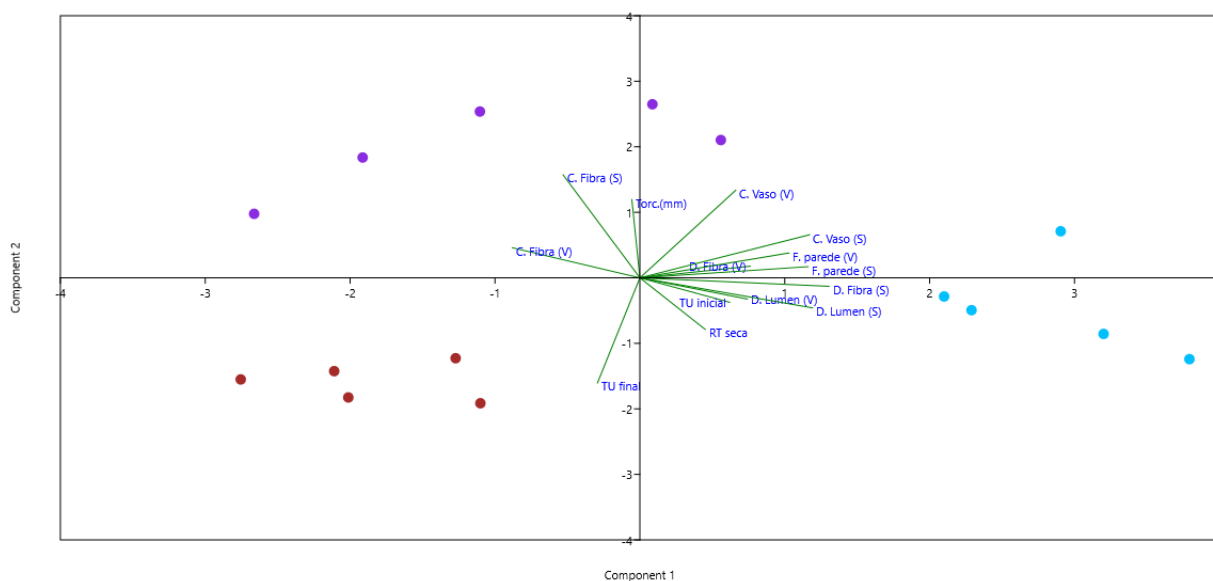


Figura 14. Análise de Componentes Principais (PCA) para o tratamento de 60°C, onde as espécies são representadas pelas cores: *Lecythis poiteau* (roxo); *Manilkara bidentata* (azul) e *Bowdichia nitida* (vermelho).

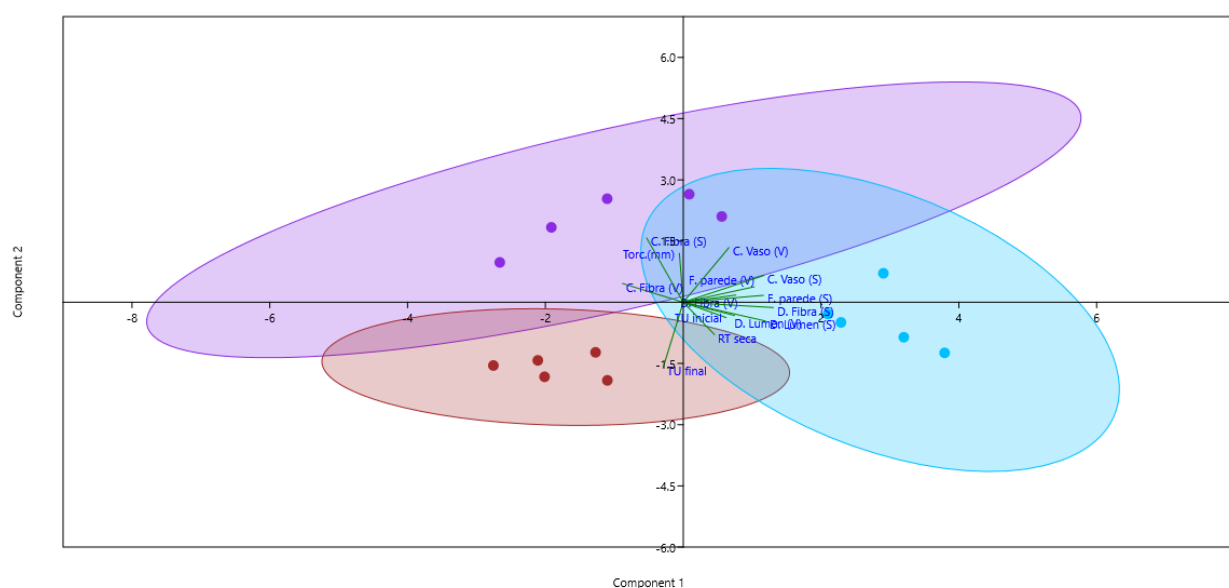


Figura 15. Elipse de 95% de confiança aplicada para os dados da Figura 8, onde as espécies são representadas pelas cores: *Lecythis poiteau* (roxo); *Manilkara bidentata* (azul) e *Bowdichia nitida* (vermelho).

As componentes principais 1 e 2 juntas representaram 57,23% da variação dos dados desse tratamento, e separadamente, 37,72% e 19,51%, respectivamente. A Figura 14 evidencia o maior valor de escore para o diâmetro de fibra seca, representado pela maior linha do gráfico e que influencia diretamente a espécie maparajuba. A mesma PCA mostra que o defeito de

torcimento foi influenciado pelos comprimentos de fibra seca e úmida, localizados no mesmo quadrante. No entanto esse mesmo defeito se localiza inversamente aos diâmetros de lume e de fibra que se relacionam positivamente com o defeito de rachadura de topo.

A Figura 15 mostra que o tratamento de 60°C diferenciou bem as três espécies, seus defeitos e suas características anatômicas envolvidas, observado pelas elipses que quase não se sobrepõem umas as outras. Possivelmente isso se deve a baixa temperatura utilizada (60°C) que suavizou o tratamento, propiciando menos defeitos e pouca alteração nos caracteres anatômicos analisados.

Jankowski et al. (2003) retrataram que baixas temperaturas, principalmente no início da secagem, possuem o potencial de suavizar o processo.

Os resultados da PCA para o tratamento de 80°C são apresentados na Figura 16 e na Figura 17.

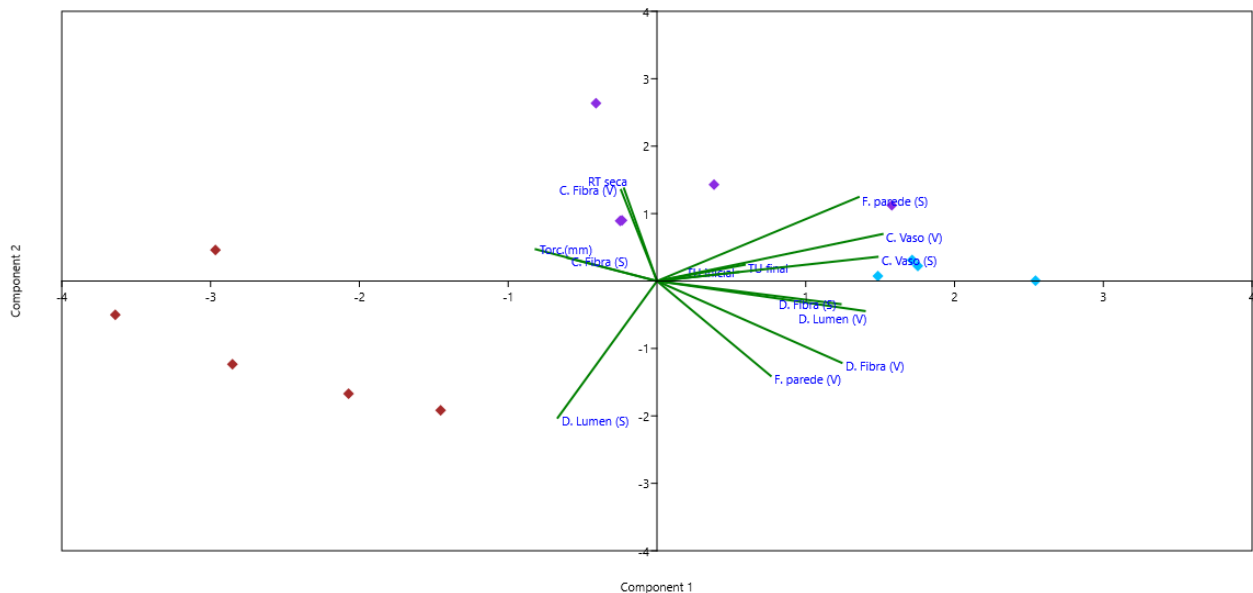


Figura 16. Análise de Componentes Principais (PCA) para o tratamento de 80°C, onde as espécies são representadas pelas cores: *Lecythis poiteaui* (roxo); *Manilkara bidentata* (azul) e *Bowdichia nitida* (vermelho).

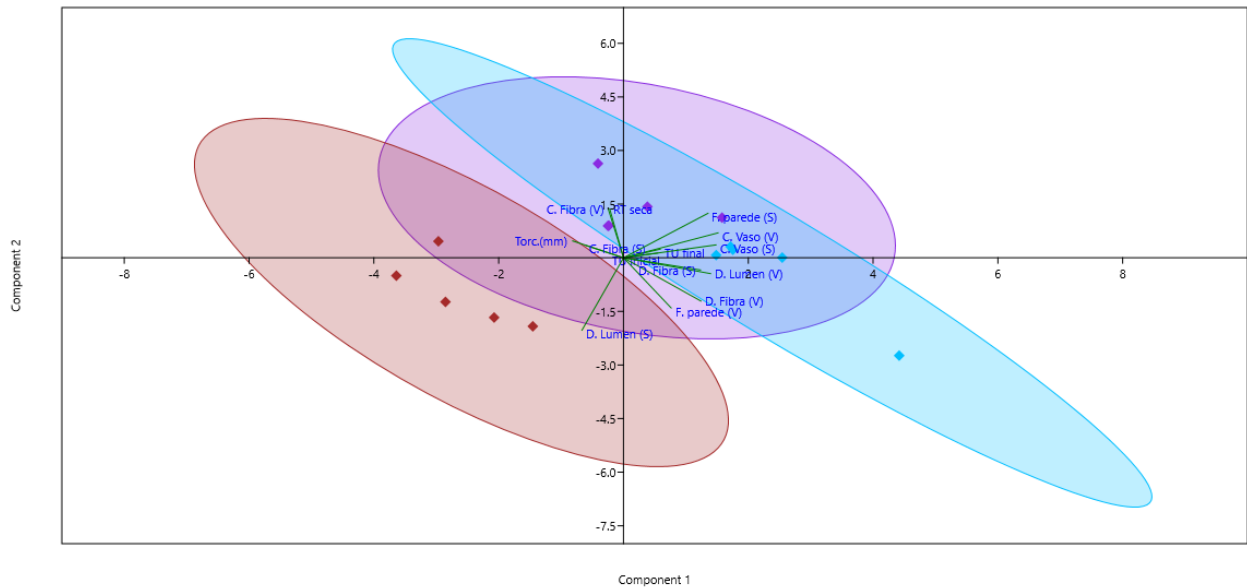


Figura 17. Elipse de 95% de confiança aplicada para os dados da Figura 10, onde as espécies são representadas pelas cores: *Lecythis poiteauii* (roxo); *Manilkara bidentata* (azul) e *Bowdichia nitida* (vermelho).

No tratamento de 80°C as componentes principais PC1 e PC2 juntas foram responsáveis por explicar 51,88% da variação do tratamento, e separadamente, explicaram 37,62% e 14,26%, respectivamente. O parâmetro de maior influência na PC1 foi o comprimento de vaso verde, enquanto na PC2 foi a fração de parede verde. A Figura 16, assim como na Figura 14 para o tratamento de 60°C, mostrou um efeito mais forte do comprimento de fibra, principalmente fibra das amostras secas, com relação ao defeito de torcimento, já que esta variável anatômica, graficamente, se sobrepôs no parâmetro de torcimento. Além disso, esse defeito foi observado em quadrante oposto ao diâmetro de fibra e diâmetro de lume. As rachaduras de topo, diferentemente do tratamento de 60°C, foram mais fortemente relacionadas com os comprimentos de fibra.

As elipses de 95% de confiança para o tratamento de 80°C, não conseguiram separar de forma mais clara as três espécies estudadas. Esse resultado pode ser explicado, principalmente, por esse ser um tratamento que iniciou com temperaturas altas, fazendo com a madeira perdesse água livre mais rapidamente, ocasionando maior intensidade de defeitos, evidenciado pelas linhas de torcimento e de rachadura de topo maiores neste tratamento. Outros fatores que podem ter contribuído para a dificuldade de separação das espécies, quando analisadas pela PCA, foram similaridade anatômicas e de densidade básica.

A PCA para o tratamento de 100°C é apresentada na Figura 18 e Figura 19.

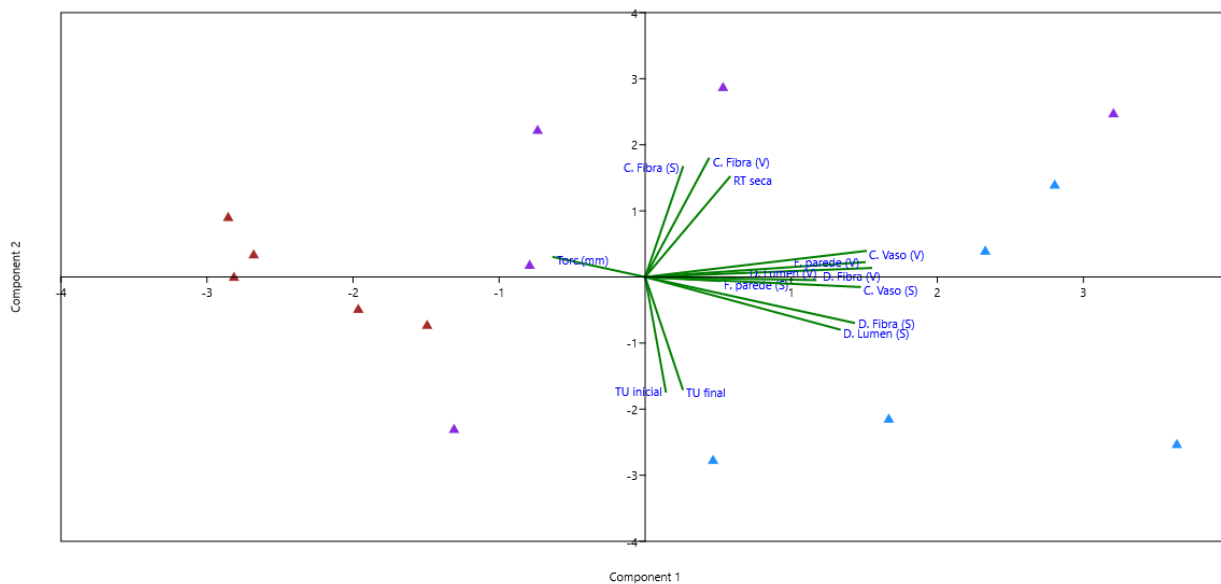


Figura 18. Análise de Componentes Principais (PCA) para o tratamento de 100°C, onde as espécies são representadas pelas cores: *Lecythis poiteau* (roxo); *Manilkara bidentata* (azul) e *Bowdichia nitida* (vermelho).

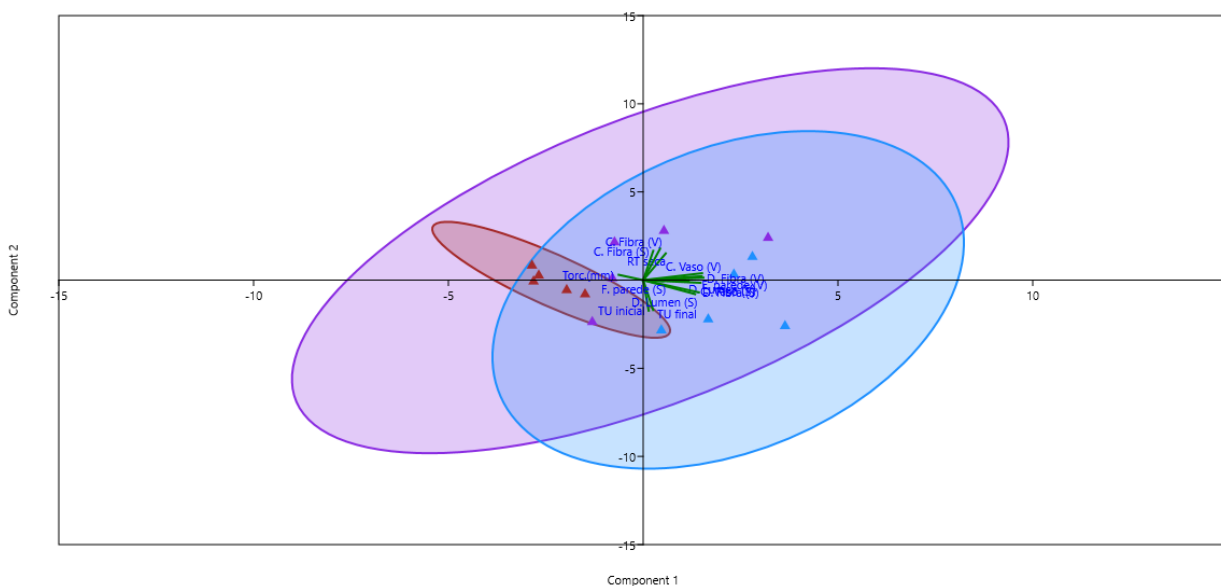


Figura 19. Elipse de 95% de confiança aplicada para os dados da Figura 18, onde as espécies são representadas pelas cores: *Lecythis poiteau* (roxo); *Manilkara bidentata* (azul) e *Bowdichia nitida* (vermelho).

No tratamento de 100°C, as componentes principais PC1 e PC2 explicaram 60,94% da variação dos dados, e separadamente, 36,90% e 24,04%, respectivamente. Neste tratamento o defeito de torcimento se mostrou isolado no primeiro quadrante (Figura 18), o qual também se localizou de forma oposta aos diâmetros de fibra e de lume. Já o defeito de rachadura de topo, assim como no tratamento de 80°C, permaneceu próximo das variáveis de comprimento de fibra, evidenciando uma relação desse defeito com essa variável anatômica.

A elipse de 95% de confiança para esse tratamento, ilustrado na Figura 19, mostrou uma tendência mais forte das variáveis anatômicas se aproximarem uma das outras, dificultando a diferenciação por espécie. Além disso, as três espécies se aproximaram muito umas das outras no centro da Figura, mostrando uma forte influência dos parâmetros analisados e confusão na separação das espécies por este tratamento.

Analisando e relacionando as PCAs das três temperaturas de secagem e as elipses de 95% de confiança, foi possível observar que quanto maior a temperatura do tratamento, mais fortemente os parâmetros anatômicos estavam relacionados, influenciando na secagem das amostras de madeira. Além disso, verificou-se que quanto maior a temperatura mais difícil foi a distinção entre as espécies. As PCAs confirmaram o aumento dos defeitos à medida que a secagem se tornou mais drástica, principalmente devido ao fato que as espécies escolhidas possuem programas de secagem com temperaturas mais amenas de acordo com Jankowsky e Galina (2013). A PCA relacionou também um efeito positivo dos defeitos de torcimento e rachaduras de topo com os comprimentos de fibras, sendo essa variável anatômica uma possível explicação para o aparecimento desses tipos de defeitos.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados da secagem mostraram que o conforme ocorre o aumento da temperatura a quantidade e dimensionamento de defeitos também aumentam. A espécie jarana-amarela apresentou a maior porcentagem de defeitos e o maior tempo de secagem.

A análise anatômica de fibras e vasos, não mostrou diferenças significativas entre tratamentos e entre as amostras secas e úmidas, com percentuais menores que 40% de variação. Apesar disso, o comprimento de vaso foi o parâmetro que apresentou uma maior tendência a variação anatômica em relação às amostras verdes e secas.

A PCA para 45 amostras dos três tratamentos explicou 45,59% da variação dos dados. Em uma análise subdividida por tratamento, a temperatura de 60°C explicou 57,23% da variação dos defeitos, a de 80°C 51,88% e a de 100°C 60,94% dessa variação.

Embora a temperatura de 100°C tenha explicado um percentual maior de variação dos dados de defeitos, sua elipse de 95% de confiança mostrou que esse tratamento foi inferior na separação das espécies. Logo, o tratamento de 60°C confirmou que a preferência de utilizar temperaturas mais amenas durante a secagem artificial.

As três temperaturas mostraram que o comprimento de fibra foi o caractere anatômico que mais se relacionou com os defeitos. Os caracteres diâmetro de lume e diâmetro de fibra mostraram efeito inverso quando relacionados com o defeito de torcimento.

Este estudo segure uma hipótese para futuras pesquisas, relacionando os defeitos de torcimento e rachaduras de topo com o caractere comprimento de fibra, recomendando uma análise mais detalhada desse parâmetro anatômico nos estudos de secagem. Indica-se também que sejam realizados estudos para quantificar a destruição das células de fibras que foram observadas visualmente neste trabalho.

O estudo possibilitou, ainda, criar uma metodologia para relacionar diferentes áreas da tecnologia da madeira e aumentar as possibilidades de futuros estudos e investigações na área de secagem e anatomia dentro do campo das ciências florestais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Ariel de. **Indicação de programas para a secagem convencional de madeiras**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ANDRADE, Ariel; JANKOWSKY, I. P. pisos de madeira: características de espécies brasileiras. **Piracicaba: ANMP**, 2015.

BARBOSA, Celso Gonçalves et al. Elaboração de um programa de secagem para madeiras de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v. 11, n. 1, p. 40-48, 2005.

BOTOSSO, Paulo Cesar. Identificação macroscópica de madeiras: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento. **Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E)**, 2009.

BRANDÃO, A. de O. Determinação de metodologia para a identificação de programas de secagem de madeiras. 1989. 100 p. Dissertação (Mestrado em ciências florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

BRAZ, R. L. et al. Curva Característica de Secagem da Madeira de *Tectona grandis* e *Acacia mangium* ao Ar Livre. *Floresta e Ambiente*, [s.l.], v. 22, n. 1, p.117-123, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO).

CASTELO, P. A. R. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios e espaçamentos através do método não destrutivo de ondas de tensão. 2007, 151f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A. A Estrutura Anatômica da Madeira e Princípios para a sua Identificação. **Brasília: IBAMA, LPF**, 2002.

ENGELUND, E. T.; THYGESEN, L. G.; SVENSSON, S.; HILL, C. A. S. A critical discussion of the physics of wood - water interactions. *Wood Science and Technology*, v. 47, p. 141–161, 2013.

FERREIRA, CASSIANA ALVES. **Caracterização Anatômica, secagem e carbonização de madeira de clones de eucalyptus e espécies do cerrado**. 2012. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. UFLA, 89p. il.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resin and wood: resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature*, London, v. 155, n. 3924, p. 5, 1945.

GONZAGA, Armando Luiz. **Madeira: uso e conservação**. IPHAN, 2006.

HONGYU, K. Comparação do GGEbiplot ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo \times ambiente. 2015. 155p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

IAWA Committee. 1964. Multilingual glossary of terms used in wood anatomy. Konkordia, Winterthur.

IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification.

JANKOWSKY, I. P.; DUCATTI, M. A.; ANDRADE, A. Estudo identifica necessidade de programas de secagem. Revista da Madeira, Curitiba, v. 11., n. 66, p. 42-47, out. 2002.

JANKOWSKY, I. P.; GALINA, I. C. M. Secagem de madeiras. **Curso Técnico. Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira**, 2013.

JANKOWSKY, I.P. Metodologia simplificada para indicação de programas de secagem. 129 f. Tese (Livre-docência em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2009.

JANKOWSKY, Ivaldo P.; SANTOS, GRV dos; ANDRADE, A. de. Secagem da madeira serrada de eucalipto. **Circular Técnica do IPEF, Piracicaba**, n. 199, p. 1-14, 2003.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in fator analysis. *Psychometrika*, v. 23, n. 3, p. 187- 200, 1958.

KEDROV, G. B. Functioning wood. *Wulfenia, Klagenfurt*, v. 19, p. 57 - 95, 2012.

KLITZKE, R.J. Secagem da madeira. In: OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro. Jerônimo Monteiro: Suprema Gráfica e Editora, 2007. p.271-342.

LEPAGE, E. S. Manual de preservação de madeiras. 2. ed. São Paulo: IPT, 1986. 708 p.

MIRANDA, M. C. DE, CASTELO, P. A. R. Avaliações anatômicas das fibras da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. *Ciência da Madeira, Pelotas*, v. 03, n. 02, 2012.

MONTEIRO, T. C. et al. Efeito dos elementos anatômicos da madeira na secagem das toras de Eucalyptus e Corymbia. *Scientia Forestalis*, [s.l.], v. 45, n. 115, p.493-505, 1 set. 2017. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF).

OLIVEIRA, L. C. S. Perguntas e respostas em secagem de madeiras. São Paulo: IPT, 1981. 36p.

REGAZZI, A.J. Análise multivariada, notas de aula INF 766, Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v.2, 2000.

RIBEIRO, Edilene Silva. Propriedades tecnológicas de vinte espécies de madeiras tropicais comercializadas pelo estado de Mato Grosso. 2017.

ROCHA, M. P. Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus dunnii Maiden como fontes de matéria prima para serrarias. 2000. 185 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

SERGIO, N.; QUORIN, R. **Diagnóstico de defeitos em madeira por tomografia de raios x**. 2004. Tese de Doutorado. PhD thesis, UFPR.

SIAU, J. F. Flow in wood. Syracuse: Syracuse University Press, 1971. 131 p.

SOARES, Warley Felício; MELO, Luiz Eduardo de Lima; LISBOA, Pedro Luiz Braga. Anatomia do lenho de cinco espécies comercializadas como 'Sucupira'. **Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 114-125, 2014.

SOUTHERN, PINE INSPECTION BUREAU. Standard grading rules for southern pine lumber. **Pensacola, FL**, 1994.

SPERRY, J. S.; HACKE, U. G.; PITTERMANN, J. Size and function in conifer tracheids and angiosperm vessels. *American Journal of Botany*, Columbus, v. 93, n. 10, p. 1490 - 1500, 2006.

U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Seasoning mixed species of tropical hardwoods. Yokohama: ITTO, 1988. 25 p. (ITTO. Pre-Project Report PPR 9/88).

VARELLA, CARLOS ALBERTO ALVES. Análise multivariada aplicada as ciências agrárias: análise de componentes principais. **Seropédica, RJ: Pós-Graduação em Agronomia Ciência do Solo: CPGA-CS, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, 2008.

Vermaas, H. F. Drying of eucalypts with special reference to young, fat-grown plantation material. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA E ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS

APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1., Belo Horizonte, 1998. Anais. Viçosa: SIF/UFV, 1998, p. 106-118.

ZENID, Geraldo José; CECCANTINI, Gregório CT. Identificação macroscópica de madeiras. **São Paulo: IPT**, 2007.

7. APÊNDICE

7.1. Dados da secagem das espécies

Amostra	Massa Inicial	TU inicial	Massa 10%	TU final	RT seca	RS seca	Torc.(mm)	Encan.(mm)	Encurv(mm)	C. Médio RT (mm)	C. Total	Massa seca
N3-3-2-60	62,37	49,7%	44,25	6,2%	3	2	0	0	0	16,36	81,82	41,67
N2-1-1-60	63,40	53,6%	44,42	7,6%	2	0	0	0	0	3,81	7,61	41,28
N1-1-1-60	60,86	64,0%	39,84	7,4%	2	0	0,5	0	0	34,79	104,38	37,10
N3-2-1-60	62,99	48,8%	45,00	6,3%	0	0	2,12	0	0	0,00	0,00	42,33
N2-2-2-60	61,83	56,5%	44,40	12,4%	5	0	0,2	0	0	30,11	180,65	39,50
N1-4-1-60	61,44	64,9%	39,57	6,2%	5	0	0	0	0	20,90	167,16	37,25
N3-1-1-60	62,44	50,1%	44,17	6,2%	1	0	0,3	0	0	5,74	5,74	41,61
N2-5-2-60	62,09	58,4%	40,41	3,1%	1	0	0,5	0	0,5	6,93	6,93	39,19
N1-3-3-60	62,59	54,6%	43,10	6,4%	0	0	0	0	0	0,00	0,00	40,49
N3-4-4-60	62,80	47,2%	45,46	6,6%	3	4	1,63	0,3	0	16,51	132,08	42,65
N2-4-1-60	63,42	47,8%	46,30	7,9%	1	0	0	0	0,8	8,27	8,27	42,90
N1-2-2-60	61,37	62,5%	40,22	6,5%	3	3	0,3	0	0	20,35	162,77	37,77
N3-4-1-60	62,94	46,2%	45,35	5,4%	2	2	0	0,3	0	20,85	41,69	43,04
N2-4-3-60	62,54	52,9%	44,67	9,2%	0	0	0,15	0	0	0,00	0,00	40,89
N1-6-2-60	62,89	51,1%	44,82	7,7%	0	0	0	0	0	0,00	0,00	41,61
N1-2-3-80	61,66	63,6%	40,20	6,7%	1	3	0,2	0,2	0	9,06	36,23	37,68
N2-3-1-80	61,19	70,2%	36,82	2,4%	0	0	0	0	0	0,00	0	35,96
N3-2-2-80	63,16	50,5%	43,92	4,6%	1	0	1,9	0,2	0	11,33	11,33	41,97
N1-5-1-80	62,67	53,1%	45,00	9,9%	0	0	0,3	0	0	0,00	0	40,93
N2-5-3-80	62,06	59,3%	39,90	2,4%	0	0	0	0	0	17,58	17,58	38,96
N3-3-3-80	62,21	53,2%	42,82	5,5%	3	0	0,7	0	0	15,48	46,43	40,60
N1-1-2-80	61,41	66,9%	38,97	5,9%	1	2	0,3	0	0	10,78	32,34	36,80
N2-3-2-80	61,14	70,5%	36,68	2,3%	0	1	0	0	0	13,47	13,47	35,86
N3-6-1-80	67,03	58,4%	47,32	11,8%	0	0	0,9	0	0	0,00	0	42,32
N1-5-2-80	63,05	52,3%	43,82	5,8%	1	1	0,7	0	0	100,00	200	41,40

Amostra	Massa Inicial	TU inicial	Massa 10%	TU final	RT seca	RS seca	Torc.(mm)	Encan.(mm)	Encurv(mm)	C. Médio RT (mm)	C. Total	Massa seca
N2-5-1-80	62,34	61,0%	39,85	2,9%	2	0	0	0	0	31,70	95,11	38,71
N3-4-2-80	63,35	47,6%	44,92	4,7%	0	0	0	0,25	0	0,00	0	42,91
N1-2-1-80	62,62	57,2%	42,11	5,7%	0	0	1,8	0	0,25	0,00	0	39,84
N2-1-3-80	62,19	59,3%	43,80	12,2%	0	0	0,2	0	0	0,00	0	39,03
N3-1-2-80	63,16	50,3%	44,82	6,7%	1	0	0,4	0	0	4,57	4,57	42,01
N3-1-3-100	63,24	49,4%	44,54	5,2%	5	0	0,6	0	0	19,75	98,73	42,34
N2-1-2-100	62,78	52,8%	43,39	5,6%	10	0	0	0	0	17,16	191,03	41,09
N1-3-1-100	62,51	55,3%	42,12	4,7%	4	0	0,3	0,2	0	6,71	26,84	40,24
N3-4-3-100	62,62	47,0%	44,13	3,6%	5	0	0,2	0	0	18,68	93,4	42,59
N2-2-1-100	60,38	68,9%	39,06	9,3%	0	1	0,2	0	0	32,18	32,18	35,74
N1-6-1-100	62,54	53,2%	44,59	9,2%	2	0	0	0	0	8,00	16	40,83
N3-3-1-100	62,09	52,2%	42,63	4,5%	1	0	1,15	0	0	57,29	57,29	40,79
N2-4-2-100	62,45	54,0%	44,25	9,1%	0	0	2,26	0	0	0,00	0	40,56
N1-4-2-100	61,77	65,5%	39,73	6,4%	3	0	0,9	0	0	73,09	219,26	37,33
N3-3-4-100	62,35	52,4%	43,56	6,5%	0	0	0,5	0	0	0,00	0	40,90
N2-1-4-100	62,87	53,3%	43,17	5,3%	0	0	0	0	0	0,00	0	41,01
N1-1-3-100	62,06	57,4%	42,38	7,5%	2	0	0	0	0	100,00	100	39,42
N3-6-2-100	65,71	56,3%	46,00	9,4%	0	0	0	0	0	0,00	0	42,05
N2-2-3-100	59,99	70,9%	36,76	4,7%	3	0	0,6	0	0	53,71	161,14	35,10
N1-3-2-100	61,96	56,7%	41,72	5,5%	2	0	0,15	0	0	4,37	8,74	39,53
I3-1-3-60	60,62	52,6%	44,61	12,3%	3	0	0	0	0	9,25	27,74	39,73
I2-3-3-60	61,85	62,9%	42,81	12,7%	1	0	0	0	0	9,65	9,65	37,97
I1-4-1-60	58,00	54,3%	42,37	12,7%	2	0	0	0	0	6,64	6,64	37,59
I3-6-2-60	61,49	48,9%	46,96	13,7%	10	0	0	0	0	7,56	75,55	41,29
I2-3-2-60	62,62	56,9%	45,12	13,1%	2	0	0	0	0	11,45	22,9	39,90
I1-3-2-60	59,66	50,6%	44,19	11,5%	4	0	0	0	0	13,50	53,98	39,62
I3-2-2-60	60,40	51,0%	45,04	12,6%	3	0	0	0	0	6,44	19,33	40,00
I2-2-3-60	63,05	53,0%	46,27	12,3%	4	0	0	0	0	3,30	13,2	41,21
I1-2-3-60	59,43	57,5%	45,32	20,1%	1	0	0	0	0	3,67	3,67	37,74

Amostra	Massa Inicial	TU inicial	Massa 10%	TU final	RT seca	RS seca	Torc.(mm)	Encan.(mm)	Encurv(mm)	C. Médio RT (mm)	C. Total	Massa seca
I3-4-1-60	60,23	55,3%	43,40	11,9%	5	0	0	0	0	6,01	30,05	38,79
I2-1-4-60	61,00	54,7%	45,11	14,4%	5	0	0	0	0	7,07	42,43	39,44
I1-1-4-60	60,73	60,1%	43,74	15,3%	1	0	0	0	0	3,31	3,31	37,93
I3-1-1-60	60,37	53,7%	44,06	12,1%	6	0	0	0	0	12,02	72,1	39,29
I2-1-1-60	60,92	54,1%	46,79	18,3%	3	0	0	0	0	14,33	57,31	39,54
I1-1-1-60	61,90	60,7%	43,69	13,4%	2	0	0	0	0	4,78	9,56	38,53
I1-4-2-80	58,42	55,9%	39,08	4,3%	0	0	0,2	0	0	0,00	0	37,47
I2-4-2-80	62,82	53,5%	43,98	7,5%	0	0	0	0	0	0,00	0	40,92
I3-2-3-80	61,80	55,3%	43,60	9,5%	1	0	0,91	0	0	5,97	5,97	39,80
I1-3-3-80	59,62	54,8%	40,18	4,3%	0	0	0,15	0	0	0,00	0	38,52
I2-4-1-80	61,74	51,2%	44,24	8,4%	0	0	0,5	0	0	0,00	0	40,82
I3-4-2-80	60,81	53,9%	40,76	3,2%	0	0	4,09	0	0	0,00	0	39,51
I1-2-4-80	59,60	57,5%	41,38	9,4%	1	0	0,8	0	0	14,35	14,35	37,84
I2-2-4-80	62,93	54,7%	43,80	7,7%	1	0	0	0,15	0	2,20	2,2	40,67
I3-3-2-80	59,64	52,6%	40,76	4,3%	1	0	0,6	0	0	5,35	5,35	39,07
I1-2-1-80	59,57	57,4%	41,07	8,5%	0	0	0,6	0	0	0,00	0	37,84
I2-2-1-80	63,17	53,9%	43,73	6,5%	0	0	0,85	0	0	0,00	0	41,05
I3-5-1-80	59,16	52,0%	40,81	4,9%	0	0	0,5	0	0	0,00	0	38,92
I1-1-2-80	61,50	61,6%	40,34	6,0%	0	0	0,2	0	0	0,00	0	38,05
I2-1-2-80	60,73	53,1%	41,76	5,3%	0	0	0	0	0	0,00	0	39,67
I3-2-1-80	60,84	52,9%	43,00	8,1%	0	0	1,25	0	0	0,00	0	39,78
I3-3-3-100	60,29	55,9%	43,02	11,3%	2	0	0	0	0	4,68	9,35	38,66
I2-4-3-100	62,01	51,2%	46,15	12,5%	2	0	0	0	0	18,71	37,42	41,02
I1-4-3-100	59,85	57,0%	41,29	8,3%	1	0	0	0	0	5,70	5,7	38,11
I3-5-2-100	60,04	55,0%	42,81	10,5%	4	0	1,84	0	0	12,65	50,59	38,74
I2-3-4-100	62,60	58,4%	43,22	9,4%	1	0	0	0	0	3,26	3,26	39,52
I1-3-4-100	60,39	57,3%	41,19	7,3%	0	0	0	0	0	0,00	0	38,39
I3-1-2-100	61,92	54,2%	43,60	8,6%	0	0	0	0	0	0,00	0	40,16
I2-4-4-100	62,06	52,4%	46,77	14,9%	1	0	0	0	0	5,68	5,68	40,72

Amostra	Massa Inicial	TU inicial	Massa 10%	TU final	RT seca	RS seca	Torc.(mm)	Encan.(mm)	Encurv(mm)	C. Médio RT (mm)	C. Total	Massa seca
I1-3-1-100	59,89	59,7%	41,41	10,4%	1	0	0,4	0	0	3,03	3,03	37,51
I3-6-1-100	62,07	50,3%	44,05	6,6%	4	0	2,19	0	0	5,93	23,7	41,31
I2-2-2-100	62,32	54,6%	45,82	13,7%	3	0	0	0	0	9,80	29,41	40,30
I1-2-2-100	60,23	59,8%	43,98	16,7%	3	0	0,4	0	0	13,95	41,85	37,69
I3-3-1-100	60,96	58,3%	41,95	9,0%	2	0	0,3	0	0	7,35	14,7	38,50
I2-1-3-100	61,12	54,0%	44,03	10,9%	2	0	0,2	0	0	4,23	8,45	39,69
I1-1-3-100	61,52	61,2%	43,65	14,4%	1	0	0,3	0	0	2,50	2,5	38,17
G3-4-1-60	59,85	70,2%	40,11	14,0%	0	0	0	0	0	0,00	0	35,17
G2-3-3-60	60,77	53,7%	43,64	10,4%	3	0	0	0,25	0	58,42	233,66	39,53
G1-4-1-60	59,49	64,0%	39,87	9,9%	5	0	0	0	0	43,93	219,66	36,27
G3-1-1-60	61,10	56,5%	43,45	11,3%	1	0	0	0	0	6,41	6,41	39,04
G2-4-2-60	60,87	49,4%	45,32	11,3%	5	0	0	0	0	8,45	42,26	40,73
G1-2-3-60	60,01	57,4%	42,33	11,0%	4	0	0	0	0	6,88	27,52	38,13
G3-4-2-60	59,37	69,3%	40,11	14,4%	0	0	0	0	0	0,00	0	35,07
G2-3-1-60	60,64	53,9%	43,50	10,4%	4	0	0	0,2	0	100,00	300	39,40
G3-2-3-60	59,65	63,9%	41,56	14,2%	0	0	0	0	0	0,00	0	36,40
G2-6-1-60	60,31	52,0%	43,38	9,3%	6	0	0	0	0	24,31	145,88	39,68
G1-3-1-60	57,36	64,0%	38,18	9,2%	2	0	0	0	0	6,72	13,44	34,97
G3-7-1-60	59,32	63,1%	41,24	13,4%	0	0	0	0	0	0,00	0	36,37
G2-3-2-60	60,87	54,3%	44,38	12,5%	3	0	0	0	0	51,93	207,7	39,46
G1-5-3-60	65,18	58,3%	45,98	11,7%	5	0	0	0	0	8,19	40,93	41,18
G1-5-4-60	65,28	54,8%	47,17	11,8%	5	0	0	0	0	12,20	61,02	42,18
G1-5-1-80	64,90	56,3%	45,28	9,0%	4	0	0	0,2	0	6,97	27,89	41,53
G2-2-1-80	61,33	52,2%	43,06	6,8%	2	0	0,3	0	0	11,53	23,05	40,30
G3-6-2-80	59,74	63,6%	39,98	9,5%	0	0	0,15	0	0	0,00	0	36,51
G1-1-5-80	60,05	61,7%	39,81	7,2%	1	0	0,25	0	0	9,28	9,28	37,13
G2-2-2-80	60,83	53,1%	42,52	7,0%	0	0	0,15	0	0	0,00	0	39,74
G3-1-2-80	61,12	56,4%	42,83	9,6%	0	0	0,3	0	0	0,00	0	39,09
G1-1-2-80	59,95	60,9%	39,89	7,1%	0	0	0,5	0	0	0,00	0	37,25

Amostra	Massa Inicial	TU inicial	Massa 10%	TU final	RT seca	RS seca	Torc.(mm)	Encan.(mm)	Encurv(mm)	C. Médio RT (mm)	C. Total	Massa seca
G2-1-3-80	61,50	51,2%	43,34	6,5%	0	0	0	0,15	0	0,00	0	40,68
G3-1-3-80	61,35	58,3%	42,32	9,2%	0	0	0	0	0	0,00	0	38,75
G1-2-1-80	59,61	59,6%	40,38	8,1%	1	0	0,25	0	0	8,41	8,41	37,36
G2-6-2-80	60,96	52,8%	42,66	6,9%	2	0	0,3	0	0	100,00	200	39,89
G3-5-1-80	59,71	64,9%	39,38	8,7%	0	0	0	0,15	0	0,00	0	36,22
G1-2-3-80	59,63	58,6%	40,88	8,8%	0	0	0,2	0	0	0,00	0	37,59
G2-5-1-80	61,33	52,9%	43,67	8,9%	0	0	0,15	0	0	0,00	0	40,11
G3-2-1-80	59,69	64,3%	39,55	8,9%	0	0	0	0	0	0,00	0	36,32
G3-3-1-100	59,76	60,8%	44,89	20,8%	0	0	0	0	0	0,00	0,00	37,17
G2-2-3-100	60,76	53,6%	43,70	10,4%	6	0	0,3	0	0	5,96	35,28	39,57
G1-5-2-100	64,34	57,2%	47,30	15,6%	3	0	0,15	0	0	13,41	53,64	40,93
G3-5-2-100	59,51	65,0%	41,39	14,8%	1	0	0	0	0	9,56	9,56	36,06
G2-4-1-100	61,85	49,3%	45,69	10,3%	7	0	0,15	0	0	8,52	51,91	41,43
G1-3-2-100	58,57	69,1%	38,30	10,6%	0	0	0	0	0	0,00	0,00	34,63
G3-3-2-100	59,93	63,7%	42,11	15,1%	2	0	0,2	0	0	11,21	22,41	36,60
G2-1-2-100	61,18	51,4%	44,25	9,5%	0	0	0	0	0	0,00	0,00	40,42
G1-2-2-100	59,76	59,2%	42,83	14,1%	6	0	0	0	0	6,54	40,63	37,54
G3-6-1-100	59,46	64,9%	41,69	15,6%	2	0	0	0	0	9,24	18,48	36,05
G2-5-2-100	60,72	53,2%	45,69	15,3%	0	0	0	0	0	0,00	0,00	39,64
G1-1-4-100	59,64	61,3%	42,00	13,6%	3	0	0,3	0	0	6,85	20,55	36,97
G3-7-2-100	60,38	60,0%	43,76	16,0%	0	0	0	0	0	0,00	0,00	37,73
G2-1-1-100	61,32	50,9%	44,81	10,3%	4	0	0,2	0	0	7,45	29,79	40,63
G1-1-1-100	59,59	61,7%	41,48	12,5%	0	0	0	0	0	0,00	0,00	36,86