

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Engenharia Civil

Fábia Rodrigues Sena

Telma Dias da Costa

ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO EUCALIPTO CLOEZIANA
DE ÁREA DE REFLORESTAMENTO DO MUNICÍPIO DE CAPELINHA-MG

Teófilo Otoni-MG

2019

Fábia Rodrigues Sena

Telma Dias da Costa

**ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO EUCALIPTO CLOEZIANA
DE ÁREA DE REFLORESTAMENTO DO MUNICÍPIO DE CAPELINHA-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Alexandrino.

Teófilo Otoni-MG

2019

Fábia Rodrigues Sena

Telma Dias da Costa

**ESTIMATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO EUCALIPTO CLOEZIANA
DE ÁREA DE REFLORESTAMENTO DO MUNICÍPIO DE CAPELINHA-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Alexandrino.

Data de aprovação: 06 / 02 / 2019.

Prof. Dr. Carlos Henrique Alexandrino

ICET. Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia-UFVJM

Prof. Msc. Eduardo Lourenço Pinto

ICET-Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia- UFVJM

Prof. Msc. Matheus da Silva Lages

ICET-Instituto de Ciência, Engenharia e Tecnologia-UFVJM

Teófilo Otoni-MG

AGRADECIMENTOS

Agradecemos nossos pais, que ofereceram apoio e carinho nessa etapa decisiva da vida acadêmica. Somos gratas aos colegas de sala da universidade, que tornaram os dias de aula mais felizes. Gratidão eterna aos nossos orientadores, que foram incansáveis desde o primeiro encontro e nunca negaram uma ajuda. Nosso muito obrigado à Deus, que foi nossa maior força nos momentos de angústia e desespero. Sem ele, nada disso seria possível. Obrigada, senhor, por colocar esperança, amor e fé nos nossos corações.

RESUMO

A utilização da madeira do gênero *Eucalyptus* no setor florestal brasileiro tem expandido devido a melhoria nas propriedades da madeira e ao seu rápido crescimento. Embora haja esse aumento, a existência de defeitos na madeira, tais como, madeira juvenil e madeira de reação, podem diminuir a qualidade do produto final. O objetivo do trabalho refere-se a avaliar a resistência mecânica, em amostras de *Eucalyptus Cloeziana*, por Amostragem da Resistência Característica à Compressão Paralela às Fibras, para aferir o modelo adotado pela atual norma brasileira (NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira), a fim de estimar a resistência característica. Foram utilizados todos os corpos-de-prova, isentos de defeitos, possíveis de serem extraídos de uma única prancha de madeira, da espécie *Eucalypto Cloeziana*. Desta forma, obteve-se um lote homogêneo (admitido na NBR 7190) e uma amostra de tamanho suficiente (no caso 15 corpos-de-prova). O método de ensaio de compressão utilizado foi o descrito na referida norma. Com os resultados dos 15 corpos-de prova (“população”), foi possível obter o valor da resistência característica. Desse universo (“população”), foram retiradas 15 amostras aleatórias, de 3 exemplares, das quais foram estimadas as resistências características, utilizando Máquina Universal de Ensaio, marca Martins Campelo com capacidade de carga de 150 kN e seguiram os procedimentos da norma. Os resultados alcançados foram inferiores ao valor determinado pela norma, isso devido a densidade dos corpos de prova utilizados, serem inferiores a densidade específica da norma. Apesar disso, foi surpreendente a resistência que a madeira atingiu antes da ruptura.

Palavras-chave: Eucalipto. Ensaio mecânico. Resistência a Compressão. Eucalipto Cleozinha.

ABSTRACT

The use of wood of the genus *Eucalyptus* in the Brazilian forest sector has expanded due to the improvement in wood properties and its rapid growth. Although there is such an increase, the existence of defects in the wood, such as juvenile wood and wood of reaction, can diminish the quality of the final product. The objective of this work is to evaluate the mechanical resistance in samples of *Eucalyptus Cloeziana* by Sampling the Characteristic Resistance to the Parallel Fibers Compression to measure the model adopted by the current Brazilian standard (NBR 7190 - Wood Structures Project). in order to estimate the characteristic resistance. All specimens, free of defects, were used to extract them from a single wooden plank of the species *Eucalyptus Cloeziana*. In this way, a homogeneous batch (admitted to NBR 7190) and a sample of sufficient size were obtained (in the case 15 specimens). The compression test method used was described in that standard. With the results of the 15 test specimens ("population"), it was possible to obtain the characteristic resistance value. From this universe ("population"), 15 random samples of 3 specimens were taken, from which the characteristic strengths were estimated using the Universal Testing Machine, Martins Campelo brand with load capacity of 150 kN and following the standard procedures. The results obtained were lower than the value determined by the standard, due to the density of the test specimens used, to be lower than the specific density of the standard. Despite this, it was surprising the resistance that the wood reached before breaking.

Keywords: *Eucalyptus*. Mechanical Testing. Resistance to Compression. *Eucalyptus Cleozinha*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Máquina Universal Martins Campelo.....	19
Figura 02: Relação carga x deformação para teste de compressão e tração.....	20
Figura 03: Diagrama tensão x deformação específica para determinação da rigidez à compressão paralela às fibras.....	25
Figura 04: Diagrama de carregamento para determinação da rigidez da madeira à compressão.....	22
Figura 05: Diagrama tensão x deformação específica.....	28
Figura 06: Equipamentos utilizados para ajuste na base do CP e pesagem.....	31
Figura 07: Pesagem dos CP's.....	31
Figura 08: Corpos-de-prova prontos para ensaios.....	33
Figura 09: Máquina Universal de ensaios Martins Campello Ltda, com capacidade de 150 kN....	32
Figura 10: Máquina universal, o corpo-de-prova e sua instalação para o ensaio de compressão.....	35
Figura 11: Resistência à flambagem x índice de esbeltez.....	42
Figura 12: Gráfico de módulo de elasticidade (E) x densidade (ρ).....	43
Figura 13: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP L1.....	49
Figura 14: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP L2.....	49
Figura 15: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP L3.....	50
Figura 16: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP L4.....	50
Figura 17: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP L5.....	51
Figura 18: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP M1.....	51
Figura 19: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP M2.....	52
Figura 20: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP M3.....	52
Figura 21: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP M4.....	53
Figura 22: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP M5.....	53
Figura 23: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP N1.....	54
Figura 24: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP N2.....	54

Figura 25: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP N3.....	55
Figura 26: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP N4.....	55
Figura 27: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP N5.....	56
Figura 28: Diagrama de tensão x deformação do CP L1.....	57
Figura 29: Diagrama de tensão x deformação do CP L3.....	57
Figura 30: Diagrama de tensão x deformação do CP L4.....	58
Figura 31: Diagrama de tensão x deformação do CP L5.....	58
Figura 32: Diagrama de tensão x deformação do CP M1.....	59
Figura 33: Diagrama de tensão x deformação do CP M2.....	59
Figura 34: Diagrama de tensão x deformação do CP M3.....	60
Figura 35: Diagrama de tensão x deformação do CP M4.....	60
Figura 36: Diagrama de tensão x deformação do CP M5.....	61
Figura 37: Diagrama de tensão x deformação do CP N1.....	61
Figura 38: Corpos- de- prova 20x20x300 mm antes (esquerda) e após (direita) ensaios.....	62
Figura 39: Corpos- de- prova 30x30x450 mm antes (esquerda) e após (direita) ensaios.....	62
Figura 40: Corpos- de- prova 40x40x600 mm antes (esquerda) e após (direita) ensaios.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela01: Classes de Umidade.....	23
Tabela 02: Corpos-de- prova utilizados no ensaio de compressão paralela às fibras.....	29
Tabela 03: Dados dos Corpos- de- Prova e índice de esbeltez.....	36
Tabela 04: Resultados obtidos noensaio.....	39
Tabela 05: Valores médios do ensaios de compressão paralela às fibras.....	40
Tabela 06: Valores da força teórica calculada de acordo com a norma brasileira e da força calculada por método de Euler.....	40
Tabela 07: Valores do módulo de elasticidade segundo a NBR 7190/97, pelo método de Euler e pelo diagrama tensão x deformação.	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivo específicos	15
3 JUSTIFICATIVA	15
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
4.1 Caracterização da madeira	17
4.2 Propriedades mecânicas da madeira	17
4.3 Ensaio mecânicos	17
4.3.1 Cálculo do Módulo de Elasticidade, da Resistência no Limite Proporcional e da Resistência Máxima à Compressão Axial	19
4.4 Características Mecânicas	22
4.4.1 Umidade	22
4.4.2 Rigidez	23
4.4.3 Deterioração da Madeira	24
4.5 Módulo de Elasticidade	24
4.6 Compressão paralela às fibras	26
5 MATERIAIS E MÉTODOS	28
5.1 Procedimentos metodológicos	28
5.2 Quantificação de amostras	30
5.3 Equipamentos utilizados	31
5.4 Metodologia de ensaio	33
6 RESULTADO E DISCUSSÃO	38
7 CONCLUSÃO	43
8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	44
REFERÊNCIAS	46

ANEXO 01: Gráficos de carregamento e descarregamento para determinação da rigidez da madeira à compressão.....	49
ANEXO 02: Diagrama de tensão x deformação.....	57
ANEXO 03: Corpos-de-prova antes e após os ensaios de compressão paralelas as fibras..	62

1 INTRODUÇÃO

Um dos mais antigos materiais utilizados pelo homem é a madeira, seja para a fabricação de ferramentas quanto para a construção, isso ocorre, devido a sua grande disponibilidade no mercado e sua facilidade de manuseio. No Brasil as plantações florestais do gênero *Eucalyptus* começaram a ser implantadas na década de 60, com a finalidade de oferecer alternativas de ofertas de madeira, tendo em vista as crescentes pressões ambientais à redução de reservas nativas. O eucalipto passou a ser matéria-prima essencial nos setores de construção civil, indústria moveleira e de embalagens (ZENID, 2010).

Mesmo com uma série de finalidades, a madeira ainda continua a ser mal aproveitada, devido à insuficiente divulgação de informações tecnológicas e falta de projetos específicos (CALIL *et al.*, 2003).

Uma das particularidades mais relevantes da madeira é sua alta resistência em relação à densidade, comparada a outros tipos de materiais de construção convencionalmente empregados como o concreto. Além disso é importante ressaltar o conforto térmico e a facilidade de execução que o material apresenta. Ainda lembrando que a madeira está exposta à degradação por elementos xilófagos, por essa razão deve ser tratada e receber periodicamente uma manutenção para que sua durabilidade não seja comprometida (PFEIL, 2003).

A produção mundial de madeira com finalidade estrutural encontra-se a cerca de 10⁹ toneladas ao ano, o que torna este material extremamente importante no cenário mundial. O Brasil contém uma ampla disponibilidade de madeira proveniente de reservas tropicais e de reflorestamentos, que carecem de exploração adequada (SALES *et al.*, 2003).

Em consequência à vasta preocupação com a utilização predatório das florestas nativas para obtenção de madeira, o setor florestal tem desenvolvido múltiplas pesquisas almejando a substituição das espécies nativas por outras oriundas de reflorestamento e ciclo curto (SOUZA, 2016).

As madeiras em seu estado natural têm características próprias que podem ser alteradas, tais como, a resistência mecânica tanto à esforços de tração como à compressão. Com o intuito de utilização em diversas etapas construtivas, têm sido desenvolvidas diversas pesquisas no sentido de tratar a madeira. A aplicação da madeira na construção civil, posteriormente ao aço, é o material mais utilizado. Sua aplicação é de forma temporária, na instalação do canteiro de obras, nos andaimes, nos escoramentos e nas fôrmas. De forma

definitiva, é utilizada nas esquadrias, nas estruturas de cobertura, nos forros e nos pisos (CERVI, 2014).

Sousa (2004 *apud* SOUZA, 2016, p.9) destaca que dentre as espécies exóticas inseridas no Brasil, as do gênero *Eucalyptus* são as que mais contém possibilidades de uso múltiplo e vantagens. Por conseguinte ao rápido crescimento e grande potencial de adaptação às mais diversas condições ambientais, o gênero tem-se destacado.

Apesar da extensa empregabilidade da madeira de *Eucalyptus*, algumas vezes as espécies deste gênero podem conter alterações indesejáveis em suas propriedades (anatômicas, mecânicas e físicas) devido a presença do lenho de reação. O eucalipto, é propenso a desenvolver altos níveis de tensões de crescimento, devido a presença de lenho juvenil, que possui massa específica mais baixa e menores diâmetros de fuste, por isso é essencial a resistência aos esforços mecânicos, pois ocasiona impacto direto na utilização da madeira para estruturas (SOUZA, 2016).

O Eucalipto escolhido para realização dos ensaios de resistência mecânica é o Eucalipto Cloeziana. Esta é a primeira espécie de Eucalipto a receber um certificado de origem e qualidade, que foi conduzido pelo SEBRAE e pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, finalizado em 2016 (UNIÃO MADEIRAS, 2018).

Este gênero é natural de solos rasos e pedregosos, e o seu desenvolvimento, diferentemente das outras espécies, é carregado de tensões e mais lento. Este fato gera, entretanto, um crescimento mais uniforme, com um despontamento mínimo entre a base e a ponta da madeira. Além disso, é típico desta espécie rústica um cerne muito duro e denso, elevando assim densidade dessa madeira (UNIÃO MADEIRAS, 2018).

Com a liberação das tensões de crescimento no momento do corte e na secagem da madeira, são comuns a esta espécie ocasionar-se pequenos fendilhamentos. Tal consequência é cessado com o uso de conectores anti-rachas o que não altera a durabilidade do Eucalipto Cloeziana (UNIÃO MADEIRAS, 2018).

O conhecimento das propriedades mecânicas é de extrema relevância para determinar apropriadamente a aplicação da madeira às mais variadas formas de uso, impreterivelmente em relação aquelas que exigem uma maior resistência e rigidez (MULLER *et al*, 2014)

O presente estudo proporcionou condições para analisar e avaliar a resistência e a rigidez da madeira *Eucalyptus Cloeziana* em distintas massas específicas, o que sucede em condições de uso da madeira, visto que num mesmo lote de madeira, ou até na mesma árvore, há gradientes de umidade e de massa específica.

2 OBJETIVOS

De acordo com EIDT *et al.* (2014), devido a abundância de incertezas gerada e dificuldade de realização de ensaio, tais como, tração, flexão, cisalhamento, entre outros, viu-se a oportunidade de realizar ensaio de compressão paralela às fibras, com auxílio da Máquina Universal Martins Campelo, sendo este um método empregado de simples e fácil montagem. Obtendo-se assim ensaios com eficácia e rapidez e de uma maneira confiável em uma situação de campo, para se obter o módulo de elasticidade e relacioná-lo com a classe de resistência.

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a resistência mecânica em amostras de árvore do gênero *Eucalyptus Cloeziana*, empregando o ensaio de compressão paralela às fibras da madeira.

2.2 Objetivo específicos

- a. Realizar ensaios de compressão uniforme em corpos-de-prova prismáticos para obtenção de parâmetros experimentais resistentes (módulo de elasticidade e tensão paralela às fibras da madeira);
- b. Comparar a resistência e a rigidez à compressão paralela às fibras com aqueles especificados na norma;
- c. Validar os parâmetros resistentes obtidos por meio de procedimentos e recomendações de cálculos utilizados em estruturas, conforme as prescrições na Norma Brasileira (NBR 7190/97).

3 JUSTIFICATIVA

Na NBR 7190/97, estão especificados ensaios de caracterização com base em determinação de resistências e de módulos de elasticidade axiais na tração ou compressão.

Em consequência dos ensaios serem de compressão paralela às fibras, é recomendado descartar o início da curva tensão x deformação, a fim de se eliminar o efeito de acomodação das fibras, e o final para eliminar a não linearidade da proximidade da ruptura (EIDT *et al.*, 2014).

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O crescente emprego da madeira de reflorestamento tem se tornado mais notório nos decorrer dos anos, especialmente devido aos questionamentos presentes em relação à exploração predatória das florestas nativas (VALLE, 2009).

Segundo a ABRAF (2013 *apud* SOUZA, 2016, p11), a área reservada para o plantio de eucalipto no Brasil demonstrou crescimento médio de 6,03% ao ano entre o período 2006 e 2012, chegando a cerca de 5.102.030 hectare (ha) de área plantada em todo o país, visto que em 2012 o consumo brasileiro de madeira em tora proveniente de plantios florestais foi de 182,4 milhões de metros cúbicos (m³), dos quais em torno de 122 milhões de m³ consistiam de madeira de eucalipto, para usos diversos.

Embora salientando-se como uma alternativa para o abastecimento da indústria madeireira, essa matéria-prima contém limitações específicas e inerentes às madeiras proveniente de florestas de acelerado crescimento, particularmente, devido a defeitos provenientes da liberação das tensões de crescimento e da elevada retratilidade ocasionando baixos rendimentos na fabricação de madeira serrada posteriormente o processamento mecânico (GONÇALEZ, et al. 2006).

De acordo com Amparado *et al.* (2008), a incorreta aplicação aliada a falta de tecnologias que consigam otimizar as propriedades do produto final são as principais causas de ainda haver discriminação quanto a utilização do eucalipto na indústria de serrados.

O lenho de reação é um tecido constituído tanto por efeitos genotípicos quanto por estímulos mecânicos. Árvores que se prosperam sofrendo esforços externos contínuos, como a incidência de vento preponderante e a inclinação do terreno, além de fatores inerentes à própria árvore, como a massa dos galhos, são mais susceptíveis à formação de lenho de compressão ou de tração (SOUZA, 2016).

Para Ferreira (2007) o lenho de reação à compressão pode modificar o comportamento da madeira frente a múltiplos processos industriais, limitando sua qualidade bem como seu aproveitamento. Árvores com lenho de compressão apresentam alterações anatômicas, químicas e físicas fazendo com que, em consequência as propriedades mecânicas das mesmas sejam modificadas (FERREIRA, 2007).

4.1 Caracterização da madeira

As características da madeira são condicionadas por sua estrutura anatômica, conseqüentemente a análise de valores deve ser distinta para a compressão, assim como para a direção paralela às fibras e normal às fibras. Além disso, deve-se também diferenciar os valores equivalentes às diversas classes de umidade, segundo umidade de equilíbrio relacionado à umidade ambiente (EIDT *et al.*, 2014).

Está determinada na NBR 7190/97, as principais diretrizes da forma que deve ser dimensionado e projetado uma estrutura parcial ou total em madeira. Dentre as estruturas, pode-se ressaltar: coberturas, pisos, pontes, cimbramento e pontilhões.

4.2 Propriedades mecânicas da madeira

As propriedades mecânicas mensuram a aptidão da madeira em suportar as solicitações mecânicas. Habitualmente são mensuradas considerando-se a resistência, isto é, capacidade em sustentar solicitações mecânicas até se romper e a rigidez que é avaliada pelo módulo de elasticidade que reporta à proporcionalidade presente entre tensões e concernentes deformações específicas na fase de comportamento elástico-linear. Sua ponderação ocorre em duas direções principais: paralela e normal às fibras (BENJAMIN, 2006).

A descrição das propriedades mecânicas da madeira do Eucalyptus é indispensável para definir de maneira adequada a sua aplicação às diversas formas de utilizações. Assim, definidos a outros fatores, os parâmetros dessas propriedades proporcionam que a madeira seja classificada em usos a que se mostra mais adequado, como peças estruturais, ambientes externos e internos de habitações, painéis e movelaria (TRIANOSKI, 2012).

Scanavaca Junior (2001 *apud* SOUZA, 2016) declara que dentre as características mecânicas mais pesquisadas sobressaem a resistência aos esforços de compressão, flexão, tração, cisalhamento e fendilhamento. Os resultados da avaliação da resistência mecânica diferenciam de acordo com a direção da aplicação da carga em relação aos três eixos ortogonais da madeira), mesmo assim podem ser influenciados por imprecisões na madeira.

4.3 Ensaios mecânicos

As propriedades mecânicas são divididas em características de elasticidade e resistência. Contudo as características de resistência envolvem a flexão estática, cisalhamento,

compressão e à tração paralela e perpendicular às fibras, fendilhamento, resiliência e dureza. Quanto às propriedades de elasticidade, estão inclusos os módulos de elasticidade, os quais estão proporcionalmente correlacionado com a rigidez do material (SOUSA,2004).

Aponta Moreschi (2010) que a característica mecânica, quando submetida a uma carga aplicada em sua face tangencial, tem como consequência seu flexionamento. O autor enfatiza que os materiais, até certo ponto, retratam uma característica elástica, de modo que se a força que a deforma for cessada, os materiais ainda apresentam capacidade de voltar ao seu estado original. Entretanto quando a força passa do ponto máximo de elasticidade os materiais, no caso em questão a madeira, deixa de ser elástica e passa a ser plástica, isto é, não contém mais a capacidade de retornar ao seu estado original, mesmo quando a força que a deforma é cessada.

A compressão paralela às fibras da madeira é considerada como a característica mecânica de referência pela NBR 7190/97 posto que, baseado nela, podem-se aferir múltiplas propriedades mecânicas como a tração paralela às fibras e a compressão normal às fibras (SCALIANTE *et al.*, 2011).

A fim de se verificar o valor máximo que a espécie suporta sem ser esmagada, é aplicada uma carga sobre a peça de madeira no ensaio de compressão paralela às fibras (PEREIRA, 2013). Esse ensaio é realizado com a utilização de corpos de prova de seção quadrada, cuja altura corresponde cerca de cinco vezes a largura da seção, utilizando Máquina Universal de Ensaio, demonstrado na Figura 01. É determinado nesse ensaio o módulo de elasticidade, bem como a tensão de ruptura. Esta propriedade é bastante empregado em estruturas de madeira para dimensionamento de vigas, pilares, comparação entre ligações estruturais e espécies (MELO, 2010).

Figura 01: Modelo de ensaio de compressão paralela às fibras.



Fonte: Arquivo pessoal.

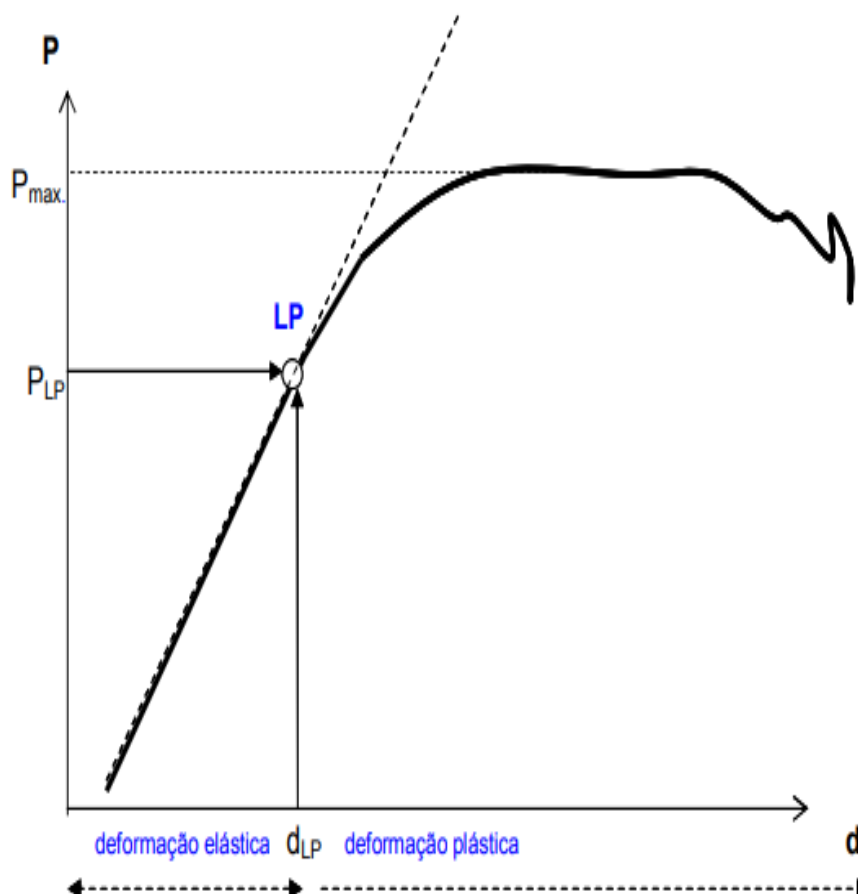
Para a análise das propriedades à compressão axial, é corriqueiro a especificação do limite de elasticidade, e da resistência máxima, para os cálculos da resistência no limite de elasticidade e do módulo de elasticidade. Neste ensaio, as dimensões do corpo-de-prova denotam certas influências sobre a resistência à compressão axial da madeira: quão grandemente for o comprimento do corpo-de-prova, maior será a predisposição de ele flexionar, rachar e quebrar no momento do ensaio, denotando, em consequência, menor resistência aparente à compressão axial. Será maior o impedimento da expansão transversal da madeira (dilatação) durante o ensaio, se acaso for maior a seção transversal do corpo-de-prova, sucedendo assim numa resistência à compressão axial mais elevada (MORESCHI,2010).

4.3.1 Cálculo do Módulo de Elasticidade, da Resistência no Limite Proporcional e da Resistência Máxima à Compressão Axial

De acordo com Moreschi (2014), utilizam-se para o cálculo do módulo de elasticidade à compressão axial ($E_{c//}$), os valores de deformação no limite proporcional (d_{LP}) em cm e de carga (P_{LP}) em kg, determinado graficamente pelo limite de proporcionalidade (LP) (Figura

02), definidos no ponto tangente onde finda da parte linear cedida pela associação entre a deformação correspondente à carga aplicada.

Figura 02: Relação carga x deformação para teste de compressão e tração.



Fonte: MORESCHI(2010), adaptado pela autoras.

Outra preferência em correlação aos valores obtidos graficamente é a determinação de P_{LP} e d_{LP} por análise dos dados na tabela carga deformação, até quando ainda ocorre proporcionalidade entre P e d . Para a determinação da resistência à compressão axial no limite de elasticidade também se aplica a carga no LP (P_{LP}), obtida graficamente pelo LP ou por interpretação da tabela. Em contrapartida, a resistência máxima a essa característica da madeira é definida com a carga verificada onde acontece a ruptura do corpo-de-prova sujeito ao esforço (MORESCHI,2014).

Segundo Moreschi (2014) para o registro dos dados levantados durante o ensaio mecânico, sugere-se a utilização do seguinte formulário:

$$E_{c//} = \frac{P_{LP}L}{hbd_{LP}} \quad (01)$$

Onde:

$E_{c//}$ = módulo de elasticidade à compressão axial (GPa);

P_{LP} = carga no limite de proporcionalidade (kg);

L = distância entre os apoios, do registrador de deformação (cm²);

d_{LP} = deformação da madeira no limite proporcional ;

h = altura do CP (cm);

b = base do CP (cm).

A resistência no LP à compressão axial (no limite elástico da madeira para esta propriedade) é calculada pela fórmula apresentada a seguir:

$$\sigma_{c//LP} = \frac{P_{LP}}{A} \quad (02)$$

Onde:

$\sigma_{c//LP}$ = resistência no LP à compressão axial (kN/cm²);

P_{LP} = carga no LP resistida pelo corpo-de-prova (kN);

A = área ($b \times h$) do corpo-de-prova submetida ao esforço (cm²).

Ja resistência máxima à compressão axial (onde ocorre a ruptura) é determinada com o uso de $P_{máx.}$, pela fórmula:

$$\sigma_{c//máx.} = \frac{P_{máx.}}{A} \quad (03)$$

Onde:

$\sigma_{c//máx.}$ = resistência máxima à compressão axial (kN/cm²);

$P_{máx.}$ = carga máxima (kN);

A = área ($b \times h$) do corpo-de-prova submetida ao esforço (cm²);

4. 4 Características Mecânicas

4.4.1 Umidade

A NBR 7190/97 estipula uma classificação em relação à umidade da madeira com a finalidade de ajustar as propriedades de rigidez e resistência por consequência das condições adversas do ambiente ao qual o material está exposto.

Segundo Eidt *et al.* (2014) o K_{mod2} , compara o nível de saturação do ambiente em que a estrutura da madeira encontrar-se-á exposta, produzindo assim uma modificação do módulo de elasticidade e da resistência da madeira. O coeficiente de modificação K_{mod2} é conhecida pela relação entre a propriedade da madeira em estado de umidade normal (12%)

$$f_{m,sat} = f_{m,12\%} K_{mod2} \quad (04)$$

Onde:

$f_{m,sat}$ = valor da madeira saturada(%);

$f_{m,12\%}$ = valor na umidade normal a 12 % (%);

K_{mod2} = é o coeficiente de modificação
(adimensional).

A categorização em relação à umidade é fracionada em quatro classes, tais como: Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4. São conceituadas nas classes de umidade da madeira, umidade de equilíbrio da madeira e umidade relativa do ambiente. O enquadramento das classes de umidade está demonstrado no Tabela 01, em companhia com o respectivo valor do coeficiente de minoração k_{mod2} (Eidt *et al.*, 2014).

Tabela 01: Classes de Umidade.

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

Fonte: NBR 7190 (ABNT,1997), adaptado pelas autoras.

Além dos valores presentes na tabela acima, a NBR 7190/97 verifica o valor para k_{mod2} igual a 0,65 para a madeira submersa, isto é, em situação de total saturação.

4.3.2 Rigidez

A NBR 7190/97 determina como rigidez o valor médio do módulo de elasticidade na fase comportamento elástico-linear da madeira. São determinados dois fundamentais tipo de módulo de elasticidade, o E_{w0} na direção paralela às fibras e o E_{w90} na direção perpendicular às fibras.

Entretanto, quando é irreal a determinação do valor experimental de E_{w90} , a norma consente a seguinte adoção:

$$E_{w90} = \frac{1}{20} E_{w0} \quad (05)$$

Onde:

E_{w90} – módulo de elasticidade, à compressão normal às fibras(GPa);

E_{w0} – módulo de elasticidade, à compressão paralela às fibras (GPa).

4.4.3 Deterioração da Madeira

A madeira está submetida a diversas categorias de deterioração, tais como ação do fogo e o ataque biológico. A mesma possui limitada resistência ao fogo, por ser combustível, mas, se for adequadamente projetadas e construídas, as estruturas de madeira, denotam excelente desempenho sob a ação do fogo. A vulnerabilidade da madeira de construção ao ataque biológico depende de onde foi extraída a madeira, da espécie, da camada do tronco e da proteção que foi dada, além das condições ambientais à que a madeira está exposta (PFEIL, 2003).

4.5 Módulo de Elasticidade

As estruturas correntes são projetadas de forma a sofrerem meramente pequenas deformações, que não excedam os valores do diagrama de tensão normal-deformação específica equivalentes ao regime elástico do diagrama. Na parte introdutória do diagrama, a tensão σ é exatamente proporcional à deformação específica (ε) e segue a equação da lei de Hooke (BEER, 1995).

$$\sigma = E\varepsilon \quad (06)$$

Onde:

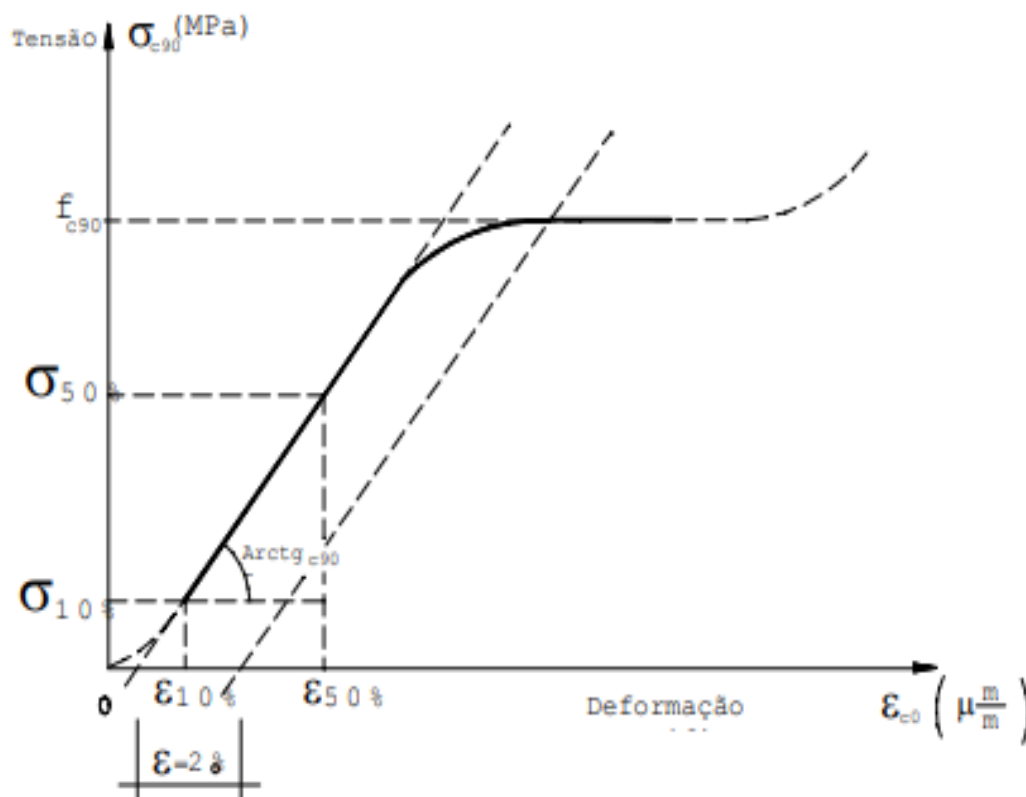
σ = Tensão normal (MPa).

E = Módulo de elasticidade (GPa).

ε = Deformação específica (adimensional).

A resistência convencional à compressão paralela às fibras ($f_{wc,90}$ ou f_{c90}), dada NBR 7190:1997, é a tensão correspondente à deformação específica residual de 2% (Figura 03), obtida em ensaio do corpo de prova padronizado.

Figura 03: Diagrama tensão x deformação específica para determinação da rigidez à compressão paralela às fibras



Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997), adaptado pelas autoras.

A rigidez da madeira na direção paralela às fibras deve ser determinada por seu módulo de elasticidade. Para esta finalidade, o módulo de elasticidade (E_{c0}), dado em MPa, deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva tensão x deformação específica, como indicado na Figura 03.

O módulo de elasticidade (E), é definido como sendo a tensão imaginária que na compressão seria capaz de duplicar o comprimento original da peça.

De acordo com Morales *et al.* (2002) visando este propósito, o módulo de elasticidade (E_{c0}) em MPa deve ser estipulado pela inclinação da reta secante à curva tensão x deformação, determinado pelos pontos ($\sigma_{10\%}$; $\epsilon_{10\%}$) e ($\sigma_{50\%}$; $\epsilon_{50\%}$), equivalentes respectivamente a 10% e 50% da resistência à compressão paralela às fibras, definida no ensaio, logo dada pela expressão:

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}} \quad (07)$$

Onde:

E_{CO} = o módulo de elasticidade(MPa)

$\sigma_{50\%}$ = tensão a 50% (MPa).

$\sigma_{10\%}$ = tensão a 10% (MPa).

$\varepsilon_{50\%}$ = deformação a 50% (%).

$\varepsilon_{10\%}$ = deformação a 10% (%).

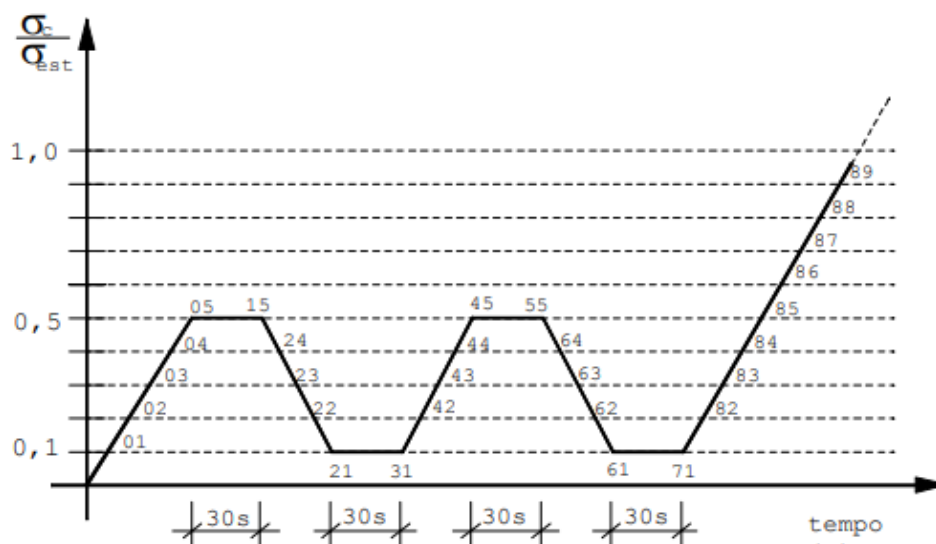
Foram produzidas peças em dimensões estruturais, com finalidade de efeitos comparativos, as quais conservaram as seções transversais das vigas empregadas nos ensaios de vibração transversal, com valor de comprimento três vezes a menor dimensão. Obteve os módulos de elasticidade baseado no princípio carga x deslocamento do ensaio efetuado aos corpos de prova (MORALES *et al.*, 2002).

4.6 Compressão paralela às fibras

Conforme a COPANT R-464 (1972 *apud* MORALES *et al.*, 2002), no ensaio é empregada, de forma constante, um esforço que gere deformação de 0,6 mm/min na face de seção transversal do corpo-de-prova. Isto até a conduzido à ruptura, apoderando-se nota dos valores dos deslocamentos e das forças equivalentes para se produzir o gráfico tensão x deformação.

Recomenda-se proceder o carregamento de um corpo-de-prova de referência e levá-lo à romper para se avaliar a resistência da amostra ($f_{vc,90,est}$). Posteriormente, nos demais corpos-de-prova, são efetivados dois ciclos de carregamento prévios e um ciclo de carregamento final, conforme com o exibido no diagrama de carregamento apresentado na Figura 04 (MORALES *et al.*, 2002). Em anexo (Anexo 01) encontra-se os diagramas de carregamento obtidos em ensaio.

Figura 04- Diagrama de carregamento para determinação da rigidez da madeira à compressão.

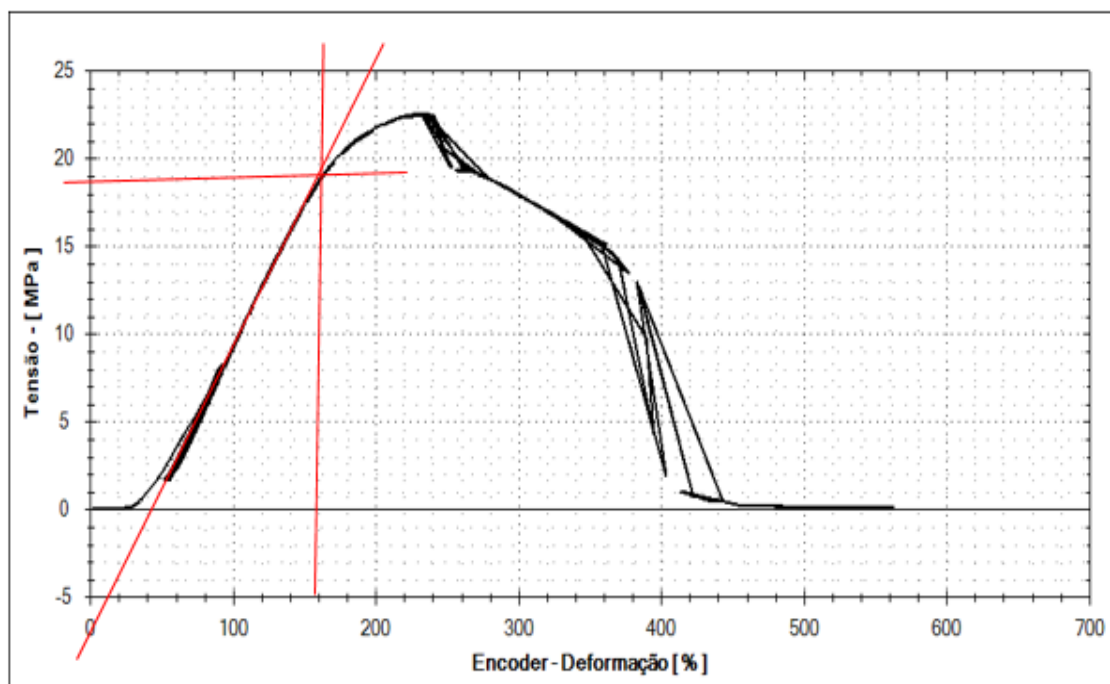


Fonte: NBR 7190 (ABNT,1997), adaptado pelas autoras.

Os corpos de provas são colocados na máquina universal Martins Campello, que contém duas placas de aço alinhadas, cujas superfícies proporciona distribuição uniforme da força na extremidade superior e inferior do corpo de prova. Depois de verificado a aplicação de carga, inicia-se os ciclos de carga e descarga, para cada corpo de prova já pré-estabelecida.

Em uma direção paralela às fibras, deve ser estabelecida a rigidez da madeira devido ao seu módulo de elasticidade, alcançado no trecho linear do diagrama tensão x deformação específica, como identificado na Figura 05.

Figura 05: Diagrama tensão x deformação específica.



Fonte: Arquivo pessoal.

Os gráficos de carregamento para determinação da rigidez da madeira à compressão, juntamente com os diagramas tensão x deformação de cada corpo de prova obtidos, com seus respectivos resultados, segue em anexo (Anexo 01 e 02).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Procedimentos metodológicos

Aplica-se uma relação entre o valor de f_{c0k} e módulo de elasticidade adquirido através da NBR 7190/97, para a estimativa da resistência das madeiras ensaiadas. Ao realizar a divisão do módulo de elasticidade normalizado pela resistência normalizada, descobre-se esse valor.

Com posse dos valores calculados de módulo de elasticidade para as madeiras analisadas, encontra-se o coeficiente na associação adquirida com os valores normalizados sendo executado nos resultados, deste modo estimar a resistência das madeiras.

5.2 Quantificação de amostras

Neste estudo, com o intuito de averiguação experimental, foram utilizadas 15 (quinze) amostras da madeira de gênero *Eucalyptus Cloeziana*. Essas amostras foram empregadas para realização do ensaio de compressão paralela às fibras. Para execução dos ensaios, utilizou-se 3 (três) grupos de diferentes dimensões, especificamente (Tabela 02): 20x20x300 mm, 30x30x450 mm e 40x40x600 mm. Onde as mesmas foram denominadas de amostras L, amostras M e amostras N, respectivamente. No qual cada uma evidencia uma resistência característica diferenciada.

Tabela 02:Corpos-de- prova utilizados no ensaio de compressão paralela às fibras.

Amostras	Dimensões (mm)
L1	20x20x300
L2	20x20x300
L3	20x20x300
L4	20x20x300
L5	20x20x300
M1	30x30x450
M2	30x30x450
M3	30x30x450
M4	30x30x450
M5	30x30x450
N1	40x40x600
N2	40x40x600
N3	40x40x600
N4	40x40x600
N5	40x40x600

Fonte: Elaborada pelas autoras.

5.3 Equipamentos utilizados

Com o propósito de realizar de maneira eficaz o ensaio mecânico de compressão paralela às fibras, optou-se pela utilização Máquina Universal de Ensaio, com capacidade de carga de 150 kN e que permite o controle da velocidade de carregamento prevista no ensaio, de 10 MPa/min, onde a mesma é muito utilizada em diversos seguimentos da construção civil, atendendo as mais variadas normas nacionais e internacionais, além de possui mecanismos para a realização de ajustes, configurações, aquisição, análise e geração de relatórios dos ensaios mecânicos.

Para execução do ensaio utilizou-se 3 grupos, contendo cada um 5 amostras com dimensões da seção transversal dos corpos de provas respectivamente: 20x20x300 mm, 30x30x450 mm e 40x40x600 mm Com o intuito de confeccionar as amostras, foram necessário o uso dos respectivos materiais:

- ✓ Luva;
- ✓ Serra manual;
- ✓ Lixa;
- ✓ Paquímetro;
- ✓ Balança;
- ✓ Trena;
- ✓ Pincel;

As Figuras 06, 07, 08 e 09 apresentam imagens dos materiais e equipamentos utilizados para o ensaio de compressão paralela às fibras.

Figura 06: Equipamentos utilizados para ajuste na base do CP.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 07: Pesagem dos CP's



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 08: Corpos-de-prova prontos para ensaios.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 09: Máquina Universal de ensaios Martins Campello Ltda, com capacidade de 150 kN.



Fonte: Arquivo pessoal.

5.4 Metodologia de ensaio

O ensaio ressaltado no presente trabalho foi realizado na Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri, campus Mucuri, situado na cidade de Teófilo Otoni, no estado de Minas Gerais, cujo endereço R. Cruzeiro, 1 - Jardim São Paulo.

As amostras empregadas foram obtida por meio da empresa Madeireira Maranhão, onde a mesma está localizada na Av. Sidônio Otoni, 100 - Joaquim Pedrosa, na cidade de Teófilo Otoni, MG. A árvore escolhida para o estudo é oriunda do plantio de *Eucalyptus Cloeziana*, com aproximadamente 5 anos de idade, localizado na cidade de Capelinha, Minas Gerais.

O corpo-de-prova e o método de ensaio à compressão paralela às fibras, utilizados neste trabalho, são os descritos no item B.8 da NBR 7190/97. Deste ensaio obtém -se a resistência à compressão paralela e o módulo de elasticidade. A finalidade de avaliar a resistência de compressão das peças de madeira gênero *Eucalyptus Cloeziana* utilizou-se diferentes espessuras.

Figura 10: Máquina universal, o corpo-de-prova e sua preparação para o ensaio de compressão.



Fonte: Arquivo pessoal.

As peças de madeira foram separadas em três grupos de acordo com o comprimento: 300 mm, 450 mm e 600 mm, sendo 300 mm o Grupo L, 450 mm o Grupo M e 600 mm o Grupo N. As amostras foram nomeadas com número de 1 a 5 dentro de seu grupo, correspondendo a ordem de teste. A partir desta organização, tornou-se possível avaliar o comportamento de cada corpo de prova individualmente.

Os corpos-de-prova empregados nos ensaios são peças medianamente esbeltas ($40 \leq \lambda \leq 80$), conforme representado graficamente, na Figura 11. Essa esbeltez foi previamente calculada, utilizando a seguinte formulação:

$$\lambda = \frac{L_{fl}}{i_{\min}} \quad (08)$$

Onde:

λ = índice de esbeltez (admissional).

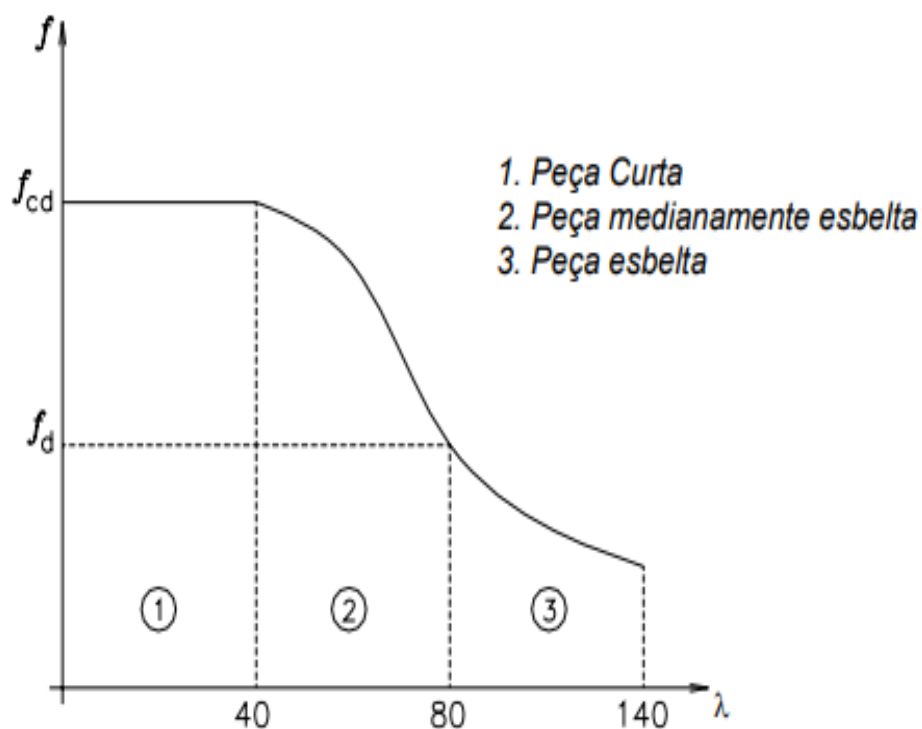
L_{fl} = comprimento de flambagem (cm);

i_{\min} = raio de giração (cm) .

O índice de esbeltez é uma medida mecânica utilizada para estimar com que facilidade um pilar irá encurvar. Ele mede a facilidade ou a dificuldade que um pilar tem de flambar.

A resistência da madeira à compressão paralela tem comportamento variável com o índice de esbeltez, revelando três regiões distintas para o cálculo, conforme mostrado na Figura 11, abaixo.

Figura 11: Resistência à flambagem x índice de esbeltez.



Fonte: CARRASCO (2006), adaptado pelas autoras.

Para aferição do cálculo da esbeltez, levou-se em consideração neste estudo, carga permanente de pequena variabilidade, peças sem classificação mecânicas e coeficientes de modificação K_{mod} , que influenciam os valores de cálculo das propriedades da madeira.

Para o cálculo do coeficiente de modificação, considerou-se: $K_{mod1}=0,90$, conta a classe de carregamento de curta duração e o tipo de material empregado, isto é, a madeira gênero Eucalipto Cloeziana serrada. Já o K_{mod2} leva em conta a classe de umidade (2) e também o fato de ser madeira serrada do gênero Eucalipto Cloeziana, ou seja, $K_{mod2}=1,0$. O K_{mod3} leva em consideração a qualidade da madeira, onde a madeira escolhida de 2ª categoria, logo, $K_{mod3}=0,8$.

A seguir a Tabela 03, apresenta os dados de cada peça e a sua respectiva esbeltez.

Tabela 03: Dados dos Corpos- de- Prova e índice de esbeltez.

Amostras	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Massa (g)	ρ (g/cm ³)	λ (Esbeltez)
L1	2,03	2,05	29,90	81,40	0,653	50,95
L2	1,98	2,03	29,90	64,10	0,535	52,91
L3	2,00	2,03	29,80	84,50	0,698	51,62
L4	2,03	2,08	29,90	65,30	0,518	51,02
L5	2,05	2,03	29,90	76,90	0,62	50,53
M1	3,05	3,08	44,90	286,30	0,68	51,00
M2	2,97	3,05	44,80	290,40	0,716	52,25
M3	3,00	3,05	44,90	291,80	0,71	51,85
M4	3,03	3,08	44,90	291,40	0,698	51,42
M5	2,92	2,88	44,50	228,90	0,613	52,88
N1	3,92	3,94	60,10	680,20	0,734	53,18
N2	3,88	3,88	58,80	653,70	0,738	52,50
N3	3,92	3,88	59,20	637,70	0,709	52,38
N4	4,00	3,99	59,30	552,40	0,584	51,36
N5	3,97	4,00	58,40	641,40	0,692	51,02

Fonte: Elaborado pela autoras.

Posteriormente ao resultados da esbeltez de cada CP's, sucederam-se os ensaios até sua ruptura. Pode-se obter destes ensaios os resultados da resistência à compressão paralela e o

módulo de elasticidade de cada CP's individualmente. As imagens dos resultados obtidos dos corpos de prova em questão segue em anexo (Anexo 03).

Em consequência dos ensaios serem de compressão paralela às fibras, é recomendado descartar o início da curva tensão x deformação, a fim de se eliminar o efeito de acomodação das fibras, e o final para eliminar a não linearidade da proximidade da ruptura (EIDT *et al.*, 2014).

Para o cálculo da solicitação máxima admissível em cada corpo de prova de madeira Eucalipto Cloeziana, foi-se necessário aplicação de algumas fórmulas, tais como:

✓ Verificação da estabilidade

$$\frac{\sigma_{nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{md}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (09)$$

Onde:

σ_{nd} = Tensão de cálculo atuante (N/cm²);

σ_{md} = Tensão de compressão devido ao momento fletor (N/cm²);

$f_{c0,d}$ = Resistência de cálculo da madeira à compressão paralela às fibras (N/cm²).

✓ Carga crítica de Euler

$$F_E = \frac{\pi^2 E_{c0,ef} I}{L_0^2} \quad (10)$$

Onde:

F_E = Carga crítica de Euler (N);

$E_{c0,ef}$ = Módulo de elasticidade efetivo da madeira (N/cm²);

I = Inércia (cm²);

L_0 = Comprimento de flambagem (cm).

No decorrer dos cálculos, não levou em consideração a excentricidade inicial e a excentricidade acidental, devido ao ensaio de compressão paralela às fibras ser rápido, sendo recomendado o uso apenas para carga de longa duração. Além de sempre haver a verificação da aplicação, ou seja, o corpo de prova está posicionado entre as placas da máquina, onde a força é aplicada centralmente referente aos lados superior e inferior do CP. Essas excentricidades é comumente utilizado na teoria.

Assim obtém-se os respectivos valores de solicitação de carga máxima através da NBR 7190/97, pela seguinte fórmula:

$$\frac{N_{cd}}{Af_{wc,0,d}} + \frac{N_{cd}}{If_{wc,od}} \frac{h}{2} \left\{ (e_i + e_a) \left(\frac{F_E}{F_E - N_{cd}} \right) \right\} \leq 1 \quad (11)$$

Onde:

N_{cd} = solicitação de carga máxima (N);

A = área (cm²);

$f_{wc,od}$ = resistência de cálculo da madeira à compressão paralela às fibras (N/cm²);

I =inércia (cm⁴);

h = altura (cm);

e_i = excentricidade de primeira ordem decorrente do projeto (cm);

e_a = excentricidade acidental mínima (cm);

F_E = carga crítica de Euler (N).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo do presente trabalho abrange em selecionar um lote de madeira de *Eucalipto Cloeziana* comercializada na empresa Madeireira Maranhão pela diversidade de peso das peças. A madeira foi previamente definida de acordo com a norma da NBR 7190/97, no momento em que se obtiveram os resultados médios, assim como os coeficientes de variação, das propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus Cloeziana*.

Como abordado previamente, o lote de madeira obtido constituir-se de três populações de madeira de densidades diferentes. Definidas as densidades de corpos-de-prova constatou-se que as amostras apresentaram densidade média de 0,660 g/cm³.

Na realização dos testes de compressão paralelas às fibras, adquiriu-se nas madeiras de menor medidas (amostra L) uma resistência cerca de 78% inferior quanto à comparado à de maior medidas (amostra N). Independentemente da densidade da madeira intervir sua rigidez, essa correlação demonstrou ser influenciada, assim como, por diversas propriedades, portanto os resultados não acompanharam a mesma propensão marcante averiguada nos de resistência.

As propriedades de resistência da madeira, na direção paralela às fibras, podem ser consideradas como de importância secundária no cálculo de estruturas de madeira. E a compressão normal às fibras não apresenta ruptura, entendida como a ausência da capacidade de transmitir esforços, bem como a NBR 7190/97, em seu item B.10.2, define: "A resistência à compressão normal às fibras ($f_{wc,90}$ ou f_{c90}) é o valor convencional determinado pela deformação específica residual de 2 %0.

Tabela 04: Resultados obtidos nos ensaio.

Amostras	σ (N/cm ²)	E (N/cm ²)	N_Euler (N)	N_máx. de ensaio (N)	N_Norma (N)
L1	2252	592267	9386	9570	9526
L2	1780	493530	7137	7280	7520
L3	2399	647566	9740	9930	10520
L4	1758	463715	7405	7550	8020
L5	2067	534634	8581	8750	9020
M1	1921	506176	18017	18370	19703
M2	2272	628540	20581	20990	22930
M3	1849	503580	16918	14350	18717
M4	2140	573241	19906	20300	21894
M5	2181	617988	18310	18670	20202
N1	2406	689386	37113	37840	40202
N2	2470	689715	37184	37910	40202
N3	2689	747571	40846	41650	40202
N4	1819	486075	28995	29560	27203
N5	2687	708742	42615	42615	43450

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Apresenta-se na tabela 04 os resultados de tensão, módulo de elasticidade, carga máxima obtida através da equação de Euler (N_Euler), a carga máxima de ensaio (N_máx de ensaio) e a carga máxima teórica de cálculo (N_Norma), obtida através da NBR 7190/97.

O corpo-de-prova L3 sofreu escorregamento na base, e os corpos-de-prova M3 e N4 apresentaram defeitos no momento dos ensaios, sendo assim os mesmos foram descartados do experimento.

A Tabela 04, consta a carga máxima teórica de ensaio (N_máx. de ensaio) de cada corpo de prova que por sua vez foram ensaiados. Esses valores apresentados mostram a resistência de

cada CP, ressaltando que não houve significativa perda de resistência em relação a resistência encontrada e a teórica, mesmo tendo considerado diversos fatores, tais como a densidade de cada CP, e por ser uma peça medianamente esbeltas. A Tabela 05, apresenta os valores médios de cada grupo de amostras.

Tabela 05: Valores médios do ensaios de compressão paralela às fibras.

Amostras	N_Euler (N)	N_max de ensaio (N)	N_Norma (N)	E (N/cm ²)
L	8127	8287	8521	546342
M	19203	19583	21182	581486
N	38381	39133	40202	708890

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Comparando os resultados obtidos nos ensaios dos corpos de prova L, M e N, percebe-se que há uma diferença entre as forças teóricas de cálculo. A NBR 7190/97 estabelece valores maiores para a madeira *Eucalipto Cloeziana*, em relação ao que se obtém pelos cálculos. Isso pode ser explicado considerando que esses corpos de prova não são tratados, pertence a área de reflorestamento e são de densidade inferiores a estipulada pela norma.

Para melhor resultado, comparou-se os valores de carga crítica apresentados na Tabela 06 obtidos nos ensaios com os alcançados pelo método de Euler e pela da norma, onde levou-se em consideração a esbeltez dos CP's. Os valores da carga crítica obtidos nas amostras L, M e N são valores muito próximos, o que demonstra um bom resultado, mesmos considerando a inferioridade das densidade dos corpos provas ensaiados.

Tabela 06: Valores da força teórica calculada de acordo com a norma brasileira e da força calculada por método de Euler.

Amostra	P _{cr} (N)		
	Norma NBR 7190 - 97	Valor estimado neste Trabalho pela formula de Euler	Valor estimado neste Trabalho
L	8921	8449	8616
M	21182	19203	19583
N	40202	38381	39133

Fonte: Elaborada pelas autoras.

No entanto os valores do módulo de elasticidade obtidos nas amostras L, M e N são valores muito inferiores do que o estabelecido pela norma NBR 7190/97 comparando-se com os valores obtidos pelo método de Euler e pelo diagrama de tensão x deformação, o que não demonstra um bom resultado. O método de Euler é um método teórico mais sensível a condições do ensaio, ou seja, leva em consideração a esbelteza, flexo-compressão e flambagem dos corpos de prova, ao contrário do diagrama de tensão x deformação, que é menos suscetível a erros, sendo mais robusto os resultado.

Tabela 07: Valores do módulo de elasticidade segundo a NBR 7190/97, pelo método de Euler e pelo diagrama tensão x deformação.

Amostra	E (GPa)		
	Norma NBR 7190 - 97	Valor estimado nesse Trabalho pela expressão de Euler	Valor determinado nesse Trabalho pelo diagrama tensão deformação
L	13,96	5,50	13,91
M	13,96	5,80	8,21
N	13,96	7,10	9,09

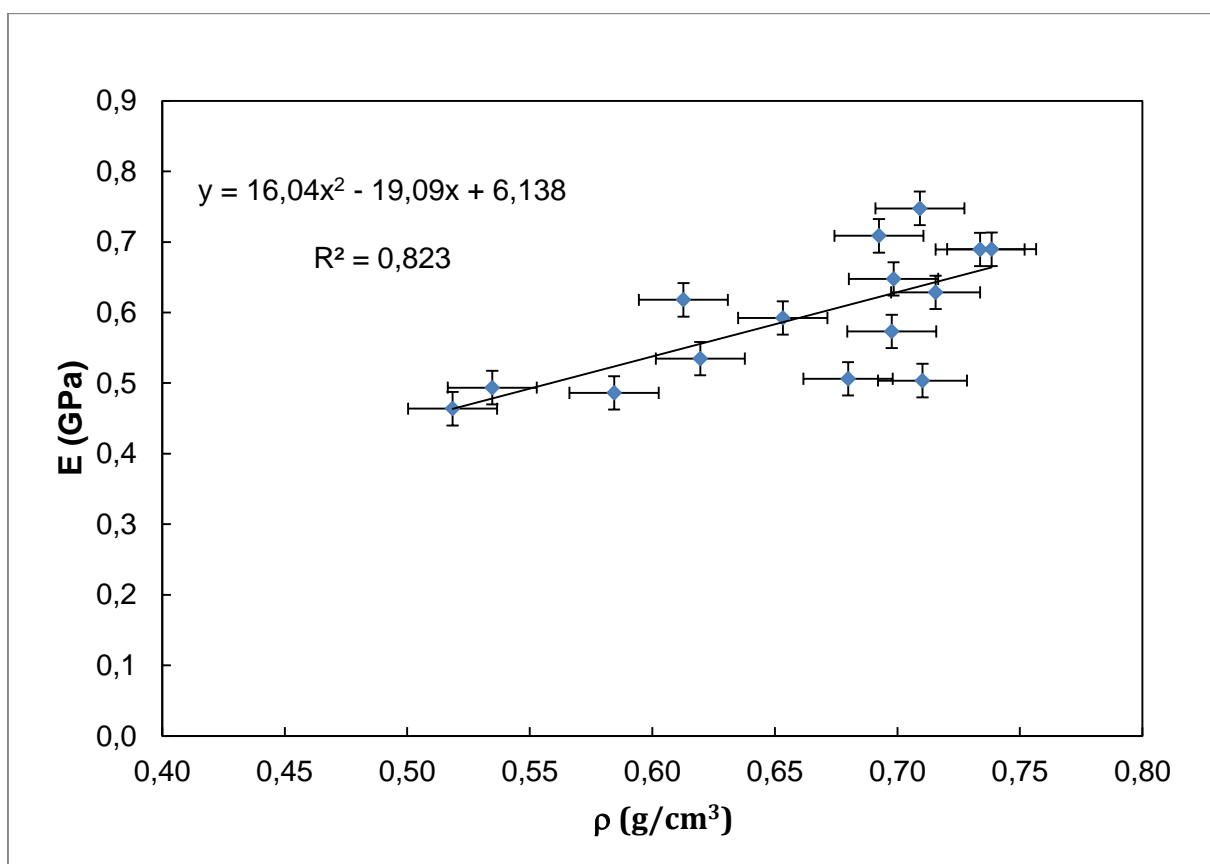
Fonte: Elaborada pelas autoras.

Assim confrontando os resultados do módulo de elasticidade (Tabela 07) estipulado pela norma com a método de Euler, o módulo de elasticidade apresenta 60,6 % inferior nas amostras L, 55,6% inferior nas amostras M e 45,6 % inferior nas amostras N.

Já comparado com os resultado obtido pelo diagrama tensão x deformação as amostras L apresenta somente 0,35 % inferior, apesar de ser o corpo de prova de menor dimensão, foi o que obteve resultado mais próximo ao da norma, ou seja, demonstrou melhor resistência comparado aos demais. Já as amostras M, alcançou cerca de 41,2 % e as amostras N 34,9 % inferior à determinada pela norma, devido a inferioridade das densidade dos corpos provas ensaiados, como demonstrado na Tabela 07.

A norma estabelece valores de elasticidade e tensão para diversos géneros de madeira para uma específica densidade, no caso a utilizada no ensaio, a madeira Eucalipto Cloeziana, determinou-se a densidade de ($0,822 \text{ g/cm}^3$), já o valor médio de densidade das amostra e de $0,660 \text{ g/cm}^3$ o que representa 20% inferior ao estabelecido pela norma. Essa valor de densidade determinada pela norma, não leva em consideração variação da massa da madeira, que varia devido às distintas características da mesma, tais como: clima, solo, época da colheita, idade, ações de microrganismos, entre outras.

Figura 12: Gráfico de modulo de elasticidade (E) x densidade (ρ).



Fonte: Elaborada pelas autoras.

Como demonstrado pela Figura 12 os resultados alcançados nos ensaios foram influenciados pela esbeltez, flexo-compressão, flambagem e densidade das madeiras. Como a densidade média das amostras utilizadas para o ensaio é de $0,660 \text{ g/cm}^3$, ou seja, menor que a densidade sugerida pela norma, a resistência das mesmas foram inferior, assim como o valor da carga crítica obtida é menor. Isso ocorre devido a madeira do gênero Eucalipto Cloeziana

usada estava verde, tornando-a assim a madeira menos compacta, contendo um maior quantidade de vazios, resultando em menor resistência.

7 CONCLUSÃO

Tornou-se factível compreender mediante ao trabalho elaborado, que os especialistas envolvidos no ramo da engenharia devem dispor de discernimento e capacitação apropriada quando o quesito está associado a testes, procedimento dos materiais que serão empregados e seus cálculos, em virtude de pequenos erros que podem ocasionar extensos problemas, comprometendo as obras e colocando em risco vidas humanas, devido ao uso de materiais inadequados, estruturas inadequadamente dimensionadas e cálculos incorretos.

Múltiplos critérios, métodos e ensaios foram elaborados ao longo dos anos, visando solucionar adversidades quanto a limitação dos elementos empregados na construção civil. Assim, foi capaz prever a quantidade de esforço que um material conseguirá suportar antes da ruptura, com o intuito de haver as devidas correções antes que estes elementos sejam usados, assegurando assim a qualidade e durabilidade da estrutura. Desta forma, destaca-se a relevância de ser realizados os ensaios, assim como o cálculo módulo de elasticidade para constatar a resistência do material, e adequada aplicação do mesmo.

Em conformidade aos resultados obtidos no ensaio de compressão paralela às fibras, chegou-se a conclusões sobre as diferentes espessuras de madeira. O Grupo N, composto de peças de 600 mm, exibiu maior resistência do que o Grupo M, de 450 mm. Para obter a ruptura das peças de madeira de 600 mm se deu necessário o emprego de aproximadamente o quatro vezes a força aplicada em L de 300 mm, em relação às peças de 450 mm. Por consequência, nota-se que ao duplicar o valor da espessura, a resistência da peça praticamente quadruplica. O Grupo L, apesar de ser o grupo de menor dimensão, demonstrou o melhor resultado de resistência à compressão, em comparação aos demais grupos.

Concluiu-se que, a densidade da madeira está diretamente relacionada com o módulo de elasticidades e com a resistência . Desta forma, os resultados obtidos nos ensaios sucederam inferiores ao estabelecido pela norma NBR 7190/97. Por conseguinte, deve-se considerar no momento da compra da madeira as densidades das mesmas, já que a norma possui uma densidade pré estabelecida para cada gênero, não levando em consideração as propriedades. As madeiras possui massas distintas, variando de acordo com tipo de solo, condições climáticas e ações de microrganismos, entre outras, ressaltando assim a importância da realização de ensaio para verificar se as condições da madeira condiz com o apresentado na norma.

Entretanto, as peças de madeira de 450 mm constatou ruptura com valor inferior da carga, contudo romperam com um deslocamento maior em comparação as mais espessas. Isso ressalta que, apesar das peças de 600 mm consistam mais resistentes em relação à aplicabilidade de força, as de espessura de 450 mm são mais flexíveis. Convém salientar a homogeneidade do material em ambas as espessuras, captado pela quase sobreposição de curvas dos gráficos elaborado a partir dos resultados do ensaio.

Para o ensaio elaborado evidenciado no relatório em questão, levou-se em consideração o cenário da construção civil no Brasil, com intuito de ressaltar a relevância da madeira, ampliando assim a compreensão sobre as propriedades da madeira do gênero *Eucalyptus Cloeziana*, tencionando um maior uso do mesmo por parte de diversos profissionais, principalmente por Engenheiros Civis em seus projetos.

Sabe-se que, quanto maior é o entendimento do engenheiro sobre as propriedades do material, maior é o alcance de elevar sua criatividade, exaltando a madeira e retirando da mesma todas as características indispensáveis para projetos contemporâneo. Por conseguinte, espera-se significativo aprofundamento em ensaios como o apresentado no evidente estudo, com a finalidade de estender as possibilidades e a compreensão dos materiais, segundo à importância do conteúdo tanto quanto nas pesquisas acadêmicas, bem como no mercado de trabalho.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em busca de esclarecimentos sobre variabilidade e anomalias do comportamento da madeira do gênero *Eucalypto Cloeziana*, além da modelização de diversas características depois da realização de alguns ensaios, pode-se perceber que há muito deliberações a se fazer, ressaltando como prioridade para continuidade das pesquisas, sugere-se, realizar ensaios e procedimentos empregados neste estudo para diversos gêneros de madeira, assim como o aumento da quantidade de espécies destacada, para significativa abrangência da amostragem, com o intuito de otimizar os resultados.

Propõe-se também a expandir os estudos, com a finalidade de contribuir para que ocorra minuciosa avaliação da influência dos aspectos anatômicos nos valores numéricos, que correspondem às características das madeiras. Bem como utilizar os resultados obtidos nestes ensaios, e correlacionar com diversos tipos de ensaio para maior compreensão. Outro ponto interessante é utilizar madeiras com distintas densidades e comparar com resultados de carga crítica fornecidos pela norma, para melhores resultados.

Sugere-se investir em obter modelos matemáticos, que ofereçam resultados, com a pretendida aproximação, à predição do comportamento real da madeira nas suas imensuráveis condições de partida e soluções de ligação de aplicações e de componentes. Admitindo que em diversas situações a ruptura é estimulada por um tipo de esforço que predispõe outras falhas simultaneamente.

Recomenda-se em optar pela realização de ensaios com aplicações simultâneas de cargas em direções distintas, representando assim os estados de tensão complexos e analisar o efeito acumulativo das condições nos mecanismos de falha. Também deve-se considerar o tipo de ruptura conforme a espécie manipulada.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 7190. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190:Projeto de estruturas de madeira**.Rio de Janeiro. 1997.
- AMPARADO, K. F.; CARVALHO, A. M.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V. F. **Caracterização do rendimento em madeira serrada de Eucalyptus saligna Smith nas condições verde e seca**. Revista Forestal Venezolana, v. 52, n. 1, p. 71-76.Mérida. 2008.
- BEER, F.P.; JOHNSTON JR. E.R. **Resistência dos Materiais**. 3ª Ed. São Paulo. 1995.
- BENJAMIN, C. A. **Estudo da estrutura anatômica e das propriedades físicas e mecânicas da madeira de corymbia (eucalyptus) citriodora e Eucalyptus grandis**.Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”.Botucatu. 2006.
- CALIL,J.C.;LAHR,F.A.R.;DIAS,A.A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira** – Barueri, SP: Manole, 2003.
- CARRASCO,E.V.M. **Estruturas usuais de madeira – EES 044**. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS .Belo Horizonte.2006.
- CERVI,C.R.D. **Influência da madeira como material de construção visando a sustentabilidade**. UNIVERSIDADE DO PLANALTO CATARINENSE NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS.Lages.2014.
- EIDT,A.K.; MERLIN,R.B.R.;CAPELLAZZI.R.**Obtenção do valor do módulo de elasticidade da madeira por meio de ensaios expeditos**.Curitiba.2014.
- FERREIRA, S. **Lenho de tração em Eucalyptus spp. cultivado em diferentes topografias**. Tese de Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira – Universidade Federal de Lavras.Lavras. 2007.
- GONÇALEZ. J. C.; BREDAS, L. C. S.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. **Características tecnológicas das madeiras de Eucalyptus grandis W.Hill ex Maiden e Eucalyptus cloeziana F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira**. Ciência Florestal, v. 16, n. 3, p. 329-341. Santa Maria.2006.

- MELO, J. E. **Influência das dimensões dos corpos de prova e da velocidade de ensaio na caracterização de três madeiras de espécies tropicais.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília. Brasília.2010.
- MORALES,E.A.M.;LAHR,A.R. **Determinação do módulo de elasticidade da madeira: análise do número de ciclos de carregamento** Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais e Departamento de Estruturas, EESC. USP de São Carlos.São Carlos.2002.
- MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira.** Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR. Curitiba.2010.
- MORESCHI, J.C. **Propriedades da madeira.** Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias/UFPR. Curitiba.2014.
- MULLER, B. V.; ROCHA, M. P.; CUNHA, A. B.; KLITZKE, R. J.; NICOLLETI, M. F. **Avaliação das principais propriedades físicas e mecânicas da madeira de Eucalyptus benthamii Maiden et Cambage.** Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 21,n.4,p.542.Rio do Sul/SC.2014.
- PEREIRA, A. F. **Madeiras brasileiras: guia de combinação e substituição.**p132.São Paulo.2013.
- PFEIL, W.; PFEIL,M.S. **Estruturas de madeira** – Rio de Janeiro, RJ: LTC – Livros técnicos e científicos editora, 2003.
- SALES,A.; PORTELLA,K. F.;GRIGOL, E. J.;RECH,P.**Procedimentos para o Aumento da Durabilidade de Postes de Madeira Utilizados em Redes de Distribuição.**II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica.2003.
- SCALIANTE, R. M.; ALMEIDA, D. H.; MACEDO, L. B. **Ensaio de fluência e de compressão paralela às fibras para situações da madeira à umidade de equilíbrio e saturada.** Revista Madeira: Arquitetura e Engenharia, v. 12, n. 30, p. 19-30.São Paulo.2011.
- SOUSA,J.W. P. **Propriedades físicas, mecânicas e anatômicas das madeiras de Eucalyptus cloeziana e de Eucalyptus urophylla oriundas dos municípios de turmalina e de Paraopeba (MG).** 2004.Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal).Universidade Federal de Viçosa.Viçosa. 2004.

SOUZA, W.R.Q. Inflência do lenho de reação na resistência mecânica da madeira de Eucalyptus sp. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas. 2016.

TRIANOSKI, R. Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2012.

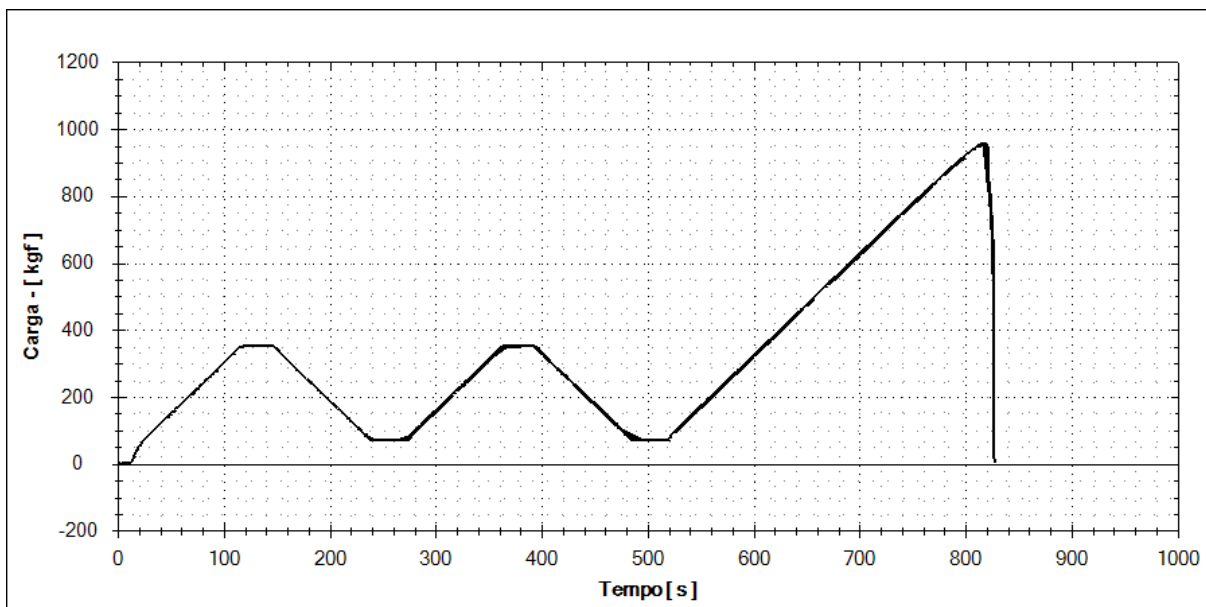
UNIÃO MADEIRAS-Usina de Eucalipto tratado. Cloeziana, ouro do Vale do Jequitinhonha. Capelinha-MG. 2018. Disponível em
<<https://uniaoeucaliptotratado.com/informativo/Cloeziana,-Ouro-do-Vale-do-Jequitinhonha-eucalipto-tratado-mg/11/>>. Acesso 18 de Dezembro de 2018.

VALLE, M. L. A. Propriedades da madeira de eucalipto de primeira e segunda rotação, visando a sua utilização como madeira preservada. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. p80. Viçosa. 2009.

ZENID, G.J. Madeira: uso sustentável na construção civil 2. ed. -- São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA, 2009. -- (Publicação IPT; 2010)

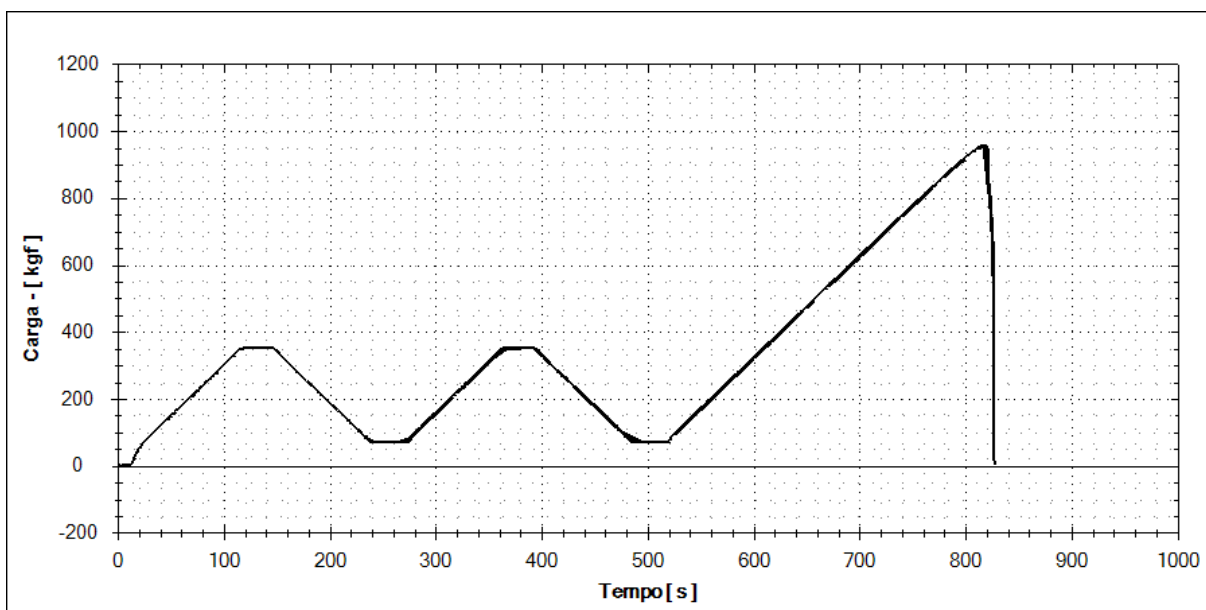
ANEXO 01: GRÁFICOS DE CARREGAMENTO E DESCARREGAMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA RIGIDEZ DA MADEIRA À COMPRESSÃO.

Figura 13: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP L1.

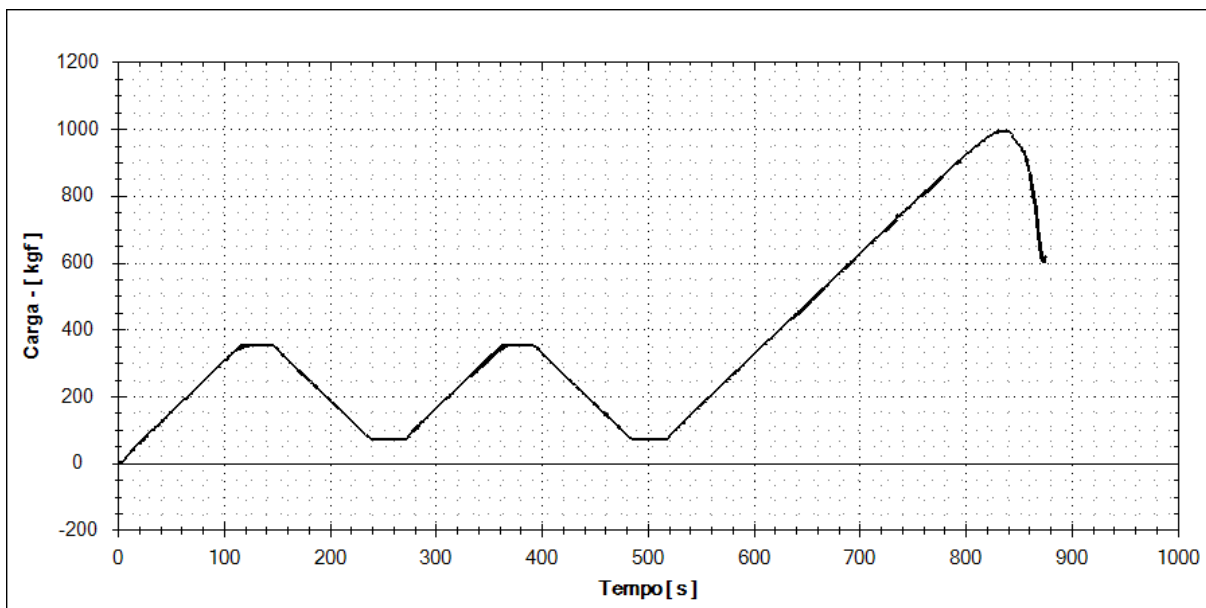


Fonte: Arquivo pessoal.

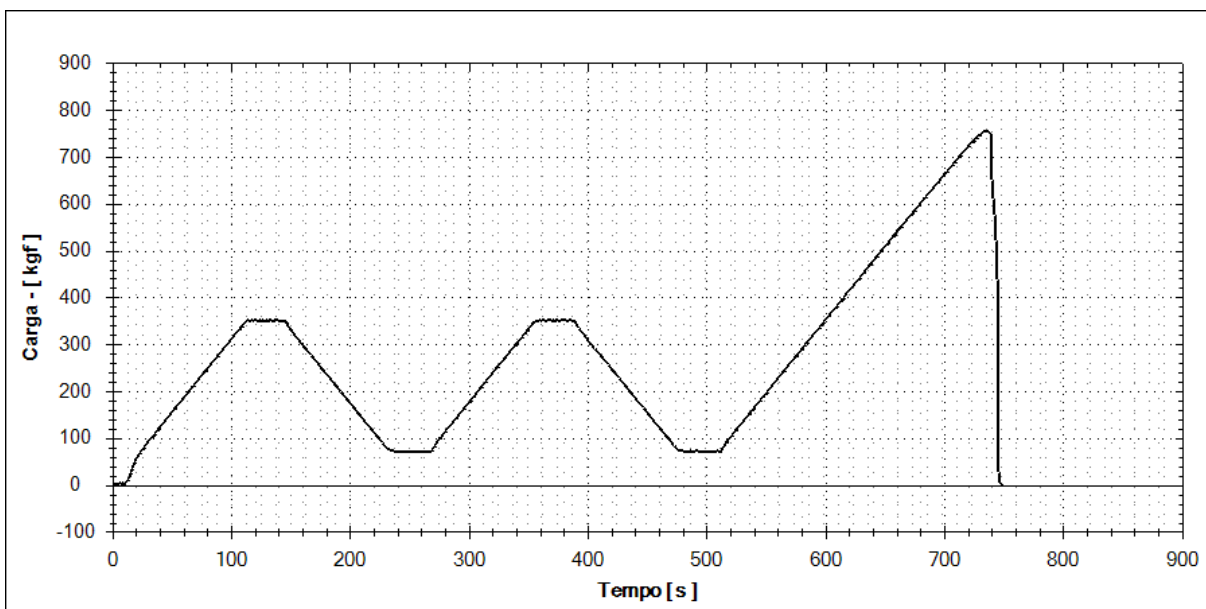
Figura 14: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP L2.



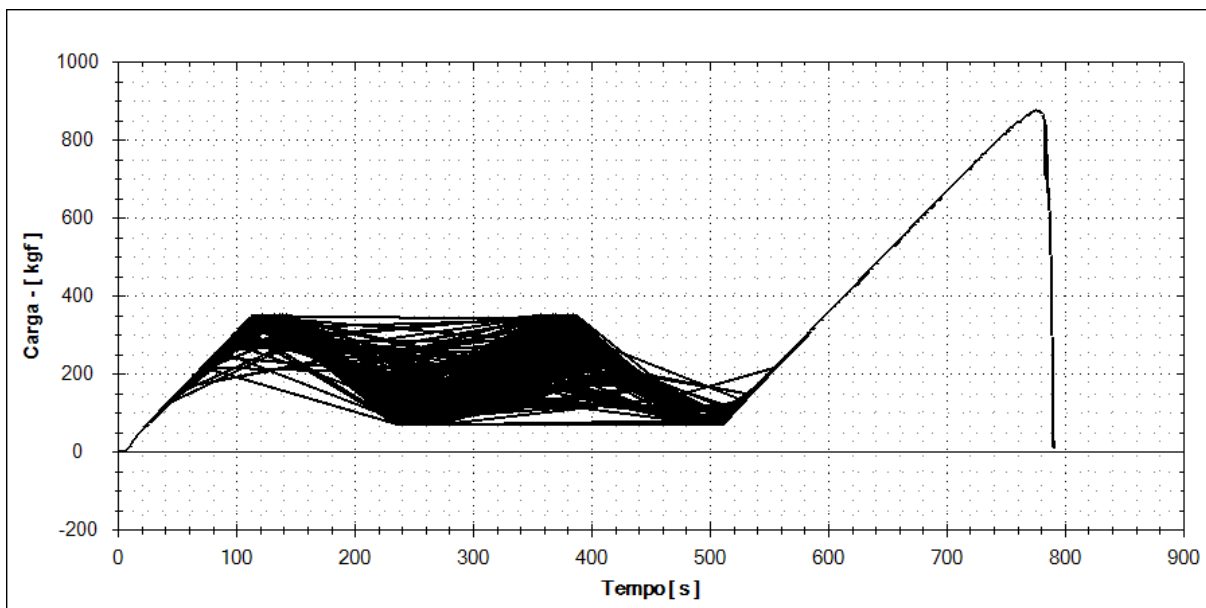
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura15: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP L3.

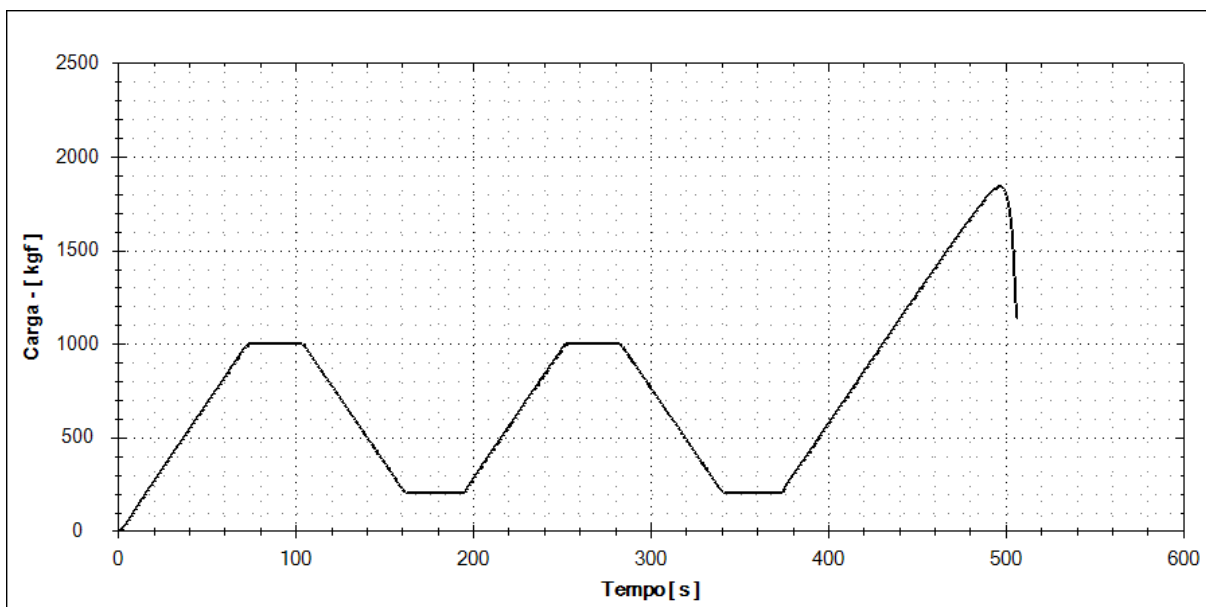
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 16: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP L4.

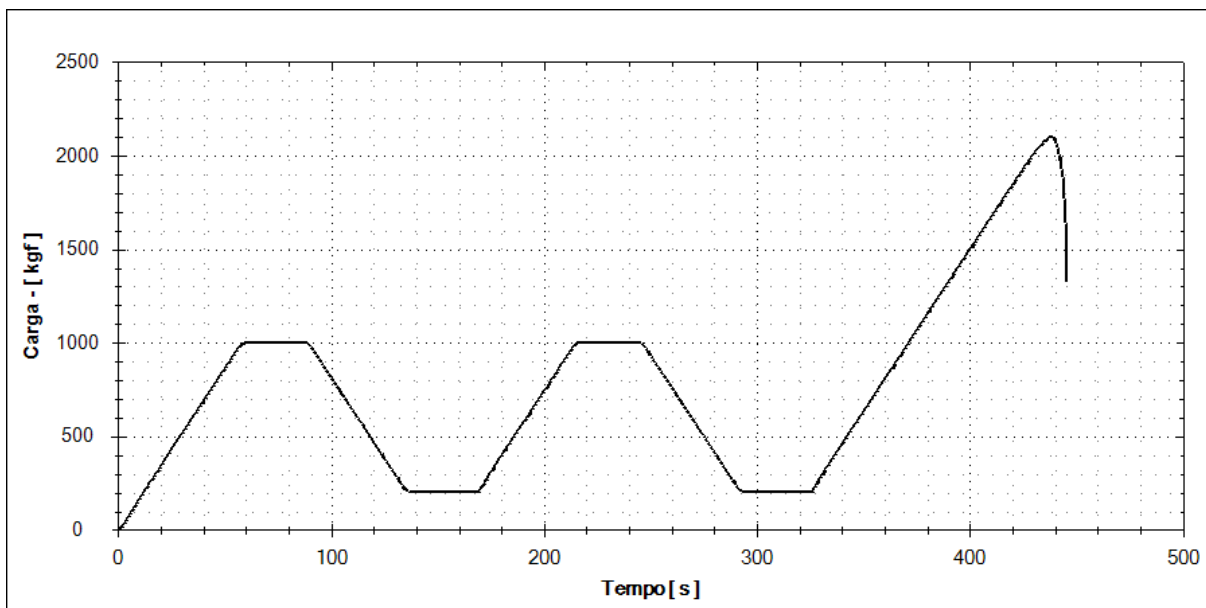
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 17:Diagrama de carregamento e descarregamento do CP L5.

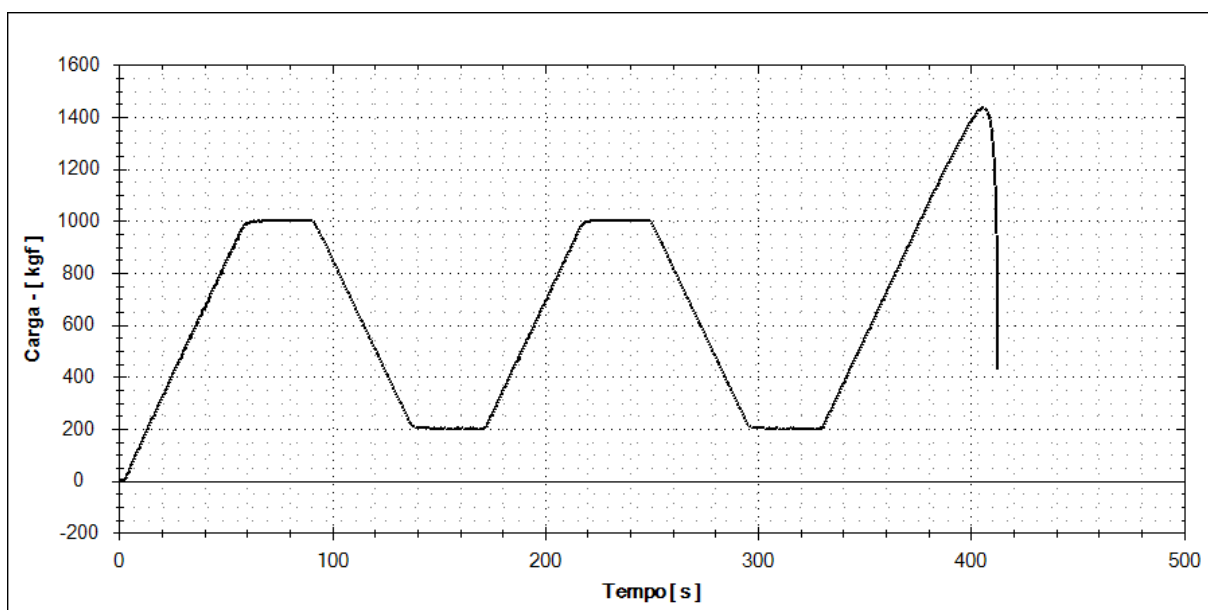
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 18:Diagrama de carregamento e descarregamento do CP M1.

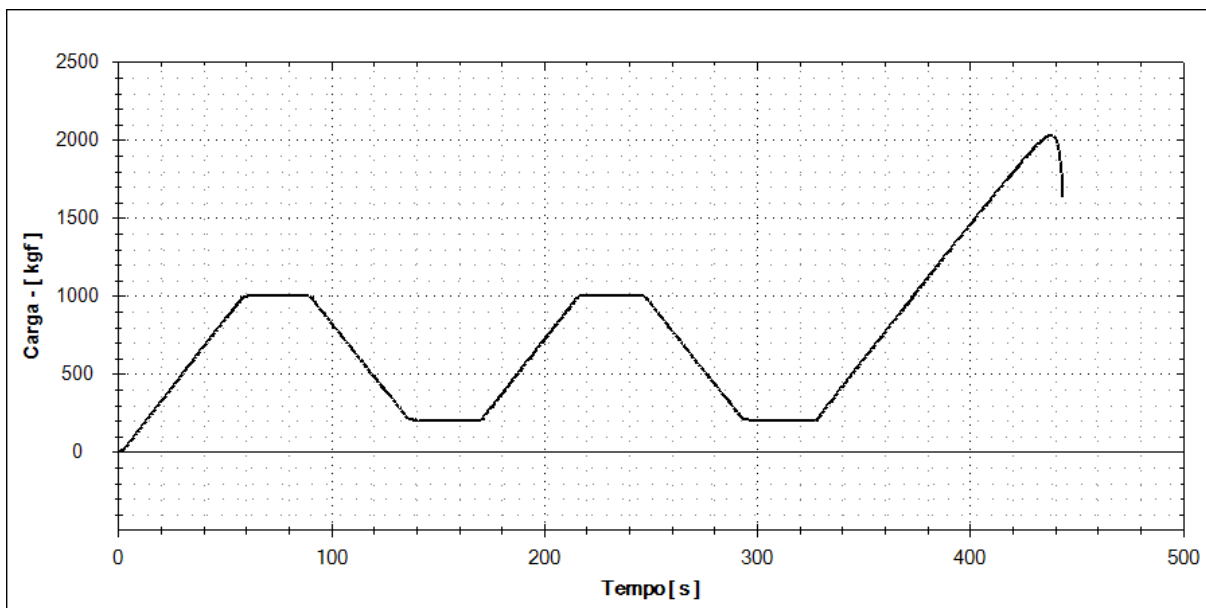
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 19:Diagrama de carregamento e descarregamento do CP M2.

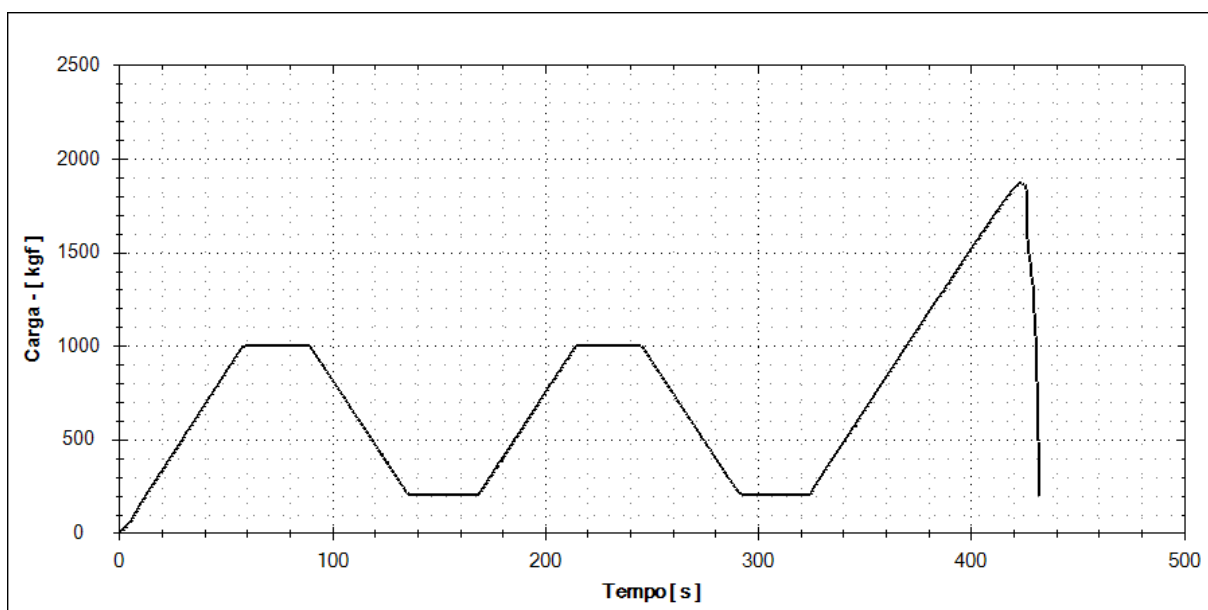
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 20:Diagrama de carregamento e descarregamento do CP M3.

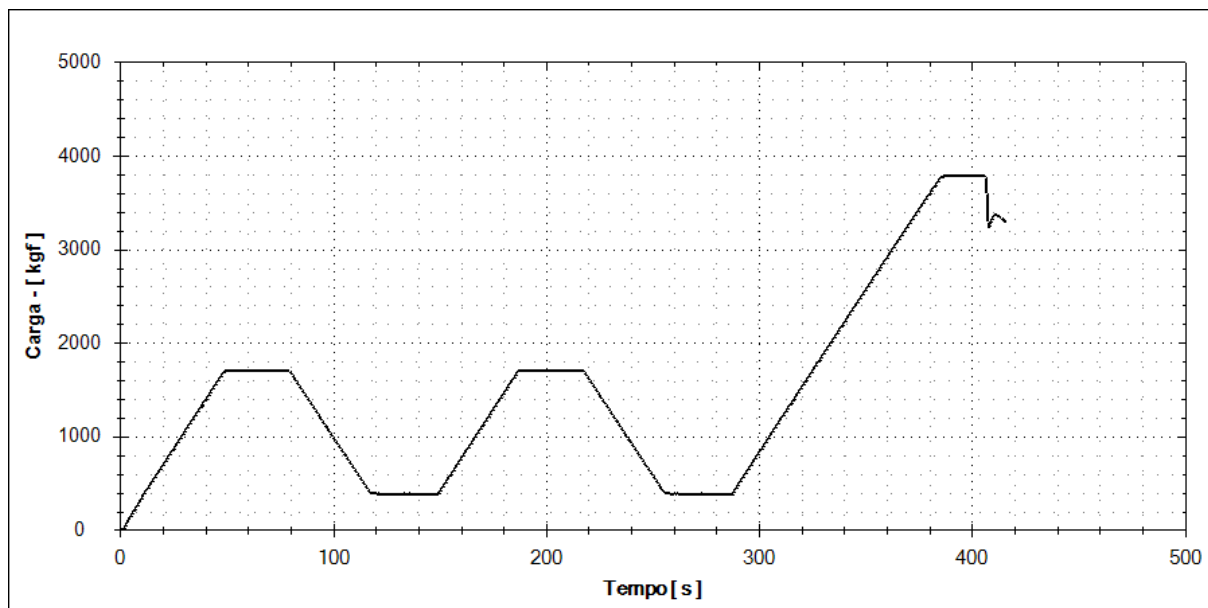
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura21:Diagrama de carregamento e descarregamento do CP M4.

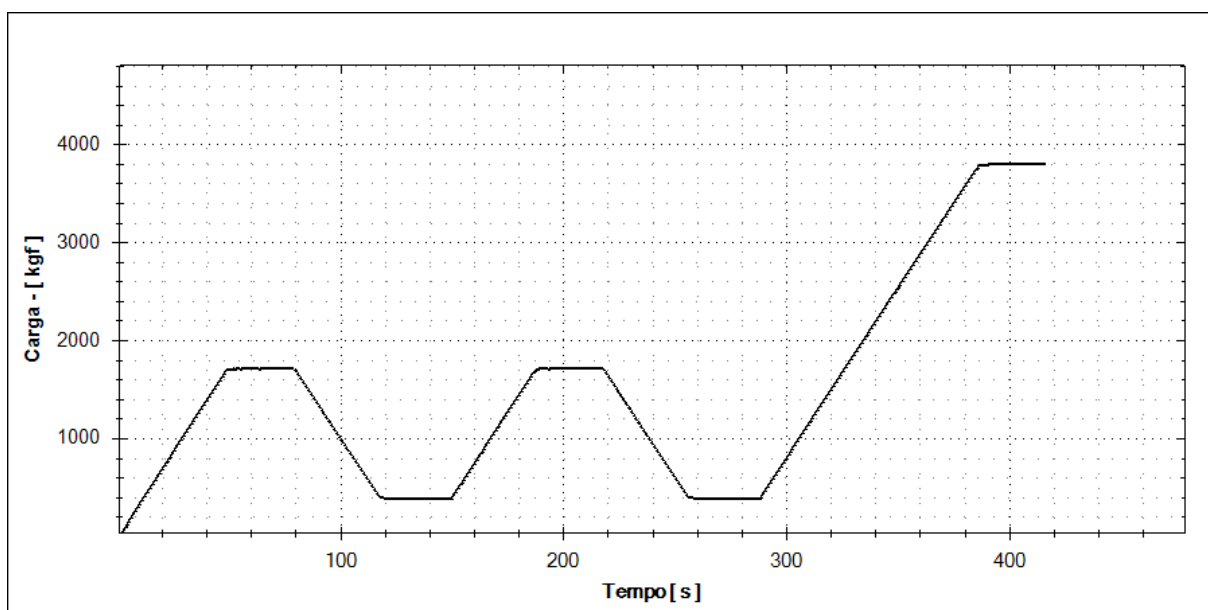
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 22:Diagrama de carregamento e descarregamento do CP M5.

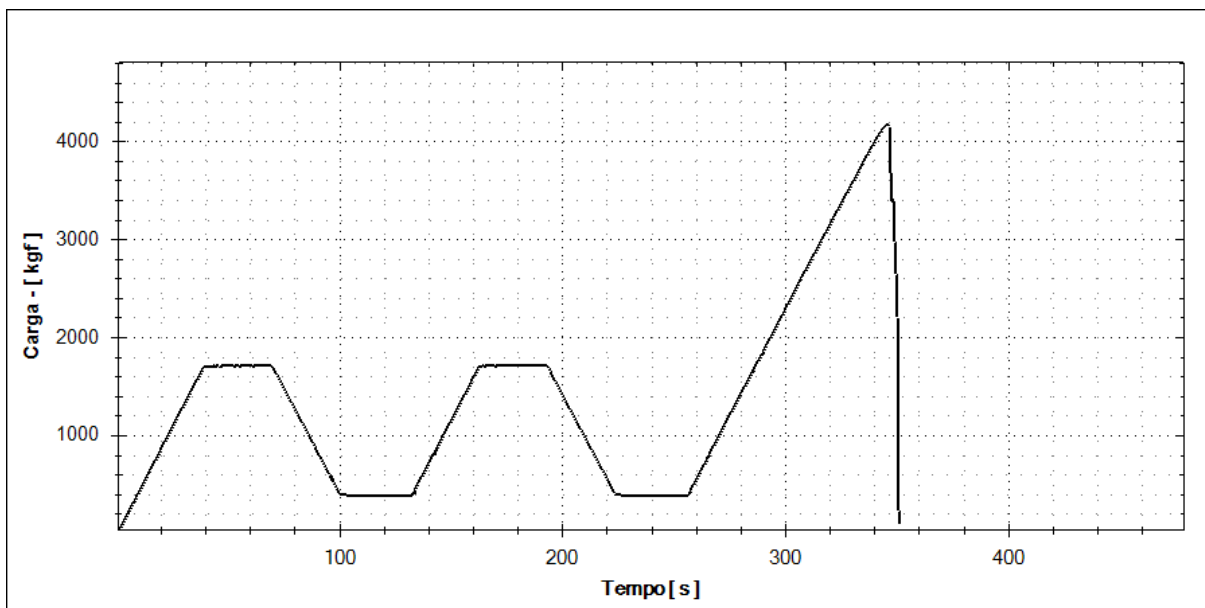
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 23:Diagrama de carregamento e descarregamento do CP N1.

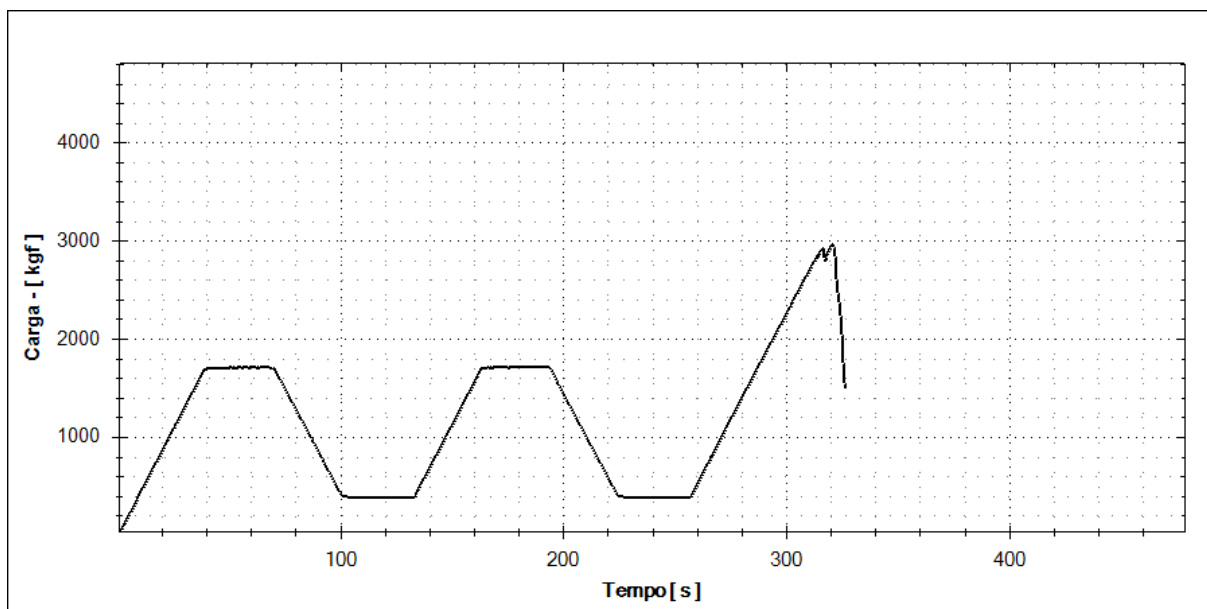
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 24:Diagrama de carregamento e descarregamento do CP N2.

Fonte: Arquivo pessoal.

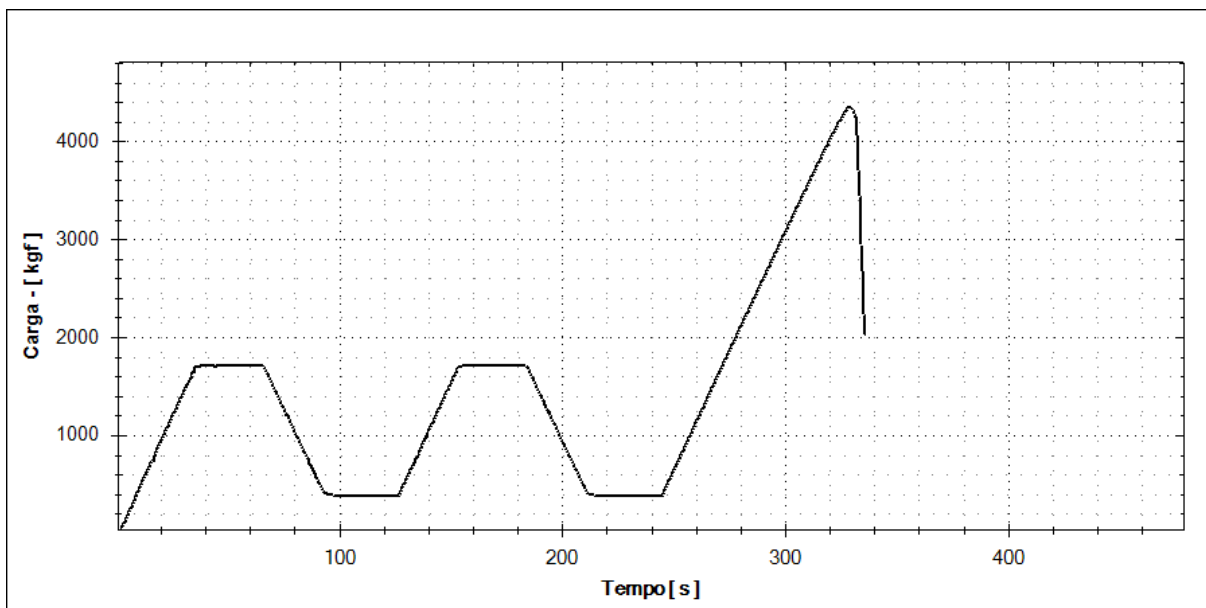
Figura 25:Diagrama de carregamento e descarregamento do CP N3.

Fonte: Arquivo pessoal.

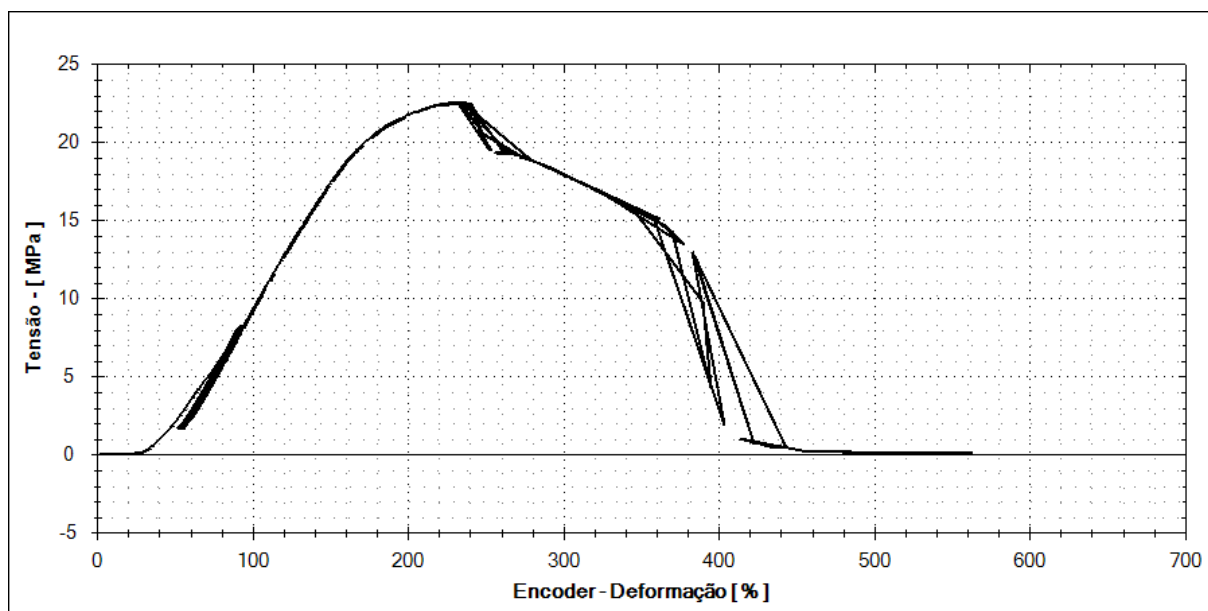
Figura 26:Diagrama de carregamento e descarregamento do CP N4.

Fonte: Arquivo pessoal.

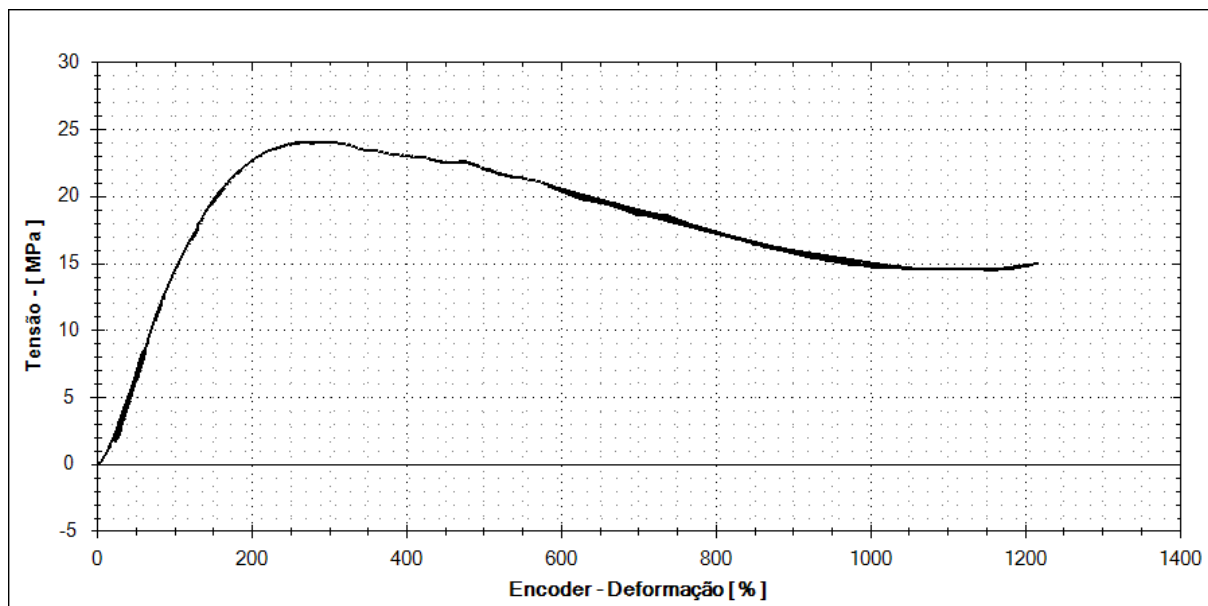
Figura 27: Diagrama de carregamento e descarregamento do CP N5.



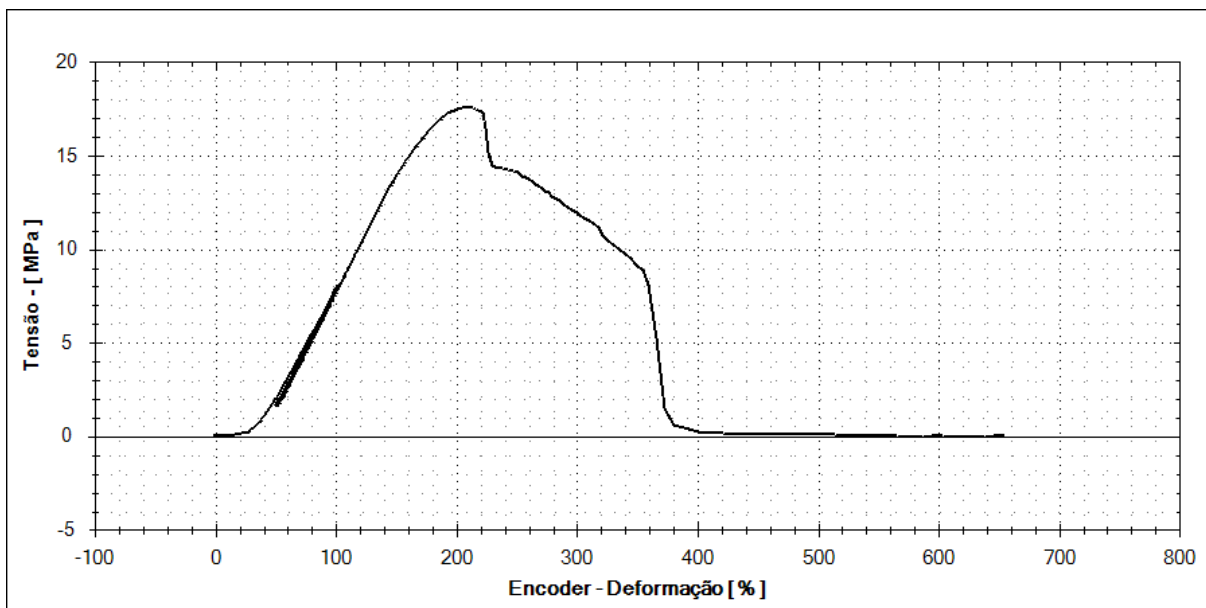
Fonte: Arquivo pessoal.

ANEXO 02: DIAGRAMA DE TENSÃO X DEFORMAÇÃO.**Figura 28:Diagrama de tensão x deformação do CP L1.**

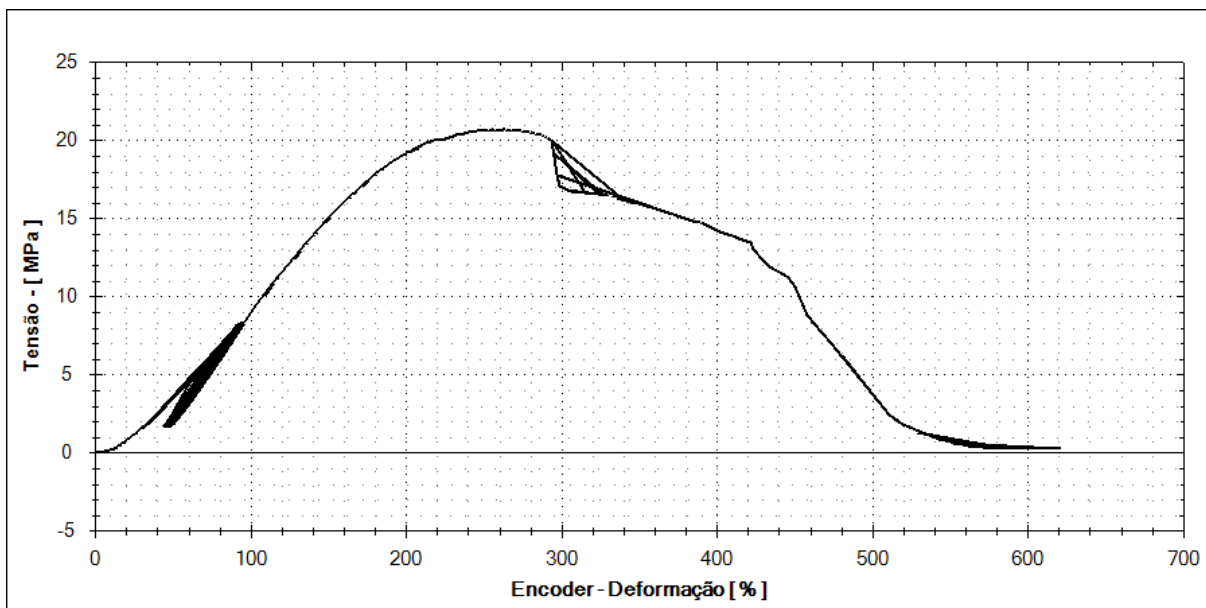
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 29:Diagrama de tensão x deformação do CP L3.

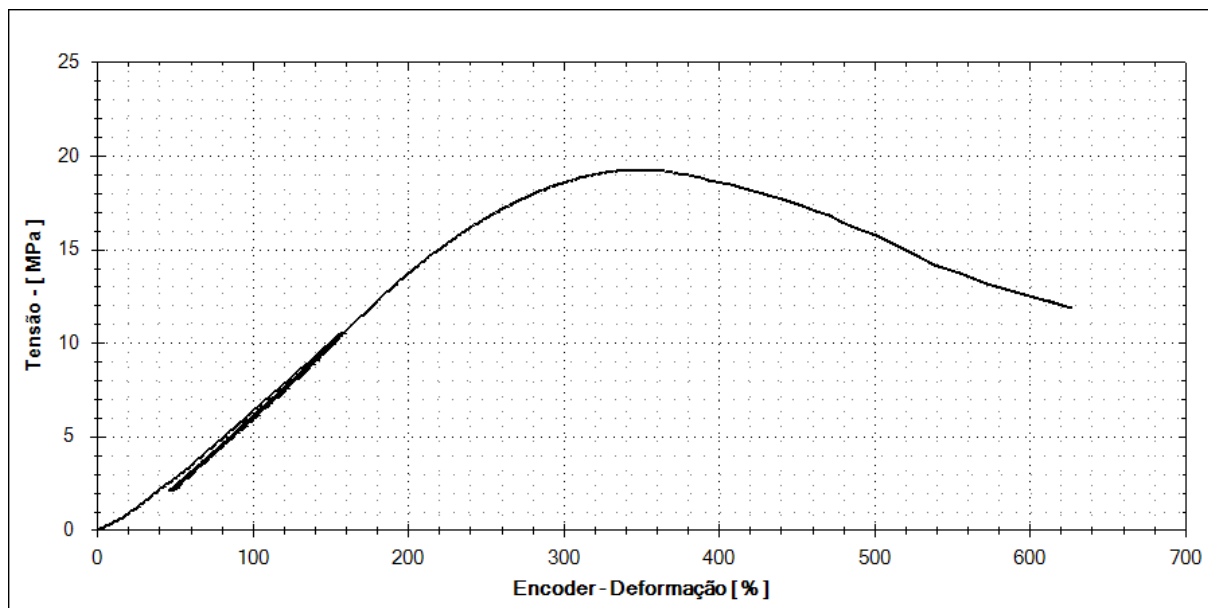
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 30:Diagrama de tensão x deformação do CP L4.

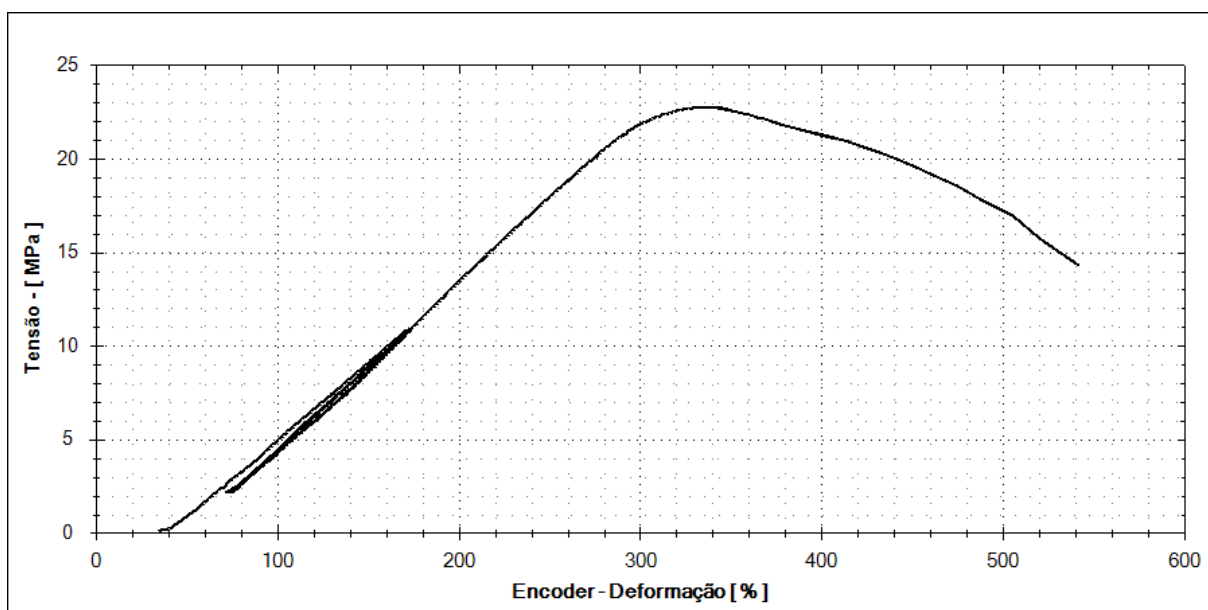
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 31:Diagrama de tensão x deformação do CP L5.

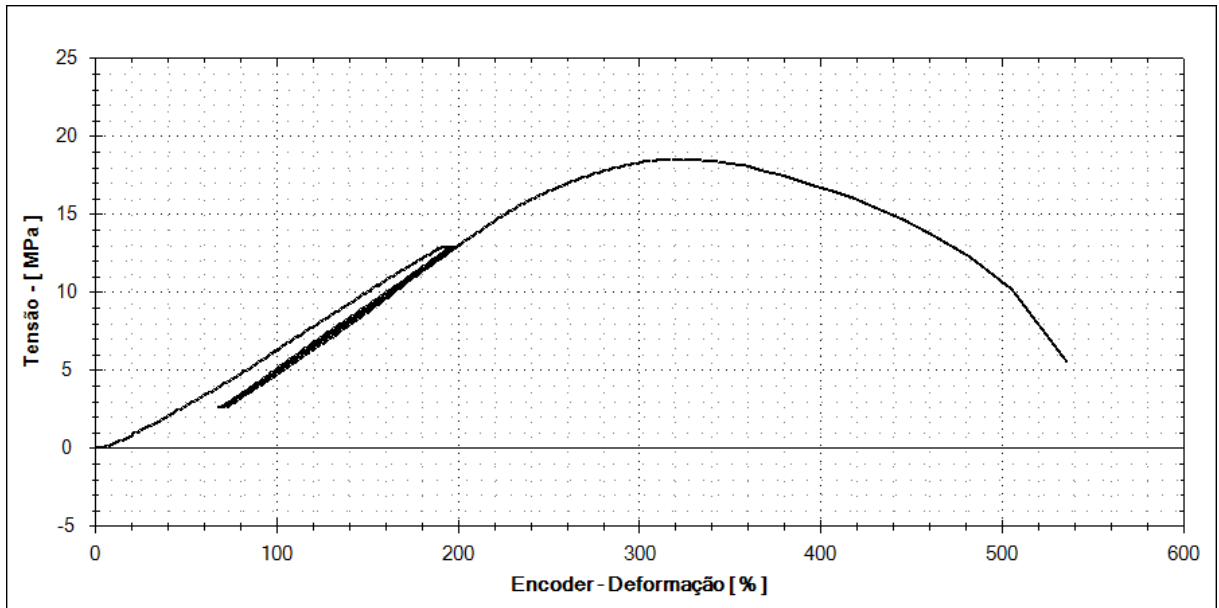
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 32:Diagrama de tensão x deformação do CP M1.

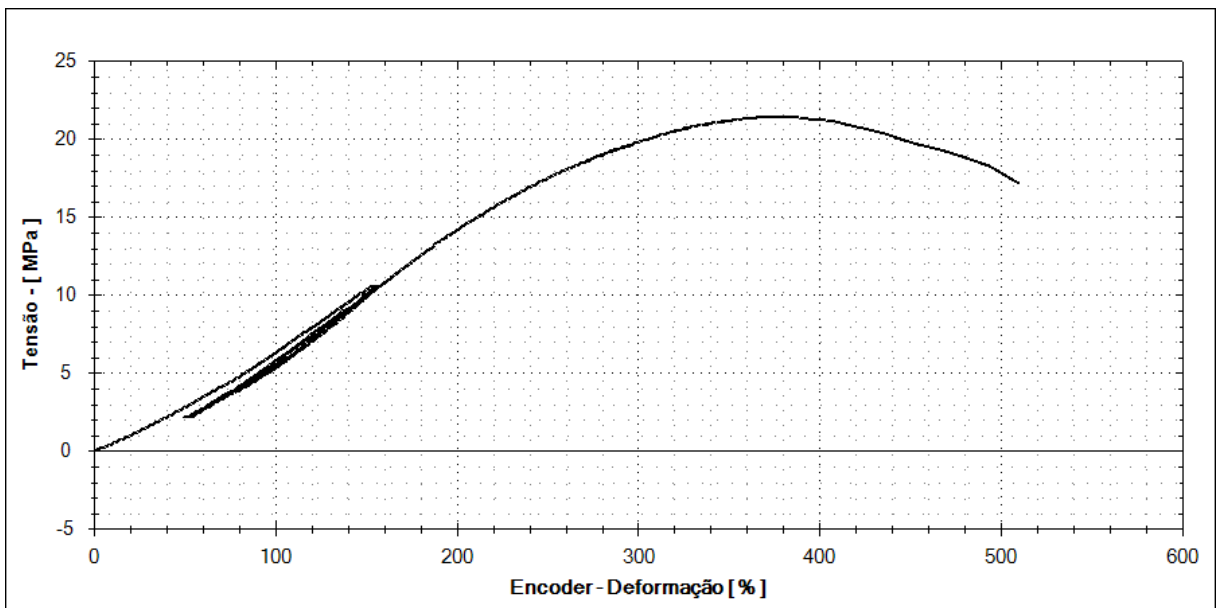
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 33:Diagrama de tensão x deformação do CP M2.

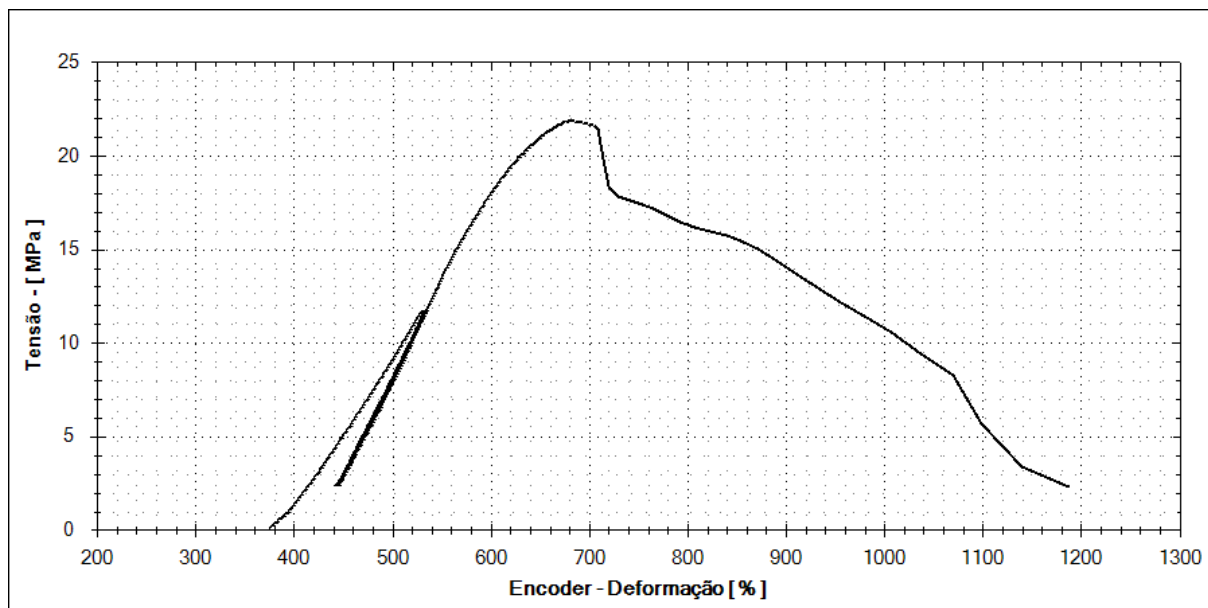
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 34:Diagrama de tensão x deformação do CP M3.

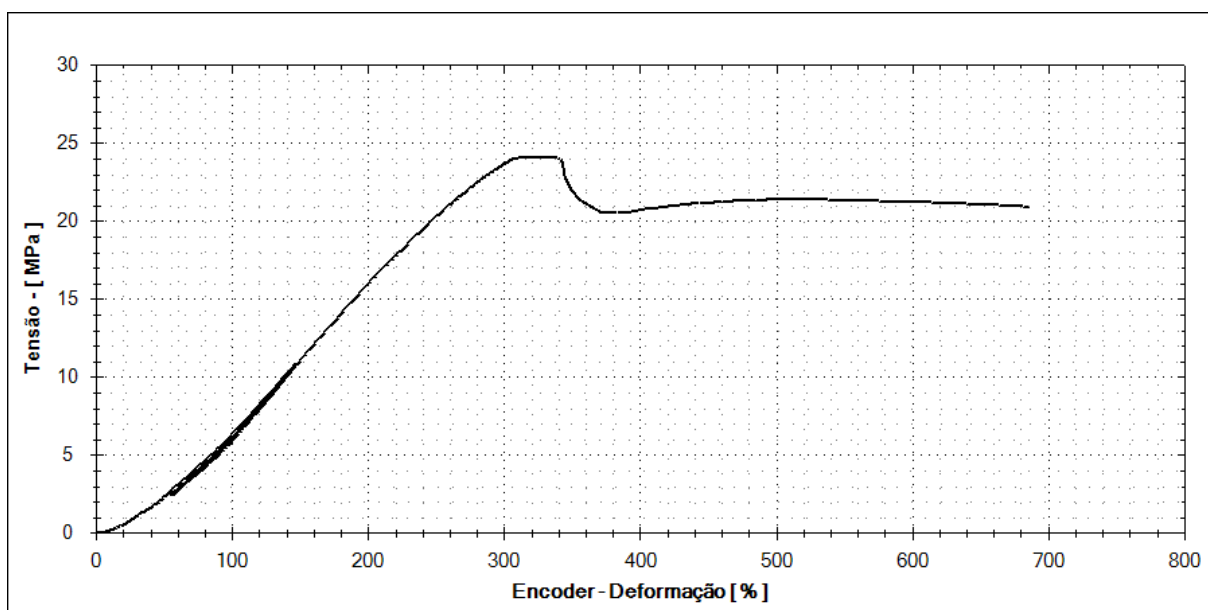
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 35:Diagrama de tensão x deformação do CP M4.

Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 36:Diagrama de tensão x deformação do CP M5.

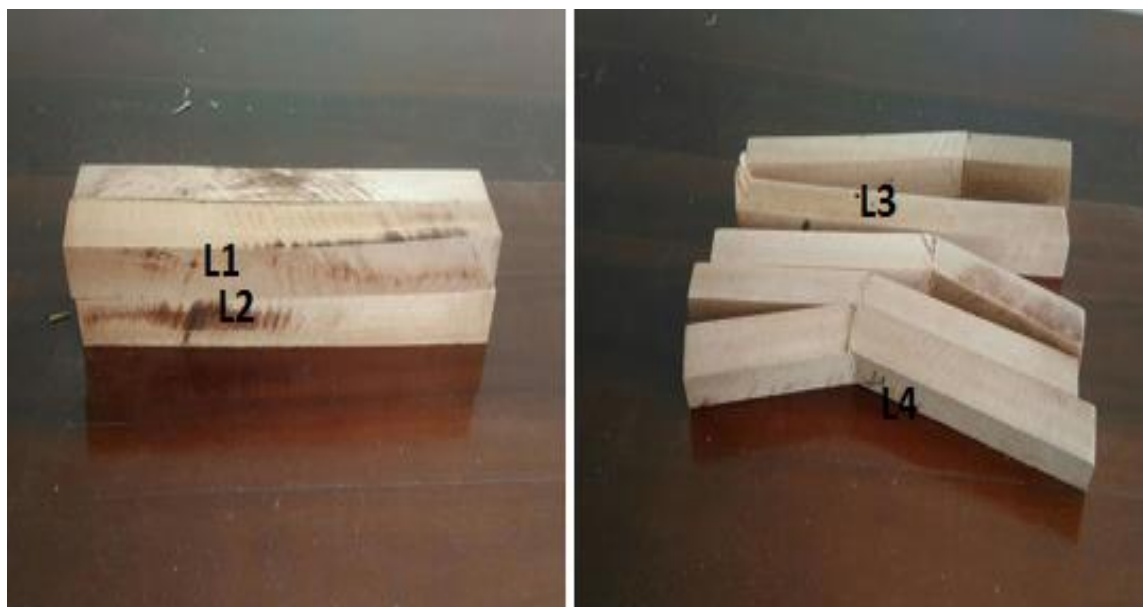
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 76:Diagrama de tensão x deformação do CP N1.

Fonte: Arquivo pessoal.

ANEXO 3- CORPOS-DE-PROVA ANTES E APÓS OS ENSAIOS DE COMPRESSÃO PARALELAS AS FIBRAS.

Figura 38:Corpos- de- prova 20x20x300 mm antes (esquerda) e após (direita) ensaios.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 39:Corpos- de- prova 30x30x450 mm antes (esquerda) e após (direita) ensaios.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 40:Corpos- de- prova 40x40x600 mm antes (esquerda) e após (direita) ensaios.



Fonte: Arquivo pessoal.