

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

Bibiana Argenta Vidrano

**PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT E PAPEL DE MADEIRAS DE
Pinus taeda L. e *Pinus patula* Schltidl & Cham.**

Santa Maria, RS, Brasil
2019

Bibiana Argenta Vidrano

**PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT E PAPEL DE MADEIRAS DE *Pinus taeda* L.
e *Pinus patula* Schltl & Cham.**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) como requisito para obtenção do título de **Doutora em Ciências Florestais**.

Orientadora: Prof^a. Cristiane Pedrazzi

Santa Maria, RS, Brasil

2019

Vidrano, Bibiana Argenta
PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT E PAPEL DE MADEIRAS DE
Pinus taeda L. e Pinus patula Schlttdl & Cham. / Bibiana
Argenta Vidrano.- 2019.
139 p.; 30 cm

Orientadora: Cristiane Pedrazzi
Coorientadores: Clovis Roberto Haselein, Elio José
Santini
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2019

1. Polpa celulósica 2. Papel embalagem 3. Lenho adulto
4. Pinus 5. Traqueídeos I. Pedrazzi, Cristiane II.
Haselein, Clovis Roberto III. Santini, Elio José IV.
Título.

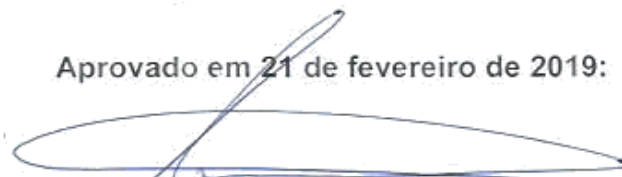
Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Bibiana Argenta Vidrano

**PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT E PAPEL DE MADEIRAS DE Pinus taeda L.
e Pinus patula Schltl & Cham.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Ciências Florestais**.


Aprovado em 21 de fevereiro de 2019:



Cristiane Pedrazzi, Dra. (UFSM)
(Presidenta/Orientadora)



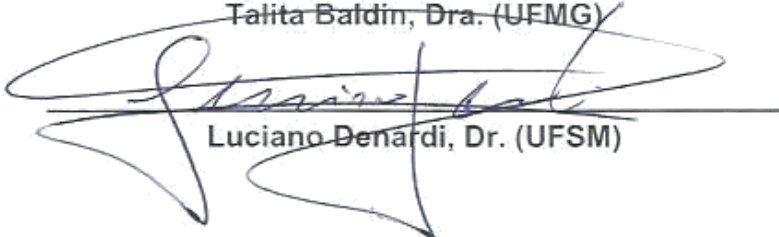
Diego Pierre de Almeida, Dr. (UEMS)



Silviana Rosso, Dra. (UNIPAMPA)



Talita Baldin, Dra. (UFMG)



Luciano Denardi, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS, Brasil
2019

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a empresa Celulose Irani, por ser essencial para a realização deste trabalho, contribuindo com a disponibilidade de material e com contribuições e ideias fundamentais para a tese, e a Engenheira Paula Burigo Vandresen por toda força e apoio, não medindo esforços para que eu chegasse até o fim desta etapa. Dedico também ao Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa, pela possibilidade de realizar o experimento, contando sempre com total apoio dos professores, funcionários e colegas. Muito obrigada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e a minha família, pois sem eles eu não seria nada, em especial a minha mãe, Maria Argenta Vidrano e ao meu irmão Alberto, que sempre me apoiaram durante toda minha vida, amo vocês.

E ao meu namorado Tiago Alves Mohnschmidt, agradeço por toda compreensão, rosas e chocolates nestas horas difíceis, e por todo amor, carinho e incentivo que sempre me fez seguir em frente.

À toda família Argenta, por todo apoio, carinho, incentivo e compreensão pela minha ausência em muitos momentos, em especial aos meus dindos Tia Zulmar e Tio Claudio por estarem presentes em todos os meus passos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFSM pela oportunidade de realizar a minha pós graduação.

À minha linda orientadora, Cristiane Pedrazzi e aos Professores e Coorientadores Elio José Santini, Clovis Roberto Haselein, Luciano Denardi, Rubens Chaves de Oliveira e Jorge Colodette, pelo aprendizado, orientações, muitas correções, oportunidades, confiança, apoio e ideias.

Aos funcionários, Fabiana Ratzlaff, Tarso Michelotti e Nelson de Castro, Naira Maria Segatto, Vinicius Perdigão pelo auxílio e contribuição durante a realização deste e de outros estudos.

A todos os colegas do LPF pelas sugestões e ajudas, principalmente aos colegas Amanda, Maiara, Talita, Laura, Luciane, Guilherme e Marina.

As Cenourinhas, aos Jogos Eternos, as Floresteiras, as Amigas da Vida e todos meus lindos amigos por estarem ao meu lado, pela ajuda constante, incentivo, auxílio e carinho que sempre torna nossa caminhada mais fácil.

À CAPES e ao CNPq pela concessão das bolsas de estudo que colaboraram para que este estudo pudesse ser concluído, e ao governo confiou e investiu na educação ao invés de provocar cortes e descasos.

À banca, Fernando José Borges Gomes, Silviana Rosso, Talita Baldin, Luciano Denardi, Diego Pierre de Almeida e Elio José Santini por ter aceitado meu convite e pelas contribuições na tese.

À empresa, Celulose Irani pelo material cedido e pela confiança.

Muito obrigada mesmo a todos e todas que de alguma forma contribuíram para minha formação.

“A vida nunca é completa sem seus desafios.”

(Stan Lee)

RESUMO GERAL

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT E PAPEL DE MADEIRAS DE *Pinus taeda* L. e *Pinus patula* Schlttdl & Cham.

Autora: Bibiana Argenta Vidrano

Orientadora: Cristiane Pedrazzi

Data: Santa Maria, 21 de fevereiro de 2019.

As características da madeira influenciam no rendimento do processo de polpação e na qualidade da polpa celulósica e papel produzidos. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula* com diferentes proporções de lenhos: adulto e juvenil; inicial e tardio, a fim de determinar a influência dessas madeiras na produção de polpa celulósica kraft marrom e papéis. Foram selecionadas três árvores de cada espécie, com a idade de 14 anos, nas quais a altura comercial foi subdividida em base, meio e topo. As análises de teores de extrativos, ligninas, carboidratos e cinzas foram realizadas segundo a norma TAPPI. As características físicas e anatômicas das madeiras analisadas foram a densidade básica e a proporção de lenhos adulto/juvenil e inicial/tardio, respectivamente. Posteriormente, as madeiras foram transformadas em polpas celulósicas kraft marrom e posteriormente em papéis, os quais foram avaliados com relação a suas propriedades físicas e mecânicas. Os resultados das análises químicas, para ambas as espécies, mostraram que a madeira proveniente da posição axial topo apresentou menores teores de extrativos, cinzas e carboidratos (celulose e hemicelulose), e um teor de lignina superior ao das madeiras do meio e da base. As madeiras da posição axial base resultaram em valores de densidade superiores aos meios e topos, nas duas espécies. As porcentagens de lenhos adulto e tardio, para ambas as espécies, também foram maiores nas madeiras da base em comparação ao do topo, o qual apresentou maior porcentagem de lenhos juvenil e inicial. As fibras desta madeira de base, tanto para *Pinus taeda* quanto para *Pinus patula*, resultaram em maior comprimento, além deste se manter constante caracterizando assim o surgimento do lenho adulto. A presença do lenho adulto teve influência positiva nas propriedades da madeira para fins de produção de celulose. As madeiras de base produziram polpas com os maiores valores de rendimentos e de viscosidades. A presença de lenho adulto nas madeiras de base utilizadas para a produção das polpas celulósicas, em ambas as espécies de pinus, resultou em aumento da resistência mecânica dos papéis.

Palavras-chave: Polpa celulósica, Densidade básica, traqueídeos.

ABSTRACT

Doctoral Dissertation
Forest Engineering Graduate Programme
Federal University of Santa Maria

PRODUCTION OF KRAFT CELLULOSE AND PAPER FROM *Pinus taeda* L. AND *Pinus patula* Schltidl & Cham. WOODS

Author: Bibiana Argenta Vidrano
Advisor: Cristiane Pedrazzi
Date: Santa Maria, February 21 2019.

Wood characteristics influence the yield of pulp processing and the quality of produced cellulose pulp and paper. Therefore, the goal of this study was to evaluate wood in different axial positions, measuring their proportions: adult and juvenile; earlywood and latewood, relating their influence on the chemical and physical properties and of *Pinus taeda* and *Pinus patula* woods on the production of unbleached kraft cellulose pulp and packaging papers. Three trees of each species were selected, with ages of 14 years, in which the commercial heights were divided in base, middle and top. The analysis of extractives, lignins, carbohydrates and ashes rates were done in accordance with the TAPPI standard. The physical and anatomical characteristics of wood that were analyzed were the basic density and proportion of adult/juvenile, earlywood/latewood, respectively. Afterwards, the woods were transformed in brown kraft cellulose pulp and then in papers, which were evaluated in regards to their physical and mechanical properties. The results of the chemical analysis, for both species, showed that wood from the top of the log presented less extractives, ashes and carbohydrates (cellulose and hemicellulose) rates, and a superior lignin rate compared to wood from the middle and base. Wood from the base of the logs resulted in higher density values than middle and top, in both species. The percentages of adult or latewood, for both species, were also higher than in base wood in comparison to top, which presented a higher percentage of young and earlywood. In the pulping process, wood with less lignin, higher carbohydrates rates and high density reached the higher yield and viscosity values, while, for produced papers, wood with higher tracheid lengths and viscosity values presented better results.

Keywords: Cellulose pulp; basic density, tracheids.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
OBJETIVOS	21
OBJETIVO GERAL	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
BIBLIOGRAFIA	37
CAPÍTULO I	45
RESUMO	45
ABSTRACT	47
INTRODUÇÃO	49
MATERIAL E MÉTODOS	51
RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
PROPRIEDADES QUÍMICAS	57
PROPRIEDADE FÍSICA.....	61
PROPRIEDADES ANATÔMICAS	63
CONCLUSÕES	69
CAPÍTULO II	79
RESUMO	79
ABSTRACT	81
INTRODUÇÃO	83
MATERIAL E MÉTODOS	87
Caracterização física da madeira	88
Caracterização química da madeira.....	88
Análises morfológicas dos traqueídeos.....	89
Polpação Kraft.....	89
Análises estatísticas.....	90
RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
CONCLUSÕES	99
BIBLIOGRAFIA	101
CAPÍTULO III	107
RESUMO	107
ABSTRACT	109
INTRODUÇÃO	111
MATERIAL E MÉTODOS	115
Refino.....	115

Formação das folhas para testes físico-mecânicos	116
Testes físico-mecânicos	116
Análises estatísticas	117
RESULTADOS E DISCUSSÃO	119
REFINABILIDADE	119
PROPRIEDADES FÍSICAS DAS POLPAS.....	121
PROPRIEDADES MECÂNICAS	122
Índice de Arrebentamento.....	122
Índice de Rasgo.....	124
Índice de Tração	125
Resistência à Passagem de Ar	127
CONCLUSÃO	129
BIBLIOGRAFIA	129
CONCLUSÃO GERAL	135
ANEXOS	137

1. INTRODUÇÃO GERAL

Para abastecer este mercado é importante que se desenvolvam tecnologias para que o setor continue crescendo. Sendo assim, é necessário que se desenvolvam métodos silviculturais adequados e melhorados e que se conheça a matéria prima que é utilizada no processo produtivo.

O setor brasileiro de polpa celulósica e papel vem contribuindo de forma expressiva para o desenvolvimento socioeconômico do país. A Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2017) nos apresenta que dos 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas no Brasil, mais de 34% pertence ao segmento de celulose e papel.

E destes 7,84 milhões de hectares de florestas plantadas, apenas 1,6 pertence ao gênero *Pinus*, concentrado principalmente no Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%) pois possuem melhores condições de solo e clima. Embora o gênero *Pinus* sendo fundamental para a indústria de celulose de fibra longa, vem caindo a uma taxa de 0,7% a.a., nos últimos cinco anos (IBA, 2017).

De acordo com Souza e Souza (2016), gênero *Pinus* compreende aproximadamente 100 espécies florestais, onde encontra-se as madeiras das espécies *Pinus taeda* e *Pinus patula*, utilizados no presente estudo. Na indústria de celulose e papel são conhecidos como fontes de matéria prima de "fibras longas", termo utilizado para descrever o principal elemento anatômico traqueídeos (com comprimentos entre 2 e 5 mm). São fibras muito utilizadas na produção de papéis para embalagens ou camadas internas de papelão, pois estes necessitam de elevada resistência mecânica.

Com o aumento da produção de celulose e papel, tornou-se necessário o maior aproveitamento da madeira disponível, além da introdução de novas espécies florestais e do aperfeiçoando nos processos produtivos, a espécie *Pinus patula*, por exemplo, ainda não é muito utilizada industrialmente, apesar de apresenta fibras mais longas e uma densidade superior ao *Pinus elliottii* e ao *Pinus taeda*. Quanto ao desenvolvimento o *Pinus patula* apresenta crescimento em altura e produção volumétrica, excelente, se mostrado superiores em algumas procedências (GIBSON, 1987). Testes genéticos implantados nos trópicos indicam que a espécie possui alta produção volumétrica e alto crescimento (DVORAK & KELLISON, 1991).

Além da escolha de espécies, é de extrema importância que se conheça a qualidade da madeira, o que para o setor de papel e celulose é baseado na sua composição química, física (densidade) e caracterização anatômica.

O conhecimento da composição química da madeira é de grande importância, pois influencia em algumas propriedades que podem definir o seu uso final. No caso do uso da madeira na produção de celulose, como citado anteriormente, Parham (1982) afirma que o processo de transformação e qualidade do produto final é dependente da composição química da matéria prima que lhe dá origem, e Wallis et. al (1996) complementa que, os principais destaques devem ser para os teores de extrativos e de lignina que se encontram negativamente correlacionados com o rendimento da produção de celulose.

Da mesma maneira, a principal característica física é a densidade, considerada uma das mais importantes características tecnológicas da madeira, pode influenciar no processo de produção de polpa celulósica, pois através desta se consegue informações sobre o comportamento da madeira, em relação a suas propriedades físicas e químicas.

De acordo com Lima et. al (2014) as propriedades químicas e a densidade são influenciadas pelas características anatômicas da madeira, devido à complexidade estrutural do lenho, alterado conforme a frequência, tamanho e disposição dos elementos anatômicos que o compõe. Segundo Burger e Richter (1991), para poder indicar o uso mais apropriado de uma espécie madeireira, o conhecimento sobre a estrutura anatômica é fundamental, pois as características da madeira influenciam diretamente nas propriedades deste material.

A dificuldade em conhecer o material se da devido a heterogeneidade da madeira e pode causar uma série de transtornos para sua indústria. A descontinuidade física desse material existe, principalmente, devido a estrutura anatômica da madeira, como a diferenciação de lenhos ao longo do tronco da árvore, a madeira juvenil, por exemplo, que é aquela formada pelo câmbio na seção transversal do fuste nos primeiros anos de vida, e do ponto de vista tecnológico, é diferenciada da madeira adulta em diversas propriedades.

A grande diferença em termos de madeira juvenil em relação à madeira adulta está na magnitude das alterações anatômicas, químicas e físicas, que ocorrem no sentido da medula para a casca do tronco.

Há várias hipóteses para a formação da madeira juvenil, Ballarin e Palma (2003) estudando a madeira juvenil em *Pinus taeda* verificaram através da mensuração do comprimento dos traqueídes que a madeira juvenil localiza-se da medula até aproximadamente o décimo anel de crescimento.

Bendtsen et al. (1978), Zobel e Van Buijtenen (1989) e Zobel e Sprague (1998) afirmam que, comparada à madeira adulta, a madeira juvenil de coníferas é caracterizada por menor massa específica, traqueídes menores, maiores ângulos microfibrilares, menor resistência mecânica, maior teor de umidade, paredes celulares finas, maiores diâmetros dos lumes celulares e com menor teor de carboidratos e maior teor de lignina.

Sendo assim, o objetivo desse estudo foi caracterizar química, física e anatomicamente madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*, analisando como estes fatores são afetados ao longo do crescimento da árvore, e avaliando o rendimento dessas madeiras na produção de polpa celulósica pelo processo kraft e a qualidade de papéis de embalagem. Para isso, o trabalho foi dividido em três capítulos:

- **Capítulo I:** Caracterização das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula* em diferentes posições axiais do tronco.

- **Capítulo II:** Influência do lenho adulto nas propriedades da madeira de *Pinus taeda* e *Pinus patula* e na obtenção de celulose kraft.

- **Capítulo III:** As propriedades do papel embalagem em relação ao lenho adulto das madeiras de *Pinus taeda* e *P. patula*.

Ao final do terceiro capítulo, na conclusão geral, encontra-se a resposta para as hipóteses desta tese que são apresentadas a seguir:

- H0: As diferenças entre as espécies e diferentes posições axiais do tronco dos indivíduos estudados não influenciam na polpação e na qualidade da polpa celulósica produzida;
- H1: Existe diferença significativa na polpação e a qualidade da polpa celulósica produzida de acordo com a espécie escolhida, e posição axial do tronco onde a madeira é selecionada.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar as características químicas, físicas e anatômicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*, em diferentes posições axiais do tronco, e suas influências na produção de celulose kraft marrom e na qualidade de papéis de embalagem.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a densidade básica e os teores de extrativos, de lignina, de carboidratos e de compostos inorgânicos das madeiras *Pinus taeda* e *Pinus patula*;
- Mensurar o comprimento de traqueídeos das madeiras;
- Determinar a proporção de lenhos adulto/juvenil e inicial/tardio das madeiras em diferentes alturas axiais;
- Produzir e avaliar polpas celulósicas kraft marrom das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*;
- Produzir papéis embalagens e avaliar suas propriedades físico-mecânicas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PROPRIEDADES DAS MADEIRAS PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE

A madeira, sendo um material heterogêneo, possui características muito distintas, entre as diferentes espécies e mesmo dentro de uma mesma árvore. Para a fabricação de celulose as propriedades químicas, físicas e anatômicas da madeira devem ser conhecidas para maximizar o rendimento com a uniformização da polpação (KLOCK, 2000).

Conforme Barrichelo e Brito (1979) e Mimms et al. (1993) informações sobre os parâmetros químicos, físicos e anatômicos são essenciais para o direcionamento da produção de celulose e papel, pois cada um destes pode influenciar os processos positivamente ou negativamente e em graus distintos.

3.1.1 Principais propriedades químicas da madeiras para a polpação

As características químicas da madeira possuem um papel importante nos processos de produção de celulose e papel. Sendo que, a madeira é constituída por diferentes substâncias, e seus principais componentes químicos são os carboidratos (celulose e hemiceluloses), lignina, extrativos e compostos inorgânicos ou cinzas (KLOCK, 2000).

3.1.1.1 Carboidratos

Os carboidratos são essencialmente o conteúdo total de polissacarídeos da madeira representada pela fração de celulose e hemiceluloses (DUEÑAS, 1997).

A celulose é o componente químico majoritário na madeira, trata-se de um polímero linear de alto peso molecular, constituído por unidades glucose, cuja função é estrutural da parede celular (SJÖSTRÖM, 1981). De uma maneira geral, a madeira de espécies de coníferas apresentam valores menores deste componente quando comparados às folhosas (MARK et al., 2001). O termo celulose no Brasil e em alguns outros países, possui duplo significado. O significado químico corresponde à celulose $(C_6H_{10}O_5)_n$ que é formada por uma cadeia linear longa com um peso molecular de 162 x Grau de Polimerização (GP), e o GP médio da celulose

varia de maneira geral entre 1.000 a 15.000. Já o significado técnico corresponde à celulose como sendo o produto da polpação da madeira, ou seja, o seu desfibramento ou deslignificação, sendo assim muito comum se aplicar o significado técnico da celulose aos produtos como a polpa celulósica, polpa, pasta e massa.

As hemiceluloses, também chamadas de polioses, se encontram em estreita associação com a celulose na parede celular, possuem cadeias mais curtas; isto significa um grau de polimerização menor quando comparado à celulose (aproximadamente um DP de 150~200), podendo existir grupos laterais e ramificações em alguns casos e seu peso molecular varia entre 25 a 35g/mol. Cinco açúcares são os principais constituintes das hemiceluloses: glucose, manose e galactose, xilose e arabinose. As polioses são polímeros, nos quais participam pelo menos dois tipos de unidades de açúcar, sendo os mais importantes: as glucouranoxilanas, arabinoglucouranoxilanas, galactoglucomananas glucomananas, e arabinogalactanas. As hemiceluloses diferem em quantidade e tipo entre espécies de coníferas e folhosas, sendo que as últimas possuem valores superiores (DUEÑAS, 1997). Para as coníferas, conforme o autor, as principais hemiceluloses são a glucose, manose e galactose formando as glucomananas e as galactoglucomananas, principais polioses que ocorrem em madeira de pinus.

3.1.1.2 Lignina

As moléculas de lignina são constituídas por um sistema aromático composto de unidades de fenil-propano (BIERMANN, 1996; DUEÑAS, 1997). A lignina é uma substância amorfa localizada principalmente na lamela média, bem como na parede secundária. Durante o desenvolvimento das células, a lignina é incorporada como o último componente na parede, interpenetrando as fibrilas e assim fortalecendo e enrijecendo as paredes celulares (IPT, 1988; FENGEL e WEGENER, 1989). A determinação do conteúdo de lignina é importante para análise da madeira, bem como para a caracterização de polpas celulósicas. De acordo com Klock (2000) há maior teor de lignina em coníferas do que em folhosas, e existem algumas diferenças estruturais entre a lignina encontrada nas coníferas e nas folhosas. Sua remoção é o principal objetivo dos processos de obtenção de polpa celulósica e branqueamento.

3.1.1.3 Extrativos

Além da holocelulose e lignina, existem diversas outras substâncias nos vegetais que variam de maneira notável entre as diferentes espécies. Os extrativos ou materiais acidentais são, frequentemente, responsáveis por determinadas características como cor, cheiro, resistência natural ao apodrecimento, gosto e propriedades abrasivas da madeira (IPT, 1988). Os compostos extraíveis são geralmente caracterizados por terpenos, compostos alifáticos e compostos fenólicos quando presentes. Os extrativos são compostos químicos presentes em pequena quantidade na madeira e são extraídos mediante a sua solubilização em solventes. Podem ser quantificados e isolados com o propósito de um exame detalhado da estrutura e composição da madeira (DUEÑAS, 1997).

Teores elevados ou extrativos menos solúveis são prejudiciais para a indústria de celulose, pelo fato de consumirem parte dos reagentes utilizados na deslignificação, formar incrustações em diversos equipamentos, dificultar a depuração e branqueamento da polpa celulósica e gerar manchas no papel produzido (FENGEL e WEGENER, 1989).

3.2.1.4 Material inorgânico ou Cinzas

O material inorgânico (cinzas) da madeira corresponde aos componentes minerais dos vegetais que variam muito entre as diferentes espécies e entre os indivíduos de uma mesma espécie, sendo alguns destes minerais considerados essenciais para o desenvolvimento fisiológico da árvore. Os principais componentes inorgânicos da madeira são constituídos, principalmente, de carbonatos, fosfatos, silicatos e sulfatos, de potássio, cálcio e magnésio. (DUEÑAS, 1997).

3.1.2 Influência da densidade na polpação

A densidade básica pode ser definida como a razão da massa seca dividida pelo volume verde ou saturado de uma amostra (BIERMANN, 1996). Esta é uma característica resultante da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira. Portanto, as variações na densidade são provocadas por diferenças nas

dimensões celulares, pelas interações entre esses fatores e pela quantidade de componentes químicos presentes na mesma (PANSWIN e DE ZEEUW, 1980).

Segundo BERGER (2002) a densidade da madeira pode variar significativamente entre árvores de uma mesma população, sendo esta variação mais importante do que as variações entre populações de uma mesma localidade ou de localidades diferentes. KOLLMANN (1959) ressalta a importância da densidade da madeira, pois esta serve como referência de qualidade, podendo ser também um fator de decisão para a utilização da madeira.

Berger (2002) ainda ressalta a importância da densidade básica no rendimento e no custo dos processos de produção de polpa celulósica, pois para espécies que possuem alta densidade, há uma menor dificuldade de manuseio por haver menor volume de toras e cavacos para uma mesma quantidade de massa. Assim, a capacidade da unidade de cozimento é aumentada em massa com o aumento da densidade básica, levando a um aumento do potencial de produção da indústria.

Por outro lado, o aumento do valor de densidade básica pode ser acompanhado por uma maior dificuldade no processo transformar as toras em cavacos, no aumento no consumo de reagentes, dificuldade de impregnação e deslignificação, podendo levar a uma maior quantidade de rejeitos no processo de obtenção de polpa celulósica.

Conforme Mimms et al. (1993) a principal influência da densidade se faz sentir no rendimento volumétrico do processo, penetração do licor de cozimento, tempo de cozimento e qualidade da polpa celulósica e do papel produzido. Para a indústria, a avaliação adequada da densidade básica proporciona uma indicação do rendimento do processo de obtenção celulose, além do comportamento de algumas propriedades físicas e de resistência da celulose resultante (BUSNARDO et al., 1983, citados por BERGER, 2002).

3.1.3 Diferença de lenhos na polpação

Conforme Trugilho et al. (1996), dentro de uma mesma espécie, ocorrem variações significativas na altura do tronco e na direção da medula até a casca. E nas alturas axiais, por exemplo, encontramos variações nas composições químicas,

físicas e anatômicas da madeira, em função principalmente das diferenças de lenhos, tanto os lenhos juvenil/adulto quanto aos lenhos iniciais/tardios.

3.1.3.1 Lenho juvenil e lenho adulto

Sabe-se que a árvore não produz sempre o mesmo tipo de células durante seu desenvolvimento. Na fase inicial o lenho juvenil é formado. Este lenho apresenta características distintas do lenho adulto que é formado numa fase posterior do seu desenvolvimento. Para Malan (1995), essa variação no sentido radial é a mais importante. A extensão desta variação é, principalmente, determinada pela presença da madeira juvenil, sua proporção no tronco e suas características físico-químicas e anatômicas. Segundo o autor este gradiente de variação dentro da zona juvenil diminui com o passar do tempo.

Segundo Jankowsky (1979) na fase juvenil, o crescimento é acelerado com uma alta taxa de incorporação de biomassa, porém esta vai diminuindo com o tempo, e tende a se estabilizar quando a árvore atinge a fase adulta. De acordo com Malan (1995), nas áreas de rápido crescimento, a madeira juvenil é de importância considerável, pois ela pode constituir uma grande proporção do tronco.

Segundo Koga (1988), o lenho juvenil é formado nos primeiros anos na região próxima da medula, sua duração é variável, podendo ocupar 85% do tronco em uma árvore de 15 anos, e cerca de 10% aos 30 anos. Este fenômeno é acentuado nas espécies de coníferas do que em folhosas (FOELKEL et al., 1976).

Zobel e Buijtenen (1989), estudando algumas espécies de coníferas, relatam que não há uma mudança absoluta do lenho juvenil para o lenho adulto num curto intervalo de tempo, mas sim em vários anos. Assim, diversas características, tais como as dimensões dos traqueídeos, densidade básica e resistência vão se modificando até atingirem uma certa estabilidade no lenho adulto (BENDTSEN, 1978).

Existem várias referências na literatura que ressaltam que as propriedades químicas, físicas, anatômicas e mecânicas da madeira formada nos primeiros anos de vida das árvores são diferentes e muitas vezes inferiores às da madeira formada na fase adulta da árvore (PALMA, 2003). Larson et al. (2001) relatam que o lenho juvenil difere do lenho adulto em diversos aspectos, como: paredes celulares mais

finas; maiores ângulos fibrilares; maior teor de lignina; menor densidade básica; maior diâmetro celular e comprimento de fibra.

A madeira juvenil corresponde a uma região central na árvore de forma cilíndrica, com diâmetro mais ou menos uniforme, estendendo-se desde a base até o topo da árvore, podendo formar parte do albúrnio ou do cerne no tronco, se este último já estiver presente na árvore. Já a madeira adulta é o xilema formado após o período de juvenilidade, na parte da árvore que está sendo considerada (LUBE et al., 2013). Em geral, as células desta madeira alcançaram suas dimensões máximas e estas se mantêm mais ou menos constantes, e está presente em maior porcentagem na parte inferior do tronco (FOELKEL et al., 1976).

Por causa da diferença entre as propriedades do lenho juvenil e adulto, a madeira proveniente da base das árvores quando processados em cavacos visando à produção de polpa celulósica e papel pode não apresentar as mesmas características quando comparados com cavacos obtidos do topo árvores. De acordo com Mimms (1993) uma desvantagem observada na utilização de cavacos provenientes de lenho juvenil em processo Kraft é devido ao fato que se obtém ao final deste um menor rendimento e um acréscimo na quantidade de álcali consumido. Uma das razões para isto é o baixo conteúdo de celulose e alto teor de lignina.

De acordo com Lourençon et al. (2014) estas variações entre as propriedades da madeira dos lenhos juvenil e adulto podem interferir, de forma negativa, no processo de industrialização e transformação da madeira em outros produtos. Por exemplo, no processo de produção de pasta celulósica a mistura de lenhos juvenil e adulto pode interferir no rendimento de pasta e no aumento de consumo de produtos químicos, bem como nas propriedades finais do papel (PALERMO et al., 2013).

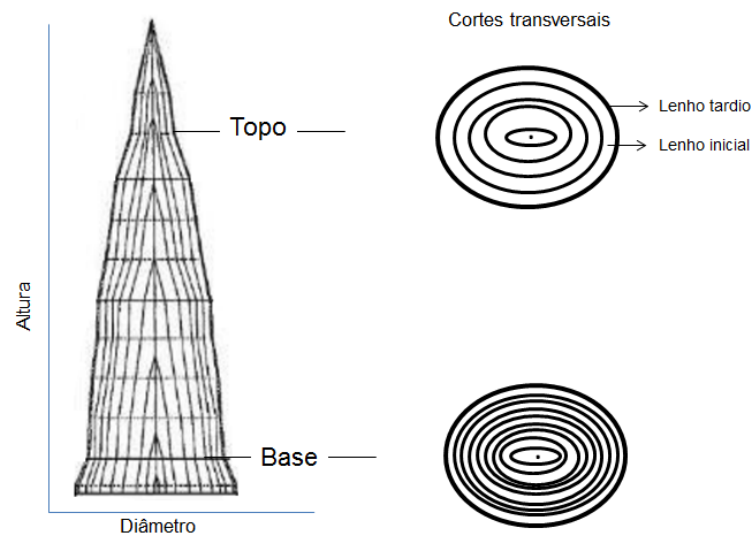
3.1.3.2 Lenho inicial e lenho tardio

Trugilho et al. (1996) afirmam que existem diferenças entre madeira de início e fim de estação de crescimento e, em escala microscópica, entre células individuais. As características das madeiras variam de árvore para árvore, bem como dentro de troncos individuais.

Dentro de uma árvore as variações na estrutura e proporções de lenhos são muito importantes, pois essas influenciam nas propriedades da madeira. Como

podemos observar na Figura 1, a parte superior da árvore apresenta uma maior porcentagem de lenho inicial em relação ao lenho tardio.

Figura 1 - Forma da árvore e os anéis de crescimento.



Fonte: adaptado de Silva et al. (1979).

Burger e Richter (1991) relatam que nas coníferas, os anéis de crescimento distinguem-se normalmente em duas partes: o lenho inicial correspondente ao crescimento da árvore no início do período vegetativo, normalmente na primavera, quando as plantas despertam do período de dormência em que se encontravam, reassumindo suas atividades fisiológicas com todo vigor. As células da madeira formada nesta ocasião caracterizam-se por suas paredes finas e lumes de maior diâmetro, que lhes conferem em conjunto uma coloração clara.

Com a aproximação do fim do período vegetativo, normalmente outono, as células vão diminuindo gradativamente sua atividade fisiológica. Em consequência deste fato, suas paredes vão se tornando gradativamente mais espessas e seus lumes de menor diâmetro, distinguindo-se do lenho anterior por apresentar, em conjunto, uma tonalidade mais escura (lenho tardio). Nas coníferas, a porcentagem dos diferentes lenhos talvez constitua o fator morfológico mais importante a influenciar as características do papel, tais como resistência, porosidade, capacidade de absorver água entre outros (BURGER e RICHTER, 1991). Biermann (1996) enfatiza que a relação entre os lenhos inicial e tardio é um fator importante na produção de polpa celulósica e papel.

3.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O GÊNERO *Pinus*.

O gênero *Pinus* foi introduzido no Brasil no ano de 1936 pelo serviço florestal do estado de São Paulo e desde então é muito usado nos programas de reflorestamento no país. Os plantios com este gênero totalizam 1,8 milhões de hectares ou 33% do total de florestas plantadas no Brasil (HILLIG, 2013). Conforme a Bracelpa (2013), o *Pinus* começou a ser cultivado em escala comercial para produção de madeira, na década de 1950, a fim de suprir a necessidade do mercado, abastecendo diversos setores como o de celulose e papel.

As plantações de pinus possuem grande importância para o país, sendo que abrangem desde o pequeno produtor rural, até as grandes indústrias de serraria, chapas aglomeradas, celulose e papel e também a de geração de energia (SCHIMIZU, 2008). Ainda segundo o autor, as primeiras espécies e bastante comuns no Brasil são o *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* as quais são originárias dos Estados Unidos e adaptadas ao clima das regiões sul e sudeste, onde ocorrem seus plantios comerciais.

A espécie *Pinus taeda* ocorre naturalmente em toda a região sudeste dos Estados Unidos da América. Segundo Koch (1972), essa espécie possui uma grande distribuição geográfica, ocorrendo em estandes puros e abundantes. Em sua região de origem se desenvolve desde o nível do mar até altitudes acima de 600 metros, entre as latitudes de 29° N até 38° N e as longitudes de 75° W e 95° W.

No Brasil, ou em regiões tropicais e subtropicais, a espécie se desenvolve em altitudes entre 0 e 900m, com precipitação média anual entre 900mm e 2.200mm, suportando um período de 0 a 6 meses de seca, podendo se adaptar bem a várias condições edafoclimáticas, porém sua produtividade é afetada em condições de baixa profundidade e fertilidade do solo (ANDRADE, 2005). O *Pinus taeda* é uma das espécies, do gênero *Pinus*, mais plantada no sul do Brasil, apresentando baixo teor de resina e um elevado incremento médio anual que pode ser superior a 40m³/há/ano aos 18 anos (HIGA et al., 2008).

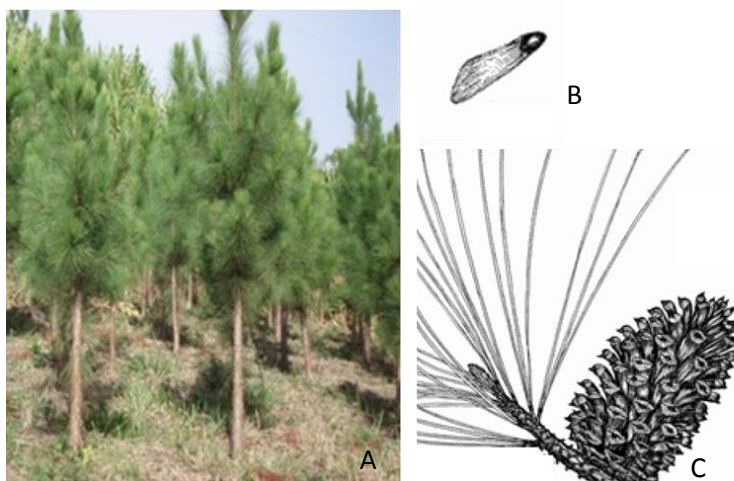
Estudos realizados com a espécie *Pinus taeda* determinaram que a composição química da madeira pode variar entre 68 a 70 % de holocelulose (celulose + hemicelulose), 20 a 30% de lignina, 3% de extrativos totais e 0,3 a 0,5 % de materiais inorgânicos, quantificados como cinzas (BORTOLETO JÚNIOR, 1999; KLOCK, 2000; RIGATTO et al., 2004).

A composição química das madeiras difere entre espécies, assim como poderá variar dentro de uma mesma árvore (longitudinalmente e transversalmente, entre o cerne e o albarno, entre madeira inicial e madeira tardia), sendo influenciada pela idade, condições edafoclimáticas, manejo do povoamento, o que explicaria a variação da composição química encontrados pelos autores citados anteriormente. Resultados semelhantes foram encontrados por Andrade (2005), o qual relata que as características químicas das madeiras de pinus diferem de acordo com a idade, o que pode estar relacionado com os teores de lenho juvenil e adulto, sendo que o teor de celulose e hemicelulose aumenta conforme o aumento da idade e o teor de lignina diminui.

A madeira de *Pinus taeda* é considerada uma importante matéria prima na indústria de celulose e papel, desta se origina a celulose de fibra longa, que é muito resistente e utilizada na fabricação de papéis para embalagens e papéis de imprensa (BRACELPA, 2016).

De acordo com Foelkel 2008, a árvore de *Pinus taeda* adulta em povoamentos comerciais, pode chegar aos 30 a 40 metros de altura observada na Figura 2A. Possui casca característica gretada, ramos acinzentados e acículas de coloração verde-escura, reunidas em grupos de três, conforme, estas, têm comprimento variando de 15 a 20 cm como vemos na Figura 2C.

Figura 2 - *Pinus taeda* em plantação comercial (A), e aspectos morfológicos (B e C).



. Fonte: adaptado de Pisces Web Design.

Por possuir sementes aladas (Figura 2B) muito pequenas e facilmente dispersadas pelo vento, cuidados na plantação devem ser tomados, como a

construção de quebra-ventos ao redor do cultivo a fim de evitar que as sementes se espalhem por outras áreas onde a espécie possa ser indesejada.

Já o *Pinus patula*, apesar de ainda não ser amplamente estudado como as espécies de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, ele é uma espécie com madeira de grande utilidade para o processamento mecânico e fabricação de celulose e papel.

De acordo com Aguiar et al. (2013), na Serra da Mantiqueira, no sudeste de Minas Gerais e nordeste do Estado de São Paulo, bem como no oeste de Santa Catarina e na região das serras do Rio Grande do Sul, esta espécie apresenta produtividade de madeira maior do que o *Pinus taeda*.

Ainda conforme os autores no Brasil, o melhor desenvolvimento de *Pinus patula* se observa em regiões de grande altitude. Em ambientes de baixa altitude e com temperaturas mais elevadas do que nessas regiões, esta espécie tende a produzir árvores de baixa qualidade, com grande número de ramos grossos e persistentes, além de baixo crescimento em altura. Em condições favoráveis ao seu desenvolvimento, o *Pinus patula* apresenta crescimento em altura maior que *Pinus elliottii* ou *Pinus taeda*.

Almeida et al. (2010) estudando madeiras de resíduos de *Pinus patula*, com idade variando de 12 a 20 anos, constituindo-se de galhos e ponteiros de árvores armazenados em diferentes períodos (um mês e três meses) para a cogeração de energia, apresentam valores médios para densidade de 0,38g/cm³, teor de cinzas de 0,44% e poder calorífico de 2972 cal/g. Neste estudo foi possível concluir que os resíduos de *Pinus patula* possuem características físicas e químicas favoráveis para serem utilizados como matéria prima na geração de energia.

De acordo com Arenas et al. (2013) o *Pinus patula* é um dos pinheiros mexicanos com maior potencial produtivo, pois é de rápido crescimento, possui boa conformação da copa e poda natural, seu caule é reto, e sua madeira é de qualidade, sendo relativamente livre de nós e apresentando baixo teor de resinas. E por esta razão tem sido amplamente plantada como uma espécie exótica em lugares localizados na África, na Ásia (China e Índia), Oceania (Austrália, Nova Zelândia, Nova Guiné), e na América (Argentina, Brasil, Colômbia, Equador e Venezuela).

Morfologicamente Aguiar et al. (2013), descrevem que a espécie de *Pinus patula* pode ser facilmente identificada pelas acículas verde-pálidas, finas e pendentes. Em árvores maduras, a casca é espessa, com fissuras verticais

profundas na parte baixa do tronco. Na parte mediana e superior, a casca é fina, marrom-avermelhada, escamosa e de cor vermelha-amarelada (Figura 3).

Figura 3 - *Pinus patula*, detalhe das acículas pendentes e casca avermelhada.



Fonte: autora.

3.3 MADEIRA DE PINUS PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE.

As madeiras de *Pinus* apresentam características anatômicas relativamente simples, de acordo com Klock (2000), as madeiras de *Pinus* são constituídas de 90 a 95% de traqueídeos, que são células de sustentação e transporte de água, já o armazenamento e transporte dos assimilados se dão pelas células de parênquima. Os elementos secretantes são as células epiteliais, as quais circundam os canais resiníferos.

A avaliação quantitativa dos constituintes anatômicos das madeiras é uma análise importante, principalmente no que se refere à mensuração das dimensões dos traqueídeos, já que estes compõem a maior porcentagem do lenho. Segundo Panshin e Zeeuw (1980) a densidade da madeira depende das dimensões das células que a compõem: as fibras ou traqueídeos, vasos e parênquimas radial e axial, bem como da proporção, distribuição e quantidade destes elementos.

Conforme Koga (1988), as características anatômicas também têm influência na composição química da madeira, o lenho adulto, por exemplo, possui menor teor

de lignina e maior teor de celulose. Com esta informação pode-se determinar que esta madeira apresenta melhores qualidades a serem utilizadas no setor de celulose e papel.

A variação da densidade da madeira também vai influenciar na indústria de celulose e papel, segundo Queiroz (2004) uma avaliação adequada da densidade básica fornece indicações bastante precisas acerca da impregnação dos cavacos e rendimento do processo e geralmente está associada às características de qualidade da polpa.

Além disso, é necessário analisar a madeira anatomicamente, para determinarmos o seu melhor uso, dado que as propriedades físico-mecânicas e químicas da madeira estão intimamente relacionadas à composição do lenho e à estrutura e organização de seus elementos (ESAU, 1974).

Segundo Vidal (2013), o setor de papel e celulose está dividido em indústrias que utilizam como matéria prima as fibras curtas e as fibras longas (traqueídeos). As fibras curtas são produzidas, principalmente, com madeiras de eucalipto, sendo considerada a principal matéria prima utilizada nas indústrias desse setor, pois a madeira de pinus apresenta menor densidade e maior quantidade de casca e extrativos, necessitando, conseqüentemente, de maior quantidade de matéria prima (madeira) por tonelada de polpa produzida.

Mesmo assim, a madeira de *Pinus* é uma importante matéria prima na indústria de celulose e papel. Desta se origina uma polpa celulósica muito resistente e utilizada na fabricação de papéis para embalagens e papéis de imprensa (BRACELPA, 2013). Um dos usos da fibra longa, obtida com a madeira de *Pinus*, é a celulose branqueada kraft de fibra longa, sendo a China o principal país produtor desta fibra.

Já no Brasil o pinus é fundamental para o setor de celulose e papel devido a suas características mecânicas distintas, em geral os papéis para embalagem, imprensa, papelão ondulado e outros tipos de cartões são fabricados com fibras longas (traqueídeos), que lhes conferem maior resistência mecânica (BIAZUS et al; 2013).

As características mecânicas da polpa também sofrem influência direta da polpação, e todas as variações da madeira vão influenciar no processo de polpação escolhido, segundo Dueñas (1997), existem quatro categorias de processos de obtenção da polpa celulósica, que são eles: químico, semiquímico, quimiomecânico

e mecânico, sendo que conforme o processo utilizado, as características da polpa produzida são alteradas.

Nos processos químicos, se consegue a separação das fibras através da ação de reagentes químicos que agem sobre a lignina. Dentro destes processos o mais utilizado e importante é a processo sulfato ou kraft. Conforme Gomes et al. (2008) o processo Kraft é dentre os processos de polpação, o mais utilizado para produção de polpas celulósicas. Bajpai (2012) comenta que a polpação kraft (sulfato) é a tecnologia de polpação química dominante mundialmente, utilizando como agentes ativos do cozimento o hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S).

BIBLIOGRAFIA

AGUIAR, A. V; SOUSA, V. A; SHIMIZU, J. Y. Espécies de Piuns mais plantadas no Brasil. **Revista da Madeira**. Online. Edição 135, maio de 2013.

ALMEIDA, N. F; CAMARGO, D. T; ARRIEL, D. A. A; MORI, F. A. Avaliação das propriedades dos resíduos de Pinus patula em diferentes períodos de armazenamento visando a cogeração de energia. **FLORESTA**. Curitiba, PR, v. 40, n. 2, p. 269-274, abr./jun. 2010.

ANDRADE A. S. de. Qualidade da madeira, celulose e papel em Pinus taeda I.: influência da idade e classe de produtividade, Curitiba. 2005. 107p. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Paraná.

ARENAS, O. R; TAPIA, J. A; OLGUÍN, J. F. L; BARROS, O. A V. E; LARA, M. H; LEZAMA, C. P. Germinación de semillas de Pinus patula en residuos de cáscara de nuez (Juglans regia L.) en vivero. **Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias** ISSN 2007-9990. Vol. 2, Núm. 4 Julio – Dez. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (**BRACELPA**). Celulose de fibra longa. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br>>. Acesso em 19 de dezembro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. Anuário estatístico ABRAF. **ABRAF**. Disponível em: <www.ipef.br/estatisticas/relatorios/>. Acesso em 29 de abril de 2016.

BAJPAI, P. Biotechnology for Pulp and Paper Processing. XXI, 414 p. Cap. 2 p.. 7-14, 2012.

BALLARIN, A. W; PALMA, H. A. L.. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de Pinus taeda L. **Revista Árvore [online]**. vol.27, n.3, pp.371-380. 2003.

BAREFOOT, A. C.; HITCHINGS, R. G.; ELLWOOD, E. L. **The relationship between loblolly pine fiber morphology and kraft paper properties**. Raleigh. North Carolina Agricultural Experiments Station, 1970.

BARRICHELO, L. E. G; BRITO, J. O **Variabilidade longitudinal e radial da madeira de *Eucalyptus grandis***. Congresso ABTCP. São Paulo. Brasil.1984.

BENDTSEN, B. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest products journal**, v.28, n.10, p.61-72, 1978.

BERGER,R. Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. sob o efeito do espaçamento e da fertilização. 110p. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2003.

BIAZUS, A; HORA, A. B; LEITE, B. G. P. Perspectivas do Investimento 2010-2013. **Papel e Celulose**. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/>>. Acesso em 19 de janeiro de 2017.

BIERMANN, C.J., **Handbook of Pulping and Papermaking**. San Diego. Academic Press. ed.2, 754p. 1996.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Estudo da qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. proveniente de árvores adultas atingidas por incêndio florestal. Curitiba. 1999. 173p. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Paraná.

BURGER, M. L. & RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. p.154. São Paulo: Nobel. 1991.

BUSNARDO, C.A.; GONZAGA, J.V.; FOELKEL, C.E.B; DIAS, C.; MENOCELLI S. **Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose**. Congresso Latino-americano de Celulose e Papel. São Paulo. p55-72. 1983.

DVORAK, W.S. & KELLISON, R.C. Annotated bibliography on the wood properties of *Pinus tecunumanii*. **Bulletin on tropical forestry**, CAMCORE, Raleigh, p. 1-16, jan., 1991.

DUEÑAS, R.S. Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel. Guadalajara. **Tese de doutorado**. Universidad de Guadalajara. ed.1, 293p. 1997.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974. 293 p.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood. Chemistry**. Ultrastructure: Reactions. Berlin. Walter de Gruyter. 1989.

FOELKEL, C. E. Espécies de *Pinus* Úteis ao Brasil, **PinusLetter**. ed. 03, março 2008. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br>> Acesso em 19 de janeiro de 2019.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G., GARCIA, W.; BRITO, J.O. Celulose kraft de madeiras juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. **IPEF**. Piracicaba. n.12, p.127-142. 1976.

GIBSON, G.L. A review of provenance testing of commercially important tropical pines. In: **SIMPOSIO SOBRE SILVICULTURA Y MEJORAMIENTO GENETICO DE ESPECIES FORESTALES**, Buenos Aires, 1989. Anais. Buenos Aires, CIEF, 1989.

GOMES, F. B; COLODETTE, J. L; GOUVÊA, A. F. G; TRUGILHO, P. F; GOMES, C. M; MACEDO, A. M. L. **O Impacto da Relação Siringil Guaiacil na Polpação Kraft de Eucalyptus**. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2008>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2017.

GOMIDE, J. L; OLIVEIRA, R. C. Eficiência da antraquinona na polpação alcalina de eucalipto. **Revista Árvore**. Vol. 3, nº 2, p. 208-220. 1979.

HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S.; RADIN, B; BRAGA, H. V.; CAVIGLIONE, J. H.; BOGNOLA, I.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, Y. M. M. Zoneamento Climático: Pinus taeda no Sul do Brasil, Documento 175, **Embrapa Florestas**, ISSN 1679-2599, Dezembro, 2008.

HILLIG, E. O Gênero Pinus no Brasil: Invasor, Injuriado ou Incompreendido? **Painel Florestal**. 8 de fevereiro de 2013. Disponível em: <<http://www.painelflorestal.com.br/noticias/silvicultura/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2017.

HUSQVARNA. **Celulose e os Diferentes Tipos de Papel**. Disponível em: <<http://www.mundohusqvarna.com.br/assunto/celulose-e-os-diferentes-tipos-de-papel/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, **ibá** Dados e Estatísticas, 2017. **ibá** Disponível em: <https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 25/10/2018.

IPT. **Celulose e Papel**. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. v.1, ed.2, 1988.

JANKOWSKY, I.P. Madeira Juvenil: formação e aproveitamento industrial. **IPEF**, São Paulo/SP, 18p. (Circular Técnica nº 81). 1979.

KIBBLEWHITE, R. P.; RIDDELL, M.J.C.; SHELBOURNE, C. J. A. Kraft fibre and pulp qualities of 29 trees of New Zealand grown Eucalyptus nitens. **Appita Journal**, Carlton, v. 51, n. 2, p. 114-121, 1998.

KLOCK, U. Qualidade da madeira juvenil de Pinus maximinoi H. E. Morre. Curitiba. 297p. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Paraná. 2000.

KOCH P. Utilization of the Southern pines. Madison: USDA **Forest Service Agricultural**; 1972.

KOGA, M.E.T. Matérias-primas fibrosas. In: PHILIPP, P. & D'ALMEIDA, M.L.O. Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. **IPT**, São Paulo, 2ª ed., p. 15-44. 1988.

KOLLMANN, F.F.P. **Tecnología de la madera y sus aplicaciones**. Madrid. Tomo I. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 647p. 1959.

LARSON, P.R.; KRETSCHMANN, D.E.; CLARK III, A.; ISEBRANDS, J.G. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines**. USDA – Forest Products Laboratory. General Technical report FPL-GTR-129. 42p. 2001.

LIMA, R. S; COELHO, J. C. F; SILVA, J. C. S; ARAÚJO, J. A; CALDERON, C. M. A. Influência da Anatomia nas Propriedades Físicas da Madeira de *Iryanthera grandis* Ducke. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p. 2014.

LOURENÇON, T. V; MATTOS, B. D; GATTO, D. A; BULIGON, E. A; HASELEIN, C.R. Determinação da Idade de Transição entre Lenho Juvenil e Lenho Adulto para Três Espécies Florestais por meio de suas Propriedades Mecânicas. **Floresta e Ambiente**, abr./jun.; 21(2):251-26. 2014.

LUBE, V. M; MAZIERO, R.; FRANÇA, L. C. A.; VIADURRE, G. B.; PAULA, E. N. S. O. Madeira Juvenil X Madeira Adulta Na Produção De Celulose. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal. **Revista C.E.F.** ISSN: 1678-3867. Ano XI, Volume 22, Número 1, Garça, SP. Agosto 2013.

MALLAN, F.A. Eucalyptus improvement for lumber production. In: SEMINARIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, IPEF/IPT, **Anais eletrônicos...**, São Paulo, IPEF/IPT, 05-06, p. 1-19, abril, 1995.

MARK, R.E.; HABEGER, C.C.; BORCH, J. **Handbook of physical testing of paper**. Marcel Dekker. v.1, ed.2, 1040p. 2001.

MIMMS, A; KOCUREK, M. J; PYTTE, J. A; WRIGHT, E. E. **Kraft pulping, a compilation of notes**. Atlanta. TAPPI PRESS. ed.1, 181p. 1990.

MOCELIN, E.Z. Antraquinona e surfactante para otimização do processo Kraft com Pinus spp. Curitiba. 2005. 72p. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Paraná.

PALERMO, G. P. M. et al. Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de Pinus elliottii Engelm. **Árvore**, v.37, n.1, p.191-200, 2013.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4th ed. New York: Mc-Graw Hill, 1980. 722 p

PARHAM, R.A. **Ultra-structure and chemistry**. In: Pulp and Paper Manufacture. Properties of fibrous raw materials and their preparation for pulping. Vol 1. Ed: Kocurck, M. J.; Stevens, C.F.B. 35-42. 1982.

PARHAM, R.A. Ultra-structure and chemistry. In: **Pulp and Paper Manufacture. Properties of fibrous raw materials and their preparation for pulping**. Vol1. Ed: Kocurck, M. J.; Stevens, C.F.B. 35-42. 1982.

RIGATTO, P.A.; DEDECEK, R.A.; MATOS, J.L.M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de Pinus taeda para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**. Viçosa. v.28, n.2, p.267-273. 2004.

SCHIMIZU, J. Y. Pinus na silvicultura brasileira. Colombo. **Embrapa Floresta**. 2008.

SJÖSTRÖN, E. **Wood chemistry**. Nova York, Academic Press, 223pp. 1981.

SILVA, J. A. A; NETO, F. P; ENCINAS, J. I; SANTANA, O. A; **Princípios básicos de dendrometria**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, p. 191, 1979.

SOUZA, B. V; SOUZA, J. T. Avaliação da composição química da casca de pinus taeda I. Visando à produção de açúcares fermentescíveis. **SIEPE** - Seminário de Iniciação Científica, Seminário Integrado de Ensino. Anais eletrônicos ISSN: 2237-6593. De 12 a 16 de setembro 2016.

TRUGILHO, P. F; LIMA, J. T; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, MG, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

QUEIROZ, S. C. S. et al. Influência da Densidade Básica da Madeira na Qualidade da Polpa KRAFT de Clones Híbridos de *Eucalyptus Grandis* W. Hill Ex Maiden X *Eucalyptus Urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.901-909, 2004.

VIDAL, A. C. F. HORA, A. B., Celulose de fibra longa: uma oportunidade para a indústria brasileira? **BNDES Setorial** 39, p. 281-342, 2013.

VITAL, B.R.; PEREIRA, A.R.; DELLA LUCIA, R.M.; ANDRADE, D.C. de. Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado da região do cerrado de Minas Gerais. Brasília/DF, **IBDF**. p.41-52. Agosto, 1984.

WENGER, K. F. **Forestry handbook**. Wiley-IEEE. ed.2, 1360p. 1984.

WALLIS, A. F. A; WEARNE, R. H; WRIGHT, P. J. Analytical characteristics of plantation eucalytp woods relating to kraft pulp yields. **Appita Journal** 49 (6): 427-432. 1996.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Springer-Verlag, New York, 363 p. 1989.

ZOBEL, B. J. and J. R. SPRAGUE. **Juvenile wood in forest trees**. Springer -Verlag. Berlin. 300 p. 1998.

CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO DAS MADEIRAS DE *Pinus taeda* L. E *Pinus patula* Schltl & Cham. EM DIFERENTES POSIÇÕES AXIAIS DO TRONCO

RESUMO – O uso da madeira de pinus no setor florestal aumenta a cada ano, o que sugere a necessidade de pesquisas científicas para um maior conhecimento de suas propriedades a fim de destiná-las a um consumo industrial adequado. O objetivo do presente trabalho foi determinar as propriedades químicas (teores de ligninas, de carboidratos, de extrativos e de compostos inorgânicos); físicas (densidade básica) e anatômicas (lenhos adulto/juvenil e inicial/tardio) das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula* em três alturas axiais distintas. Três árvores de cada espécie foram coletadas de um plantio comercial com espaçamento 2x2m na região sul do Brasil, as quais foram subdivididas em base, meio e topo. As análises químicas seguiram a metodologia segundo a Norma TAPPI. A densidade básica foi avaliada conforme a norma da ABNT e as análises anatômicas foram determinadas por dois métodos: medição visual da porcentagem de lenho inicial e tardio e medição das fibras para determinar as proporções de lenhos juvenil e adulto. Nas análises químicas, para ambas as espécies, as madeiras de topos apresentaram menores teores de extrativos, compostos inorgânicos e carboidratos, e teores elevados de lignina. Os resultados para densidade básica das madeiras nas bases das toras apresentaram valores superiores aos meios e topos. Com relação as propriedades anatômicas, em ambas as espécies as madeiras de base apresentaram uma estabilização no crescimento das fibras, indicando presença de lenho adulto, o que não ocorreu com as madeiras de topo. A porcentagem de lenho tardio foi maior nas madeiras de base em comparação as de topo, que apresentaram maior porcentagem de lenho inicial.

Palavras-chave: Propriedades da madeira, lenho adulto, lenho juvenil.

CHARACTERIZATION OF *Pinus taeda* L. AND *Pinus patula* Schlttdl & Cham.
WOOD IN DIFFERENT AXIAL POSITION OF THE TRUNK

ABSTRACT – The use of pinus in forestry increases every year, which suggests the need of scientific researches for a better knowledge of their properties in order to allocate them to an appropriate industrial consumption. The aim of this research was to determine the chemical properties (lignin, carbohydrates, extractives and inorganic compounds rates); physical properties (basic density) and anatomical properties (adult/juvenile and earlywood/latewood) of *Pinus taeda* and *Pinus patula* woods in three different axial position of the trunk. Three trees of each species were collected in a commercial planting of 2x2m in the south region of Brazil, which were divided in base, middle and top. The chemical analysis followed the methodology standard of TAPPI. The basic density was evaluated according to ABNT and the anatomical analyses were determined by two methods: visual measure of earlywood and latewood percentages and measure of fibers to determine the proportions of juvenile and adult wood. In the chemical analyses, for both species, top wood presented less extractive, inorganic compounds and carbohydrates rates, and high lignin levels. The results for basic density of wood in the base presented superior values than middle and top ones. In regards to anatomic properties, in both species base wood presented a stabilization in fiber growth, indicating presence of adult wood, which didn't happen in top wood. The percentages of latewood was higher in base wood in comparison to top, which presented higher percentages of earlywood.

Keywords: Wood properties, adult wood, juvenile wood.

1. INTRODUÇÃO

A madeira, sendo um material heterogêneo, exibe um conjunto de propriedades distintas que a tornam apta para uma vasta gama de usos. Trata-se de um material heterogêneo, higroscópico, biodegradável, combustível, isolante e química, mecanicamente resistente, cujo interesse para a indústria de polpa e papel reside na qualidade e na quantidade (rendimento) das fibras (SANTOS, 2005).

A madeira apresenta características e/ou qualidade distintas entre espécies, entre árvores da mesma espécie, e também na mesma árvore e na seção transversal desta. Segundo Mokfienski et al. (2003), a compreensão dessa variabilidade torna-se importante, pois o uso da árvore comercial está relacionado a algumas de suas características principais.

Conforme Cota et. al (2011), a variabilidade entre espécies é atribuída às diferenças genéticas, enquanto que a variabilidade entre árvores de uma mesma espécie pode dever-se a fatores do meio ambiente, tais como: clima, solo, quantidade de água e nutrientes disponíveis, exposição solar, entre outros. Por sua vez, a variabilidade no interior de uma mesma árvore é devida essencialmente aos fatores intrínsecos da madeira que afetam em algumas de suas características como a densidade, que é uma das propriedades mais importantes da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas, além de afetar também as características dos componentes químicos e anatômicos.

A densidade básica da madeira é reconhecida como um dos mais importantes parâmetros para avaliação da sua qualidade, por ser de fácil determinação e estar relacionada às demais características desse material (SHIMOYAMA; BARRICHELLO, 1991).

Na caracterização da madeira, a determinação de sua densidade e principalmente de sua variação dentro da árvore, tanto na direção radial, da medula para a casca, quanto no sentido base-topo, é fundamental como subsídio ao entendimento de sua qualidade. Segundo Dinus e Welt (1997) apud Santos (2005), embora seja geralmente considerada como uma característica única, a densidade básica é um componente dependente das proporções de lenho inicial e tardio, do tamanho e número de fibras e da espessura da parede da fibra. Em madeiras de coníferas, a proporção de lenho tardio e a espessura da parede do lenho tardio exercem forte influência na densidade básica.

A composição química da madeira influencia no uso tecnológico da madeira, desempenhando um papel econômico importante na produção da polpa celulósica. A madeira é um material formado principalmente por dois tipos de compostos: os componentes estruturais e os componentes não estruturais. Nos componentes estruturais incluem-se a celulose, as hemiceluloses e a lignina, que são macromoléculas responsáveis pelas propriedades mecânicas da madeira.

De acordo com Klock et al. (2005), a composição química das madeiras de pinus oscila percentualmente entre 38 a 44 de celulose, 25 a 29 de polioses (hemiceluloses) e 26 a 30 de lignina. Quanto aos componentes não estruturais, denominados como extrativos, variam numa percentagem entre 2 e 8.

O conhecimento da estrutura anatômica além de ser, sem dúvidas, uma importante ferramenta para a identificação da madeira, é também de fácil aplicação para destinarmos a sua mais correta aplicação para o mercado, pois o desconhecimento das características tecnológicas, fisiológicas e morfológicas das espécies se torna um obstáculo na utilização e melhor aproveitamento das madeiras. Conforme Paula (2003), o conhecimento da estrutura anatômica da madeira é de fundamental importância no que tange à sua qualificação para atender a grande variedade de usos, evitando-se emprego inadequado e desperdício.

A anatomia da madeira está diretamente ligada a algumas propriedades importantíssimas da madeira, como a densidade, que segundo Poubel et. al (2011), é um forte indicador de qualidade. Ela varia entre as espécies, dentro de uma mesma espécie e até dentro de uma mesma árvore nos sentidos radial e axial, sendo influenciada por fatores internos (i.e. posição no tronco, proporção de madeira adulta e juvenil, proporção de cerne e alburno) e externos.

A heterogeneidade da madeira no sentido axial do tronco é uma fonte de variação importante, e esta é determinada pelas proporções de madeira juvenil e adulta e suas características físicas, mecânicas, químicas e anatômicas ao longo da altura da árvore (GONÇALVES et al., 2007).

Com isto, o objetivo deste estudo foi caracterizar química, física e anatomicamente madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*, em diferentes alturas axiais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, e no Laboratório de Celulose e Papel (LCP) do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.

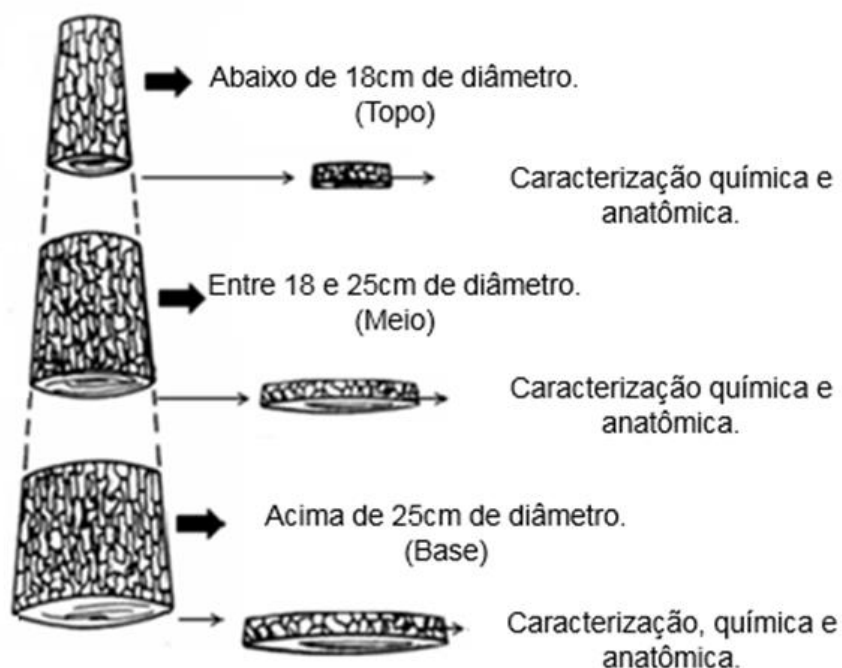
2.1 MATERIAL

Para a realização do estudo foram utilizadas árvores das espécies de *Pinus taeda* e *Pinus patula*, provenientes de plantios comerciais em uma das microrregiões do estado brasileiro de Santa Catarina pertencente à mesorregião Oeste Catarinense.

2.1.1 Amostragem

Foram amostradas 3 árvores de cada espécie com idade de 14 anos, as quais foram derrubadas e seccionadas em toretes de aproximadamente 1m de comprimento em diferentes posições da altura comercial. As alturas axiais escolhidas foram: abaixo de 18cm (madeira topo), entre 18 e 25cm (madeira meio) e acima de 25cm (madeira base), conforme apresentado na Figura 1 e Tabela 1.

Figura 1 - Confeção dos toretes e discos nas diferentes alturas axiais.



Fonte: autora.

Tabela 1 - Nomenclatura das amostras utilizadas no estudo, conforme espécie e classe de diâmetro.

Espécie	Diâmetro	Tratamento
<i>Pinus taeda</i>	Topo 8 à 18 cm	TT
<i>Pinus taeda</i>	Meio 19 à 25cm	TM
<i>Pinus taeda</i>	Base acima de 25cm	TB
<i>Pinus patula</i>	Topo 8 à 18 cm	PT
<i>Pinus patula</i>	Meio 19 à 25cm	PM
<i>Pinus patula</i>	Base acima de 25cm	PB

Fonte: Autora

Posteriormente, de cada torete foi retirado um disco com 5cm de espessura para caracterização química e anatômica e o restante transformado em cavacos para a caracterização física (densidade básica) e polpação das madeiras. Para o estudo anatômico de lenho adulto e juvenil apenas a base e o topo das árvores foram amostrados. Os discos foram seccionados em quatro partes iguais

aproveitando-se duas secções opostas para as análises químicas e outras duas para a caracterização anatômica.

As cunhas destinadas para as análises químicas foram transformadas em cavacos e posteriormente em serragem em moinho Tipo Willey. A serragem foi classificada em peneiras acopladas em agitador eletromagnético, sendo utilizada a fração 40/60 (a serragem que atravessa a peneira de 40 mesh e fica retida na peneira de 60 mesh). Foi necessário secar ao ar livre a serragem até umidade de equilíbrio (aproximadamente 12%). As amostras de madeira (serragem) foram então armazenadas em frascos de vidro.

A amostragem e preparação da madeira para as análises químicas seguiram os procedimentos conforme a norma TAPPI (T 264 om – 88).

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Propriedades Químicas

Para a caracterização química das madeiras foram realizadas as seguintes análises: teores de extrativos totais, de lignina insolúvel (Lignina Klason) e solúvel em ácido, de compostos inorgânicos e de carboidratos (holocelulose = composição dos açúcares). Os procedimentos analíticos empregados estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Procedimentos analíticos para caracterização química das madeiras das diferentes alturas axiais

Parâmetro	Procedimento
Extrativos totais	TAPPI T 264 cm-97
Lignina insolúvel em ácido	TAPPI T 222 om-98
Lignina solúvel em ácido	Método de Goldschimid (1971)
Compostos inorgânicos	TAPPI T 211 om-93
Carboidratos	TAPPI T 249 cm-85

Fonte: Autora

2.2.2 Propriedade Física

A densidade básica das madeiras foi determinada de acordo com a norma NBR 11941-02 (ABNT, 2003). Para tanto, as amostras de cunhas dos discos de cada tratamento foram colocadas em um dessecador com água e realizada a aplicação de vácuo, a fim de facilitar o processo de saturação das fibras. Em seguida, foi calculado o volume imerso em água de cada cunha e então levados para uma estufa de circulação forçada de ar na temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, até alcançar massa constante, obtendo assim a sua massa seca. A densidade foi obtida através da divisão do peso seco pelo volume saturado.

Para determinação da densidade foi utilizado a seguinte fórmula:

$$D = \frac{M_s}{V_v}$$

Onde:

D = Densidade ou Massa específica básica (g/cm^3).

M_s = Massa seca, em estufa a 103°C (g).

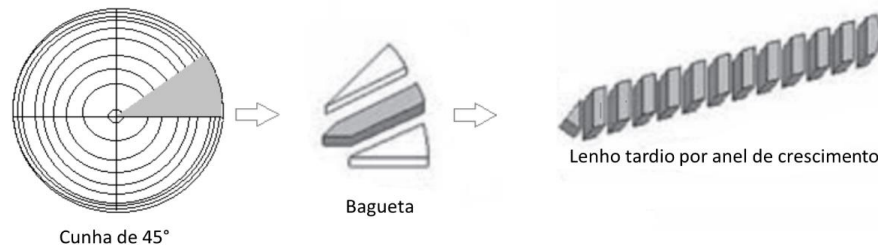
V_v = Volume verde, saturado em água (cm^3).

2.2.3 Propriedades Anatômicas

As cunhas de madeira utilizadas neste estudo foram acondicionadas em sala climatizada à 20°C e 65% de umidade (UR), onde permaneceram até atingir o equilíbrio higroscópico, para evitar ataques de microorganismos.

Nas seções de melhor visualização dos anéis foi removido o centro da cunha (bagueta) para realização da maceração. Na bagueta o lenho tardio no sentido medula-casca foi removido individualmente em cada anel de crescimento. Este lenho foi fragmentado com uso de estilete, em lascas semelhantes a palitos, e acondicionadas em tubos de ensaio numerados de acordo com o anel de crescimento relativo (Figura 2).

Figura 2 - Separação do lenho tardio na confecção de lâminas anatômicas para a medição dos traqueídeos.



Fonte: autora.

A dissociação do tecido lenhoso foi realizada pelo método de ácido nítrico e ácido acético, conforme descrito no procedimento 02 pp-97 do LCP. O produto da dissociação lenhosa resultou em uma pasta de traqueídeos de coloração esbranquiçada, que foi disposta em papel filtro sobre um funil, lavada com água destilada e, em seguida, com etanol 50% por duas vezes consecutivas. Depois de concluídos esses procedimentos, o processo foi finalizado com a coloração dos traqueídeos em solução aquosa de safranina 1%, durante trinta minutos.

Em seguida, foi efetuada, para cada lenho amostrado, a montagem de quatro lâminas permanentes que foram utilizadas para a determinação de cinquenta leituras de comprimento dos traqueídeos em microscópio ótico com auxílio do programa Image-Pro Plus.

Conforme descrito por Bendtsen e Senft (1986), devido à gradual variação das propriedades da madeira no sentido radial (medula-casca), o ponto em que uma árvore deixa de produzir madeira juvenil e passa a produzir madeira madura não é bem definido. No entanto, há um ponto em que essas propriedades se estabilizam e até decrescem, a partir deste podemos estabelecer que o lenho passa de juvenil para adulto.

Para a determinação do percentual de lenho tardio, um dos discos de cada tratamento foi secado naturalmente, sendo posteriormente lixado. Após o lixamento, foi determinado o raio de maior comprimento, e foram traçadas linhas perpendiculares entre si, estabelecendo-se quatro raios de medição no sentido medula-casca, a medida foi feita com régua e papel milimetrado.

Tanto a análise de lenhos juvenil e adulto, quanto o de inicial e tardio foram realizadas nas alturas de base e topo, pois essas apresentam características mais distintas entre si do que com a classe axial de meio.

2.2.4. Análises Estatísticas

As análises estatísticas para propriedades químicas e físicas foram realizadas utilizando-se o *software* Genes, onde através de um bifatorial 3x2 foram avaliadas as interações entre as alturas axiais (base, meio e topo) e as espécies (*Pinus taeda* e *P. patula*), com um nível de 5% de significância. Nos fatoriais podemos, por meio dos efeitos das interações, verificar se um fator é independente ou dependente do outro.

Se a interação der não significativa, quer dizer que os fatores são independentes, ou seja, o comportamento da classe axial não depende da espécie. Nesse caso as conclusões em separado para as médias serão válidas. Posteriormente os dados foram submetidos à análise de variância e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para as propriedades anatômicas foi aplicado um teste de médias, onde a análise de variância e as médias, foram analisadas pelo teste de Tukey com 95% de confiança.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS

A Tabela 3 apresenta os valores médios para os teores de lignina Klason encontrados nas madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula* nas diferentes alturas axiais.

Tabela 3 – Lignina Klason (%) das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*, nas três classes axiais.

Classe de diâmetro	<i>P.taeda</i> (T)	<i>P. patula</i> (P)
Topo (T)	25,88 bA	26,58 bA
Meio (M)	25,80 bB	24,30 aA
Base (B)	24,45 aA	23,93 aA

Interação significativa, as médias seguidas de letras iguais, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autora

Como podemos observar na Tabela 3, as madeiras de pinus apresentaram teores de lignina que variaram de 23,93 a 26,58%, os quais estão de acordo com os valores encontrados na literatura (SJÖSTRÖN e ALÉN, 1998; D'ALMEIDA, 1988).

A interação mostra que a madeira topo apresenta valores superiores a madeira base, e na classe diamétrica meio a espécie *Pinus patula* apresenta teor maior de lignina que o *Pinus taeda*. Outros autores também encontram na porção superior da árvore teores mais elevados de lignina. Latorraca e Albuquerque (2000) e Larson et al (2001) comparando o lenho adulto (proporção maior na base da árvore) e o lenho juvenil (proporção maior no topo da árvore) de espécies de coníferas de rápido crescimento, encontram um maior conteúdo de lignina no lenho juvenil.

Bendtsen (1978), afirma que as madeiras de coníferas de rápido crescimento não são uniformes, a madeira dos primeiros anéis formados apresenta, entre outras características, um maior teor de lignina. O autor cita também que em anéis sucessivos, verifica-se uma mudança nas características, como diminuição do teor de lignina, caracterizando também uma transição do lenho juvenil para o lenho adulto.

A lignina Klason, ou lignina insolúvel em ácido, apresentou valores crescentes no sentido base-topo da árvore para as duas espécies.

Já o teor de lignina com estruturas químicas menos resistentes à degradação e solubilização, determinada como lignina solúvel, característico das madeiras de coníferas, variou de 0,58 a 0,65%, conforme Tabela 4

Tabela 4 – Porcentagem de lignina solúvel para *Pinus patula* e *Pinus taeda*, nas três classes axiais.

Tratamento	P.taeda	P. patula	Média
Topo (P)	0,6145 *	0,5855 *	0,6001 a
Meio (M)	0,6075 *	0,6467 *	0,6271 a
Base (B)	0,6009 *	0,5827 *	0,5918 a
Média	0,6077 a	0,6050 a	

* interação não significativa.

Fonte: Autora

Os teores de lignina solúvel não apresentaram diferenças significativas. Estes valores baixos, próximos a zero, são comuns para as madeiras de coníferas. Morais et al. (2005) estudando a madeira de *Pinus oocarpa* verificou, que com os valores de absorvância nos comprimentos de onda de 215 e 280nm registrados no espectro de ultravioleta (UV) e aplicados à equação, foi calculado um valor negativo. Com isso o autor concluiu que não se obteve lignina solúvel pelo procedimento de Klason. Ele ainda afirma, que as ligninas de madeiras coníferas têm normalmente baixa solubilidade em solução ácida, ao contrário de ligninas de madeiras de folhosas.

Os componentes de baixo peso molecular, chamados de componentes estranhos ou extrativos, apresentaram valores entre 1,96 e 2,94% conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Extrativos totais (%) para madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*, nas três alturas do tronco.

Classe de diâmetro	<i>P.taeda</i> (T)	<i>P. patula</i> (P)
Topo (P)	1,96 aA	2,19 aB
Meio (M)	2,30 bA	2,22 aA
Base (B)	2,94 cA	2,41 bA

Interação significativa, as médias seguidas de letras iguais, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autora

Com interação significativa entre os tratamentos, os extrativos apresentaram valores crescentes no sentido topo-base da árvore para as duas espécies, e para a classe de diâmetro Topo, o *Pinus patula* apresentou maior teor de extrativos do que o *Pinus taeda*.

A variação observada para o teor de extrativos no presente estudo pode estar relacionada à formação do lenho adulto. Burger e Richter (1991) verifica no processo de formação deste lenho o aumento de várias substâncias como tanino, resinas, gorduras, carboidratos e outras substâncias.

Pereira e Sardinha (1984) e Gominho et al. (2001) estudando a árvore no sentido base-topo, verificaram uma diminuição do teor de extrativos da base para o topo da árvore. Para os autores esta variação está diretamente relacionada com a presença do cerne, sendo que na base da árvore a porcentagem de cerne é superior ao topo.

Conforme a Tabela 6, os teores de carboidratos apresentaram valores superiores a 70%. Estatisticamente não houve diferença significativa nem interação entre os tratamentos.

Tabela 6 – Carboidratos (%) das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*, nas três classes axiais.

Classe de diâmetro	<i>P. taeda</i> (T)	<i>P. patula</i> (P)	Média
Topo (P)	71,32 *	71,32 *	71,32 a
Meio (M)	72,84 *	71,52 *	72,18 a
Base (B)	72,94 *	72,14 *	72,54 a
Média	72,36 a	71,66 a	

* interação não significativa.

Fonte: Autora

Estudando o efeito da classe diamétrica nos parâmetros químicos analisados, Vital et al. (1989) correlacionaram positivamente o teor de celulose e a classe de diâmetro para a madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.

Neste estudo, apesar de observarmos um pequeno aumento na direção topo-base, não é possível afirmar que exista essa variação, pois as médias não apresentaram interação e a diferença entre elas não é significativa.

Conforme a Tabela 7, os componentes inorgânicos (cinzas) apresentaram valores entre 0,18 e 0,26%. Assim como os carboidratos, as médias não apresentaram interação nos tratamentos.

Tabela 7 – Cinzas (%) das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*, nas três alturas do tronco.

Tratamento	<i>P. patula</i>	<i>P. taeda</i>	Média
Topo (P)	0,16 *	0,19 *	0,18 a
Meio (M)	0,20 *	0,20 *	0,20 ab
Base (B)	0,20 *	0,23 *	0,23 b
Média	0,18 a	0,22 b	

* interação não significativa.

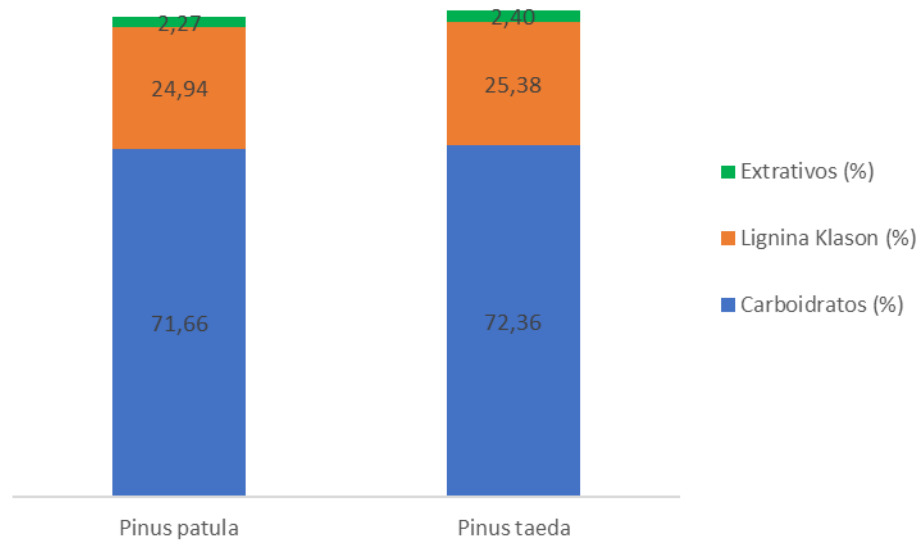
Fonte: Autora

Segundo Lewin e Goldstein (1991), na composição das madeiras, em termos médios, o teor de cinzas é representado por aproximadamente 0,4%. Os valores médios deste estudo se encontram abaixo desta média.

Apesar de não haver interação nos tratamentos, os componentes inorgânicos apresentaram diferenças significativas no teste de médias, sendo os valores crescentes no sentido topo-base da árvore para as duas espécies. A madeira *Pinus taeda* apresentou em média maior porcentagem de cinza que o *Pinus patula*.

Os valores encontrados para os diferentes componentes químicos das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*, são apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Valores médios para os diferentes componentes químicos das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*.



Fonte: Autora

Conforme valores médios apresentados para carbohidratos, lignina e extrativos, o estudo confirma a composição química média de madeiras de coníferas apresentada por Colodette (2001) e Klock et al. (2005). Os autores apresentam, em média, os seguintes valores:

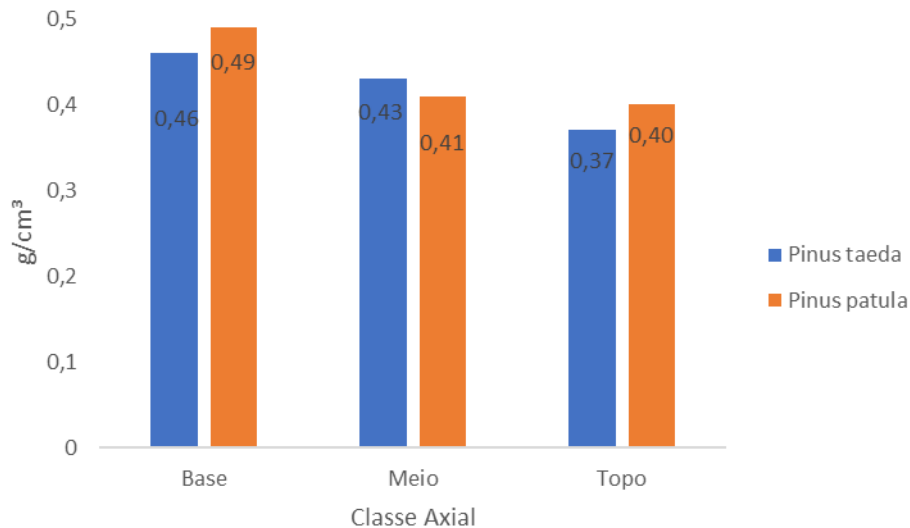
- Celulose: $42 \pm 2\%$
- Polioses (hemiceluloses): $27 \pm 2\%$
- Lignina: $28 \pm 2\%$
- Extrativos: $5 \pm 3\%$

Segundo Colodette (2001) as diferenças em composição química podem ser atribuídas a heterogeneidade entre espécies, embora exista variações significativas dentro de indivíduo, podendo modificar a composição de acordo com a altura do tronco.

3.2 PROPRIEDADE FÍSICA

Neste estudo, vemos um comportamento crescente da densidade básica do topo para a base do tronco nas espécies *Pinus taeda* e *Pinus patula*, conforme dados apresentados na Figura 4.

Figura 4 - Densidade básica das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula* nas diferentes classes axiais.



Fonte: Autora.

Como podemos observar a densidade básica tende a crescer no sentido topo-base para as duas espécies, sabendo que esta propriedade da madeira é muito complexa e resultante da combinação de diversos fatores, como por exemplo a relação com as dimensões das fibras, podemos relacioná-la particularmente espessura da parede e comprimento dos elementos anatômicos estudados a seguir.

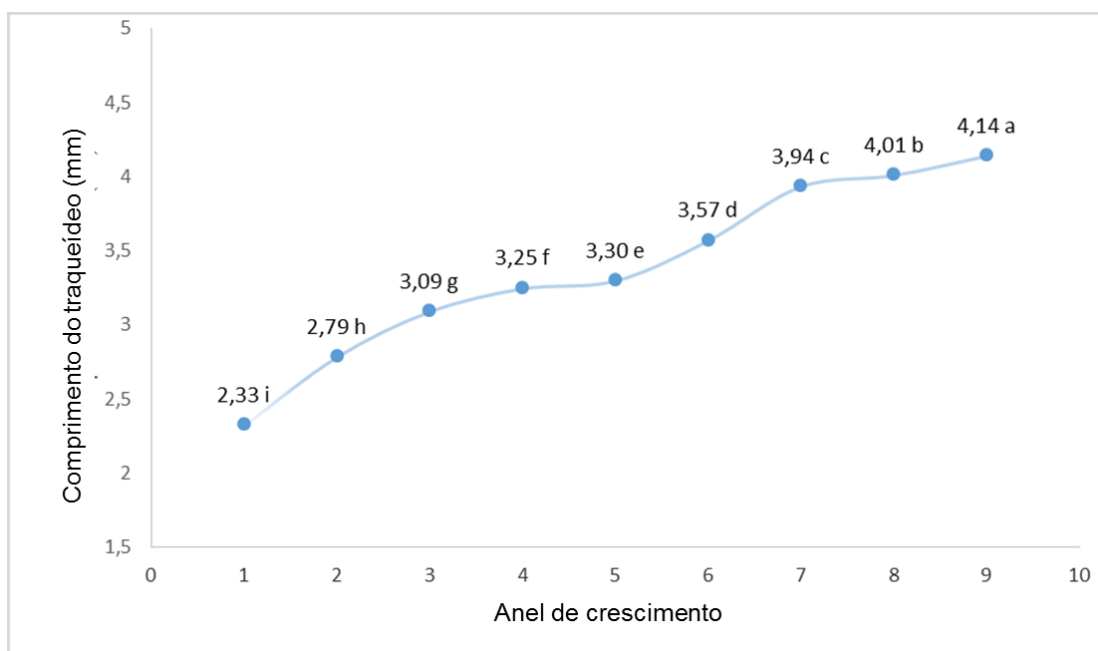
Souza et al (1986) citaram que não existiu um modelo definido de variação da densidade básica da madeira no sentido base-topo da árvore. Contudo eles apontam que Nylinder (1953), trabalhando com *Pinus spp.* aos 50 anos de idade, encontrou um acréscimo da densidade até cerca de 10% da altura total da árvore, para decrescer em seguida até o topo. Vital et al (1981) em trabalhos realizados com *Eucalyptus grandis*, encontraram um decréscimo significativo na densidade da madeira no sentido axial da árvore.

Gama et al. (2014) afirma que a densidade básica da madeira do barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville) ao longo do fuste, tem uma tendência linear decrescente, reduzindo a densidade básica da base ao topo. Este estudo foi conduzido nas alturas de 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Segundo os autores, há uma diminuição brusca da posição 0% até à posição 25%, uma pequena variação entre as posições 25% e 75%, voltando a cair bruscamente até 100%.

3.4 PROPRIEDADES ANATÔMICAS

As Figuras 5 a 8 apresentam o comprimento dos traqueídeos por anéis de crescimento, correspondentes as idades das árvores, para as alturas axiais base e ponta das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*.

Figura 5 - Comprimento dos traqueídeos por anel de crescimento em *Pinus patula* na classe diamétrica Topo.



Comparação das médias através do Teste de Tukey ao nível de significância de 5%, médias seguidas pela mesma letra não são significativamente diferentes.

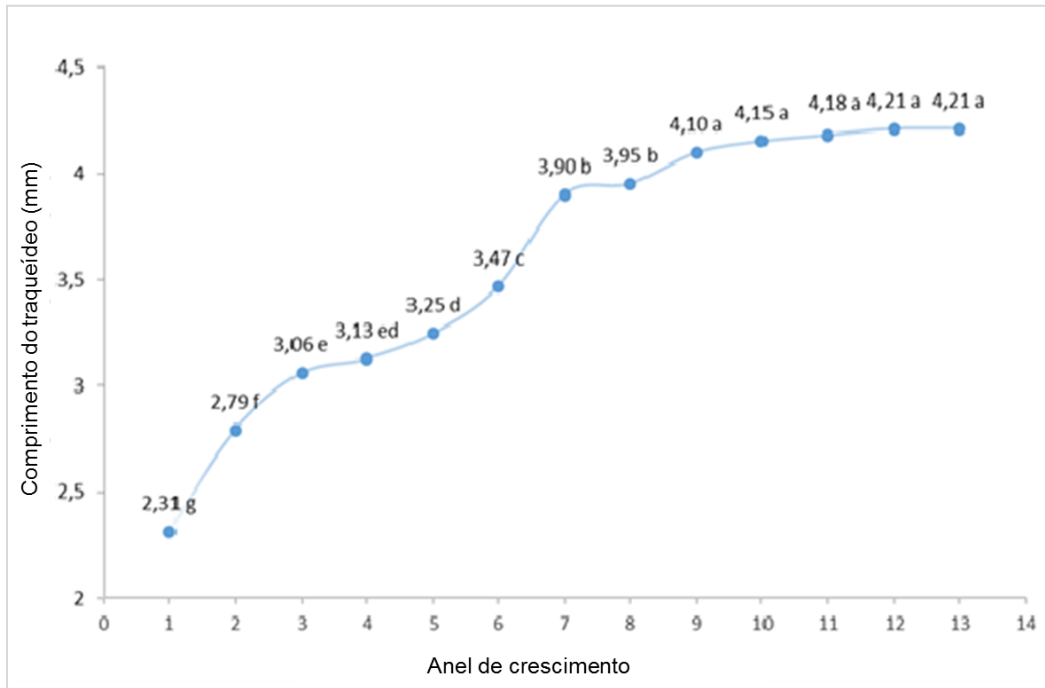
Fonte: Autora.

Conforme a Figura 5, foi observado aumento do comprimento dos traqueídeos com o aumento da idade da árvore (anéis de crescimento), o que pode ser verificado no teste de médias, que sugere que esta classe diamétrica não apresenta lenho adulto.

Na Figura 6 é apresentado o comprimento dos traqueídeos por anel de crescimento na madeira de base de *Pinus patula*. Como podemos observar, nas idades de 9 a 13 anos o crescimento dos traqueídeos tendem a estabilizar, sendo nestas idades o comprimento dos traqueídeos idênticos estatisticamente. Com isso

podemos afirmar que, esta parcela (anéis de crescimento entre 9 e 13 anos) forma o lenho adulto na classe diamétrica.

Figura 6 - Comprimento dos traqueídeos por anel de crescimento em *Pinus patula* na classe diamétrica Base.

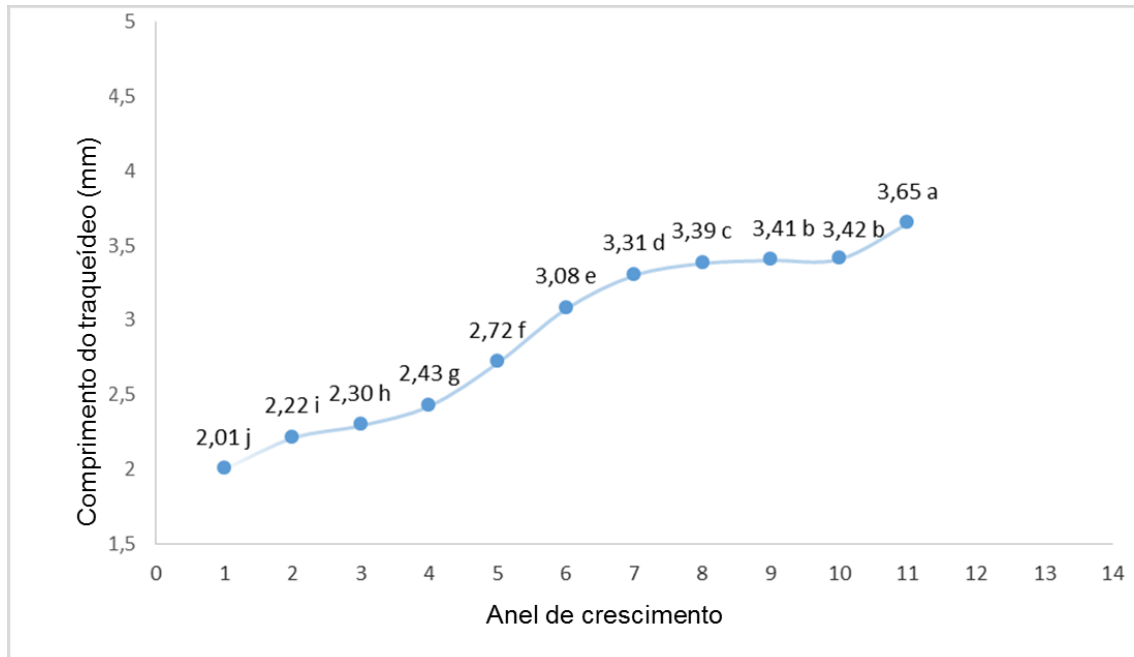


Comparação das médias através do Teste de Tukey ao nível de significância de 5%, médias seguidas pela mesma letra não são significativamente diferentes.

Fonte: Autora.

A Figura 7 apresenta as medições dos traqueídeos do *Pinus taeda* correspondente a classe diamétrica topo. Podemos observar, pelo teste de médias, que o comprimento dos traqueídeos foi crescente com o aumento da idade da árvore (anéis de crescimento), o que indica a existência de lenho inicial na classe diamétrica.

Figura 7 - Comprimento dos traqueídeos por anel de crescimento em *Pinus taeda* na classe diamétrica Topo

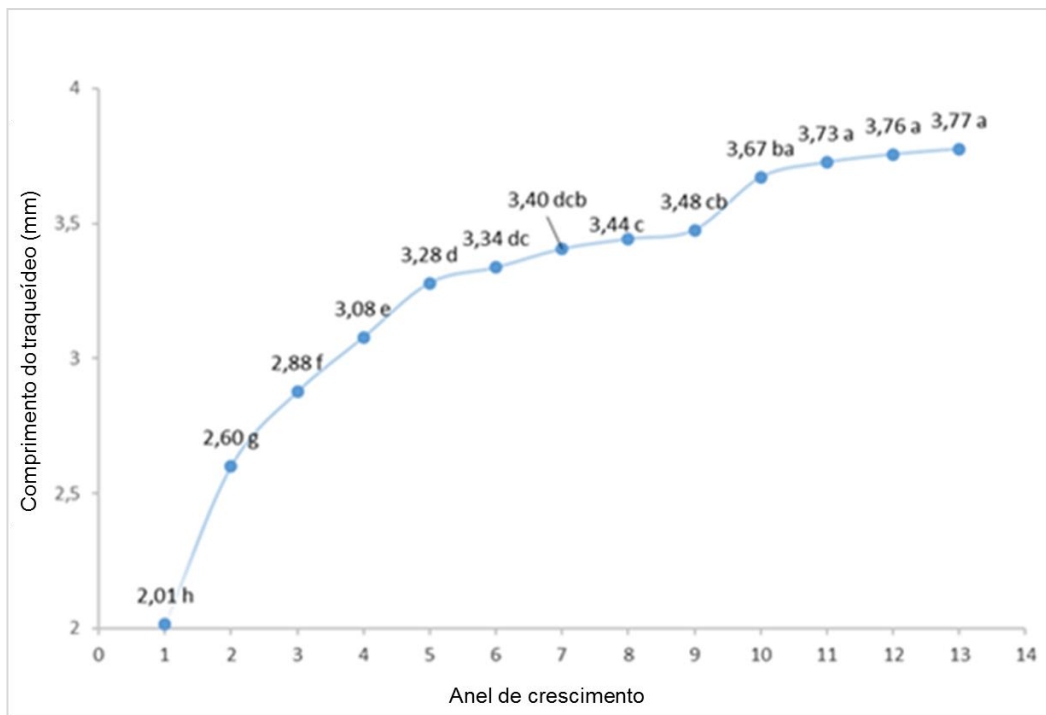


Comparação das médias através do Teste de Tukey ao nível de significância de 5%, medias seguidas pela mesma letra não são significativamente diferentes.

Fonte: Autora.

Na classe diamétrica base do *Pinus taeda* (Figura 8), até a idade de 10 anos observou-se o aumento do comprimento dos traqueídeos e que, posteriormente, até a idade máxima (14 anos), o comprimento estabiliza, como o indicado no teste de médias. Assim, podemos afirmar que a partir dos 10 anos temos a formação do lenho adulto, e que as idades abaixo desta o lenho encontrado é o juvenil.

Figura 8 - Comprimento dos traqueídeos por anel de crescimento em *Pinus taeda* (Base).



Comparação das médias através do Teste de Tukey ao nível de significância de 5%, médias seguidas pela mesma letra não são significativamente diferentes.

Fonte: Autora.

Ao observar as Figuras 5 a 8 é possível verificar que o crescimento dos traqueídeos nos anos iniciais é mais acentuado, diminuindo gradativamente até estabilizar. Palermo et al. (2013) também encontrou este comportamento, afirmando que o ponto de inflexão da curva permite delimitar as regiões no lenho, sendo a região de incremento rápido considerada zona juvenil, a região de incremento lento região de transição e a região de estabilização zona adulta.

O lenho adulto só aparece na madeira da base, isto pode ser explicado pelo crescimento da árvore, de acordo com Ballarin e Palma (2003) a madeira juvenil corresponde a uma região central na árvore de forma cilíndrica, com diâmetro mais ou menos uniforme, estendendo-se desde a base até o topo da árvore, já a madeira adulta é mais presente na base e esta na parte mais externa do tronco, próxima a casca.

A quantidade de lenho juvenil e/ou adulto pode ter influência no uso final da madeira. Conforme Trevisan (2014), a madeira juvenil em maior proporção no fuste

e suas características físicas, mecânicas, químicas e anatômicas diminuem a qualidade da madeira para uso industrial.

Segundo Ballarin e Palma (2004), as propriedades químicas, físicas, anatômicas e mecânicas da madeira formada nos primeiros anos de vida das árvores são diferentes e muitas vezes inferiores às da madeira formada na fase adulta da árvore. De modo geral, o crescimento rápido nas plantações origina a formação de madeira de qualidade inferior e que, atualmente, é grande a proporção de madeira juvenil comercializada nos mercados, trazendo como resultado problemas de qualidade nos produtos obtidos deste tipo de matéria prima.

A média do percentual de lenho inicial e tardio por espécie e sua variabilidade ao longo do fuste é apresentado nas Tabelas 8 e 9 respectivamente.

Tabela 8 - Porcentagem de lenho inicial nas madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*, por classe de diâmetro.

Classe de diâmetro	<i>P.taeda</i> (T)	<i>P. patula</i> (P)
Topo (P)	79,25 bA	80,28 bB
Meio (M)	77,28 aB	75,43 aA
Base (B)	76,07 aB	73,52 aA

Interação significativa, as médias seguidas de letras iguais, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autora.

Conforme a Tabela 8, o lenho inicial apresentou interação entre os fatores classe e espécie. Para ambas as espécies, a classe de diâmetro topo apresentou maior porcentagem de lenho inicial.

Tabela 9 - Percentual médio de lenho tardio nas madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*, por classe de diâmetro.

Classe de diâmetro	<i>P.taeda</i> (T)	<i>P. patula</i> (P)
Topo (P)	20,78 cA	19,65 bA
Meio (M)	22,49 bB	24,78 aA
Base (B)	25,51 aA	26,27 aA

Interação significativa, as médias seguidas de letras iguais, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autora.

Os resultados da Tabela 9 mostram que a madeira de *Pinus patula* da classe de diâmetro meio apresentou médias de percentual de lenho tardio superiores ao

Pinus taeda. Para as duas espécies a base apresentou maior porcentagem do lenho tardio. Segundo Trianoski et al. (2013), uma maior proporção de lenho tardio é desejada quando se avalia esse parâmetro como indicativo de madeira para uso estrutural, proporcionando matéria prima com maior quantidade de células com parede celular mais espessa, o que implica maior densidade e, conseqüentemente, maior resistência mecânica.

Em relação à variabilidade do percentual de lenho tardio ao longo do fuste, é possível observar um padrão de redução da base para o topo nas duas espécies estudadas, o que indica que toras localizadas mais próximas à base das árvores normalmente apresentam melhor qualidade para uso estrutural ou que demandem maior resistência mecânica.

4. CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados do presente trabalho, pode-se relatar as seguintes conclusões e recomendações:

- Em ambas as espécies estudadas, os teores de extrativos, de compostos inorgânicos e de carboidratos tenderam a diminuir no sentido base-topo, enquanto que os teores de lignina aumentaram;
- A densidade básica das madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda* tenderam a diminuir no sentido base-topo da árvore;
- Para o lenho inicial/tardio a caracterização mostra uma porcentagem crescente de lenho tardio em proporção ao inicial no sentido topo-base;
- O lenho adulto só aparece na classe de base para as duas espécies.

É de fundamental importância o conhecimento da variabilidade interna das propriedades da madeira pois estas estão ligadas ao seu melhor uso tecnológico, visando à classificação da madeira com propriedades semelhantes, bem como à homogeneização de lotes para a sua aplicação nas empresas.

E é de grande relevância para o estudo, pois, a madeira com maior densidade, e maiores dimensões de fibras para a indústria de celulose e papel, pode ser encarada sob os seguintes aspectos:

- São fatores a serem considerados na produção de celulose, tanto em termos de rendimento por digestor individual quanto em rendimento por unidade de volume de madeira;
- A densidade uniformizada dentro de um determinado lote de madeira é desejável para a obtenção de um produto final padronizado;
- A velocidade de impregnação da madeira pelo licor de cozimento e conseqüente ritmo de deslignificação são influenciados pela densidade, sendo de se esperar que, dentro de uma mesma espécie, madeiras menos densas, como as do topo, sejam mais facilmente deslignificadas;
- Com respeito ao papel obtido de coníferas encontra-se uma relação direta entre a densidade e o tamanho das fibras com a propriedade de resistência ao rasgo.

- **BIBLIOGRAFIA**

AGUIAR, A. V; SOUSA, V. A; SHIMIZU, J. Y. Espécies de Piuns mais plantadas no Brasil. **Revista da Madeira**. Online. Edição 135, maio de 2013.

ALMEIDA, N. F; CAMARGO, D. T; ARRIEL, D. A. A; MORI, F. A. Avaliação das propriedades dos resíduos de Pinus patula em diferentes períodos de armazenamento visando a cogeração de energia. **FLORESTA**. Curitiba, PR, v. 40, n. 2, p. 269-274, abr./jun. 2010.

ANDRADE A. S. de. Qualidade da madeira, celulose e papel em Pinus taeda L.: influência da idade e classe de produtividade, Curitiba. 2005. 107p. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Paraná.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (**BRACELPA**). Celulose de fibra longa. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br>>. Acesso em 19 de dezembro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941-02** - Determinação da densidade básica em madeira. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. Anuário estatístico ABRAF. **ABRAF**. Disponível em: <www.ipef.br/estatisticas/relatorios/>. Acesso em 29 de abril de 2016.

BAJPAI, P. **Biotechnology for Pulp and Paper Processing**. XXI, 414 p. Cap. 2 p. 7-14, 2012.

BALLARIN, A. W; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de Pinus taeda L. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.371-380, 2003.

BALLARIN, A. W; PALMA, H. A. L. Resistência e rigidez da madeira pinus. **Revista da Madeira**. Ed. 83. Ago. 2004.

BENDTSEN B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**. P. 69-72. 1978.

BENDTSEN, B. A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation grown eastern cottonwood and loblolly pine. **Wood and Fiber Science**, v. 18, n.11, p.23-38, 1986.

BIAZUS, A; HORA, A. B; LEITE, B. G. P. Perspectivas do Investimento 2010-2013. **Papel e Celulose**. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/>>. Acesso em 19 de janeiro de 2017.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Estudo da qualidade da madeira de Pinus taeda L. proveniente de árvores adultas atingidas por incêndio florestal. Curitiba. 1999. 173p. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Paraná.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo : Nobel. 154p. 1991.

COLODETTE, J. L. **QUÍMICA DA MADEIRA**. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Laboratório de Celulose e Papel. 2001.

DUEÑAS, R.S. Obtención de pulpas y propiedades de las fibras para papel. Guadalajara. **Tese de doutorado**. Universidad de Guadalajara. ed.1, 293p. 1997.

D'ÁLMEIDA, M. L. O.; Celulose e papel – Tecnologia de fabricação da pasta celulósica, 2 ed, **IPT**: São Paulo. 559p. 1988.

DINUS, R. J.; WELT, T. Tailoring fiber properties to paper manufacture. IPST Technical Paper Series Number 586. **TAPPI Pulping Conference** October 1-5, Chicago, Illinois. 1995.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974. 293 p.

GAMA, A. T; CABACINHA, C. D; MEIRA, M. R; LEITE, M. V. S. Variações da densidade básica da casca e da madeira do Barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville) **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 2014.

GOLDSCHMID, O. **Ultraviolet spectra**. In: SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C.H. (Eds.) *Lignins: Occurrence, formation, structure and reactions*. New York: Wiley-Interscience, 1971.

GOMES, F. B; COLODETTE, J. L; GOUVÊA, A. F. G; TRUGILHO, P. F; GOMES, C. M; MACEDO, A. M. L. **O Impacto da Relação Siringil Guaiacil na Polpação Kraft de Eucalyptus**. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2008>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2017.

GOMIDE, J. L; OLIVEIRA, R. C. Eficiência da antraquinona na polpação alcalina de eucalipto. **Revista Árvore**. Vol. 3, nº 2, p. 208-220. 1979.

GOMINHO, J.; FIGUEIRA, J.; RODRIGUES, J. C.; PEREIRA, H. Within-tree variation of heartwood extractives and wood density in the eucalypt hybrid urograndis (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*) . **Wood and Fiber Science**, 33. 2001.

GONÇALVES, M. DA P.M.; COFFLER, R.; DE CARVALHO, A.M.; GARCIA, R.A. Variação radial da densidade básica e comprimento das fibras da madeira de *Tectona grandis* L.f. **Revista Floresta e Ambiente**, vol. 14, n. 1, p. 70-75. 2007.

HIGA, R. C. V., et al, Zoneamento Climático: *Pinus taeda* no Sul do Brasil, Documento 175, *Embrapa Florestas*, ISSN 1679-2599, Dezembro, 2008.

HILLIG, E. O Gênero *Pinus* no Brasil: Invasor, Injuriado ou Incompreendido? **Painel Florestal**. 8 de fevereiro de 2013. Disponível em: <

<http://www.painelflorestal.com.br/noticias/silvicultura/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2017.

HUSQVARNA. **Celulose e os Diferentes Tipos de Papel**. Disponível em: <<http://www.mundohusqvarna.com.br/assunto/celulose-e-os-diferentes-tipos-de-papel/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, *ibá* Dados e Estatísticas, 2015. **ibá** Disponível em: < <http://iba.org/pt/dados-e-estatisticas> >. Acesso em: 15/09/2016.

JANKOWSKY, I.P. Madeira Juvenil: formação e aproveitamento industrial. **IPEF**, São Paulo/SP, 18p. (Circular Técnica nº 81). 1979.

KIBBLEWHITE, R. P.; RIDDELL, M.J.C.; SHELBOURNE, C. J. A. Kraft fibre and pulp qualities of 29 trees of New Zealand grown *Eucalyptus nitens*. **Appita Journal**, Carlton, v. 51, n. 2, p. 114-121, 1998.

KLOCK, U; MUÑIZ, G. I. B; HERNANDEZ, J. A; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. 3. ed. rev. Curitiba: UFPR, 2005. 86 p.

KLOCK, U. Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Morre. Curitiba. 297p. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Paraná. 2000.

KOCH P. Utilization of the Southern pines. Madison: USDA **Forest Service Agricultural**; 1972.

KOGA, M.E.T. Matérias-primas fibrosas. In: PHILIPP, P. & D'ALMEIDA, M.L.O. Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. **IPT**, São Paulo, 2ª ed., p. 15-44. 1988.

LARSON PR, KRETSCHMANN DE, CLARK A, ISEBRANDS JG. Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis. **Forest Products Laboratory**; General Technical Report. 2001.

LATORRACA J.V.F; ALBUQUERQUE C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**; vol. 7; p. 279-290; 2000.

LEWIN, M; GOLDSTEIN, I. S. **Wood Structure and Composition**. New York. M. Decker, p. 488. 1991.

LIMA, R. S; COELHO, J. C. F; SILVA, J. C. S; ARAÚJO, J. A; CALDERON, C. M. A. Influência da Anatomia nas Propriedades Físicas da Madeira de *Iryanthera grandis* Ducke. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p. 2014.

MALLAN, F.A. Eucalyptus improvement for lumber production. In: SEMINARIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, IPEF/IPT, **Anais eletrônicos..**, São Paulo, IPEF/IPT, 05-06, p. 1-19, abril, 1995.

MOCELIN, E.Z. Antraquinona e surfactante para otimização do processo Kraft com Pinus spp. Curitiba. 2005. 72p. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Paraná.

MOKFIENSKI, A; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C Importância da densidade e do teor de carboidratos totais da Madeira de eucalipto no desempenho da linha de fibras. In: **COLÓQUIO INTERNACIONAL SOBRE CELULOSE KRAFT DE EUCALIPTO**. Viçosa. Colóquio. Viçosa: 2003. P15-38. 2003.

MORAIS, S. A. L; NASCIMENTO, E. A; MELOII, D. C. Análise da madeira do Pinus oocarpa. **Revista Árvore**. on-line version ISSN 1806-9088. vol.29 no.3 Viçosa May/June 2005.

NYLINDER, P. - 1953 - Variations in density of planted spruce. Skogsferningsinst, p. 1- 44. In: The influence of environmental and genetics on pulwood. quality: na annotated bibliography. **TAPPI monograph series**, pág. 541, 1962.

PALERMO, G. P. M; LATORRACA, J. V.F; SEVERO, E. T. D; NASCIMENTO, A. M; REZENDE, M. A. Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.1, p.191-200, 2013.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4th ed. New York: Mc-Graw Hill, 1980. 722 p

PARHAM, R.A. **Ultra-structure and chemistry**. In: Pulp and Paper Manufacture. Properties of fibrous raw materials and their preparation for pulping. Vol 1. Ed: Kocurck, M. J.; Stevens, C.F.B. 35-42. 1982.

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de sete espécies da amazônia com vistas à produção de energia e papel. **Acta Amazonica**. p. 243-262. 2003.

PEREIRA, H.; SARDINHA, R. Chemical composition of *Eucalyptus globulus*. **Appita** 37 (8): 661-664. 1984.

POUBEL, D. S.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V.; CARVALHO, V. M. Estrutura Anatômica e Propriedades Físicas da Madeira de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente** 2011 abr./jun.; 18(2):117-126. doi 10.4322/floram.2011.029. ISSN 1415-0980 (impresso). 2011.

QUEIROZ, S. C. S. et al. Influência da Densidade Básica da Madeira na Qualidade da Polpa KRAFT de Clones Híbridos de *Eucalyptus Grandis* W. Hill Ex Maiden X *Eucalyptus Urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.901-909, 2004.

RIGATTO, P.A.; DEDECEK, R.A.; MATOS, J.L.M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose Kraft. **Revista Árvore**. Viçosa. v.28, n.2, p.267-273. 2004.

SANTOS, A.; ANJOS, O.; SIMOES, R. Avaliação da Qualidade do Papel Produzido com Fibra de *Acacia* spp.. **Silva Lusitana** [online]. 2005, vol.13, n.2, pp.249-266. ISSN 0870-6352. 2005.

- SCHIMIZU, J. Y. Pínus na silvicultura brasileira. Colombo. **Embrapa Floresta**. 2008.
- SHIMOYAMA, V.R.S.; BARRICHELLO, L.E.G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de Eucalyptus spp. In: **CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL**, 24., São Paulo. Anais... São Paulo, ABTCP, 1991. p.178-183. 1991.
- SILVA, J. A. A; NETO, F. P; ENCINAS, J. I; SANTANA, O. A; **Princípios básicos de dendrometria**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, p. 191, 1979.
- SOUZA, B. V; SOUZA, J. T. Avaliação da composição química da casca de pinus taeda I. Visando à produção de açúcares fermentescíveis. **SIEPE** - Seminário de Iniciação Científica, Seminário Integrado de Ensino. Anais eletrônicos ISSN: 2237-6593. De 12 a 16 de setembro 2016.
- SOUZA, V. R; CARPIM, M. A; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna. **IPEF**, n.33, p.65-72, ESALQ-USP, Departamento de Ciências Florestais 13400 - Piracicaba – SP. ago.1986.
- SJÖSTRÖM, E., ALÉN, R. **Analytical Methods in wood chemistry, pulping, and papermaking**. Springer. Germany, 316p.1998.
- TREVISAN, R; MOTTA, C. I; FIORESI, T; MÜLLER, A. V. T; RABUSKE, J. E; DENARDI, L. Idade de segregação do lenho juvenil e adulto para Pinus elliottii Engel. **Ciência Rural**, ISSN 0103-8478. Santa Maria, v.44, n.4, p.634-638, abr, 2014.
- THE TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Test methods (compact disc): 1998-1999. Atlanta: **TAPPI**. 1999.

TRIANOSKI, R; MATOS, J. L. M; IWAKIRI, S; PRATA, J. G. Avaliação longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de pinus tropicais. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 43, n. 3, p. 503 - 510, jul. / set. 2013.

TRUGILHO, P. F; LIMA, J. T; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, MG, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

VIDAL, A. C. F. HORA, A. B., Celulose de fibra longa: uma oportunidade para a indústria brasileira? **BNDES Setorial** 39, p. 281-342, 2013.

VITAL, B.R.; PEREIRA, A.R.; DELLA LUCIA, R.M.; ANDRADE, D.C. de. Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado da região do cerrado de Minas Gerais. Brasília/DF, **IBDF**. p.41-52. Agosto, 1984.

WALLIS, A. F. A; WEARNE, R. H; WRIGHT, P. J. Analytical characteristics of plantation eucalytp woods relating to kraft pulp yields. **Appita Journal** 49 (6): 427-432. 1996.

CAPÍTULO II

INFLUENCIA DO LENHO ADULTO NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Pinus taeda* e *Pinus patula* PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT

RESUMO – O setor brasileiro de polpa celulósica e papel vem contribuindo de forma expressiva para o desenvolvimento socioeconômico do país. Com o aumento da produção de celulose e papel, tornou-se necessário que se aproveite ao máximo a matéria prima, sendo muito importante que se conheça a qualidade da madeira, principalmente a sua composição anatômica e química. Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar as madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula* em duas classes de alturas axiais (base e topo), com lenho adulto e juvenil, para a produção de polpa celulósica kraft. A análise morfológica dos traqueídeos foi utilizada para a determinação do lenho adulto, o qual foi encontrado apenas na madeira de base para as duas espécies. Os cozimentos foram realizados de modo convencional, e seus parâmetros (carga de álcali e fator H) foram ajustados conforme as densidades das madeiras e o número kappa desejado de aproximadamente 55 ± 1 . Os resultados obtidos mostraram que, para ambas as espécies, as madeiras da posição axial base resultaram em polpas com os maiores rendimentos e viscosidades, sendo, portanto as de melhor qualidade para produção de polpas celulósicas kraft marrons.

Palavras-chave: Qualidade da madeira; Traqueídeos; Polpa celulósica.

INFLUENCE OF ADULT WOOD ON THE CHARACTERISTICS OF WOOD FROM
Pinus taeda AND *Pinus patula* FOR THE PRODUCTION OF KRAFT CELLULOSE

ABSTRACT – Brazilian cellulose pulp and paper area has contributed significantly for the country's socioeconomic development. As the production of cellulose and paper increased, full utilization of the raw material has become necessary, so knowing the qualities of the wood, mainly its anatomical and chemical compound, is important. The objective of this research was to evaluate woods from *Pinus taeda* and *Pinus patula* in two different axial position of the trunk (base and top), of adult and juvenile wood, for the production of kraft cellulose pulp. The morphological analysis of tracheids was used to determine the adult wood, which was found in only base wood of both species. Cookings were made in conventional method, and the parameters (alkali charge and H-factor) were adjusted according to wood densities and the desired kappa number of 55 ± 1 . For both species, base woods resulted in pulps of higher yield and viscosity.

Keywords: Wood quality; tracheids; cellulose pulp.

1 INTRODUÇÃO

O setor brasileiro de polpa celulósica e papel vem contribuindo de forma expressiva para o desenvolvimento socioeconômico do país. A Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2017) nos apresenta que dos 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas no Brasil, mais de 34% pertence ao segmento de celulose e papel, o qual contribui com investimentos econômicos, ambientais e sociais para o país e investe em programas sociais que totalizam R\$ 285 milhões, distribuídos em programas de saúde, cultura, qualidade de vida e educação.

Segundo a Abraf (2017), em 2016 a produção brasileira de celulose cresceu 8,1% em relação a 2015 e levou o Brasil a subir duas posições no ranking de produção da commodity, alcançando a segunda posição entre os maiores produtores mundiais de celulose. Porém, para abastecer este mercado é importante que se desenvolvam estudos sobre novas tecnologias processuais para o maior e melhor aproveitamento da madeira na linha de fibras da fábrica.

De acordo com Souza e Souza (2016), o gênero *Pinus* compreende aproximadamente 600 espécies florestais, onde encontra-se as madeiras das espécies *Pinus taeda* e *Pinus patula*. Na região Sul do Brasil, este gênero é cultivado em aproximadamente 1,6 milhão de hectares e abastece principalmente as indústrias do ramo de celulose e papel, siderurgia e de painéis de madeira. Essas espécies se adaptaram ao clima na região sul do país, tornando-se fontes renováveis de ciclo rápido.

As espécies *Pinus taeda* e *Pinus patula* são fontes de matéria prima de fibras longas, termo utilizado nas indústrias do setor de papel e celulose para descrever o principal elemento anatômico (traqueídeos) das madeiras do gênero *Pinus*, possuindo comprimentos entre 2 e 5 mm. São fibras muito utilizadas na produção de papéis para embalagens ou camadas internas de papelão, pois estes necessitam de elevada resistência mecânica.

As fábricas de celulose e papel que utilizam madeiras de pinus, as quais possuem grande variabilidade de qualidade e maiores teores de lignina e de extrativos, necessitam, muitas vezes, de condições mais drásticas de cozimento (carga de álcali, temperatura e/ou tempo) durante o processo de polpação, o que pode ocasionar prejuízos, tais como queda no rendimento do processo, na qualidade

do produto final, elevação dos custos de produção e, conseqüentemente, redução no faturamento.

O conhecimento da composição química da madeira é de grande importância, pois influencia em algumas propriedades que podem definir o seu uso final. No caso do uso da madeira de pinus na produção de celulose, como citado anteriormente, Parham (1982) afirma que o processo de transformação e qualidade do produto final é dependente da composição química da matéria prima que lhe dá origem, e Wallis et. al (1996) complementa que, os principais destaques devem ser para os teores de extrativos e de lignina que se correlacionam negativamente com o rendimento da produção de celulose.

Da mesma maneira, a densidade, considerada uma das mais importantes características tecnológicas da madeira, pode influenciar no processo de produção de polpa celulósica, pois através desta se consegue informações sobre o comportamento da madeira, em relação a suas propriedades físicas e químicas.

De acordo com Lima et. al (2014), as propriedades químicas e a densidade são influenciadas pelas características anatômicas da madeira, devido à complexidade estrutural do lenho, alterado conforme a frequência, tamanho e disposição dos elementos anatômicos que o compõe. Segundo Burger e Richter (1991), para poder indicar o uso mais apropriado de uma espécie madeireira, o conhecimento sobre a estrutura anatômica é fundamental, pois as características da madeira influenciam diretamente nas propriedades deste material.

Compreender a diferença entre os lenhos adultos e juvenil nas características tecnológicas da madeira de pinus facilitará no melhor uso deste material. Grande parte das propriedades físicas e químicas da madeira, dentro da zona de lenho juvenil, são muito variáveis e quase constantes na madeira adulta (ZOBEL, 1980). Segundo Zobel e Van Buijtenen (1989), as características químicas do lenho juvenil causam grande variação na produção e qualidade da celulose e papel. Lube et al. (2013) também ressaltam que as propriedades anatômicas da madeira juvenil são diferentes e muitas vezes inferiores às da madeira formada na fase adulta da árvore. Segundo os autores, a madeira juvenil difere da adulta por apresentar menor densidade, traqueídeos mais curtos, paredes celulares mais finas e menor conteúdo de celulose.

Com isso pode-se afirmar que as diferenças entre as propriedades do lenho juvenil e adulto são importantes para a utilização da madeira (CALEGARI et al.,

2002). Quando a madeira juvenil é a maioria presente nos cavacos a qualidade da polpa química é afetada (ZOBEL; VAN BUIJTENEN,1989). Em condições idênticas de polpação química, o rendimento para polpação de madeira juvenil é cerca de 10% a 15% inferior ao da produção de polpa a partir de madeira adulta (LUBE et al., 2013).

Apesar do lenho juvenil ocorrer tanto nas folhosas como nas coníferas, nestas esse lenho é mais evidente se apresentando de forma muito visível na maioria das espécies. Conforme Zobel e Buijtenen (1989) e Golfin et al. (1999) a madeira juvenil é de grande interesse em coníferas de rápido crescimento, como o gênero *Pinus*, em especial em regiões tropicais. Segundo Vidaurre (2011), o comportamento da madeira juvenil em coníferas é muito explorado em periódicos internacionais, visto a grande diversidade de espécies desse gênero encontradas na Europa e na América do Norte.

Nas florestas temperadas de ocorrência natural e com idade avançada, a madeira juvenil normalmente fica restrita a uma menor porção do volume total da árvore e, assim, é menor a sua influência na qualidade da madeira. Já nos reflorestamentos, a proporção de madeira juvenil é maior, especialmente naquelas árvores de fuste pequeno, provenientes dos primeiros desbastes ou de plantações cortadas mais cedo (ZOBEL E BUIJTENEN, 1989).

Ao se comparar a madeira juvenil com a madeira adulta, Bendtsen (1978) e Senft et al. (1985) afirmaram que os ângulos microfibrilares da camada S2, o diâmetro do lúmen, o conteúdo de lignina, o lenho de reação e a contração longitudinal são maiores na madeira juvenil. Por outro lado, a densidade, o comprimento de traqueídeos, a espessura da parede celular, o conteúdo de celulose, a resistência e a rigidez são maiores na madeira adulta. Com isso podemos afirmar que a madeira adulta é mais desejável para alguns setores comerciais, como o setor de produção de celulose e papel, por exemplo.

Vidaurre et al. (2011) salienta a dificuldade de localização exata do limite entre a madeira juvenil e a adulta. Conforme a autora, a mudança de madeira juvenil para madeira adulta não se processa da mesma forma para as diferentes características e propriedades da madeira. Por exemplo, a estabilização e a mudança de densidade ocorrem de maneira mais rápida que o comprimento dos traqueídeos. Para Zobel e Buijtenen (1989) essa demarcação entre lenho juvenil e adulto não é clara, por causa das mudanças graduais nas células, sendo que o

número real de anéis do lenho juvenil depende de como ele é definido anatomicamente; por exemplo, o comprimento dos traqueídeos pode atingir sua uniformidade antes da espessura da parede celular.

Bendtsen (1978) caracteriza a madeira juvenil pela taxa de mudança na maioria das propriedades ser mais rápida nos primeiros anéis de crescimento; enquanto os anéis posteriores vão assumindo uma estabilidade nas propriedades gradualmente, caracterizando assim a madeira adulta. Segundo Kraemer (1986), o comprimento das fibras ou dos traqueídeos constitui a principal variável na definição entre a madeira adulta e a juvenil. As fibras/traqueídeos são curtos na região de madeira juvenil, perto da medula, aumentando rapidamente em direção à casca, ainda no lenho juvenil. Essas mudanças na região adulta da árvore são pequenas.

De maneira geral, as diferenças nas propriedades anatômicas do lenho podem facilitar ou dificultar a impregnação dos cavacos com os reagentes da polpação, e afetar os índices de qualidade de fibra para produção de papel (Foelkel, 2009). Segundo Boschetti et al. (2015), essas propriedades podem influenciar tanto no custo da madeira quanto no rendimento do processo industrial e, sobretudo, na qualidade das polpas e dos papéis a serem produzidos.

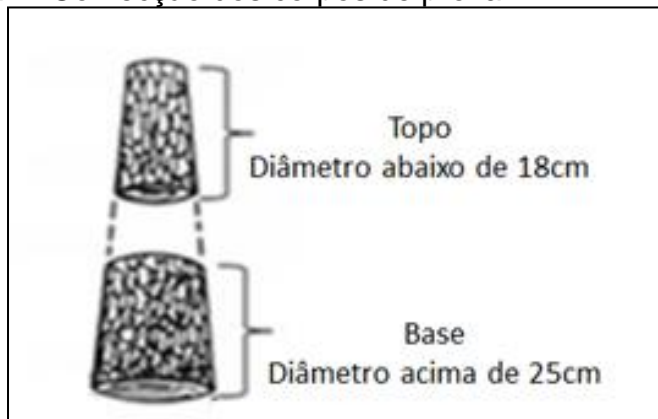
Sendo assim, a correta utilização e a escolha da madeira de pinus de melhor qualidade para as indústrias de celulose e papel está relacionada às suas características anatômicas, químicas e físico-mecânicas. Buscando essas informações, o objetivo desse estudo foi avaliar a influência da porção de lenho adulto das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula* na produção de polpas celulósicas kraft não branqueadas com maiores rendimentos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

As madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula* utilizadas nesse estudo foram provenientes de plantios comerciais localizadas na região sul do país. Foram utilizadas 5 árvores por espécie com 14 anos de idade, as quais, após derrubadas, foram seccionadas em duas alturas axiais pré-estabelecidas, topo e base, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1- Confeção dos corpos de prova.



Fonte: Autora

De acordo com a Figura 1, as classes axiais escolhidas foram, acima de 25cm (Base) e abaixo de 18cm (Topo). Os toretes, por posição axial do tronco, foram transformados em cavacos e a partir desse material, foi realizada a amostragem composta para a determinação da densidade básica, caracterização química, e posteriormente para o processo de polpação kraft e mensuração das fibras das polpas celulósicas obtidas.

Os cavacos de madeira foram classificados manualmente, com auxílio de peneiras de 16 mm x 16 mm, para a eliminação dos cavacos superdimensionados, finos, nós e cunhas, aplicando a norma SCAN-CN 40:01 como referência. Após secos ao ar, os cavacos foram armazenados em sacos de polietileno para uniformização e conservação do teor de umidade.

Foram realizadas as seguintes avaliações nas madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*, nas duas classes axiais (base e topo): densidade básica, composição química e morfologia dos traqueídeos.

2.2 METODOLOGIA

2.2.1 Caracterização física da madeira

A densidade básica dos cavacos das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*, nas duas alturas axiais, foi determinada pela relação entre o peso absolutamente seco e o volume saturado dos cavacos, utilizando-se o método da balança hidrostática estabelecido na norma ABNT-NBR 11941.

2.2.2 Caracterização química da madeira

Para as análises químicas, os cavacos foram transformados em serragem, a qual foi classificada em peneiras acopladas em agitador eletromagnético, sendo utilizada a fração 40/60 (a serragem que atravessou a peneira de 40 mesh e ficou retida na peneira de 60 mesh). Foi necessário secar ao ar livre a serragem até umidade de equilíbrio (aproximadamente 12%). As amostras de madeira (serragem) foram então armazenadas em frascos de vidro. A amostragem e a preparação da madeira para as análises químicas seguiram os procedimentos conforme a norma TAPPI (T 264 om – 88).

A Tabela 1 apresenta as análises e os procedimentos empregados para a determinação da composição química das madeiras.

Tabela 1- Procedimentos analíticos para caracterização química das madeiras

Parâmetro	Procedimento
Extrativos totais	TAPPI – 204 om-88
Compostos inorgânicos	TAPPI T 211 om-93
Determinação de lignina (método de mini amostra)	Norma LCP modificada por Gomide e Demuner (1986)
Teor de carboidratos	TAPPI T 249 cm-85

Fonte: Autora

2.2.3 Análises morfológicas dos traqueídeos

Os traqueídeos foram preparados e submetidos ao processo de maceração em solução constituída por uma mistura de ácido nítrico e ácido acético, conforme procedimentos descritos por Barrichelo e Foelkel (1983), para a individualização dos elementos anatômicos destas madeiras. Para o preparo das lâminas os traqueídeos foram coloridos com solução aquosa de safranina a 1% e submetidas a agitação para evitar a aglomeração das mesmas. Com auxílio de um vídeo microscópio computadorizado (analisador de imagens) foram mensuradas 100 traqueídeos para cada amostra de polpa.

Na mensuração dos traqueídeos determinou-se o comprimento, o diâmetro do traqueídeos e do lúmen celular, a fim de obter a porcentagem de lenhos inicial e tardio, além da determinação do lenho adulto e juvenil.

2.2.4 Polpação Kraft

Foram utilizados cavacos de madeira de *Pinus taeda* e *Pinus patula*. Os cavacos foram secos ao ar com objetivo de atingir um teor de umidade uniforme e estável e, a seguir, foram homogeneizados em misturador de cavacos e, então, classificados e selecionados de acordo com a norma SCAN-CM 40:94. Os cavacos foram acondicionados em sacos de polietileno para conservação do teor de umidade e proteção contra ataques de micro-organismos.

A polpação kraft dos cavacos de *Pinus taeda* e *Pinus patula* nas duas alturas axiais (base e topo) foi realizada em digestor MK, com capacidade de 7 litros, com aquecimento elétrico por meio de trocador de calor e contendo equipamentos periféricos como manômetro e bomba de circulação. O tempo e a temperatura de cozimento foram monitorados por meio de controlador eletrônico acoplado a um computador.

As cargas de álcali foram ajustadas após realização de cozimentos exploratórios, objetivando obtenção de número kappa próximo a 55 ± 2 , escolhendo, posteriormente, carga média de 20% de álcali efetivo. Os outros parâmetros (temperatura e tempo) utilizados para a polpação kraft foram mantidos constantes para todos os cozimentos. O fator H médio para os cozimentos foi de 1130.

Após os cozimentos, os cavacos e o licor negro foram drenados do digestor e uma parte do licor negro foi coletada para análises enquanto os traqueídeos cozidos foram lavados exaustivamente com água à temperatura ambiente, utilizando tela de aço inox de 150 mesh. A individualização dos traqueídeos foi realizada em hidrapulper laboratorial de 25 litros, em consistência aproximada de 0,6%.

A depuração da celulose foi realizada em depurador laboratorial Voith, contendo placa com fendas de 0,5mm. Após lavagem, desfibramento e depuração, a celulose foi desaguada em centrífuga a uma consistência de cerca de 30% e armazenada em saco de polietileno para análises.

O licor branco foi produzido no Laboratório de Celulose e Papel (LCP) com álcali efetivo de 129,66 g/l, como NaOH e sulfidez de 23,1% e a relação licor/madeira de 4:1. As titulações dos licores branco e negro residual foram realizadas de acordo com as normas SCAN 2:88 e SCAN-N 33:94

Foram realizadas as seguintes análises das polpas marrons: número kappa, rendimento total, rendimento depurado, teor de rejeitos e viscosidade como podemos ver na Tabela 2.

Tabela 2 - Procedimentos analíticos para licores e as polpas celulósicas.

Parâmetros	Referências
Classificação dos cavacos	SCAN 40:94
Número Kappa	Tappi T 236 cm-85
Teor de rejeitos	Propriedade LCP
Rendimentos	Propriedade LCP
Viscosidade	Tappi T230 om-94

Fonte: Autora

2.2.5 Análises estatísticas

As análises estatísticas para propriedades químicas e físicas e os resultados dos cozimentos foram avaliadas com o auxílio do software estatístico Genes (CRUZ, 2001), com as variáveis em arranjo fatorial 3x2 (três classes de altura e duas espécies). Quando rejeitada a hipótese de nulidade, foi aplicada a comparação de médias por meio de um teste de Tukey, com um nível de 5% de significância.

Para as propriedades anatômicas foi aplicado um teste de médias, onde a análise de variância e as médias, foram analisadas pelo teste de Tukey com 95% de confiança.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE MORFOLÓGICA DAS FIBRAS

Conforme apresentado no Capítulo 1, as árvores de *Pinus taeda* e *Pinus patula* com as alturas axiais de base e topo apresentam um comprimento de traqueídeos mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Comprimento dos traqueídeos das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*.

Espécie	Comprimento de traqueídeo (mm)	
	Topo	Base
<i>Pinus taeda</i>	2,90	3,31
<i>Pinus patula</i>	3,37	3,68

Fonte: Autora

Além disso, as duas espécies de pinus, nas madeiras de base há presença de lenho adulto. De acordo com Vidaurre et al. (2011), a análise das propriedades da fibra da madeira para polpação e produção de papel é de fundamental importância na qualidade da madeira.

Segundo Evans et al. (2000) na madeira de lenho adulto as paredes das células são mais espessas, há um menor conteúdo de lignina e maior teor de celulose, a densidade e a resistência são mais elevadas o que reflete no módulo de elasticidade e ruptura da flexão estática. Segundo o autor, por isso, é imprescindível que se saiba como a madeira vai reagir mediante a esforços mecânicos.

Segundo estudo realizado por Yeh et al. (2006), observou que a madeira adulta da base da árvore possui ligeiramente melhor “coarseness” do que a madeira juvenil do topo da árvore, o que ocorre, aparentemente, por ser mais fina a parede celular da madeira juvenil. E os ângulos das microfibrilas apresentaram maiores valores para a madeira juvenil do que para a madeira adulta.

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS MADEIRAS

A Tabela 4 apresenta os resultados da densidade e da composição química das madeiras de *P. taeda* e *P. patula*, nas classes axiais base e topo.

Tabela 4 – Propriedades física e químicas das madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda*, nas alturas axiais base e topo.

Classe	Densidade (g.cm ⁻³)		Lignina Klason (%)		Extrativos (%)		Carboidratos (%)	
	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus taeda</i>
Base	0,49 aA	0,46 aB	23,93 aA	24,45 aA	2,41 bA	2,94 bA	72,14 *	72,94 *
Topo	0,39 bA	0,35 bB	26,58 bA	25,88 bA	2,19 aB	1,96 aA	71,32 *	71,29 *

Fonte: Autora. Interação significativa, Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. *Interação não significativa.

Como podemos observar na Tabela 4, os maiores valores de densidade básica, para ambas as espécies, foram encontrados na posição axial base, o que pode ser explicado devido a maior porção de lenho adulto, o qual possui traqueídeos com maiores comprimentos. Souza et al (1986) citaram que não há um modelo definido de variação da densidade básica da madeira no sentido base-topo da árvore. Contudo eles apontam que Nylinder (1962), trabalhando com *Pinus spp* aos 50 anos de idade, encontrou um acréscimo da densidade até cerca de 10% da altura total da árvore, para decrescer em seguida até o topo. Vital et al (1984) em trabalhos realizados com *Eucalyptus grandis*, encontraram um decréscimo significativo na densidade da madeira no sentido axial da árvore, conforme mais próximo ao topo menor é a densidade da madeira.

Gama et al. (2014) afirma que a densidade básica da madeira do *Stryphnodendron adstringens* (Mart) (barbatimão) ao longo do fuste, tem uma tendência linear decrescente, reduzindo a densidade básica da base ao topo. Este estudo foi conduzido nas alturas de 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Segundo os autores, há uma diminuição brusca da posição 0% até à posição 25%, uma pequena variação entre as posições 25% e 75%, voltando a cair bruscamente até 100%.

Neste estudo, uma tendência semelhante foi encontrada nas espécies *Pinus patula* e *Pinus taeda*, conforme dados apresentados na Tabela 4, com os valores de 0,35 a 0,49g.cm⁻³, sendo os valores de densidade superiores para a espécie *Pinus patula* e crescentes no sentido topo-base da árvore para as duas espécies.

Com relação a composição química, para ambas as espécies e classes axiais, os teores de lignina que variaram de 23,93 a 26,58%, os quais estão de

acordo com os valores encontrados na literatura (SJÖSTRÖN e ALÉN, 1998; D'ALMEIDA, 1988). As madeiras de topo apresentam valores superiores as madeiras base, o que pode ser explicado devido ao maior percentual de lenho juvenil nessa posição axial do tronco. Latorraca e Albuquerque (2000) e Larson et al. (2001) comparando o lenho adulto (proporção maior na base da árvore) e o lenho juvenil (proporção maior no topo da árvore) de espécies de coníferas de rápido crescimento, também encontram um maior conteúdo de lignina no lenho juvenil.

Bendtsen (1978), afirma que as madeiras de coníferas de rápido crescimento não são uniformes. Madeira dos primeiros anéis formados apresenta, entre outras características, um maior teor de lignina. O autor cita também que em anéis sucessivos, verifica-se uma mudança nas características, como diminuição do teor de lignina, caracterizando também uma transição do lenho juvenil para o lenho adulto.

Assim, nesse estudo, a lignina Klason, ou lignina insolúvel em ácido, para ambas as madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda* apresentou valores crescentes no sentido base-topo da árvore, evidenciando a maior presença de lenho juvenil na posição axial topo.

Com interação significativa entre os tratamentos, os teores de extrativos apresentaram um comportamento inverso ao da lignina apresentando valores crescentes no sentido topo-base da árvore para as duas espécies, e para a classe Topo, o *Pinus patula* apresentou maior teor de extrativos do que o *Pinus taeda*. Essa variação observada para o teor de extrativos também está relacionada à formação do lenho adulto. Burger e Richter (1991) verifica no processo de formação deste lenho o aumento de várias substâncias como tanino, resinas, gorduras, carboidratos e outras substâncias.

Pereira e Sardinha (1984) e Gominho et al. (2001) estudando a árvore no sentido base-topo, verificaram uma diminuição do teor de extrativos da base para o topo da árvore. Para os autores esta variação está diretamente relacionada com a presença do cerne, sendo que na base da árvore a porcentagem de cerne é superior ao topo.

Os teores de carboidratos apresentaram valores superiores a 70% com comportamento semelhante ao estudo da influência da classe axial nos parâmetros químicos analisados, realizado por Vital et al. (1989). Os autores observaram um

aumento dos teores de celulose e hemicelulose (carboidratos) da madeira na direção base-topo da altura de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden.

Neste estudo, apesar de observarmos um pequeno aumento na direção topo-base, não é possível afirmar que exista essa variação, pois as médias não apresentaram interação e a diferença entre elas não é significativa.

O surgimento de lenho adulto na base demonstra influencia nas propriedades da madeira e pode isso interferir nos processos de produção de celulose e na qualidade dos papéis produzidos.

3.3. POLPAÇÃO KRAFT

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises realizadas dos licores residuais e das polpas celulósicas não branqueadas obtidas a partir dos processos de polpação das madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda*, nas alturas axiais base e topo.

Tabela 5 – Análises realizadas nos licores residuais e nas polpas celulósicas produzidas das madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda*, nas alturas axiais base e topo

Classe	Rendimento (%)		pH final		fator H		AER (g/L)		Kappa		Viscosidade (dm ³ /Kg)	
	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus patula</i>	<i>Pinus taeda</i>
Base	48,93 aA	47,82 aB	13*	13,1*	1013*	1059*	8 aA	7,7aA	55,3aA	55,4 aA	1061,5 aA	1031,67 aB
Topo	44,82 bA	41,07 bB	13*	13*	1062*	1079*	7,8 aA	7,1bB	54,6aA	53,7 bA	960,83 bA	855,17 bB

Fonte: Autora. AER = Alkali efetivo residual; Fato H = Correlação da dissolução da lignina com as variáveis tempo e temperatura. Interação significativa, Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. *Interação não significativa.

Conforme apresentado na Tabela 5, para ambas as espécies, os maiores valores de rendimento foram observados na posição axial base. Esse resultado já era esperado, pois a maior porção de lenho adulto foi encontrada na altura da base do tronco, o qual possui os maiores valores de densidade básica e menores teores de lignina (Tabela 3), característica essa que favoreceu o processo de polpação dessas madeiras, resultando, conseqüentemente, no aumento de rendimento.

O aumento em rendimento em processos de polpação químicos é de grande importancia para as indústrias de celulose. Um acréscimo de 0,5 pontos percentual

pode representar um ganho significativo para o lucro da empresa, visto que a mesma opera em larga escala de produção.

Entre as espécies, o *Pinus patula* apresentou rendimento mais elevado que o *Pinus taeda* em ambas as classes axiais estudadas, o que pode ser explicado devido a sua maior densidade (traqueídeos com maior comprimento) além da madeira de base ter um menor teor de lignina. Esse resultado é bastante relevante, pois o *Pinus patula*, comparado ao *Pinus taeda*, é uma espécie ainda pouco estudada e utilizada para produção de celulose e papel.

Os valores de viscosidade mostraram um comportamento semelhante ao encontrados para os rendimentos, ou seja, foram crescentes do topo para a base das árvores em ambas as espécies estudadas. Conforme Barbosa et al. (2014), a viscosidade tem correlação positiva com o rendimento, uma vez que rendimentos mais altos, obtidos com cozimentos mais brandos, estão relacionados com menor degradação dos carboidratos e, conseqüentemente, com viscosidade mais elevada.

Observa-se que os valores do número kappa tiveram ligeiro aumento na presença do lenho adulto (base) entretanto houve também aumento no alcali residual para estas madeiras.

Zobel e Rhodes (1965), Barefoot et al. (1971) e Foelkel et al. (1972, 1976) observaram que a madeira juvenil produz celulose com menor rendimento (10 a 15%) do que a madeira adulta. Os autores explicam que isso pode ser justificado pela menor densidade da madeira, pelas fibras de menor comprimento e pelo maior teor de hemiceluloses na madeira juvenil, o que também foi observado nesse estudo, pois os menores rendimentos de polpação foram obtido para a madeira de topo, 41,07% para espécie *Pinus taeda* e 44,82% para o *Pinus patula*, as quais possuem maior quantidade de lenho juvenil comparada as madeiras de base.

4 CONCLUSÕES

A posição axial do tronco exerceu influência significativa sobre as características anatômicas, químicas, e de densidade básica para as madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda*;

As fibras desta madeira de base, tanto para *Pinus patula* quanto para *Pinus taeda*, resultaram em maior comprimento, além deste se manter constante caracterizando assim o surgimento do lenho adulto;

A menor porcentagem de lignina foi encontrada na madeira de base do *Pinus patula*;

O maior rendimento e a maior viscosidade foram obtidas nas polpas celulósicas das madeiras de base para ambas espécies;

A presença do lenho adulto como era esperado teve influencia positiva nas propriedades da madeira para fins de produção de celulose.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT**. Normas técnicas. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. Anuário estatístico ABRAF. **ABRAF**. Disponível em: <www.ipef.br/estatisticas/relatorios/>. Acesso em: 25/02/2018.

BARBOSA, B. M.; COLODETTE, J. L.; CABRAL, C. P.C.T.; GOMES, F. J. B.; SILVA, L. S. Efeito da fertilização na qualidade da madeira de Eucalyptus spp. **Scientia Forestalis**, volume 42, n. 101, p.29-39, março de 2014.

BAREFOOT A.C; HITCHINGS R.G.; ELLWOOD E.L.; WILSON E. The relationship between loblolly pine fiber morphology and kraft paper properties. **Raleigh: North Carolina Agricultural Experiments Station**; p. 89; 1971.

BARRICHELO, L. E.G.; FOELKEL, C. E. F. Processo nítrico-acético para maceração de madeira. **Silvicultura**, v.8, n.28, p. 732-733, 1983.

BENDTSEN B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**. P. 69-72. 1978.

BOSCHETTI, W. T. N. et al . Características anatômicas para produção de celulose do lenho de reação de árvores inclinadas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília , v. 50, n. 6, p. 459-467, June 2015 .

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. São Paulo : Nobel. 154p. 1991.

CALEGARI, L.; GATTO, D. A.; SANTINI, E. J. Efeitos da temperatura de secagem sobre algumas propriedades em madeira juvenil e adulta de Pinus elliottii Engelm. **Revista Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 99-106, 2002.

CRUZ, C.D. **Programa Genes**: Aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa; Editora UFV, p. 648, 2001.

D'ÁLMEIDA, M. L. O.; Celulose e papel – Tecnologia de fabricação da pasta celulósica, 2 ed, **IPT**: São Paulo. 559p. 1988.

EVANS, J.W.; SENFT, J.F.; GREEN, D.W. Juvenile wood effectin ref alder analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, Madison, v.50, n.7/8, p. 75/87. 2000.

FOELKEL, C.E.B. O processo de impregnação dos cavacos de madeira de eucalipto pelo licor kraft de cozimento. In: FOELKEL, C.E.B. **Eucalyptus online book & newsletter**. São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2009.

FOELKEL C. E. B. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. **Eucalyptus online book**; p. 11. 1997.

FOELKEL C. E. B; BARRICHELO L. E. G; GARCIA W; BRITO J. O. Celulose Kraft de madeira juvenil e adulta de *Pinus elliottii*. Boletim Técnico **IPEF**; p. 127-142. 1976.

FOELKEL C. E. B. Unbleached kraft pulp properties of some, of the Brazilian and U. S. pines. **Syracuse: College of Environmental Science and Forestry**; p. 192; 1972.

GAMA, A. T; CABACINHA, C. D; MEIRA, M. R; LEITE, M. V. S. Variações da densidade básica da casca e da madeira do Barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville) **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 2014.

GOLFIN, f. J. I; GUTIÉRREZ, A. O; BOANZA, V; DÍEZ, R; ÁLVAREZ, H; RODRIGUEZ, E. Curso sobre metodologias de caracterizacion tecnológica de madeiras. Antigua: **Centro de Investigacion Forestal**. Inia; p. 256.1999.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, ago. 1986.

GOMINHO, J.; FIGUEIRA, J.; RODRIGUES, J. C.; PEREIRA, H. Within-tree variation of heartwood extractives and wood density in the eucalypt hybrid urograndis (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*) . **Wood and Fiber Science**, 33. 2001.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, Iba Dados e Estatísticas, 2017. **Iba** Disponível em: < <http://iba.org/pt/dados-e-estatisticas> >. Acesso em: 10/04/2018.

KRAHMER, R. Fundamental anatomy of juvenile and mature wood. In: **A Technical Workshop: Juvenile Wood-What does it mean to Forest Management and Forest Products**, 1985, Washington. Proceedings. Madison: Forest Products Research Society, 1986.

LARSON PR, KRETSCHMANN DE, CLARK A, ISEBRANDS JG. Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis. Forest Products Laboratory; **General Technical Report**. 2001.

LATORRACA J.V.F; ALBUQUERQUE C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**; vol. 7; p. 279-290; 2000.

LIMA, R. S; COELHO, J. C. F; SILVA, J. C. S; ARAÚJO, J. A; CALDERON, C. M. A. Influência da Anatomia nas Propriedades Físicas da Madeira de *Iryanthera grandis* Ducke. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p. 2014.

LUBE, V.M; MAZIERO, R; FRANÇA, L. C. A; VIADURRE, G. P; PAULA, E. N. S. O. Madeira juvenil x madeira adulta na produção de celulose. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal** Re.C.E.F. ISSN: 1678-3867 Ano XI, Volume 22, Nº 1, Agosto 2013, Garça, SP, 2013.

NYLINDER, P. - 1953 - Variations in density of planted spruce. Skogsferningsinst, p. 1- 44. In: The influence of environmental and genetics on pulwood. quality: na annotated bibliography. **TAPPI monograph series**, pág. 541, 1962.

PARHAM, R. Properties of Fibrous Raw Materials and Their Preparation for Pulping. Pulp and Paper Manufactures. **M.J. Kocurek e F. Stevens** (Eds.), Tappi/CPPA, Atlanta. Vol. I, 1982.

PEREIRA, H.; SARDINHA, R. Chemical composition of Eucalyptus globulus. **Appita**. p. 661-664. 1984.

SCAN - Scandinavian standard. SCAN-CM 40:94, **Classificação dos cavacos**. 1994.

SENF, J. F.; BENDTSEN, B. A.; GALLIGAN, W. L. Weak wood. **Journal of Forestry**, n. 83, p. 476-485, 1985.

SJÖSTRÖM, E., ALÉN, R. Analytical Methods in wood chemistry, pulping, and papermaking. **Springer**. Germany, 316p.1998.

SOUZA, V. R; CARPIM, M. A; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna. **IPEF**, n.33, p.65-72, ESALQ-USP, Departamento de Ciências Florestais 13400 - Piracicaba – SP. ago.1986.

SOUZA, B. V; SOUZA, J. T. Avaliação da composição química da casca de pinus taeda I. Visando à produção de açúcares fermentescíveis. **SIEPE** - Seminário de Iniciação Científica, Seminário Integrado de Ensino. Anais eletrônicos ISSN: 2237-6593. De 12 a 16 de setembro 2016.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - **TAPPI**. Normas técnicas . Atlanta, 1999.

VIDAURRE, G; LOMBARDI, L. R; OLIVEIRA, J. T. S; ARANTES, M. D. C. Lenho Juvenil e Adulto e as Propriedades da Madeira. **Floresta e Ambiente**. p. 469-480. Dez. 2011.

VITAL, B. R.; ANDRADE, A. M. de; VALENTE, O. F.; CAMPOS, J. C. C. Influência da casca no rendimento e qualidade de carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 41-42, p. 44-49, jan./dez. 1989.

VITAL, B.R.; PEREIRA, A.R.; DELLA LUCIA, R.M.; ANDRADE, D.C. de. Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado da região do cerrado de Minas Gerais. Brasília/DF, **IBDF**. p.41-52. Agosto, 1984.

WALLIS, A. F. A; WEARNE, R. H; WRIGHT, P. J. Analytical characteristics of plantation eucalytp woods relating to kraft pulp yields. **Appita Journal** p. 427-432. 1996.

YEH T; BRAUN J.L; GLDFARB B; CHANG H; KADLA J. F. Morfological and chemical variations between juvenile wood, mature wood and compression wood of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). **Holzforchung**. P.1-8. 2006.

ZOBEL B. J; BUIJTENEN J. P. Wood variation: its causes and control. **New York: Springer-Verlag**. pág. 363; 1989.

ZOBEL, B. J. Inherent diferences affecting wood quality In Fast-Grown Plantations. **In: IUFRO Conference, Oxford**, p. 169-188, 1980.

ZOBEL, B. J.; VAN BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. Springer-Verlag, New York, 363 p. 1989.

CAPÍTULO III

AS PROPRIEDADES DO PAPEL EMBALAGEM EM RELAÇÃO AO LENHO ADULTO DAS POLPAS DE MADEIRAS DE *Pinus taeda* e *Pinus patula*

RESUMO – As indústrias de produção de papéis estão em constante crescimento e diversos atributos podem ser mencionados para explicar este fato, dentre eles o desenvolvimento de novas tecnologias que geram polpas celulósicas com alta qualidade. Isto possibilita às empresas alcançar padrões elevados de qualidade, produtividade e eficiência nas operações, além de um produto final com excelentes propriedades. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar as propriedades de polpas celulósicas kraft marrons de madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda* de duas alturas axiais (base e topo) para produção de papéis de embalagem a fim de determinar a influência do lenho adulto na qualidade de papéis não branqueados. As polpas celulósicas kraft de número kappa 55 foram produzidas com aproximadamente 20% de álcali efetivo e suas propriedades físico-mecânicas (gramatura, umidade, espessura, densidade aparente, volume aparente, índice de tração, índice de arrebatamento e índice de rasgo) foram avaliadas. Os resultados mostraram variações nas propriedades dos papéis em função da variação do lenho. Considerando como parâmetro a propriedade de resistência mecânica, onde o papel deve suportar um esforço aplicado, como é o caso do papel embalagem, conclui-se que as polpas celulósicas marrons de *Pinus patula* de madeira da base do tronco é o mais indicado para a fabricação desse tipo de papel.

Palavras-chave: Pinus, Polpa celulósica, Papéis de embalagem.

THE PROPERTIES OF PACKAGING PAPER IN RELATION TO ADULT WOOD
FROM *Pinus taeda* AND *Pinus Patula*

ABSTRACT – Paper companies present major relevance in the social and economical developments of Brazil. This is a field in constant growth, and many attributes can be mentioned to explain this fact, among them the development of new technologies that generate high-quality cellulose pulp. This allows companies to reach high patterns of quality, productivity and efficiency in the operations besides products of excellence. The pursue of accurate information is a differential for an efficient planning in this industrial field. This research aims to evaluate the influence of adult wood and density on the quality of unbleached paper of *Pinus* destined to the production of packages. The trees used as sample in this research were from reforested areas, with 14 years, containing three classes of axial position of the trunk, base, middle and top of the trees. The chemical (carbohydrates, lignin, total extractives and inorganic material), anatomical (percentages of adult and juvenile wood) and physical (basic density) characteristics of the wood were determined in a previous research, as was the Kraft process of cellulose acquisition (yield, waste, kappa number, viscosity and residual alkali of the black liquor). In this one, paper properties (weight, moisture, apparent density, bulk, level of traction, burst index and tear index) were evaluated. Based on these evaluations, variations in the characteristics of paper according to the variation of wood were found. Therefore, concluding that the percentage of adult wood heavily influences wood quality and the properties of cellulose and paper is possible.

Keywords: Pinus; Cellulose pulp; Packaging paper.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os maiores produtores de papel do mundo, sendo que nas últimas décadas o país segue aumentando a sua relevância como importante produtor. Com isso, a busca pelo conhecimento da produção e qualidade das polpas celulósicas deve ser considerado de extrema importância pelas empresas brasileiras, pois esses fatores estão estreitamente ligados ao rendimento dos processos de polpação e as características dos papéis produzidos.

De acordo com o relatório anual da BRACELPA de 2016, o setor brasileiro de papel embalagem de fibra longa vêm contribuindo de forma expressiva para o desenvolvimento socioeconômico do país. De acordo com a NBR (1985), o termo embalagem se refere a um elemento ou conjunto de elementos destinados a envolver, conter e proteger produtos durante sua movimentação, transporte, armazenagem, comercialização e consumo.

Em determinadas regiões do país, algumas espécies de *Pinus* são utilizadas como a principal fonte de matéria prima de fibra longa para produção de papéis, principalmente destinados a embalagens. As polpas de pinus são desejadas para fabricação de papéis para embalagens, em razão das suas características físicas e anatômicas.

A celulose de fibra longa tem como principal característica proporcionar maior resistência mecânica aos papéis empregam. Por esta razão é muito empregado na fabricação de embalagem de alta resistência, como os sacos de cimento. Segundo Robert (2007), a resistência mecânica do papel depende tanto do tamanho e da resistência individual de cada fibra, como do modo que essas estão dispostas. A qualidade do papel, é consequência da natureza das fibras, pois estas variam conforme o vegetal que lhes deu origem, com diferenças entre si na sua forma estrutural, tamanho e pureza.

Independentemente do tipo de papel o qual esteja sendo fabricado, o setor papelero possui algumas necessidades básicas. A alta produtividade e eficiência operacional; além do baixo custo de produção e a qualidade uniforme no processo e nos produtos finais.

Sabendo que a qualidade do papel depende da qualidade da polpa, e que esta depende da qualidade da madeira e das condições do processo de polpação, é importante definir a madeira a ser empregada no processo, observando os

resultados das práticas de manejo florestal e das combinações de suas características genéticas, físicas, anatômicas e químicas da madeira.

Além da densidade da madeira exercer influência significativa na qualidade da polpa, o comprimento e uniformidade das fibras e a composição química também são fundamentais para a qualidade do produto final.

A madeira é um material anisotrópico e heterogêneo, por isso, dentro de uma única árvore, ocorrem variações de composição química e anatômica que podem interferir significativamente no processo de polpação e fabricação do papel. Visualizando o corte transversal de um fuste é possível observar duas porções na madeira que comprovam isto, sendo: a primeira, próxima à medula, correspondendo ao lenho juvenil, e a segunda, mais próxima da casca, é constituída do lenho adulta (PANSIN, ZEEUW, 1980).

O lenho juvenil apresenta anéis de crescimento graduais, sua densidade é menor e seus traqueídeos ou fibras são mais curtos e com paredes mais delgadas (EINSPHR et al. 1964). Fujiwara e Yang (2000) definem lenho juvenil como sendo a região onde o comprimento das fibras aumenta rapidamente, enquanto que na madeira adulta o comprimento aumenta gradualmente.

Ao se comparar a madeira juvenil com a madeira adulta, Bendtsen (1978) afirma que os ângulos microfibrilares da camada S2, o diâmetro do lúmen, o conteúdo de lignina e extrativos, o lenho de reação e a contração longitudinal são maiores na madeira juvenil. Por outro lado, a densidade, o comprimento de fibras ou traqueídeos, a espessura da parede celular, o conteúdo de carboidratos, a resistência e a rigidez são maiores na madeira adulta.

Sendo assim, madeiras com maior porção de lenho adulto poderiam conferir as polpas celulósicas características favoráveis a produção de papéis que necessitam propriedades de resistência mecânica mais elevadas, como é o caso de papéis de embalagem, pois apresentam fibras com alto conteúdo de celulose e hemiceluloses e de maiores comprimentos. Segundo Razzolini (1978), os papéis embalagem necessitam propriedades como: baixo peso, capacidade de suportar empilhamento e resistência ao manuseio e ao transporte, as quais poderiam ser favorecidas com a utilização de polpas celulósicas de fibras longas (traqueídeos) e com maior porção de lenho adulto na fabricação desses papéis.

Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a influência da porção de lenho adulto presentes em polpas celulósicas produzidas com madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula* nas propriedades físico-mecânicas de papéis de embalagem.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

Foram utilizadas amostras de polpas kraft marrons de número kappa 55 de cavacos de madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda* de duas alturas axiais (base e topo), produzidas conforme descrito no Capítulo II. A Tabela 1 apresenta as características das polpas.

Tabela 1 – Características das polpas celulósicas kraft produzidas com cavacos de madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda*, nas alturas axiais base e topo

Classe	Rendimento (%)		Viscosidade (dm ³ /Kg)	
	<i>P. patula</i>	<i>P. taeda</i>	<i>P. patula</i>	<i>P. taeda</i>
Base	48,93 aA	47,82 aB	1061,5 aA	1031,67 aB
Topo	44,82 bA	41,07 bB	960,83 bA	855,17 bB

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Refino

As polpas marrons foram refinadas em moinho PFI. Pesou-se uma amostra com equivalente a 30 gramas de polpa absolutamente seca a qual foi desagregada com 4000, 8000 e 10000 revoluções e com consistência de aproximadamente 0,8%. Para isto as polpas desagregadas foram despejadas em um copo contendo uma tela com fundo apropriada para drenagem. Usando uma bomba de vácuo, a água foi drenada do copo até a polpa formar uma “panqueca” no fundo do copo. A “panqueca” foi removida, pesada e levada ao PFI, onde foi acrescentada água até a consistência de 10%. A polpa foi distribuída uniformemente na parede lateral do estator até a mesma ser totalmente coberta. Os números de revoluções utilizados variaram de acordo com o Grau Schopper Riegler (°SR) pretendido.

Ao final do refino, a mistura foi levada para um balde e adicionada água destilada até completar 15 litros. Após suspensão ser devidamente homogeneizada,

retirou-se uma alíquota de 1000mL com temperatura de 20°C para a determinação do °SR (norma Tappi T 248 cm-85).

2.2.2 Formação das folhas para testes físico-mecânicos

Antes de formar as folhas, foi determinada a consistência da suspensão de fibras para estabelecer o volume necessário para confecção de folhas de 1,2 gramas (60g/m²). O procedimento utilizado foi de acordo com a norma Tappi 205 om-81. Antes da realização dos testes físico-mecânicos, as folhas foram acondicionadas em ambiente climatizado com temperatura de 23°C ± 1°C e umidade relativa do ar de 50% ± 2%.

2.2.3 Testes físico-mecânicos

Para cada amostra de polpa marrom, 5 folhas foram selecionadas com base na distribuição de suas fibras e ausência de erros (falhas, espaços vazios, presença de impurezas, etc.). Primeiro foram realizados os testes não destrutivos, sendo eles: gramatura, espessura e resistência a passagem do ar.

A gramatura foi determinada pesando 5 folhas. O valor foi dividido por 5 e pela área da folha (0,0201 m²). O resultado encontrado foi expresso em g/m² de papel. A espessura foi determinada em aparelho analógico. Para cada folha mediu-se a espessura em cinco pontos bem distribuídos (um no centro em outros quatro nas bordas). Determinou-se a espessura média de cada folha e posteriormente a espessura média das 5 folhas (espessura da amostra). A espessura foi obtida em micrômetros.

A resistência à passagem do ar foi obtida introduzindo a folha no porosímetro de Gurley, que mede o tempo necessário para 100cm³ de ar passar por uma determinada área do papel.

Concluídos os testes não destrutivos, procedeu-se com a preparação das amostras para os testes destrutivos. De cada folha foi retirada uma tira central (de largura padrão) para realização dos testes de tração. As duas bordas restantes foram utilizadas uma para o teste de rasgo e outra para o teste de estouro (ou

arrebetamento). A metade utilizada para o teste de rasgo ainda foi dimensionada para uma largura padrão (62mm).

O teste de rasgo foi feito utilizando quatro folhas ao mesmo tempo. Primeiro o equipamento Elmendorf foi devidamente calibrado. Foram feitos 5 rasgos e anotados os resultados. Posteriormente foi calculado o índice de rasgo, expresso em $\text{mN.m}^2/\text{g}$, dividindo as leituras pela gramatura.

Para a determinação do índice de arrebetamento, a outra metade da folha foi colocada no equipamento Mullen. O índice de arrebetamento, foi expresso em $\text{Kpa.m}^2/\text{g.m}$, dividindo as leituras pela gramatura.

As amostras obtidas das folhas foram levadas para o equipamento Instron modelo 4204. Em cada leitura foram obtidos o índice de tração (N.m/g), o alongamento (%), a energia de deformação (J/m^2) e o módulo de elasticidade (MN.m/kg). Os testes foram realizados segundo a norma Tappi T 494 om-88.

Nas avaliações das propriedades físico-mecânicas dos papéis produzidos foram usadas as análises descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Análises físico-mecânicas dos papéis produzidos com as polpas marrons de *Pinus patula* e *Pinus taeda*

Propriedade	Norma
Umidade	TAPPI T 412 om-88
Gramatura	TAPPI T 410 om-88
Espessura	TAPPI T 411 om-88
Densidade e Volume Aparente	TAPPI T 220 om-88
Índice de tração	TAPPI T 494 om-96
Índice de arrebetamento	TAPPI T 403 om-97
Índice de rasgo	TAPPI T 414 om-98
Resistência a Flexão (Rigidez)	TAPPI T 556 om-95
Resistência à drenagem	TAPPI T sp 01
Resistência à passagem de ar	TAPPI T 536 om-96

2.2.4 Análises estatísticas

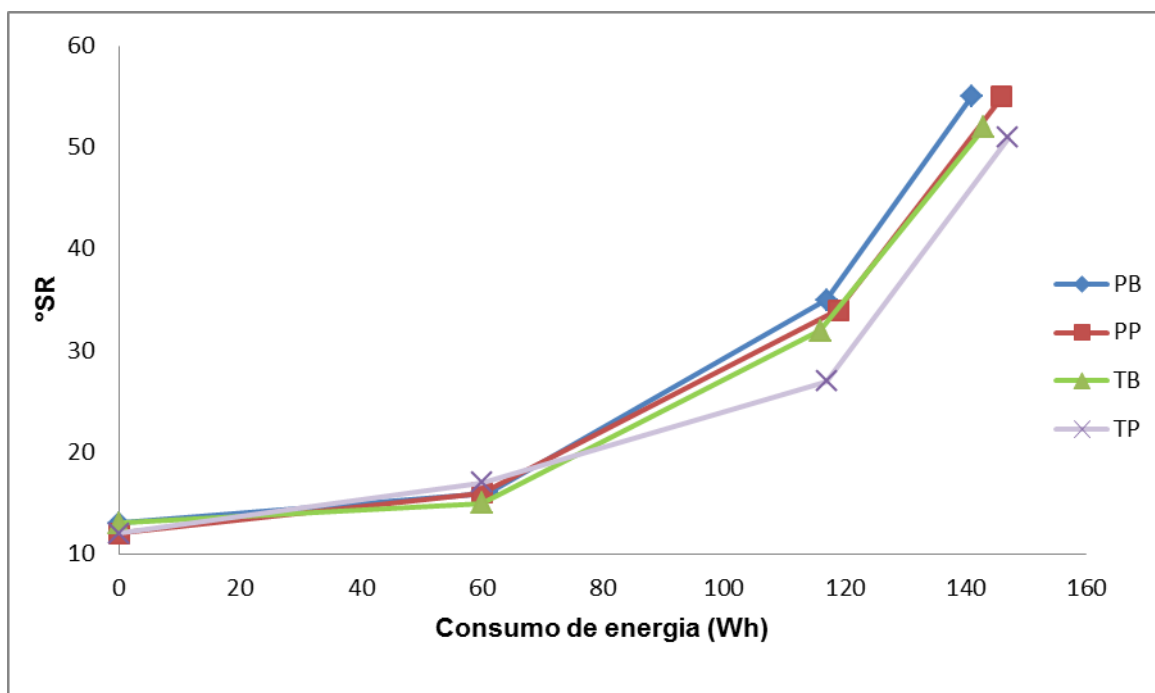
Utilizou-se o teste F para identidade de modelos conforme metodologia apresentada por Regazzi (2004), à 95% de probabilidade. Para analisar os resultados das propriedades físico-mecânicas, foi realizada a comparação de equações parâmetros.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 REFINABILIDADE

A Figura 1 apresenta as curvas de refinabilidade em função do consumo de energia de refino para as polpas marrons das madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda* das classes axiais base e topo.

Figura 1 - Refinabilidade das polpas das madeiras de *Pinus patula* – madeira base (PB), *Pinus patula* – madeira topo (PP), *Pinus taeda* – madeira base (TB) e *Pinus taeda* – madeira topo (TP) em função do consumo de energia de refino.



Fonte: Autora

A resistência à drenagem ou refinabilidade, expressa em grau Schopper-Riegler (°SR), é um importante parâmetro de avaliação do entrelaçamento das fibras, pois quanto maior a resistência à drenagem da polpa, menor é sua capacidade de escoar água, o que pode levar ao aumento do custo de produção devido a dificuldade em retirar água da folha na máquina de papel.

Quanto menos energia for gasta para se chegar a um mesmo °SR melhor a refinabilidade do material. Neste sentido, observa-se na Figura 1 que, para uma

mesma intensidade de refino (indicado pelo consumo de energia), para ambas as classes axiais estudadas (base e topo), as polpas produzidas pela madeira de *Pinus patula* apresentaram um °SR mais elevado do que as polpas da madeira de *Pinus taeda*, o que pode ser explicado pelo maior comprimento médio das fibras do *Pinus patula* (Capítulo I). Segundo Salomão (2001), a resistência à drenabilidade da polpa celulósica aumenta com a evolução do refino e com o comprimento das fibras, corroborando assim, os resultados encontrados nesse estudo.

Considerando que o elevado consumo de energia durante o processo de refino em indústrias que produzem papéis é um fator limitante, pois aumenta o custo de produção, as polpas celulósicas de *Pinus patula* e de madeira de base, apresentaram resultados mais satisfatórios de refinabilidade.

3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DAS POLPAS

A Tabela 3 apresenta os resultados dos testes físicos das polpas kraft produzidas de cavacos de madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda*, nas alturas axiais base e topo.

Tabela 3 – Valores médios referentes as propriedades físicas dos papéis produzidos das polpas das madeiras de *Pinus patula* – madeira base (PB), *Pinus patula* – madeira topo (PP), *Pinus taeda* – madeira base (TB) e *Pinus taeda* – madeira topo (TP)

	Revolução	Espessura, μm	Gramatura, g/m^2	Densidade Aparente, Kg/m^3	Volume Aparente, cm^3/g
PB	0	222,5	69,32	422,52	3,21
	4000	116,1	68,52	625,71	1,69
	8000	95,5	61,61	667,49	1,55
	10000	96	61,63	695,51	1,56
PP	0	155	65,49	311,55	2,37
	4000	102,7	64,26	590,18	1,60
	8000	96,6	64,48	645,13	1,50
	10000	94,88	65,99	641,98	1,44
TB	0	182	64,1	406,98	2,84
	4000	109	63,63	776,55	1,71
	8000	100,8	66,14	822,82	1,52
	10000	100	65,71	886,93	1,52
TP	0	159	64,71	352,20	2,46
	4000	84	65,23	583,76	1,29
	8000	78	64,18	656,15	1,22
	10000	75	66,52	657,10	1,13

Fonte: autora

Sabe-se que a qualidade do papel é influenciada pelas propriedades da polpa celulósica, dentre elas o tipo de fibra (longa ou curta), processo de polpação empregado (químico ou mecânico) e grau de refino da polpa. Esses fatores, conforme proposto na metodologia do trabalho, foram controlados e serviram de base para se estabelecer uma correta comparação e avaliação das propriedades do papel confeccionado em laboratório.

Conforme a Tabela 3, as polpas celulósicas refinadas resultaram em valores de $^{\circ}\text{SR}$ entre 12 e 55 e gramaturas com variação de $61,61\text{g}/\text{m}^2$ a $69,32\text{g}/\text{m}^2$. Nota-se

claramente que, para ambas as espécies, as polpas celulósicas produzidas com madeiras de base resultaram em folhas de papel de maior espessura quando comparadas a espessura das folhas de papel com polpas de madeira de topo. Este mesmo comportamento também foi observado para os valores médios de volume e densidade aparentes e pode ser explicado devido a presença de um maior percentual de lenho adulto nessas madeiras, o qual, possui traqueídeos de maior espessura de parede celular, dando origem a papéis mais pesados e volumosos.

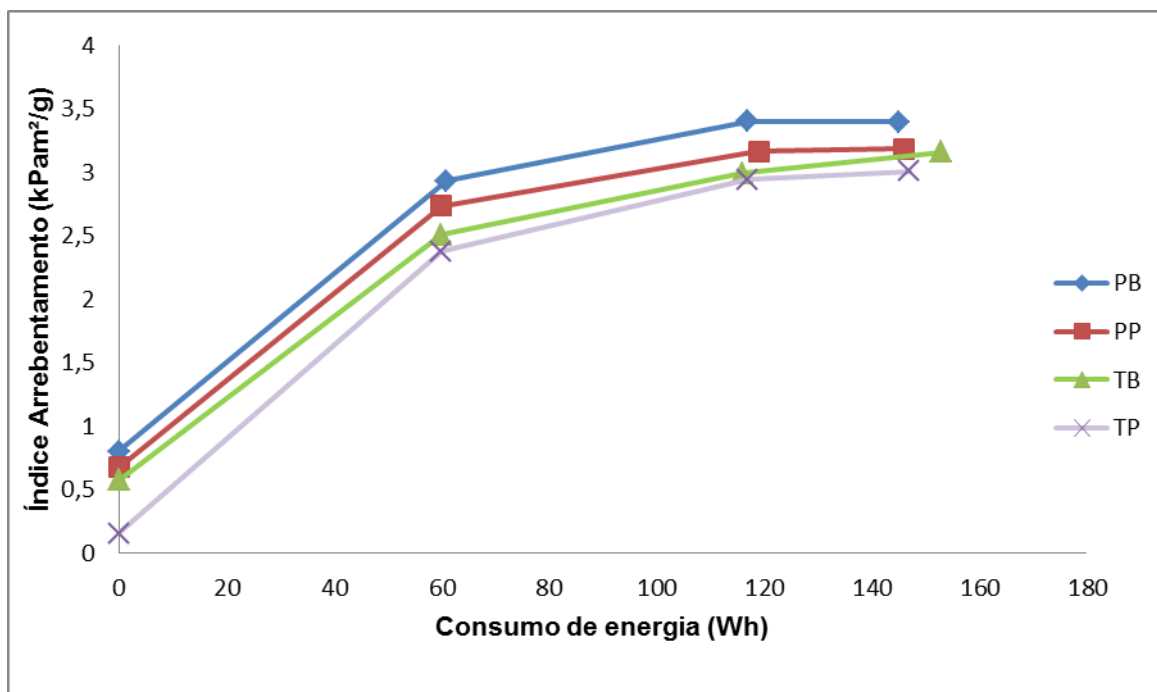
Quando analisado o fator espécie, este também demonstrou influenciar significativamente a espessura, densidade e volume aparentes, apresentando valores mais elevados os papéis produzidos com polpas da madeira de *Pinus patula*.

3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

3.3.1 Índice de Arrebentamento

Na Figura 2 é apresentado as curvas do índice de arrebentamento em função do consumo de energia de refino para as polpas marrons das madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda* das classes axiais base e topo.

Figura 2 – Índice de arrebetamento das polpas das madeiras de *Pinus patula* – madeira base (PB), *Pinus patula* – madeira topo (PP), *Pinus taeda* – madeira base (TB) e *Pinus taeda* – madeira topo (TP) em função do consumo de energia de refino.



Fonte: Autora

O índice de arrebetamento, ou estouro, é definido como a força necessária para promover o arrebetamento de uma folha de papel, ao se aplicar uma pressão uniforme crescente por um diafragma elástico de área circular igual a 192mm². Segundo Moreira (2006), essa propriedade está diretamente relacionada com o número de ligações interfibras e com força exercida por essas ligações.

Segundo o teste para o nível de significância de 5% não houve diferença entre as curvas de base e topo, nas polpas celulósicas das madeiras estudadas. Porém, as polpas da madeira de *Pinus taeda* apresentaram os menores valores de índice de arrebetamento, o que pode ser explicado pelo menor comprimento de suas fibras, característica essa que resultou em polpas de menor viscosidade (Tabela 1).

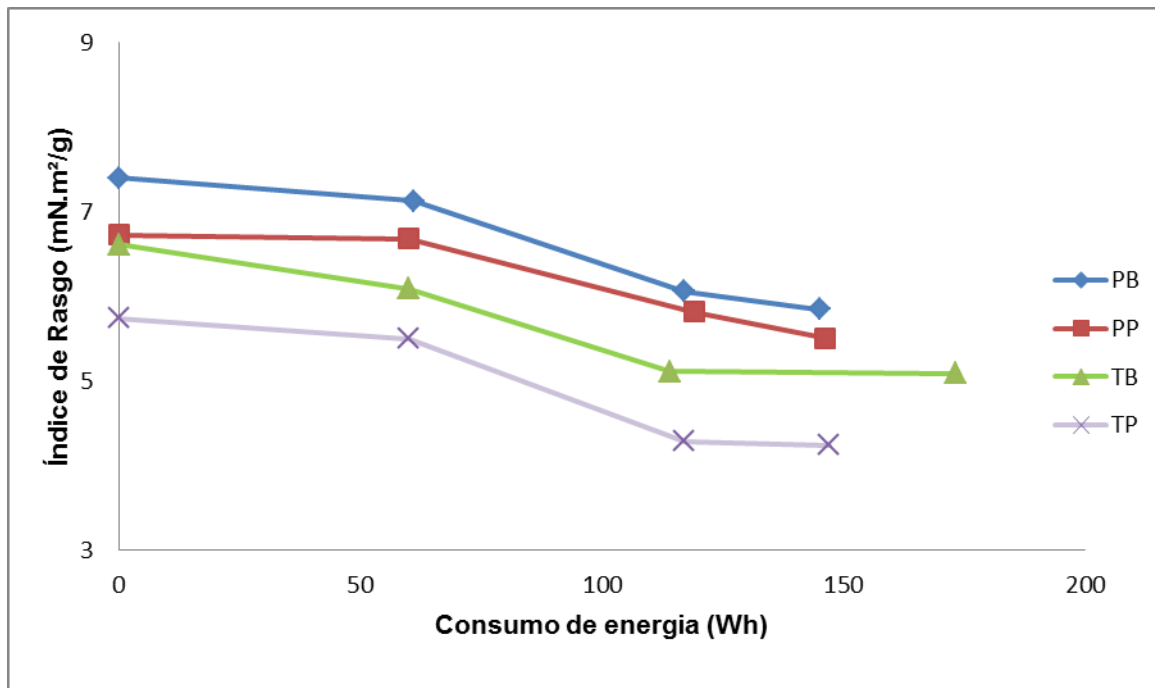
De acordo com Oliveira et. al (1981), a resistência ao arrebetamento do papel aumenta à medida que é empregado na sua fabricação fibras mais longas.

Ainda segundo Gomes et al. (2015) o comprimento da fibra é uma característica essencial para o aumento da resistência mecânica do papel.

3.3.2 Índice de Rasgo

A Figura 3 apresenta o índice de rasgo em função do consumo de energia de refino para as polpas marrons das madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda* das classes axiais base e topo.

Figura 3 - Índice de rasgo das polpas das madeiras de *Pinus patula* – madeira base (PB), *Pinus patula* – madeira topo (PP), *Pinus taeda* – madeira base (TB) e *Pinus taeda* – madeira topo (TP) em função do consumo de energia de refino.



Fonte: Autora

A resistência ao rasgo é definida como o trabalho executado por um pêndulo, necessário para rasgar um conjunto de folhas, após a realização de um corte inicial nas amostras, de comprimento específico. É um parâmetro influenciado pelo comprimento, pela resistência intrínseca, pela espessura da parede das fibras e pelas ligações interfibras (GOMES, 2010).

Observa-se na Figura 3 que os menores valores de índice de rasgo foram obtidos nas polpas celulósicas produzidas com madeiras de topo. Esse resultado já era esperado, pois a maior porção de lenho adulto foi encontrada na posição de base do tronco, o qual resultou em polpas celulósicas com maiores viscosidades (Tabela 1), assim como para as polpas de madeira de *Pinus patula*, devido a presença de fibras mais longas e com maior percentagem de carboidratos nessa madeira (Capítulo 1).

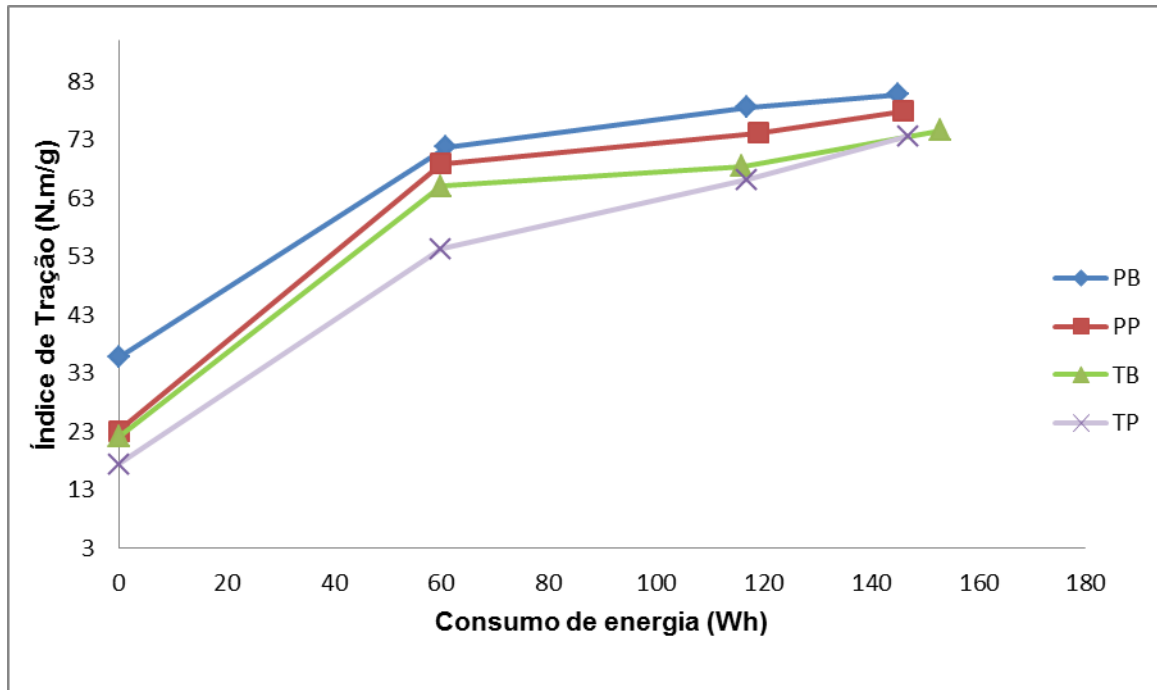
Considerando que o índice de rasgo avalia as características individuais das fibras, com níveis muito altos de refino ocorrem, em geral, quedas bruscas de resistência ao rasgo, pois as fibras podem ser cortadas durante o processo, reduzindo o seu comprimento médio, o que foi observado nesse estudo. Oliveira et al. (1981) observaram a mesma tendência em seu estudo, e concluíram que a intensidade do refino, em quaisquer proporções utilizadas, resulta sempre na diminuição da resistência ao rasgo.

3.3.3 Índice de Tração

O índice de tração é uma propriedade muito relevante para polpas celulósicas direcionadas à fabricação de papel de embalagem, uma vez que indica a probabilidade de quebra de uma folha durante seu processo de produção, bem como a resistência à tração do produto final. De acordo com Segura (2015), essa propriedade está relacionada com a durabilidade e utilidade de um papel destinado à produção de embalagens e a outros produtos sujeitos a forças de tração.

A Figura 4 apresenta o índice de tração em função do consumo de energia de refino para as polpas marrons das madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda* das classes axiais base e topo.

Figura 4 - Índice de tração das polpas das madeiras de *Pinus patula* – madeira base (PB), *Pinus patula* – madeira topo (PP), *Pinus taeda* – madeira base (TB) e *Pinus taeda* – madeira topo (TP) em função do consumo de energia de refino.



Fonte: Autora

Conforme a Figura 4, os maiores valores de índice de tração foram obtidos para as polpas marrons das madeiras de *Pinus patula*, o que, conforme estudo realizado por Bassa (2006), pode ser explicado pelo aumento de comprimento das fibras.

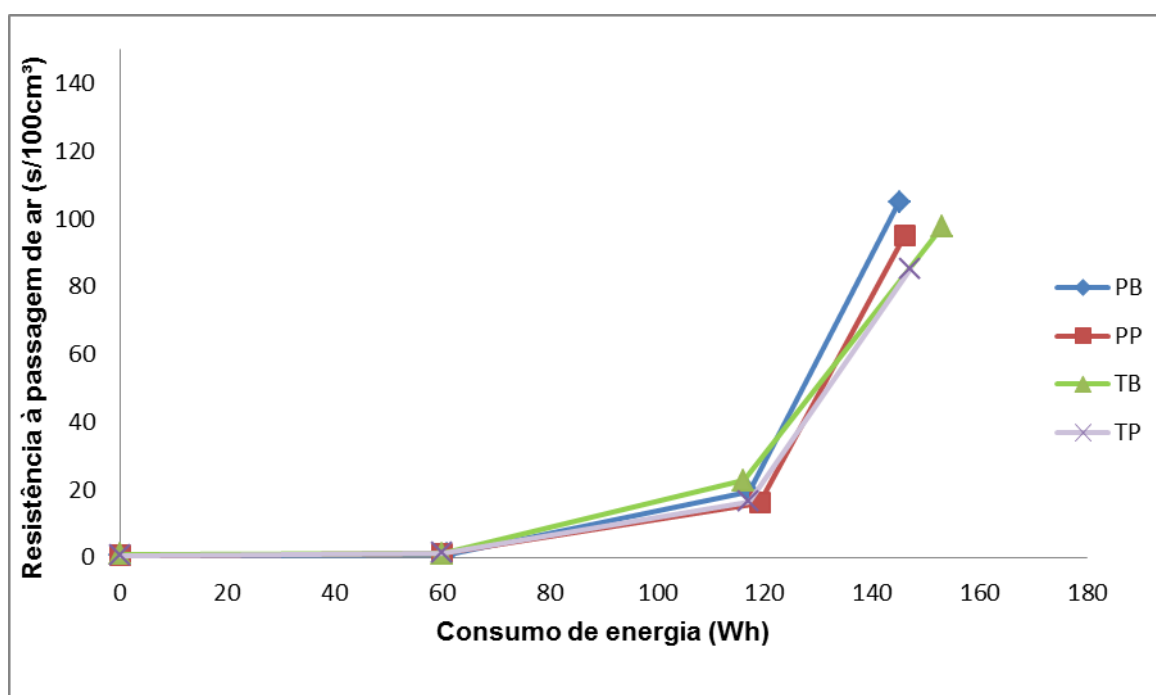
Deve ser notado que as polpas celulósicas produzidas com maior porção de lenho adulto (base) resultaram nos maiores valores de índice de tração quando comparadas as polpas das madeiras de topo, evidenciando, novamente, a influência positiva da elevada quantidade de fibras de maior comprimento.

Considerando que para a fabricação de papéis embalagens as propriedades de resistência mecânica são fundamentais, as polpas de *Pinus patula* de madeiras de base são as mais indicadas para este tipo de produto, pois apresentaram altos rendimentos e viscosidades e papéis com valores mais elevados de resistências mecânicas.

3.3.4 Resistência à Passagem de Ar

A resistência à passagem de ar representa o valor de resistência que determinada folha de papel tem sobre a passagem de um dado volume de gás ou vapor, de forma que um papel mais poroso conduz a uma resistência menor (GOMES, 2010). Na Figura 5 é apresentado a resistência à passagem de ar em função do consumo de energia de refino para as polpas marrons das madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda* das classes axiais base e topo.

Figura 5 - Resistência à passagem de ar das polpas das madeiras de *Pinus patula* – madeira base (PB), *Pinus patula* – madeira topo (PP), *Pinus taeda* – madeira base (TB) e *Pinus taeda* – madeira topo (TP) em função do consumo de energia de refino.



Fonte: Autora

De acordo com a Figura 5, a mesma tendência observada nas demais propriedades mecânicas avaliadas nesse estudo foi observada para a resistência à passagem de ar, ou seja, as polpas marrons produzidas pela madeira de *Pinus patula* resultaram nos maiores valores, assim como as classes axial base do tronco.

De maneira geral, para as duas espécies, as propriedades de resistência mecânica apresentaram comportamento crescente no sentido topo-base. Esta característica dá-se principalmente pela presença de lenho adulto, no qual as fibras tendem a aumentar o comprimento, o diâmetro e a espessura de parede enquanto o lume tende a diminuir (FERREIRA et al., 2011; LOBÃO et al., 2012), produzindo uma estrutura mais rígida e resistente.

Conforme apresentado no Capítulo 1 desse estudo, a madeira de base apresentou maior porcentagem de lenho adulto. Segundo Bendtsen (1978); Sjöström (1981); Zobel e Van Buijtenen (1989) a madeira juvenil apresenta menor porcentagem de celulose, maiores teores de holocelulose, de extrativos e de lignina, quando comparada com a do lenho adulto. Estas características podem não somente ter influenciado no cozimento, resultando nas polpas com maiores rendimentos e viscosidades, quanto na qualidade do papel.

4 CONCLUSÃO

O *Pinus patula* apresentou maior grau de refinabilidade que o *Pinus taeda*.

Em todas as propriedades avaliadas o *Pinus patula* apresentou os melhores resultados.

Os papéis produzidos com polpas de madeira da posição axial de base resultaram nos melhores valores de resistência mecânica.

A presença de lenho adulto nas madeiras utilizadas para a produção das polpas celulósicas, em ambas as espécies de pinus, resultou em aumento das da resistência mecânica dos papéis.

Considerando como parâmetro a propriedade de resistência mecânica, onde o papel deve suportar um esforço aplicado, como é o caso do papel embalagem, conclui-se que as polpas celulósicas marrons de *Pinus patula* de madeira de altura de base do tronco é o mais indicado para a fabricação desse tipo de papel.

BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (**BRACELPA**). Celulose de fibra longa. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br>>. Acesso em 19 de dezembro de 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT**. Normas técnicas. Rio de Janeiro, 1999.

BALLARIN, A. W; PALMA, H. A. L. Resistência e rigidez da madeira pinus. **Revista da Madeira**. Ed. 83. Ago. 2004.

BASSA, A.G.M.C. Misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus globulus*, e *Pinus taeda* para produção de celulose kraft através do Processo L-Solids. **Dissertação de Mestrado**, Universidade de São Paulo, 169p. Piracicaba, 2006.

BENDTSEN B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. *Forest Products Journal*. 1978.

COLODETTE, J. L. **QUÍMICA DA MADEIRA**. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, Laboratório de Celulose e Papel. 2001.

EINSPAHR, D. W.; PECKHAM, J. R.; MATHES, M. C. Base lines for judging wood quality of loblolly pine. **Forest Science**. Washington, v. 10, n. 2, p. 165-173, 1964.

FERREIRA A. L; SEVERO E. T. D; CALONEGO F. W. Determination of fiber length and juvenile and mature wood zones from *Hevea brasiliensis* trees grown in Brazil. **European Journal Wood Products**. ; p. 659-662, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Pulp and paper capacities. Survey 2014-2019. ISSN 0255-7665. **FAO**. p. 1- 93. Roma, 2015.

FUJIWARA, S.; YANG, K. C. The relationship between cell length and ring width and circumferential growth rate in five Canadian species. **IAWA Journal**, Leiden, v.21 (3), p. 335 – 345, 2000.

FUNCHAL, M. Brasil entre os maiores produtores de papel do mundo. **Notícia Ibema Papel cartão**. Curitiba. 2016. Disponível em: <<http://ibema.com.br/noticias/Paginas/LerNoticia.aspx?noticia=227>>. Acesso em: 16/11/2017.

GOMES, F.J.B.; ALVES, E.F. Propriedades de polpas branqueadas – Propriedades Física.. In: COLODETTE, J.L., GOMES, F.J.B. (Ed.). **Branqueamento de Polpa Celulósica**. Editora UFV. Viçosa.. p. 723-734. 2015.

GOMES, V.J.; LONGUE JUNIOR, D.; COLODETTE, J.L.; RIBEIRO, R.A.; BRAUN, H. Influence of xylan content on the bleachability, hygroscopic, physico mechanical and optical properties of bleached eucalyptus pulp. **Química Nova**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 221 - 226, 2015a.

LOBÃO M. S; COSTA D. P; ALMONACID M. A; A; TOMAZELLO FILHO M. Qualidade do lenho de árvores de *Schizolobium parahyba* VAR. *amazonicum*, Acre, Brasil. **Floresta e Ambiente**. p. 374-384, 2012.

MOREIRA, E. Efeito da lixiviação ácida de cavacos de eucalipto no processo kraft. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Viçosa, 127p. Viçosa, 2006.

OLIVEIRA, R. C.; FOELKEL, C.E.B.; GOMIDE, J. L. Misturas de madeiras de *Pinus strobus* var. *chiapensis* e *Eucalyptus urophylla* na polpa Kraft. **O Papel**, São Paulo, v 42, n.1, pp67-78, jan. 1981.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Text book of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1980

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de parâmetros no caso de dados de delineamentos experimentais.

Revista Ceres, Viçosa, v.46, n.266, p.383-409, 1999.

ROBERT, N. T. F. **Produção de Embalagem de Papel**. Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro – REDETEC, 2007

SALOMÃO, K.G. Características e branqueabilidade de polpas kraft/polissulfeto de Eucalyptus e de Pinus. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Viçosa, 112p., Viçosa, 2001.

SANTOS, S. R. Influência da qualidade da madeira de híbridos de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla e do processo Kraft de polpação na qualidade da polpa branqueada, 2005. 172f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SEGURA, T.E.S.; ZANÃO, M.; SILVA JÚNIOR, F.G. Potencial da madeira de acácia para a produção de polpa celulósica kraft. In: **Encontro Nacional da Tecnicelpa**, 21.; VI CIADICYP 2010, 6., 21, Lisboa. Anais ... Lisboa: Tecnicelpa, 2010.

SHIMOYAMA, V.R.S.; BARRICHELLO, L.E.G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de Eucalyptus spp. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24., 1991, São Paulo. Anais... São Paulo, ABTCP, 1991. p.178-183.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - **TAPPI**. Normas técnicas . Atlanta, 1998-1999.

CONCLUSÃO GERAL

Com os resultados encontrados no presente trabalho, pode-se relatar as seguintes conclusões gerais:

- Em ambas as espécies estudadas, os teores de lenho tardio e os de lenho adulto aumentaram no sentido topo-base da altura do tronco da árvore;
- A posição axial exerceu influência significativa sobre as características anatómicas, químicas, e de densidade básica para as madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda*.
- Uma menor porcentagem de lignina foi encontrada na madeira de base do *Pinus patula*.
- O maior rendimento e a maior viscosidade da polpa foram obtidos nas madeiras de base para ambas espécies.
- A presença do lenho adulto, como era esperado, teve influência positiva nas propriedades da madeira para fins de produção de celulose.
- O *Pinus patula* de madeira de base é o mais indicado para a fabricação de polpa celulósica marrom destinada a produzir papel embalagem.

Com base nas conclusões aceitamos a hipótese alternativa (H1), representando essa a existência de diferença na polpação e a qualidade da polpa celulósica e papel produzidos de acordo com a espécie escolhida, e posição axial do tronco.

E com base nestas diferenças a melhor madeira para polpação e para a qualidade do papel é a madeira de base em ambas as espécies. Além disso a espécie *Pinus patula* se mostrou excelente para a fabricação de polpa celulósica.

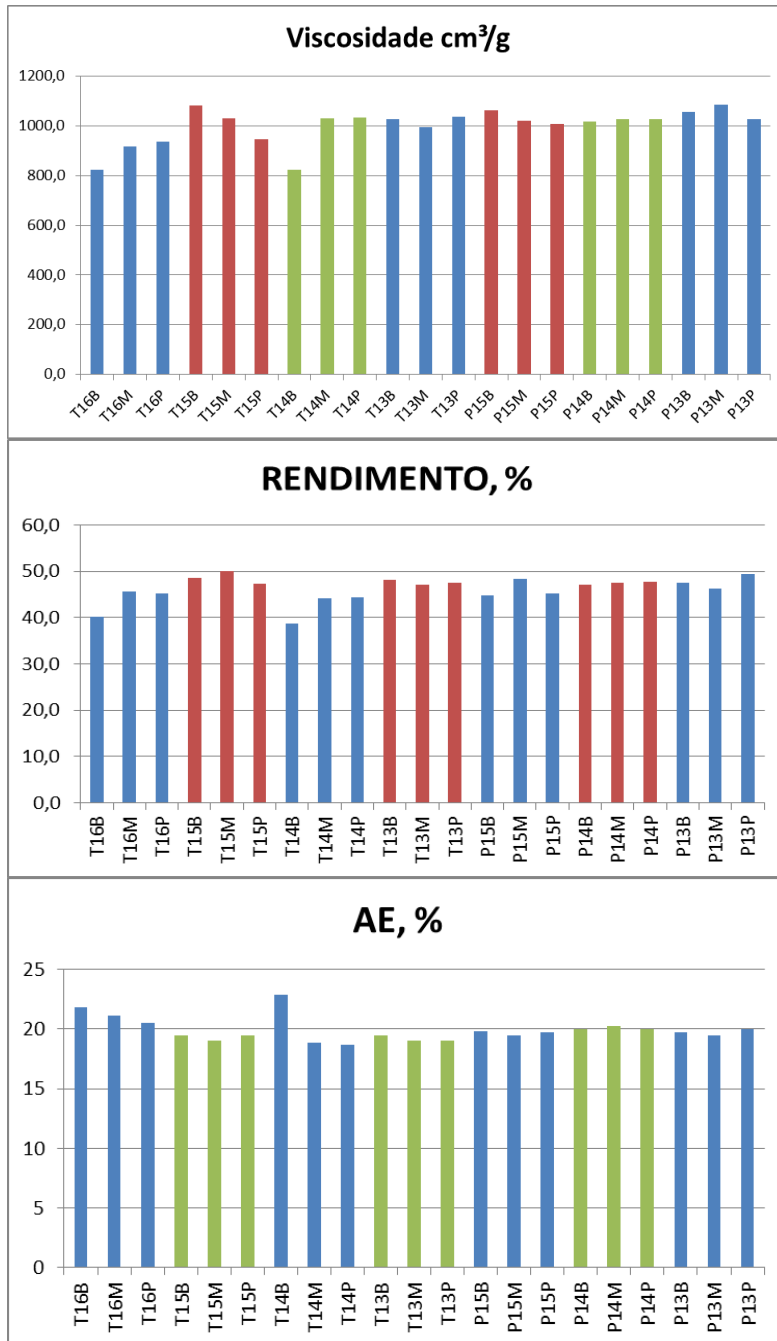
ANEXOS

Tabela 1 - Cozimentos experimentais das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*

AMOSTRA	Densidade	Coz	AE, %	Temperatura, °C	KAPPA	RENDIMENTO, %			LICOR NEGRO	
						DEPURADO	REJEITO	TOTAL	Aer, g/L	pH
T16B	0,3902	1	18,0	170	102,4	37,2	14,1	51,3	4,2	12,7
		2	21,0	170	60,8	39,3	1,3	40,6	6,1	12,9
		3	21,8	170	57,7	40,7	1,5	42,2	7,6	13,0
		4	21,8	170	55,2	39,9	1,1	41,1	7,8	13,1
		Média	21,8	170	56,5	40,3	1,3	41,6	7,7	13,0
T15B	0,4785	1	21,5	170	40,0	46,8	3,4	50,2	10,2	13,1
		2	21,5	170	42,1	44,7	5,8	50,5	10,3	13,3
		3	19,5	170	48,9	44,2	5,0	49,2	6,2	13,2
		4	19,5	168	49,6	50,0	1,1	51,1	6,2	13,1
		5	19,5	167	59,8	49,0	5,0	54,0	8,7	13,0
		6	19,5	168	54,3	48,3	4,1	52,4	7,7	13,0
		7	19,5	168	55,4	48,7	4,9	53,6	8,3	12,9
		Média	19,5	168,0	54,9	48,5	4,5	53,0	8,0	13,0
T14B	0,4448	1	19,5	170	86,3	40,6	10,7	51,3	3,4	12,9
		2	22,0	170	48,5	41,3	0,5	41,7	8,4	13,0
		3	21,5	170	62,3	40,5	2,0	42,5	7,2	12,9
		4	21,8	170	63,6	38,3	1,3	39,6	7,9	12,9
		5	23,0	170	52,3	38,5	1,6	40,1	9,2	13,0
		6	22,7	170	58,5	38,9	1,6	40,5	7,7	12,8
		Média	22,9	170	55,4	38,7	1,6	40,3	8,5	12,9
T13B	0,3293	1	20,0	168	50,3	47,7	1,3	49,0	8,0	12,8
		2	19,5	168	53,4	48,6	2,4	51,0	8,2	12,9
		3	19,5	168	54,3	47,9	1,9	49,8	7,5	13,0
			Média	19,5	168,0	53,9	48,2	2,2	50,4	7,8
T13M	0,3838	1	19,0	168	53,5	46,7	6,7	53,4	7,3	13,0
		2	19,0	168	53,2	47,7	0,7	48,4	7,2	12,7
		Média	19,0	168	53,3	47,2	3,7	50,9	7,2	12,9
T14M	0,4437	1	22,5	170	30,3	47,7	1,0	48,7	11,8	13,1
		2	19,0	168	52,1	48,9	4,6	53,5	7,4	13,0
		3	18,7	168	55,5	49,5	4,2	53,7	7,3	13,1
		Média	18,9	168	53,8	49,2	4,4	53,6	7,4	13,0
T15M	0,3622	1	19,0	168	53,2	50,2	1,7	51,9	7,9	13,0
		2	19,0	168	55,4	49,7	2,7	52,4	8,0	13,1
			Média	19,0	168	54,3	50,0	2,2	52,2	8,0
T16M	0,3104	1	21,3	170	47,1	42,8	0,7	43,6	6,4	13,0
		2	21,3	168	59,1	42,4	1,6	44,0	8,5	13,0
		3	21,3	169	52,7	43,6	0,7	44,3	7,8	13,0
		4	21,0	169	56,5	47,8	0,8	48,6	8,0	13,0
			Média	21,2	169	54,6	45,7	0,8	46,5	7,9
T13P	0,3416	1	19,0	167	62,5	49,5	5,4	54,9	7,5	13,0
		2	19,0	168	54,7	48,5	4,3	52,8	9,0	13,0
		3	19,0	168	58,5	46,5	4,8	51,3	7,7	13,0
			Média	19,0	168	56,6	47,5	4,6	52,1	8,3
T14P	0,378	1	18,5	167	62,2	49,1	5,1	54,2	6,9	13,0
		2	18,7	168	54,7	44,4	7,9	52,3	7,9	13,0
		3	18,7	168	52,8	44,5	9,5	54,0	8,1	13,0
			Média	18,7	168,0	53,7	44,5	8,7	53,2	8,0
T15P	0,3988	1	19,0	168	61,2	46,1	1,7	47,8	7,1	13,0
		2	19,5	169	52,2	47,2	1,3	48,5	7,6	13,1
		3	19,5	169	50,4	46,4	1,3	47,7	6,2	12,9
		4	19,5	168	62,4	46,8	3,0	49,8	7,9	13,0
		5	19,5	169	54,34	47,4	2,0	49,4	7,3	13,0
		Média	19,5	169	53,3	47,3	1,7	49,0	7,5	13,1
T16P	0,3416	1	20,0	169	59,2	43,3	2,8	46,1	7,8	13,1
		2	20,5	169	52,8	45,0	1,0	46,0	8,7	13,1
		3	20,5	169	55,0	45,4	1,4	46,8	7,4	13,0
			Média	20,5	169,0	53,9	45,2	1,2	46,4	8,1
P15B	0,3992	1	20,5	169	46,3	47,9	1,8	49,7	7,9	13,1
		2	19,8	168	53,8	43,1	4,4	47,5	7,1	13,0
		3	19,8	168	36,4	40,7	9,0	49,7	5,0	12,8
		4	19,8	168	56,0	46,6	4,8	51,4	8,5	10,1
		Média	19,8	168	54,9	44,9	4,6	49,5	7,8	11,6
P14B	0,44	1	21,0	170	46,4	47,0	3,1	50,1	8,7	13,2
		2	20,0	169	56,9	47,0	4,8	51,8	7,8	13,0
		3	20,0	169	52,3	47,2	5,0	52,2	7,8	13,0
		Média	20,0	169	54,6	47,1	4,9	52,0	7,8	13,0
P13B	0,4412	1	19,5	168	59,8	46,8	6,8	53,6	8,4	13,0
		2	19,8	168	52,9	48,6	3,3	51,9	8,4	12,9
		3	19,7	168	58,4	46,4	6,4	52,8	8,3	13,1
		Média	19,8	168	55,7	47,5	4,9	52,4	8,4	13,0
P15M	0,4052	1	19,5	168	54,5	48,9	2,0	50,9	8,0	13,0
		2	19,5	168	54,4	47,7	3,0	50,7	7,3	13,0
		Média	19,5	168	54,5	48,3	2,5	50,8	7,6	13,0
P14M	0,4052	1	19,5	168	61,6	49,3	3,9	53,2	7,5	13,0
		2	20,0	168	58,8	48,9	2,9	51,8	7,3	10,1
		3	20,5	168	55,9	48,0	3,3	51,3	9,3	13,2
		Média	20,3	168	57,3	48,5	3,1	51,6	8,3	11,6
P13M	0,4475	1	19,5	168	57,4	45,8	8,1	53,9	7,1	13,0
		2	19,5	168	58,9	46,7	6,7	53,4	7,7	13,1
			Média	19,5	168	58,2	46,3	7,4	53,7	7,4
P15P	0,3469	1	19,5	168	57,3	46,2	5,2	51,4	8,1	13,1
		2	19,8	168	60,7	44,1	7,2	51,3	8,8	13,2
		3	20,0	168	55,4	44,1	7,0	51,1	8,7	13,0
		Média	19,8	168,0	56,3	45,2	6,1	51,3	8,4	13,1
P14P	0,4024	1	19,5	168	60,1	49,1	3,8	52,9	8,0	13,1
		2	20,0	168	52,1	48,7	3,2	51,9	8,8	13,0
		3	20,0	168	58,5	46,7	2,8	49,5	8,6	13,0
		Média	20,0	168	55,3	47,7	3,0	50,7	8,7	13,0
P13P	0,4052	1	19,7	168	58,2	49,8	3,0	52,8	8,4	13,0
		2	20,2	168	51,5	49,3	1,8	51,1	8,9	13,2
		3	19,8	168	58,6	49,7	2,1	51,8	9,0	13,0
		Média	20,0	168	55,1	49,5	2,0	51,5	9,0	13,1

Fonte: Autora

Figura 1 – Propriedades dos cozimentos experimentais das madeiras de *Pinus taeda* e *Pinus patula*



Fonte: Autora

Tabela 2 – Propriedades dos papeis embalagens das madeiras de base e topo de *Pinus taeda* e *Pinus patula*.

	Consumo de energia	T.E.A (J/m ²)	M.O.E (MNm/Kg)	Índice Tração, N.m/g	Índice Arrebetamento (kPam ² /g)	Índice Rasgo (mN.m ² /g)	Alongamento, %	Resistência à passagem de ar (s/100cm ³)	°SR
PB	0	8,06	2,54	35,59429	0,7965	7,395548	1,08	0,482	13
	61	89,81	4,77	71,69429	2,93075	7,11962	3,13	0,932	16
	117	109,87	5,6	78,51571	3,39925	6,056263	3,54	19,472	35
	141	120,16	6,15	80,62286	3,39425	5,844118	3,55	104,954	55
PP	0	6,32	2,58	22,9571	0,6695	6,721596	0,9	0,48	12
	60	78,97	4,99	68,81857	2,732	6,673431	1,04	1,23	16
	119	80,92	5,09	74,04143	3,1615	5,809648	2,54	16,09	34
	146	110,92	4,94	77,80143	3,18325	5,501027	2,65	94,854	55
TB	0	8,74	2,58	22,0059143	0,57	6,603518	2,16	0,912	13
	60	105,1	5,05	64,93571	2,50525	6,086249	2,7	1,108	15
	116	113,35	5,56	68,35429	2,98975	5,105619	3,17	22,754	32
	143	164,7	5,51	74,52	3,15925	5,080368	3,54	97,808	52
TP	0	8,38	2,99	17,27286	0,1531	5,737758	1,88	0,5	12
	60	83,85	5,28	54,21286	2,37275	5,49345	2,78	1,33	17
	117	103,4	5,54	66,09571	2,9398	4,279754	2,92	16,402	27
	147	118,7	5,94	73,49286	3,0075	4,238068	3,52	85,248	51

Fonte: Autora

