

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ANDRÉ LUÍS GOMES PAES

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE COMPOSTO DE
RESINA EPÓXI E FOSFOGESSO**

Santos - SP

2020

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ANDRÉ LUÍS GOMES PAES

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE COMPOSTO DE
RESINA EPÓXI E FOSFOGESSO**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Santa Cecília, sob orientação dos Professores Dr. Aldo Ramos Santos e coorientação dos Drs. Deovaldo de Moraes Júnior; Dorotéia Vilanova Garcia; Marlene Silva de Moraes e Vítor da Silva Rosa

Santos - SP

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

668.374 Paes, André Luís Gomes

P143a ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE COMPOSTO DE RESINA EPÓXI E FOSFOGESSO/André Luís Gomes Paes - 2020
80.: il.

Orientador: Dr. Aldo Ramos Santos

Coorientadores: Dr. Vitor da Silva Rosa, Dra. Dorotéa Vilanova Garcia, Dra. Marlene Silva de Moraes e Dr. Deovaldo de Moraes Júnior.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, 2020

1. Fosfogesso. 2. Resina epóxi. 3. Construção Civil. 4. Sustentabilidade

I. Santos, Aldo Ramos

DEDICATÓRIA

Dedico

A Deus, a meu Padrinho, Cantidiano José de Mendonça Neto, minha madrinha, Vânia Aparecida Pereira de Mendonça, que sempre me apoiaram, meus avós de criação, Wail Queiroz, cuja a história de vida é uma inspiração e Nilza Esteves Queiro. Ao meu irmão de consideração Marcelo Maimone da Cunha e sua esposa Elen Cristina da Rocha Maimone da Cunha, que sempre me incentivaram a continuar a estudar e acompanham cada passo da minha vida desde o ensino médio. A minha prima Me. Fernanda de Mendonça Macedo, que me incentivou a ir para o meio acadêmico. Aos meus primos Victor de Oliveira Kühne, Myriam de Oliveira Kühme, Karina Ricci Cinanema Kühne, Vagner dos Santos Macedo, Fabrício de Mendonça, Lidiane Pera Pinto, Daniella Bento Nowill, Wail Queiroz Filho, Sandra Queiroz e Vitoria Queiroz, que sempre torceram por mim. Aos meus primos mais novos que me encantam com seus aprendizados, Mariella de Mendonça Macedo, Victor Hugo de Mendonça Macedo, Maria Eduarda de Araújo Mendonça e Luiza Pera de Mendonça. A minha Mãe, Maria Cristina Gomes “in memoriam”, por toda a paciência, inspiração e carinho que me deu, meu avô, Aniloel Serpa Gomes “in memoriam”, minha avó Maria da Conceição Relva Gomes “in memoriam”, minhas tias Marta Valéria Gomes “in memoriam”, e Mariangela Gomes “in memoriam”, minha tia bisavó Maria Rosa Vieira Couto “in memoriam”, minhas tias avós, Abigail Gomes de Oliveira “in memoriam” e Anacirema Gomes Mendonça “in memoriam” e minha prima Maria Lúcia de Oliveira Bento “in memoriam”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

Ao meu Orientador Dr. Aldo Ramos Santos, pela paciência, sabedoria e conhecimento transmitidos durante o mestrado e ter se tornado um avô de coração.

Aos meus coorientadores Dr. Deovaldo de Moraes Júnior, Dra. Marlene Silva de Moraes, Dra. Dorotéa Vilanova Garcia e Dr. Vitor da Silva Rosa, por sempre me apontarem o caminho para um melhor desenvolvimento do trabalho, das disciplinas cursadas, e desenvolvimento pessoal durante o curso, e se tornarem meus Pai, Mãe, Tia e Irmão mais velho de consideração, respectivamente.

Aos Técnicos Pedro Henrique Simões Andrade, Vitor Dias de Paula, Volnei de Lemos, Irineu Penha da Ressureição, Álvaro Luiz Moreira Conrado, Wilson Roberto de Oliveira Santos, Cícero Vieira da Silva e Amarildo da Silva Santos.

Aos meus amigos e irmãos de consideração Murilo Vieira Ribeiro e Victor Bruno Miracco por permitirem continuar a pesquisa iniciada na graduação

Ao Professor Pedro Manuel Mascarenhas Menezes Marcão, por me incentivar e me impulsionar nesse mestrado e na vida, por ser uma pessoa tão batalhadora e querida.

Aos Professores, Nilene Janini de Oliveira Seixas, Orlando Carlos Batista Damin, Sydnei Augusto dos Santos, Adilson de Lima Gonçalves, Walter Prieto, Carlos Alberto Amaral Moino, José Carlos Morilla, Paulo Eduardo de Oliveira Andrade, Rosa

Marina Zárate Vilchez, Ana Paula dos Santos Nascimento e João Carlos da Silva por me incentivarem nesse mestrado e pelos conselhos recebidos durante o trabalho.

Aos Estagiários Thaís Centamore de Oliveira, Laila Matos Fraga, Matheus Nifo Glória, Felipe Cunha da Silva, Carlos Alberto Sabino Júnior, Beatriz Aguiar de Andrade, Gabriel Pereira Gomes, Guilherme Ferreira Diniz, Isadora Ganança Garcia, Breno Dantas Santos, Thais Lima Affonso, Adriely Diegues de Oliveira Hortas, Andréia Soares dos Santos, Débora Nonato de Souza, Gabrielli Carvalho da Silva, Karina Barros de Oliveira, Nubya Velho Dos Santos, Lane Rayssa Pinho Santos, Rafaella Messias Casanova Rafael, Saulo Figueiroa Loiola, Marcos Vinícius Rodrigues de Oliveira, Felipe Tavares Batista, Vinicius Velasco Mateus e Saulo Figueiroa Loiola, pelo auxílio impecável, companheirismo na realização desse estudo e o vínculo de amizade criado.

Ao meu colega de mestrado e amigo Felipe Claro Natarelli, pelo auxílio na dissertação com a aquisição do fosfogesso para o desenvolvimento do trabalho.

À Universidade Santa Cecília pelo suporte financeiro para custear o mestrado e a utilização dos laboratórios da instituição.

Ao Grupo de Escoteiros do Ar São Vicente e seus Escotistas e ex- escotistas pelo aprendizado por lá adquirido, principalmente o de preservar o meio ambiente.

Resumo

A atividade madeireira ilegal e predatória atende comumente à construção civil e à indústria moveleira. Uma solução seria a utilização de polímeros em algumas aplicações deste material, que pode contribuir com a diminuição do corte da madeira convencional, protegendo assim as florestas. O fosfogesso, um resíduo também denominado gesso químico, gerado na proporção de 4 a 6 toneladas para cada tonelada de ácido fosfórico produzido, apresenta grande potencial de aproveitamento e uso em substituição ao gesso natural, comumente consumido pela indústria da construção civil. O presente trabalho teve por objetivo geral obter experimentalmente a resistência mecânica de composto de resina epóxi e fosfogesso, realizando ensaios de compressão, tração e flexão com as amostras de resina, resina com fosfogesso e madeira. Moldaram-se corpos de prova em triplicatas com as concentrações de 35%, 40%, 45%, 50%, 55% e 60% de fosfogesso misturados à resina epóxi. O fosfogesso aplicado foi utilizado com granulometria variada, sendo essa menor do que 32 mm. A resina foi misturada ao catalisador por 5 minutos, o fosfogesso e as formas para a moldagem dos corpos de prova ficaram na estufa à temperatura de 90°C. O ensaio de compressão foi executado a uma velocidade de 5 mm/min, considerando uma área de 2500 mm² e carga máxima de 2000 kN; o ensaio de flexão foi realizado a uma velocidade de 5 mm/min, deformação máxima de 30 mm e carga máxima de 100 kN; o ensaio de tração na flexão teve os mesmos parâmetros que o ensaio de flexão com exceção dos corpos de prova de resina, onde foi executado a uma velocidade de 2 mm/min, a deformação máxima foi de 30 mm e à carga máxima de 60 kN. O corpo de prova de 50% de fosfogesso apresentou melhor resistência a compressão que a madeira em análise, mas pior resistência à tração e flexão. O Material demonstrou viabilidade técnica à construção civil e à indústria moveleira.

Palavras Chave: Fosfogesso; Resina Epóxi; Construção Civil; Sustentabilidade

Abstract

The illegal and predatory logging activity commonly serves civil construction and the furniture industry. One solution would be to use polymers in some applications of this material, which can contribute to the reduction of conventional wood cutting, thus protecting forests. Phosphogypsum, a waste also called chemical plaster, generated in the proportion of 4 to 6 tons for each ton of phosphoric acid produced, has great potential for use and substitution for natural plaster, commonly consumed by the construction industry. The present work had as general objective to obtain experimentally the mechanical resistance of epoxy resin compound and phosphogypsum, performing compression, traction and flexion tests with resin samples, resin with phosphogypsum and wood. Specimens were molded in triplicates with concentrations of 35%, 40%, 45%, 50%, 55% and 60% of phosphogypsum mixed with epoxy resin. The phosphogypsum applied was used with varied granulometry, which was smaller than 32 mm. The resin was mixed with the catalyst for 5 minutes, the phosphogypsum and the molds for molding the specimens were kept in the oven at a temperature of 90°C. The compression test was performed at a speed of 5 mm / min, considering an area of 2500 mm² and a maximum load of 2000 kN; the flexion test was performed at a speed of 5 mm / min, maximum deformation of 30 mm and maximum load of 100 kN; the flexural tensile test had the same parameters as the flexural test with the exception of resin specimens, where it was performed at a speed of 2 mm / min, the maximum strain was 30 mm and the maximum load 60 kN . The 50% phosphogypsum specimen showed better resistance to compression than the wood under analysis, but worse resistance to traction and flexion. The Material demonstrated technical feasibility for the civil construction and furniture industry.

Palavras Chave: Phosphogypsum; Epoxy Resin; Construction; Sustainability

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS ESPÉCIES DE MADEIRAS FONTE: ADAPTADO DE PEREIRA (2013)	18
FIGURA 2 – RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DAS ESPÉCIES DE MADEIRAS FONTE: ADAPTADO DE PEREIRA (2013).....	18
FIGURA 3 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DAS ESPÉCIES DE MADEIRAS FONTE: ADAPTADO DE PEREIRA (2013).....	18
FIGURA 4 – ATERRO DE FOSFOGESSO PERTO VOSKRESENSK, OBLAST DE MOSCOU , RÚSSIA FONTE: HTTPS://BR.DEPOSITPHOTOS.COM	20
FIGURA 5 - DESMATAMENTO NA REGIÃO DA AMAZÔNIA FONTE: HTTPS://WWW.DW.COM	21
FIGURA 6 – MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAIOS – (A) ENSAIO DE COMPRESSÃO E (B) ENSAIO DE FLEXÃO	23
FIGURA 7 – FLUXOGRAMA DOS ENSAIOS.....	24
FIGURA 8- RESINA EPÓXI MISTURADO AO CATALISADOR.....	26
FIGURA 9 - RESINA EPÓXI MISTURADO COM SEU CATALISADOR E O FOSFOGESSO	27
FIGURA 10 – FORMA PARA TRAÇÃO E FLEXÃO	28
FIGURA 11 – FORMA PARA OS CORPOS DE PROVA DE COMPRESSÃO.....	29
FIGURA 12 – CORPO DE PROVA DO ENSAIO PRELIMINAR COM 30% DE FOSFOGESSO	31
FIGURA 13 – CORPO DE PROVA DO ENSAIO PRELIMINAR COM 70% DE FOSFOGESSO.....	31
FIGURA 14 – FACES DO CORPO DE PROVA DE COMPRESSÃO	32
FIGURA 15 – FACES DOS CORPOS DE PROVA PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO E FLEXÃO	32
FIGURA 16 – SISTEMA EMPREGADO PARA O ENSAIO.....	35
FIGURA 17 – RUPTURA FORA DO TERÇO MÉDIO	36
FIGURA 18 – COMPRESSÃO EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FOSFOGESSO	39
FIGURA 19 - ANÁLISE GERAL DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO.....	40
FIGURA 20 – TRAÇÃO EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO FOSFOGESSO.....	41
FIGURA 21 – ANÁLISE GERAL DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO	42
FIGURA 22 – FLEXÃO EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FOSFOGESSO.....	44
FIGURA 23 - ANÁLISE GERAL DOS ENSAIOS DE FLEXÃO	45
FIGURA A 1 – DESTORROAMENTO E SECAGEM DO FOSFOGESSO	51
FIGURA A 2– FOSFOGESSO PESADO PARA A GRANULOMETRIA	51
FIGURA A 3 – FOSFOGESSO RETIDO NAS PENEIRAS	52
FIGURA A 4 – GRANULOMETRIA DO FOSFOGESSO.....	52
FIGURA F 1 – ENSAIO DE COMPRESSÃO DE UM CP COM 35% DE FOSFOGESSO	68
FIGURA F 2 – ENSAIO DE COMPRESSÃO DE UM CP COM 55% DE FOSFOGESSO	69
FIGURA F 3 – ENSAIO DE COMPRESSÃO DE UM CP COM 55% DE FOSFOGESSO.....	69
FIGURA G 1 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO DE PROVA COM 66,67% DE RESINA EPÓXI E 33,33% DE ENDURECEDOR.....	71
FIGURA G 2 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO DE PROVA COM 35% DE FOSFOGESSO ...	71
FIGURA G 3 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO DE PROVA COM 40% DE FOSFOGESSO ...	72
FIGURA G 4 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO DE PROVA COM 45% DE FOSFOGESSO ...	72
FIGURA G 5 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO DE PROVA COM 50% DE FOSFOGESSO ...	73

FIGURA G 6 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO DE PROVA COM 55% DE FOSFOGESSO ...	73
FIGURA G 7 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO COM 60 % DE FOSFOGESSO	74
FIGURA H 1 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO COM 66,67% DE RESINA EPÓXI E 33,33% DE ENDURECEDOR, UTILIZADO PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO	76
FIGURA H 2 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO COM 35% DE FOSFOGESSO, UTILIZADO PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	76
FIGURA H 3 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO COM 40% DE FOSFOGESSO, UTILIZADO PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	77
FIGURA H 4 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO COM 45% DE FOSFOGESSO, UTILIZADO PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	77
FIGURA H 5 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO COM 50% DE FOSFOGESSO, UTILIZADO PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	78
FIGURA H 6 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO COM 55% DE FOSFOGESSO, UTILIZADO PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	78
FIGURA H 7– ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO COM 60% DE FOSFOGESSO, UTILIZADO PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	79
FIGURA H 8 – ENSAIO DE FLEXÃO DE UM CORPO DE MADEIRA, UTILIZADO PARA O ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 — PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL (TRIPLICATA)	24
TABELA 2 — PESOS E NÚMERO DE USOS DAS FORMAS DE TRAÇÃO E FLEXÃO	28
TABELA 3 — PESOS E NÚMERO DE UTILIZAÇÕES DAS FORMAS DE COMPRESSÃO	29
TABELA 4 — PARÂMETROS DOS ENSAIOS EM MÁQUINAS PARA ÁREA DE 2500MM ²	34
TABELA 5 — CARGA E TENSÃO A COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA DO ENSAIO 1	38
TABELA 6 — CARGA E TENSÃO A COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA DO ENSAIO 8	39
TABELA 7 — CARGA E TENSÃO A TRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DO ENSAIO 9	41
TABELA 8 — CARGA E TENSÃO À TRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DO ENSAIO 16	42
TABELA 9 — CARGA E TENSÃO A FLEXÃO DOS CORPOS DE PROVA DO ENSAIO 17	43
TABELA 10 — CARGA E TENSÃO À FLEXÃO DOS CORPOS DE PROVA DO ENSAIO 24	44
TABELA A 1 — GRANULOMETRIA DO FOSFOGESSO	50
TABELA B 1 — DADOS DO ENSAIO DE UMIDADE DO FOSFOGESSO	54
TABELA C 1 — CORPOS DE PROVA COM 66,67% DE RESINA EPÓXI E 33,33% DE ENDURECEDOR, MOLDADOS EM 15/02/2019	56
TABELA C 2 — CORPOS DE PROVA COM 35% DE FOSFOGESSO, MOLDADOS EM 14/06/2019	56
TABELA C 3 — CORPOS DE PROVA COM 40% DE FOSFOGESSO, MOLDADOS EM 05/06/2019	56
TABELA C 4 — CORPOS DE PROVA COM 45% DE FOSFOGESSO, MOLDADOS EM 05/06/2019	57
TABELA C 5 — CORPOS DE PROVA COM 50% DE FOSFOGESSO, MOLDADOS EM 31/05/2019	57
TABELA C 6 — CORPOS DE PROVA COM 55% DE FOSFOGESSO, MOLDADOS EM 05/06/2019	57
TABELA C 7 — CORPOS DE PROVA COM 60% DE FOSFOGESSO, MOLDADOS EM 31/05/2019	58
TABELA C 8 — CORPOS DE PROVA DE MADEIRA, MOLDADOS EM 03/10/2019	58
TABELA D 1 — CORPOS DE PROVA COM 66,67% DE RESINA EPÓXI E 33,33% DE ENDURECEDOR, MOLDADO EM 18/07/2019	60
TABELA D 2 — CORPOS DE PROVA COM 35% DE FOSFOGESSO, MOLDADO EM 28/06/2019	60
TABELA D 3 — CORPOS DE PROVA COM 40% DE FOSFOGESSO, MOLDADO EM 28/06/2019	60
TABELA D 4 — CORPOS DE PROVA COM 45% DE FOSFOGESSO, MOLDADO EM 28/06/2019	61
TABELA D 5 — CORPOS DE PROVA COM 50% DE FOSFOGESSO, MOLDADO EM 18/06/2019	61
TABELA D 6 — CORPOS DE PROVA COM 55% DE FOSFOGESSO, MOLDADO EM 18/06/2019	61
TABELA D 7 — CORPOS DE PROVA COM 60% DE FOSFOGESSO, MOLDADO EM 18/06/2019	61

TABELA D 8 – CORPOS DE PROVA DE MADEIRA, MOLDADO EM 03/10/2019.....	62
TABELA E 1 – CORPOS DE PROVA COM 66,67% DE RESINA EPÓXI E 33,33% DE ENDURECEDOR, MOLDADO EM 18/07/2019.....	64
TABELA E 2 – CORPOS DE PROVA COM 35% DE FOSFOGESSO, MOLDADO EM 02/07/2019.....	64
TABELA E 3 – CORPOS DE PROVA COM 40% DE FOSFOGESSO, MOLDADO EM 02/07/2019.....	64
TABELA E 4 – CORPOS DE PROVA COM 45% DE FOSFOGESSO, MOLDADO EM 02/07/2019.....	65
TABELA E 5 – CORPOS DE PROVA COM 50% DE FOSFOGESSO, MOLDADO EM 14/06/2019.....	65
TABELA E 6 – CORPOS DE PROVA COM 55% DE FOSFOGESSO, MOLDADO EM 14/06/2019.....	65
TABELA E 7 – CORPOS DE PROVA COM 60% DE FOSFOGESSO, MOLDADO EM 14/06/2019.....	66
TABELA E 8 – CORPOS DE PROVA DE MADEIRA, MOLDADOS EM 03/10/2019	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CP – Corpo de Prova

DAP – Diamônio fosfato

IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

MAP – Monoamônio fosfato,

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma Mercosul

NORM – Naturally, Occuring Radioactive Materials,

SPT – Superfosfato triplo

TENORM –Technologically Enchanced Naturally Occuring Radioactive Material

LISTA DE SÍMBOLOS

MPa – Mega Pascal

H₃PO₄ – ácido fosfórico

CaSO₄.2H₂O – sulfato de cálcio di hidratado

P_h – peso úmido

P_s – peso seco

- peneira

f_{ct},f – resistência à tração na flexão

F – força máxima registrada na máquina de ensaio

ℓ – dimensão do vão entre apoios,

b – largura do corpo de prova

d – altura do corpo de prova

a – distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	21
1.1.1 Objetivo Geral.....	21
1.1.2 Objetivo Específico	22
2 MATERIAL E MÉTODOS	23
2.1 ENSAIOS	23
2.2 MATERIAIS.....	26
2.3 MÉTODO.....	30
2.3.1 Secagem do Fosfogesso	30
2.3.2 Moldagens	30
2.3.3 Dimensões dos Corpos de Prova	31
2.3.3.1 Compressão	31
2.3.3.2 Tração	32
2.3.3.3 Flexão.....	33
2.3.4 Maquinário	33
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
3.1 COMPRESSÃO.....	38
3.1.1 Resina.....	38
3.1.2 Fosfogesso	38
3.1.3 Madeira.....	39
3.1.4 Análise Geral da Resistência a Compressão.....	40
3.2 TRAÇÃO	41
3.2.1 Resina.....	41
3.2.2 Fosfogesso	41
3.2.3 Madeira.....	42
3.2.4 Análise Geral da Resistência a Tração.....	42
3.3 FLEXÃO	43
3.3.1 Resina.....	43
3.3.2 Fosfogesso	43
3.3.3 Madeira.....	44
3.3.4 Análise Geral da Resistência a Flexão	44
4. CONCLUSÕES	46
5.SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	47
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
APÊNDICE A – GRANULOMETRIA DO FOSFOGESSO	49
APÊNDICE B – UMIDADE DO FOSFOGESSO	53

APÊNDICE C – DIMENSÕES E PESOS DOS CORPOS DE PROVA PARA COMPRESSÃO	55
APÊNDICE D – DIMENSÕES E PESOS DOS CORPOS DE PROVA PARA TRAÇÃO	59
APÊNDICE E – DIMENSÕES E PESOS DOS CORPOS DE PROVA PARA FLEXÃO.....	63
APÊNDICE F – RESULTADOS DE COMPRESSÃO DE CADA TIPO DE CORPO DE PROVA	67
APÊNDICE G – RESULTADOS DE FLEXÃO DE CADA TIPO DE CORPO DE PROVA	70
APÊNDICE H – RESULTADOS DE TRAÇÃO NA FLEXÃO DE CADA TIPO DE CORPO DE PROVA	75

1. INTRODUÇÃO

Em seus estudos, Lentini (2012), apontou que o mercado da madeira é uma das principais causas do desmatamento da floresta Amazônica, sendo um dos principais empregos dessa madeira, o mercado da construção civil e a indústria moveleira. É necessário para garantir o suprimento e uso sustentável da madeira, assegurar sua procedência de origem legal e não predatória.

Zenid (2009), verificou que cerca de 64% de toda a madeira produzida na Amazônia é consumida por brasileiros. A atividade madeireira ilegal e predatória, assim como as queimadas e o desmatamento ilegal, tem provocado a destruição de parte da floresta amazônica. Em menos de 50 anos, quase 20% da cobertura florestal da região já desapareceu.

A Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo (2018), informou que madeiras de origem legal, são aquelas cujas espécies têm o corte autorizado por órgãos ambientais e possuidores de documento de licença para transporte e armazenamentos, como documento de origem florestal, guia florestal, guia de controle ambiental e a nota fiscal. O estado de São Paulo consome cerca de 25% da madeira extraída da Amazônia, e destes, 70% é consumido pelo setor da construção civil.

Pereira (2013), desenvolveu um guia de combinação de espécies de madeiras brasileiras de acordo com suas resistências e usos. As informações desse guia foram coletadas com as referentes as espécies utilizadas na construção civil e na indústria moveleira e desenvolveu-se três gráficos demonstrados nas Figuras 1 a 3. Na Figura 1 tem-se a análise à compressão, e são indicadas na sua abscissa as espécies Parapará, Eucalipto, espécie escolhida para a comparação, e Pau Brasil, e na sua ordenada os valores das suas resistências em Mega Pascal (MPa). Na Figura 2 tem-se a análise à tração das espécies Tamboril e Jatobá e na sua ordenada seus respectivos valores em MPa. Em suas análises, Pereira não verificou a resistência à tração do eucalipto. Na Figura 3 tem-se a análise a Flexão, das espécies Tamboril, Eucalipto e Tatajuba.

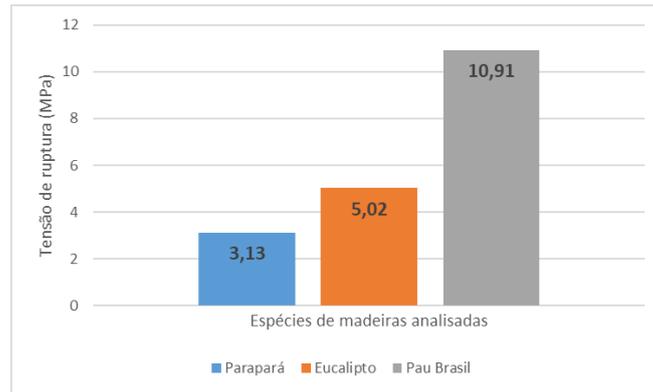


Figura 1 – Resistência à Compressão das espécies de madeiras
Fonte: Adaptado de Pereira (2013)

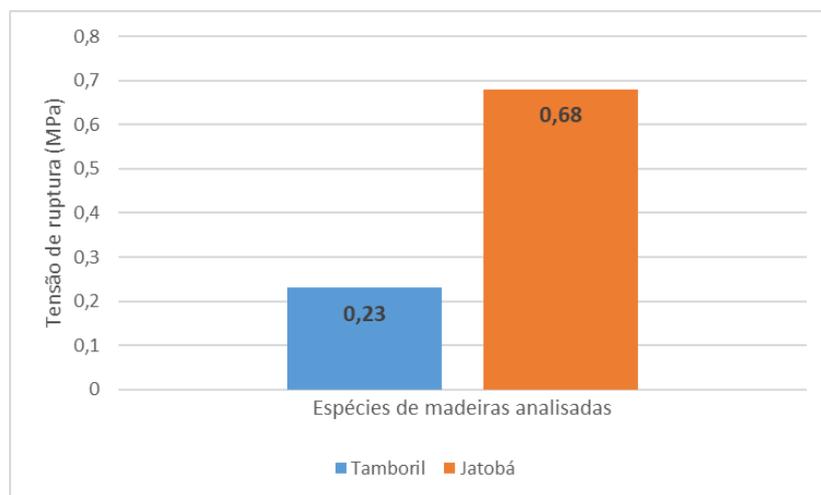


Figura 2 – Resistência à Tração das espécies de madeiras
Fonte: Adaptado de Pereira (2013)

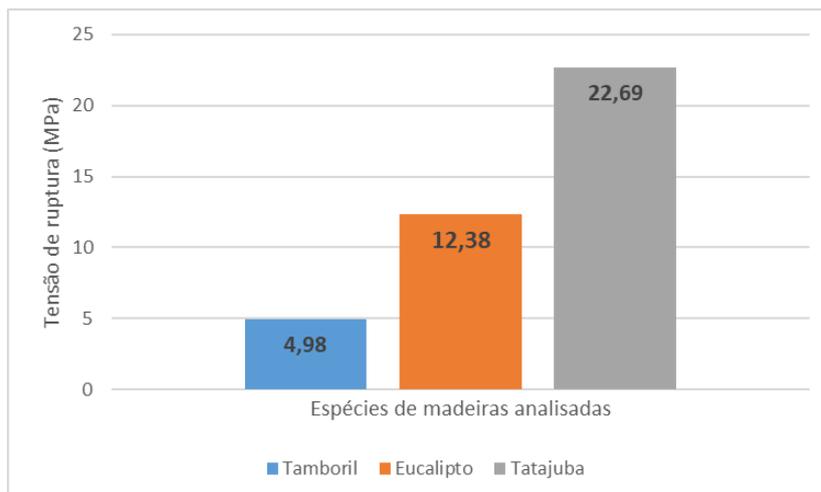


Figura 3 – Resistência à flexão das espécies de madeiras
Fonte: Adaptado de Pereira (2013)

Uma alternativa para a redução do uso da madeira, seria a utilização de polímeros em algumas aplicações deste material, que pode contribuir com a diminuição do corte da madeira convencional, protegendo assim as florestas.

O trabalho de Canut (2006) sobre o fosfogesso, determinou que o mesmo é um resíduo também denominado gesso químico, gerado na proporção de 4 a 6 toneladas para cada tonelada de ácido fosfórico produzido. O fosfogesso apresenta grande potencial de aproveitamento e uso em substituição ao gesso natural, comumente consumido pela indústria da construção civil.

Entende-se por fosfogesso, predominantemente formado por $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, o resíduo, co-produto, sub-produto gerado a partir da produção de ácido fosfórico (H_3PO_4) comumente utilizado na correção de solos agrícolas. Trata-se, de um material abundante nas indústrias de produção de fertilizantes.

Os fertilizantes comercializados são compostos basicamente de nitrogênio, potássio e fósforo. Os produtos obtidos pela indústria de fertilizantes são o superfosfato normal, superfosfato triplo (SPT), o monoamônio fosfato (MAP), o diamônio fosfato (DAP) e o ácido fosfórico. Destes materiais básicos, centenas de diferentes fórmulas são obtidas para suprir as deficiências e as necessidades de diferentes tipos de solos e sementes (Guimond, 1990 apud Saueia, 1998).

O fosfogesso, subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, é produzido em grande escala no Brasil. Estima-se que até meados de 1991 a quantidade de fosfogesso estocada no Brasil era de cerca de 30 milhões de toneladas (Mazzilli; Saueia, 1997).

Villaverde, 2008, verificou que os materiais que contem radionuclídeos naturais podem ser classificados como de ocorrência natural, denominados NORM, do inglês *Naturally Occuring Radioactive Materials*, ou tecnologicamente aumentados, denominados TENORM, do inglês, *Technologically Enchanced Naturally Occuring Radioactive Material*, dependendo se houve ou não um processamento industrial que levasse ao aumento da concentração dos radionuclídeos no material e ao aumento do nível de radioatividade. O fosfogesso se enquadra no grupo de materiais classificados como TENORM.

No presente trabalho o fosfogesso foi tratado pelo IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares), e certificado que o mesmo estava livre de radionuclídeos.

O uso correto e responsável do fosfogesso irá evitar a deterioração ambiental de grandes áreas onde, normalmente, é depositado (Figura 4). Também deve-se considerar que o setor da construção civil, no mundo atual, é reconhecido indiretamente como um dos responsáveis pelo impacto ambiental. Tal fato, se dá, principalmente pela grande quantidade de recursos naturais explorados e que são transformados e beneficiados como material a ser empregado na construção civil, como é o caso das reservas naturais de gesso. (CANUT, 2006).



Figura 4 – Aterro de Fosfogesso perto Voskresensk, oblast de Moscou, Rússia

Fonte: <https://br.depositphotos.com>

O desmatamento da Amazônia (Figura 5) é um assunto que está sempre em pauta, pois o mesmo continua ocorrendo, seja de forma criminosa ou autorizada.



Figura 5 - Desmatamento na região da Amazônia

Fonte: <https://www.dw.com>

Com esses 2 problemas em vista, faz-se necessário encontrar uma solução, para tal verifica-se que:

- a) O uso correto e responsável do fosfogesso irá mitigar a deterioração ambiental de grandes áreas onde, normalmente, é depositado;
- b) A construção civil e indústria moveleira são alguns responsáveis pelo impacto ambiental proveniente da exploração madeireira;
- c) A utilização do composto de resina epóxi e fosfogesso na indústria moveleira e construção civil, visa diminuir o impacto e a deterioração ambiental.

1.1 OBJETIVOS

Neste subcapítulo serão apontados o objetivo geral e o objetivo específico.

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve por objetivo geral obter experimentalmente a resistência mecânica de composto de resina epóxi e fosfogesso para aplicação na construção civil e indústria moveleira.

1.1.2 Objetivo Específico

O estudo visou avaliar a tensão de ruptura dos ensaios de compressão, tração e flexão de corpos de prova compostos de resina epóxi e fosfogesso, com concentrações variadas, comparando-os com o eucalipto obtido experimentalmente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo serão descritos, os ensaios, o material utilizado, e os métodos empregados.

2.1 ENSAIOS

Os ensaios, de compressão, e flexão foram realizados baseados na NBR - 7190 - Projeto de estruturas de madeira de 1997, em uma máquina universal de ensaios (Figura 6). As dimensões dos corpos de prova foram consideradas no sentido paralelo as fibras devido a sua maior resistência. No ensaio de flexão os corpos de prova tiveram suas dimensões adaptadas para o suporte da máquina universal de ensaios e o ensaio de tração ajustados ao limite da máquina.



(a)



(b)

Figura 6 – Máquina Universal de Ensaio – (a) Ensaio de Compressão e (b) Ensaio de Flexão

Os ensaios de tração seguiram-se através de uma adaptação da NBR 12142 Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.

As composições granulométricas foram determinadas segundo a NBR: NM 248: 2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.

O ensaio de umidade do fosfogesso foi realizado em conformidade com a NBR 6457:2016 Versão corrigida:2016 Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

Um fluxograma dos ensaios realizados é apresentado na Figura 7.



Figura 7 – Fluxograma dos Ensaios

O planejamento experimental é apresentado na Tabela 1

Tabela 1 — Planejamento Experimental(Triplicata)

NÚMERO DO ENSAIO	TIPO DO ENSAIO	CONCENTRAÇÃO DE FOSFOGESSO (%)	CONCENTRAÇÃO DE RESINA EPÓXI (%)	CONCENTRAÇÃO DE ENDURECEDOR (%)	CONCENTRAÇÃO DE MADEIRA (%)
1	COMPRESSÃO	0,00	66,67	33,33	0,00
2	COMPRESSÃO	35,00	43,33	21,67	0,00
3	COMPRESSÃO	40,00	40,00	20,00	0,00

Continua

Tabela 1 — Planejamento Experimental (Triplicata) (Continuação)

NÚMERO DO ENSAIO	TIPO DO ENSAIO	CONCENTRAÇÃO DE FOSFOGESSO (%)	CONCENTRAÇÃO DE RESINA EPÓXI (%)	CONCENTRAÇÃO DE ENDURECEDOR (%)	CONCENTRAÇÃO DE MADEIRA (%)
4	COMPRESSÃO	45,00	36,67	18,33	0,00
5	COMPRESSÃO	50,00	33,33	16,67	0,00
6	COMPRESSÃO	55,00	30,00	15,00	0,00
7	COMPRESSÃO	60,00	26,67	13,33	0,00
8	COMPRESSÃO	0,00	0,00	0,00	100,00
9	TRAÇÃO	0,00	66,67	33,33	0,00
10	TRAÇÃO	35,00	43,33	21,67	0,00
11	TRAÇÃO	40,00	40,00	20,00	0,00
12	TRAÇÃO	45,00	36,67	18,33	0,00
13	TRAÇÃO	50,00	33,33	16,67	0,00
14	TRAÇÃO	55,00	30,00	15,00	0,00
15	TRAÇÃO	60,00	26,67	13,33	0,00
16	TRAÇÃO	0,00	0,00	0,00	100,00
17	FLEXÃO	0,00	66,67	33,33	0,00
18	FLEXÃO	35,00	43,33	21,67	0,00

Continua

Tabela 1 — Planejamento Experimental (Triplicata) (Continuação)

NÚMERO DO ENSAIO	TIPO DO ENSAIO	CONCENTRAÇÃO DE FOSFOGESSO (%)	CONCENTRAÇÃO DE RESINA EPÓXI (%)	CONCENTRAÇÃO DE ENDURECEDOR (%)	CONCENTRAÇÃO DE MADEIRA (%)
19	FLEXÃO	40,00	40,00	20,00	0,00
20	FLEXÃO	45,00	36,67	18,33	0,00
21	FLEXÃO	50,00	33,33	16,67	0,00
22	FLEXÃO	55,00	30,00	15,00	0,00
23	FLEXÃO	60,00	26,67	13,33	0,00
24	FLEXÃO	0,00	0,00	0,00	100,00

2.2 MATERIAIS

Foram empregados no estudo a resina Epóxi Dion® Impact 9100 da marca Reichhold com o respectivo catalisador, sendo utilizados 28,72 kg de resina e 14,36 kg de catalisador (Figura 8). A resina e catalisador foram escolhidos devido à sua facilidade de obtenção.



Figura 8- Resina epóxi misturado ao catalisador

Os ensaios de secagem foram realizados com as estufas FANEM modelo 315SE e a Marconi modelo MA 0,35/6301. As balanças foram da Gehaka modelos LS50, bk 6000 e bg 8000. Foram selecionados 31,30 kg de fosfogesso oriundo do município de Bayovar no Peru (Figura 9)



Figura 9 - Resina epóxi misturado com seu catalisador e o fosfogesso

Foram confeccionadas as formas para tração e flexão, indicadas na Figura 10, foram moldadas na Carpintaria da Universidade Santa Cecília, com compensado naval de 25 mm de espessura, a dimensão interna do corpo de prova é de 50 mm x 50 mm x 500 mm. Moldaram-se 12 formas, utilizaram-se 16 parafusos Philips de 50mm x 10 mm por forma, a serra circular de bancada, a furadeira vertical, uma lixadeira de cinta grande e duas parafusadeiras, a massa e quantidade de uso das formas é apresentada na Tabela 2.



Figura 10 – Forma para tração e flexão

Tabela 2 — Pesos e número de usos das formas de tração e flexão

Forma	Massa (g)	Quantidade de Corpos Moldados
1	2462	5
2	2317	5
3	2485	5
4	2290	5
5	2390	5
6	2454	5
7	2365	4
8	2450	4
9	2397	4

As formas para compressão, vistas na Figura 11, foram moldadas com MDF de 18 mm de espessura. As dimensões internas do corpo de prova foram de 50 mm x 50 mm x 150 mm. Moldaram-se 9 formas, durante o processo de moldagem algumas das paredes da forma, foram substituídas por compensado naval de 25 mm de espessura. Utilizaram-se 8 parafusos Philips de 40 mm x 10 mm por forma, as faces foram

nomeadas a fim de facilitar a remoldagem. Suas massas e número de usos encontram-se na Tabela 3.

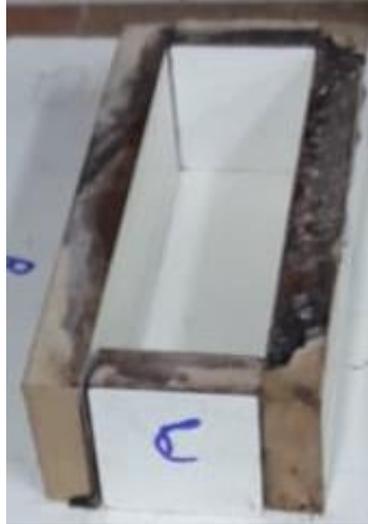


Figura 11 – Forma para os corpos de prova de compressão

Tabela 3 – Pesos e número de utilizações das formas de compressão

Forma	Massa (g)	Quantidade de Corpos Moldados
1	1009	3
2	996	3
3	1060	3
4	955	2
5	995	2
6	1062	2
7	1175	2
8	1191	2
9	1009	2

2.3 MÉTODO

A seguir serão discutidos os métodos: secagem do fosfogesso, modelagem, dimensões dos corpos de prova e o maquinário utilizado.

2.3.1 Secagem do Fosfogesso

O fosfogesso foi analisado com pesagens a cada 30 minutos a 90°C até atingir massa constante. A umidade do material foi obtida pela equação 1.

$$W = \frac{P_h - P_s}{P_s} \quad (1)$$

Em que

W é a umidade, expressa em porcentagem (%)

P_h é a massa úmida do material, expressa em gramas (g)

P_s é a massa seca do material, expressa em gramas (g)

Foi realizada uma análise granulométrica do fosfogesso, a qual está apresentada no apêndice A e sua umidade no apêndice B.

2.3.2 Moldagens

O tempo de mistura da resina epóxi e o endurecedor de 5 minutos foi determinado experimentalmente. Foi o tempo para se atingir o ponto de moldagem.

O tamanho dos grãos de fosfogesso foram inferiores a 32 mm, tendo sua granulometria variável.

Durante os ensaios preliminares processo de moldagem ocorreu uma reação expansiva (Figura 12) com a composição de 30% de fosfogesso, provavelmente proveniente da relação entre a concentração de fosfogesso, resina epóxi e endurecedor na mistura, a qual impossibilitou a utilização esperada do corpo e no

ensaio com a composição de 70% de fosfogesso, o corpo de prova ficou com aspecto similar a uma bicheira (Figura 13) de concreto, não tendo o aspecto plano esperado.



Figura 12 – Corpo de Prova do Ensaio Preliminar com 30% de Fosfogesso



Figura 13 – Corpo de Prova do Ensaio Preliminar com 70% de Fosfogesso

2.3.3 Dimensões dos Corpos de Prova

Neste subcapítulo serão apontadas as dimensões dos corpos de prova dos ensaios de compressão, tração e flexão.

2.3.3.1 Compressão

Os corpos de prova de forma retangular prismática com faces numeradas de 1 a 6 (Figura 14) tem suas dimensões em mm. As massas em gramas e as datas de moldagem são apresentadas no apêndice C.

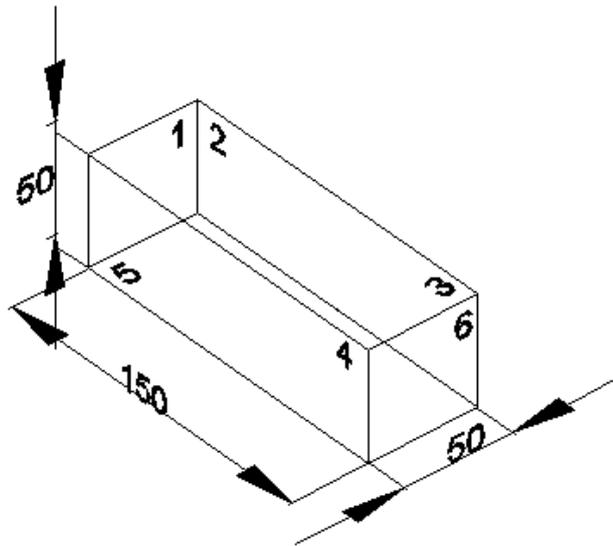


Figura 14 – Faces do Corpo de Prova de Compressão

2.3.3.2 Tração

Apresentam-se na Figura 15 as dimensões em milímetros dos corpos de prova para os ensaios de Tração. Tem-se no Apêndice D as massas e datas da moldagem.

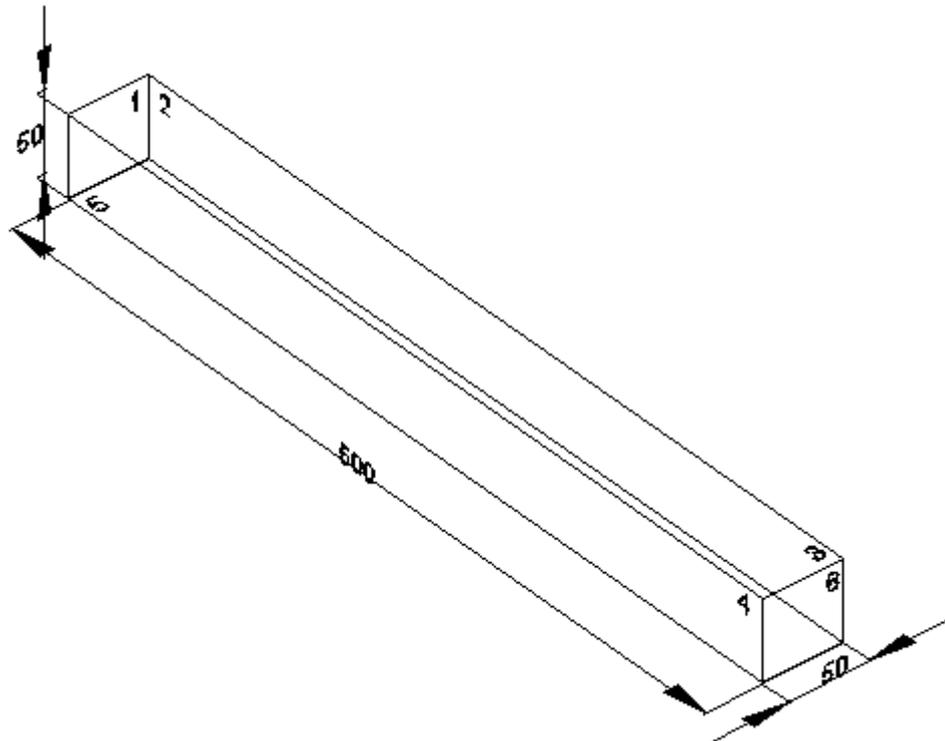


Figura 15 – Faces dos Corpos de Prova para o Ensaio de Tração e Flexão

2.3.3.3 Flexão

As dimensões dos corpos de prova dos ensaios de flexão foram as mesmas dos de tração. No Apêndice E pode-se observar as datas de moldagem com as respectivas massas.

2.3.4 Maquinário

Os ensaios 1, 8 e 24 foram realizados na máquina universal com sistema de segurança.

Os demais ensaios foram feitos nas máquinas da Figura 5.

Os ensaios 2 a 7 foram realizados numa velocidade de 5 mm/min com área de 2500 mm², deformação máxima de 100 mm e carga máxima de 2000 kN para os corpos de prova com Fosfogesso na composição.

Na mesma velocidade de 5mm/min foram efetuados os ensaios 17 a 23, com uma deformação máxima de 30 mm e carga máxima de 100 kN para os corpos de prova com Fosfogesso na composição.

Ainda com a mesma velocidade de 5mm/min foram executados os ensaios 9 a 16 foram realizados, com deformação máxima de 30 mm e carga máxima de 60 kN para os corpos de prova com Fosfogesso na composição. O ensaio 9 foi executado numa velocidade de 3mm/min a fim de evitar que o material se fragmentasse, ficando assim impossível verificar o surgimento de trincas e fissuras.

Na Tabela 4 é apresentado um resumo dos ensaios aplicados no maquinário.

Tabela 4 – Parâmetros dos Ensaios em Máquinas para área de 2500mm²

Ensaio	Máquina Universal	Velocidade (mm/min)	Deformação Máxima (mm)	Carga Máxima (kN)
2 a 7	EMIC DL10000/PC200	5	100	2000
1 e 8	EMIC MUE-100	5	100	1000
17 a 23	EMIC DL10000/PC200	5	30	100
24	EMIC MUE-100	5	30	1000
10 a 16	EMIC DL10000/PC200	5	30	60
9	EMIC DL10000/PC200	3	30	30

A NBR 12142, emprega a utilização das equações 2 e 3 para a determinação da tração de corpos prismáticos.

Na norma é indicado que a altura do corpo de prova deve ser igual um terço do comprimento L do corpo de prova (Figura 16), entretanto os corpos de prova tinham um nono da altura do comprimento ℓ do corpo de prova, o que levou a adaptação.

Foi analisado em que parte ocorreu a ruptura ou trinca do corpo de prova, sendo verificado se a mesma ocorreu no terço médio do corpo ou fora do terço médio (Figura 17), no último caso, o valor deveria ser inferior a 5% de ℓ , para as rupturas que ocorreram no terço médio utilizou-se a equação 2 e as que não ocorreram no terço médio utilizou-se a equação 3

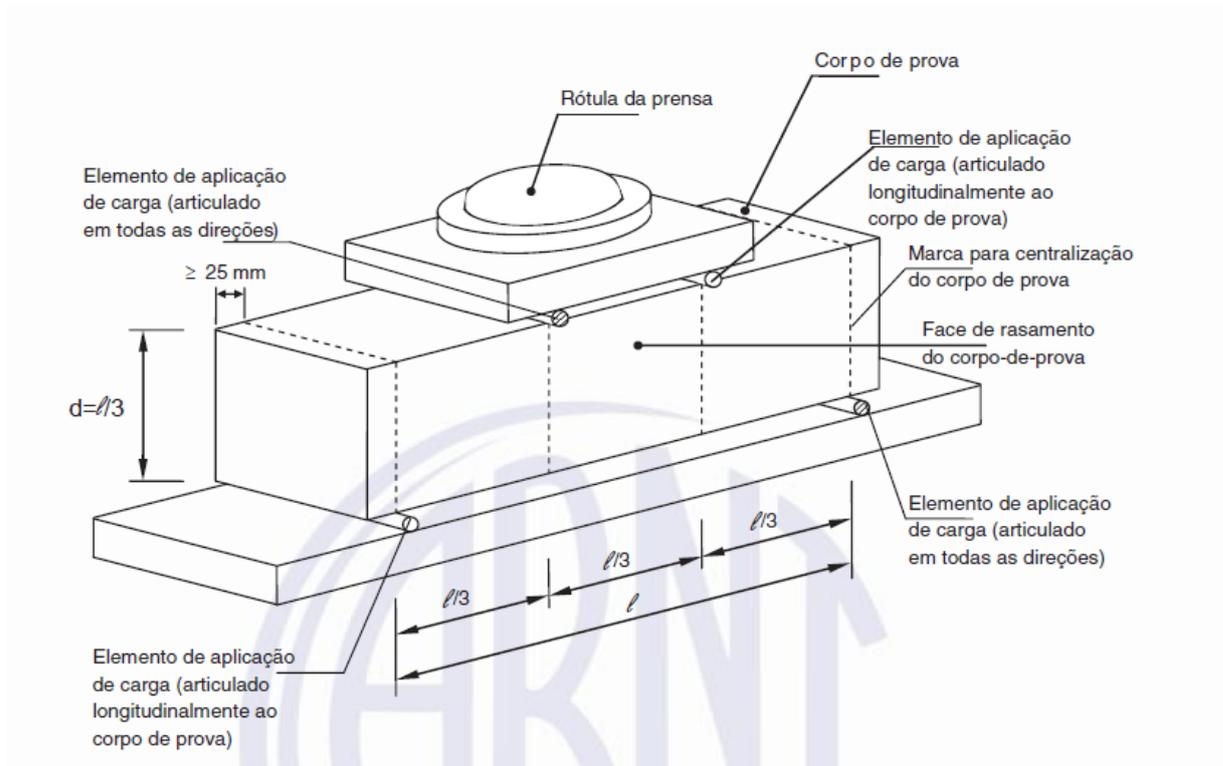


Figura 16 – Sistema empregado para o ensaio

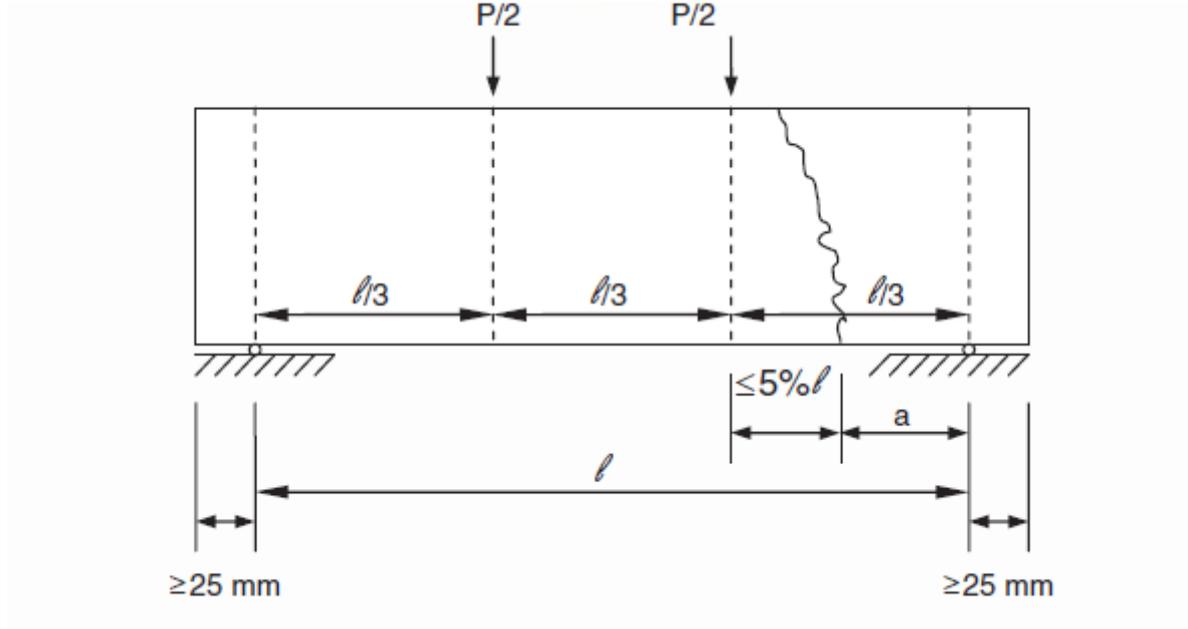


Figura 17 – Ruptura fora do terço médio

$$f_{ct,f} = \frac{F \times \ell}{b \times d^2} \quad (2)$$

Sendo

- $f_{ct,f}$ a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);
- F a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em newtons (N);
- ℓ a dimensão do vão entre apoios, expressa em milímetros (mm);
- b a largura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);
- d a altura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

$$f_{ct,f} = \frac{3 \times F \times a}{b \times d^2} \quad (3)$$

Sendo

- $f_{ct,f}$ a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);
- F a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em newtons (N);

- a a distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, em milímetros (mm).
- b a largura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);
- d a altura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm)

Todo o processo, de moldagem, desmoldagem, realização de ensaios e obtenção de resultados, levou um tempo de 70 horas por ensaio, totalizando 5184 horas de ensaios.

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo serão apontados os resultados dos ensaios realizados e discutidos seus valores.

3.1 COMPRESSÃO

A seguir os valores de resistência a ruptura à compressão dos ensaios de resina, fosfogesso, madeira e a análise geral.

3.1.1 Resina

A carga e tensão dos corpos de prova de resina epóxi encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Carga e tensão a compressão dos corpos de prova do ensaio 1

Corpo de Prova	Carga (N)	Tensão de Ruptura (MPa)
CP01	207000	85,96
CP02	206900	81,14
CP03	213600	84,93

Pode-se observar que os ensaios obtiveram uma resistência próxima, com um valor médio de 84,01 MPa.

3.1.2 Fosfogesso

Os gráficos referentes a cada ensaio de compressão estão no apêndice F. Nesse tópico será mostrado o valor da tensão de ruptura de concentração dos corpos de prova de cada concentração de Fosfogesso, traçou-se uma linha de tendência polinomial de grau 5 onde se encontrou uma equação e obteve-se o melhor coeficiente de determinação (Figura 18).

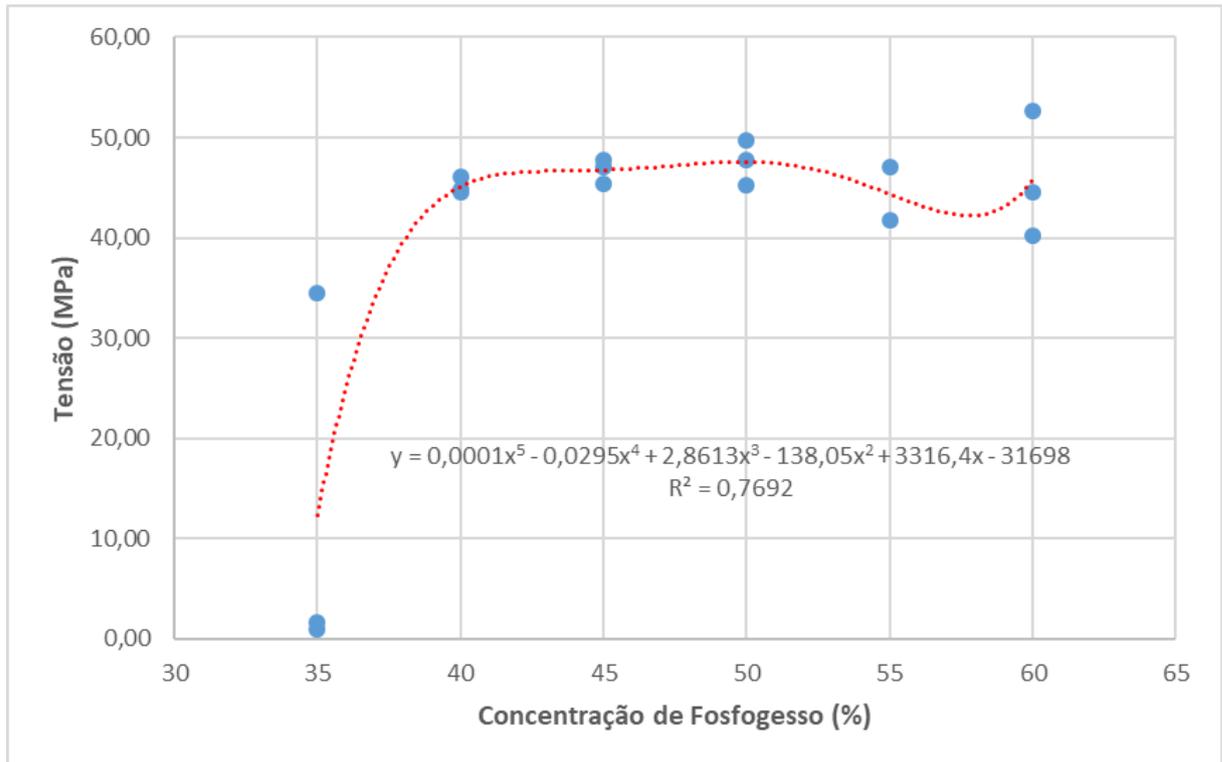


Figura 18 – Compressão em função da concentração de fosfogesso

O CP 02 do ensaio 6 foi descartado devido ao seu valor ser discrepante dos demais da mesma concentração. As concentrações de fosfogesso na mistura que apresentaram a melhor resistência média a compressão foram as de 50%, seguidos por 45%, 60%, 40%, 55% e 35%, obtendo um valor de 47,58MPa, 46,75MPa, 45,78MPa, 45,13 MPa, 44,37MPa e 12,36MPa.

3.1.3 Madeira

A carga e tensão dos corpos de prova de madeira pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 6 – Carga e tensão a compressão dos corpos de prova do ensaio 8

Corpo de Prova	Carga (N)	Tensão de Ruptura (MPa)
CP01	86200	34,48
CP02	66900	26,76
CP03	90800	36,32

Observa-se que os ensaios obtiveram uma resistência próxima, obtendo um valor médio de 32,52 MPa.

3.1.4 Análise Geral da Resistência à Compressão

Os ensaios podem ser ordenados de maneira decrescente conforme a Figura 19.

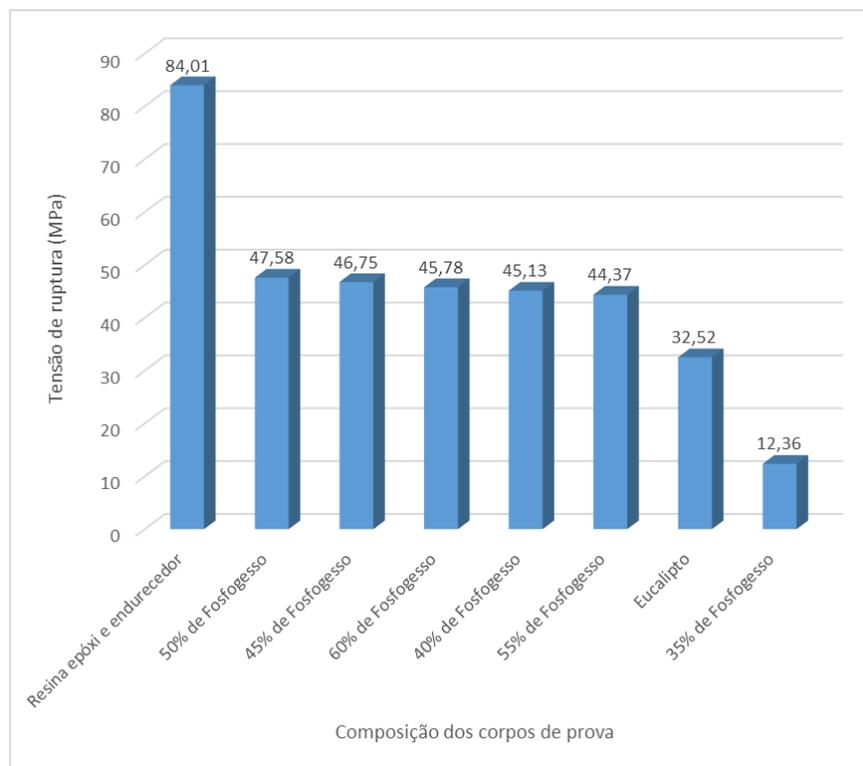


Figura 19 - Análise geral dos ensaios de compressão

As informações obtidas permitem afirmar, que os corpos sem concentração de fosfogesso e madeira, tem a maior resistência a ruptura. Os corpos com fosfogesso em sua composição possuem resistência superior a madeira analisada, com exceção dos corpos com 35% de fosfogesso em sua composição. Os corpos de prova com 50% de fosfogesso na sua composição, apresentaram uma resistência de 146,06% maior que a resistência da madeira, sendo essa a melhor opção para corpos que sofrem compressão.

3.2 TRAÇÃO

Em sequência os valores de resistência a ruptura à tração dos ensaios de resina, fosfogesso, madeira e a análise geral.

3.2.1 Resina

A carga e tensão dos corpos de prova de resina epóxi é demonstrada na Tabela 7.

Tabela 7 – Carga e tensão a tração dos corpos de prova do ensaio 9

Corpo de Prova	Carga (N)	Tensão de Ruptura(MPa)
CP01	15499	48,20
CP02	15332	47,84
CP03	14398	51,83

O valor médio dos ensaios foi de 49,29 MPa.

3.2.2 Fosfogesso

Nesse tópico será mostrado o valor dos corpos de prova de cada concentração de Fosfogesso, traçou-se uma linha de tendência polinomial de grau 5 onde encontrou-se uma equação e obteve-se o melhor coeficiente de determinação (Figura 20).

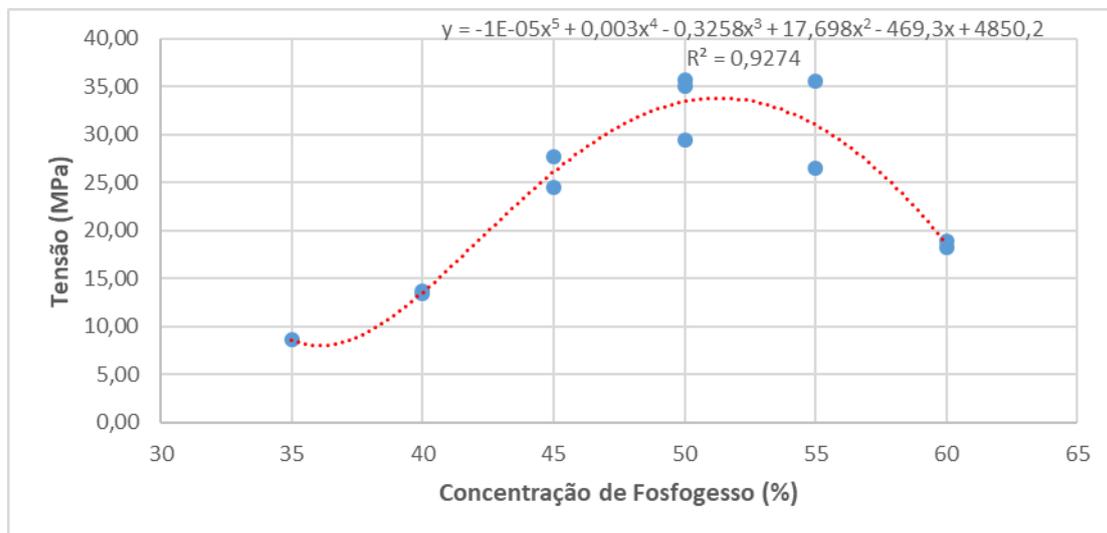


Figura 20 – Tração em função da concentração do fosfogesso

Os CP01 e CP03 do ensaio 9, o CP03 do ensaio 10, o CP03 do ensaio 11, o CP01 do ensaio 14 e o CP02 do ensaio 15 foram descartados a fim de obter um melhor coeficiente de determinação, para validar os resultados dos ensaios.

Os ensaios com 50% de fosfogesso em sua composição apresentaram uma maior resistência a flexão, seguidos pelas concentrações de 55%, 45%, 60%, 40% e 35%, tendo como valores médios, 33,42 MPa, 30,99 MPa, 26,10 MPa, 18,57 MPa, 13,56 MPa e 8,60 MPa respectivamente.

3.2.3 Madeira

A carga e tensão dos corpos de prova de madeira encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Carga e tensão à tração dos corpos de prova do ensaio 16

Corpo de Prova	Carga (N)	Tensão de Ruptura(MPa)
CP01	16843	54,57
CP02	19161	55,18
CP03	16524	55,52

Os ensaios tiveram um valor médio de 55,09 MPa

3.2.4 Análise Geral da Resistência à Tração

Os ensaios concernentes às resistências à tração foram ordenadas conforme a Figura 21.

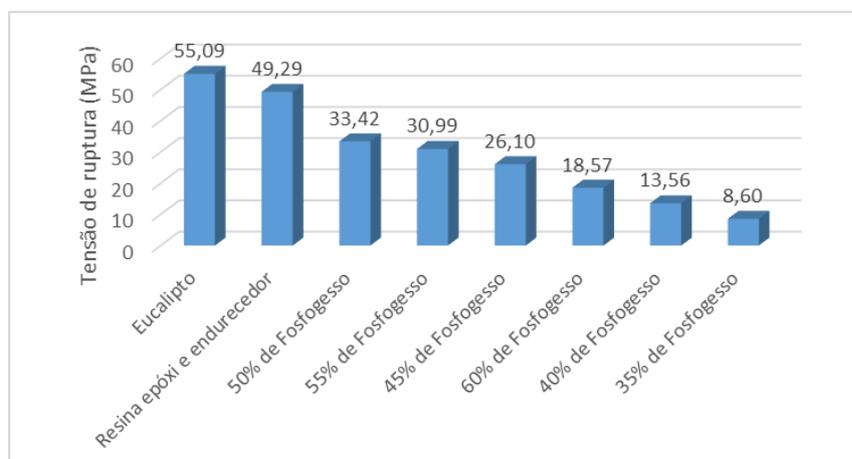


Figura 21 – Análise geral dos ensaios de tração

As informações obtidas permitem afirmar, que os corpos de prova de madeira têm a maior resistência a ruptura, seguidos pelos corpos de prova sem concentração de fosfogesso e madeira, os corpos com fosfogesso em sua composição possuem resistência inferior a madeira analisada. Os corpos de prova com 50% de fosfogesso na sua composição, apresentaram a maior resistência dentre os corpos com fosfogesso na sua composição, obtendo uma resistência de 164,84% menor que a resistência da madeira, sendo essa a melhor opção para corpos que sofrem tração.

3.3 FLEXÃO

A seguir os valores de resistência a ruptura à flexão dos ensaios de resina, fosfogesso, madeira e a análise geral.

3.3.1 Resina

A carga e tensão dos corpos de prova de resina epóxi é demonstrada na Tabela 9.

Tabela 9 – Carga e tensão a flexão dos corpos de prova do ensaio 17

Corpo de Prova	Carga (N)	Tensão De Ruptura (MPa)
CP01	14287	6,83
CP02	3835,5	2,74
CP03	29,303	0,02

Observa-se que os ensaios tiveram um valor médio de 4,78 MPa.

3.3.2 Fosfogesso

Os gráficos referentes a cada corpo de prova estão no apêndice G. Nesse tópico será mostrado o valor dos corpos de prova de cada concentração de Fosfogesso, traçou-se uma linha de tendência polinomial de grau 5 onde encontrou-se uma equação e obteve-se o melhor coeficiente de determinação (Figura 22).

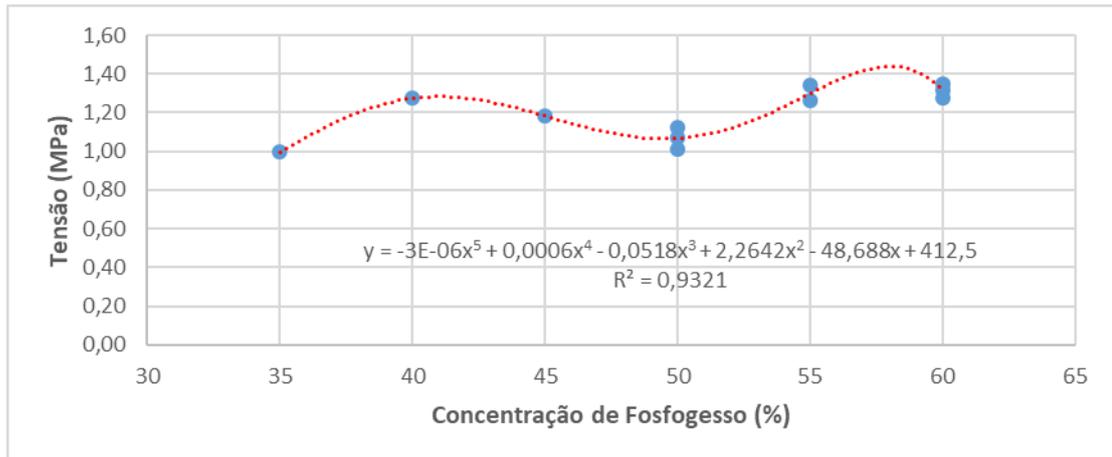


Figura 22 – Flexão em função da concentração de fosfogesso

O resultado dos CP02 e CP03 do ensaio 18, CP02 e CP03 do ensaio 19, CP01 e CP02 do ensaio 20 e CP03 do ensaio 22, foram descartados a fim de obter um melhor coeficiente de determinação, para validar os resultados dos ensaios.

Os ensaios com 60% de fosfogesso em sua composição apresentaram uma maior resistência a flexão, seguidos pelas concentrações de 55%, 40%, 45%, 50% e 35%, tendo como valores médios, 1,31 MPa, 1,30 MPa, 1,27 MPa, 1,18 MPa, 1,07 MPa e 1,00 MPa respectivamente.

3.3.3 Madeira

A carga e tensão dos corpos de prova de madeira encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 – Carga e tensão à flexão dos corpos de prova do ensaio 24

Corpo de Prova	Carga (N)	Tensão de Ruptura(MPa)
CP01	28600	11,21
CP02	21300	8,19
CP03	27600	11,26

Os ensaios tiveram um valor médio de 10,22 MPa

3.3.4 Análise Geral da Resistência à Flexão

Na Figura 23 tem-se os ensaios ordenados de maneira decrescente de tensão de ruptura.

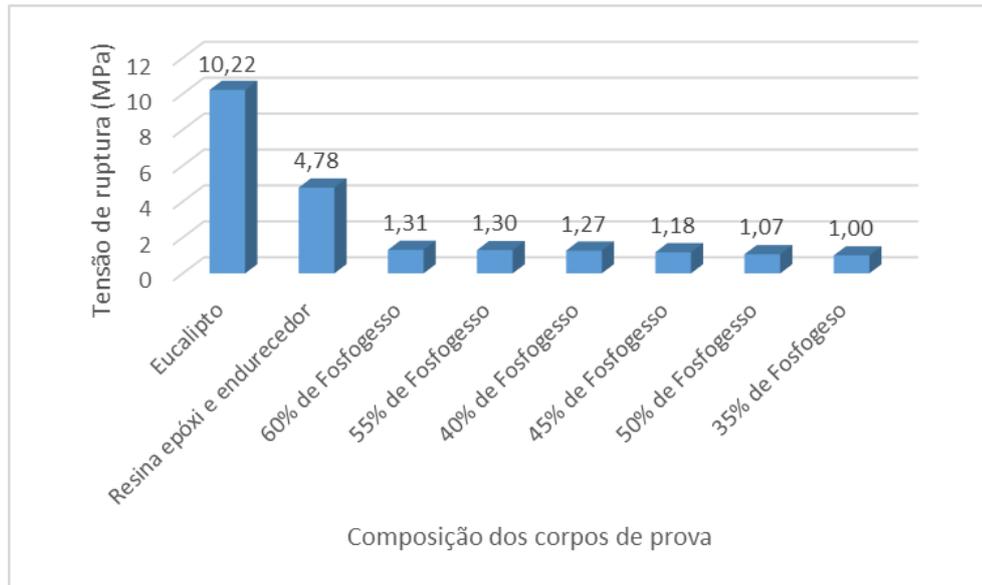


Figura 23 - Análise geral dos ensaios de flexão

As informações obtidas permitem afirmar, que os corpos de prova de madeira têm a maior resistência a ruptura, seguidos pelos corpos de prova sem concentração de fosfogesso e madeira. Os corpos com fosfogesso em sua composição possuem resistência inferior a madeira analisada. Os corpos de prova com 60% de fosfogesso na sua composição, apresentaram a maior resistência dentre os corpos com fosfogesso na sua composição, obtendo uma resistência de 780,15% menor que a resistência da madeira, sendo essa a melhor opção para corpos que sofrem flexão.

4. CONCLUSÕES

O trabalho permitiu concluir:

- a) Em situações que são necessárias, suportar cargas de compressão, como pilaretes, sugere-se a utilização do material com 50% de fosfogesso em sua composição.
- b) Quando for necessário, suportar cargas de flexão, como em bancos, aconselha-se o uso do material com 50% de fosfogesso em sua composição.
- c) Para cargas tracionadas, como aplicações de treliças, propõe-se a utilização do material com 60% de fosfogesso em sua composição.
- d) Com exceção da Compressão, a Madeira utilizada apresenta uma maior resistência à tração que os demais corpos de prova estudados.
- e) O composto não sofre tanto quanto o eucalipto com as intempéries e ataque de animais xilófagos (cupim).

5.SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas contribuições futuras que poderão ocorrer no contexto dessa pesquisa:

- a) Utilização de resina termoplástica com fosfogesso;
- b) Pulverização do fosfogesso misturado a fibras orgânicas e resinas termoplásticas;
- c) Verificar a radiação ultravioleta no composto;
- d) Determinar o viés financeiro entre composto e madeira, relação custo x benefício.

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: projeto de estruturas de madeira**. ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR, N. M. 248: Agregados-Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6457:2016 Versão corrigida:2016 Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 12142:2010 Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010

Aterro de Fosfogesso perto Voskresensk, oblast de Moscou, Rússia—imagens de bancos de imagens. [S. l.], 13 out. 2018. Disponível em: <https://br.depositphotos.com/219865894/stock-photo-white-mountain-large-open-air.html>. Acesso em: 19 out. 2019.

CANUT, Mariana Moreira Cavalcanti. **Estudo da viabilidade do uso do resíduo fosfogesso como material de construção**.2006. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais

Desmatamento da Amazônia. Disponível em <<https://www.dw.com/pt-br/desmatamento-na-amaz%C3%B4nia-cresce-quase-93-neste-ano-indica-inpe/a-50804904>>. Acesso em: 20 jan 2020

LENTINI, M.W; GOMES, P.C & SOBRAL, L. **Acertando o Alvo 3**, São Paulo, 2012.

MAZZILLI, Bárbara; SAUEIA, Cátia Heloisa. Implicações radiológicas da utilização de fosfogesso como material de construção. **Ambiente Construído**, v. 1, n. 2, p. 17-22, 1997.

PEREIRA, Andréa Franco. **Madeiras brasileiras guia de combinação e substituição**. 2013.

SAUEIA, CATIA HR. Caracterização radioquímica do fosfogesso e implicações radiológicas de sua utilização como material de construção. 1998.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO; 2018 <<http://www.ambiente.sp.gov.br/madeiralegal/madeira-legal-vs-madeira-ilegal/>> Acesso em 12 de maio de 2018.

VILLAVERDE, Freddy Lazo. Avaliação da exposição externa em residência construída com fosfogesso. **65 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear)—Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares**, 2008.

ZENID, Geraldo José-Coordenador. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2009.

APÊNDICE A – GRANULOMETRIA DO FOSFOGESSO

RELATÓRIO DE ENSAIO	
Ensaio: Determinação da composição granulométrica	
NBR: NM 248: 2003	Data Inicial: 15/07/2019 Data Final: 16/07/2019

Foram utilizados uma quantidade representativa da amostra total.

A amostra utilizada para o ensaio foi selecionada em grão passantes na peneira #6,3mm, destorroada no almofariz e seca ao ar por 24horas. (Figura A1).

Coletou-se 300g de fosfogesso (Figura A2), mesmo com o processo de destorroamento ainda existiam pequenos torrões na amostra, classificando-o como material higroscópio.

A granulometria foi determinada através da Tabela A1 e das Figura A3 e A4.

Tabela A 1 – Granulometria do Fosfogesso

PENEIRAMENTO			
Peneira (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
64,0			
50,0			
38,0			
25,0			
19,0			
12,5			
9,5			
6,3	0,00	0,00	0,00
4,8	0,00	0,00	0,00
2,4	26,13	8,72	8,72
1,2	40,48	13,49	22,21
0,6	39,32	13,10	35,31
0,3	24,45	8,15	43,46
0,15	28,91	9,64	53,10
Fundo	140,71	46,90	100
Total	300,00		



Figura A 1 – Destorroamento e Secagem do Fosfogesso

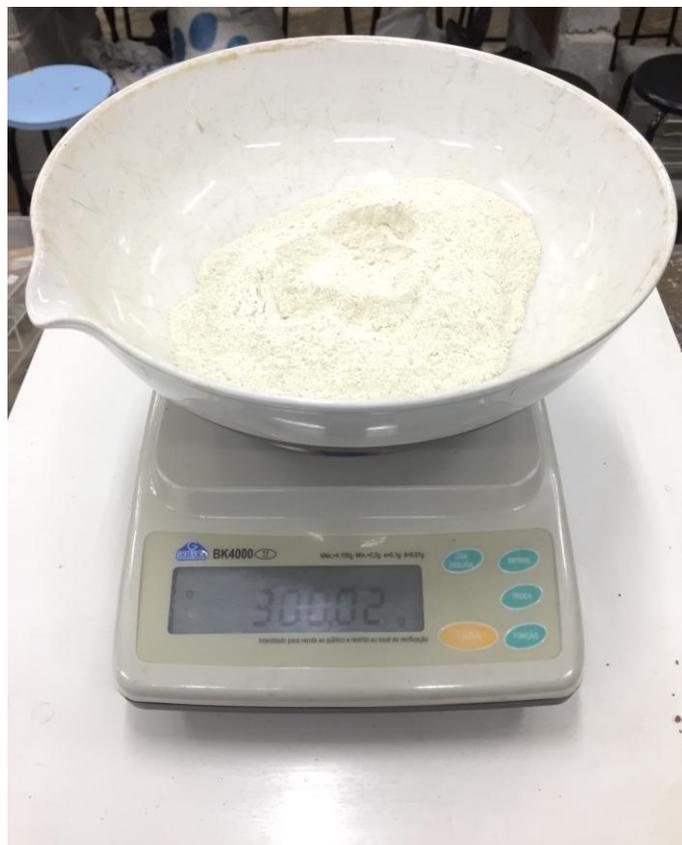


Figura A 2— Fosfogesso pesado para a granulometria



Figura A 3 – Fosfogesso retido nas peneiras

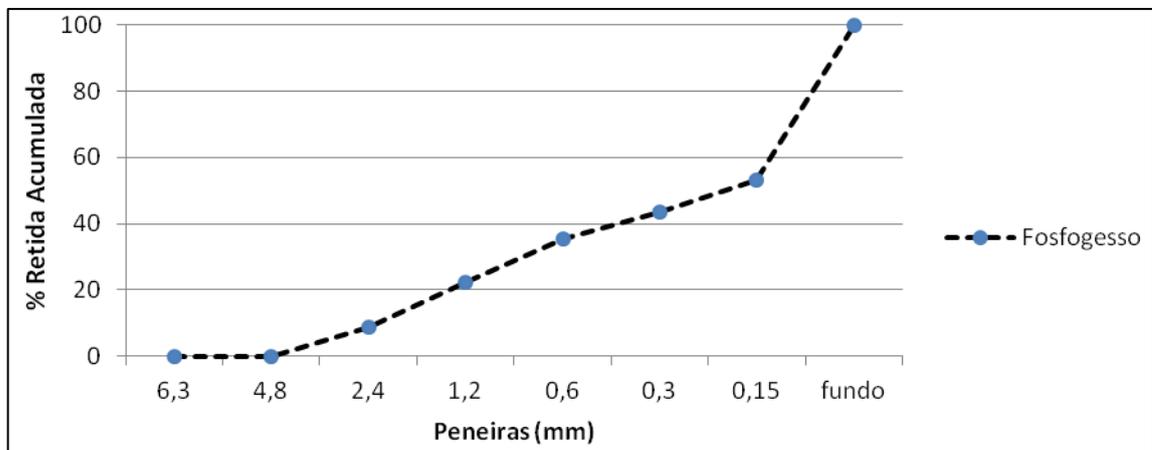


Figura A 4 – Granulometria do fosfogesso

APÊNDICE B – UMIDADE DO FOSFOGESSO

RELATÓRIO DE ENSAIO	
Ensaio: Determinação do teor de umidade	
NBR: 6457: 2016	Data Inicial: 05/09/2019 Data Final: 05/09/2019

A secagem, do fosfogesso, na estufa foi executada com a temperatura em torno dos 90° C até atingir a constância de massa.

A amostra permaneceu 30 minutos dentro da estufa e 10 minutos resfriando no Dessecador em cada pesagem. Os dados pesados e calculados encontram-se na Tabela B1.

Tabela B 1– Dados do ensaio de umidade do fosfogesso

Cápsula nº 152	Horário	Pesagem
Tara = 26,18g	19h37min	Ph + Tara = 79,13g
	20h17min	Ps + Tara = 78,96g
	20h57min	Ps + Tara = 78,94g
	21h37min	Ps + Tara = 78,91g
	10h17min	Ps + Tara = 78,89g
w=0,46%		

**APÊNDICE C – DIMENSÕES E MASSAS DOS
CORPOS DE PROVA PARA COMPRESSÃO**

As dimensões e pesos encontram-se entre as Tabelas C1 a C8.

Tabela C 1 – Corpos de prova com 66,67% de resina epóxi e 33,33% de endurecedor, moldados em 15/02/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	48,55	49,6	50	51	50,45	49,85
2	146,9	49,6	148,8	52	146,05	46,85
3	144,4	47,85	148,3	49	145,9	48,4
4	144,1	49,7	149,45	50	146	48,6
5	145,5	48	148	49,5	146,7	49,35
6	49,5	49,7	49,1	51	48,4	49,6
Massa (g)	396,9		419,8		396,1	

Tabela C 2 – Corpos de prova com 35% de fosfogesso, moldados em 14/06/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	49,5	51	44	52	45	52
2	150	51	150	44	150	45
3	150	49,5	150	52	150	52
4	150	51	150	44	150	45
5	150	49,5	150	52	150	52
6	49,5	51	52	44	45	52
Massa (g)	455,4		452		428,9	

Tabela C 3 – Corpos de prova com 40% de fosfogesso, moldados em 05/06/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	49	50	48	52	48	52
2	150	50	149	52	150	52
3	150	49	148	48	150	48
4	150	50	149	52	150	52
5	150	49	148	48	150	48
6	150	50	48	52	150	52
Massa (g)	510,4		473,9		467,9	

Tabela C 4 – Corpos de prova com 45% de fosfogesso, moldados em 05/06/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	49,6	48	51,4	45	50	44
2	150	48	150	45	150	44
3	150	49,6	150	51,4	150	50
4	150	48	150	45	150	44
5	150	49,6	150	51,4	150	50
6	49,6	48	51,4	45	50	44
Massa (g)	552,9		500,8		496,3	

Tabela C 5 – Corpos de prova com 50% de fosfogesso, moldados em 31/05/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	48	49,6	45	51,4	45	50
2	150	48	150	51,4	150	50
3	150	49,6	150	45	150	45
4	150	48	150	51,4	150	50
5	150	49,6	150	45	150	45
6	48	49,6	45	51,4	45	50
Massa (g)	525,7		497,7		509,7	

Tabela C 6 – Corpos de prova com 55% de fosfogesso, moldados em 05/06/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	49	50	49	51	49	51
2	150	50	150	51	150	51
3	150	49	150	49	150	49
4	150	50	150	51	150	51
5	150	49	150	49	150	49
6	49	50	49	51	49	51
Massa (g)	530,8		550,3		564,4	

Tabela C 7 – Corpos de prova com 60% de fosfogesso, moldados em 31/05/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	50	50	45	50	49	50
2	150	50	150	50	150	50
3	150	50	150	45	150	49
4	150	50	150	50	150	50
5	150	50	150	45	150	49
6	50	50	45	50	49	50
Massa (g)	553,1		509,4		530,3	

Tabela C 8 – Corpos de prova de madeira, moldados em 03/10/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	50	50	50	50	50	50
2	150	50	150	50	150	50
3	150	50	150	50	150	50
4	150	50	150	50	150	50
5	150	50	150	50	150	50
6	50	50	50	50	50	50
Massa (g)	355,56		379,44		369,53	

APÊNDICE D – DIMENSÕES E MASSAS DOS CORPOS DE PROVA PARA TRAÇÃO

As dimensões e pesos encontram-se entre as Tabelas D1 a D8.

Tabela D 1– Corpos de prova com 66,67% de resina epóxi e 33,33% de endurecedor, moldado em 18/07/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	51	46	52	51	50	47
2	482	46	492	51	489	47
3	482	51	492	52	489	50
4	482	46	492	51	489	47
5	482	51	492	52	489	50
6	51	51	52	51	50	47
Massa (g)	1276,3		1336		1270,5	

Tabela D 2 – Corpos de prova com 35% de fosfogesso, moldado em 28/06/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	50,2	40,4	42	42,3	49,5	46,7
2	498	44,3	493	50,8	489	46
3	496	50	491	50,4	487	50
4	496	45,6	490	51	490	49
5	500	48,4	490	50,3	492	50,5
6	46	42,6	40,55	51,3	48,3	40,3
Massa (g)	1487,1		1486,5		1426,8	

Tabela D 3 – Corpos de prova com 40% de fosfogesso, moldado em 28/06/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	52	39,7	48,3	38,1	49,45	44,3
2	491	40,45	503	43	490	44,8
3	490	52,5	502	50,4	488	49
4	492	40,2	503	42,7	494	50,5
5	493	40	502	50,7	490	45,8
6	49	38,5	49,5	44,3	50,2	44,3
Massa (g)	1487,3		1575,8		1620,1	

Tabela D 4 – Corpos de prova com 45% de fosfogesso, moldado em 28/06/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	50	35,1	50,3	36	46	40
2	492	39	492	36,5	499	45
3	493	49,8	494	50,4	499	50
4	491	39	492	36,3	494	41
5	491	50	492	50	502	47,25
6	48	33,8	48	34,8	47	38,4
Massa (g)	1353,7		1455,6		1389,2	

Tabela D 5 – Corpos de prova com 50% de fosfogesso, moldado em 18/06/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	58	44	51,25	41	43,8	50,7
2	490	54	491	43,7	490	50
3	490	41	490	43,7	490	50
4	490	42	488	43,7	490,3	50
5	491	53	490	43,7	490	50
6	52	45	53	45,25	47,1	51,25
Massa (g)	1484,4		1565		1616,2	

Tabela D 6 – Corpos de prova com 55% de fosfogesso, moldado em 18/06/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	53,6	43,6	55	40	49,15	50,25
2	490	46	491	56	500	50,9
3	492	46	497	56	491	40,9
4	490	46	495	56	491	45
5	490	46	498	56	490	55
6	48,7	44	52	41	43,6	49
Massa (g)	1593,2		1663,9		1672,8	

Tabela D 7 – Corpos de prova com 60% de fosfogesso, moldado em 18/06/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	53,45	43,4	53	42	59,8	40,75
2	500	51	490	40	503	42,4
3	500	51	490	40	501	42,4
4	500	51	491	40	503	42,4
5	501	51	492	40	504	42,4
6	49,8	43,4	52	45	53,6	42
Massa (g)	1596		1576,8		1715,1	

Tabela D 8 – Corpos de prova de madeira, moldado em 03/10/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	51	50	52	50	49	50
2	499	51	490	52	489	51
3	499	51	490	51	489	51
4	499	51	489	54	489	51
5	496	51	490	52	489	50
6	49,9	50,1	49	48	49	50
Massa (g)	837,56		670,57		808,54	

**APÊNDICE E – DIMENSÕES E MASSAS DOS
CORPOS DE PROVA PARA FLEXÃO**

As dimensões e pesos encontram-se entre as Tabelas E1 a E8.

Tabela E 1 – Corpos de prova com 66,67% de resina epóxi e 33,33% de endurecedor, moldado em 18/07/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	51	41	50	28	51	38
2	483	41	483	28	483	38
3	483	51	483	50	483	51
4	483	41	483	28	483	38
5	483	51	483	50	483	51
6	51	41	50	28	51	38
Massa (g)	1186,8		751,6		1088,8	

Tabela E 2 – Corpos de prova com 35% de fosfogesso, moldado em 02/07/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	50,3	42,6	46,6	41,4	47	50
2	499	42,25	490	41	487	47
3	496	50,3	490	46,6	487	50
4	499	42,25	490	41	487	47
5	496	50,3	490	46,6	487	50
6	41,7	49,5	52,4	42,8	50	47
Massa (g)	1440,7		1440		1528,5	

Tabela E 3 – Corpos de prova com 40% de fosfogesso, moldado em 02/07/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	50,3	42	50,4	49,65	54,3	31,6
2	494	40,4	502	49,65	498	31,6
3	490	50,3	502	50,4	498	54,3
4	494	40,4	502	49,65	498	31,6
5	490	50,3	502	50,4	498	54,3
6	50,3	42	50,4	49,65	54,3	31,6
Massa (g)	1536,5		1562,5		1296,9	

Tabela E 4 – Corpos de prova com 45% de fosfogesso, moldado em 02/07/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	50,3	34,65	49,5	40	49,5	40,4
2	494	34,65	500	43	498	40,4
3	494	50,3	500	49,5	498	49,5
4	494	34,65	500	43	498	40,4
5	494	50,3	500	49,5	498	49,5
6	49,5	39,65	40	50,4	49,5	40,4
Massa (g)	1235,4		1423,5		1533	

Tabela E 5 – Corpos de prova com 50% de fosfogesso, moldado em 14/06/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	49	52	54	45	42	52
2	490	45	491	55	490	42
3	491	49	489	47	492	52
4	491	45	489	47	490	42
5	489	52	488	54	490	52
6	40	55	51	47	41	54
Massa (g)	1553		1635		1581,2	

Tabela E 6 – Corpos de prova com 55% de fosfogesso, moldado em 14/06/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	45	55	54	46	50	45
2	501	52	500	54	499	50
3	500	50	500	46	501	50
4	500	50	499	53	500	50
5	504	50	498	53	499	50
6	49	42	50	43	43	49
Massa (g)	1679,2		1645,2		1596	

Tabela E 7 – Corpos de prova com 60% de fosfogesso, moldado em 14/06/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	54	44	50	45	42	52
2	491	54	492	52	494	46
3	492	54	491	45	492	50
4	492	44	490	44	492	46
5	492	54	490	50	492	52
6	41	53	53	42	42	53
Massa (g)	1579,6		1596,3		1603	

Tabela E 8 – Corpos de prova de madeira, moldados em 03/10/2019

Face	CP01		CP02		CP03	
	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)	b (mm)	d (mm)
1	51	50	52	50	49	50
2	499	51	490	52	489	51
3	499	51	490	51	489	51
4	499	51	489	54	489	51
5	496	51	490	52	489	50
6	49,9	50,1	49	48	49	50
Massa (g)	842,1		657,19		803,77	

**APÊNDICE F – RESULTADOS DE COMPRESSÃO DE
CADA TIPO DE CORPO DE PROVA**

Os gráficos de um tipo corpo de prova por ensaio de compressão, analisando a sua resistência em função do tempo, são demonstrados nas Figura F1 a Figura F3. Os corpos com as concentrações de 40%, 45% e 50% de fosfogesso em sua concentração não tiveram seus gráficos traçados devidos a problemas técnicos, entretanto o seu valor de ruptura foi lido no mostrador.

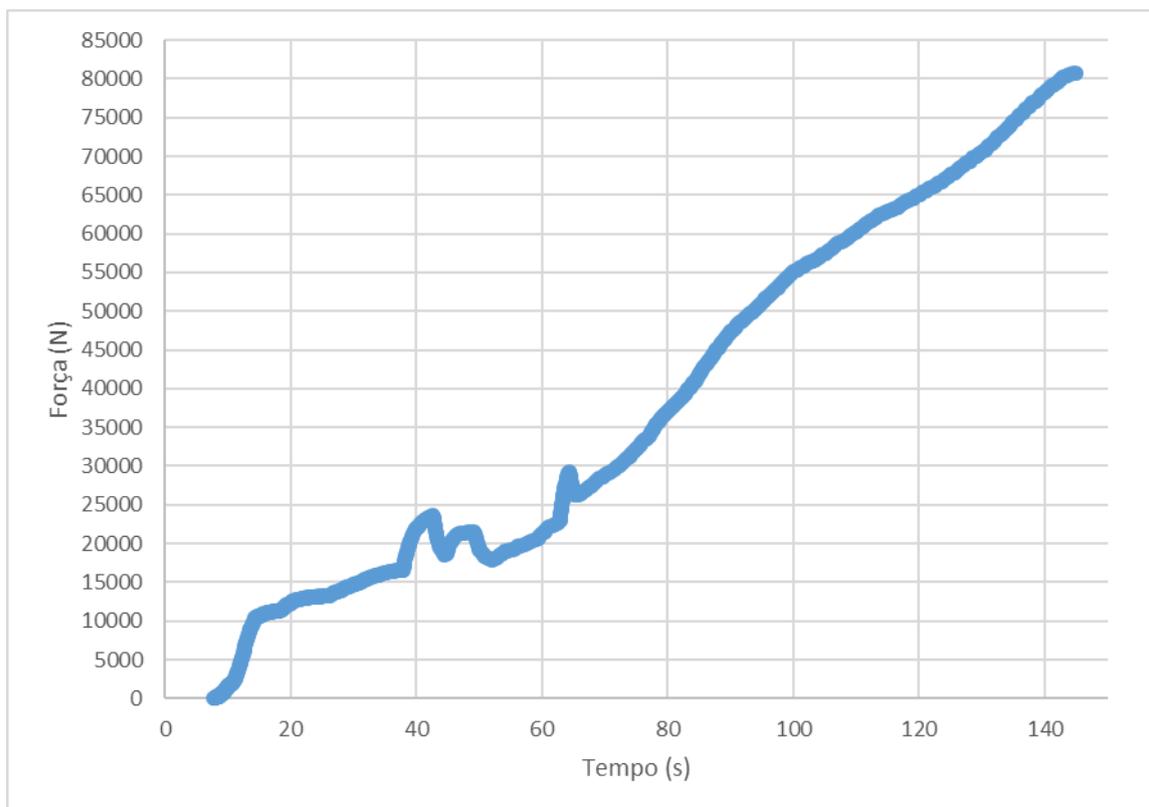


Figura F 1 – Ensaio de compressão de um CP com 35% de Fosfogesso

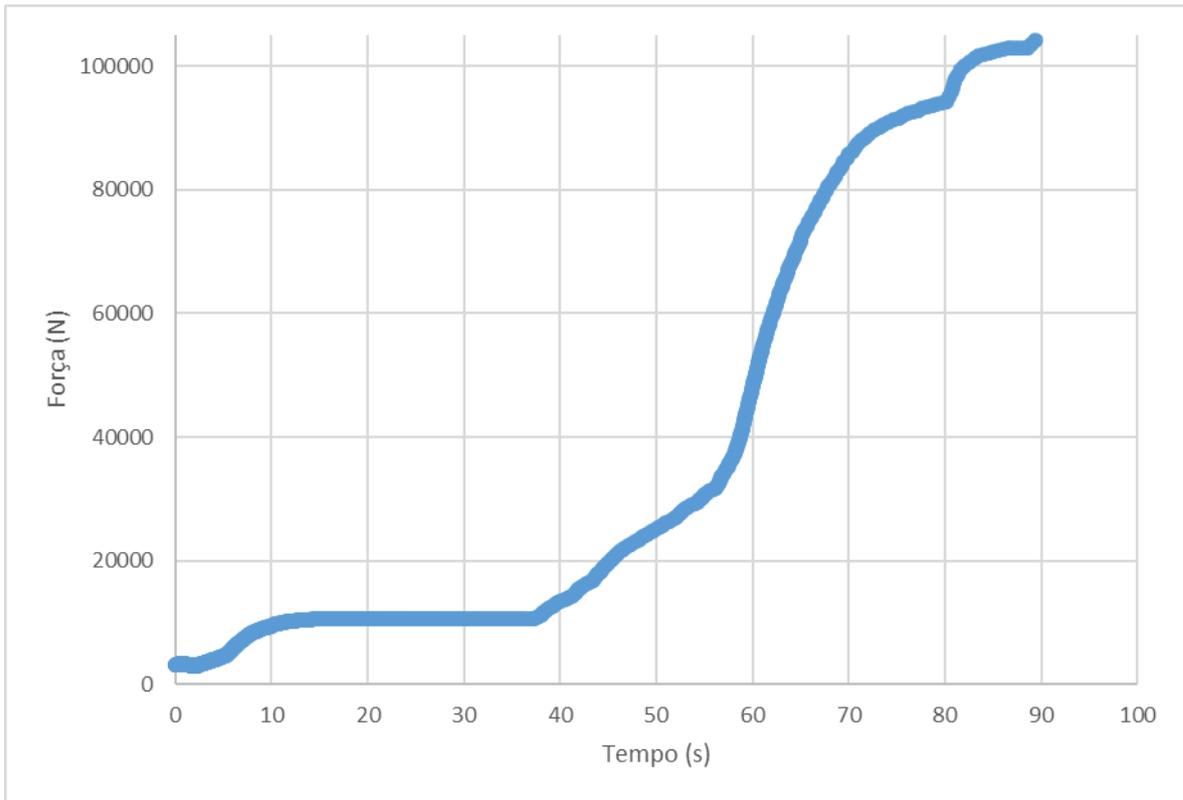


Figura F 2 – Ensaio de compressão de um CP com 55% de Fosfogesso

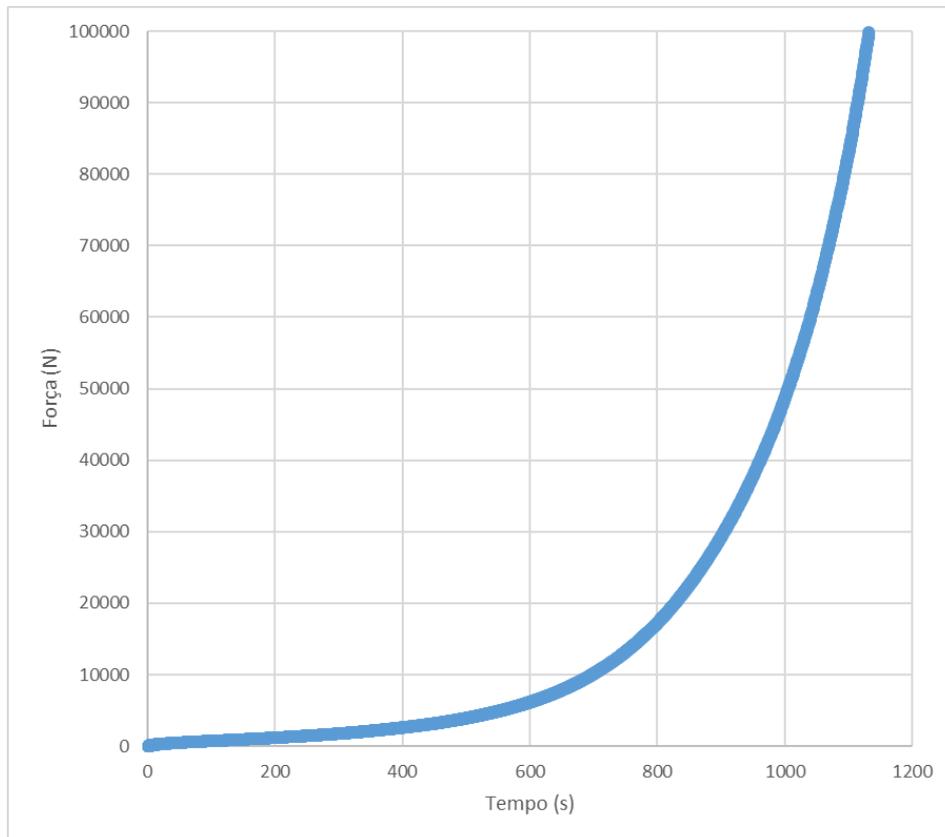


Figura F 3 – Ensaio de compressão de um CP com 55% de Fosfogesso

**APÊNDICE G – RESULTADOS DE FLEXÃO DE CADA
TIPO DE CORPO DE PROVA**

Os gráficos de cada corpo de prova de flexão, analisando a sua resistência em função do tempo, são demonstrados da Figura G1 a Figura G7.

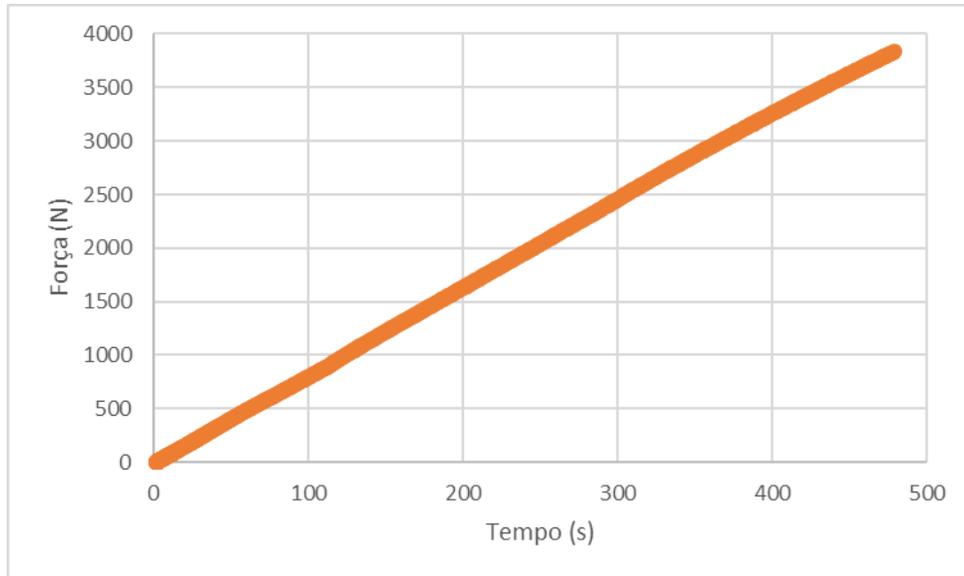


Figura G 1 – Ensaio de Flexão de um corpo de prova com 66,67% de resina epóxi e 33,33% de endurecedor.

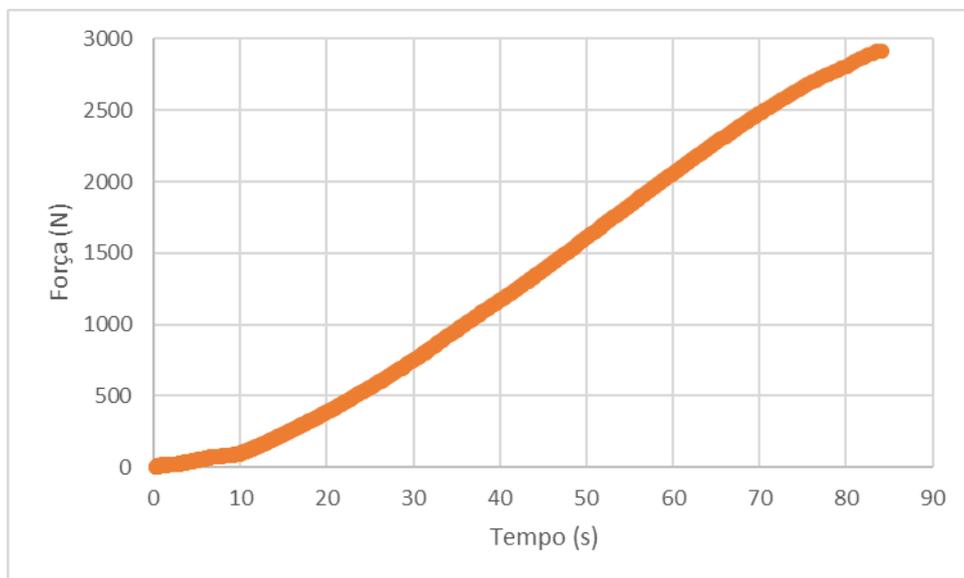


Figura G 2 – Ensaio de Flexão de um corpo de prova com 35% de Fosfogesso

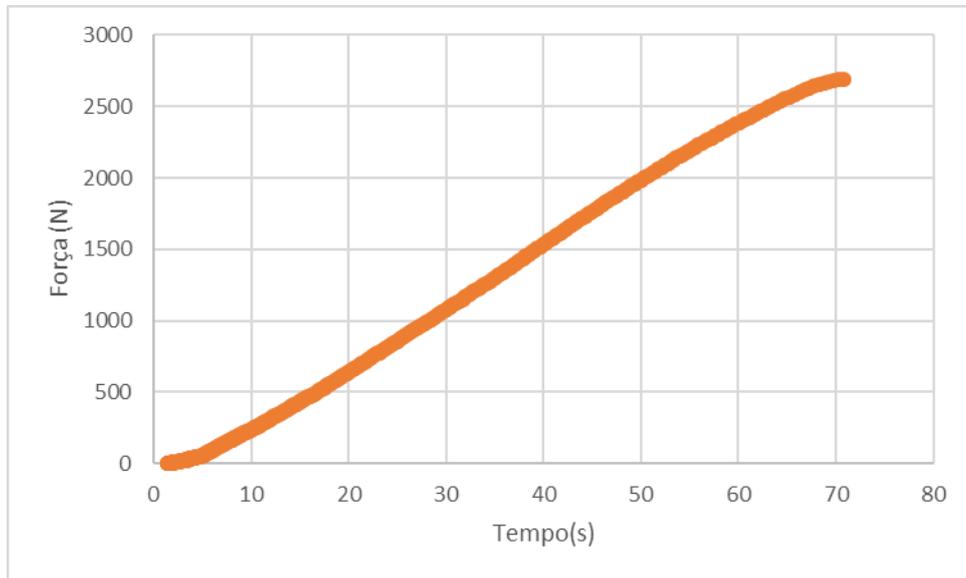


Figura G 3 – Ensaio de Flexão de um corpo de prova com 40% de Fosfogesso

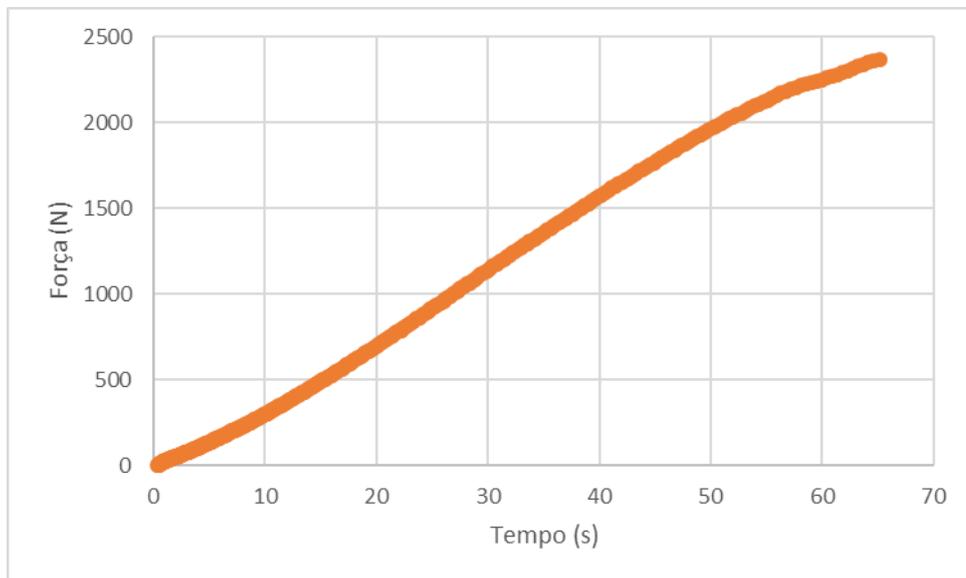


Figura G 4 – Ensaio de Flexão de um corpo de prova com 45% de Fosfogesso

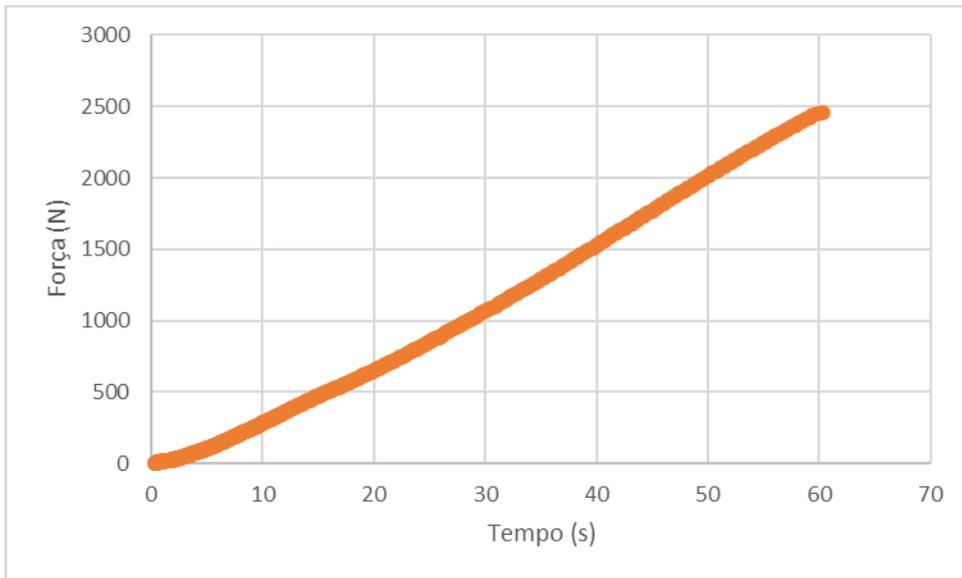


Figura G 5 – Ensaio de Flexão de um corpo de prova com 50% de Fosfogesso

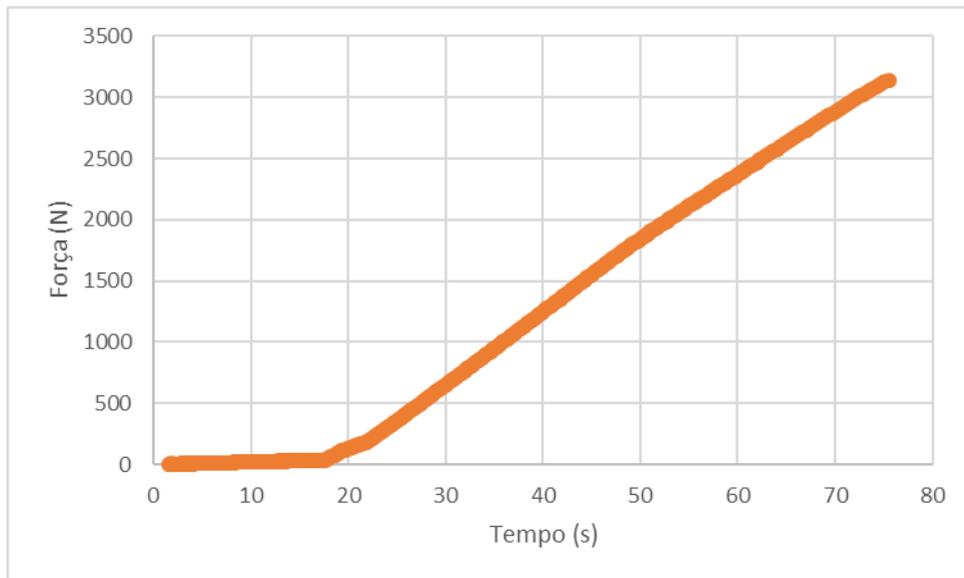


Figura G 6 – Ensaio de Flexão de um corpo de prova com 55% de Fosfogesso

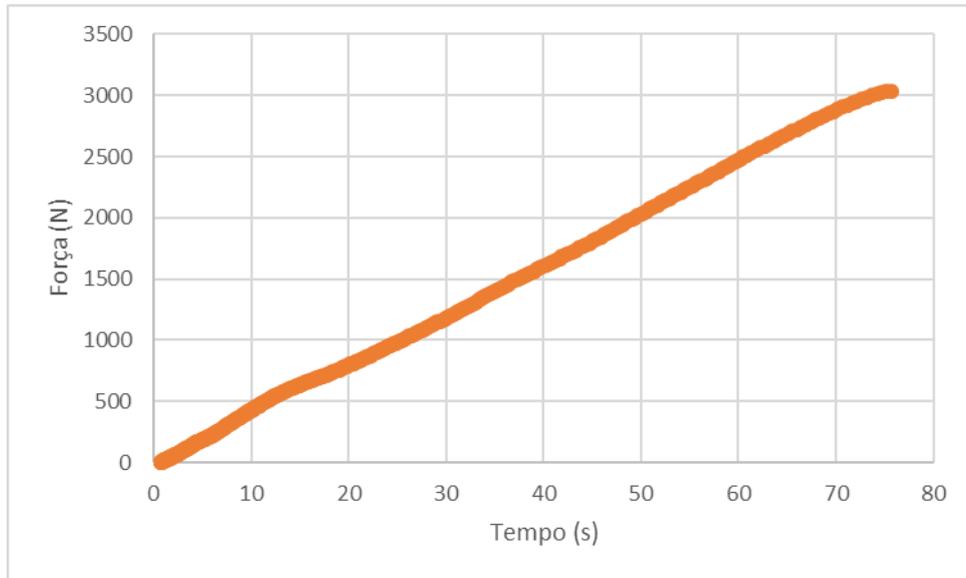


Figura G 7 – Ensaio de Flexão de um corpo com 60 % de Fosfogesso

**APÊNDICE H – RESULTADOS DE TRAÇÃO NA
FLEXÃO DE CADA TIPO DE CORPO DE PROVA**

Demonstra-se nas Figuras de H1 até H8 as curvas de cada tipo de corpo de prova de flexão, analisando a sua resistência em função do tempo.

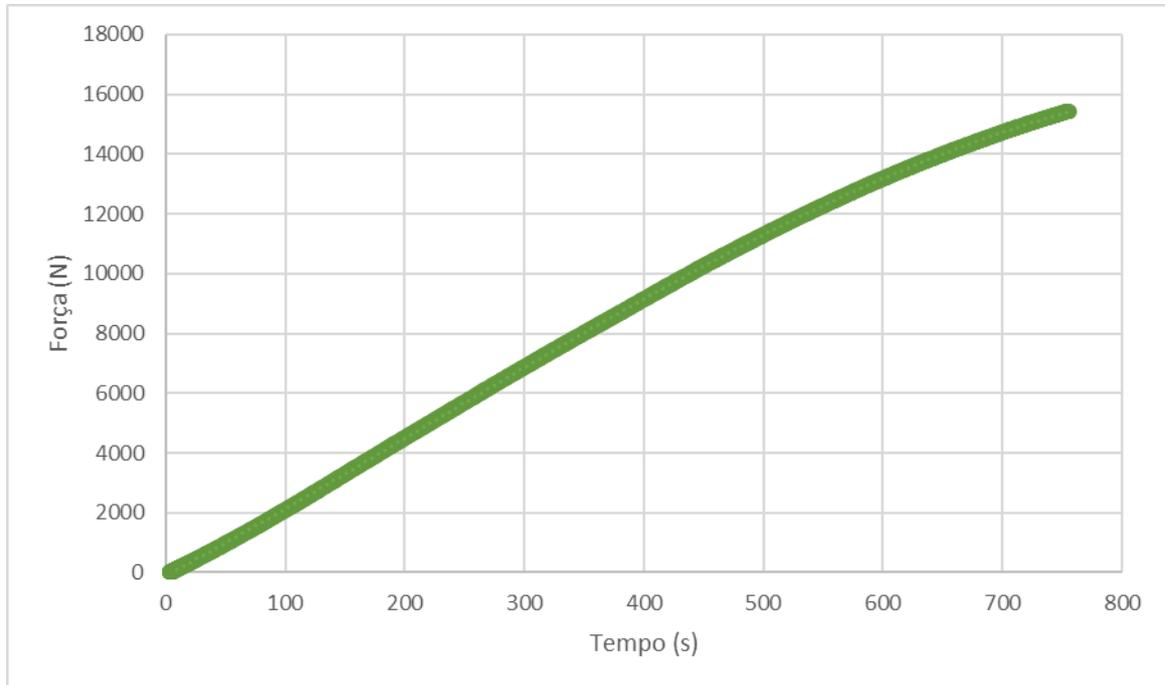


Figura H 1 – Ensaio de Flexão de um corpo com 66,67% de resina epóxi e 33,33% de endurecedor, utilizado para o ensaio de Tração na Flexão

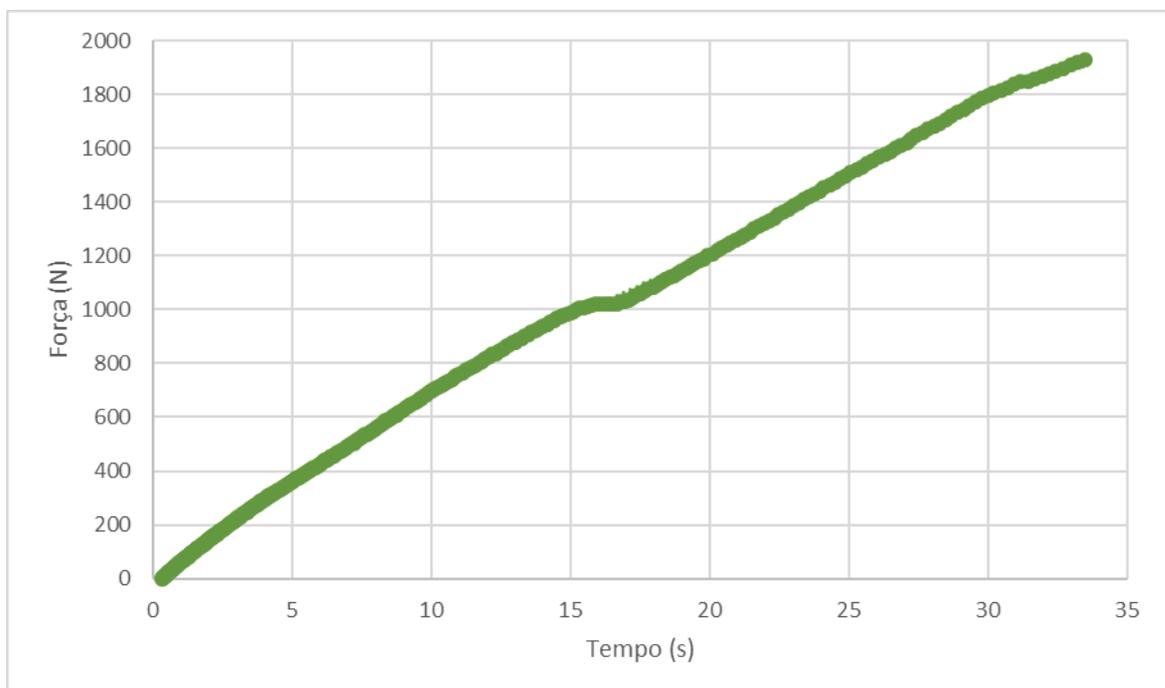


Figura H 2 – Ensaio de Flexão de um corpo com 35% de Fosfogesso, utilizado para o ensaio de Tração na Flexão

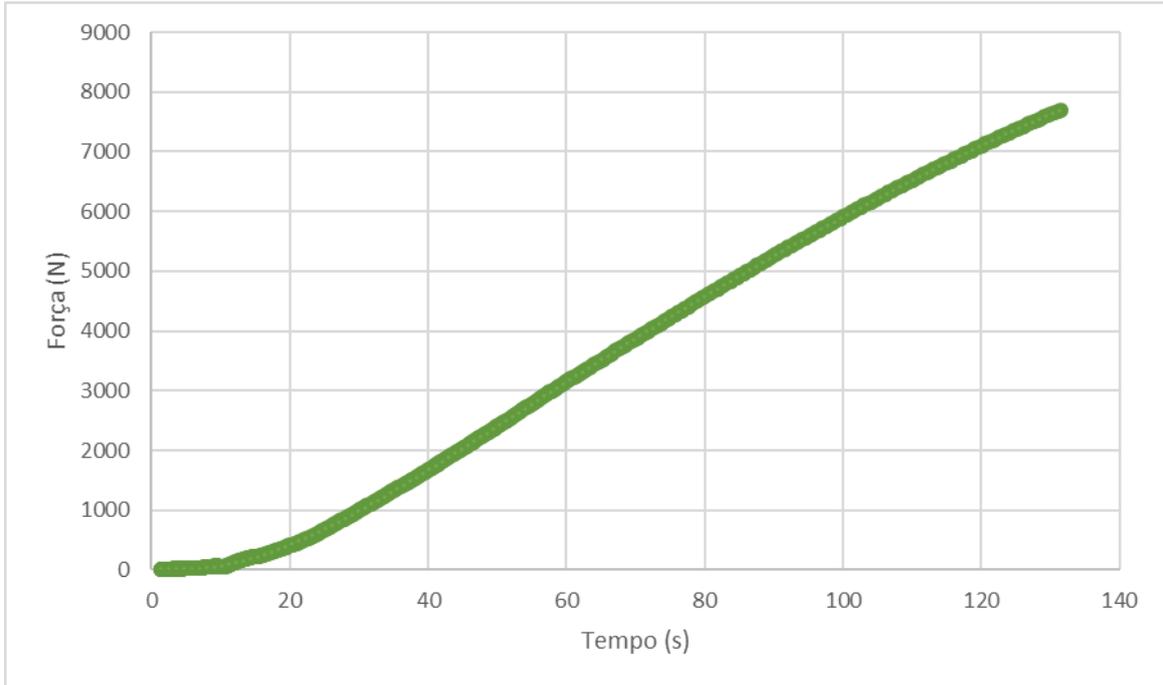


Figura H 3 – Ensaio de Flexão de um corpo com 40% de Fosfogesso, utilizado para o ensaio de Tração na Flexão

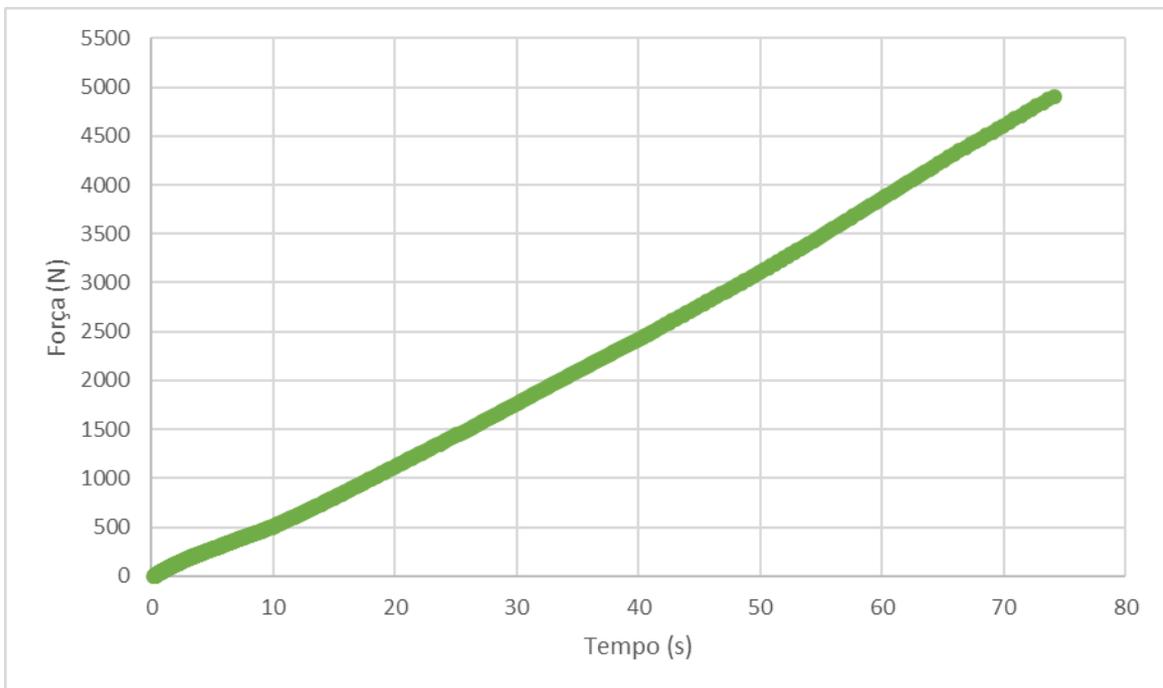


Figura H 4 – Ensaio de Flexão de um corpo com 45% de Fosfogesso, utilizado para o ensaio de Tração na Flexão

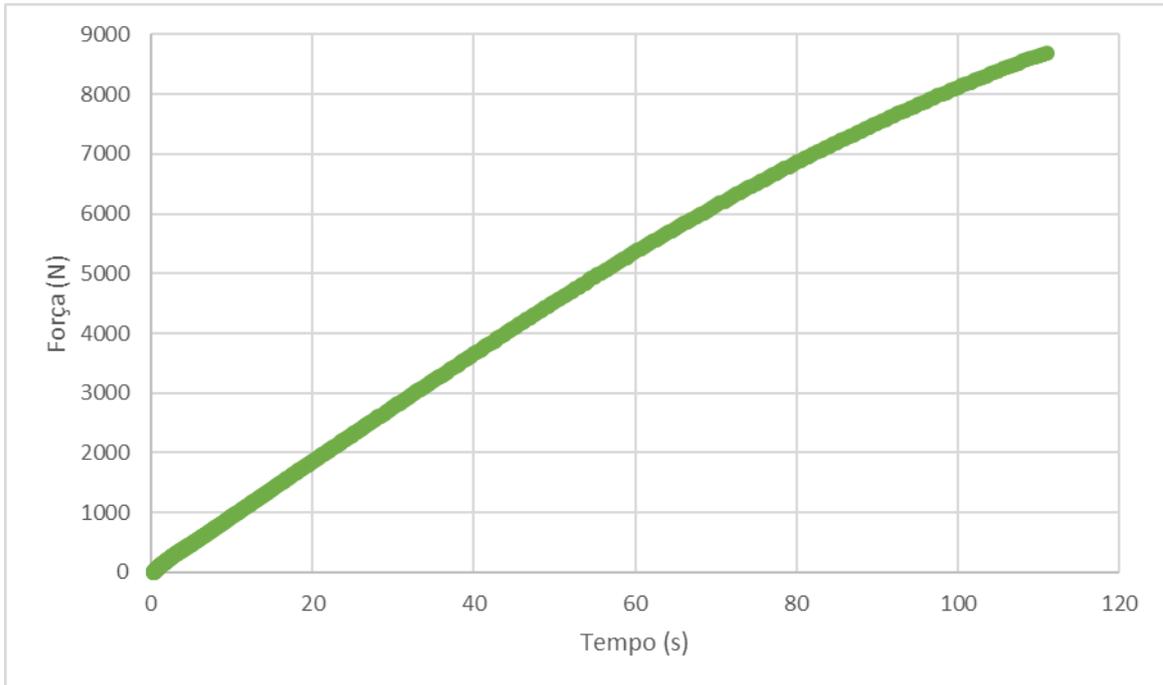


Figura H 5 – Ensaio de Flexão de um corpo com 50% de Fosfogesso, utilizado para o ensaio de Tração na Flexão

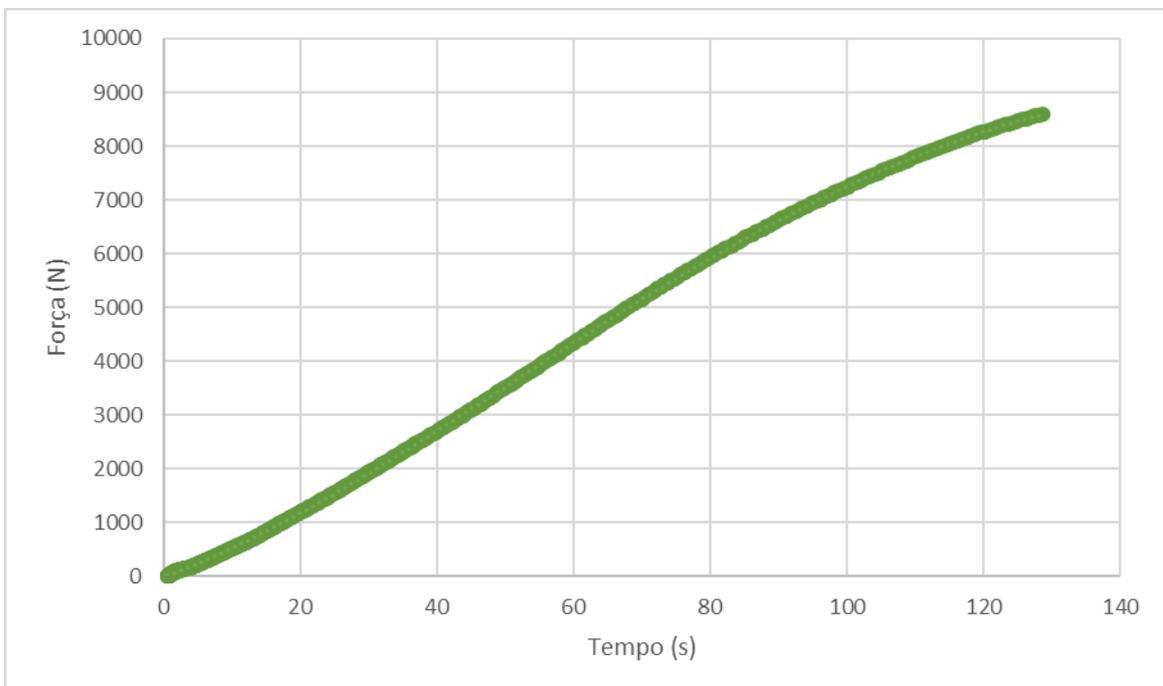


Figura H 6 – Ensaio de Flexão de um corpo com 55% de Fosfogesso, utilizado para o ensaio de Tração na Flexão

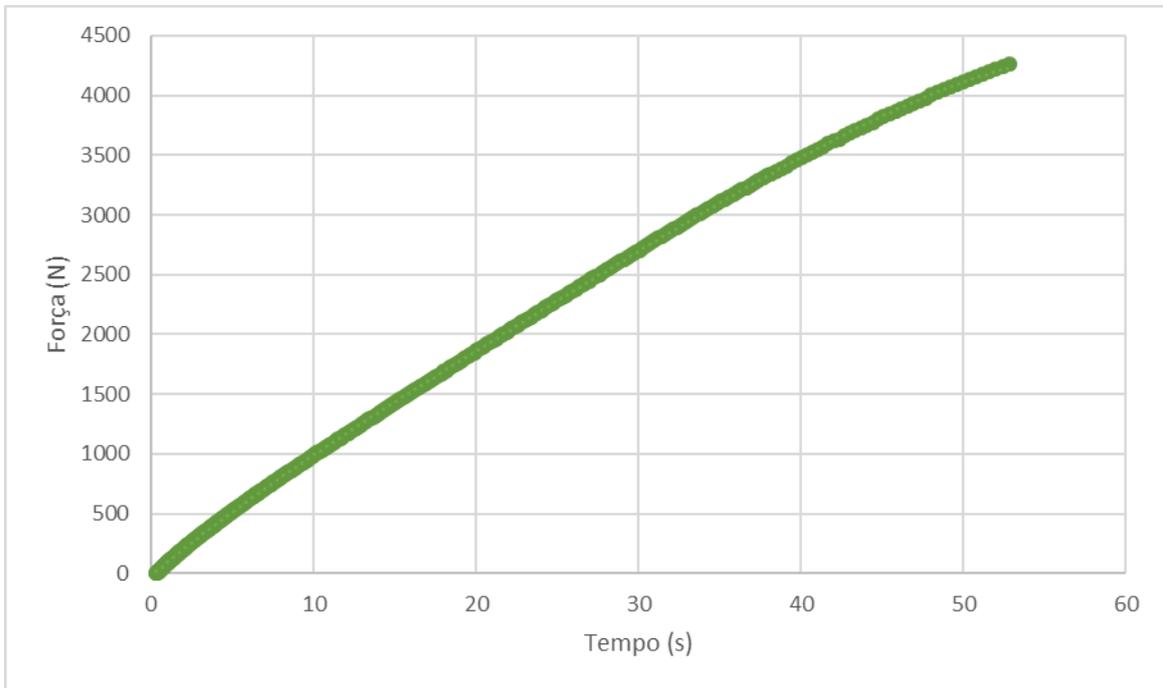


Figura H 7– Ensaio de Flexão de um corpo com 60% de Fosfogesso, utilizado para o ensaio de Tração na Flexão

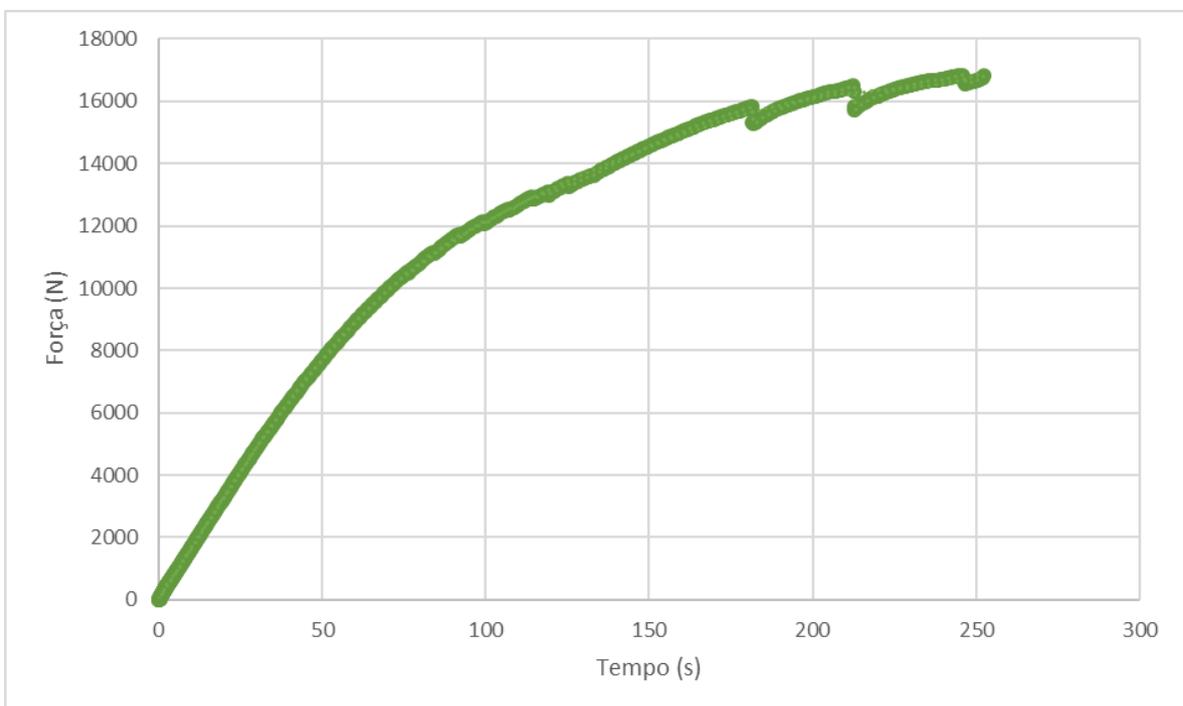


Figura H 8 – Ensaio de Flexão de um corpo de Madeira, utilizado para o ensaio de Tração na Flexão

