

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**CAMILA NATÁLIA ANDRIONI**

**ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DA MADEIRA *PINUS ELLIOTTII***

**ALEGRETE  
2019**

**CAMILA NATÁLIA ANDRIONI**

**ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DA MADEIRA *PINUS ELLIOTTII***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Aldo Leonel Temp

**Alegrete  
2019**

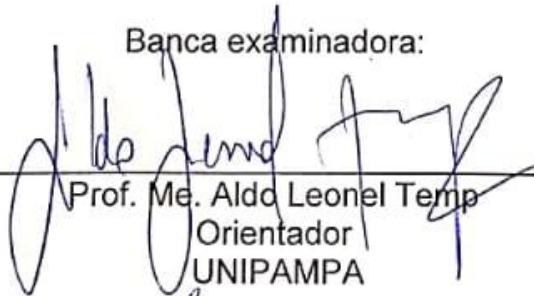
CAMILA NATÁLIA ANDRIONI

**ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DA MADEIRA  
*PINUS ELLIOTTII***

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Civil da Universidade Federal do  
Pampa, como requisito parcial para  
obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Civil.

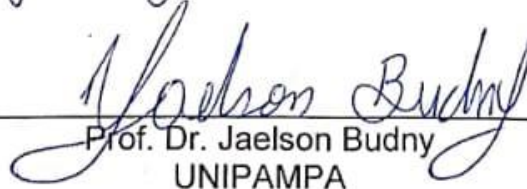
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 29 de novembro  
de 2019.

Banca examinadora:



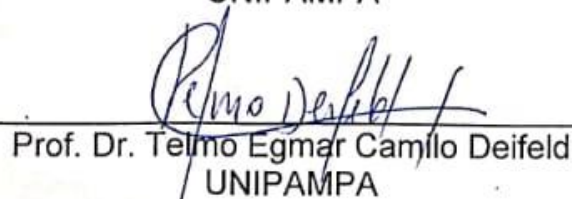
---

Prof. Me. Aldo Leonel Temp  
Orientador  
UNIPAMPA



---

Prof. Dr. Jaelson Budny  
UNIPAMPA



---

Prof. Dr. Telmo Egmar Camilo Deifeld  
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus pais que  
são meus maiores exemplos e orgulho.

## **AGRADECIMENTOS**

Reservo meus agradecimentos aos meus pais, Liamar Brol Andrioni e Claudio Andrioni, e minha irmã Cheila Andrioni Manfroi por serem minha base, me apoiarem em todos os momentos, acreditarem nas minhas escolhas e no meu potencial de realizar meus sonhos.

Ao Professor Me. Aldo Leonel Temp e ao Me. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira por todos os ensinamentos no laboratório e por tornarem a realização deste trabalho possível.

Aos meus amigos Bárbara Biasi, Felipe Lamaizon e Isadora Minich por tornarem os dias mais leves e acreditarem em mim mais do que eu mesma.

A todos os meus amigos que, de alguma forma, me ajudaram a superar as dificuldades e me ofereceram apoio.

Aos professores de Engenharia Civil da UNIPAMPA, por todo conhecimento ensinado.

“Acredite em si mesmo, pois até sua  
sombra te abandona no escuro”.

Lady Gaga

## RESUMO

Para este estudo, foi realizada a caracterização de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira da espécie *Pinus Elliottii* var. *Elliottii*. Em relação as propriedades mecânicas, foram efetuados ensaios para a obtenção da resistência à compressão normal e paralela às fibras, assim como o ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras. Além disso, realizaram-se os ensaios referentes ao teor de umidade e à densidade básica para a definição destas propriedades físicas. Estes ensaios objetivam definir os parâmetros de resistência da madeira que é utilizada em construções permanentes e provisórias no município de Alegrete – RS e região, em vista da carência de pesquisas sobre o tema, tanto em âmbito estadual como nacional. Os resultados obtidos foram comparados com dados da ABNT NBR 7190 (1997) e demais estudos relacionados. Pode-se observar que a madeira utilizada não alcançou os valores de resistência esperados, ou seja, caso os projetistas tomarem como base os valores médios contidos na ABNT NBR 7190 (1997) para o dimensionamento de estruturas de madeira, o projeto não atenderá aos critérios de segurança.

Palavras chave: Propriedades mecânicas; Propriedades físicas; Madeira; Resistência.

## ABSTRACT

For this study, the characterization of some physical and mechanical properties of wood of the species *Pinus Elliottii* var. *Elliottii* was performed. Regarding the mechanical properties, tests were performed to obtain the normal and parallel compressive strength of the fibers, as well as the shear strength test parallel to the fibers. Also, moisture content and basic density tests were performed to define these physical properties. These tests aimed to define the parameters of wood strength that are used in permanent and temporary constructions in Alegrete - RS and region, since there is little research related to wood, both at state and national levels. The results obtained were compared with data from NBR 7190 (1997) and other related studies. It can be observed that the wood used didn't reach the expected strength values, i.e., if the designers take as base the average values contained in NBR 7190 (1997) for the dimensioning of wood structures with the material studied, the project wouldn't meet the safety criteria.

Keywords: mechanical properties, physical properties, wood, strength.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Plantação de <i>Pinus Elliottii</i> .....	21
Figura 2 - Curvas de retratibilidade volumétrica e linear .....	25
Figura 3 - Influência do teor de umidade sobre a resistência à compressão paralela às fibras, para o <i>Pinus Elliottii</i> .....	28
Figura 4 - Influência do teor de umidade sobre a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, para o <i>Pinus Elliottii</i> .....	29
Figura 5 - Influência do teor de umidade sobre o módulo de elasticidade longitudinal, para o <i>Pinus Elliottii</i> .....	30
Figura 6 - Dados climáticos anuais do município de Piratini-RS dos últimos 30 anos .....	32
Figura 7- Colheita de madeira para desbaste e corte raso de pinus (a partir da metade da década de 90) .....	33
Figura 8 - Fluxograma do plano experimental .....	34
Figura 9 - Corpo-de-prova para determinação da umidade da madeira.....	35
Figura 10 - Corpo-de-prova para o ensaio de teor de umidade.....	36
Figura 11 – Corpos-de-prova submersos no equipamento de banho maria .....	38
Figura 12 – Corpo-de-prova para ensaio de compressão paralela às fibras.....	39
Figura 13 - Corpo-de-prova para o ensaio de resistência a compressão paralela às fibras .....	39
Figura 14 - Diagrama de carregamento para determinação da rigidez da madeira à compressão.....	40
Figura 15 - Arranjo de ensaio para compressão paralela às fibras na prensa DL 20000 .....	41
Figura 16 - Diagrama tensão x deformação específica para determinação da rigidez à compressão paralela às fibras.....	43
Figura 17 - Dimensões do corpo-de-prova para ensaio de compressão normal às fibras .....	45
Figura 18 - Corpo-de-prova para o ensaio de resistência a compressão normal às fibras .....	45
Figura 19 - Arranjo de ensaio para compressão normal às fibras na prensa DL 20000 .....	46

Figura 20 - Diagrama tensão x deformação específica para determinação da rigidez à compressão normal às fibras .....	48
Figura 21- Corpo-de-prova para ensaio de cisalhamento na direção paralela às fibras .....	50
Figura 22 - Corpo-de-prova para o ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras .....	50
Figura 23 - Arranjo de ensaio para cisalhamento paralelo às fibras.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Consumo de Madeira Serrada Amazônica pela Construção Civil, no Estado de São Paulo, em 2006.....	18
Tabela 2 - Classes de umidade.....	24
Tabela 3 - Grau de umidade do material h% em função do tipo de construção.....	24
Tabela 4 - Classificação e empregos das madeiras conforme o coeficiente de retratilidade.....	25
Tabela 5 - Massa específica aparente, a 15% de umidade, de espécies lenhosas nacionais.....	26
Tabela 6 - Resultados obtidos por Norman Logsdon com diferentes teores de umidade no ensaio de compressão paralela às fibras com corpos-de-prova de <i>Pinus Elliottii</i>	28
Tabela 7 - Resultados obtidos por Logsdon com diferentes teores de umidade no ensaio de cisalhamento paralelo às fibras com corpos-de-prova de <i>Pinus Elliottii</i> ....	29
Tabela 8 - Resultados obtidos por Norman Logsdon com diferentes teores de umidade no ensaio de densidade básica com corpos-de-prova de <i>Pinus Elliottii</i> .....	30
Tabela 9 - Valores do IMA (Incremento Médio Anual) em m <sup>3</sup> /ha/ ano, idade, na localidade de Agudos, SP.....	33
Tabela 10 - Teor de umidade médio obtido no ensaio.....	37
Tabela 11 – Densidade básica média obtida no ensaio.....	38
Tabela 12 - Resistência a compressão paralela às fibras.....	42
Tabela 13 - Módulo de elasticidade em ensaio de compressão paralela às fibras....	44
Tabela 14 - Resistência a compressão normal às fibras.....	47
Tabela 15 - Módulo de elasticidade do ensaio de compressão normal às fibras.....	49
Tabela 16 - Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.....	52

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 Justificativa.....	15
1.2 Objetivos .....	16
1.2.1 Objetivo geral .....	16
1.2.2 Objetivos específicos .....	16
<b>2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
2.1 Madeiras na construção civil .....	17
2.2 Principais espécies utilizadas na construção civil .....	19
2.2.1 <i>O Pinus Elliottii</i> na construção civil.....	20
2.3 Propriedades das madeiras.....	22
2.3.1 Propriedades físicas das madeiras.....	23
2.3.2 Propriedades mecânicas das madeiras .....	26
2.3.2.1 Influência da umidade nas propriedades mecânicas da madeira .....	27
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
3.1 Materiais.....	31
3.1.1 <i>Pinus Elliottii</i> .....	31
3.2 Metodologia .....	34
3.2.1 Amostragem .....	34
3.2.2 Teor de umidade dos ensaios mecânicos na madeira.....	35
3.2.3 Teor de umidade.....	35
3.2.4 Densidade básica .....	37
3.2.5 Ensaio de compressão paralela às fibras .....	39
3.2.7 Ensaio de compressão normal às fibras.....	44
3.2.7 RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS .....	49
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	<b>54</b>
4.1 Sugestões para trabalhos futuros .....	55
<b>5 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>56</b>
<b>6. APÊNDICES</b> .....	<b>61</b>
6.1 Apêndice A – Resultados obtidos no ensaio de teor de umidade .....	62
6.2 Apêndice B - Resultados obtidos no ensaio de densidade básica.....	63
6.3 Apêndice C – Resultados obtidos no ensaio de compressão paralela às fibras.....	64

<b>6.4 Apêndice D - Resultados obtidos no ensaio de compressão normal às fibras.....</b>	<b>65</b>
<b>6.5 Apêndice E - Resultados obtidos no ensaio de cisalhamento paralelo às fibras .....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material vastamente utilizado em diversos ramos desde a antiguidade, em métodos construtivos, armamentos, meios de locomoção, rodas d'água para geração de energia, confecção de mobiliários, entre outros. Porém, a exploração da madeira em grande escala só tornou-se viável após os avanços mecânicos da revolução industrial no final do século XVIII. No Brasil, segundo Patrícia Perez et.al (2006), até a década de 1970, a produção de madeira serrada era concentrada na região Sul do país, sendo a exploração centrada na espécie Araucária. Entre 1971 à 1988, a indústria de madeira migrou para a região Norte com a exploração de árvores não coníferas. No período de 1989 à 1998, ocorreu uma estagnação na produção de madeira serrada no Norte, pois iniciou-se um processo de reflorestamento das regiões Sul e Sudeste, ocasionando o progresso da indústria madeireira nestas regiões, com a exploração das espécies de pinus e, posteriormente, de eucalipto. Assim, nos anos 2000, ocorreu o aumento significativo da produção de eucalipto em relação ao pinus, que suscita na utilização de essências nativas na região Norte e de eucalipto no Sudeste e Sul do Brasil.

O interesse em explorar o potencial da madeira é devido à grande disponibilidade e à distinta combinação de propriedades que a tornam muito atraente frente à outros materiais, como: o baixo consumo de energia para o processamento, o bom isolamento térmico e acústico, a alta resistência, além da facilidade de manuseio, tanto manual como mecânico.

Na construção civil a madeira é utilizada em instalações provisórias – andaimes, escoramentos e fôrmas – e definitivas – esquadrias, telhados, forros e pisos. Na América do Norte, a maioria das residências é construída integralmente a base de madeira. Este fato é justificado pelo vasto investimento em pesquisas, pelo desenvolvimento de métodos construtivos modernos e pela tradição que estas nações criaram ao longo do tempo. Logo, infere-se que, com o devido tratamento e estudo, a madeira tem potencial equivalente aos demais métodos construtivos, como a alvenaria convencional.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A madeira é um material subutilizado em cenário nacional, por conta de desconhecimento, preconceito e falta de tradição – empregada para elementos construtivos complementares na edificação, e dificilmente como o elemento principal.

Além disso, o investimento em pesquisas no setor madeireiro é escasso, interferindo de forma direta na confiança e credibilidade do setor. A indústria madeireira preconiza a quantidade da produção em grande escala, do que a qualidade final do produto – com exceção à exportação internacional, onde a madeira deve seguir outras diretrizes e ignora-se a Norma nacional utilizada na confecção de material para consumo brasileiro (REMADE, 2007).

Do mesmo modo, na execução de projetos de estruturas de madeira nacionais, não existem dados referentes as características físicas e mecânicas do lote a ser utilizado, pois este estudo não é realizado. Utilizam-se então dados genéricos obtidos na ABNT NBR 7190 – 1997, porém estes não indicam as condições reais do lote a ser utilizado na construção, pois a madeira é um material heterogêneo que varia de acordo com diversos fatores, dentre eles o clima ao qual a árvore se desenvolveu.

Porém, a madeira é uma matéria prima abundante no Brasil, conforme Roberto Mello (2007), tomando-se como exemplo o projeto de habitação popular do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), com consumo aproximado de 15 m<sup>3</sup> de madeira, incluindo as perdas no rendimento da serraria, e com uma estimativa de estoque de 40 bilhões m<sup>3</sup> da floresta amazônica, calcula-se que com somente 0,3% deste total é possível oferecer moradia para todos os brasileiros desabrigados.

Nesse contexto, considerando os diversos ramos de utilização e a ampla disponibilidade da madeira, torna-se relevante realizar a caracterização deste material, quanto à segurança e durabilidade, possibilitando a confiabilidade necessária aos projetistas. Assim, o estudo da madeira de *Pinus Elliottii* utilizada na região de Alegrete - RS, por meio de ensaios físicos e mecânicos, visa obter um panorama mais preciso da resistência estrutural deste material, para que ocorra uma aplicação consciente na construção civil local, e conseqüente popularização da madeira como material de construção.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral desse trabalho é realizar uma investigação física e mecânica com a madeira da espécie *Pinus Elliottii* buscando a obtenção de uma caracterização estrutural do material para futura utilização nos projetos de estruturas de madeira na cidade de Alegrete – RS e região.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos desse trabalho estão descritos a seguir.

- Analisar as propriedades físicas em relação à umidade e à densidade da madeira *Pinus Elliottii*, por meio da determinação da densidade básica e do teor de umidade;
- Avaliar a resistência à compressão paralela e normal às fibras;
- Determinar a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras;
- Definir o módulo de elasticidade à compressão normal e paralela às fibras do material.



## 2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

A seguir serão descritos os itens referentes à revisão e contextualização geral do trabalho. A partir da análise quanto à problemática em relação ao uso indevido e falta de aproveitamento das qualidades da madeira, além de um contexto geral quanto às características deste material.

### 2.1 Madeiras na construção civil

A madeira é um material elementar na construção civil, empregada em obras de pequeno, médio e grande porte, tanto em instalações provisórias – que não exigem tanto refinamento do material, como por exemplo fôrmas, andaimes e escoramentos – quanto em construções definitivas – de forma aprimorada em forros, mobiliário, pisos, esquadrias, escadas, estruturas de telhados, decoração, paredes de vedação, entre outros.

Um exemplo do potencial construtivo da madeira são as residências construídas na América do Norte. As construções da modalidade *Wood-frame* fornecem algumas das mais acessíveis e confortáveis residências do mundo (CANADIAN, 2014). Desde a colonização, os descobridores utilizavam recursos florestais abundantes como material de construção, dessa forma, a construção em *Wood-frame* foi difundida, tornou-se uma tecnologia sofisticada e amparada por uma abastada quantidade de pesquisas que superam os desafios científicos de construção.

Enquanto países como Estados Unidos e Canadá apresentam tradição na construção em madeira com aprimorados métodos construtivos – como o *Wood-frame* e *Steel-frame* – e técnicas avançadas de tratamento da madeira. No caso do Brasil, devido à fatores culturais e econômicos; e à questões de desinformação e preconceito da população, ocorre a subaproveitamento do material. Os dados disponibilizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (2003) demonstram que a maior parte da madeira consumida pelo Estado de São Paulo é para uso em estruturas de cobertura, na forma de madeira serrada, o que representa um baixo valor agregado na sua produção. Como pode-se ver na Tabela 1 a seguir, o emprego da madeira no Estado majoritariamente direcionado à componentes com processamento mínimo do material.

Tabela 1- Consumo de Madeira Serrada Amazônica pela Construção Civil, no Estado de São Paulo, em 2006

<b>Uso na construção civil</b>	<b>Consumo (%)</b>
Estruturas de cobertura	42
Andaimes e fôrmas para concreto	28
Móveis populares	15
Forros, pisos e esquadrias	11
Casas pré-fabricadas	3
Móveis finos e decoração	1

Fonte: Construção & Mercado, 2007.

A análise dos dados evidencia diversos fatores, sendo um deles a deficiência técnica no canteiro de obras. No Brasil, ao longo da história, o uso de técnicas construtivas inadequadas faz com que as construções em madeira se tornassem sinônimo de sub habitação ou de baixa durabilidade (SZUCS, 2004).

Ou seja, mesmo que grande parcela da população resida em casas de madeira, o fato não configura o atendimento aos requisitos de qualidade necessários, contribuindo para avigorar a imagem negativa da madeira na construção civil do país.

Além disso, Carlito Calil (2003) diz que, diferentemente da indústria do aço e do concreto que investiu em pesquisas e desenvolveu alta qualidade técnica ao longo do tempo, as madeireiras estagnaram em aparatos obsoletos, desuso de normas técnicas e mão de obra não qualificada em condições de trabalho insalubre. Ainda existe o fato de muito comumente as serrarias utilizarem madeira ilegal para a produção do seu produto, o que gera maior preconceito contra o uso deste material pela população.

Segundo Roberto Mello (2007), esta produção de madeira serrada sem normatização acaba gerando prejuízos principalmente para o mercado interno brasileiro, já que para a exportação as madeireiras são obrigadas a seguirem normas internacionais de qualidade. A ausência de classificação e padronização resulta no receio de compra na construção civil, pois não transmite segurança ao consumidor, que é ignorante a procedência do material.

Estes fatores tem como consequência o desprezo da madeira como material construtivo, apesar da abundância deste material no Brasil.

## 2.2 Principais espécies utilizadas na construção civil

Ao escolher a madeira a ser empregada na parte exterior da residência, além das esquadrias, deve-se considerar a constante ação de efeitos adversos como o calor, a umidade e o ataque de fungos e cupins, por isso recomenda-se a utilização de madeiras com características mecânicas superiores como o Ipê, a Itaúba, a Teca e a Garapeia. Estas madeiras apresentam boa resistência mecânica e durabilidade, porém devem receber o tratamento adequado para serem efetivamente eficientes. No interior da edificação a aparência é um fator importante, logo, recomenda-se a utilização de madeiras que apresentem beleza, segurança e durabilidade. Nos telhados comumente usa-se a Garapeira e o Cambarpá, apesar de necessitarem de manutenção constante, ou espécies mais resistentes como a Itaúba e a Peroba. Em pisos e assoalhos recomenda-se o uso de Peroba-Rosa, o Angico-Preto, a Aroeira, a Macacauba, o Pau-Amarelo, o Pau-Darco e o Ipê devido a sua resistência ao risco que é gerado pelo trânsito constante de pessoas. (MILL INDÚSTRIAS, 2017)

Neilson Jones (2015) classifica as madeiras mais utilizadas com fins construtivos de acordo com o uso:

- Andiroba: utilizada em estacas marítimas, pontes, obras imersas em ambiente de água doce, postes, dormentes ferroviários, estrutura pesada de construção civil e embarcações (quilhas, convés, costado, cavernas);
- Aroeira: usada em carpintaria, marcenaria de luxo, compensado, cabos de ferramentas, artesanato, peças torneadas, tacos e tábuas de assoalhos, venezianas, marcos de esquadrias, molduras, rodapés, lambris, escadas, móveis, puxadores, carrocerias, barris, tonéis, régua;
- Angelim: utilizada em peças de decoração para exteriores e interiores, escadas, pisos, vigas. Construção civil e naval, dormentes, estacas, tacos de assoalhos, vigamentos, etc.;
- Pau-amarelo: usado em tacos, cabos de ferramentas, portas, marcenaria de luxo, tábuas, portas, móveis, dormentes, objetos torneados, construção naval, assoalhos, pontes.
- Peroba – rosa: utilizada na construção civil, como vigas, caibros, ripas, marcos de esquadrias, venezianas, esquadrias, portões, rodapés, molduras, tábuas e tacos para assoalhos, degraus de escadas, móveis

pesados, carteiras escolares, produção de folhas faqueadas, construção de vagões, carrocerias, dormentes e fôrmas para calçados.

- Pinus: utilizado na construção civil, móveis, etc.;
- Jatobá: utilizada na construção civil, estacas, carroçaria, postes, tonéis, dormentes, móveis finos, laminados, assoalhos, tanoaria, vigamentos, cabos de ferramentas, arcos de instrumentos musicais, construção de pianos, compensados, etc.;
- Maçaranduba: utilizada no exterior da residência, trabalhos hidráulicos, tacos, objetos decorativos, cabos de ferramentas, móveis, implementos agrícolas, instrumentos musicais, tacos para assoalhos, peças torneadas, dormentes, construção civil e naval, cais para embarcações, torneados, chapas, etc.;
- Sucupira: recomendado para o uso no interior e exterior da residência, pisos, escadas, cabos de ferramentas, construção civil e naval, móveis, tacos para assoalhos, bilhar, tanoaria, dormentes, estacas, carpintaria, postes, laminados, esquadrias, lambris, vigas, caibros, ripas, dormentes, etc.

Além das espécies citadas acima, Marta Nogueira (2019) diz que, a fim de auxiliar no consumo de madeira pela construção civil, o *Eucalyptus saligna* é uma boa alternativa pois existe grande disponibilidade nas florestas plantadas no Brasil. De acordo com ensaios realizados em um lote de *Eucalyptus saligna*, obteve-se a sua força na classe C30 das dicotiledôneas, logo, pode ser utilizado de forma segura como membro estrutural de construções em madeira.

### **2.2.1 O *Pinus Elliottii* na construção civil**

O pinus apresenta grande potencial construtivo. Segundo o IPT (2003), o *Pinus Elliottii* é utilizado na construção civil em ripas e partes secundárias de estruturas. Além de em cordões, guarnições, rodapés, forros, chapas compensadas e lambris, é usado em elementos temporários como fôrmas para concreto, pontaletes e andaimes.

Além disso, devido a abundância do plantio do *Pinus Elliottii*, ocorreu uma desvalorização do seu valor de mercado. Porém esta desvalorização abre uma oportunidade, pois esta espécie de madeira possui grande qualidade construtiva, podendo-se estudar mais aplicações para o ramo da construção civil e até mesmo

tornar este material o principal elemento na construção de uma edificação. As vantagens de construções em madeira são o ótimo isolamento térmico e acústico, material de fácil obtenção, baixo custo, ser renovável e poder ser utilizada como material estrutural de sustentação da edificação, como vigas, pilares e o telhado, além de proporcionar um estilo rústico e um excelente acabamento da edificação (HEIDRICH, 2016).

Figura 1 - Plantação de *Pinus Elliottii*



Fonte: Bom Cultivo, 2019.

Segundo Ananda Aguiar (2014), o *Pinus Elliottii*, de maneira geral, apresenta produção de madeira adulta a partir dos 7 a 8 anos de idade, podendo ser serrado a partir deste período. Esta característica de rápido crescimento apresenta um diferencial importante para a produção de madeira destinada ao processamento mecânico, visto que a madeira desta espécie apresenta melhor qualidade física e mecânica se comparada a outras espécies de pinus, como o *Pinus Taeda*, o qual demora em torno de 12 a 15 anos para apresentar madeira adulta.

Ainda, Ananda Aguiar (2014) ressalta que esta variedade cresce mais em regiões de baixa altitude, como na planície costeira de toda a região Sul, desenvolvendo-se bem mesmo em solos com lençol freático próximo à superfície. Esta variedade requer também clima fresco com inverno frio e disponibilidade de umidade constante durante o ano, por isso é indicada para plantio em toda a região Sul e Sudeste do Brasil. O clima é o fator de maior importância para o desenvolvimento das espécies florestais, principalmente a temperatura e a precipitação pluviométrica, que definem a produtividade. Na área de ocorrência natural de *Pinus Elliottii*, o clima

é quente e úmido, com precipitações pluviométricas maiores no verão e primavera, sendo o outono mais seco. A precipitação pluviométrica média anual da região é de 1.270 mm, temperatura média anual de 17 °C e com valores extremos de 41 °C. A espécie apresenta tolerância mediana à deficiência hídrica. Na região Sul do Brasil, o *Pinus Elliottii* se desenvolve em amplas condições climáticas com poucas restrições, sendo pouco afetado por geadas. De maneira geral, esta variedade é menos tolerante às geadas e mais tolerante aos solos com baixa drenagem.

Devido a isto é importante o incentivo ao plantio e desenvolvimento da utilização da madeira de pinus no país. De acordo com Rosilani Trianoski (2012), para garantir fornecimento de matéria prima, preços atrativos, utilização e consolidação da madeira de pinus na indústria, é necessário o incentivo ao plantio de pinus e o direcionamento de esforços no desenvolvimento de pesquisas relacionadas a introdução e qualificação da madeira de outras espécies, como por exemplo as espécies de pinus tropicais, as quais podem, além de aumentar a produtividade, volume de madeira ofertado e diversificação de matéria prima, fornecer madeira com propriedades superiores aos mais diversos usos. Um passo inicial foi dado pela *Central América and México Coniferous Resources Cooperative* (CAMCORE), que por meio de diversas parcerias promoveu a introdução de espécies de pinus tropicais em diversas partes do mundo, fortalecendo a silvicultura no Brasil, assim como o programa coordenado pelo Centro de Conservação Genética e Melhoramento de Pinheiros Tropicais (CCGMPT).

### **2.3 Propriedades das madeiras**

Segundo Falcão Bauer (1994), na condição de material de construção, a madeira apresenta um conjunto de características que dificilmente são encontradas em um único material, tais como:

- Resistência mecânica tanto a esforços de compressão como a tração na flexão, sendo o primeiro material a ser utilizado tanto em colunas como vigas e vergas;
- Tem resistência mecânica superior ao concreto e peso reduzido;
- Possui altíssima resiliência, logo, resiste extremamente bem a choques e esforços dinâmicos;

- Boas características de isolamento térmico e acústico, se seca, é satisfatoriamente dielétrica;
- Pode ser trabalhada com ferramentas simples;
- Baixo custo de produção;
- É renovável;
- Se preservada corretamente, perdura em vida útil prolongada com pouquíssima manutenção;
- Apresenta inúmeras opções decorativas.

Devido a tais características a madeira se destaca como um material de grande potencial construtivo se trabalhado de forma adequada em todas as etapas de sua vida útil, do processamento a instalação no canteiro de obra.

### **2.3.1 Propriedades físicas das madeiras**

A madeira possui diversas propriedades às quais são influenciadas pelo clima, condições do solo, quantidade de água disponível e pluviosidade, além dos químicos utilizados para acelerar seu crescimento.

Segundo Falcão Bauer (1994), uma das características físicas mais importantes é a umidade, que se concentra na madeira extraída sobre três condições: água de constituição, água de impregnação e água livre. A água de constituição está em combinação química com o material lenhoso e não pode ser eliminada na secagem. A água de impregnação se concentra nas paredes celulósicas das células lenhosas, provocando inchamento considerável destas paredes, gerando notável alteração no volume da peça. O comportamento físico-mecânico da peça varia diretamente com a alteração da quantidade de água de impregnação. Além das citadas, existe a água livre, estado onde as paredes das células foram completamente impregnadas e a água começa a encher os vazios capilares. A presença ou ausência da água livre não influencia no comportamento do material. Quando é feita a secagem ao ar, evapora-se apenas a água livre e o material está saturado ao ar, este ponto varia conforme a espécie em torno de 30% de umidade.

As classes de umidade são definidas pela ABNT NBR 7190 (1997) como pode-se observar na Tabela 2, tendo por finalidade ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde estão localizadas estas estruturas. Pode-se utilizar estas classes para a escolha de métodos de

tratamentos preservativos das madeiras, também estabelecidos pela ABNT NBR 7190 – 1997.

Tabela 2 - Classes de umidade

<b>Classes de umidade</b>	<b>Umidade relativa do ambiente (Uamb)</b>	<b>Umidade de equilíbrio da madeira (Ueq)</b>
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Fonte: ABNT NBR 7190, 1997.

Tabela 3 - Grau de umidade do material h% em função do tipo de construção

<b>Tipo de construção</b>	<b>Grau de umidade (h%)</b>
Salas aquecidas	$h < 13\%$
Locais fechados e cobertos: carpintaria de telhados e entrespisos	$13\% < h < 17\%$
Obras cobertas, mas largamente abertas: hangares, telheiros	$17\% < h < 20\%$
Expostas ao intemperismo: cimbres, formas, andaimes	$20\% < h < 25\%$
Em meios úmidos: galerias, porões e minas	$25\% < h < 30\%$
Em contato com água	$h > 30\%$

Fonte: Petrucci, 2003.

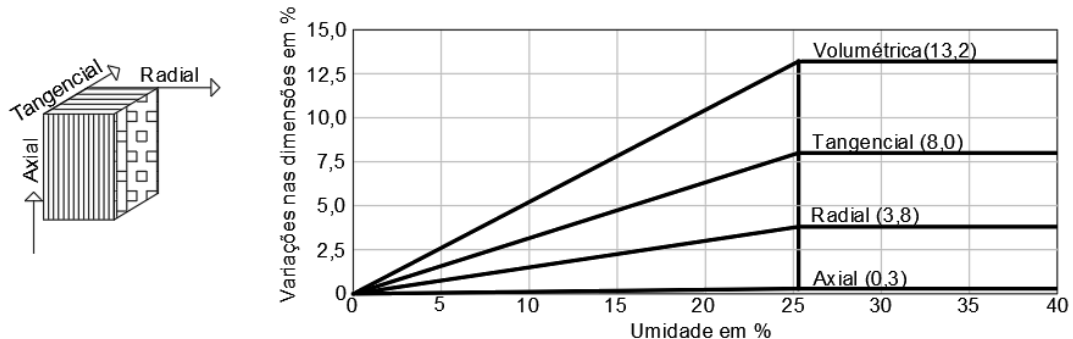
Segundo Luana Rodrigues (2018) a retratibilidade é a propriedade que altera as dimensões da madeira a medida que o teor de umidade se modifica. Quando o teor de umidade é reduzido, a madeira reduz sua dimensão, podendo ocorrer também o processo inverso, onde a madeira sofre um inchamento quando submetida a condições de alta umidade. Segundo Falcão Bauer (1994), a retratibilidade se manifesta de maneira diferente de acordo com o sentido das fibras, como pode-se observar na Figura 2. É uma qualidade importante pois determina a finalidade de utilização da madeira em vários ramos de uso.

É interessante considerar o grau de umidade do ambiente onde o material será utilizado para a escolha da espécie de madeira pois, dependendo do meio, podem



ocorrer retrações e expansões na peça que gerem danos ao seu desempenho, como o aparecimento de tensões e o alargamento de juntas, por exemplo.

Figura 2 - Curvas de retratilidade volumétrica e linear



Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2003.

Tabela 4 - Classificação e empregos das madeiras conforme o coeficiente de retratilidade

Coeficiente de Retratilidade	Qualificação de Retratilidade	Exemplos de Utilização
0,75 a 1	Exagerada	Madeiras dificilmente utilizáveis (algumas variedades de eucaliptos)
0,55 a 0,75	Forte	Madeiras para desdobro radial
0,35 a 0,55	Média	Madeiras de construção utilizáveis em carpintaria
0,15 a 0,35	Fraca	Madeiras para marcenaria e laminados

Fonte: Bauer, 1994.

Além disso, Eladio Petrucci (2003) diz que a massa específica aparente da espécie de madeira define a concentração de tecido lenhoso resistente por unidade de volume aparente. É uma das propriedades mais importantes deste material, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas, sendo uma referência para a sua classificação e, portanto, todas as características de resistência mecânica são proporcionais a mesma. Fatores como localização do lenho no exemplar de origem e condições regionais de crescimento influenciam no valor da massa específica da peça.

Tabela 5 - Massa específica aparente, a 15% de umidade, de espécies lenhosas nacionais

<b>Espécies</b>	<b>kg/dm<sup>3</sup></b>
Açoita-cavalo	0,62
Cabriúva	0,89
Canela-preta	0,63
Cedro	0,49
Eucalipto tereticornis	0,89
Louro	0,69
Peroba-rosa	0,76
Pinho	0,56

Fonte: Bauer, 1994.

As propriedades elétricas da madeira mais importantes são a condutividade elétrica (determina a corrente elétrica que passa pelo material quando ele é colocado sob um gradiente de voltagem), a constante dielétrica (determina a quantidade de energia elétrica potencial na forma de polarização induzida, a qual é armazenada em um determinado volume de material, quando este é colocado em um campo elétrico) e o fator de potência dielétrica – mede a porção da energia armazenada, convertida em calor. Esta propriedade é essencial na secagem da madeira, na cura térmica de adesivos em produtos de madeira por campos elétricos de alta frequência, em postes e cruzetas para a transmissão de energia elétrica, entre outros (MORESCHI, 2012).

Segundo Francisco Gesualdo (2003), a madeira teria um bom comportamento em relação ao fogo se não fosse por sua inflamabilidade. Porém, diante de altas temperaturas provavelmente terá maior resistência que o aço, pois sua resistência não se altera sob essas circunstâncias.

### **2.3.2 Propriedades mecânicas das madeiras**

São propriedades mecânicas as características de resistência da madeira a esforços mecânicos de todos os tipos. Segundo Falcão Bauer (1994), são classificadas em características mecânicas principais e secundárias, sendo respectivamente solicitações exercidas no sentido das fibras, como compressão, tração, flexão estática e flexão dinâmica e de esforços transversais as fibras, tais como compressão e tração normal as fibras, torção, cisalhamento e fendilhamento. As características mecânicas são diretamente afetadas pela direção das fibras, a homogeneidade do material e a sua capacidade de absorver água. Os feixes de fibras são os principais elementos de resistência, ou seja, quando o material tem grandes

vazios devido a vasos e canais secretores entre as fibras, ele terá resistência inferior. Quando as fibras são longas, existe maior resistência a flexão.

A elasticidade é a propriedade da madeira sólida que a possibilita retomar à sua forma original, após a remoção da carga aplicada. Considera-se que a madeira sofreu deformação elástica enquanto é submetida a uma determinada carga e após sua remoção consegue voltar ao seu formato original, ou seja, abaixo do limite de elasticidade, posteriormente considera-se que o material sofreu deformação plástica, a qual é irreversível (MORESCHI, 2012).

### **2.3.2.1 Influência da umidade nas propriedades mecânicas da madeira**

A resistência da madeira está relacionada à quantidade de água na parede da célula da fibra. Acima do ponto de saturação das fibras a água se acumula nas cavidades das células da madeira (água livre), até este ponto não se verifica efeito sensível sobre a resistência da madeira em relação à variação do teor de umidade neste intervalo (WINANDY & ROWELL, 1984). Para teores de umidade entre 0% (madeira seca em estufa) até o ponto de saturação das fibras a água se acumula nas paredes das células da madeira (água de impregnação), e afeta sensivelmente a resistência da madeira, pois o aumento da quantidade de água reduz as ligações por pontes de hidrogênio, entre os polímeros orgânicos das paredes das células, diminuindo a resistência da madeira.

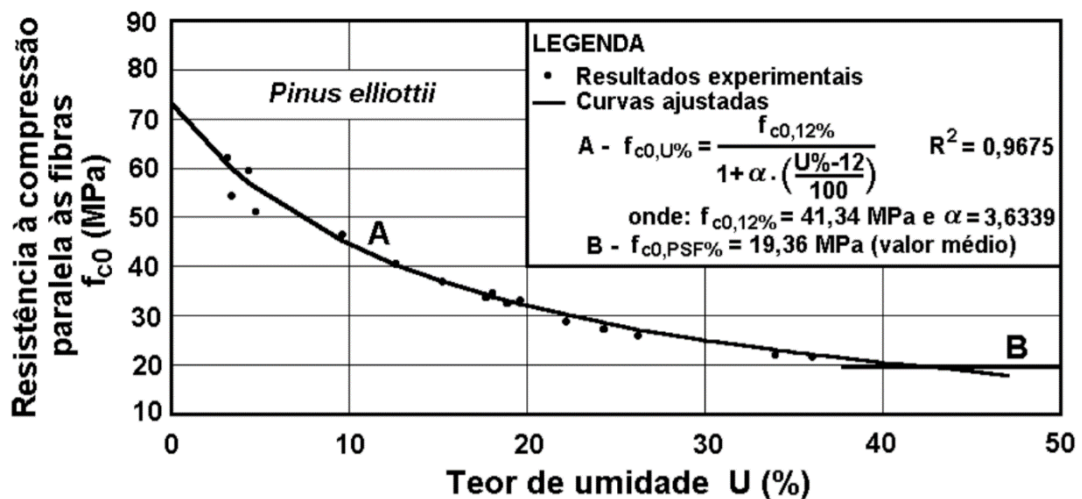
De acordo com Norman Logsdon (1998), que ensaiou corpos-de-prova de diversas espécies de madeira para a obtenção da resistência a compressão paralela às fibras e ao cisalhamento paralelo às fibras conforme as diretrizes da ABNT NBR 7190 (1997) com diferentes teores de umidade, nas Figuras 3, 4 e 5 e nas Tabelas 6 e 7, pode-se observar a influência da umidade nas propriedades mecânicas da madeira de *Pinus Elliottii*. Nota-se que as resistências e o módulo de elasticidade apresentam um declínio a medida que o teor de umidade cresce. A Tabela 8 representa os resultados obtidos para os ensaios de densidade básica da madeira. Como pode-se perceber, existe grande divergência entre as densidades dos corpos-de-prova, o que reforça a concepção de heterogeneidade do material.

Tabela 6 - Resultados obtidos por Norman Logsdon com diferentes teores de umidade no ensaio de compressão paralela às fibras com corpos-de-prova de *Pinus Elliottii*

C.P	U(%)	fc0 (MPa)	Ec0 (MPa)
ELL - 2	97,35	18,64	6003
ELL - 3	112,51	18,31	5825
ELL - 4	121,87	19,4	6120
ELL - 5	67,91	16,9	6778
ELL - 6	26,26	25,78	8615
ELL - 7	36,08	21,52	7698
ELL - 8	55,17	18,91	7053
ELL - 9	33,99	21,82	7834
ELL - 10	24,35	27,05	8534
ELL - 11	22,23	28,67	8952
ELL - 12	19,64	33,03	10285
ELL - 13	18,91	32,4	10059
ELL - 14	18,09	34,46	10472
ELL - 15	17,73	33,51	10239
ELL - 16	15,28	36,81	10983
ELL - 17	12,66	40,43	11600
ELL - 18	9,64	46,36	12198
ELL - 19	4,78	51,07	11822
ELL - 20	3,44	54,3	12719
ELL - 21	3,2	62,02	10966
ELL - 22	4,4	59,36	12019

Fonte: Norman Logsdon, 1998.

Figura 3 - Influência do teor de umidade sobre a resistência à compressão paralela às fibras, para o *Pinus Elliottii*



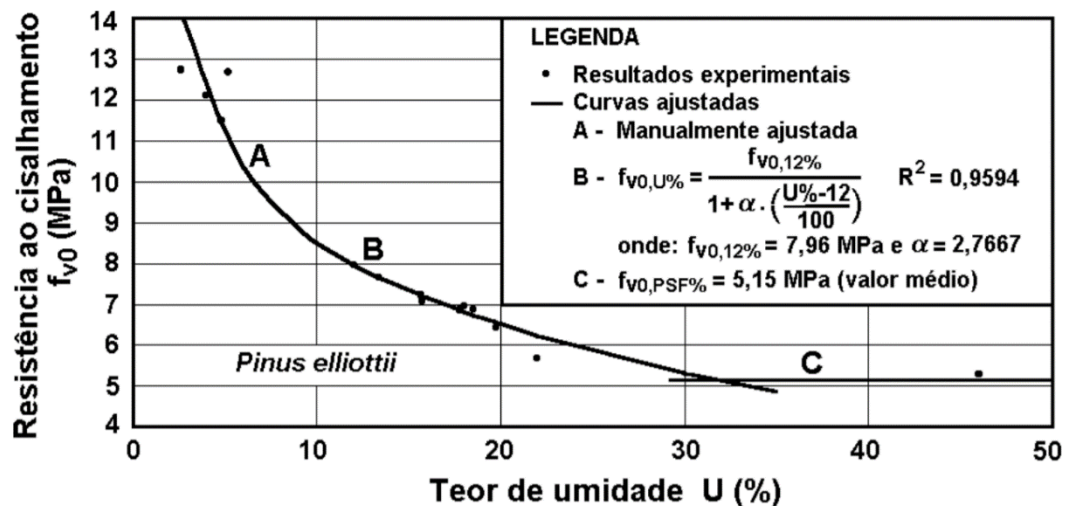
Fonte: Logsdon, 1998.

Tabela 7 - Resultados obtidos por Logsdon com diferentes teores de umidade no ensaio de cisalhamento paralelo às fibras com corpos-de-prova de *Pinus Elliottii*

C.P	U(%)	fv0 (MPa)
ELL - 1	193,93	4,62
ELL - 2	170,01	5,15
ELL - 3	120,79	5,31
ELL - 4	75,62	5,36
ELL - 5	46,01	5,29
ELL - 6	19,75	6,42
ELL - 7	13,4	7,66
ELL - 8	15,74	7,07
ELL - 9	18,05	6,95
ELL - 10	17,77	6,86
ELL - 11	18,53	6,87
ELL - 12	12,04	7,95
ELL - 13	21,97	5,68
ELL - 14	15,68	7,23
ELL - 15	5,2	12,68
ELL - 16	4,83	11,5
ELL - 17	3,99	12,11
ELL - 18	2,63	12,74

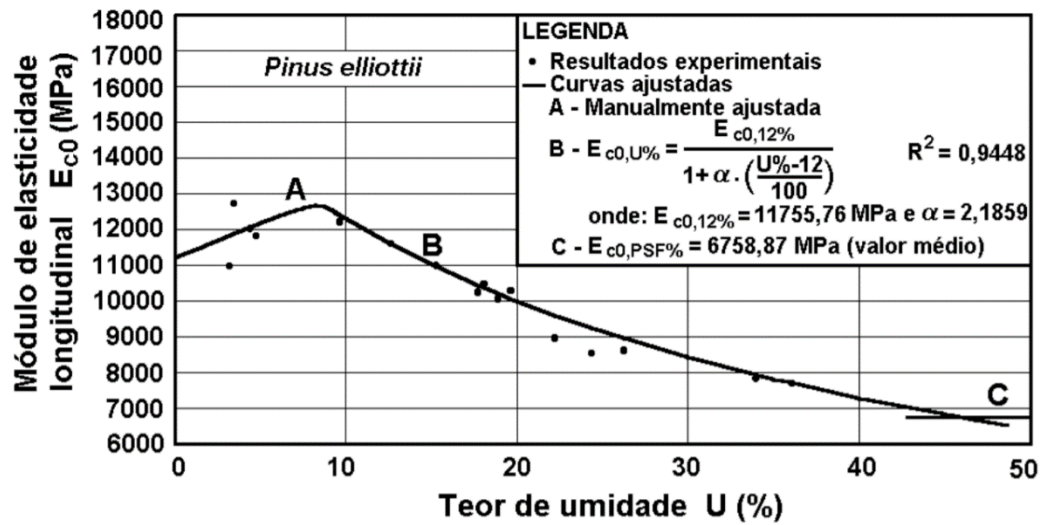
Fonte: Norman Logsdon, 1998.

Figura 4 - Influência do teor de umidade sobre a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, para o *Pinus Elliottii*



Fonte: Logsdon, 1998.

Figura 5 - Influência do teor de umidade sobre o módulo de elasticidade longitudinal, para o *Pinus Elliottii*



Fonte: Logsdon, 1998.

Tabela 8 - Resultados obtidos por Norman Logsdon com diferentes teores de umidade no ensaio de densidade básica com corpos-de-prova de *Pinus Elliottii*

C.P	U(%)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
ELL - 2	97,35	915
ELL - 3	112,51	992
ELL - 4	121,87	1037
ELL - 5	67,91	788
ELL - 6	26,26	590
ELL - 7	36,08	627
ELL - 8	55,17	720
ELL - 9	33,99	634
ELL - 10	24,35	588
ELL - 11	22,23	586
ELL - 12	19,64	586
ELL - 13	18,91	581
ELL - 14	18,09	580
ELL - 15	17,73	577
ELL - 16	15,28	570
ELL - 17	12,66	561
ELL - 18	9,64	551
ELL - 19	4,78	522
ELL - 20	3,44	522
ELL - 21	3,2	527
ELL - 22	4,4	567

Fonte: Logsdon, 1998.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item serão especificados os materiais a serem utilizados na realização dos ensaios propostos e será feita uma breve descrição quanto ao funcionamento dos ensaios para a caracterização dos materiais.

#### 3.1 Materiais

Os materiais utilizados neste trabalho serão, basicamente, amostras da espécie de *Pinus Elliottii*, especificada no subitem abaixo.

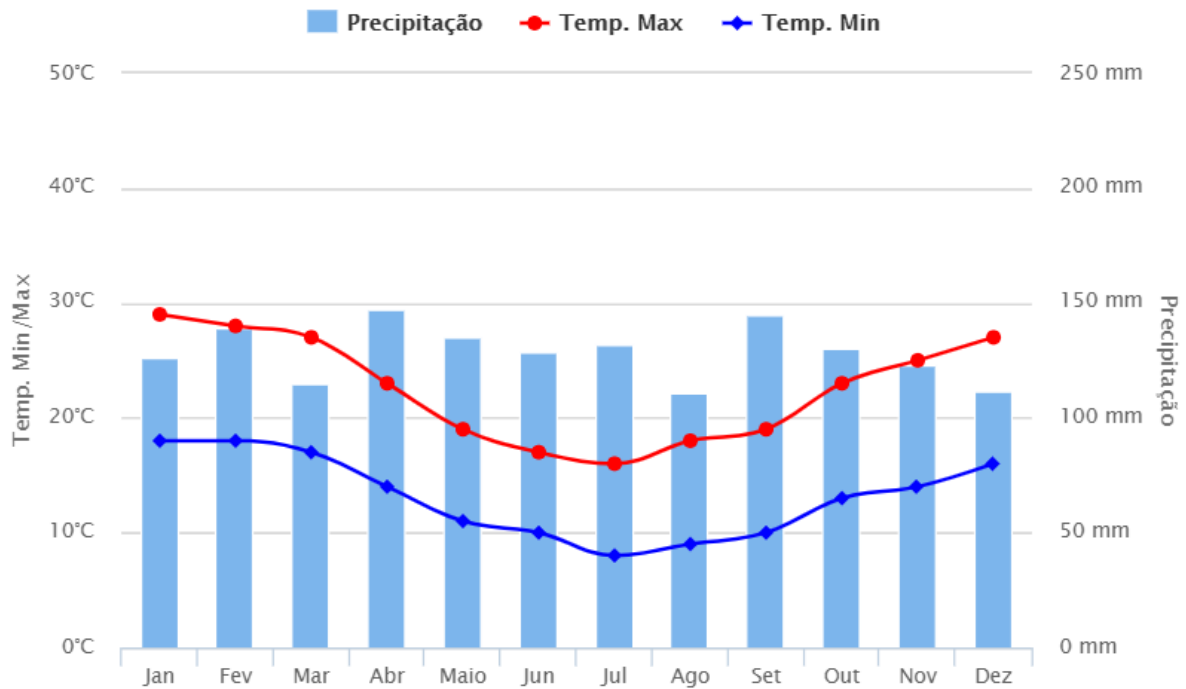
##### 3.1.1 *Pinus Elliottii*

Neste trabalho será caracterizada a espécie *Pinus Elliottii*, mais conhecida como pinheiro, pinheiro-americano ou pinus. Segundo o IPT (2003), esta madeira de reflorestamento não é nativa do Brasil, apesar de ser cultivada em toda região sul e sudeste brasileira. Apresenta cerne e alburno indistintos pela cor, branco-amarelado, cheiro e gosto distintos e característicos, baixa densidade e macies ao corte, tendo uma textura fina, com fácil trabalhabilidade. Esta madeira é suscetível ao ataque de fungos, cupins, brocas-de-madeira e perfuradores marinhos. Em contrapartida é vantajosa pela facilidade em secar, desdobrar, aplinar, desenrolar, lixar, tornear, furar, fixar e colar, além de permitir um bom acabamento.

Na realização deste trabalho utilizou-se a madeira de *Pinus Elliottii* obtida em Piratini – RS, a qual é empregada no município de Alegrete – RS para os mais diversos fins construtivos, dentre eles a confecção de tesouras, caibros e ripas para telhados.

De acordo com o histórico climático do Clima Tempo (2019), os dados de precipitação dos últimos 30 anos no município de Piratini – RS apresentam valores mínimos anuais de 111mm e máximos de 147mm, caracterizando-se como uma umidade relativamente constante, a qual favorece o crescimento da espécie estudada. Além disso, a temperatura máxima variou de 29°C a 16°C no decorrer do ano e as temperaturas mínimas apresentaram variações de 8°C a 18°C, como ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Dados climáticos anuais do município de Piratini-RS dos últimos 30 anos



Fonte: ClimaTempo, 2019.

De acordo com Francisco Kronka (2005), o tipo de manejo para a obtenção de madeiras de qualidade é conhecido como “*clearwood*”. Esta modalidade de manejo tem como objetivo primordial a obtenção da maior quantidade possível de madeira limpa, isto é, madeira sem nós. As árvores são selecionadas tendo em vista o crescimento em diâmetro, a forma do fuste, reto e cilíndrico e ramagem delgada. O espaçamento adotado objetiva o máximo crescimento em diâmetro, evitando a competição entre as árvores: 2,5 m x 4,0 m, ou 1000 árvores por hectare satisfazem essa condição. Neste sistema, são realizadas podas, iniciando-se quando o fuste atinge cerca de 7 a 8 cm de diâmetro, e de maneira sucessiva até atingir pelo menos 7,5 m de altura, e se possível, 10 m de altura. O corte dos galhos deve ser feito rente ao fuste, mas sem danificá-lo. Além disso, o crescimento das árvores deve ser acompanhado. O desbaste é uma prática silvicultural executada, com o objetivo básico de remover as piores árvores dando condições de crescimento às remanescentes. Na medida em que a floresta cresce, o desbaste promove uma seleção mediante o controle do espaçamento que é disponibilizado às árvores. É uma operação silvicultural que constitui um investimento, melhorando a qualidade da floresta considerando-se que as árvores remanescentes são as melhores. Portanto, especial enfoque deve ser dado ao espaçamento inicial, em que um dos seus principais objetivos é estabelecer condições suficientes para as sucessivas seleções



que deverão ser efetuadas. Por volta do oitavo ano, ou quando o povoamento tenha diminuído o crescimento em diâmetro, é executado o primeiro desbaste, com produção de madeira para processo ou energia. Um segundo desbaste é feito entre o 12º e o 15º anos, reduzindo o povoamento para 250 árvores por hectare, aproximadamente. O corte raso, que consiste no corte final de obtenção da madeira, é feito entre o 20º e o 25º ano, dependendo das condições do mercado e do fluxo de caixa da empresa florestal.

De acordo com a Tabela 6 abaixo, a qual demonstra que o diâmetro da madeira de *Pinus Elliottii* é incrementado significativamente até a idade de 14 anos, aproximadamente (KRONKA, 2005).

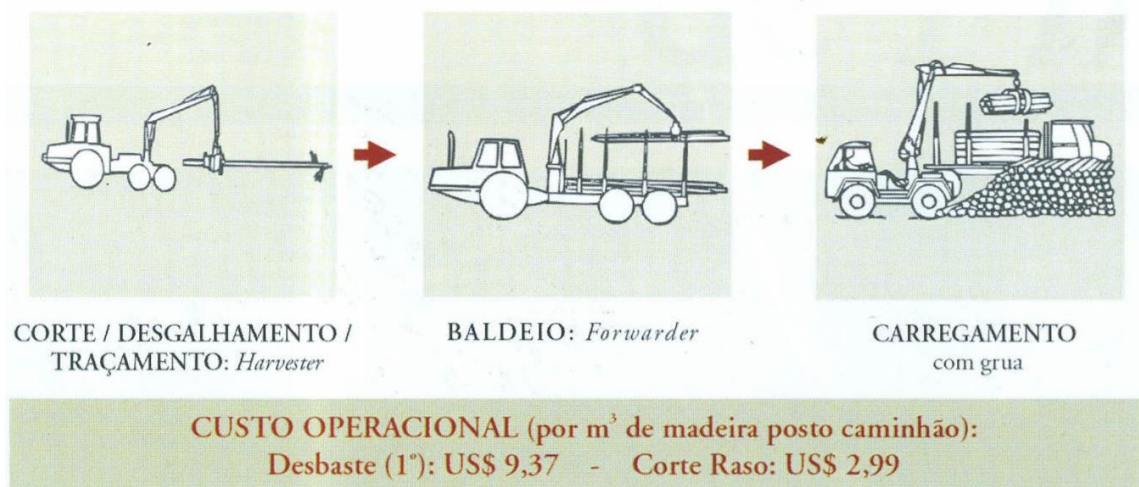
Tabela 9 - Valores do IMA (Incremento Médio Anual) em m<sup>3</sup> /ha/ano, idade, na localidade de Agudos, SP

Espécie	Classes de Idade (anos)						
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	18-20
<i>P. Elliottii</i> var. <i>Elliottii</i> (sd)	12,8	24,4	26,5	30,8	31,2	-	-

Fonte: Kronka, 2005.

A Figura 7 especifica o processo de colheita ao qual a madeira das amostras utilizadas neste trabalho foram submetidas.

Figura 7- Colheita de madeira para desbaste e corte raso de pinus (a partir da metade da década de 90)

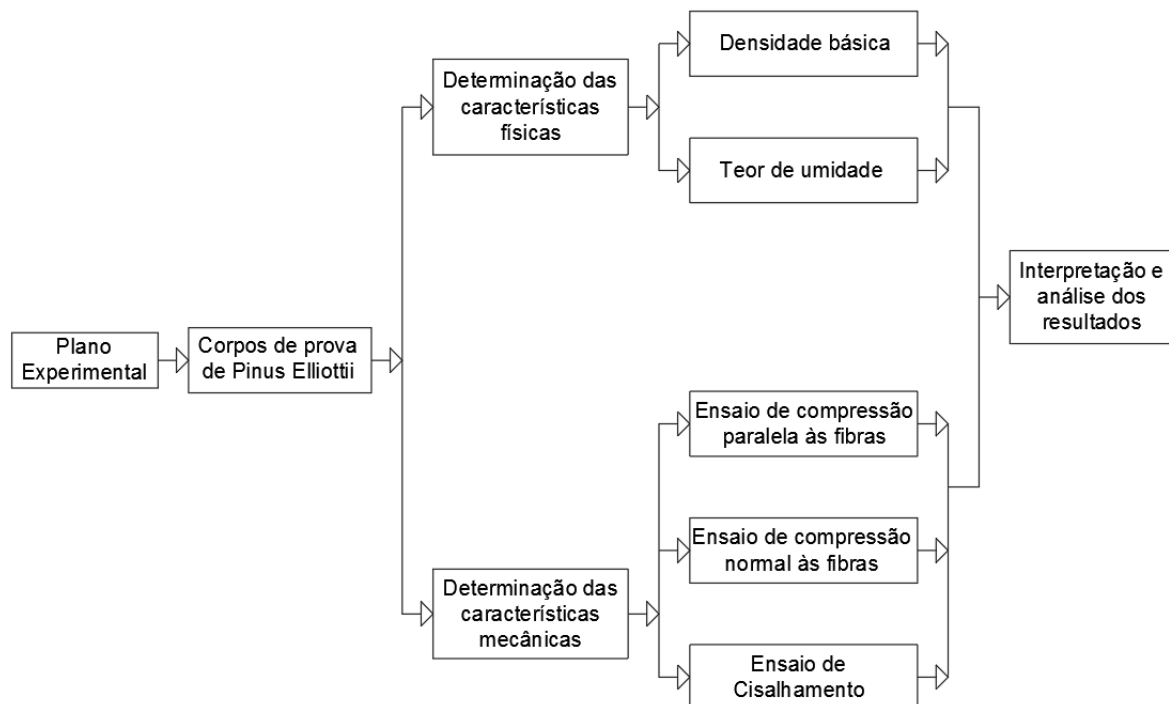


Fonte: Kronka, 2005.

## 3.2 Metodologia

Nos próximos itens será realizado o estudo do conjunto de processos e equipamentos que serão empregados para a obtenção dos resultados utilizados na caracterização da espécie de madeira citadas no item 3.1 deste trabalho. Seguir-se-á o plano experimental exposto no fluxograma da Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma do plano experimental



Fonte: Elaboração própria, 2019.

### 3.2.1 Amostragem

As amostras utilizadas para a execução dos ensaios foram obtidas em uma serraria local no município de Alegrete – RS. Na localidade a madeira encontrava-se secando ao ar. Os ensaios foram realizados com este tipo de amostra para que as propriedades obtidas fossem coerentes com a real condição a qual o material é aplicado nas obras.

A ABNT NBR 7190 (1997) define que o número mínimo de corpos-de-prova para atender o objetivo de caracterização deste trabalho é de 12 corpos-de-prova. Os corpos-de-prova foram preparados de modo que não contivessem nenhuma imperfeição ou nó que pudesse interferir nos resultados.

### 3.2.2 Teor de umidade dos ensaios mecânicos na madeira

De acordo com Norman Logsdon (1998), ao se preparar um ensaio com o objetivo de determinar a resistência de um determinado corpo-de-prova a determinada solicitação, não se conhece o teor de umidade deste corpo-de-prova. Pode-se condicionar o corpo-de-prova a um teor de umidade próximo à umidade de referência, bastando para isso mantê-lo em uma câmara, ou sala, de climatização na qual se mantém a temperatura e a umidade relativa do ar em níveis preestabelecidos.

Neste trabalho, a madeira foi seca em estufa até alcançar a umidade de 0% devido a inexistência das condições laboratoriais necessárias para o controle de umidade da amostra.

### 3.2.3 Teor de umidade

Para a obtenção do teor de umidade, a ABNT NBR 7190 (1997) estabelece que os corpos de prova a serem ensaiados tenham as dimensões de acordo com a Figura 9, abaixo:

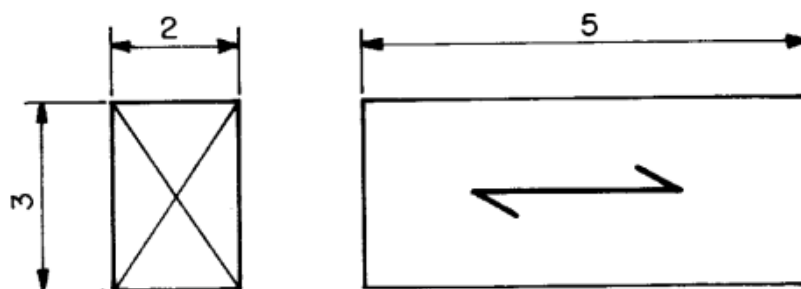


Figura 9 - Corpo-de-prova para determinação da umidade da madeira

Fonte: ABNT NBR 7190, 1997.

Os corpos-de-prova foram serrados com serra circular a partir de ripas obtidas na serraria local onde o material estava seco ao ar. A Figura 10 abaixo apresenta a dimensão final dos corpos-de-prova.

Figura 10 - Corpo-de-prova para o ensaio de teor de umidade



Fonte: Elaboração própria, 2019.

A ABNT NBR 7190 (1997) define que, na fabricação dos corpos-de-prova, devem ser utilizadas ferramentas afiadas para se evitar a chamada “queima” de suas faces, que pode provocar uma perda de água imediata, prejudicial à determinação da real umidade da amostra.

Após a obtenção dos corpos de prova, a ABNT NBR 7190 (1997) determina que deve-se obter a massa inicial ( $m_i$ ) do corpo-de-prova com exatidão de 0,01g. Para tal, utilizou-se uma balança de precisão. Após a determinação da massa inicial, os corpos-de-prova foram colocados na estufa, a uma temperatura máxima de 103°C. Durante a secagem a massa do corpo-de-prova foi medida a cada 6 horas, até o momento onde a variação entre duas medidas foi menor ou igual a 0,5% da última massa medida. Considerou-se esta massa como a massa seca ( $m_s$ ). Com estes resultados foi possível obter o teor de umidade do lote estudado, aplicando os valores na Equação 1 abaixo:

$$U(\%) = \left( \frac{m_i - m_s}{m_s} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$m_i$  = Massa inicial da madeira, em gramas;

$m_s$  = Massa da madeira seca, em gramas.

Segundo a NBR 7190 (1997), o resultado obtido deve ser apresentado na forma de seu valor médio, que representa a umidade média do lote, como representado na Tabela 10.

Tabela 10 - Teor de umidade médio obtido no ensaio

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultado obtido</b>
Número de corpos-de-prova	12
Média dos n elementos U (%)	25,15

Fonte: Elaboração própria, 2019.

De acordo com a ABNT NBR 7190 (1997), quando é realizada a secagem ao ar, evapora-se apenas a água livre e o material está saturado ao ar, este ponto varia conforme a espécie em torno de 30% de umidade, logo, considerando a variabilidade da umidade de uma espécie para a outra, o valor obtido encontra-se dentro dos parâmetros esperados.

### 3.2.4 Densidade Básica

Segundo a ABNT NBR 7190 (1997), a densidade básica é uma massa específica convencional definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado, sendo dada por:

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (2)$$

Onde:

$m_s$  = Massa seca da madeira, em quilogramas;

$V_{sat}$  = Volume da madeira saturada, em metros cúbicos.

Após, obteve-se a massa seca da madeira do mesmo modo adotado no item 3.2.4. Posteriormente, os corpos de prova foram saturados no equipamento de banho maria, com água à temperatura ambiente, como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Corpos-de-prova submersos no equipamento de banho maria



Fonte: Elaboração própria, 2019.

A NBR 7190 (1997) especifica que o volume saturado é determinado pelas dimensões finais do corpo-de-prova submerso em água, até que atinja massa constante ou com no máximo uma variação de 0,5% em relação à medida anterior.

Segundo a NBR 7190 (1997), com o corpo-de-prova saturado, é possível determinar o volume saturado por meio das medidas dos lados da seção transversal e do comprimento, com precisão de 0,1 mm. Para a obtenção destas medidas utilizou-se um paquímetro.

De acordo com a ABNT NBR 7190 (1997), o resultado obtido deve ser apresentado na forma de seu valor médio, que representa a densidade básica média do lote, como representado na Tabela 11.

Tabela 11 – Densidade básica média obtida no ensaio

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultado obtido</b>
Número de corpos-de-prova	15
Média dos n elementos pbas (kg/m <sup>3</sup> )	427,66

Fonte: Elaboração própria, 2019.

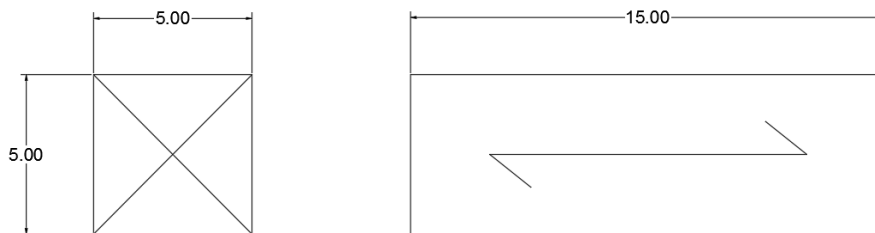
De acordo com os ensaios de Norman Logsdon (1998), que demonstram que a densidade básica é proporcional ao teor de umidade, o valor da densidade básica a 3,22% de umidade é 522 kg/m<sup>3</sup>, como pode-se observar na Tabela 9. Considerando-

se que o teor de umidade ao qual a densidade básica foi obtida era de 0%, os valores ainda apresentam uma grande diferença. Esta diferença pode ser justificada pelo teor de umidade, condições climáticas do local de origem do lote estudado e a heterogeneidade do material.

### 3.2.5 Ensaio de compressão paralela às fibras

Para a obtenção da resistência a compressão paralela as fibras, a ABNT NBR 7190 (1997) estabelece que os corpos-de-prova a serem ensaiados tenham as dimensões de acordo com a Figura 12, abaixo:

Figura 12 – Corpo-de-prova para ensaio de compressão paralela às fibras



Fonte: ABNT NBR 7190, 1997.

Os corpos-de-prova foram serrados com serra circular a partir de ripas obtidas na serraria local onde o material estava seco ao ar. A Figura 13 (a) abaixo apresenta a dimensão final dos corpos-de-prova e a Figura 13 (b) expõe a direção das fibras da madeira.

Figura 13 - Corpo-de-prova para o ensaio de resistência a compressão paralela às fibras



(a)

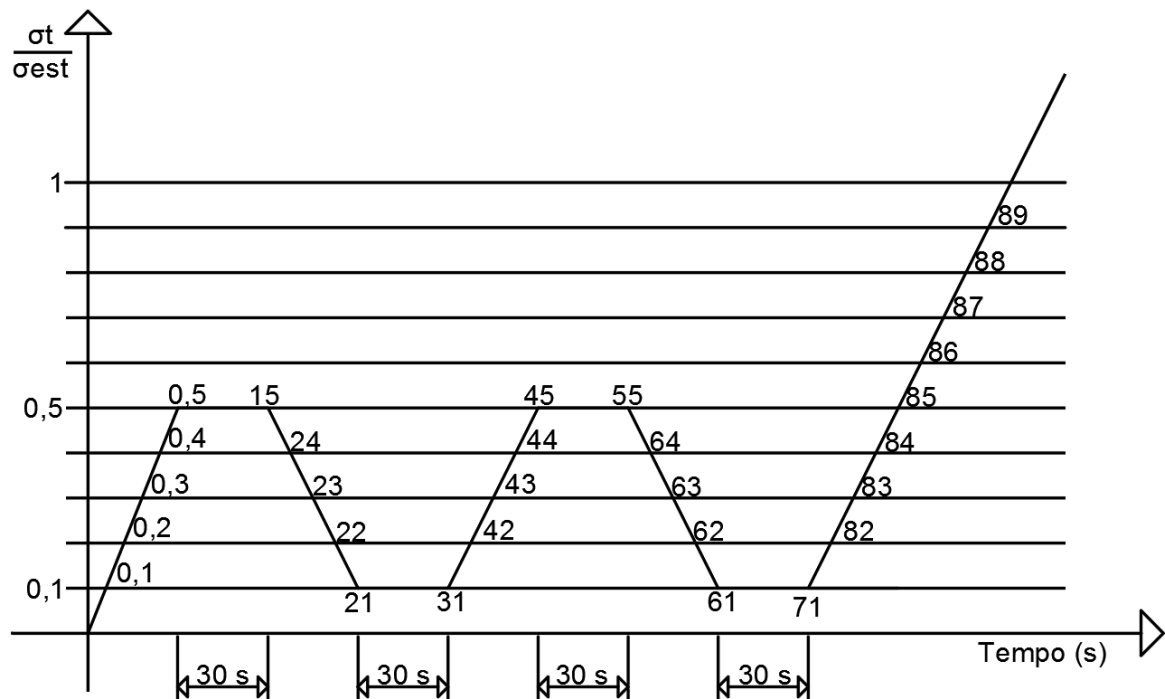
(b)

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Segundo ABNT NBR 7190 (1997), antes de realizar o ensaio, deve-se conhecer a resistência estimada da amostra,  $f_{c0,est}$ . Esta resistência foi obtida por meio de um ensaio destrutivo de um corpo-de-prova na prensa DL 20000, selecionado da mesma amostra a ser investigada.

Posteriormente a obtenção da resistência estimada, aplicou-se o carregamento com dois ciclos de carga e descarga, de acordo com o procedimento a Figura 14. As deformações foram registradas para cada ponto do diagrama de carregamento mostrado na Figura 14, até 70% da carga estimada. Em seguida elevou-se o carregamento até a ruptura do corpo-de-prova.

Figura 14 - Diagrama de carregamento para determinação da rigidez da madeira à compressão



Fonte: ABNT NBR 7190, 1997.

Para a realização dos ensaios de compressão paralela e normal às fibras e cisalhamento paralelo, utilizou-se a prensa DL 20000 da EMIC – Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda. Segundo a EMIC (2011), esta prensa apresenta força máxima de aplicação de carga de 200kN, podendo ser utilizada para os mais diversos materiais, dentre eles: metais, ligas, polímeros, cerâmicas, compósitos e biomateriais. Em conjunto com o software de ensaios TESC-EMIC, instalado em um computador, este sistema afere as medições de força (para células de carga) e deformação (para



extensômetros) com faixa de velocidade de até 1000mm/min, proporcionando controle e precisão dos resultados.

Realizou-se a configuração de um script (código) de ensaio com o software TESC-EMIC na prensa DL 20000, para que a carga e descarga do diagrama de carregamento da Figura 14 fosse seguida de forma precisa. A Figura 15 representa o arranjo de ensaio adotado, onde foi utilizada uma rótula entre o atuador e o corpo-de-prova para o devido ajuste do na máquina, de modo a seguir as diretrizes da ABNT NBR 7190 (1997). Foram ensaiados 12 corpos-de-prova, pois a ABNT NBR 7190 (1997) define que este é o valor mínimo para a caracterização da resistência à compressão de um dado lote de peças delgadas.

Figura 15 - Arranjo de ensaio para compressão paralela às fibras na prensa DL 20000



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Segundo a ABNT NBR 7190 (1997), a resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0}$ ) é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo-de-prova com seção transversal quadrada de 5,0 cm de lado e 15,0 cm de comprimento, sendo dada por:

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,máx.}}{A} \quad (3)$$

Onde:

$F_{c0,máx.}$  = Máxima força de compressão aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio, em Newtons;

$A$  = Área inicial da seção transversal comprimida, em metros quadrados;

$f_{c0}$  = Resistência à compressão paralela às fibras, em MPa.

Os resultados finais obtidos neste ensaio estão apresentados na Tabela 12. O valor característico foi obtido de acordo com os parâmetros da ABNT NBR 7190 (1997).

Tabela 12 - Resistência a compressão paralela às fibras

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados obtidos</b>
Número de corpos-de-prova	12
Média dos $n$ elementos (MPa)	37,98
Desvio padrão dos $n$ elementos (%)	2,46
Coefficiente de variação (%)	6,47
Máximo valor encontrado (MPa)	42,67
Mínimo valor encontrado (MPa)	34,50
Valor característico $f_{c0,k}$ (MPa)	36,63

Fonte: Elaboração própria, 2019.

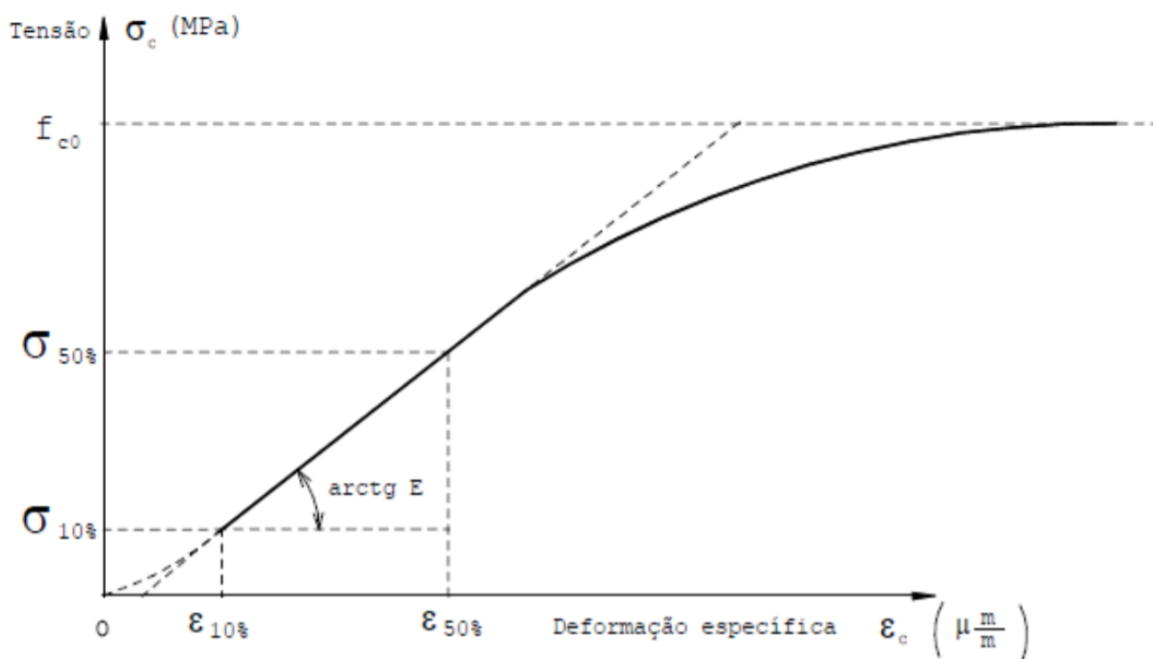
Comparando-se com o valor médio de resistência a compressão paralela às fibras encontrado na Tabela E.3 da ABNT NBR 7190 (1997) a 12% de umidade, que é de 40,4 MPa, o valor obtido no ensaio mostra-se inferior. Além disso, levando-se em consideração que o ensaio deste trabalho foi realizado com corpos-de-prova com umidade em 0%, esta diferença de resultados deveria ter sido maior, pois a resistência mostra-se inversamente proporcional ao teor de umidade.

Estes resultados podem ser comparados com os de Norman Logsdon (1998), o qual realizou o ensaio de compressão paralela às fibras em corpos-de-prova de *Pinus Elliottii* com diferentes teores de umidade. Como pode-se perceber na Tabela 11 abaixo, as maiores resistências foram obtidas com os menores teores de umidade. Também é possível observar que as resistências a compressão paralela às fibras obtidas com umidade abaixo de 12% foram maiores que a obtida neste ensaio.

Isto deve-se a grande variabilidade entre lotes de madeira devido a heterogeneidade do material e as condições climáticas as quais ele se desenvolveu.

Com os resultados obtidos no ensaio de compressão paralela às fibras também pôde-se obter a rigidez da madeira na direção paralela às fibras, que é determinada por seu módulo de elasticidade, obtido do trecho linear do diagrama tensão x deformação específica, encontrado na ABNT NBR 7190 (1997), sendo expresso em megapascals, representado na Figura 16.

Figura 16 - Diagrama tensão x deformação específica para determinação da rigidez à compressão paralela às fibras



Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

A ABNT NBR 7190 (1997) estabelece que o módulo de elasticidade deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva tensão x deformação, definida pelos pontos  $(\sigma_{10\%}; \varepsilon_{10\%})$  e  $(\sigma_{50\%}; \varepsilon_{50\%})$ , correspondentes respectivamente a 10% e 50% da resistência à compressão paralela às fibras, representadas pelos pontos 71 e 85 do diagrama de carregamento da Figura 14, medida no ensaio.  $\varepsilon_{10\%}$  e  $\varepsilon_{50\%}$  são as deformações específicas medidas no corpo-de-prova, correspondentes às tensões de  $\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$ . O módulo de elasticidade é obtido por:

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (4)$$

Onde:

$E_{c0}$  = Módulo de elasticidade em ensaio de compressão paralela às fibras (MPa);

$\sigma_{50\%}$  = Tensão referente à 50% da carga de ruptura estimada (MPa);

$\sigma_{10\%}$  = Tensão referente à 10% da carga de ruptura estimada (MPa);

$\varepsilon_{50\%}$  = deformação específica do corpo-de-prova em relação a 50% da carga de ruptura estimada, adimensional;

$\varepsilon_{10\%}$  = deformação específica do corpo-de-prova em relação a 10% da carga de ruptura estimada, adimensional.

Os resultados finais obtidos por meio da Equação (4) estão representados na Tabela 13.

Tabela 13 - Módulo de elasticidade em ensaio de compressão paralela às fibras

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados obtidos</b>
Número de corpos-de-prova	12
Média dos $n$ elementos (MPa)	1624,46
Desvio padrão dos $n$ elementos (%)	380,55
Coefficiente de variação (%)	23,43
Máximo valor encontrado (MPa)	1913,44
Mínimo valor encontrado (MPa)	998,30

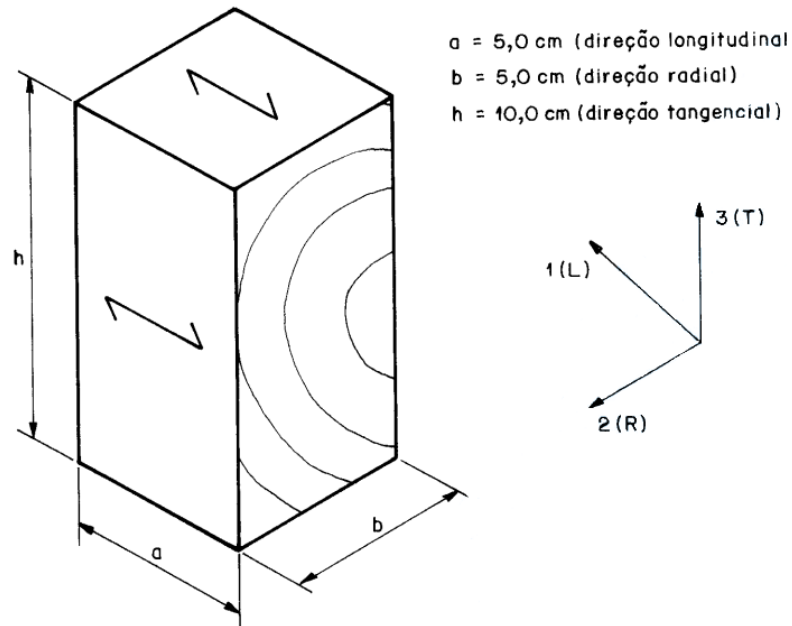
Fonte: Elaboração própria, 2019.

De acordo com a Tabela E.3 da ABNT NBR 7190 (1997), o valor médio de módulo de elasticidade longitudinal às fibras obtido no ensaio de compressão paralela às fibras em coníferas nativas e de florestamento é de 11890 MPa, logo, o resultado obtidos no ensaio realizado está abaixo do valor médio estipulado pela ABNT NBR 7190 – 1997.

### 3.2.7 Ensaio de compressão normal às fibras

Para a obtenção da resistência a compressão paralela as fibras, a ABNT NBR 7190 (1997) estabelece que os corpos de prova a serem ensaiados tenham as dimensões de acordo com a Figura 17.

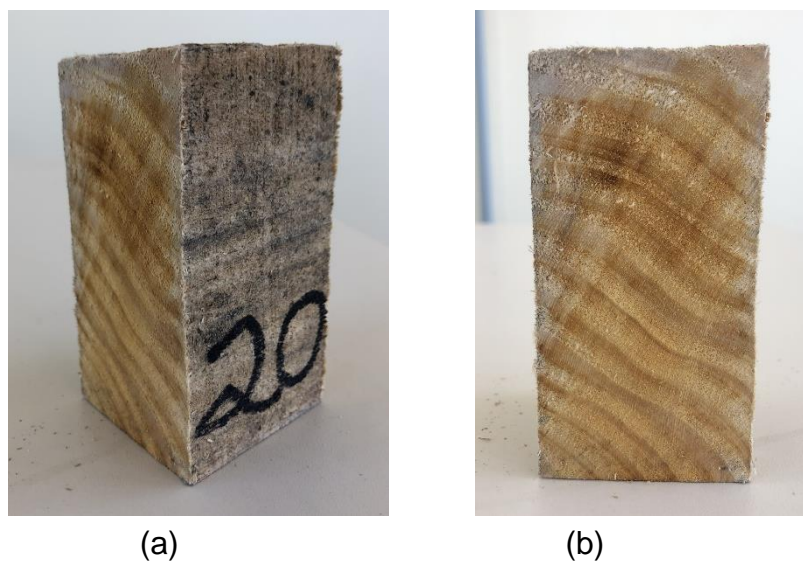
Figura 17 - Dimensões do corpo-de-prova para ensaio de compressão normal às fibras



Fonte: ABNT NBR 7190, 1997.

Os corpos-de-prova foram serrados com serra circular a partir de ripas obtidas na serraria local onde o material estava seco ao ar. A Figura 18 (a) abaixo apresenta a dimensão final dos corpos-de-prova e a Figura 18 (b) expõe direção das fibras da madeira.

Figura 18 - Corpo-de-prova para o ensaio de resistência a compressão normal às fibras



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Segundo ABNT NBR 7190 (1997), antes de realizar o ensaio, deve-se conhecer a resistência estimada da amostra,  $f_{c90,est}$ . Esta resistência foi obtida por meio de um ensaio destrutivo de um corpo-de-prova na prensa DL 20000, selecionado da mesma amostra a ser investigada.

Posteriormente a obtenção da resistência estimada, aplicou-se o carregamento com dois ciclos de carga e descarga, de acordo com o procedimento a Figura 14. As deformações foram registradas para cada ponto do diagrama de carregamento mostrado na Figura 14, até 70% da carga estimada. Em seguida elevou-se o carregamento até a ruptura do corpo-de-prova.

O ensaio foi realizado na prensa DL 20000, onde configurou-se um script de ensaio para que a carga e descarga do diagrama de carregamento da Figura 14 fosse seguida de forma precisa. A Figura 19 representa o arranjo de ensaio adotado, onde foi utilizada uma rótula entre o atuador e o corpo-de-prova para o ajuste do corpo de prova na máquina, de modo a seguir as diretrizes da ABNT NBR 7190 (1997). Foram ensaiados 12 corpos-de-prova, pois a ABNT NBR 7190 (1997) define que este é o valor mínimo para a caracterização da resistência à compressão de um dado lote de peças delgadas.

Figura 19 - Arranjo de ensaio para compressão normal às fibras na prensa DL 20000



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Segundo a ABNT NBR 7190 (1997), a resistência à compressão normal às fibras ( $f_{c90}$ ) é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo-de-prova com seção transversal retangular de 5,0 cm x 10 cm e 5,0 cm de comprimento, sendo dada por:

$$f_{c90} = \frac{F_{c90,m\acute{a}x.}}{A} \quad (5)$$

Onde:

$F_{c90,m\acute{a}x.}$  = Máxima força de compressão aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio, em Newtons;

$A$  = Área inicial da seção transversal comprimida, em metros quadrados;

$f_{c90}$  = Resistência à compressão normal às fibras, em MPa.

Os resultados finais obtidos neste ensaio estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resistência a compressão normal às fibras

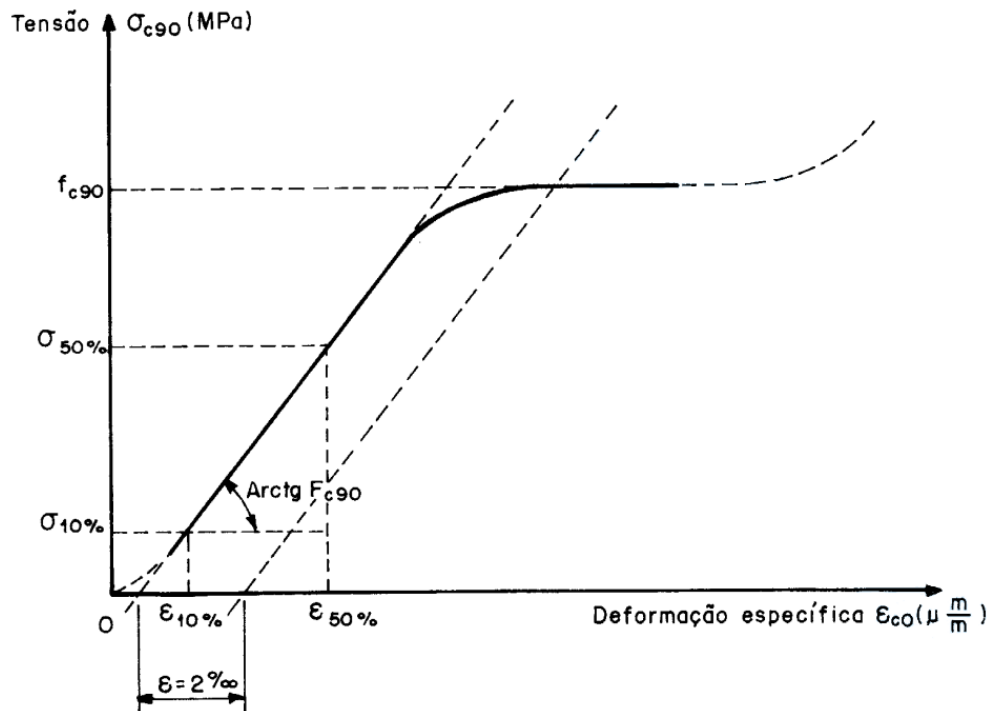
<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados obtidos</b>
Número de corpos-de-prova	12
Média dos $n$ elementos (MPa)	7,21
Desvio padrão dos $n$ elementos (%)	1,39
Coefficiente de variação (%)	19,26
Máximo valor encontrado (MPa)	10,82
Mínimo valor encontrado (MPa)	5,90
Valor característico $f_{c90,k}$ (MPa)	6,03

Fonte: Elaboração própria, 2019.

Comparando-se o valor obtido no ensaio por meio da adaptação do valor médio de compressão paralela às fibras especificado na ABNT NBR 7190 (1997), onde, na falta de dados experimentais, pode-se considerar o valor característico de resistência a compressão normal às fibras igual a 25% da resistência a compressão paralela às fibras, o valor característico de resistência a compressão normal às fibras é 10,1 MPa. É possível perceber que a resistência a compressão paralela encontrada no ensaio com 0% de umidade é inferior a estipulada pela ABNT NBR 7190 – 1997. Isto pode estar relacionado ao fato de a amadeira ser um material heterogêneo de grande variabilidade.

Com os resultados deste ensaio também pôde-se obter a rigidez da madeira na direção normal às fibras, que é determinada por seu módulo de elasticidade, obtido o trecho linear do diagrama tensão x deformação específica, encontrado na ABNT NBR 7190 (1997), sendo expresso em megapascals, representado na Figura 20.

Figura 20 - Diagrama tensão x deformação específica para determinação da rigidez à compressão normal às fibras



Fonte: ABNT NBR 7190, 1997.

A ABNT NBR 7190 (1997) estabelece que o módulo de elasticidade deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva tensão x deformação, definida pelos pontos  $(\sigma_{10\%}; \epsilon_{10\%})$  e  $(\sigma_{50\%}; \epsilon_{50\%})$ , correspondentes respectivamente a 10% e 50% da resistência à compressão paralela às fibras, representadas pelos pontos 71 e 85 do diagrama de carregamento da Figura 14, medida no ensaio.  $\epsilon_{10\%}$  e  $\epsilon_{50\%}$  são as deformações específicas medidas no corpo-de-prova, correspondentes às tensões de  $\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$ . O módulo de elasticidade é obtido por:

$$E_{c90} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}} \quad (6)$$

Onde:

$E_{c90}$  = Módulo de elasticidade em ensaio de compressão normal às fibras (MPa);

$\sigma_{50\%}$  = Tensão referente à 50% da carga de ruptura estimada (MPa);



$\sigma_{10\%}$  = Tensão referente à 10% da carga de ruptura estimada (MPa);

$\varepsilon_{50\%}$  = deformação específica do corpo-de-prova em relação a 50% da carga de ruptura estimada, adimensional;

$\varepsilon_{10\%}$  = deformação específica do corpo-de-prova em relação a 10% da carga de ruptura estimada, adimensional.

Os resultados finais obtidos por meio da Equação (6) estão representados na Tabela 15.

Tabela 15 - Módulo de elasticidade do ensaio de compressão normal às fibras

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados obtidos</b>
Número de corpos-de-prova	12
Média dos $n$ elementos (MPa)	199,44
Desvio padrão dos $n$ elementos (%)	22,05
Coefficiente de variação (%)	11,05
Máximo valor encontrado (MPa)	237,68
Mínimo valor encontrado (MPa)	168,76

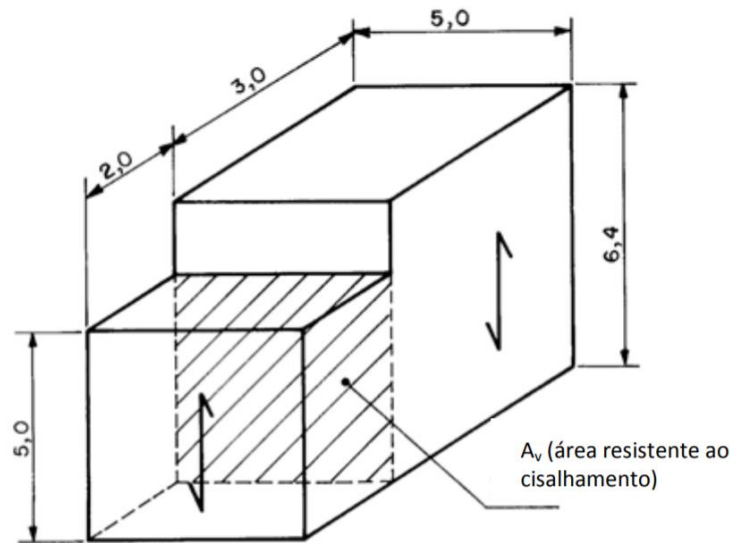
Fonte: Elaboração própria, 2019.

Devido à ausência de resultados característicos de módulo de elasticidade devido a compressão normal as fibras, este valor foi encontrado por meio da equação de adaptação obtida na ABNT NBR 7190 - 1997, onde o módulo de elasticidade normal as fibras é equivalente a 5% do módulo de elasticidade paralelo às fibras. O valor obtido para esta propriedade foi de 594,45 MPa. Comparando o valor médio da ABNT NBR 7190 -1997 com o valor obtido no ensaio de compressão normal as fibras, pode-se observar que ocorreu uma grande divergência de resultados. Esta diferença está relacionada a heterogeneidade do material e, principalmente, a diferença no teor de umidade entre o ensaio da ABNT NBR 7190 - 1997 e o ensaio deste trabalho em questão. É importante ressaltar que a equação de adaptação da ABNT NBR 7190 – 1997 é genérica, logo, isto também pode afetar os resultados.

### **3.2.7 Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras**

Para a obtenção da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, a ABNT NBR 7190 (1997) estabelece que os corpos-de-prova a serem ensaiados tenham as dimensões de acordo com a Figura 21.

Figura 21- Corpo-de-prova para ensaio de cisalhamento na direção paralela às fibras



Fonte: ABNT NBR 7190, 1997.

Os corpos-de-prova foram serrados com serra circular a partir de ripas obtidas na serraria local onde o material estava seco ao ar. A Figura 22 (a) abaixo apresenta a dimensão final dos corpos-de-prova e a Figura 22 (b) expõe direção das fibras da madeira.

Figura 22 - Corpo-de-prova para o ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras



(a)

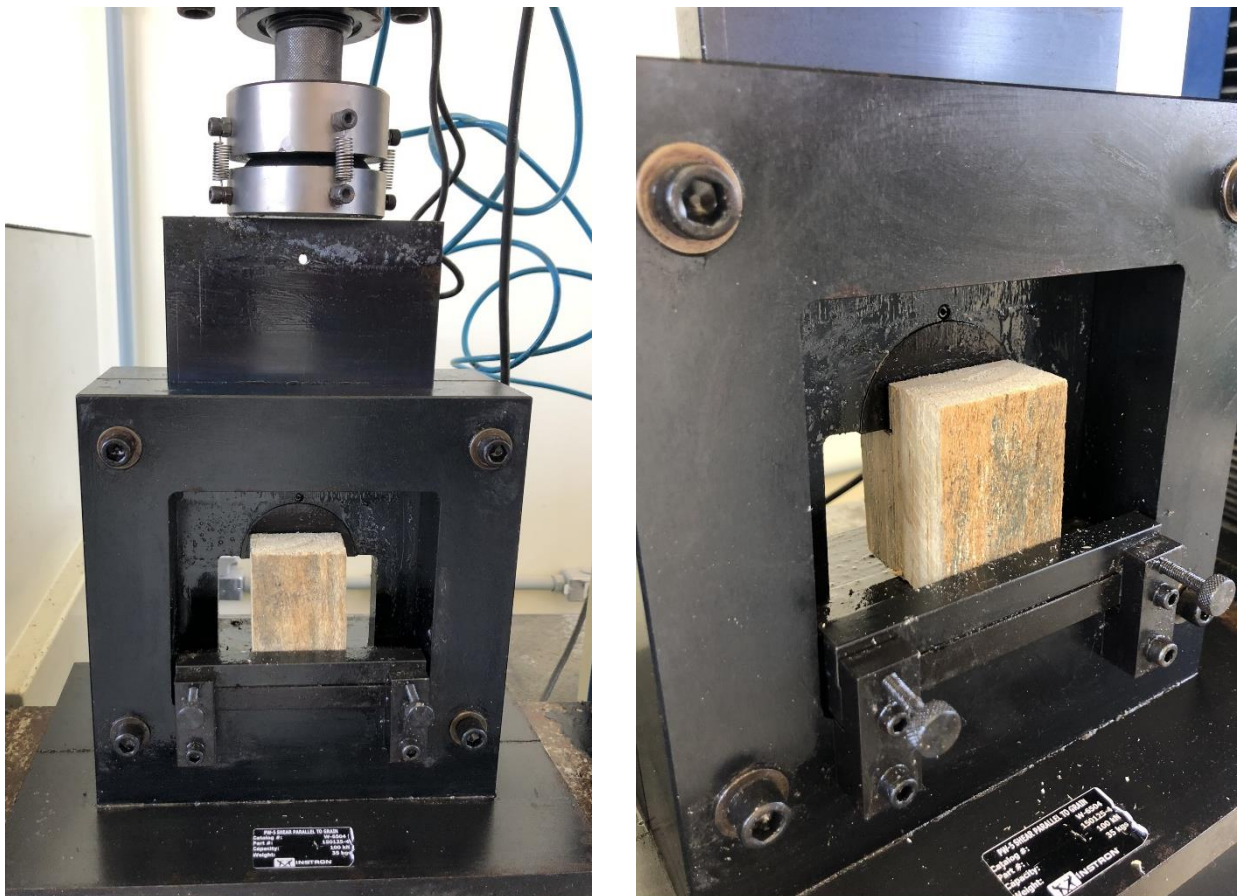
(b)

Fonte: Elaboração própria, 2019.

De acordo com a ABNT NBR 7190 (1997), o ensaio consiste, basicamente, na aplicação de um carregamento que deve ser monotônico crescente, correspondente a uma taxa de 2,5 MPa/min. A Figura 23 representa o arranjo de ensaio adotado, onde

foi utilizado o dispositivo de cisalhamento de madeira 2820-060 da Instron. Este dispositivo consiste em uma estrutura de aço de alta resistência com uma bigorna deslizante auto alinhada, a qual é usada para a aplicação da carga de compressão no corpo-de-prova em cisalhamento. O dispositivo foi colocado na prensa DL 20000, onde aplicou-se o carregamento na bigorna deslizante. Fixou-se o corpo-de-prova no vão abaixo da bigorna, onde foi ajustado ao vão de modo a serrar qualquer movimentação. A extremidade de contato da bigorna com o corpo-de-prova contém uma rótula para o ajuste do corpo de prova na máquina, de modo a seguir as diretrizes da ABNT NBR 7190 (1997). Foram ensaiados 12 corpos-de-prova, pois a ABNT NBR 7190 (1997) define que este é o valor mínimo para a caracterização da resistência ao cisalhamento de um dado lote de peças delgadas.

Figura 23 - Arranjo de ensaio para cisalhamento paralelo às fibras



Fonte: Elaboração própria, 2019.

Segundo a ABNT NBR 7190 (1997), a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ( $f_{v0}$ ) é dada pela máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na seção crítica de um corpo-de-prova prismático, sendo dada por:

$$f_{v0} = \frac{F_{v0,m\acute{a}x.}}{A_{v0}} \quad (5)$$

Onde:

$F_{v0,m\acute{a}x.}$  = Máxima força cisalhante aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio, em Newtons;

$A_{v0}$  = área inicial da seção crítica do corpo-de-prova, em um plano paralelo às fibras, em metros quadrados;

$f_{v0}$  = Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, em MPa.

Os resultados finais obtidos neste ensaio estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados obtidos</b>
Número de corpos-de-prova	12,00
Média dos $n$ elementos (MPa)	16,89
Desvio padrão dos $n$ elementos (%)	5,04
Coefficiente de variação (%)	29,85
Máximo valor encontrado (MPa)	24,92
Mínimo valor encontrado (MPa)	10,08
Valor característico $f_{v0,k}$ (MPa)	9,14

Fonte: Elaboração própria, 2019.

O valor médio de cisalhamento paralelo em madeiras coníferas nativas e de florestamento  de 7,4 MPa a 12% de umidade, de acordo com a ABNT NBR 7190 - 1997. Pode-se perceber que o valor característico obtido no ensaio de cisalhamento paralelo deste trabalho mostra-se superior. Isto se deve a fatores como a diferença entre o teor de umidade, sendo que o corpo-de-prova ensaiado estava com 0% de umidade, a heterogeneidade do material e as divergências encontradas entre um lote e outro além da variação do alinhamento das fibras de um corpo de prova para outro.

Este resultado é condizente se comparado aos Norman Logsdon (1998), o qual realizou o ensaio de cisalhamento paralelo às fibras em corpos-de-prova de *Pinus Elliottii* com diferentes teores de umidade. Como pode-se perceber na Tabela 16 abaixo, as maiores resistências foram obtidas com o os menores teores de umidade. Também  possível observar que as resistências a compressão paralela as fibras obtidas com umidade abaixo de 12% foram maiores que a obtida neste ensaio. Isto

deve-se a grande variabilidade entre lotes de madeira devido a heterogeneidade do material e as condições climáticas as quais ele se desenvolveu.

## 4 CONCLUSÕES

No presente estudo o objetivo foi realizar uma investigação física e mecânica em madeira da espécie de *Pinus Elliottii* para obter uma caracterização estrutural objetiva deste material devido a sua vasta utilização na construção civil de Alegrete – RS e região. Assim, foi possível alcançar algumas conclusões.

No que se refere a resistência a paralela e normal às fibras e módulo de elasticidade a compressão normal as fibras, os resultados apresentaram valores inferiores se comparados a ABNT NBR 7190 (1997), que são obtidos considerando-se corpos-de-prova com 12% de umidade. O valor obtido para a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras apresentou valor superior ao esperado pela ABNT NBR 7190 (1997). O módulo de elasticidade a compressão paralela as fibras apresentou valor muito inferior se comparado com a ABNT NBR 7190 – 1997, isso pode-se dever a diferença no teor de umidade e na heterogeneidade da madeira. Logo, analisando-se que os ensaios de resistência do presente trabalho foram realizados com corpos-de-prova com 0% de umidade, e que quanto menor a umidade maior a resistência, conclui-se que a madeira utilizada na região de Alegrete – RS pode apresentar valores de resistência mecânica bastante inferiores se comparados aos considerados na ABNT NBR 7190 (1997), com madeira ensaiada a 12% de umidade.

No que diz respeito aos ensaios para determinação das propriedades físicas de teor de umidade e densidade básica, obteve-se resultados relativamente próximos aos estabelecidos na ABNT NBR 7190 - 1997. O teor de umidade da amostra seca ao ar ficou abaixo dos 30%, sendo condizente com o que diz a ABNT NBR 7190 - 1997. Já a densidade básica obtida está abaixo do estipulado, porém, considerando-se que este valor foi obtido em relação a amostras com 0% de umidade e está aumenta de acordo com o teor de umidade, e a densidade estabelecida na ABNT NBR 7190 - 1997 é calculada com 12% de umidade, pode-se concluir que para esta umidade a diferença entre os resultados seria menor.

Por fim, concluiu-se que a madeira de *Pinus Elliottii* utilizada em Alegrete – RS e região apresenta a maioria dos valores de resistência física e mecânica abaixo dos valores considerados na ABNT NBR 7190 – 1997, sendo assim, o dimensionamento das estruturas de madeira na cidade de Alegrete e região está sendo feito com dados equivocados, o que compromete toda a segurança da obra.

#### 4.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Realizar a caracterização de outras espécies de madeira.
- Obter a caracterização da espécie *Pinus Elliottii* da região de Alegrete – RS para diferentes teores de umidade.
- Ensaiar corpos-de-prova para a obtenção da resistência a tração paralela às fibras.

## 5 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projetos de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, ago. 1997.

AGUIAR, Ananda Virginia de. Embrapa Florestas. Cultivo de Pinus: Exigências climáticas. **Embrapa Florestas**, Brasília - DF, jun. 2014. Disponível em: <[https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistema\\_sdeproducaolf6\\_1ga1ceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaold=3715&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicold=3237](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema_sdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=3715&p_r_p_-996514994_topicold=3237)>. Acesso em: 09 nov. 2019.

AGUIAR, Ananda Virginia de. Embrapa Florestas. Espécies de pinus mais plantadas no Brasil: Pinus Elliottii. **Embrapa Florestas**, Brasília - DF, jun. 2014. Disponível em: <[https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistema\\_sdeproducaolf6\\_1ga1ceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaold=3715&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicold=3229](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema_sdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=3715&p_r_p_-996514994_topicold=3229)>. Acesso em: 09 nov. 2019.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção 2**. Rio de Janeiro, RJ: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1994.

CALIL JR, Carlito; LAHR, Francisco Antônio Rocco; DIAS, Antônio Alves. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira**. Barueri, SP: Editora Manole, 2003.

CANADIAN Wood-Frame House Construction. **Canada Mortgage and Housing Corporation**, Canadá, 2014.

CLIMATEMPO (São Paulo - SP). **Climatologia**. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/4478/piratini-rs>>. Acesso em: 09 nov. 2019.



EMIC (Org.). **Equipamentos para ensaios mecânicos destrutivos**: Linha DL / Prensas/ Tesc / Acessórios. 6. ed. São José dos Pinhais - Pr: Emic, 2011. 14 p. Disponível em: <<https://www.instron.com.br/pt-br/products/testing-systems/universal-testing-systems/electromechanical/2300-brazil/civil-construction-research>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

EUCALIPTO na construção civil: Entenda suas aplicações e benefícios. **Madeira Cascatinha**, 31 jan. 2018. Disponível em: <<https://blog.eucaliptotratadomg.net/eucalipto-na-construcao-civil-entenda-as-suas-aplicacoes-e-beneficios/>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

GESUALDO, Francisco A. Romero. **Estruturas de madeira**. Uberlândia, mai. 2003. Disponível em: <<https://app.box.com/s/kfvt4r2ixxs64wgi8eh77gv7nbo8qs9n/1/25755175653/329715912671/1>>. Acesso em: 09 nov. 2019.

HEIDRICH, Sasha Zimmer; PEREIRA, Fernanda Cristina Silva; NETO, Caetano Palma. Utilização do pinus elliottii para edificações na região. **Revista Uniplac**, vol 4, n. 1, 2016. Disponível em: <<https://revista.uniplac.net/ojs/index.php/uniplac/article/view/2181>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

INFORMAÇÕES sobre madeiras. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, São Paulo, 2003. Disponível em: <[http://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras3.php?madeira=7](http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=7)>. Acesso em: 25 mai. 2019.

JONES, Neilson; CLEITON, Marcio. **Madeira na construção civil**. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/madeira-na-construcao-civil-1/4802601/>>. Acesso em: 07 mai. 2019.

LOGSDON, Norman Barros. **Influência da Umidade nas Propriedades de Resistência e Rigidez da Madeira**. 1998. 200 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Disponível em:

<[http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1998DO\\_NormanBarrosLogsdon.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1998DO_NormanBarrosLogsdon.pdf)>. Acesso em: 09 nov. 2019.

MADEIRA de Eucalipto na Construção Civil. **Revista da Madeira**, ed. n.19, set. 2001. Disponível em:

<[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=7&subject=Constru%E7%E3o%20Civil&title=Madeira%20de%20Eucalipto%20na%20Constru%E7%E3o%20Civil](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=7&subject=Constru%E7%E3o%20Civil&title=Madeira%20de%20Eucalipto%20na%20Constru%E7%E3o%20Civil)>. Acesso em: 10 jun. 2019.

MELLO, Roberto Lecomte de. **Projetar em madeira: uma nova abordagem**. 2007. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em:

<[http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3133/1/2007\\_RobertoLdeMello\\_1.pdf](http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3133/1/2007_RobertoLdeMello_1.pdf)>. Acesso em: 07 mai. 2019.

MORESCHI, João Carlos. Ministério da Educação e do Desporto. **Propriedades da Madeira**. 4. ed. Curitiba - Pr: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2012. 208 p.

NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque et al. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de Eucalyptus saligna para estruturas de madeira. **Ambient. constr.** vol.19, no.2, Porto Alegre abr./jun. 2019. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212019000200233&lng=pt&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212019000200233&lng=pt&nrm=iso&tlng=en)>. Acesso em: 18 mai. 2019.

OLIVEIRA, José Tarcísio da Silva et al. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1- avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 113-124, dez. 1999. Disponível em: <<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr56/cap08.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2019.

O MANEJO da Áreas de Pinus. In: FRANCISCO JOSÉ DO NASCIMENTO KRONKA. **A Cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Páginas & Letras, 2005. p. 113-122. Disponível em:

<[http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/07\\_O\\_manejo\\_das\\_Areas\\_de\\_Pinus.pdf](http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/07_O_manejo_das_Areas_de_Pinus.pdf)>. Acesso em: 14 nov. 2019.

PEREZ, Patrícia Lombardi; BACHA, Carlos José Caetano. Mercado & Negócios: Mercado de madeira serrada. **Agroanalysis**: A revista de agronegócio da FGV, Rio de Janeiro, v. 26, n. 8, p.21-23, ago. 2006. Mensal. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/view/35630/34431>>. Acesso em: 20 out. 2019.

PETRUCCI, Eladio G. R.. **Materiais de Construção**. São Paulo, SP: Editora Globo S.A., 2003.

REMADE. **Respeito às normas valoriza a madeira**. Revista da Madeira. Curitiba: Lettech Editora, n.101, p.10-11, 2007.

RODRIGUES, Luana Monteiro. A madeira e sua utilização na construção civil. **WEBARTIGOS**. Juazeiro do Norte, 5 jun. 2018. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/a-madeira-e-sua-utilizacao-na-construcao-civil/159256>>. Acesso em: 16 mai. 2019.

SEMENTES pinus elliottii 100 gramas. **Bom Cultivo**, 2019. Disponível em: <<https://www.bomcultivo.com/sementes-pinus-elliottii-nua-pcs-clonal-100-gramas>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

SZUCS, C. **Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em Construções Habitacionais: Situação das reservas florestais do Brasil**. São Paulo, 2004. Disponível em: <[http://www.mackenzie.br/fileadmin/Graduacao/FAU/Publicacoes/PDF\\_IIIForum\\_a/M\\_A\\_CK\\_III\\_FORUM\\_CELIA\\_REGINA.pdf](http://www.mackenzie.br/fileadmin/Graduacao/FAU/Publicacoes/PDF_IIIForum_a/M_A_CK_III_FORUM_CELIA_REGINA.pdf)>. Acesso em 18 mai. 2019.

TIPOS de madeira mais usados na construção civil brasileira. **MILL Indústrias**, Lages, 29 de set. 2017. Disponível em: <<http://www.mill.com.br/tipos-de-madeira-mais-usados-na-construcao-civil-brasileira/>>. Acesso em: 07 mai. 2019.

TRIANOSKI, Rosilani et al. Avaliação das propriedades mecânicas da madeira de espécies de Pinus tropicais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 21-28, mar. 2014. Disponível em:

<<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr101/cap02.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2019.

WINANDY, J. E.; ROWELL, R. M. (1984). **The Chemistry of Wood Strength**. In: The Chemistry of Solid Wood. Washington, D.C. American Chemical Society. Disponível em:

<[https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2005/fpl\\_2005\\_winandy004.pdf](https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2005/fpl_2005_winandy004.pdf)>. Acesso em: 09 nov. 2019.

## 6. APÊNDICES

Nos itens a seguir estão os resultados de ensaio obtidos para cada corpo-de-prova deste trabalho.

**6.1 Apêndice A – Resultados obtidos no ensaio de teor de umidade**

<b>CP</b>	<b>U (%)</b>
1	28,32
2	28,27
3	25,97
4	28,21
5	22,42
6	26,16
7	22,64
8	22,94
9	22,42
10	22,73
11	23,19
12	28,54

Fonte: Elaboração própria, 2019.

**6.2 Apêndice B - Resultados obtidos no ensaio de densidade básica**

<b>CP</b>	<b><math>\rho_{bas}</math> (Kg/m<sup>3</sup>)</b>
1	426,73
2	412,49
3	480,08
4	430,13
5	459,51
6	445,85
7	450,82
8	418,25
9	355,41
10	448,66
11	406,59
12	402,86
13	463,69
14	402,57
15	411,23

Fonte: Elaboração própria, 2019.

**6.3 Apêndice C – Resultados obtidos no ensaio de compressão paralela às fibras**

<b>CP</b>	<b>fc0,k (MPa)</b>	<b>Ec0,k (MPa)</b>
1	42,67	998,30
2	38,46	2119,75
3	36,60	1823,48
4	34,50	1913,44
5	41,20	1141,12
6	36,10	1828,35
7	35,64	1781,40
8	39,55	1867,52
9	37,74	1011,21
10	38,84	1885,45
11	34,76	1850,19
12	39,75	1273,36

Fonte: Elaboração própria, 2019.



**6.4 Apêndice D - Resultados obtidos no ensaio de compressão normal às fibras**

<b>CP</b>	<b>fc90,k (MPa)</b>	<b>Ec90,k (MPa)</b>
1	6,08	191,67
2	10,82	186,46
3	7,04	237,68
4	6,11	226,54
5	6,82	185,22
6	5,90	181,97
7	7,04	227,94
8	8,89	195,74
9	8,26	168,76
10	6,89	222,72
11	6,57	192,35
12	6,08	176,19

Fonte: Elaboração própria, 2019.

**6.5 Apêndice E - Resultados obtidos no ensaio de cisalhamento paralelo às fibras**

<b>CP</b>	<b>fv0,k (MPa)</b>
1	16,98
2	11,70
3	23,88
4	24,92
5	10,43
6	10,08
7	13,71
8	12,82
9	24,06
10	21,33
11	15,19
12	16,48

Fonte: Elaboração própria, 2019.