



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS – CAMPUS PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

ADRIANO SOUSA SANTOS

**ANÁLISE SOBRE A VARIABILIDADE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-
MECÂNICAS DE MADEIRA SERRADA DE EUCALIPTO COMERCIALIZADA NA
CIDADE DE PALMAS-TO**

PALMAS-TO

2019



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS – CAMPUS PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

ADRIANO SOUSA SANTOS

**ANÁLISE SOBRE A VARIABILIDADE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-
MECÂNICAS DE MADEIRA SERRADA DE EUCALIPTO COMERCIALIZADA NA
CIDADE DE PALMAS-TO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do curso de
Engenharia Civil do Instituto Federal do
Tocantins - Campus Palmas, como exigência
à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Ma. Rebeca Freitas de
Vasconcelos

Co-Orientador: Prof. Dr. Antonio Rafael de
Souza Alves Bôssó

PALMAS-TO

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

ADRIANO SOUSA SANTOS

ANÁLISE SOBRE A VARIABILIDADE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE MADEIRA SERRADA DE EUCALIPTO COMERCIALIZADA NA CIDADE DE PALMAS-TO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas, como exigência à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA AVALIADORA

Prof^a. Ma. Rebeca Freitas Vasconcelos
Orientadora

Prof. Dr. Antonio Rafael de Souza Alves Bôso
Co-Orientador

Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedroso

Prof. Dr. Moacyr Salles Neto

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família e à minha namorada
Jenyffer Ribeiro Bandeira que tanto me apoiaram nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para concluir esta longa e satisfatória jornada.

Destaco aqui meu agradecimento a orientadora Prof^a. Ma. Rebeca Freitas Vasconcelos e ao co-orientador Prof. Dr. Antonio Rafael de Sousa Alves Bôso, pela maestria com que me guiaram nesta trajetória, e assim me ajudaram a concluir este trabalho com êxito. Expresso também a minha gratidão aos professores Dr. Moacyr Salles Neto e Dr. Adriano dos Guimarães de Carvalho pelo imensurável apoio que deram para a realização dos ensaios físicos e mecânicos no laboratório do Instituto Federal do Tocantins, *Campus* Palmas.

Aos meus colegas de sala pelos diversos aprendizados no âmbito pessoal e profissional no transcorrer desta formação acadêmica.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família e a minha namorada Jenyffer Ribeiro Bandeira, pois o esforço de cada um deles em me ajudar com este objetivo foi essencial nessa conquista.

Enfim, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização desta formação, mais uma vez, muito obrigado!

RESUMO

SANTOS, A. S. **Análise sobre a variabilidade das propriedades físico-mecânicas de madeira serrada de eucalipto comercializada na cidade de Palmas-TO.** 2019. 82 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2019.

O Brasil se destaca mundialmente pela produtividade do eucalipto e o estado do Tocantins no cenário nacional pelo crescimento exponencial desde o ano de 2010. No entanto, este gênero ainda não é largamente empregado na construção civil, embora tenha grande disponibilidade e as resistências mecânicas obtidas foram superiores a 40 MPa para tração paralela, 30 MPa para compressão paralela, 10 MPa para compressão normal e 5 MPa para cisalhamento. No presente trabalho foram analisadas por meio de ensaios laboratoriais as propriedades físicas e mecânicas para classificação de resistências conforme a NBR 7190/97, bem como as respectivas variações dessas propriedades do eucalipto comercializado na cidade de Palmas-TO, tratado e não tratado. No que se refere a densidade básica, o eucalipto comercializado na região se enquadra na classe C 30 e o não tratado na classe C 20, porém o não tratado apresenta uma tendência para a classe C 30, uma vez que a densidade básica ficou próxima de 650 kg/m^3 e resultados mecânicos iguais ou superiores a C 30. Para a resistência paralela às fibras, tanto o eucalipto tratado quanto o eucalipto não tratado foram classificados em C 30. Referente ao cisalhamento paralelo às fibras, o eucalipto tratado se enquadrou na classe C 30 e o eucalipto não tratado na classe C 60. Desta forma, verificou-se que o enquadramento de classe pode ser diferente para cada propriedade mecânica, sendo que estes não podem ser exclusivamente determinados pela densidade básica, mesmo que tenha sido constatada a relação direta desta com as propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Eucalipto. Madeira. Propriedade física. Propriedade mecânica. Variabilidade.

ABSTRACT

SANTOS, A. S. Analysis on the variability of physical and mechanical properties of eucalyptus timber marketed in Palmas-TO. 2019. 82 p. Course Completion Work (Bachelor Degree) – Civil Engineering. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2019.

Brazil stands out worldwide for its eucalyptus productivity and the state of Tocantins has been nationally known for its exponential growth since 2010. However, this genus is not yet widely used in construction, although it has great availability and the mechanical strengths obtained were greater than 40 MPa for parallel traction, 30 MPa for parallel compression, 10 MPa for normal compression and 5 MPa for shear. In the present work, the physical and mechanical properties were analyzed by laboratory tests for classification of resistance according to NBR 7190/97, as well as the respective variations of these properties of eucalyptus commercialized in the city of Palmas-TO, treated and untreated. From the perspective of basic density, the treated eucalyptus marketed in the region of Palmas-TO fits in the class C 30 and the untreated in the class C 20, but the untreated tends to class C 30, since the basic density was close to 650 kg/m³ and the mechanical results equal to or above C 30. For compression parallel to grain, both treated and untreated eucalyptus were classified as C 30. For shear parallel to grain, the treated eucalyptus was classified as class C 30 and the untreated eucalyptus in class C 60. Thus, it was found that the class framing may be different for each mechanical property, and these cannot be exclusively determined by the basic density, even if there is a direct relationship between the basic density with the mechanical properties.

Palavras-chave: Eucalyptus. Timber. Physical property. Mechanical property. Variability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produtividade e rotação média no Brasil <i>versus</i> outros importantes <i>players</i> mundias.....	11
Figura 2. Esquema para extração de corpos de prova das peças.....	12
Figura 3. Corpo de prova para ensaios de umidade, densidade e estabilidade dimensional, unidade de medida em centímetros	16
Figura 4. Corpo de prova para ensaio de compressão paralela às fibras, medidas em centímetros	18
Figura 5. Corpo de prova para ensaio de tração paralela às fibras, medidas em centímetros	20
Figura 6. Corpo de prova para ensaio de compressão normal às fibras	21
Figura 7. Corpo de prova para ensaio de tração normal às fibras, medidas em centímetros	22
Figura 8. Corpo de prova para ensaio de cisalhamento, medidas em centímetros ..	23
Figura 9. Corpo de prova para ensaio de flexão, medidas em centímetros	24
Figura 10. Corpo de prova para ensaio de dureza, medidas em centímetros	25
Figura 11. Medição de massa seca em balança com precisão de 0,001 g	31
Figura 12. Câmara de secagem	32
Figura 13. Saturação dos corpos de prova.....	33
Figura 14. Medição do corpo de prova com uso de paquímetro.....	33
Figura 15. Ensaio de compressão paralela às fibras.....	34
Figura 16. Corpos de prova para ensaio de tração paralela às fibras	35
Figura 17. Ensaio de compressão normal às fibras.....	36
Figura 18. Corpos de prova para ensaio de tração normal às fibras	37
Figura 19. Corpo de prova para ensaio mecânico de cisalhamento	38
Figura 20. Ensaio mecânico de cisalhamento	38
Figura 21. Corpos de prova para ensaio de flexão	39
Figura 22. Ensaio mecânico de dureza Janka paralela às fibras.....	40
Figura 23. Ensaio mecânico de dureza Janka normal às fibras	40
Figura 24. Diagrama de caixa com mediana e variações - compressão paralela.....	45
Figura 25. Diagrama de caixa com média e variações - compressão paralela	46
Figura 26. Diagrama de caixa com mediana e variações - compressão normal	50

Figura 27. Diagrama de caixa com média e variações - compressão normal	50
Figura 28. Diagrama de caixa com mediana e variações - cisalhamento.....	52
Figura 29. Diagrama de caixa com média e variações - cisalhamento.....	53
Figura 30. Diagrama de caixa com mediana e variações - dureza paralela	54
Figura 31. Diagrama de caixa com média e variações - dureza paralela	55
Figura 32. Diagrama de caixa com mediana e variações - dureza normal.....	58
Figura 33. Diagrama de caixa com média e variações - dureza normal.....	59
Figura 34. Resultado para compressão paralela às fibras (Empresa A).....	68
Figura 35. Resultado para compressão paralela às fibras (Empresa B)	68
Figura 36. Resultado para compressão normal às fibras (Empresa A)	69
Figura 37. Resultado para compressão normal às fibras (Empresa B)	69
Figura 38. Resultado para cisalhamento paralelo às fibras (Empresa A)	70
Figura 39. Resultado para cisalhamento paralelo às fibras (Empresa B).....	70
Figura 40. Resultado para dureza paralela às fibras (Empresa A)	71
Figura 41. Resultado para dureza paralela às fibras (Empresa B).....	71
Figura 42. Resultado para dureza normal às fibras (Empresa A).....	72
Figura 43. Resultado para dureza normal às fibras (Empresa B).....	72
Figura 44. Gráfico de probabilidade normal para compressão paralela às fibras (Empresa A)	73
Figura 45. Gráfico de probabilidade normal para compressão paralela às fibras (Empresa B)	73
Figura 46. Resumo gráfico para compressão paralela às fibras (Empresa A).....	74
Figura 47. Resumo gráfico para compressão paralela às fibras (Empresa B).....	74
Figura 48. Gráfico de probabilidade normal para compressão normal às fibras (Empresa A)	75
Figura 49. Gráfico de probabilidade normal para compressão normal às fibras (Empresa B)	75
Figura 50. Resumo gráfico para compressão normal às fibras (Empresa A)	76
Figura 51. Resumo gráfico para compressão normal às fibras (Empresa B)	76
Figura 52. Gráfico de probabilidade normal para cisalhamento paralelo às fibras (Empresa A)	77
Figura 53. Gráfico de probabilidade normal para cisalhamento paralelo às fibras (Empresa B)	77
Figura 54. Resumo gráfico para cisalhamento paralelo às fibras (Empresa A)	78

Figura 55. Resumo gráfico para cisalhamento paralelo às fibras (Empresa B).....	78
Figura 56. Gráfico de probabilidade normal para dureza paralela às fibras (Empresa A)	79
Figura 57. Gráfico de probabilidade normal para dureza paralela às fibras (Empresa B)	79
Figura 58. Resumo gráfico para dureza paralela às fibras (Empresa A)	80
Figura 59. Resumo gráfico para dureza paralela às fibras (Empresa B)	80
Figura 60. Gráfico de probabilidade normal para dureza normal às fibras (Empresa A)	81
Figura 61. Gráfico de probabilidade normal para dureza normal às fibras (Empresa B)	81
Figura 62. Resumo gráfico para dureza normal às fibras (Empresa A)	82
Figura 63. Resumo gráfico para dureza normal às fibras (Empresa B).....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Histórico da área plantada com árvores de eucalipto, 2010-2016.....	9
Tabela 2. Valores médios de propriedades da madeira de 15 espécies de eucalipto	17
Tabela 3. Classes de resistência das dicotiledôneas na umidade padrão de 12% ...	26
Tabela 4. Levantamento de quantitativo de corpos de prova	30
Tabela 5. Resultados para Teor de Umidade (TU).....	41
Tabela 6. Resultado para Densidade Básica (DB) com frequência de 1 hora	42
Tabela 7. Resultado para Densidade Básica (DB) com frequência de 8 horas.....	42
Tabela 8. Resultado para Estabilidade Dimensional (ED).....	43
Tabela 9. Resistência característica para compressão paralela às fibras.....	44
Tabela 10. Resultado estatístico para compressão paralela às fibras	44
Tabela 11. Resistência característica de compressão normal às fibras	47
Tabela 12. Resultado estatístico para compressão normal às fibras	47
Tabela 13. Aspectos visuais dos corpos de prova para compressão normal da empresa A e as respectivas resistências.....	48
Tabela 14. Resistência característica de cisalhamento.....	51
Tabela 15. Resultado estatístico para cisalhamento	51
Tabela 16. Resistência característica de dureza paralela às fibras	53
Tabela 17. Resultado estatístico para dureza paralela às fibras.....	54
Tabela 18. Resistência característica de dureza normal às fibras	55
Tabela 19. Resultado estatístico para dureza normal às fibras.....	56
Tabela 20. Análise sobre o ponto de aplicação do ensaio de dureza janka na direção normal às fibras.....	56
Tabela 21. Comparativo entre os resultados obtidos por meio de norma e ensaio...	59
Tabela 22. Comparativo entre os resultados obtidos por meio de ensaios e correlação matemática	60
Tabela 23. Comparativo de classificação de resistências para empresa A e B.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
COPANT	Comissão Panamericana de Normas Técnicas
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
IFTO	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LaMEM	Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras
Mín.	Mínimo
Máx.	Máximo
NBR	Norma Brasileira
USP	Universidade de São Paulo

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras romanas maiúsculas

A	Altura
A_i	Área inicial da seção transversal comprimida
A_v	Área resistente ao cisalhamento
A_{v0}	Área inicial da seção crítica do corpo de prova em um plano paralelo às fibras
C	Comprimento
CP	Corpo de prova
CV	Coeficiente de variação
Dap	Massa específica aparente a 12% de umidade
DB	Densidade básica
E_{c0}	Módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras
$E_{c0,m}$	Módulo de elasticidade na compressão paralela, valor médio
ED	Estabilidade dimensional
E_{w0}	Módulo de elasticidade paralela às fibras
E_{w90}	Módulo de elasticidade normal às fibras
$F_{c0,máx.}$	Máxima força de compressão aplicada ao corpo de prova durante o ensaio
$F_{v0,máx.}$	Máxima força cisalhante aplicada ao corpo de prova durante o ensaio
L	Largura
MPa	Mega Pascal
MPa/min	Mega Pascal por minuto
N	Quantidade de dados
SD	Desvio padrão
SE	Erro padrão
TU	Teor de umidade
V_{sat}	Volume da madeira saturada
V_{seca}	Volume da madeira seca
V_{12}	Volume da madeira a 12% de umidade

Letras romanas minúsculas

f_{c0}	Resistência à compressão paralela às fibras
$f_{c0,k}$	Resistência à compressão paralela, valor característico
f_H	Dureza

$f_{t0,k}$	Resistência à tração paralela, valor característico
f_v	Resistência ao cisalhamento
$f_{v,k}$	Resistência ao cisalhamento, valor característico
f_{v0}	Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras
g	gramas
kg/m^3	Quilogramas por metro cúbico
m_i	Massa inicial da madeira
min	Minuto
mm	Milímetro
m_s	Massa da madeira seca
m_{12}	Massa da madeira a 12% de umidade
n	Número de corpos de prova ensaiados
s	Desvio padrão amostral da resistência
s^2	Variância amostral da resistência
$\bar{x}$	Resistência média

Letras gregas minúsculas

δ	Tensões de compressão
ε	Deformação específica no corpo de prova
ε_r	Deformação específicas de retração
ε_i	Índice de estabilidade dimensional
ΔV	Variação volumétrica
$\rho_{ap,m}$	Densidade aparente, valor médio
$\rho_{bas,m}$	Densidade básica da madeira, valor médio

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	3
2.	PROBLEMA DE PESQUISA.....	4
3.	JUSTIFICATIVA	5
4.	OBJETIVOS	6
4.1.	Objetivo geral	6
4.2.	Objetivos específicos	6
5.	REVISÃO DE LITERATURA.....	7
5.1.	Histórico do uso da madeira no Brasil	7
5.2.	Propriedades físicas e mecânicas da madeira	11
5.2.1.	<i>Propriedades físicas</i>	<i>12</i>
5.2.1.1.	<i>Umidade, densidade básica e estabilidade dimensional.....</i>	<i>13</i>
5.2.2.	<i>Propriedades mecânicas da madeira</i>	<i>16</i>
5.2.2.1.	<i>Compressão paralela às fibras</i>	<i>17</i>
5.2.2.2.	<i>Tração paralela às fibras.....</i>	<i>18</i>
5.2.2.3.	<i>Compressão normal às fibras</i>	<i>20</i>
5.2.2.4.	<i>Tração normal às fibras</i>	<i>21</i>
5.2.2.5.	<i>Cisalhamento</i>	<i>22</i>
5.2.2.6.	<i>Flexão</i>	<i>23</i>
5.2.2.7.	<i>Dureza</i>	<i>24</i>
5.3.	Ensaaios	25
5.4.	Análise estatística	26
6.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	29
6.1.	Delineamento experimental.....	29
6.2.	Propriedades físicas e mecânicas	30
6.2.1.	<i>Umidade</i>	<i>31</i>
6.2.2.	<i>Densidade básica</i>	<i>32</i>
6.2.3.	<i>Estabilidade dimensional</i>	<i>33</i>
6.2.4.	<i>Compressão paralela às fibras</i>	<i>34</i>
6.2.5.	<i>Tração paralela às fibras.....</i>	<i>35</i>
6.2.6.	<i>Compressão normal às fibras.....</i>	<i>36</i>

6.2.7.	<i>Tração normal às fibras</i>	36
6.2.8.	<i>Cisalhamento</i>	37
6.2.9.	<i>Flexão</i>	38
6.2.10.	<i>Dureza</i>	39
6.3.	Análise estatística	40
7.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
7.1.	Propriedades físicas	41
7.1.1.	<i>Teor de umidade</i>	41
7.1.2.	<i>Densidade Básica</i>	41
7.1.3.	<i>Estabilidade dimensional</i>	43
7.2.	Propriedades mecânicas de compressão paralela às fibras	44
7.3.	Propriedades mecânicas de tração paralela às fibras	46
7.4.	Propriedades mecânicas de compressão normal às fibras	47
7.5.	Propriedades mecânicas de cisalhamento	51
7.6.	Propriedades mecânicas de dureza paralela às fibras	53
7.7.	Propriedades mecânicas de dureza normal às fibras	55
7.8.	Comparativo dos resultados obtidos em ensaio para a espécie <i>cloeziana</i> em relação aos resultados de norma	59
7.9.	Análise da correlação matemática apresentada pela NBR 7190/97 para o cisalhamento	60
7.10.	Comparativo dos resultados físico-mecânicos para empresa A e B	60
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
	REFERÊNCIAS	63
	APÊNDICE A. Resultados dos ensaios mecânicos	68
	APÊNDICE B. Análises estatísticas	73

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material largamente empregado na construção civil em regiões da América do Norte e Europa. Segundo o espanhol González, em entrevista ao portal de notícias El país, onde afirma que os países nórdicos lideram o mercado, com 98% das moradias construídas com estrutura de madeira. Na Alemanha são cerca de 40%, e nos EUA e Canadá estão em torno de 80% (LÉTON, 2019). No entanto, o cenário é bem diferente no Brasil. Segundo Szücs (*apud* MEIRELLES, 2007), esse material não é muito comum de ser utilizado no setor de construção civil no país, e deveria ser, dado o Brasil conter uma das maiores áreas de florestas nativas e de reflorestamento da América Latina.

Meirelles (2007) afirma que em um país como o Brasil, com vasta extensão territorial e grandes áreas florestais, poderia ser melhor aproveitado este recurso de grande potencialidade na construção civil. Todavia, em decorrência da forte tradição em construções de alvenaria, o número de construções com uso deste material é baixo, somado a isso, tem-se a falta de valorização da madeira, uma vez que na maioria das instituições de ensino há uma única disciplina para abordar as estruturas de aço e madeira, e o ensino sobre estrutura de aço se sobressai ao conteúdo de estrutura de madeira nos cursos de Arquitetura e Engenharia civil.

De acordo com Szücs (*apud* MEIRELLES, 2007), ao longo da história do Brasil, o uso de técnicas construtivas inadequadas fez com que as construções em madeira fossem sinônimas de sub-habitação ou de pouca durabilidade. Os novos paradigmas de sustentabilidade e as transformações que a sociedade tem passado, fazem com que esse estigma necessite ser revisto.

Dessa forma, é evidente a necessidade de valorização da madeira, não somente pelo potencial na construção civil, mas também na colaboração para com o meio ambiente. No que tange ao reflorestamento, o gênero *Eucalyptus* é o mais plantado no Brasil devido ser adaptável em diversas regiões, com alta produtividade e de qualidade satisfatória, logo, este representa a maior participação no mercado de madeira sólida (RODRIGUES, 2002).

2. PROBLEMA DE PESQUISA

De acordo com Oliveira (1997), devido à complexidade da madeira, tal como o gênero *Eucalyptus*, seu uso fica condicionado ao conhecimento científico de suas características, propriedades, assim como suas variações, peculiares a cada espécie, condição de crescimento e, principalmente, idade de corte das árvores. Logo, como meio de incentivar e oferecer embasamento técnico para o uso do eucalipto na construção civil, este trabalho se propõe a analisar as propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto comercializada na cidade de Palmas-TO.

3. JUSTIFICATIVA

De acordo com Bauer (*apud* RODRIGUES, 2002), a utilização da madeira de determinada espécie somente será aproveitada com economia e segurança na obra, se forem conhecidos e considerados os valores estatísticos e a dispersão que definem a variabilidade de suas propriedades. Logo, este conhecimento fundamental será obtido por meio dos ensaios de caracterização do material referente as amostras dos lotes provenientes de madeireiras da região.

Diante do exposto, verifica-se que a caracterização do material a qual este projeto propõe, irá colaborar para o desenvolvimento da região uma vez que estes dados estarão à disposição da sociedade, bem como novos estudos poderão ser desenvolvidos para aprimorar as aplicações do eucalipto com economia e segurança.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo geral

Quantificar, classificar e analisar por meio de ensaios preconizados pela NBR 7190 (ABNT, 1997) as propriedades físicas e mecânicas da madeira de eucalipto comercializada na cidade de Palmas-TO, bem como a variabilidade de suas propriedades para que o uso da madeira de eucalipto na região seja otimizado e ampliado na construção civil, e que novos estudos possam ser desenvolvidos a partir da caracterização deste material que apresenta um grande potencial de utilização na região.

4.2. Objetivos específicos

- Apresentar uma revisão de literatura sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira de eucalipto;
- Realizar ensaios de umidade, densidade básica, estabilidade dimensional, compressão paralela às fibras, compressão normal às fibras, cisalhamento e dureza, estes ensaios serão realizados de acordo com o anexo B da NBR 7190 (ABNT, 1997);
- Analisar tecnicamente e estatisticamente os resultados obtidos;
- Discutir os resultados obtidos.

5. REVISÃO DE LITERATURA

5.1. Histórico do uso da madeira no Brasil

O Brasil possui uma área florestal de 60% de seu território e um grande potencial madeireiro, porém, o emprego da madeira na construção civil no país é pouco expressivo. Em contrapartida, o Brasil começa a apresentar indícios de desenvolvimento do setor da construção civil em madeira, ao mesmo tempo que este tema é debatido mundialmente. (SHIGUE, 2018)

Uma análise histórica se faz necessária para compreender o uso limitado da madeira no Brasil. E essa análise se inicia com a chegada dos portugueses ao país, que consigo trouxeram um novo modo de construir, não havia tradição no uso da madeira. O sistema construtivo empregado pelos portugueses era composto por fundação de pedras, paredes de alvenaria e vedação da cobertura em telhas cerâmicas, com a madeira utilizada na forma de esquadrias, assoalhos, forros e estruturas de telhado. Além disso, as construções desse período foram marcadas pelo baixo rigor técnico e qualidade construtiva, com mão de obra escrava. De norte a sul do país, onde houve a ocupação de colonos portugueses, adotou-se a mesma tipologia construtiva. (REIS FILHO, 2006)

O final do século XIX marca o início da ocupação por imigrantes provenientes de diferentes países europeus (Alemanha, Polônia, Ucrânia, Rússia) na região do oeste do Paraná. A partir da abertura de estradas para o acesso aos equipamentos é que foram instaladas as primeiras serrarias nos estados do Paraná e de Santa Catarina, que exportavam a maior parte de seus produtos para os Estados Unidos e Europa (SILVA, 2010). Ao mesmo passo que exploravam a madeira para exportação, os imigrantes também foram responsáveis pela construção de diversas vilas e cidades, tradicionalmente com uso da madeira como material construtivo.

Segundo Shigue (2018), o uso do aço se expandiu com a implantação da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) constituindo a base da indústria nacional do aço em 1934 e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 1940.

Esse período ficou marcado ainda pela instauração e consolidação da cultura do concreto no Brasil, que com a construção de Brasília teve seu auge nos anos 1960 (SANTOS, 2008). Vários fatores levaram à essa consolidação, como a grande

demanda do setor da construção civil, organização profissional, fabricação da matéria-prima em escala industrial e o desenvolvimento da arquitetura moderna. O concreto podia ser usado tanto em obras de infraestrutura quanto em edificações, ou seja, era versátil. Ademais, algumas obras só poderiam ser feitas em concreto armado tais como barragens e edifícios de múltiplos pavimentos (TELLES, 1993). Segundo Santos (2008) a arquitetura moderna ganhava notoriedade e juntamente com o concreto armado agiram como catalisadores um do outro.

No ano de 1966, o Governo Federal implementou uma Política de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento, com isso houve um crescimento de áreas reflorestadas com diversos gêneros, dentre eles o eucalipto, fortalecendo a base florestal brasileira. No entanto, as plantações se deram de forma desorganizada e com a extinção dos incentivos em 1988, ocorreu o declínio das áreas reflorestadas (RODRIGUES, 2002).

Outro fator influenciador foi a mão de obra pois, neste período, a mão de obra qualificada dos imigrantes foi se tornando escassa e sendo substituída por mão de obra nacional, usualmente por pessoas sem qualificação na área da construção civil (IPT *apud* CESAR, 1991). As construções em concreto armado dispensavam a necessidade de mão de obra qualificada, diferentemente das construções em madeira em que era necessária (SANTOS, 2008).

De acordo com Zani (*apud* SHIGUE, 2018) a criação de leis que proibiam e/ou limitavam as construções em madeira tinham como objetivo impedir a construção de novas edificações em madeira, uma vez que o uso de tal material era considerado um símbolo de atraso, e o concreto representava o movimento moderno e o progresso da arquitetura brasileira.

No que tange a comparação entre a utilização da madeira, concreto e o aço, diversos autores concluem sobre as vantagens da madeira. No estudo realizado por Börgesson e Gustavsson (2000) o consumo de energia por uma edificação de concreto foi superior entre 60 a 80% quando comparado ao de madeira. Outra vantagem apresentada por Upton *et al.* (2008) nos Estados Unidos, indica que as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em edificações de madeira são de 20 a 50% inferiores quando comparadas a edificações similares, em concreto ou aço, além disso, o consumo de energia para aquecimento/resfriamento é de 15 a 16% menor.

Conforme Manfrinato (2015), o preconceito e desvalorização dos produtos derivados de madeira para fins estruturais e arquitetônicos, é gerado pela falta de

conhecimento e informação da sociedade. Questão essa que pode ser revista e argumentada por profissionais que comprovam a utilização do material para soluções construtivas mais eficientes e sustentáveis.

Uma solução adequada como alternativa ao uso das espécies tropicais tem-se a utilização de madeira de reflorestamento, tal como o Eucalipto e Pinus para fins estruturais na construção civil. As peças estruturais são normalmente utilizadas roliças ou serradas com tratamento preservativo (BRITO, 2010).

Segundo relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores (2017), em 2016 o Brasil alcançou 7,84 milhões de hectares de árvores plantadas, dentre este valor total, o plantio de eucalipto ocupa uma área de 5,7 milhões de hectares no país, estando localizado, principalmente, em Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%). Além disso, o crescimento da área de eucalipto entre os anos de 2011 e 2016, foi de 2,4% a.a.

Conforme a Tabela 1, a área plantada com árvores de eucalipto no Tocantins em 2010 era de 47.542 hectares, no ano de 2016 o estado do Tocantins já apresentava uma área de plantio de eucalipto com 116.798 hectares, isso significa uma taxa de crescimento de 145% em apenas 6 anos, essa foi a 2º maior taxa de crescimento no país compreendido entre 2010 e 2016. Logo, verifica-se um grande potencial de uso da madeira que temos na região, sendo o 11º maior produtor de eucalipto no Brasil no ano de 2016.

Tabela 1. Histórico da área plantada com árvores de eucalipto, 2010-2016.

<i>Estado</i>	<i>Eucalipto (ha)</i>						
	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>2015</i>	<i>2016</i>
Minas Gerais	1.400.000	1.401.787	1.438.971	1.404.429	1.400.232	1.395.032	1.390.032
São Paulo	1.044.813	1.031.677	1.041.695	1.010.444	976.186	976.613	946.124
Mato Grosso do Sul	378.195	475.528	587.310	699.128	803.699	826.031	877.795
Bahia	631.464	607.440	605.464	623.971	630.808	614.390	612.199

Continua.

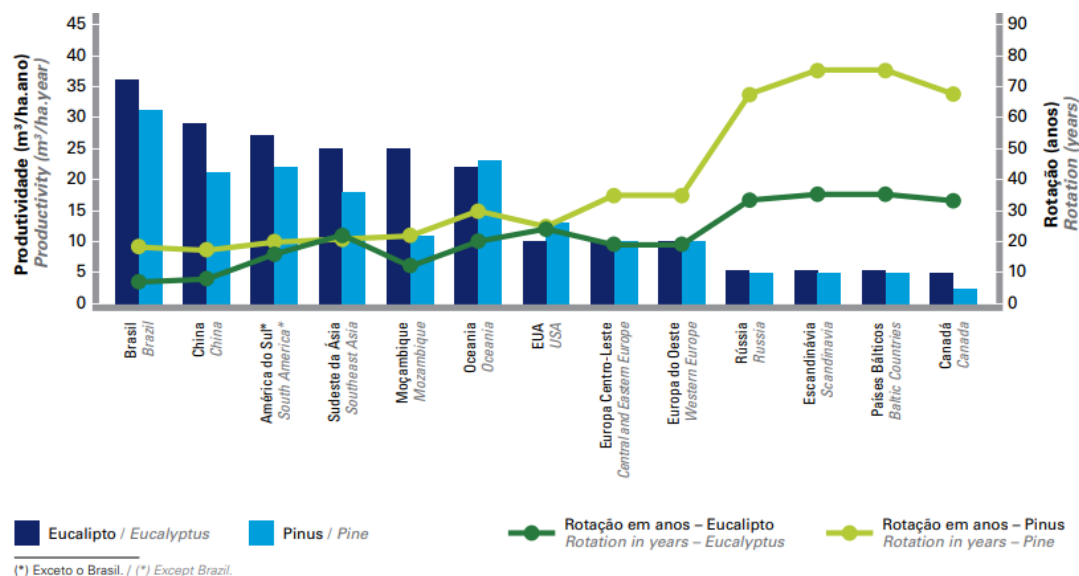
Continuação.

<i>Estado</i>	<i>Eucalipto (ha)</i>						
	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>2015</i>	<i>2016</i>
Rio Grande do Sul	273.042	280.198	284.701	316.446	309.125	308.515	308.178
Espírito Santo	203.885	197.512	203.349	221.559	228.781	227.222	233.760
Paraná	161.422	188.153	197.835	200.473	224.089	285.125	294.050
Maranhão	151.403	165.717	173.324	209.249	211.334	210.496	221.859
Mato Grosso	150.646	175.592	184.628	187.090	187.090	185.219	185.219
Pará	148.656	151.378	159.657	159.657	125.110	130.431	133.996
Goiás	116.439	118.636	115.567	121.375	124.297	127.201	127.201
Tocantins	47.542	65.502	109.000	111.131	115.564	116.365	116.798
Santa Catarina	102.399	104.686	106.588	107.345	112.944	116.250	116.240
Amapá	49.369	50.099	49.506	57.169	60.025	63.026	65.026
Piauí	37.025	26.493	27.730	28.053	31.212	29.333	26.068
Outros	4.650	9.314	18.838	15.657	18.157	19.358	19.239
Total	4.900.949	5.049.714	5.304.164	5.473.176	5.558.653	5.630.606	5.673.783

Fonte: IBÁ (2017) – Adaptado

Além do crescimento no plantio de eucalipto nas regiões do país, o relatório contido na Figura 1 apresenta a liderança do Brasil no ranking global de produtividade florestal tanto para o eucalipto quanto para o pinus, sendo que possui uma média de 35,7 m³/ha ao ano para o plantio de eucalipto e uma rotação de 5 anos na produção, o menor índice comparado aos demais países.

Figura 1. Produtividade e rotação média no Brasil versus outros importantes *players* mundias



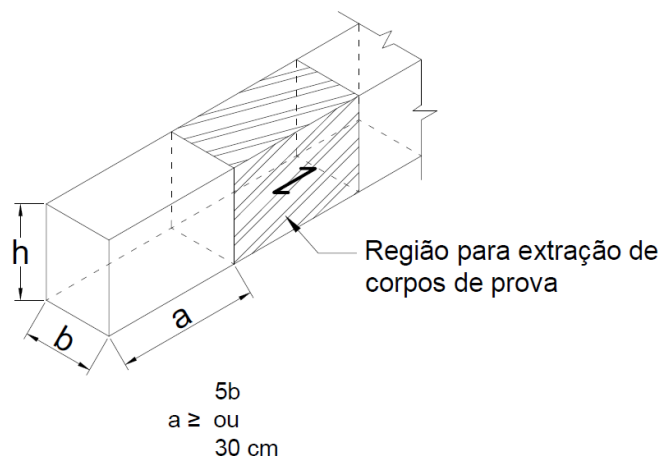
Fonte: IBÁ (2017)

Conforme apresentado na Tabela 1, o estado do Tocantins tem apresentado um crescimento exponencial no plantio do eucalipto e isso significa um grande potencial de uso na construção civil que até então tem sido pouco explorado na região. Além disso, o gráfico apresentado acima (Figura 1), mostra que a produtividade e rotação média do Brasil é superior quando comparado a outros países, comprovando assim o potencial de uso do eucalipto e do pinus no Brasil.

5.2. Propriedades físicas e mecânicas da madeira

A confecção dos corpos de prova deste trabalho foi realizada por um marceneiro, pois as madeireiras e serrarias da região não dispõem de equipamentos e mão de obra qualificada para confecção de todos os corpos de prova de acordo com as dimensões requeridas para a realização de cada ensaio conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997). Além disso, a norma exige que a extração de corpos de prova tenha uma distância mínima das extremidades das peças de pelo menos 5 vezes a menor dimensão da seção transversal da peça considerada, mas nunca inferior a 30 cm conforme a figura 2. Em seguida, estes foram transportados para o Laboratório de Materiais da Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO) para realização dos ensaios.

Figura 2. Esquema para extração de corpos de prova das peças



Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997) - Adaptado

5.2.1. Propriedades físicas

De acordo com Kollmann & Côté Jr. (*apud* RODRIGUES, 2002), a madeira pode ser considerada um excelente material estrutural, pois apresenta resistência mecânica elevada e baixa densidade quando comparado com outros materiais, por exemplo, o aço aplicado na construção.

As principais propriedades físicas estudadas da madeira são: umidade, densidade básica e aparente, e estabilidade dimensional (retração ou inchamento). No que tange sobre a importância da umidade da madeira, Hellmeister (1983) afirma que a partir desta propriedade, poderá ser determinado o processo de secagem adequado à madeira para garantia de qualidade. Além disso, a NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 88), afirma que “o risco de deterioração depende do teor de umidade da madeira e da duração do período de umidificação”. Outra propriedade de grande importância na caracterização da madeira é a estabilidade dimensional, que representa o valor absoluto da contração volumétrica através da relação das contrações nos sentidos radial e tangencial. Segundo Mori *et al.* (2003), a estabilidade dimensional poderá ter uma grande variação, e isso dependerá da espécie e modo de secagem, podendo inchar ou retrain de acordo com a umidade relativa do meio em que se encontra. Os mesmos autores ainda afirmam que, quanto menores as contrações, melhores serão as suas propriedades. Dessa forma, usos que exijam boa

estabilidade dimensional, devem considerar esta propriedade, com o objetivo de evitar o aparecimento de fendas e empenos.

Segundo Hellmeister (*apud* RODRIGUES, 2002), a densidade de massa se destaca como melhor índice na qualificação da madeira, pois possui correlação com várias outras características. A variabilidade da espécie *Eucalyptus* pode estar associada aos seguintes fatores: material genético, condições edafo-climáticas, sistemas de implantação e condução das florestas, ritmo de crescimento e idade da floresta (Busnardo *et al.*, 1987).

A densidade da madeira está ligada a idade da árvore, segundo Ribeiro & Zani Filho (1993), estes incrementos na densidade variam de acordo com a espécie, porém, no decorrer da idade da árvore, este valor tende a estabilizar.

Estudos realizados por Tomazello (1985), Brasil & Ferreira (1972) e Oliveira (1997), concluíram que quase todas as espécies de *Eucalyptus*, seguem um padrão, onde a densidade aumenta da medula para a casca.

De acordo com Brasil (1972), a densidade cresce até um ponto de máximo, localizado na altura média da árvore, após esta, a densidade começa a decrescer em direção à copa.

5.2.1.1. *Umidade, densidade básica e estabilidade dimensional*

De acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), o ensaio de umidade tem por objetivo ajustar as propriedades mecânicas e de rigidez. Além disso, serve também para orientar quanto a escolha de métodos preventivos para a preservação da madeira.

O teor de umidade é definido por meio da relação entre a massa de água nela contida e a massa da madeira seca, conforme equação 1 indicada pela NBR 7190 (ABNT, 1997):

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

m_i é massa inicial da madeira, em gramas;

m_s é massa da madeira seca, em gramas;

O ensaio de densidade tem por objetivo definir a densidade básica e aparente do lote em análise.

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), a densidade básica (ρ_{bas}) é uma massa específica definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado, sendo dada pela equação 2 a seguir:

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

Onde:

m_s é a massa seca da madeira, em quilogramas;

V_{sat} é o volume da madeira saturada, em metros cúbicos;

O volume será considerado saturado quando após o corpo de prova ser submerso em água, este venha atingir uma massa constante ou com variação de 0,5% comparado com a medida anterior.

A NBR 7190 (ABNT, 1997) define densidade aparente (ρ_{ap}) como uma massa específica dada pela razão entre a massa e o volume com teores de umidade em 12%, sendo dada pela equação 3 a seguir:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

m_{12} é a massa da madeira a 12% de umidade, em quilogramas;

V_{12} é o volume da madeira a 12% de umidade, em metros cúbicos;

O ensaio para análise da estabilidade dimensional tem por objetivo investigar as propriedades de retração e inchamento, sendo a madeira um material ortótropo, com direções preferenciais 1, 2 e 3 que correspondem respectivamente as direções axial, radial e tangencial. As deformações específicas de retração ε_r e de inchamento ε_i são consideradas como índices de estabilidade dimensional e são determinadas em

cada uma das direções preferenciais, conforme as equações 4 a 9 a seguir (ABNT, 1997):

$$\varepsilon_{r,1} = \left(\frac{L_{1,sat} - L_{1,seca}}{L_{1,sat}} \right) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\varepsilon_{r,2} = \left(\frac{L_{2,sat} - L_{2,seca}}{L_{2,sat}} \right) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\varepsilon_{r,3} = \left(\frac{L_{3,sat} - L_{3,seca}}{L_{3,sat}} \right) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 6})$$

$$\varepsilon_{i,1} = \left(\frac{L_{1,sat} - L_{1,seca}}{L_{1,sat}} \right) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 7})$$

$$\varepsilon_{i,2} = \left(\frac{L_{2,sat} - L_{2,seca}}{L_{2,sat}} \right) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\varepsilon_{i,3} = \left(\frac{L_{3,sat} - L_{3,seca}}{L_{3,sat}} \right) \cdot 100 \quad (\text{Eq. 9})$$

A variação volumétrica (ΔV) é dada por dimensões do corpo de prova no estado seco e saturado, conforme as equações 10 a 12 a seguir:

$$\Delta V = \frac{V_{sat} - V_{seca}}{V_{seca}} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 10})$$

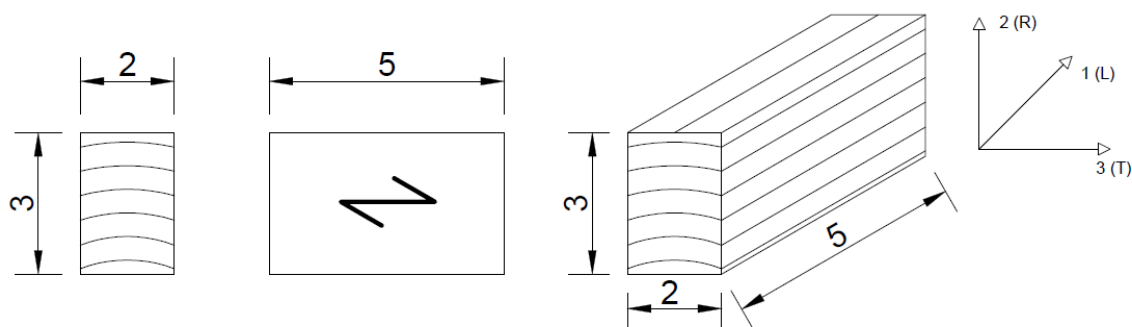
Onde:

$$V_{sat} = L_{1,sat} \cdot L_{2,sat} \cdot L_{3,sat}; \quad (\text{Eq. 11})$$

$$V_{seca} = L_{1,seca} \cdot L_{2,seca} \cdot L_{3,seca}. \quad (\text{Eq. 12})$$

Os corpos de prova para os ensaios de umidade, densidade e estabilidade dimensional seguindo a NBR 7190 (ABNT, 1997) devem ter as dimensões indicadas na figura 3.

Figura 3. Corpo de prova para ensaios de umidade, densidade e estabilidade dimensional, unidade de medida em centímetros



Fonte: NBR 7190/97 – Adaptado

5.2.2. Propriedades mecânicas da madeira

Normalmente a determinação da resistência é dada pela máxima tensão suportada pelos corpos de prova isentos de defeitos no lote considerado. De forma geral, a tensão máxima é definida quando do aparecimento de fenômenos particulares de comportamento, sendo estes de ruptura ou deformação excessiva (ABNT, 1997).

O módulo de elasticidade representa a rigidez do material, determinado na fase de comportamento elástico-linear. O módulo de elasticidade é medido por meio do ensaio de compressão, sendo este definido quanto a orientação das fibras, paralelo ou normal. Quando não for possível a determinação por meio de ensaio, permite-se adotar a equação 13 a seguir, indicada pela NBR 7190/97:

$$E_{w90} = \frac{1}{20} E_{w0} \quad (\text{Eq. 13})$$

A Tabela 2 a seguir apresenta os valores médios usuais de resistência e de rigidez de 15 espécies de eucalipto, os dados foram obtidos por meio de ensaios realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Com esses dados, é possível verificar a grande variabilidade entre as espécies, dentre eles, a massa específica aparente com variação, em valores médios, de 640 a 1087 kg/m³.

Tabela 2. Valores médios de propriedades da madeira de 15 espécies de eucalipto

Nome científico	D _{ap} (12%)	f _{c0}	f _v	E _{c0}	n
<i>Eucalyptus camaldulenses</i>	899	48,0	9,0	13286	18
<i>Eucalyptus alba</i>	705	47,3	9,5	13409	24
<i>Eucalyptus citriadora</i>	999	62,0	10,7	18421	68
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	822	51,8	10,5	13963	21
<i>Eucalyptus dunnii</i>	690	48,9	9,8	18029	15
<i>Eucalyptus grandis</i>	640	40,3	7,0	12813	103
<i>Eucalyptus maculata</i>	931	63,5	10,6	18099	53
<i>Eucalyptus maidene</i>	924	48,3	10,3	14431	10
<i>Eucalyptus microcorys</i>	929	54,9	10,3	16782	31
<i>Eucalyptus paniculata</i>	1087	72,7	12,4	19881	29
<i>Eucalyptus propínqua</i>	952	51,6	9,7	15561	63
<i>Eucalyptus punctata</i>	948	78,5	12,9	19360	70
<i>Eucalyptus saligna</i>	731	46,8	8,2	14933	67
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	899	57,7	9,7	17198	29
<i>Eucalyptus urophylla</i>	739	46,0	8,3	13166	86

D_{ap}(12%) = massa específica aparente a 12% de umidade (kg/m³);

f_{c0} = resistência a compressão paralela as fibras (MPa);

f_v = resistência ao cisalhamento (MPa);

E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras (MPa);

n = número de corpos de prova ensaiados.

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997) – Adaptada

5.2.2.1. Compressão paralela às fibras

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), a resistência à compressão paralela as fibras ($f_{wc,0}$ ou f_{c0}) corresponde à máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo de prova com seção transversal de medidas igual a 5,0 cm de lado e 15,0 cm de comprimento. Para a determinação da resistência à compressão paralela às fibras utiliza-se a equação 14:

$$f_{c0} = \frac{F_{c0.máx.}}{A_i} \quad (\text{Eq. 14})$$

Onde:

f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras. Unidade: megapascal;

$F_{c0.máx.}$ é a máxima força de compressão aplicada ao corpo de prova

durante o ensaio. Unidade: newton;

A_i é a área inicial da seção transversal comprimida.

Unidade: metro quadrado.

A rigidez é dada pelo módulo de elasticidade (E_{c0}), dada pela equação 15, é determinado pela inclinação da reta secante à curva tensão x deformação, definida pelos pontos ($\delta_{10\%}$, $\varepsilon_{10\%}$) e ($\delta_{50\%}$, $\varepsilon_{50\%}$), correspondentes respectivamente a 10% e 50% da resistência a compressão paralela às fibras medida no ensaio:

$$E_{c0} = \frac{\delta_{50\%} - \delta_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (\text{Eq. 15})$$

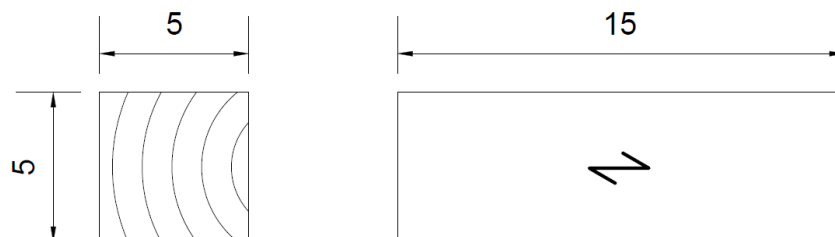
Onde:

δ são as tensões de compressão;

ε são deformações específicas medidas no corpo de prova correspondentes às tensões de compressão.

Os corpos de prova para o ensaio de compressão paralela às fibras seguindo a NBR 7190 (ABNT, 1997) devem ter as dimensões indicadas na figura 4.

Figura 4. Corpo de prova para ensaio de compressão paralela às fibras, medidas em centímetros



Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997) - Adaptado

5.2.2.2. Tração paralela às fibras

De acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), a resistência à tração paralela às fibras ($f_{wt,0}$ ou f_{t0}) é medida em megapascal e conforme a equação 16 é dada pela

máxima força de tração aplicada ao corpo de prova, em newton, dividida pela área inicial da seção transversal tracionada do trecho central, em metro quadrado:

$$f_{t0} = \frac{F_{t0.máx.}}{A} \quad (\text{Eq. 16})$$

Observações sobre o corpo de prova:

- Corpo alongado com trecho central de seção transversal uniforme de área A;
- O comprimento não deve ser menor que $8\sqrt{A}$;
- As extremidades devem ser mais resistentes que o trecho central e com concordâncias que possibilitem a ruptura no trecho central.

No caso de tração paralela às fibras, definida pela equação 17, a rigidez é dada pelo módulo de elasticidade que é determinado pela inclinação da reta secante à curva tensão deformação, definida pelos pontos $(\delta_{10\%}, \epsilon_{10\%})$ e $(\delta_{50\%}, \epsilon_{50\%})$, correspondentes respectivamente a 10% e 50% da resistência a tração paralela às fibras medida no ensaio:

$$E_{t0} = \frac{\delta_{50\%} - \delta_{10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}} \quad (\text{Eq. 17})$$

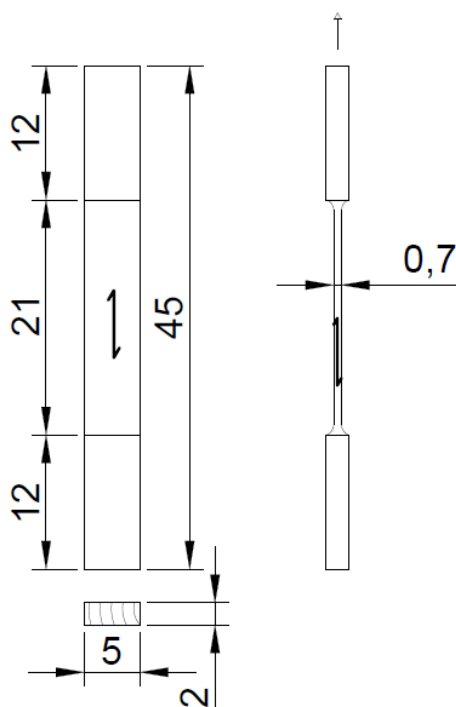
Onde:

δ são tensões de trações;

ϵ são as deformações específicas de trações medidas no trecho central do corpo de prova.

Os corpos de prova para o ensaio de tração paralela às fibras seguindo a NBR 7190 (ABNT, 1997) devem ter as dimensões indicadas na figura 5.

Figura 5. Corpo de prova para ensaio de tração paralela às fibras, medidas em centímetros



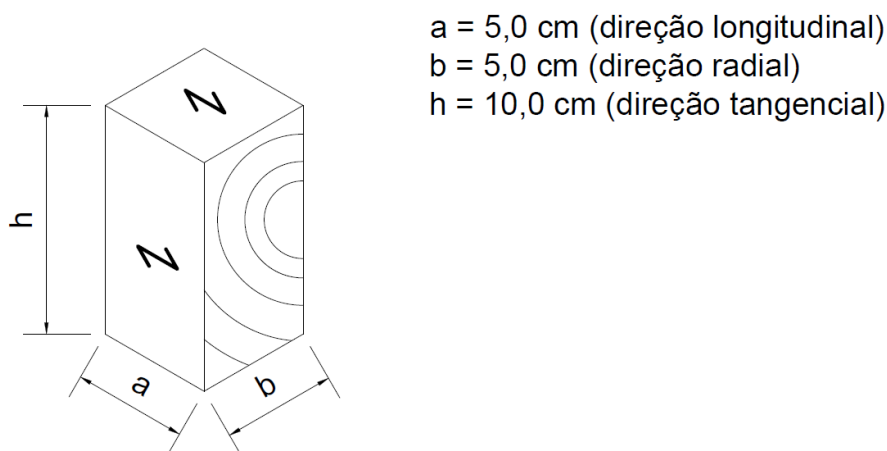
Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997) – Adaptado

5.2.2.3. Compressão normal às fibras

De acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), a resistência à compressão normal às fibras ($f_{wc,90}$ ou f_{c90}) corresponde ao valor convencional do resultado da deformação específica residual de 2%, dada por um ensaio de compressão uniforme em corpos de prova prismáticos. Por sua vez, a rigidez na direção normal às fibras também é determinada por meio da equação 17, sendo assim, o módulo de elasticidade (E_{c90}) é obtido do trecho linear do diagrama tensão x deformação específica, através da inclinação da reta secante, definida pelos pontos ($\delta_{10\%}$, $\epsilon_{10\%}$) e ($\delta_{50\%}$, $\epsilon_{50\%}$), correspondentes respectivamente a 10% e 50% da resistência convencional à compressão normal às fibras.

Os corpos de prova para o ensaio de compressão normal às fibras seguindo a NBR 7190 (ABNT, 1997) devem ter as dimensões indicadas na figura 6.

Figura 6. Corpo de prova para ensaio de compressão normal às fibras



Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997) - Adaptado

5.2.2.4. Tração normal às fibras

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), a resistência à tração normal às fibras ($f_{wt,90}$ ou f_{t90}), com unidade em megapascal, é dada pela máxima tensão de tração que pode atuar no corpo de prova alongado ($F_{t90.máx.}$), em newton, dividida pela área inicial da seção transversal tracionada do trecho alongado (A_{t90}), em metro quadrado. Para determiná-la, utiliza-se a equação 18:

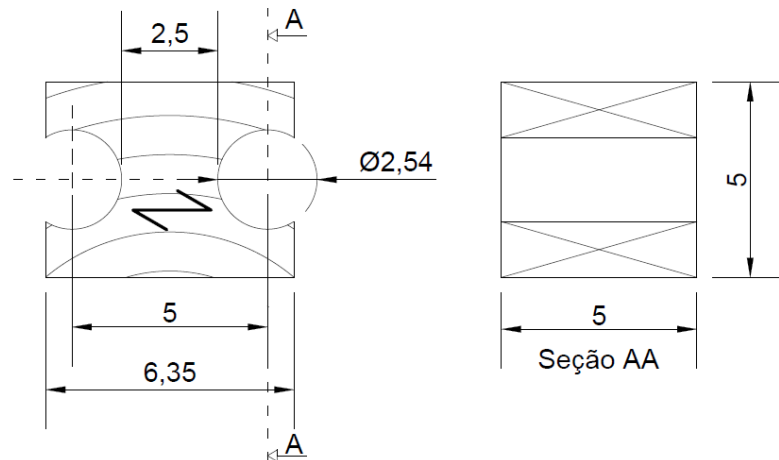
$$f_{wt,90} = \frac{F_{t90.máx.}}{A_{t90}} \quad (\text{Eq. 18})$$

Observações sobre o corpo de prova:

- Corpo alongado com trecho central de seção transversal uniforme de área A;
- O comprimento não deve ser menor que $2,5\sqrt{A}$;
- As extremidades devem ser mais resistentes que o trecho central e com concordâncias que possibilitem a ruptura no trecho central.

Os corpos de prova para o ensaio de tração normal às fibras seguindo a NBR 7190 (ABNT, 1997) devem ter as dimensões indicadas na figura 7.

Figura 7. Corpo de prova para ensaio de tração normal às fibras, medidas em centímetros



Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997) – Adaptado

5.2.2.5. Cisalhamento

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), essa propriedade objetiva determinar a resistência de cisalhamento paralelo às fibras da madeira ($f_{wv,0}$ ou f_{v0}) que é dada pela máxima tensão de cisalhamento que pode ser aplicada na seção crítica de corpo de prova prismático. Para calculá-la, utiliza-se a equação 19:

$$f_{v0} = \frac{F_{v0.máx.}}{A_{v0}} \quad (\text{Eq. 19})$$

Onde:

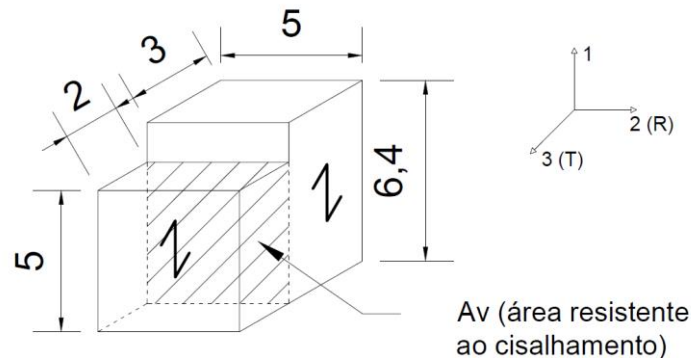
f_{v0} é a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.;

$F_{v0.máx.}$ é a máxima força cisalhante aplicada ao corpo de prova durante o ensaio. Unidade: Newton;

A_{v0} é a área inicial da seção crítica do corpo de prova em um plano paralelo às fibras. Unidade: metro quadrado.

Os corpos de prova para o ensaio de cisalhamento seguindo a NBR 7190 (ABNT, 1997) devem ter as dimensões indicadas na figura 8.

Figura 8. Corpo de prova para ensaio de cisalhamento, medidas em centímetros



Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997) - Adaptado

5.2.2.6. Flexão

De acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), a resistência à flexão (f_{wM} ou f_M) corresponde ao valor convencional, considerando a madeira um material elástico, da máxima tensão que pode atuar em um corpo de prova no teste de flexão simples, e é dada pela equação 20:

$$f_M = \frac{M_{m\acute{a}x.}}{W_e} \quad (\text{Eq. 20})$$

Onde:

$M_{m\acute{a}x.}$ é máximo momento aplicado ao corpo de prova.

Unidade: Newton – metro;

$W_e = \frac{bh^2}{6}$ e corresponde ao módulo de resistência elástico da seção transversal do corpo de prova. Unidade: metros cúbicos.

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), a rigidez à flexão, dada pela equação 21, é determinada pelo módulo de elasticidade (E_{M0}), obtido do trecho linear do diagrama tensão x deformação específica, através da inclinação da reta secante à curva carga x deslocamento no meio do vão, caracterizada pelos pontos ($F_{10\%}$, $V_{10\%}$) e ($F_{50\%}$, $V_{50\%}$), correspondentes respectivamente a 10% e 50% da carga máxima de teste estimada por meio de um corpo de prova gêmeo:

$$E_{M0} = \frac{(F_{M,50\%} - F_{M,10\%})L^3}{(V_{50\%} - V_{10\%}) 4bh^3} \quad (\text{Eq. 21})$$

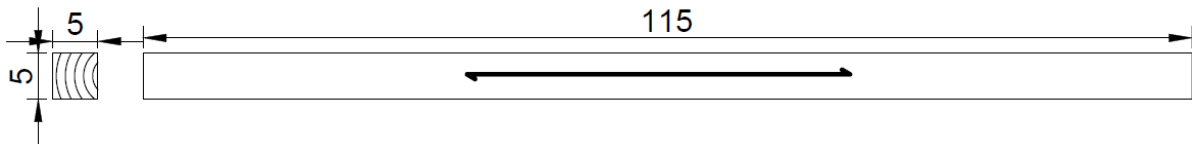
Onde:

F é o percentual da carga máxima aplicada ao corpo de prova;

V é o percentual de deslocamento no meio do vão.

Os corpos de prova para o ensaio de flexão seguindo a NBR 7190 (ABNT, 1997) devem ter as dimensões indicadas na figura 9.

Figura 9. Corpo de prova para ensaio de flexão, medidas em centímetros



Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997) - Adaptado

5.2.2.7. Dureza

Conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997), a dureza (f_{wH} ou f_H) é determinada pela tensão aplicada em uma das faces de um corpo de prova prismático produzindo a penetração de uma semi-esfera de aço com área diametral de 1 cm², e é dada pela equação 22:

$$f_H = \frac{F_{m\acute{a}x.}}{A_{se\breve{c}\tilde{a}o\ diametral}} \quad (\text{Eq. 22})$$

Onde:

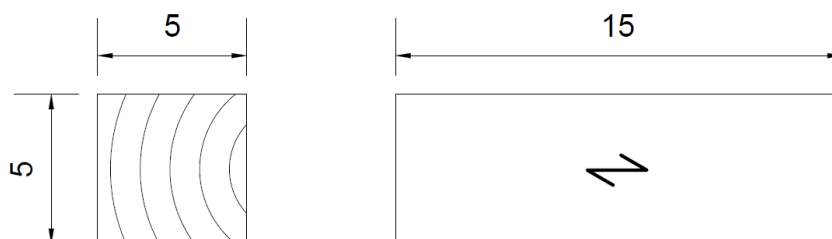
F_{máx.} é a máxima força aplicada ao corpo de prova necessária à penetração de uma semi – esfera na profundidade igual ao seu raio. Unidade: Newton;

A_{seção diametral} é a área d seção diametral da esfera, igual a 1cm².

Unidade: centímetro quadrado.

Os corpos de prova para o ensaio de dureza, tanto normal quanto paralela às fibras, seguindo a NBR 7190 (ABNT, 1997) devem ter as dimensões indicadas na figura 10.

Figura 10. Corpo de prova para ensaio de dureza, medidas em centímetros



Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997) – Adaptado

5.3. Ensaios

Na realização de ensaios, cada centro de pesquisa tem adotado uma norma de sua preferência, as mais utilizadas são: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Comissão Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) e American Society for Testing and Materials (ASTM).

Os ensaios serão realizados conforme o anexo B da atual norma brasileira, Projetos de Estruturas de Madeira – NBR 7190 (ABNT, 1997), que trata dos ensaios para determinação das propriedades físicas e mecânicas das madeiras. A presente norma é baseada em métodos probabilísticos onde os valores característicos de uma propriedade determinam a classe de resistência de um certo lote ou espécie de madeira.

Para elaboração de projetos estruturais, a separação dos lotes em classes de resistência tem como objetivo a padronização da madeira. Sales (1996) afirma que as classes de resistência permitem ao projetista utilizar a madeira na região de construção da estrutura, com a ressalva de que os valores das propriedades mecânicas dos lotes se enquadrem na classe definida em projeto.

Ao analisar os valores apresentados na Tabela 2 para as propriedades físico-mecânicas dos *Eucalyptus*, podemos observar que as diferentes espécies deste gênero se enquadram nas quatro classes indicadas na NBR 7190 (ABNT, 1997),

apresentadas na Tabela 3 abaixo, sendo necessária uma análise mais aprofundada no momento de adquirir este material para uso na construção civil.

Tabela 3. Classes de resistência das dicotiledôneas na umidade padrão de 12%

Classes	f_{c0k} (MPa)	f_{vk} (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (kg/m ³)	$\rho_{ap,m}$ (kg/m ³)
C 20	20	4	9500	500	650
C 30	30	5	14500	650	800
C 40	40	6	19500	750	950
C 60	60	8	24500	800	1000

f_{c0k} = resistência à compressão paralela, valor característico;

f_{vk} = resistência ao cisalhamento, valor característico;

$E_{c0,m}$ = módulo de elasticidade na compressão paralela, valor médio;

$\rho_{bas,m}$ = densidade básica da madeira, valor médio;

$\rho_{ap,m}$ = densidade aparente, valor médio.

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997) – Adaptada

5.4. Análise estatística

Os dados obtidos por meio dos ensaios foram analisados estatisticamente de forma descritiva e gráfica, organizados em grupamentos de intervalos. Como ferramentas de auxílio, foram operados os *softwares* Statistica (TIBCO INC., 2019) e Excel Office 365 (MICROSOFT CORPORATION, 2019).

Segundo Strauss e Bichler (1988) todos os valores influenciam na média e a média não precisa necessariamente coincidir com um dos valores pelo qual esta foi calculada. Batanero (2000) afirma que a média ($\bar{x}$) é um elemento representativo de vários dados. Dessa forma, a média aritmética é expressa pela equação 23:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{Eq. 23})$$

Os autores Barbetta *et al.* (2004) relatam que a média pode ser considerada como um valor central, uma alternativa de conhecer o valor real daquilo que está se medindo, desconsiderando o erro experimental. Para uma análise mais rigorosa, recomenda-se incluir uma medida de variabilidade, por exemplo a variância. Esta

medida baseia-se nos desvios (d_i) de cada valor (x_i) em relação à média ($\bar{x}$), dada pela equação 24:

$$d_i = x_i - \bar{x} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (\text{Eq. 24})$$

Para calcular a variância, deve-se considerar os desvios de cada valor em relação à média aritmética. Em seguida, é construído uma espécie de média desses desvios. Para evitar o problema dos desvios negativos, faz-se o uso de desvios quadráticos, dados pela equação 25:

$$d_i^2 = (x_i - \bar{x})^2 \quad (\text{Eq. 25})$$

A variância (s^2) é definida como a média aritmética dos desvios quadráticos. Por conveniência, usa-se como denominador ($n-1$) no lugar de n , ou seja, o número de graus de liberdade associados aos desvios. Assim, define-se a variância de um conjunto de valores pela equação 26:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (\text{Eq. 26})$$

No que se refere ao desvio padrão, Graças Martins (2013) destacam que o desvio padrão de uma amostra de dados, do tipo quantitativo, é uma medida de dispersão dos dados relativamente à média, no qual pode ser obtido tomando a raiz quadrada da variância amostral. Embora o desvio padrão seja a medida de dispersão mais usada, ela mede a dispersão em termos absolutos. Por outro lado, o coeficiente de variação (cv) mede a variação em termos relativos, definido pela equação 27:

$$cv = \frac{s}{\bar{x}} \quad (\text{Eq. 27})$$

De acordo com Barbetta *et al.* (2004), a mediana avalia o centro de um conjunto de valores, sob o critério de ser o valor que divide a distribuição ao meio. Em distribuições simétricas, a média e a mediana são iguais. Em distribuições assimétricas, a média tende a deslocar-se para o lado mais extremo. Geralmente, a

média é a medida de posição mais adequada, quando se supõe que esses valores têm uma distribuição razoavelmente simétrica, enquanto a mediana surge como uma alternativa para representar a posição central em distribuições muito assimétricas. Muitas vezes, ambas as medidas são calculadas para avaliar a posição central sob dois enfoques diferentes, além de se obter uma primeira avaliação sobre a assimetria da distribuição.

Para representação gráfica dos conceitos discutidos acima, foi utilizado os diagramas de caixa:

Trata-se de um retângulo que representa o desvio interquartil. Esse retângulo representa, portanto, a faixa dos 50% dos valores mais típicos da distribuição. O retângulo é dividido no valor correspondente à mediana; assim, ele indica o quartil inferior, a mediana e o quartil superior. Entre os quartis e os extremos, são traçadas linhas. Caso existam valores discrepantes, a linha é traçada até o último valor não discrepante, e os valores discrepantes são indicados por pontos (BARBETTA *et al.*, 2004).

Além disso, foram determinados valores característicos das propriedades mecânicas conforme preconiza a NBR 7190 (ABNT, 1997), sendo estimados pela equação 28:

$$f_{wk} = \left(2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - f_{\frac{n}{2}} \right) \cdot 1,1 \quad (\text{Eq. 28})$$

Os resultados foram colocados em ordem crescente $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_n$, desprezando-se o valor mais alto em casos onde o número de corpos de prova é ímpar, não admitindo valores para f_{wk} inferiores a f_1 , nem a 0,7 do valor médio.

No que tange a análise dos coeficientes de variação (CV), a NBR 7190 (ABNT, 1997) admite para as resistências a esforços normais, um coeficiente de variação de 18% e para as resistências a esforços tangenciais um coeficiente de variação de 28%.

6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia empregada consistiu-se em pesquisa bibliográfica e experimental. A pesquisa bibliográfica foi composta principalmente de livros, artigos científicos e teses para embasamento teórico. No que se refere a metodologia experimental, esta apresentou uma manipulação com uso de estatística descritiva e com uso de gráficos para análise de variáveis independentes e dependentes, sendo estas variáveis provenientes da caracterização física e mecânica do eucalipto em estudo. Além disso, foram realizados ensaios laboratoriais no Laboratório de Materiais da Construção Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO) em Palmas-TO para a caracterização da madeira de eucalipto comercializada na cidade de Palmas-TO.

6.1. Delineamento experimental

Para o desenvolvimento deste projeto foram realizados ensaios laboratoriais utilizando a madeira de eucalipto comercializada na cidade de Palmas-TO, pertencente ao grupo das angiospermas na classificação botânica. A Tabela 4 a seguir apresenta o quantitativo de corpos de prova (CP), seguindo as recomendações propostas no Apêndice B da NBR 7190 (ABNT, 1997). As dimensões apresentadas na Tabela 4 abaixo estão relacionadas na respectiva ordem: largura (L), altura (A) e comprimento (C).

Tabela 4. Levantamento de quantitativo de corpos de prova

	ENSAIO	Dimensões L x A x C (cm)	Empresa A	Empresa B
1	Umidade, Densidade e Estabilidade Dimensional	2x3x5	18	18
4	Compressão paralela às fibras	5x5x15	12	12
5	Tração paralela às fibras	5x2x45	12	12
6	Compressão normal às fibras	5x10x5	12	12
7	Tração normal às fibras	5x5x6,35	12	12
8	Cisalhamento	5x6,4x5	12	12
9	Flexão	5x5x115	12	12
10	Dureza paralela às fibras	5x5x15	12	12
11	Dureza normal às fibras	5x5x15	12	12

Fonte: Autor, 2019

Para análise foram utilizados 2 lotes de madeiras serradas, que segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), na investigação direta da resistência de lotes homogêneos de madeira, cada lote não deve ter um volume superior a 12 m³, estes foram provenientes de 2 madeireiras que comercializam eucalipto na região, classificadas como **empresa A** e **empresa B** neste trabalho. A **empresa A** comercializa somente a madeira roliça de eucalipto e esta não soube informar a espécie, proveniente da **empresa A** foram utilizadas peças de 12 a 14 cm de diâmetro. Por outro lado, a **empresa B** comercializa a madeira tratada de forma roliça e serrada de eucalipto e informou que a espécie comercializada era *Cloezi* com origem em Capelinha-MG, proveniente desta empresa foram utilizadas peças de 12 a 14 cm de diâmetro.

No que se refere a caracterização simplificada a NBR 7190 (ABNT, 1997) estabelece que a amostragem deve ser composta por pelo menos 6 corpos de prova, porém, foram confeccionados 12 corpos de prova de cada empresa para cada ensaio mecânico e 18 corpos de prova de cada empresa para os ensaios físicos.

6.2. Propriedades físicas e mecânicas

A caracterização dos lotes de madeira serrada foi feita por meio da determinação das variáveis, em ensaios realizados de acordo com o anexo B da NBR 7190 (ABNT, 1997), descritos a seguir:

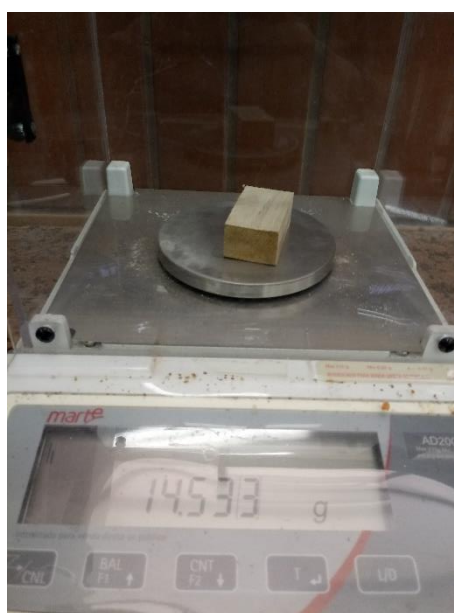
- a) Umidade;
- b) Densidade básica (D_b ou ρ_{bas});

- c) Estabilidade dimensional;
- d) Compressão paralela às fibras;
- e) Compressão normal às fibras;
- f) Cisalhamento;
- g) Dureza paralela às fibras;
- h) Dureza normal às fibras.

6.2.1. Umidade

Para determinação do teor de umidade os corpos de prova foram medidos em uma balança com precisão de 0,001 g, conforme figura 11 apresentada abaixo.

Figura 11. Medição de massa seca em balança com precisão de 0,001 g



Fonte: Autor, 2019

Após a determinação da massa, estes foram colocados na câmara de secagem, com temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, conforme figura 12 apresentada abaixo.

Figura 12. Câmara de secagem



Fonte: Autor, 2019

No transcorrer da secagem, a massa do corpo de prova foi medida a cada 6h, até que ocorresse uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5% da última massa medida, sendo esta massa definida como massa seca (m_s). Finalizada a determinação da massa seca, utilizou-se a equação 1, para o cálculo do teor de umidade.

6.2.2. Densidade básica

Após a determinação da massa seca apresentada no item anterior (6.2.1.), iniciou-se o processo de saturação do corpo de prova, conforme figura 13. Como a norma não especifica o intervalo de tempo entre as medições, adotou-se uma frequência inicial de 1 hora e depois de 8 horas para comparação entre resultados.

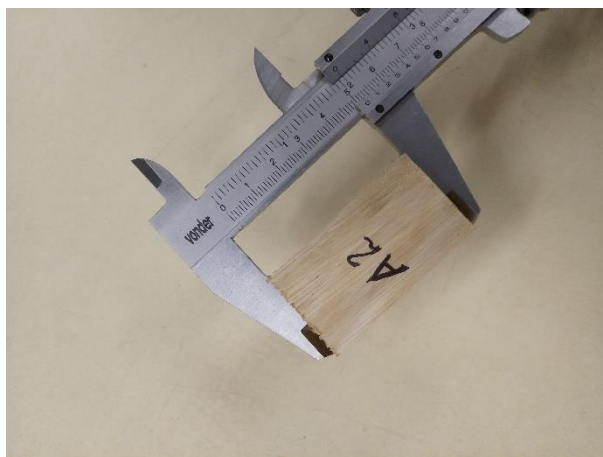
Figura 13. Saturação dos corpos de prova



Fonte: Autor, 2019

O volume do corpo de prova era obtido por meio das medidas dos lados da seção transversal e do comprimento, com precisão de 0,01 mm, conforme apresentado na figura 14. Para isso, mais de uma medida foi tomada para considerar as possíveis imperfeições devido ao inchamento do corpo de prova.

Figura 14. Medição do corpo de prova com uso de paquímetro



Fonte: Autor, 2019

6.2.3. Estabilidade dimensional

Para determinação da estabilidade dimensional (retratibilidade e inchamento), realizou-se a medida dos corpos de prova com precisão de 0,01 mm após a secagem realizada para a obtenção do teor de umidade (item 6.2.1). Referente ao inchamento,

este foi obtido após a realização da densidade básica, nos quais os corpos de prova ficaram submersos até o ponto de saturação para frequência de 8h.

6.2.4. Compressão paralela às fibras

Para a determinação da compressão paralela às fibras, inicialmente foi realizada as medições dos lados dos corpos de prova com 0,1 mm de exatidão. Em seguida, inseriu-se os valores no computador interligado à prensa hidráulica para a leitura dos dados. Logo após, foi iniciado o ensaio de compressão.

Na figura 15 abaixo pode-se observar a realização do ensaio de compressão paralela às fibras.

Figura 15. Ensaio de compressão paralela às fibras



Fonte: Autor, 2019

6.2.5. Tração paralela às fibras

Não houve a possibilidade de realização do ensaio de tração paralelas às fibras devido as limitações de acessórios do Laboratório de Materiais da Construção Civil no Instituto Federal do Tocantins, tal como célula de carga e garras específicas para a realização deste ensaio. Todavia, a NBR 7190 (ABNT, 1997) permite fazer uma caracterização simplificada da madeira serrada a partir da resistência característica de compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$). Logo, para determinação dos valores característicos de resistência da tração paralela às fibras ($f_{t0,k}$) utilizou-se a equação 29:

$$\frac{f_{c0,k}}{f_{t0,k}} = 0,77 \quad (\text{Eq. 29})$$

Na figura 16 abaixo pode-se observar os corpos de prova para ensaio de tração paralela às fibras.

Figura 16. Corpos de prova para ensaio de tração paralela às fibras



Fonte: Autor, 2019

6.2.6. Compressão normal às fibras

Para a determinação da compressão normal às fibras, inicialmente foi realizada as medições dos lados dos corpos de prova com 0,1 mm de exatidão. Após isso, inseriu-se os valores no computador interligado à prensa hidráulica para a leitura dos dados. Em seguida, foi iniciado o ensaio de compressão.

Na figura 17 abaixo pode-se observar a realização do ensaio de compressão normal às fibras.

Figura 17. Ensaio de compressão normal às fibras



Fonte: Autor, 2019

6.2.7. Tração normal às fibras

Além da inviabilidade do ensaio de tração paralela às fibras, também não foi possível de realizar o ensaio de tração normal às fibras pelos mesmos motivos apresentados acima no item 6.2.5. Todavia, a NBR 7190 (ABNT, 1997, p.15) faz a observação de que para efeito de projeto estrutural, considera - se como nula a resistência à tração normal às fibras das peças de madeira.

Na figura 18 abaixo pode-se observar os corpos de prova confeccionados para ensaio de tração normal às fibras.

Figura 18. Corpos de prova para ensaio de tração normal às fibras



Fonte: Autor, 2019

6.2.8. Cisalhamento

Para a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, as medidas dos lados dos corpos de prova foram realizadas com 0,1 mm de precisão.

Para ajuste do corpo de prova na máquina de ensaio, foi colocada uma rótula entre o atuador e o corpo de prova, seguido pelo carregamento monotônico crescente, com taxa de 2,5 MPa/min.

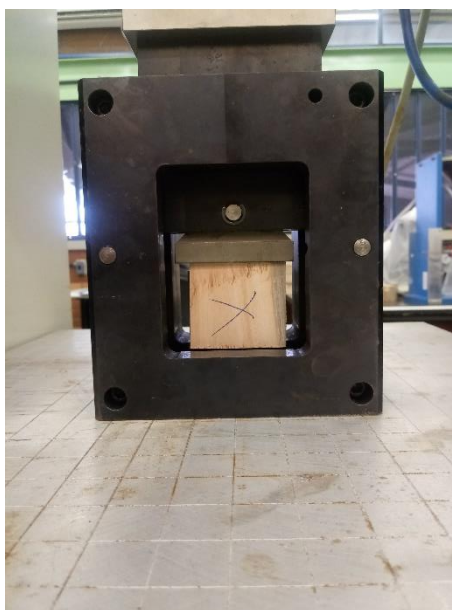
Nas figuras 19 e 20 abaixo pode-se observar a realização do ensaio de cisalhamento.

Figura 19. Corpo de prova para ensaio mecânico de cisalhamento



Fonte: Autor, 2019

Figura 20. Ensaio mecânico de cisalhamento



Fonte: Autor, 2019

6.2.9. Flexão

O ensaio mecânico de flexão não foi possível de ser realizado devido as limitações de carga da prensa hidráulica do Laboratório de Materiais da Construção Civil no Instituto Federal do Tocantins.

Na figura 21 pode-se observar os corpos de prova para ensaio de flexão.

Figura 21. Corpos de prova para ensaio de flexão



Fonte: Autor, 2019

6.2.10. Dureza

Para a determinação da dureza, foi necessário determinar com exatidão de 0,1 mm as medidas dos lados dos corpos de prova. Após as medidas, foi realizado o ensaio tanto na direção paralela quanto normal às fibras. O carregamento foi monotônico crescente, sendo aplicado até que a esfera penetrasse a uma profundidade igual ao seu raio, em um tempo mínimo de 1 min.

Nas figuras 22 e 23 abaixo pode-se observar a realização dos ensaios de dureza Janka, respectivamente, paralela às fibras e normal às fibras.

Figura 22. Ensaio mecânico de dureza Janka paralela às fibras



Fonte: Autor, 2019

Figura 23. Ensaio mecânico de dureza Janka normal às fibras



Fonte: Autor, 2019

6.3. Análise estatística

Para análise estatística, foram utilizados os *softwares* Statistica (TIBCO INC., 2019) e Excel 365 (MICROSOFT CORPORATION, 2019), com foco na estatística descritiva e nas análises gráficas, respectivamente. Tendo como objetivo a aplicação do embasamento teórico do item 5.4.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados a seguir são apresentados em forma de valores médios, medianas, característicos e diagramas de caixa. Os resultados obtidos para cada ensaio e cada CP estão inseridos no Apêndice A. Os gráficos de probabilidade normal e o resumo gráfico foram inseridos no Apêndice B. Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), a caracterização mínima para espécies pouco conhecidas, deverá apresentar uma quantidade de corpos de prova superior ou igual a 12 para cada lote.

7.1. Propriedades físicas

7.1.1. Teor de umidade

Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), os resultados das propriedades de resistência devem ser apresentados com valores característicos e acompanhados do respectivo teor de umidade. Desta forma, foi determinado o teor de umidade conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997), apresentados na tabela 5.

Tabela 5. Resultados para Teor de Umidade (TU)

	Média TU (%)	CV (%)
Empresa A	12,77	17,47
Empresa B	12,42	7,76

Fonte: Autor, 2019

7.1.2. Densidade Básica

No que tange a densidade básica, a NBR 7190 (ABNT, 1997, p. 49) determina o volume saturado 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”.

Nessa perspectiva, a NBR 7190 (ABNT, 1997) não estabelece uma frequência específica para verificação das medidas; conseqüentemente, este torna-se mais um fator para a variabilidade de densidade básica da madeira. Para comprovação desta

variação, verificou-se a densidade básica com frequência de 1 hora e outra com frequência de 8 horas até a saturação especificada acima pela NBR 7190 (ABNT, 1997), os resultados são apresentados nas tabelas 6 e 7, respectivamente.

Tabela 6. Resultado para Densidade Básica (DB) com frequência de 1 hora

	Média DB (g.cm⁻³)	CV (%)	Classe de resistência	Classificação
Empresa A	758,14	6,93	C 40	Alta Densidade
Empresa B	797,09	8,01	C 40	Alta Densidade

Fonte: Autor, 2019

Tabela 7. Resultado para Densidade Básica (DB) com frequência de 8 horas

	Média DB (g.cm⁻³)	CV (%)	Classe de resistência	Classificação
Empresa A	636,32	21,82	C 20	Média Densidade
Empresa B	685,36	8,74	C 30	Média Densidade

Fonte: Autor, 2019

De acordo com os resultados apresentados nas tabelas 6 e 7, foi observado uma redução de 797,09 (g.cm⁻³) para 685,36 (g.cm⁻³) na densidade básica para o eucalipto da empresa B. Além disso, houve um aumento no coeficiente de variação para o eucalipto tratado da empresa B de 8,01% para 8,74%.

Referente ao eucalipto da empresa A essa redução foi mais significativa e apresentou uma diminuição de 758,14 (g.cm⁻³) para 636,32 (g.cm⁻³) na densidade básica. O coeficiente de variação também foi superior quando comparado a variação da empresa B, dessa forma, o eucalipto da empresa A teve um aumento de 6,93% para 21,82% no coeficiente de variação.

De acordo com os resultados da tabela 7, o eucalipto da empresa B se enquadra na classe C30 e o eucalipto da empresa A se enquadra na classe C 20 conforme tabela 3. No entanto, o coeficiente de variação para o eucalipto da empresa A foi um pouco elevado, e com uma amostragem maior, este poderá ser classificado como C 30 dependendo do novo resultado, pois a densidade básica tem relação direta com os resultados mecânicos, e estes se apresentaram semelhantes ao do eucalipto da empresa B, conforme serão abordados mais adiante.

A partir destes dados observados, verifica-se a necessidade de existir uma frequência estabelecida na NBR 7190 (ABNT, 1997) para que as pesquisas sejam padronizadas na determinação da densidade básica. Além disso, a extração do corpo de prova precisa ser melhor estabelecido, pois segundo o estudo realizado por Oliveira *et al.* (2005) mostra que pode haver variação da densidade básica de acordo com a origem de extração do corpo de prova, sendo que há um aumento da propriedade na direção medula-casca, com cada espécie apresentando um perfil de variação distinto.

A classificação da densidade da madeira foi de acordo com os estudos realizados por Melo *et al.* (1990); Vale *et al.* (2002, 2005); Coradin *et al.* (2010); Silveira *et al.* (2013), em que classificam as madeiras de alta densidade aquelas com valores superiores a $0,730 \text{ g.cm}^{-3}$, média densidade com valores entre $0,550$ e $0,720 \text{ g.cm}^{-3}$ e baixa densidade aquelas que apresentam valores abaixo de $0,550 \text{ g.cm}^{-3}$.

7.1.3. Estabilidade dimensional

A estabilidade dimensional está ligada à variação dimensional da madeira em decorrência da troca de umidade do material com o meio externo, até o momento de equilíbrio higroscópico. A propriedade de estabilidade dimensional da madeira tem grande diferença entre espécies e o volume da madeira pode variar devido à capacidade de adsorção (OLIVEIRA *et al.*, 2010; MORESCHI, 2005).

Nesse sentido, conforme pode ser observado na tabela 8, a densidade interfere diretamente na estabilidade dimensional da madeira, no qual o eucalipto da empresa B apresentou uma estabilidade dimensional média de 19,10% e o eucalipto da empresa A de 3,18%, sendo a densidade básica do eucalipto da empresa B de $685,36 \text{ kg/m}^3$ maior que do eucalipto da empresa A de $636,2 \text{ kg/m}^3$. No entanto, o eucalipto da empresa B apresentou um coeficiente de variação dos resultados inferior ao do eucalipto da empresa A.

Tabela 8. Resultado para Estabilidade Dimensional (ED)

	Média ED (%)	CV (%)
Empresa A	3,18	29,82
Empresa B	19,10	11,56

Fonte: Autor, 2019

Basset (1994) enfatizou que as ligações por pontes de hidrogênio entre as microfibrilas dos polissacarídeos que formam a madeira e as moléculas de água são tão fracas que a água é facilmente liberada, quando a umidade atmosférica cai, permitindo a madeira a se contrair novamente. Sendo assim, devido as madeiras mais densas terem maior concentração de células de paredes mais espessas, estas tendem a absorver mais água por unidade de volume e, conseqüentemente, a expandir ou contrair mais do que aquelas de menor densidade. Todavia, as contrações volumétricas podem não ser muito elevadas em madeiras densas que apresentam elevados teores de extrativos hidrófobos nas paredes celulares.

7.2. Propriedades mecânicas de compressão paralela às fibras

Considerando os valores característicos para resistência à compressão paralela dados na Tabela 9 e as classes de resistência para as dicotiledôneas indicadas na Tabela 3; tanto o lote do eucalipto da empresa B quanto o eucalipto da empresa A em análise se enquadraram na classe C 30. Porém, o eucalipto da empresa B apresentou uma resistência ligeiramente superior ao eucalipto da empresa A, comprovando assim a relação direta entre a densidade (Tabela 7) e a resistência mecânica de compressão paralela às fibras (Tabela 9). Além disso, a tabela 10 mostra que o coeficiente de variação para o eucalipto da empresa B e o eucalipto da empresa A, foram aproximadamente iguais e inferiores ao previsto em norma, 18% conforme apresentado no item 5.4.

Tabela 9. Resistência característica para compressão paralela às fibras

Valores Característicos (MPa)	
Empresa A	31,24
Empresa B	37,38

Fonte: Autor, 2019

Tabela 10. Resultado estatístico para compressão paralela às fibras

Medidas Estatísticas	Empresa A	Empresa B
n	12	12
$\bar{x}$	33,88	38,42
s^2	9,28	12,30
s	3,05	3,51
cv (%)	8,99	9,13

n é quantidade de dados;

$\bar{x}$ é a resistência média de compressão paralela às fibras (MPa);

s^2 é a variância amostral da resistência de compressão paralela às fibras;

s é o desvio padrão amostral da resistência de compressão paralela às fibras;

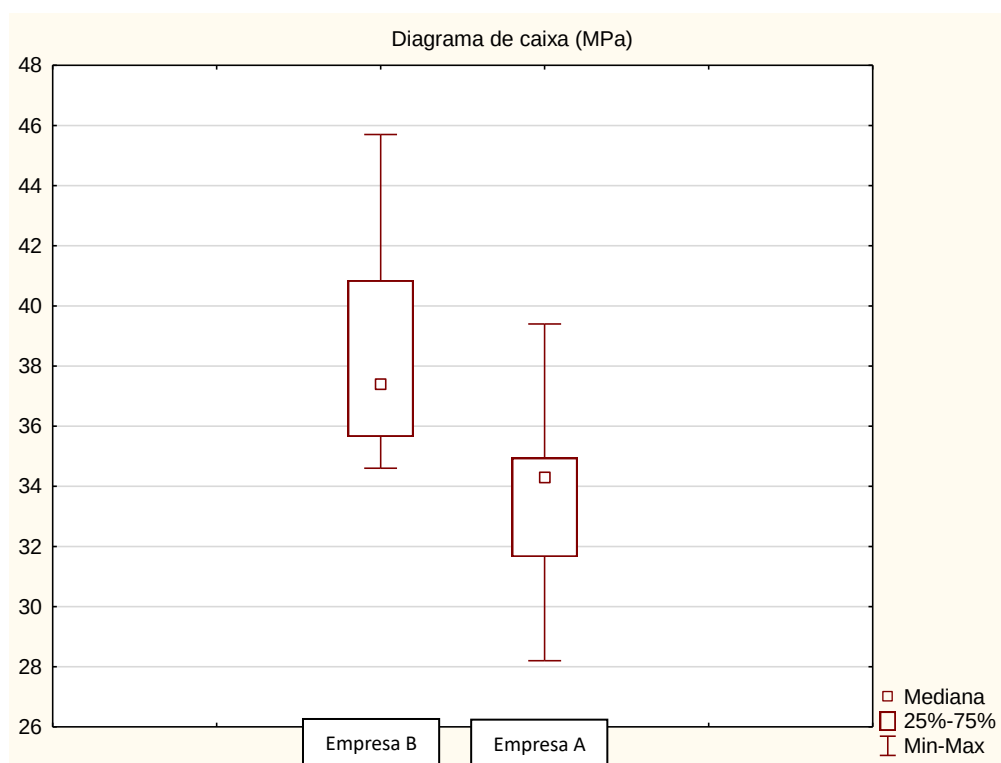
cv é o coeficiente de variância amostral da resistência a compressão dos blocos.

Fonte: Autor, 2019

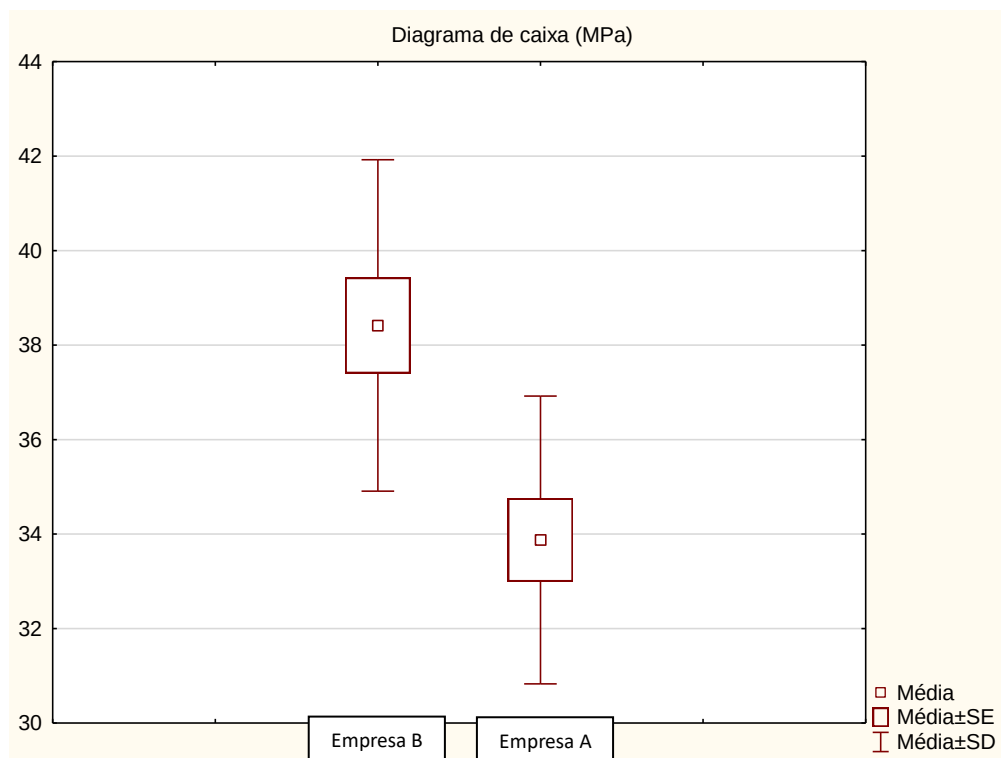
Como pode ser observado na figura 24 abaixo, aproximadamente 75% dos dados do eucalipto da empresa B e do eucalipto da empresa A apresentaram, respectivamente, resistências de compressão paralela às fibras superiores a 35,65 MPa e 31,65 MPa.

Através das figuras 24 e 25, observamos que o comportamento dos diagramas considerando a média e mediana foram aproximadamente iguais, apresentando assim uma tendência de normalidade em seus resultados.

Figura 24. Diagrama de caixa com mediana e variações - compressão paralela



Fonte: Autor, 2019

Figura 25. Diagrama de caixa com média e variações - compressão paralela

7.3. Propriedades mecânicas de tração paralela às fibras

De acordo com o item 7.2, a resistência característica de compressão paralela ($f_{c0,k}$) às fibras para o eucalipto da empresa B é de 37,38 MPa e da empresa A de 31,24 MPa, sendo assim, foi utilizado o coeficiente estabelecido pela NBR 7190 (ABNT, 1997) para uma caracterização simplificada da propriedade mecânica de tração paralela às fibras ($f_{t0,k}$) devido a inviabilidade de realização deste ensaio apresentado no item 6.2.5, dada respectivamente pelas equações 30 e 31:

$$f_{t0,k} = \frac{37,38}{0,77} = 48,54 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 30})$$

$$f_{t0,k} = \frac{31,24}{0,77} = 40,57 \text{ MPa} \quad (\text{Eq. 31})$$

7.4. Propriedades mecânicas de compressão normal às fibras

Considerando os valores característicos para resistência à compressão normal apresentados na Tabela 11, há semelhança entre o eucalipto da empresa A e B. O eucalipto da empresa B apresentou, ainda assim, uma resistência superior ao eucalipto da empresa A, comprovando assim a relação direta entre a densidade (Tabela 7) e a resistência mecânica de compressão normal às fibras (Tabela 11).

Tabela 11. Resistência característica de compressão normal às fibras

Valores Característicos (MPa)	
Empresa A	12,45
Empresa B	13,57

Fonte: Autor, 2019

Os valores obtidos na tabela 12 para o coeficiente de variação foi elevado para o eucalipto da empresa A, acima de 18%, que é um valor de referência apresentado no item 5.4. Tal fato pode se dever a possibilidade de quantidade não satisfatória de amostras utilizadas no experimento (quantidade de corpos de prova). Normalmente, quanto maior o número de amostras, menor é o coeficiente de variação. Além disso, durante os ensaios foram identificados alguns defeitos nas amostras, Melo (2013) afirma que os nós, inclinação das fibras, rachaduras, defeitos de secagem, são os defeitos mais comuns que têm influência diferenciada na resistência da madeira em função do tipo de solicitação, conforme apresentado na tabela 13 abaixo. Entretanto, o presente trabalho teve como objetivo a caracterização de eucaliptos da forma com que são comercializados em Palmas, e não em condições perfeitas, visto que a condição perfeita não representaria assim a realidade.

Tabela 12. Resultado estatístico para compressão normal às fibras

Medidas Estatísticas	Empresa B	Empresa A
n	12	12
$\bar{x}$	16,23	17,79
s^2	5,51	48,96
s	2,35	7,00
cv (%)	14,45	39,33

Fonte: Autor, 2019

Tabela 13. Aspectos visuais dos corpos de prova para compressão normal da empresa A e as respectivas resistências

Corpo de prova H1	Resistência H1 (MPa)	Corpo de prova H2	Resistência H2 (MPa)
	25,9		10,2
Corpo de prova H3	Resistência H3 (MPa)	Corpo de prova H5	Resistência H5 (MPa)
	18,9		15
Corpo de prova H6	Resistência H6 (MPa)	Corpo de prova H7	Resistência H7 (MPa)
	24,4		16,0

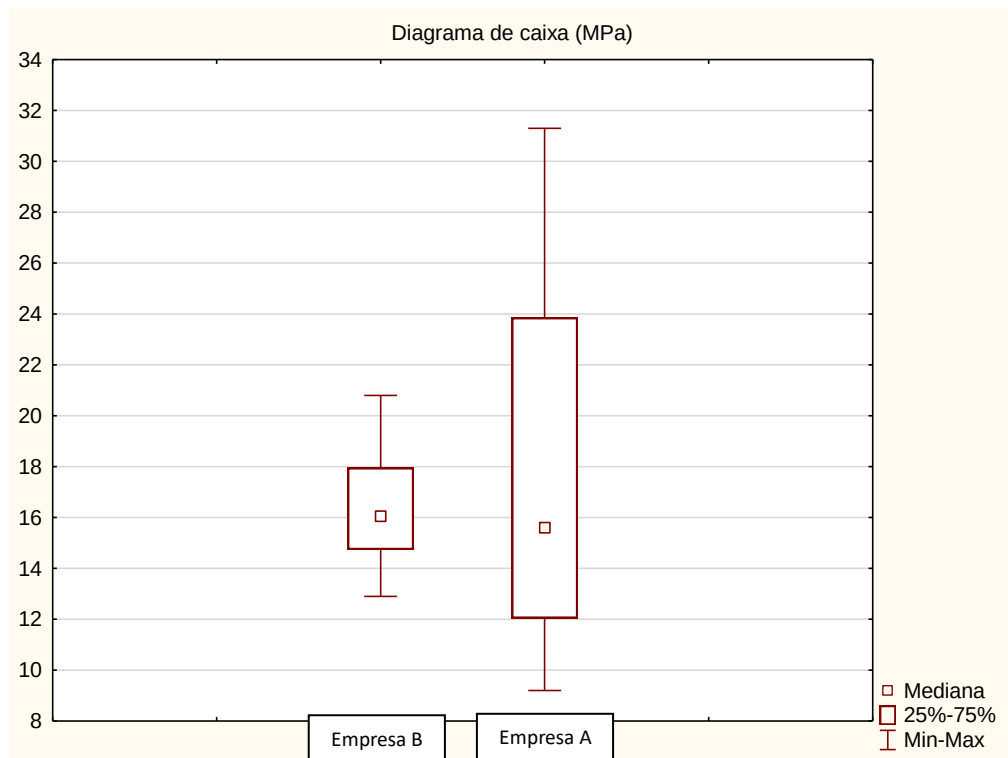
Continua

Continuação			
Corpo de prova H9	Resistência H9 (MPa)	Corpo de prova H10	Resistência H10 (MPa)
	12,5		31,3
Corpo de prova H11	Resistência H11 (MPa)		
	9,2		

Fonte: Autor, 2019

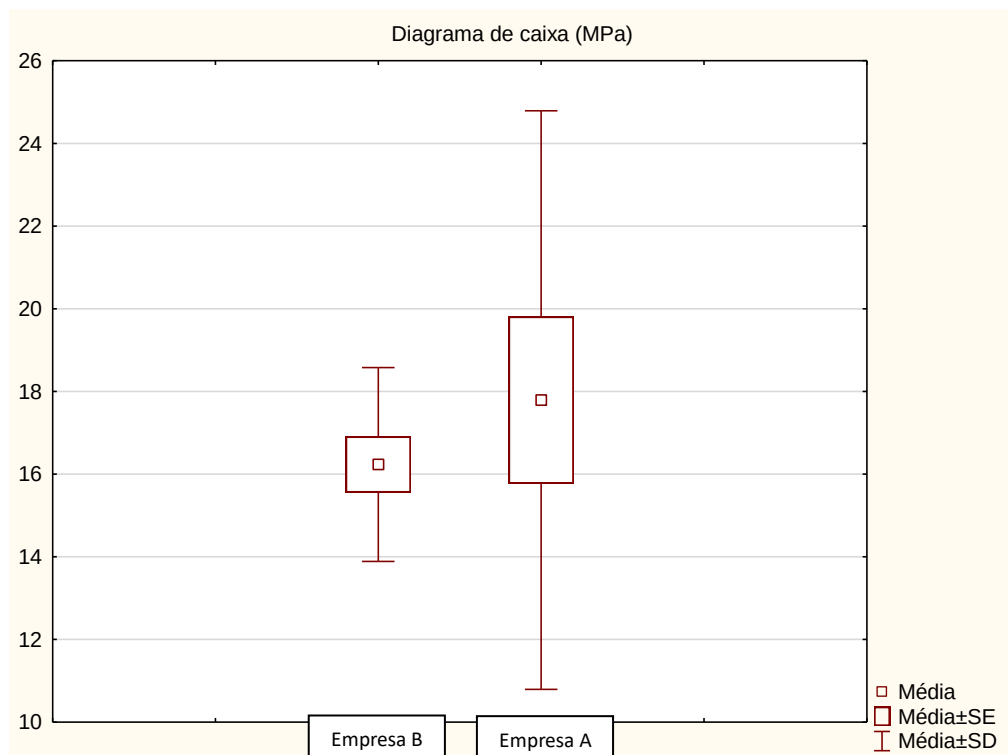
Como pode ser observado na figura 26 abaixo, aproximadamente 75% dos dados do eucalipto da empresa A e B apresentaram, respectivamente, resistências de compressão normal às fibras superiores a 12,05 MPa e 14,75 MPa.

Figura 26. Diagrama de caixa com mediana e variações - compressão normal



Fonte: Autor, 2019

Figura 27. Diagrama de caixa com média e variações - compressão normal



Fonte: Autor, 2019

Observando as figuras 26 e 27, nota-se que o comportamento dos diagramas considerando a média e mediana foram aproximadamente iguais, apresentando assim uma tendência de normalidade em seus resultados.

7.5. Propriedades mecânicas de cisalhamento

Considerando os valores característicos para resistência ao cisalhamento apresentados na Tabela 14 e as classes de resistência para as dicotiledôneas indicada na tabela 3; o lote do eucalipto da empresa A em análise se enquadra na classe C 60 e o lote do eucalipto da empresa B se enquadra na classe C 30. Dessa forma, o eucalipto da empresa A apresentou uma resistência superior ao eucalipto da empresa B, demonstrando que a classificação para as dicotiledôneas é coerente (Tabela 3), e por vezes os resultados podem ser superiores aos estimados, tal como a resistência ao cisalhamento do eucalipto da empresa A apresentado na tabela 14 abaixo. Além disso, a tabela 15 mostra que o coeficiente de variação para o eucalipto da empresa B foi superior ao eucalipto da empresa A, no entanto, próximo ao previsto em norma, 28% conforme apresentado no item 5.4.

Tabela 14. Resistência característica de cisalhamento

Valores Característicos (MPa)	
Empresa A	8,07
Empresa B	5,50

Fonte: Autor, 2019

Tabela 15. Resultado estatístico para cisalhamento

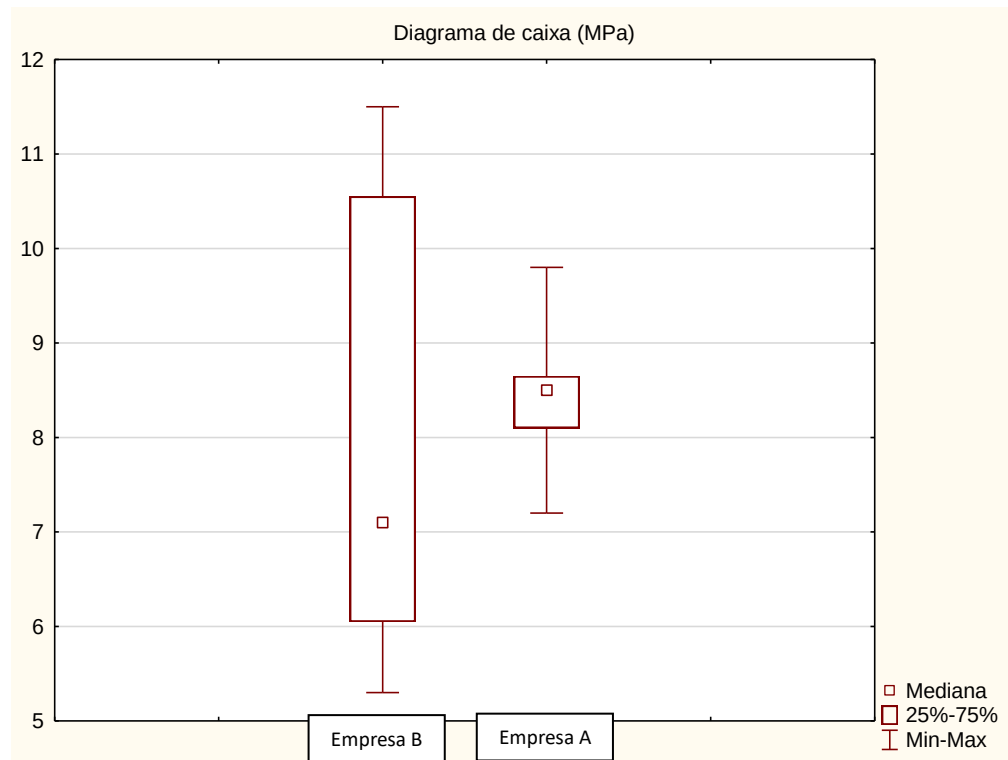
Medidas Estatísticas	Empresa B	Empresa A
n	12	12
$\bar{x}$	7,86	8,50
s^2	5,40	0,51
s	2,32	0,71
cv (%)	29,56	8,41

Fonte: Autor, 2019

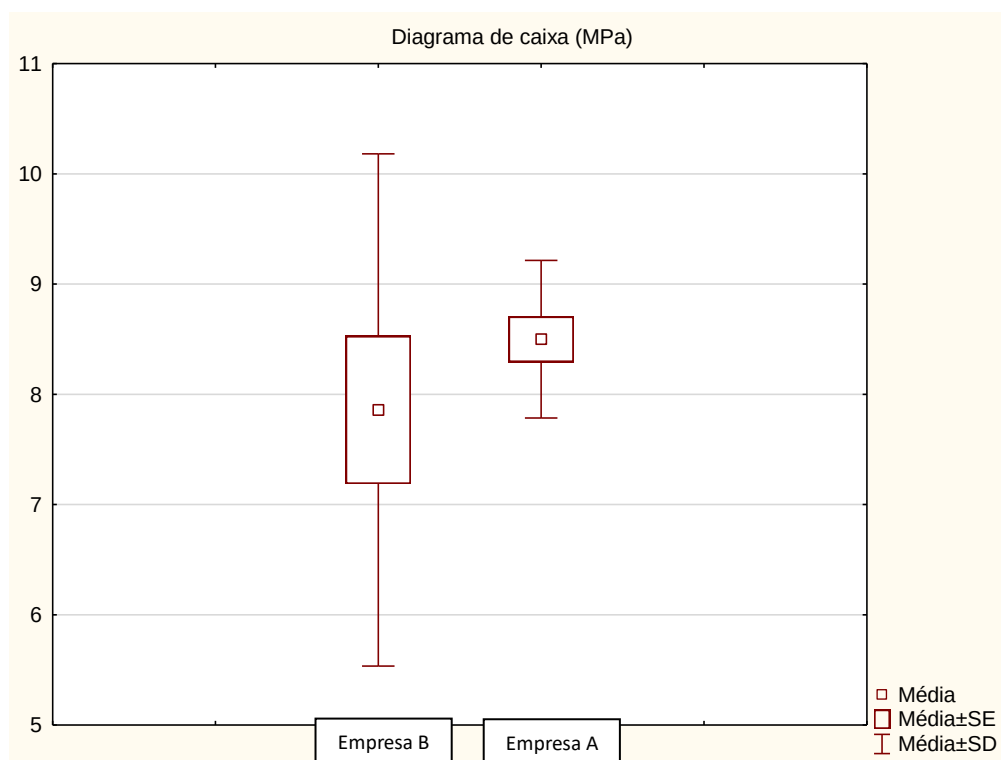
Como pode ser observado na figura 28 abaixo, aproximadamente 75% dos dados do eucalipto da empresa A e B apresentaram, respectivamente, resistências ao cisalhamento superiores a 8,1 MPa e 6,05 MPa.

Observando as figuras 28 e 29, nota-se que o comportamento dos diagramas considerando a média e mediana apresentam uma certa normalidade, porém, já possui traços de assimetria devido a tendência da mediana para os extremos.

Figura 28. Diagrama de caixa com mediana e variações - cisalhamento



Fonte: Autor, 2019

Figura 29. Diagrama de caixa com média e variações - cisalhamento

Fonte: Autor, 2019

7.6. Propriedades mecânicas de dureza paralela às fibras

Analisando os valores característicos para o ensaio de dureza Janka paralela às fibras (Tabela 16), observa-se uma resistência superior para o eucalipto da empresa B em detrimento do eucalipto da empresa A, comprovando assim a relação direta entre a densidade (Tabela 7) e a resistência característica de dureza paralela às fibras (Tabela 16).

Tabela 16. Resistência característica de dureza paralela às fibras

Valores Característicos (MPa)	
Empresa A	31,53
Empresa B	37,14

Fonte: Autor, 2019

Para a dureza Janka na direção paralela às fibras, o eucalipto da empresa A apresentou menor coeficiente de variação em relação ao eucalipto da empresa B

(Tabela 17), porém em ambos os casos foram inferiores a 18%, previsto em norma e destacado no item 5.4. deste trabalho.

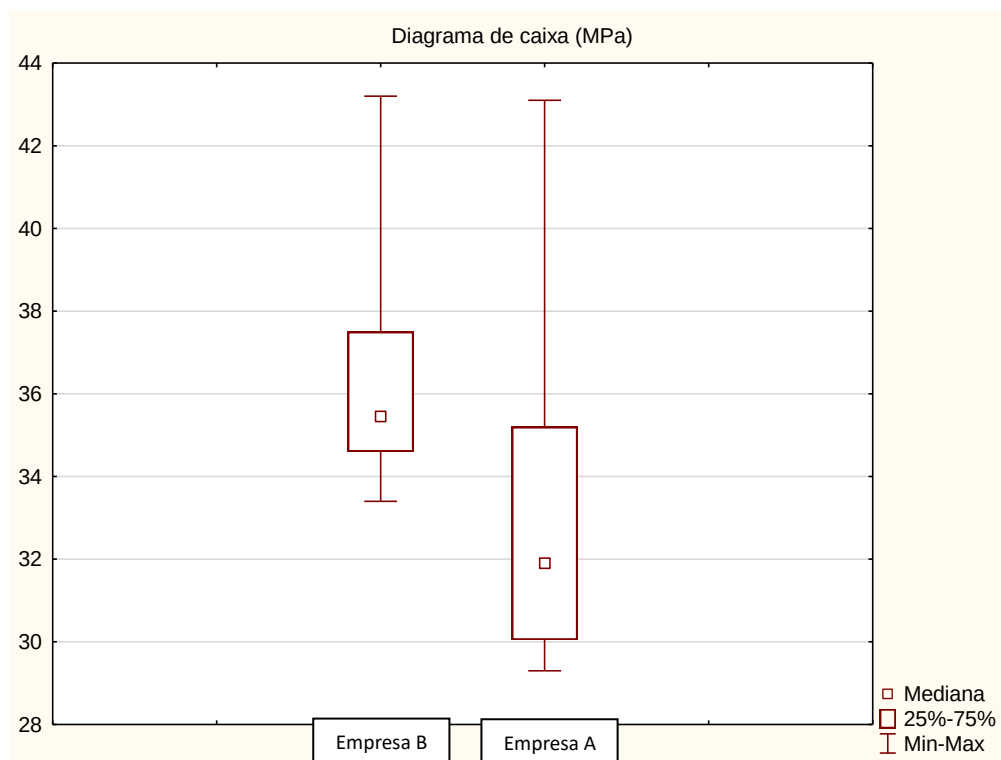
Tabela 17. Resultado estatístico para dureza paralela às fibras

Medidas Estatísticas	Empresa B	Empresa A
n	12	12
$\bar{x}$	36,38	33,22
s^2	7,09	17,74
s	2,66	4,21
cv (%)	7,32	12,68

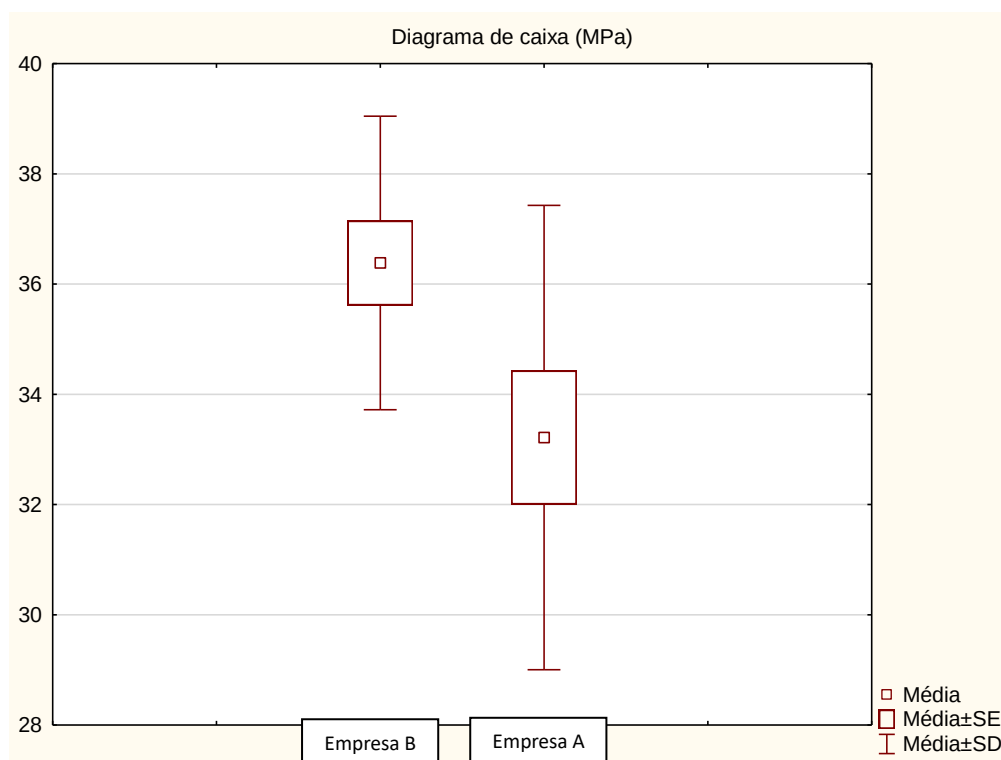
Fonte: Autor, 2019

Como pode ser observado na figura 30 abaixo, aproximadamente 75% dos dados do eucalipto da empresa B e A apresentaram, respectivamente, dureza paralela às fibras superiores a 34,6 MPa e 30,05 MPa. Além disso, é nítido na análise dos diagramas que o eucalipto da empresa A apresentou uma amplitude de resistência superior ao eucalipto da empresa B. Além disso, nota-se que o comportamento dos diagramas nas figuras 30 e 31 apresentam uma certa normalidade.

Figura 30. Diagrama de caixa com mediana e variações - dureza paralela



Fonte: Autor, 2019

Figura 31. Diagrama de caixa com média e variações - dureza paralela

Fonte: Autor, 2019

7.7. Propriedades mecânicas de dureza normal às fibras

Segundo os valores característicos para o ensaio de dureza Janka normal às fibras (Tabela 18), verifica-se uma superioridade de resistência para o eucalipto da empresa B em detrimento do eucalipto da empresa A, comprovando assim a relação direta com a densidade (Tabela 7).

Tabela 18. Resistência característica de dureza normal às fibras

Valores Característicos (MPa)	
Empresa A	21,12
Empresa B	27,78

Fonte: Autor, 2019

Para a dureza Janka na direção normal às fibras, os eucaliptos da empresa B e A apresentaram coeficientes de variação aproximadamente iguais (Tabela 19), e em ambos casos superiores a 18%, previsto em norma e destacado no item 5.4. deste trabalho. Esta variabilidade ocorre devido aos diferentes pontos que pode ser aplicado

o ensaio, em alguns casos mais próximos da medula e em outros mais próximo da casca.

Tabela 19. Resultado estatístico para dureza normal às fibras

Medidas Estatísticas	Empresa B	Empresa A
n	12	12
$\bar{x}$	39,68	30,18
s^2	293,55	174,61
s	17,13	13,21
cv (%)	43,18	43,79

Fonte: Autor, 2019

Por meio da tabela 20 abaixo é possível verificar a variabilidade da dureza normal às fibras, comprovando os estudos realizados por Tomazello (1985), Brasil & Ferreira (1972) e Oliveira (1997), ao concluírem que quase todas as espécies de *Eucalyptus*, seguem um padrão, onde a densidade aumenta da medula para a casca. Dessa forma, observa-se uma relação direta entre a densidade e dureza, onde a dureza normal tende a ser maior quanto mais distante da medula.

Tabela 20. Análise sobre o ponto de aplicação do ensaio de dureza janka na direção normal às fibras

Corpo de prova G1	Resistência G1 (MPa)	Corpo de prova G2	Resistência G2 (MPa)
-------------------	----------------------	-------------------	----------------------



29,9



19,3

Continua

Continuação

Corpo de prova G3	Resistência G3 (MPa)	Corpo de prova G4	Resistência G4 (MPa)
	36,4		25,7
Corpo de prova G5	Resistência G5 (MPa)	Corpo de prova G6	Resistência G6 (MPa)
	46,5		61,7
Corpo de prova G7	Resistência G7 (MPa)	Corpo de prova G8	Resistência G8 (MPa)
	22,4		23,5

Continua

Continuação	
Corpo de prova G9	Resistência G9 (MPa)
	36,7
Fonte: Autor, 2019	

Como pode ser observado na figura 32 abaixo, aproximadamente 75% dos dados do eucalipto B e A apresentaram, respectivamente, dureza paralela às fibras superiores a 26,05 MPa e 21,5 MPa. Além disso, os diagramas apresentados nas figuras 32 e 33 mostram que o eucalipto da empresa A e o eucalipto da empresa B tiveram amplitudes de resistência semelhantes, bem como certa normalidade com tendência para assimetria devido a posição da mediana aos extremos.

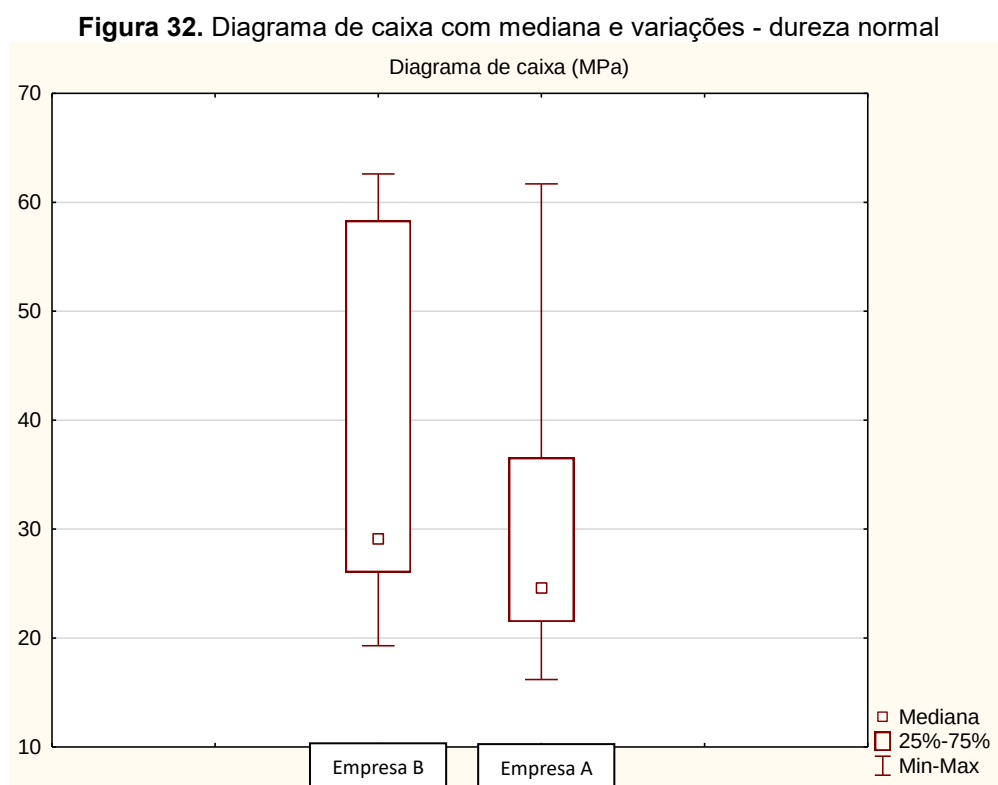
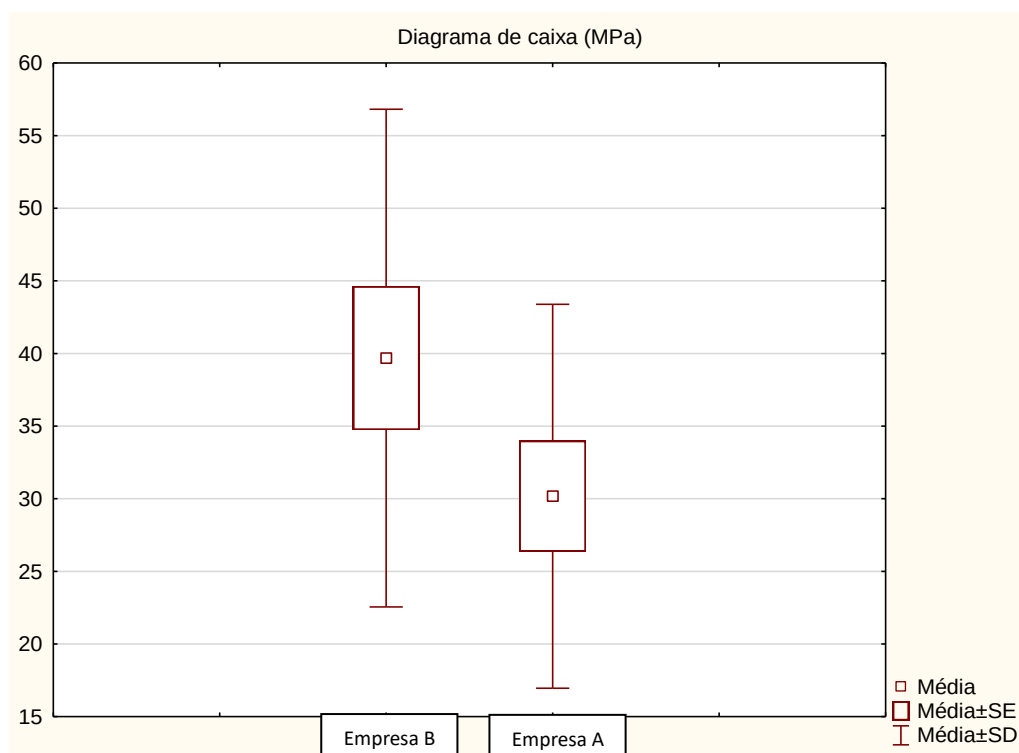


Figura 33. Diagrama de caixa com média e variações - dureza normal

Fonte: Autor, 2019

7.8. Comparativo dos resultados obtidos em ensaio para a espécie *cloeziana* em relação aos resultados de norma

A tabela 21 apresenta o comparativo dos resultados das resistências médias obtidos por norma e por ensaios:

Tabela 21. Comparativo entre os resultados obtidos por meio de norma e ensaio

Nome científico	f_{c0}	f_v	n
<i>Eucalyptus cloeziana</i> - NBR 7190 (ABNT, 1997)	51,8	10,5	21
<i>Eucalyptus cloeziana</i> - Testes realizados	38,42	7,86	12

f_{c0} = resistência média da compressão paralela as fibras (MPa);

f_v = resistência média do cisalhamento (MPa);

n = número de corpos de prova ensaiados.

Fonte: Autor, 2019

Conforme apresentado na tabela 21 acima, o resultado apresentado pela norma é bastante genérico, uma vez que não leva em consideração idade de corte,

diâmetro das peças e outros fatores que influenciam na resistência. Sendo assim, a norma apresenta uma resistência média superior ao ensaiado em 34,82% para a compressão paralela às fibras e em 33,59% para o cisalhamento. Divergindo de forma considerável com a resistência real.

7.9. Análise da correlação matemática apresentada pela NBR 7190/97 para o cisalhamento

A NBR 7190 (ABNT, 1997) estabelece que o valor de resistência ao cisalhamento pode ser obtido por meio de uma correlação matemática apresentada pela equação 32 a seguir:

$$f_{v0,k} = 0,12 \cdot f_{c0,k} \quad (\text{Eq. 32})$$

Dessa forma, a tabela 22 abaixo mostra que o valor apresentado pela correlação matemática foi bastante conservador. Sendo que o resultado do ensaio para empresa A foi superior a correlação matemática em 115,20 % e o resultado do ensaio para a empresa B foi superior a correlação matemática em 22,77 %.

Tabela 22. Comparativo entre os resultados obtidos por meio de ensaios e correlação matemática

Origem	$f_{v0,k}$ (correlação matemática)	$f_{v0,k}$ (ensaio)
<i>Empresa A</i>	3,75	8,07
<i>Empresa B</i>	4,48	5,50

$f_{v0,k}$ = resistência característica do cisalhamento (MPa);

Fonte: Autor, 2019

7.10. Comparativo dos resultados físico-mecânicos para empresa A e B

Na tabela 23 abaixo é possível observar que a empresa B se enquadrou de forma geral na classe C 30. Por outro lado, a empresa A apresentou classificação C

30 para compressão paralela às fibras, C 60 para resistência ao cisalhamento e C 20 para densidade básica.

Tabela 23. Comparativo de classificação de resistências para empresa A e B

	$f_{c0,k}$ MPa	$F_{v,k}$ MPa	DB g.cm⁻³
Empresa A	31,24	8,07	636,32
Classificação (Empresa A)	C 30	C 60	C 20
Empresa B	37,38	5,50	685,36
Classificação (Empresa B)	C 30	C 30	C 30

$f_{c0,k}$ = resistência característica de compressão paralela às fibras (MPa);

$f_{v,k}$ = resistência característica do cisalhamento (MPa);

DB = Densidade básica (g.cm⁻³);

Fonte: Autor, 2019

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou uma análise mais aprofundada acerca das propriedades físicas e mecânicas do eucalipto comercializado na cidade de Palmas-TO, sendo assim, este poderá ser utilizado como apoio para tomada de decisões dos profissionais quanto ao uso desta madeira na construção civil e desenvolvimento de outros trabalhos.

Os valores médios encontrados para as densidades básicas estão dentro dos padrões encontrados na literatura. Os lotes de madeira de eucalipto ensaiados apresentaram de forma geral, classificação C 20 para a empresa A e classificação C 30 para a empresa B. No entanto, a empresa A apresenta tendência para C30, pois apenas a densidade básica ficou como C 20, porém bem próximo de C 30.

Em caso de classificar os lotes das madeiras somente pela densidade básica ou aparente, verificou-se que esta subestima a qualidade mecânica da madeira ou se apresenta muito conservadora para algumas variáveis. Todavia, foi constatado uma relação direta entre a densidade e as propriedades mecânicas da madeira. Além disso, foi constatado que para cada propriedade mecânica pode haver uma classificação de resistência diferente.

No que se refere a variabilidade, em suma, os resultados apresentados atenderam os valores preconizados pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se analisar as propriedades físico e mecânicas do angelim vermelho, madeira largamente empregada na região de Palmas-TO e região. Outra possibilidade de estudo é desenvolver correlações matemáticas entre a densidade básica e aparente com as resistências mecânicas. Além disso, poderá ser desenvolvido um trabalho que apresente a relação do diâmetro das peças de madeiras com as respectivas resistências, e o quanto essa variação de diâmetro influencia na resistência, visto que quanto maior a idade, maior tende ser o diâmetro e resistência mecânica. Outra sugestão seria verificar a viabilidade de adquirir os acessórios necessários para que os demais ensaios possam ser executados no laboratório e assim prosseguir o desenvolvimento de pesquisas na instituição.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **Projetos de Estruturas de Madeira**: NBR – 7190. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C. **Estatística: para cursos de engenharia e informática**, São Paulo: Atlas, 2004.

BASSET, G. Swelling, shrinking and fire resistance. **Asian Timber**, v.13, n.10, p.28-33, 1994.

BATANERO, C. **Significado y comprensión de las medidas de posición central**. Departamento de Didáctica de Lá Matemática, Universidade de Granada. UNO, 2000, 25, p. 41-58. Disponível em <<http://www.ugr.es/~batanero>>. Acessado em 20 de julho de 2019.

BÖRJESSON, P.; GUSTAVSSON, L. Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives. **Energy Policy**, v. 28, p. 575-588, 2000.

BRASIL, M. A. M. **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus propínqua* Deane ex Maiden em função do local e do espaçamento**. Piracicaba 1972. 75p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ao nível do DAP. **IPEF**, n.4, p. 81-90, 1972.

BRITO, L. D. **Recomendações para o projeto e construção de estruturas com pelas roliças de madeira de reflorestamento**. 2010. 339 p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.

BUSNARDO, C. A.; GONZAGA, J. V.; FOEKEL, C. E. B.; *et al.* Em busca da qualidade ideal da madeira de eucalipto para produção de celulose. VI Altura ideal de amostragem para avaliação da densidade média para árvores de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, São Paulo, 1987. **Anais**. São Paulo: ABCP, 1987. p. 17–33.

CESAR, S. F. **As Estruturas Hauff de Madeira no Brasil**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Planejamento. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A.; PASTORE, T. C. M.; CHRISTO, A. G. **Madeiras comerciais do Brasil**: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos. 2010. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/introducao.htm>>. Acesso em: 25 julho de 2019.

GRAÇAS MARTINS, M. E. **Desvio padrão amostral**. Revista de Ciência Elementar, v. 1, n. 1, 2013. Disponível em: <https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/vol_1_num_1_18_art_desvioPadraoAmostr al.pdf>, acessado em: 23 de julho de 2019.

HELLMEISTER, J. C. Madeira e suas características. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, São Carlos, 1983. **Anais**. São Carlos: USP, EESC, SET, LaMEM, 1983. v.1. p. 37-42.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBA 2017**. São Paulo. 2017

LÉTON, S. L. **O mundo se rende aos arranha-céus de madeira**. EL PAÍS, Madri, março 2019. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2019/03/21/economia/1553167229_981390.html, acessado em 28/03/2019.

MANFRINATO, M. E. **Estudo sobre o uso da madeira para fins estruturais e arquitetônicos**. 2015. 88f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

MEIRELLES, C.R.M, *et al.* **Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em Construções Habitacionais**. Fórum de Pesquisa Mackenzie. São Paulo, 2007. Disponível em: http://www.mackenzie.br/fileadmin/Graduacao/FAU/Publicacoes/PDF_IIIForum_a/MA CK_III_FORUM_CELIA_REGINA.pdf. Acesso em 27 de março de 2019.

MELO, J. E.; CORADIN, V. R.; MENDES, J. C. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão, 1990. v. 3. p. 695-705.

MELO, R. R. de; ARALDI, D. B.; STANGERLIN, D. M.; MULLER, M. T.; GATTO, D. A. **Uso das características tecnológicas da madeira para o agrupamento de espécies florestais**. *Nativa*, n.1, v.1, p.1-7, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v01n01a01>>. Acesso em 16 de julho de 2019.

MICROSOFT CORPORATION. **Excel Office 365**. 2019

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Propriedades Tecnológicas da madeira, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da UFPR, Curitiba-PR, 2005.

MORI, C. L. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; SILVA, J. R. M. Caracterização da madeira de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (Benth.) Spreng) para confecção de móveis. **Brasil Florestal**, Brasília, p. 29 – 36, 2003.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo, 1997. 447 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005. DOI: 10.1590/S0100-67622005000100013

OLIVEIRA, J. T. da S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, n. 5, 2010.

REIS FILHO, N. G. **Quadro da arquitetura no Brasil** (11 ed.). São Paulo: Perspectiva. 2006.

RIBEIRO, F. A.; ZANI FIHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, n. 46, p. 76-85, 1993.

RODRIGUES, R. A. D. **Variabilidade de propriedades físico-mecânicas em lotes de madeira serrada de eucalipto para a construção civil**. Piracicaba 2002. 84p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SALES, A. **Proposição de classes de resistência para madeiras**. São Paulo, 1996. 223p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SANTOS, R. E. **A armação do concreto no Brasil: história da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia**. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Educação. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SHIGUE, E. K. **Difusão da Construção em Madeira no Brasil: Agentes, ações e produtos**. 2018. 250 p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

SILVA, R. D. **Plantando Casas**: estudo da cadeia produtiva para implantação de habitação de interesse social em madeira de Pinus spp no Paraná – Brasil. Tese (doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 43, n. 2, p.179 – 184, 2013. DOI: 10.1590/S0044-59672013000200007

SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO E. **Zoneamento edafoclimático para a cultura do eucalipto (*Eucalyptus spp.*) no estado do Tocantins**. 9º seminário de iniciação científica UFT. Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2013.

STRAUSS, S.; BICHLER, E. The development of children's concepts of the arithmetic average. **Journal for Research in Mathematics Education**, vol. 19, 64-80. 1988.

TELLES, P. C. da Silva. **História da Engenharia no Brasil: Séculos XVI a XIX**. Rio de Janeiro, Clavero, 1993.

TIBCO, INC. **TIBCO Statistica**. 2019.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus gummifera*, *E. microcorys* e *E. pilulares*. **IPEF**, n. 30, p. 45-54, 1985.

UPTON, Brad; MINER, Reid; SPINNEY, Mike; HEATH, Linda S. The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, p. 1-10. 2008.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

VALE, A. T.; SARMENTO, T. R.; ALMEIDA, A. N. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília - DF. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 15, n. 4, p. 411-420, 2005.

APÊNDICE A. Resultados dos ensaios mecânicos

Figura 34. Resultado para compressão paralela às fibras (Empresa A)

Corpo de Prova	Largura (mm)	Espessura (mm)	Altura (mm)	Força @Força Max. (N)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	51,6	51,4	150,0	90248,7	34,0
CP 2	48,7	47,9	150,7	80713,0	34,6
CP 3	47,7	50,0	151,8	83551,0	35,0
CP 4	49,0	50,2	151,1	96946,4	39,4
CP 5	48,1	48,3	150,5	72653,0	31,3
CP 6	50,8	50,7	150,8	86843,1	33,7
CP 7	50,5	50,8	150,7	82075,2	32,0
CP 8	50,1	50,5	150,5	88318,8	34,9
CP 9	51,4	51,3	150,7	99897,9	37,9
CP 10	52,0	52,4	150,7	76966,8	28,2
CP 11	51,3	51,6	151,1	81507,6	30,8
CP 12	49,8	50,7	150,5	87524,2	34,7
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	50,08	50,48	150,8	85600	33,88
Coef.Var.(%)	2,866	2,560	0,2905	9,095	8,982

Fonte: Autor, 2019

Figura 35. Resultado para compressão paralela às fibras (Empresa B)

Corpo de Prova	Largura (mm)	Espessura (mm)	Altura (mm)	Força @Força Max. (N)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	47,3	47,0	150,7	81280,6	36,6
CP 2	48,5	49,0	153,2	83664,5	35,2
CP 3	48,6	48,9	153,5	88205,3	37,1
CP 4	48,2	48,0	152,2	97400,5	42,1
CP 5	48,7	48,2	153,2	88432,4	37,7
CP 6	48,5	48,0	152,7	84118,6	36,1
CP 7	50,0	50,0	152,8	86616,0	34,6
CP 8	49,2	49,2	153,2	110682,3	45,7
CP 9	50,3	50,0	151,8	108184,9	43,0
CP 10	49,0	48,6	152,7	83891,5	35,2
CP 11	49,0	48,3	153,4	90248,7	38,1
CP 12	48,3	48,8	152,6	93427,3	39,6
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	48,80	48,67	152,7	91350	38,43
Coef.Var.(%)	1,637	1,757	0,5205	10,48	9,125

Fonte: Autor, 2019

Figura 36. Resultado para compressão normal às fibras (Empresa A)

Corpo de Prova	Largura (mm)	Espessura (mm)	Altura (mm)	Força @Força Max. (N)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	48,7	52,0	88,5	65614,8	25,9
CP 2	50,0	52,0	90,0	26450,2	10,2
CP 3	49,5	51,8	90,8	48359,7	18,9
CP 4	47,3	52,1	88,7	28607,1	11,6
CP 5	46,3	52,2	89,3	36213,0	15,0
CP 6	48,5	52,4	88,6	61414,5	24,2
CP 7	48,5	50,8	89,1	39391,6	16,0
CP 8	48,1	52,2	88,7	58917,1	23,5
CP 9	48,1	51,7	88,7	30991,1	12,5
CP 10	52,0	49,5	90,2	80485,9	31,3
CP 11	49,8	51,8	90,3	23839,3	9,2
CP 12	48,8	52,1	88,6	38710,4	15,2
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	48,80	51,72	89,29	44920	17,78
Coef.Var.(%)	2,953	1,560	0,9117	40,07	39,30

Fonte: Autor, 2019

Figura 37. Resultado para compressão normal às fibras (Empresa B)

Corpo de Prova	Largura (mm)	Espessura (mm)	Altura (mm)	Força @Força Max. (N)	Tensão @Força Max. (MPa)
CP 1	47,6	52,1	94,7	46543,3	18,8
CP 2	49,1	52,0	96,8	38596,9	15,1
CP 3	48,1	51,7	96,7	43818,9	17,6
CP 4	48,5	51,8	96,3	40753,8	16,2
CP 5	48,5	51,5	96,7	45748,7	18,3
CP 6	48,7	52,0	96,6	42002,5	16,6
CP 7	48,6	51,7	97,2	33034,4	13,1
CP 8	48,9	52,0	98,3	32807,4	12,9
CP 9	48,7	52,2	97,8	40526,8	15,9
CP 10	48,5	52,1	98,0	37915,8	15,0
CP 11	49,0	51,6	97,4	52673,4	20,8
CP 12	48,3	51,8	98,2	36326,5	14,5
Número CPs	12	12	12	12	12
Média	48,54	51,88	97,06	40900	16,25
Coef.Var.(%)	0,8447	0,4281	1,034	14,11	14,42

Fonte: Autor, 2019

Figura 38. Resultado para cisalhamento paralelo às fibras (Empresa A)

Corpo de Prova	Base (mm)	Altura (mm)	Força Ruptura (N)	Tensão Ruptura (MPa)
CP 1	49,7	45,0	21864,6	9,8
CP 2	48,0	45,2	18357,2	8,5
CP 3	49,3	45,1	17823,2	8,0
CP 4	49,2	45,0	18348,5	8,3
CP 5	49,3	45,2	17667,9	7,9
CP 6	49,6	45,2	19177,3	8,6
CP 7	50,5	45,0	19582,2	8,6
CP 8	49,7	44,8	19278,6	8,7
CP 9	49,5	45,0	18985,4	8,5
CP 10	50,2	44,8	18395,6	8,2
CP 11	49,6	45,0	16027,7	7,2
CP 12	48,5	45,0	21246,9	9,7
Número CPs	12	12	12	12
Média	49,42	45,03	18900	8,493
Desv.Padrão	0,6703	0,1357	1560	0,7164
Coef.Var.(%)	1,356	0,3013	8,256	8,435
Mínimo	48,00	44,80	16030	7,181
Máximo	50,50	45,20	21860	9,776

Fonte: Autor, 2019

Figura 39. Resultado para cisalhamento paralelo às fibras (Empresa B)

Corpo de Prova	Base (mm)	Altura (mm)	Força Ruptura (N)	Tensão Ruptura (MPa)
CP 1	50,0	45,0	23590,4	10,5
CP 2	50,4	44,7	12872,7	5,7
CP 3	50,0	44,7	16491,8	7,4
CP 4	50,5	44,6	12181,7	5,4
CP 5	50,5	44,6	14354,2	6,4
CP 6	51,1	44,6	12082,3	5,3
CP 7	50,7	44,9	24182,0	10,6
CP 8	50,6	45,0	14469,4	6,4
CP 9	50,4	45,0	15317,4	6,8
CP 10	50,3	44,8	16840,8	7,5
CP 11	50,3	44,9	24295,4	10,8
CP 12	50,0	44,6	25708,8	11,5
Número CPs	12	12	12	12
Média	50,39	44,79	17700	7,847
Desv.Padrão	0,3253	0,1707	5215	2,329
Coef.Var.(%)	0,6456	0,3812	29,47	29,68
Mínimo	50,00	44,60	12080	5,301
Máximo	51,10	45,00	25710	11,53

Fonte: Autor, 2019

Figura 40. Resultado para dureza paralela às fibras (Empresa A)

Corpo de Prova	Altura (mm)	Tensão Ruptura (MPa)
CP 1	150,60	36,3
CP 2	150,45	29,3
CP 3	149,90	32,7
CP 4	150,70	29,9
CP 5	150,75	34,1
CP 6	150,40	38,3
CP 7	150,60	30,2
CP 8	150,70	30,4
CP 9	150,80	29,6
CP 10	150,45	43,1
CP 11	150,70	31,1
CP 12	150,90	33,6
Número CPs	12	12
Média	150,6	33,21
Desv.Padrão	0,2615	4,195
Coef.Var.(%)	0,1737	12,63
Mínimo	149,9	29,28
Máximo	150,9	43,07

Fonte: Autor, 2019

Figura 41. Resultado para dureza paralela às fibras (Empresa B)

Corpo de Prova	Altura (mm)	Tensão Ruptura (MPa)
CP 1	150,40	37,5
CP 2	150,75	34,7
CP 3	150,65	35,9
CP 4	150,70	38,7
CP 5	150,20	33,4
CP 6	150,00	34,6
CP 7	150,45	34,6
CP 8	150,65	36,9
CP 9	150,50	43,2
CP 10	150,30	34,6
CP 11	150,05	35,0
CP 12	150,75	37,5
Número CPs	12	12
Média	150,4	36,39
Desv.Padrão	0,2654	2,671
Coef.Var.(%)	0,1764	7,340
Mínimo	150,0	33,38
Máximo	150,8	43,24

Fonte: Autor, 2019

Figura 42. Resultado para dureza normal às fibras (Empresa A)

Corpo de Prova	Altura (mm)	Tensão Ruptura (MPa)
CP 1	150,80	29,9
CP 2	150,60	19,3
CP 3	150,70	36,4
CP 4	150,60	25,7
CP 5	150,75	46,5
CP 6	150,75	61,7
CP 7	150,80	22,4
CP 8	150,75	23,5
CP 9	151,05	36,7
CP 10	151,55	23,2
CP 11	150,85	16,2
CP 12	150,95	20,6
Número CPs	12	12
Média	150,8	30,17
Desv.Padrão	0,2562	13,21
Coef.Var.(%)	0,1699	43,78
Mínimo	150,6	16,19
Máximo	151,6	61,67

Fonte: Autor, 2019

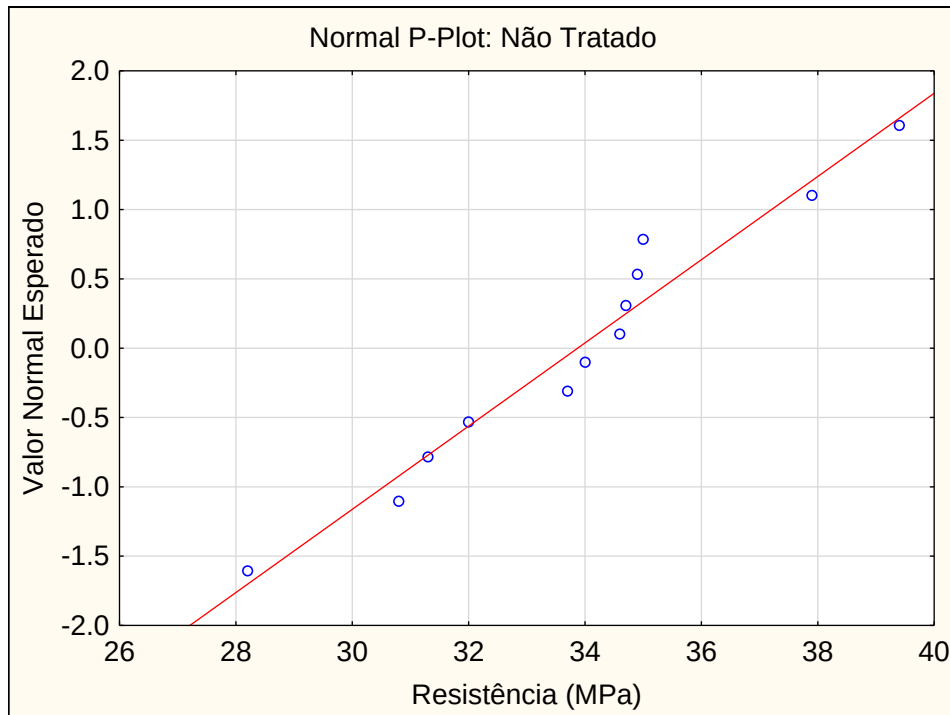
Figura 43. Resultado para dureza normal às fibras (Empresa B)

Corpo de Prova	Altura (mm)	Tensão Ruptura (MPa)
CP 1	153,00	52,2
CP 2	153,00	26,6
CP 3	153,25	62,6
CP 4	153,35	59,6
CP 5	153,55	61,9
CP 6	153,00	57,0
CP 7	150,30	19,3
CP 8	150,20	28,9
CP 9	150,65	25,0
CP 10	150,90	29,3
CP 11	150,70	25,5
CP 12	151,00	28,3
Número CPs	12	12
Média	151,9	39,68
Desv.Padrão	1,366	17,13
Coef.Var.(%)	0,8995	43,16
Mínimo	150,2	19,30
Máximo	153,6	62,61

Fonte: Autor, 2019

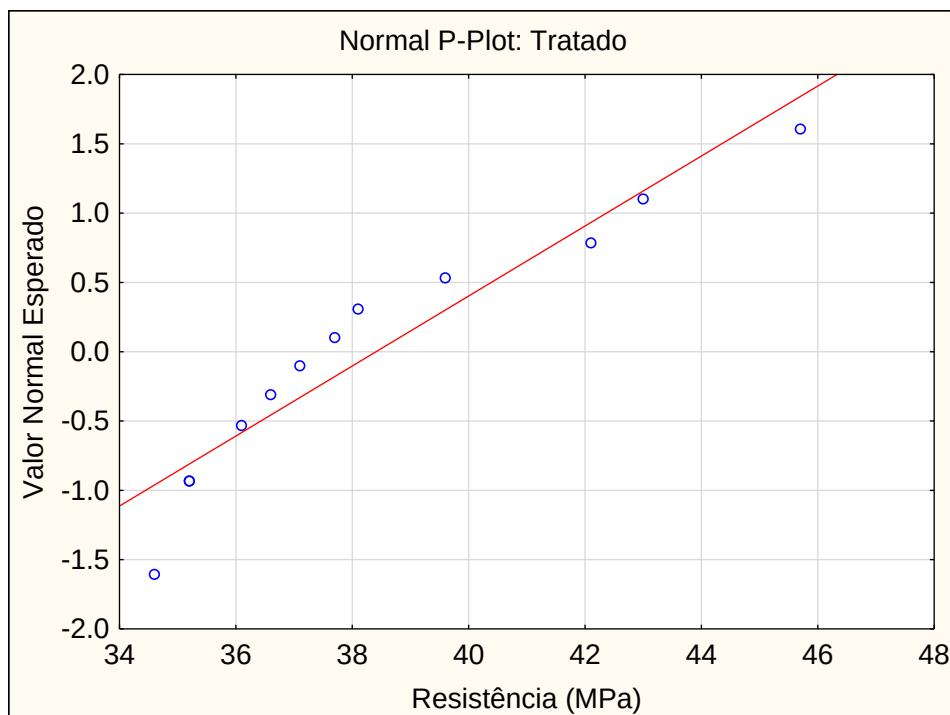
APÊNDICE B. Análises estatísticas

Figura 44. Gráfico de probabilidade normal para compressão paralela às fibras (Empresa A)



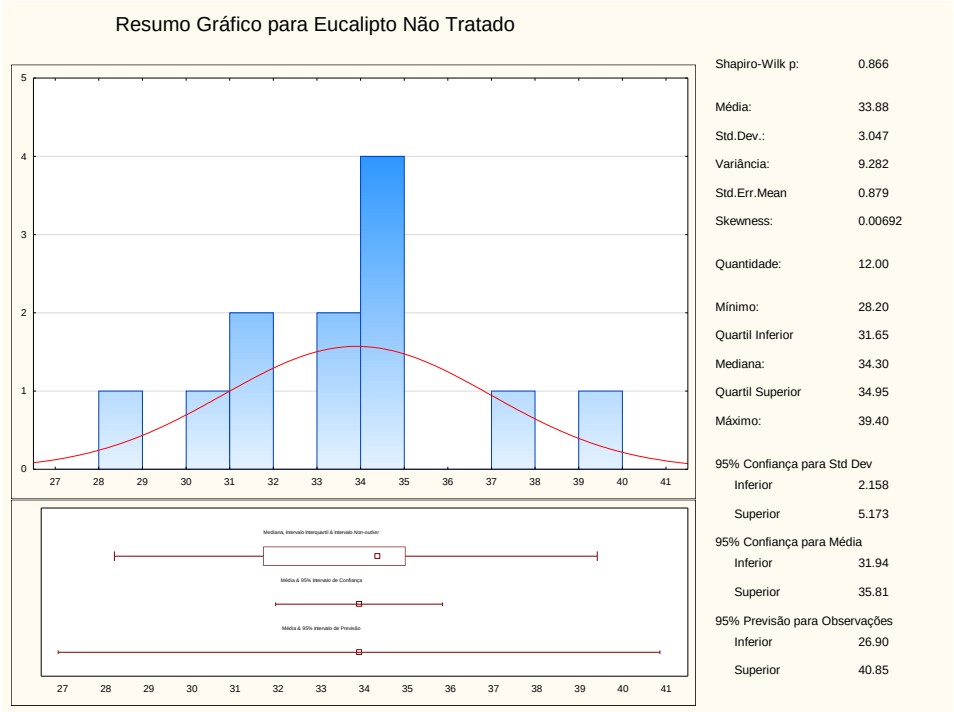
Fonte: Autor, 2019

Figura 45. Gráfico de probabilidade normal para compressão paralela às fibras (Empresa B)



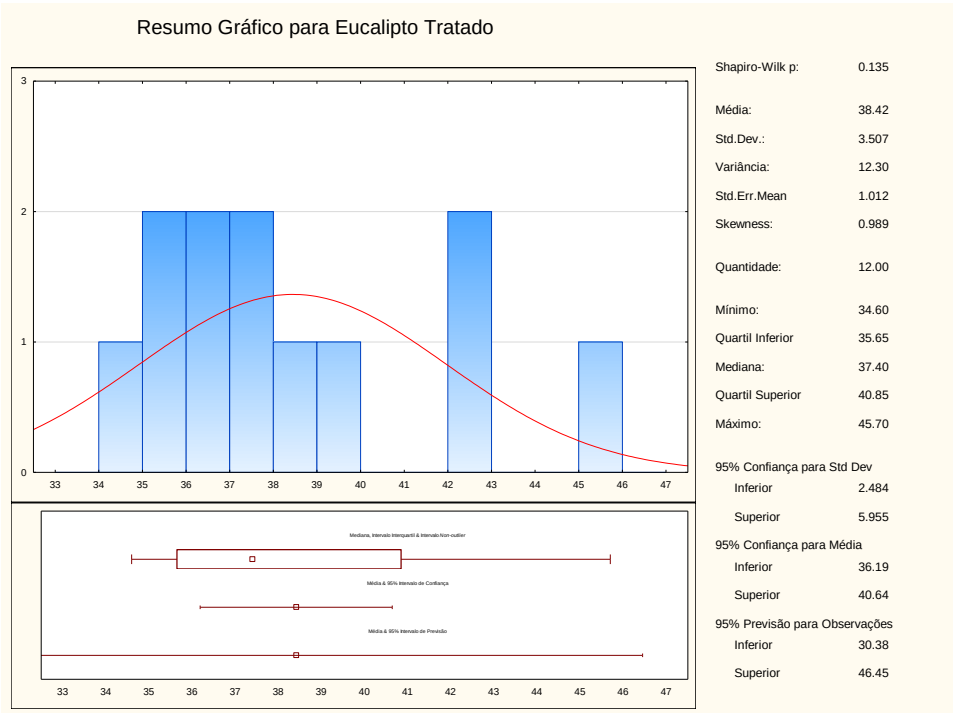
Fonte: Autor, 2019

Figura 46. Resumo gráfico para compressão paralela às fibras (Empresa A)



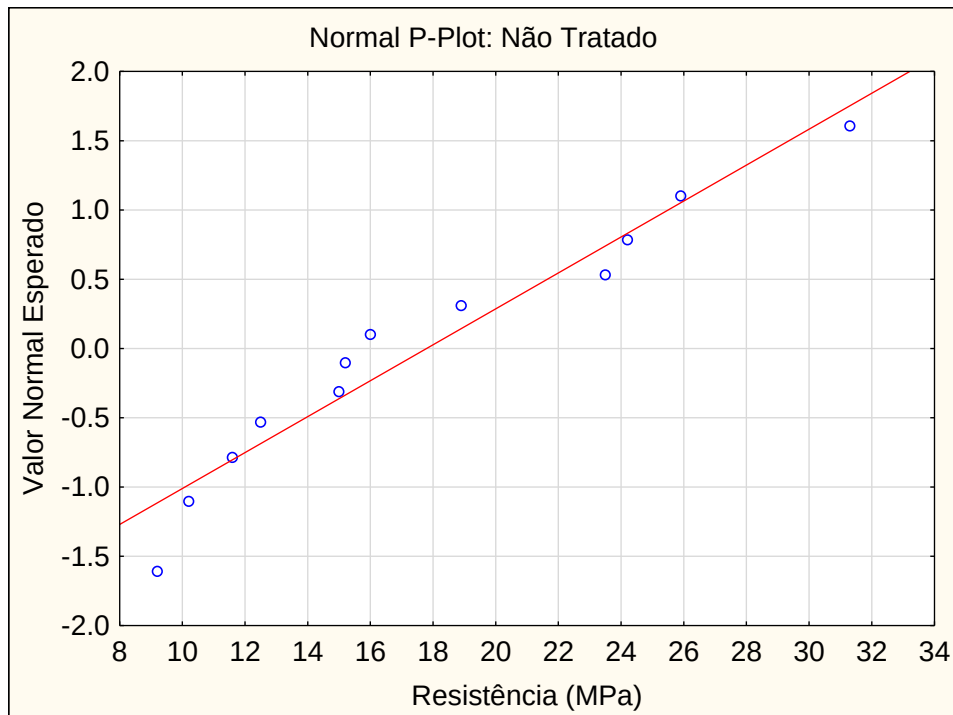
Fonte: Autor, 2019

Figura 47. Resumo gráfico para compressão paralela às fibras (Empresa B)



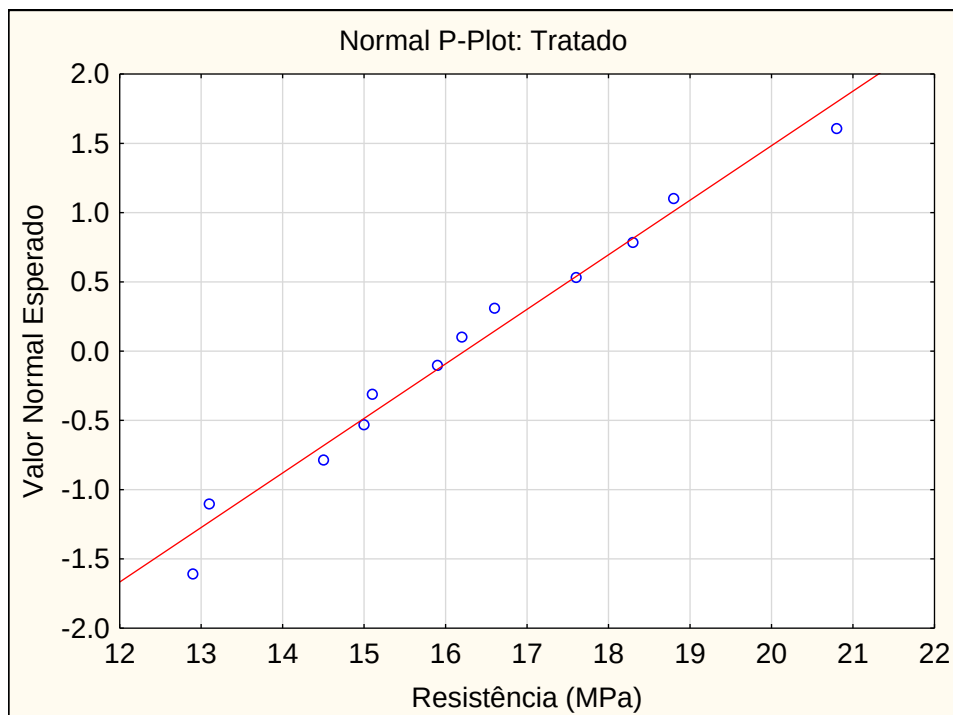
Fonte: Autor, 2019

Figura 48. Gráfico de probabilidade normal para compressão normal às fibras (Empresa A)



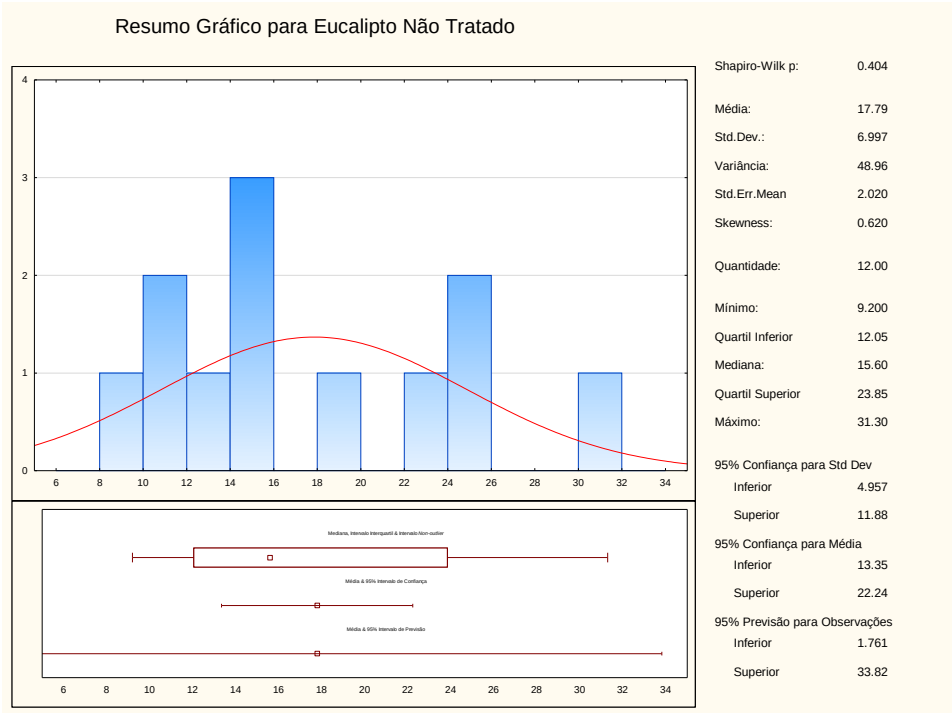
Fonte: Autor, 2019

Figura 49. Gráfico de probabilidade normal para compressão normal às fibras (Empresa B)



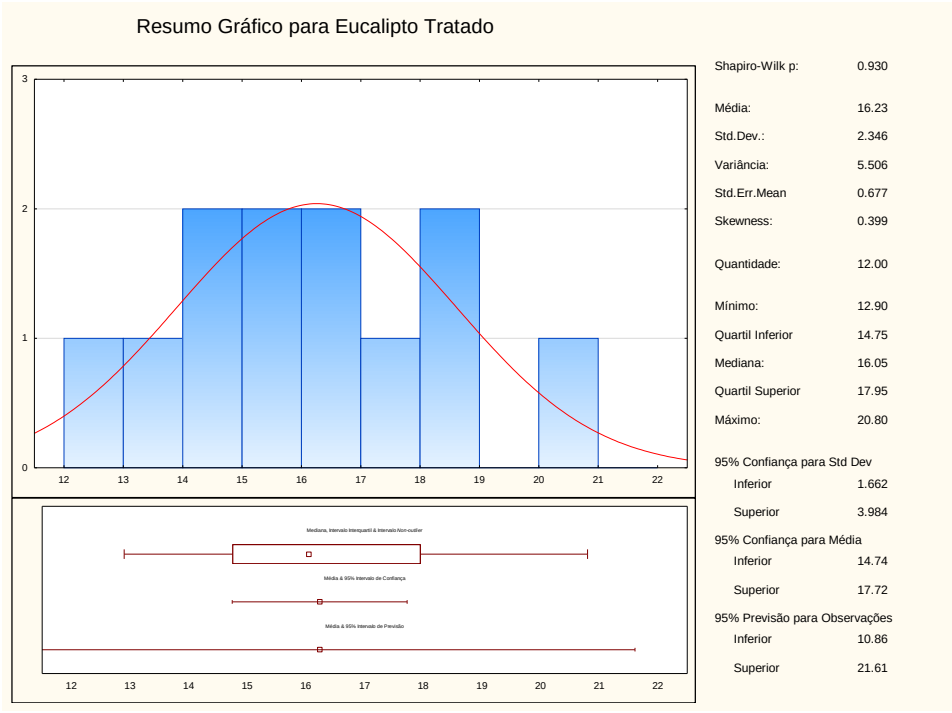
Fonte: Autor, 2019

Figura 50. Resumo gráfico para compressão normal às fibras (Empresa A)



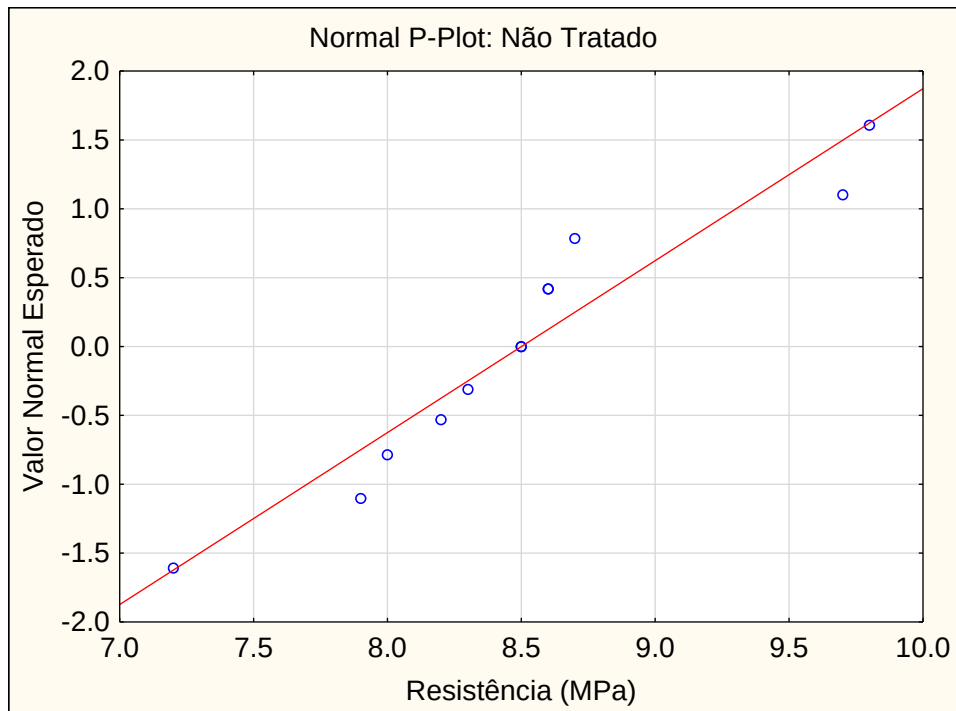
Fonte: Autor, 2019

Figura 51. Resumo gráfico para compressão normal às fibras (Empresa B)



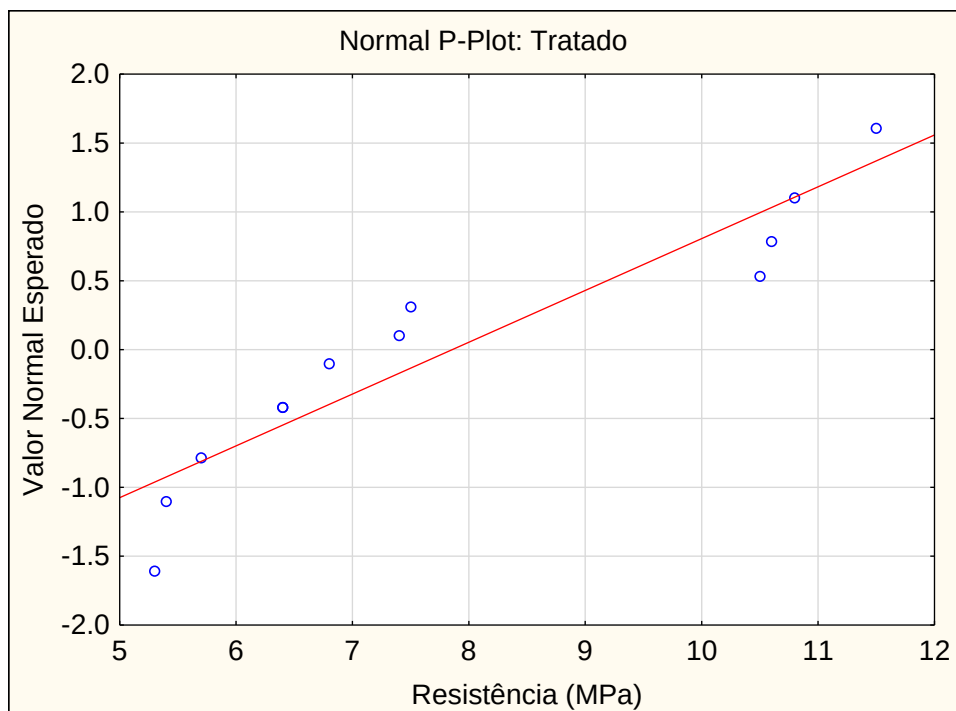
Fonte: Autor, 2019

Figura 52. Gráfico de probabilidade normal para cisalhamento paralelo às fibras (Empresa A)

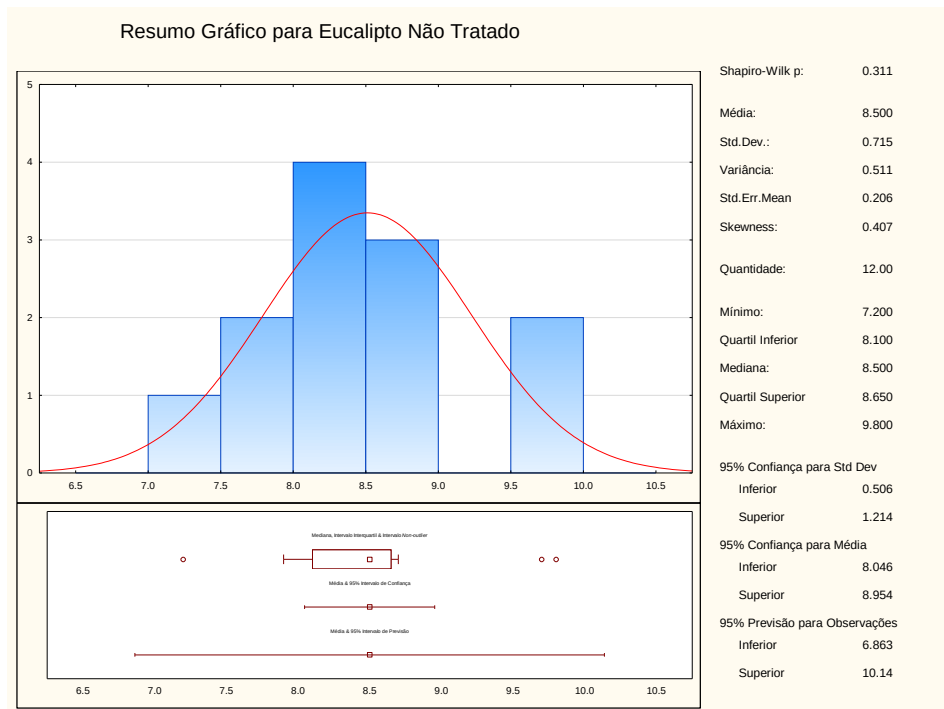


Fonte: Autor, 2019

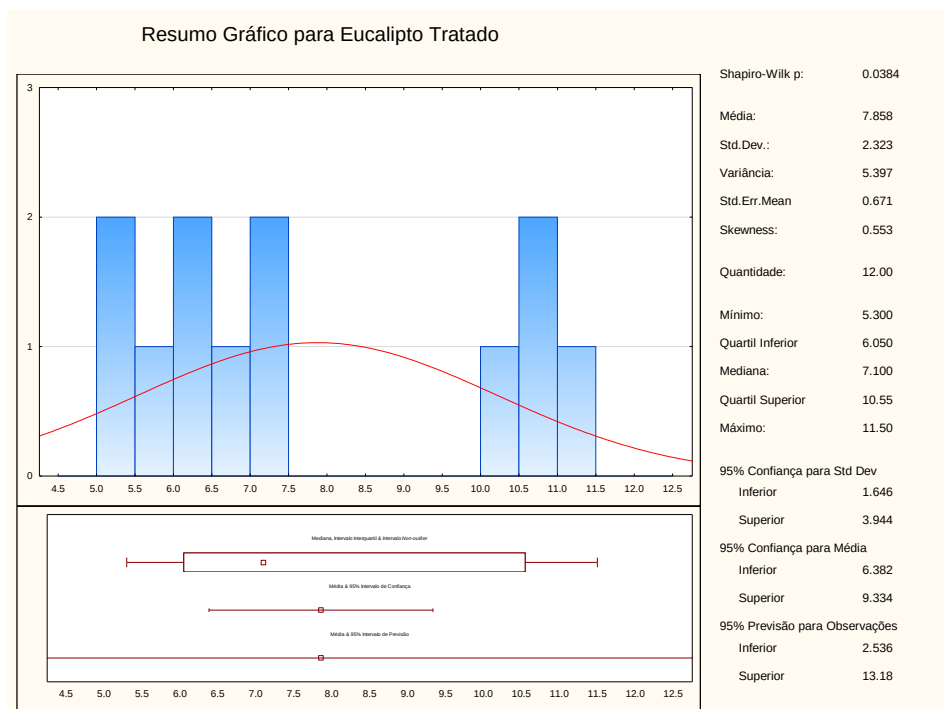
Figura 53. Gráfico de probabilidade normal para cisalhamento paralelo às fibras (Empresa B)



Fonte: Autor, 2019

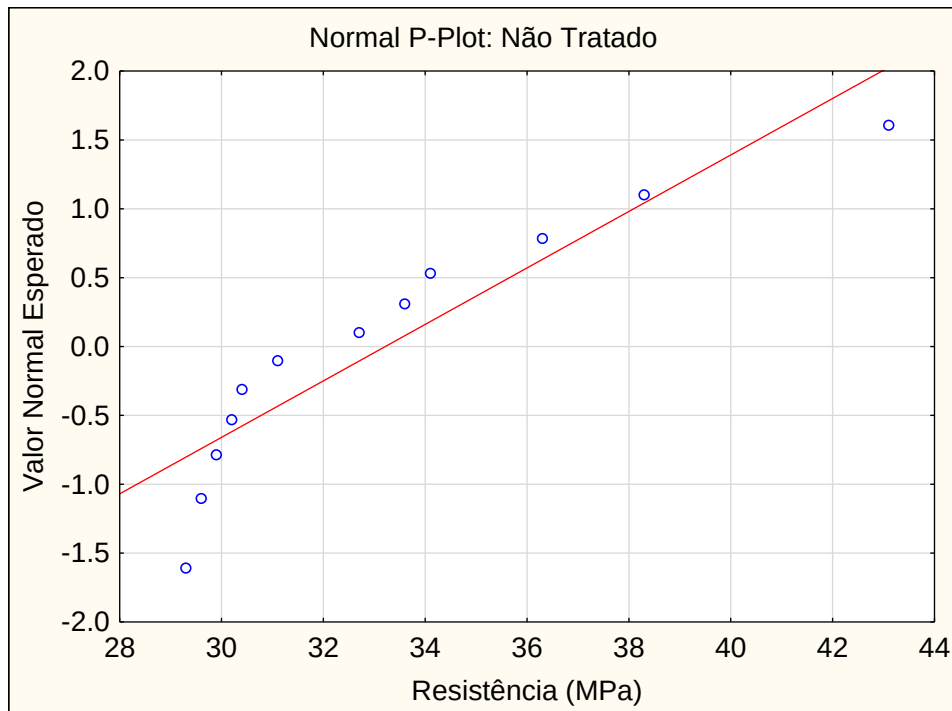
Figura 54. Resumo gráfico para cisalhamento paralelo às fibras (Empresa A)

Fonte: Autor, 2019

Figura 55. Resumo gráfico para cisalhamento paralelo às fibras (Empresa B)

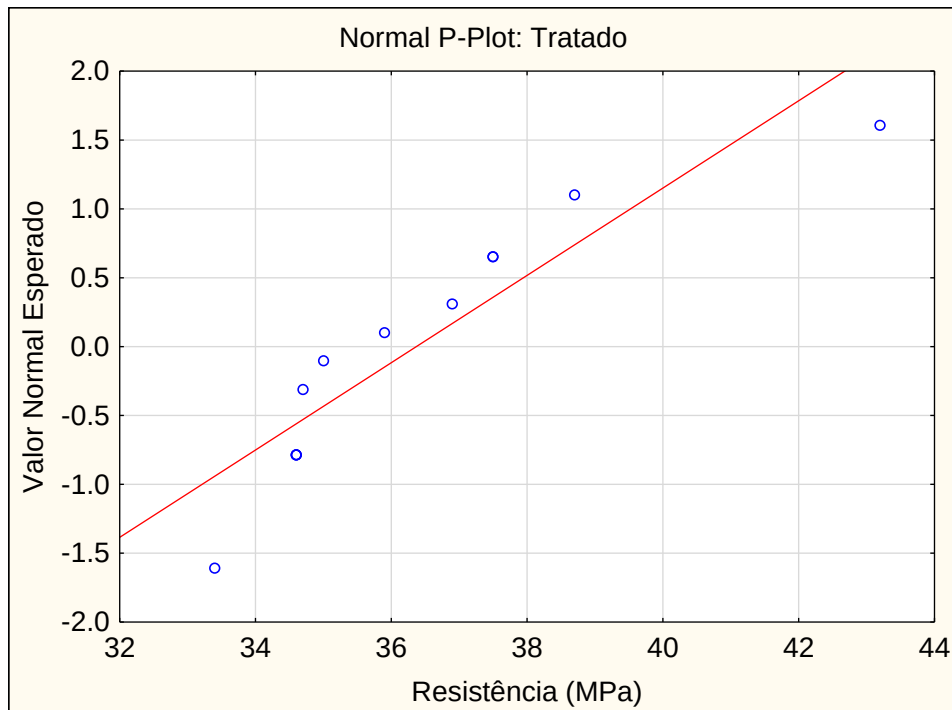
Fonte: Autor, 2019

Figura 56. Gráfico de probabilidade normal para dureza paralela às fibras (Empresa A)



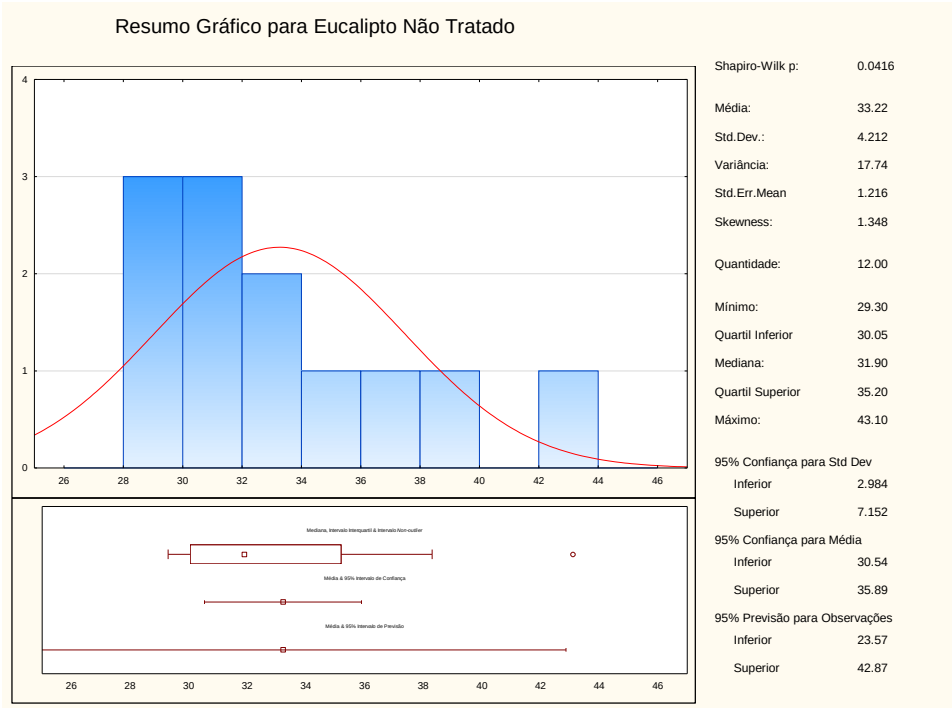
Fonte: Autor, 2019

Figura 57. Gráfico de probabilidade normal para dureza paralela às fibras (Empresa B)



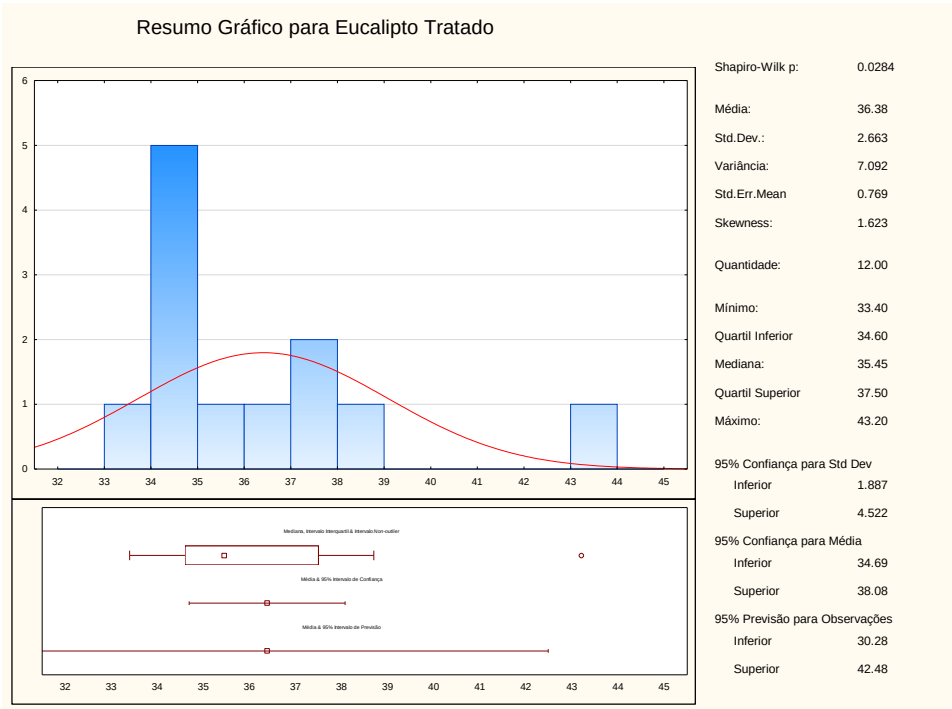
Fonte: Autor, 2019

Figura 58. Resumo gráfico para dureza paralela às fibras (Empresa A)



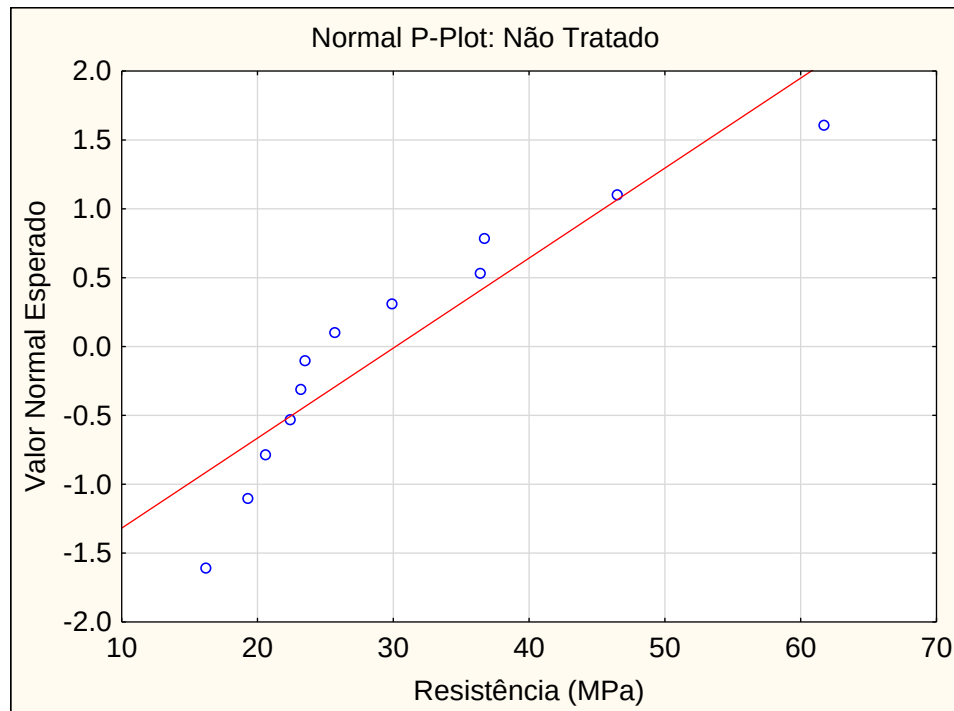
Fonte: Autor, 2019

Figura 59. Resumo gráfico para dureza paralela às fibras (Empresa B)



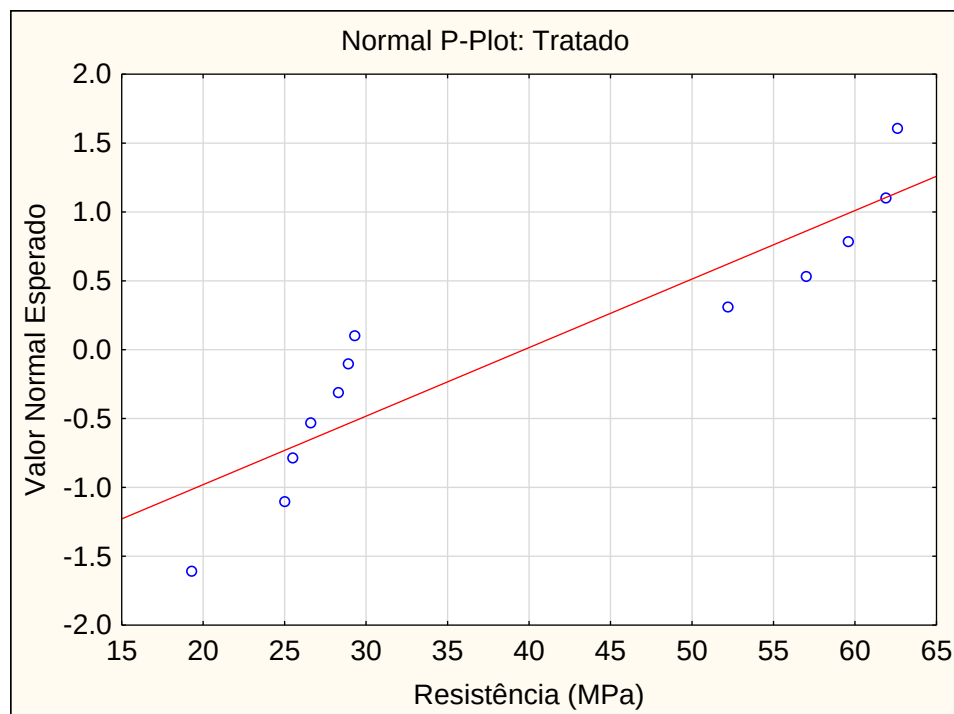
Fonte: Autor, 2019

Figura 60. Gráfico de probabilidade normal para dureza normal às fibras (Empresa A)



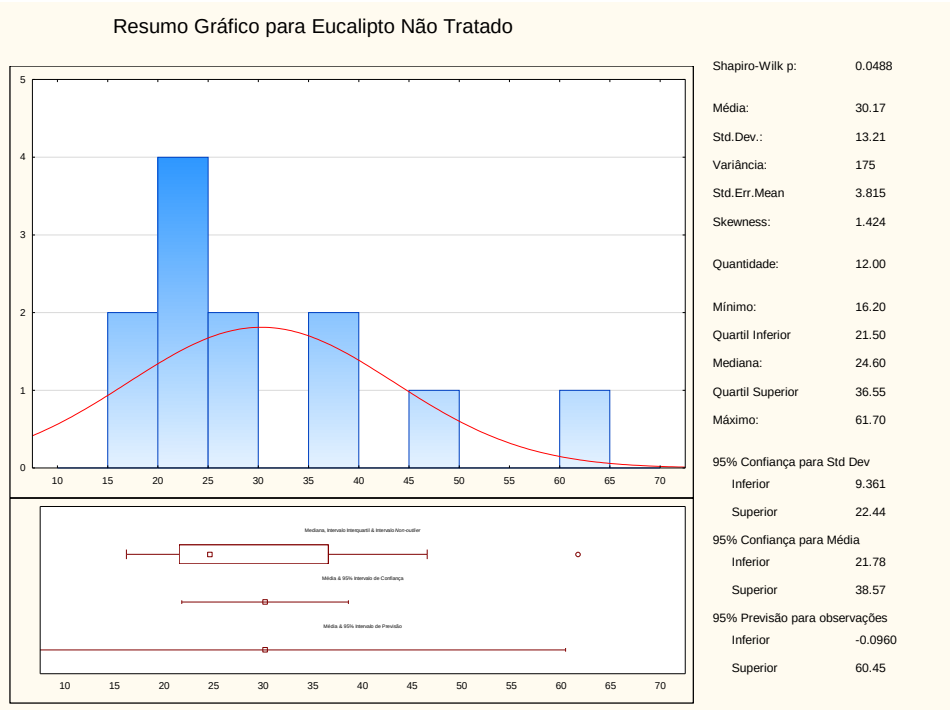
Fonte: Autor, 2019

Figura 61. Gráfico de probabilidade normal para dureza normal às fibras (Empresa B)



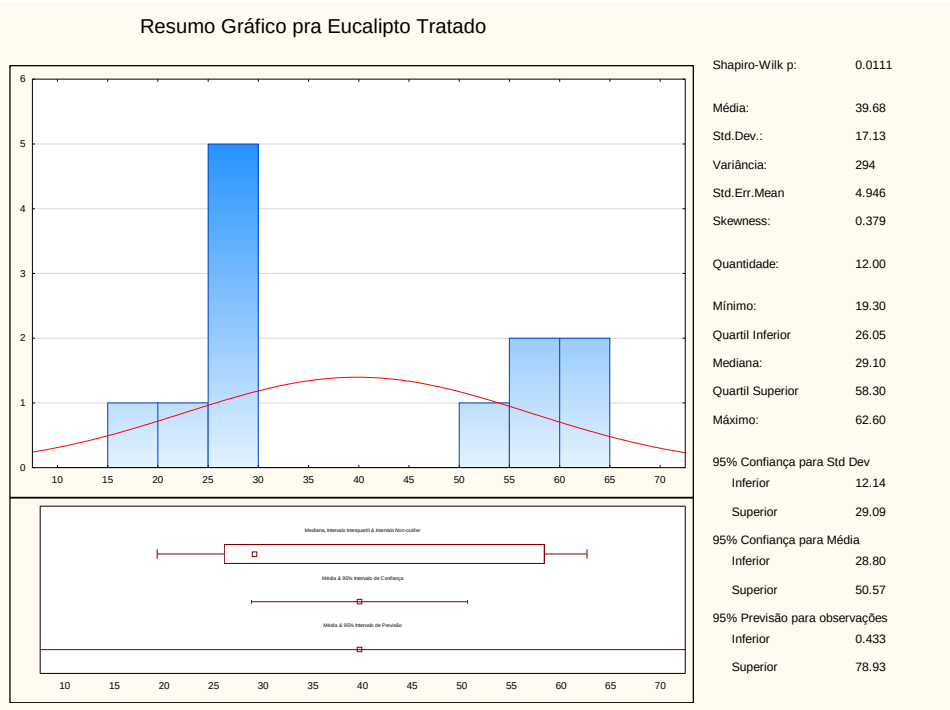
Fonte: Autor, 2019

Figura 62. Resumo gráfico para dureza normal às fibras (Empresa A)



Fonte: Autor, 2019

Figura 63. Resumo gráfico para dureza normal às fibras (Empresa B)



Fonte: Autor, 2019