



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE GRADUAÇÃO



BRUNA AZEVEDO DE SOUZA
PIETRO CARVALHO CARMELINI PEREIRA
THIAGO JOSÉ MATOS DA SILVA

**PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE ENSAIO DE
FADIGA**

VOLTA REDONDA

2020

BRUNA AZEVEDO DE SOUZA
PIETRO CARVALHO CARMELINI PEREIRA
THIAGO JOSÉ MATOS DA SILVA

**PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE ENSAIO DE
FADIGA**

Dissertação apresentada ao curso de ENGENHARIA MECÂNICA do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

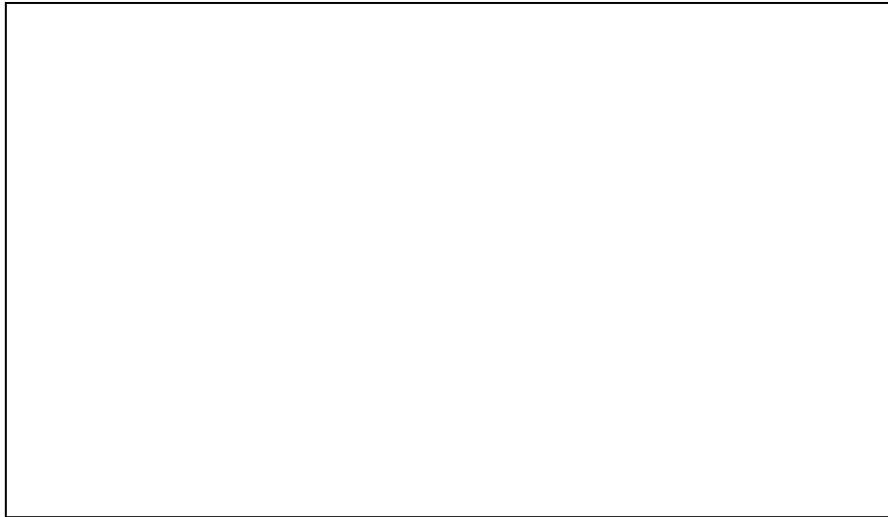
Orientador: Prof. Dr. Alexandre Alvarenga
Palmeira

Coorientador:

VOLTA REDONDA

2020

FICHA CATALOGRÁFICA
Bibliotecária:

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for entering cataloging data. It is positioned centrally below the header text.



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE GRADUAÇÃO



BRUNA AZEVEDO DE SOUZA
PIETRO CARVALHO CARMELINI PEREIRA
THIAGO JOSÉ MATOS DA SILVA

**PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UMA MÁQUINA DE ENSAIO DE
FADIGA**

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“ENGENHEIRO MECÂNICO”**

**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE ENGENHARIA
MECÂNICA**

Prof. MSc. Diniz Felix dos Santos
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira

1º Membro da banca/Orientador/UniFOA

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

2º Membro da banca/UniFOA

Prof. MSc. Rui Aurélio Barbosa

3º Membro da banca/UniFOA

Outubro de 2020

DEDICATÓRIA

Dedicamos o trabalho presente para nossas famílias que sempre acreditaram no nosso potencial.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus por ter iluminado nossa trajetória e aos nossos pais pelo apoio incondicional.

Agradecemos também ao Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA) que foi de suma importância para o nosso aprendizado.

Ao nosso orientador, Professor Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira, por toda paciência, dedicação durante o desenvolvimento desse projeto e pelas palavras de incentivo que nos motivaram para finalizar o trabalho presente com louvor.

Ao nosso amigo, Eric Roberto Solera, por toda ajuda durante a elaboração do projeto e por sempre estar à disposição para nos auxiliar.

Desde já, só temos que agradecer pelo comprometimento de todos perante a esse trabalho e ao apoio durante a nossa caminhada.

EPÍGRAFE

“A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”. (Albert Einstein)

SOUZA, B. A, PEREIRA, PEREIRA, P. C . C, SILVA, T. J M. **Projeto e dimensionamento de uma máquina de ensaio de fadiga.** 2020. Dissertação (ENGENHARIA MECÂNICA) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2020.

RESUMO

Esse projeto se baseou em projetar e dimensionar uma máquina de ensaio de fadiga para uma asa de aeromodelo composta por uma resina epóxi reforçada com fibra de bananeira para dar um basta na utilização das fibras sintéticas que acabam afetando o nosso meio ambiente. Para proteger o ecossistema é necessário estudar e desenvolver materiais mais sustentáveis. Assim, a fibra natural conseguiu ter um espaço dentro do meio acadêmico por ser indefensível para a natureza, por ser encontrada com maior facilidade e possuir características que competem com as fibras desenvolvidas em laboratórios. Entre as fibras naturais temos a proveniente da bananeira que apresenta propriedades que permitem a conformação, com um sistema mais harmonioso e com poros que auxiliam na absorção do polímero e enrijece o material compósito. O modelamento da máquina e as análises dos parâmetros estão interligados com o desenvolvimento de uma asa de aeromodelo. Dessa forma, foi escolhida a fibra de bananeira como reforço da resina para trazer resistência a asa e realizar melhor a simulação do ensaio com o protótipo desenvolvido no CAD 3D INVENTOR, comprovando a funcionalidade da máquina na realização de ensaios reais.

Palavras-Chaves: Protótipo, Ensaio de fadiga, Fibra de bananeira.

SOUZA, B. A, PEREIRA, PEREIRA, P. C . C, SILVA, T. J M. **Design and dimensioning of a fatigue testing machine.** 2020. Dissertation (Mechanical Engineering) - Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2020.

ABSTRACT

This project was based on designing and dimensioning a fatigue testing machine for a model airplane wing composed of an epoxy resin reinforced with banana fiber to stop the use of synthetic fibers that end up affecting our environment. To protect the ecosystem, it is necessary to study and develop more sustainable materials. Thus, natural fiber managed to have a space within the academic environment because it is indefensible to nature, because it is more easily found and has characteristics that compete with the fibers developed in laboratories. Among the natural fibers we have the one coming from the banana tree, which has properties that allow the conformation, with a more harmonious system and with pores that help in the absorption of the polymer and hardens the composite material. The modeling of the machine and the analysis of the parameters are interconnected with the development of a model airplane wing. Thus, banana fiber was chosen as reinforcement of the resin to bring resistance to the wing and better perform the test simulation with the prototype developed in the 3D CAD INVENTOR, proving the functionality of the machine in carrying out real tests.

Keywords: Prototype, Fatigue Test, Banana Fiber.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Grãos de soja e estofamento de veículo.....	24
Figura 2. Estrutura da fibra de coco.....	25
Figura 3. Planta de sisal e suas fibras sendo extraídas.....	26
Figura 4. Fibras extraídas das folhas de abacaxi.....	26
Figura 5. Propriedades estruturais de fibras lignocelulósicas.	27
Figura 6. Fibra retirada do pseudocaule da bananeira.	29
Figura 7. Fórmula química Epóxi Bisfenol – A.	31
Figura 8. Fórmula química Epóxi Novolaca.	31
Figura 9. Fórmula Epóxi química Cíclicas Alifáticas.	32
Figura 10. Fórmula química Epóxi Bromadas.	32
Figura 11. Classificação dos diferentes tipos de compósitos.....	34
Figura 12. Tipos diferentes de compósitos reforçados com fibras.....	35
Figura 13. Parte da superfície microscópica de um material.	37
Figura 14. Tipos de ciclos de tensão.	38
Figura 15. Máquina de ensaio de fadiga.....	39
Figura 16. Tipos de corpos de prova.....	40
Figura 17. Curva S-N.	40
Figura 18. Curva de fadiga para diferentes polímeros.	43
Figura 19. Mecanismo de propagação da trinca em um polímero reforçado com fibra.	44
Figura 20. Corpo de prova em ensaio de flexão.	45
Figura 21. Comportamento do material após sofrer esforço de flexão.	46
Figura 22. Comportamento das fibras ao sofrer deformação por flexão.	46

Figura 23. Desenho demonstrativo da flexão máxima.	47
Figura 24. Desenhos demonstrativos do momento fletor.....	48
Figura 25. Desenhos demonstrativos do momento de inércia.	49
Figura 26. Estrutura sob ação de um carregamento estático externo.....	51
Figura 27. Esquema de um carregamento dinâmico.	53
Figura 28. Exemplo do funcionamento de um carregamento dinâmico.	54
Figura 29. Modelo CAD de câmara hiperbárica.	55
Figura 30. Malha de elementos finitos.	56
Figura 31. Condição de carregamento e condições.....	56
Figura 32. Resultado do deslocamento.....	57
Figura 33. Resultado do deslocamento em vista.	57
Figura 34. Régua de aço.....	58
Figura 35. Condição de força e restrição.	58
Figura 36. Deslocamento na régua de aço.	59
Figura 37. Deformação no corpo de prova.....	60
Figura 38. Tensão no corpo de prova.	61
Figura 39. Protótipo Modelado completo e fechado.....	62
Figura 40. Protótipo sem a tampa dianteira para expor seu interior.	63
Figura 41. Fluxograma de acompanhamento desse projeto.	64
Figura 42. Apoio lateral de madeira com a designação do material e suas propriedades.	65
Figura 43. Material inicial como partida "Tábua de fibra orientada".	66
Figura 44. Corpo de prova do compósito de fibra de bananeira a 30% com volume e peso.	67
Figura 45. Modelagem 3D do corpo de prova conforme ASTM D 638.	67

Figura 46. Criação do material compósito de fibra de bananeira.....	68
Figura 47. Estrutura interna da asa de compósito real.	69
Figura 48. Asa modelada com representação "aramada".....	70
Figura 49. Asa modelada com representação realística com o material de compósito de fibra de bananeira.	70
Figura 50. Estudo FEA (visão frontal) para deslocamento na asa (compósito fibra de bananeira) e uma carga de 6Kg.	71
Figura 51. Estudo FEA para deslocamento na asa (compósito fibra de bananeira) e uma carga de 6Kg.	72
Figura 52. Estudo FEA para Von Mises na asa (compósito fibra de bananeira) e uma carga de 6Kg.	73
Figura 53. Formato, dimensões e parâmetros da asa usado como base para máquina.....	74
Figura 54. Montagem dos componentes iniciais e estruturais.	74
Figura 55. Peças iniciais devidamente acopladas.	75
Figura 56. Mecanismo de força explodido.	76
Figura 57. Dimensionamento do mecanismo de força.....	76
Figura 58. Estrutura de apoio básico com o sistema de força.	77
Figura 59. Detalhe da placa de travamento do motor.	77
Figura 60. Status do mecanismo antes da simulação.....	78
Figura 61. Momento inicial da simulação, excêntrico a 180 graus.....	79
Figura 62. Momento de maior esforço para cima, excêntrico a 270 graus e força de reação RA.	79
Figura 63. Momento de inversão do movimento, excêntrico a 0 graus.....	80
Figura 64. Momento de maior esforço para baixo, excêntrico a 90 graus e força de reação RB.	80

Figura 65. Gráfico de deslocamento linear dentro de um ciclo.	81
Figura 66. Gradiente de deformação em simulação estática até atingir o deslocamento de 15,18mm para cima configurado - perspectiva.	82
Figura 67. Gradiente de deformação em simulação estática até atingir o deslocamento de 15,18mm para cima configurada – frontal.	83
Figura 68. Gradiente de deformação em simulação estática até atingir o deslocamento de 24,77mm para baixo configurado - perspectiva.	84
Figura 69. Gradiente de deformação em simulação estática até atingir o deslocamento de 24,77mm para baixo configurado - frontal.	84
Figura 70. Arduino Uno R3 que controlará o motor de passo.	86
Figura 71. Tampa traseira com seus ajustes e pintura epóxi branca para fechamento traseiro da máquina.	86
Figura 72. Detalhe do dispositivo de alimentação AC com chave geral e proteção por fusível.	87
Figura 73. Tampa traseira com seus ajustes e pintura epóxi branca para fechamento traseiro da máquina.	88
Figura 74. Detalhe do sequenciamento dos acessórios de controle presos na tampa frontal.	88
Figura 75. Detalhe dos acessórios de controle renderizado.	89
Figura 76. Vista da parte frontal da tampa superior proporcionando fechamento completo da máquina.	89
Figura 77. Vista da parte traseira da tampa superior proporcionando fechamento completo da máquina.	90
Figura 78. Gráfico de "cruzamento" do deslocamento e força de reação ao longo do tempo.	91
Figura 79. Estudo de Tensão de Von Mises no trecho central para uma força de 760N e deslocamento de 15,18mm.	92

Figura 80. Estudo de Tensão de Von Mises no trecho central para uma força de 1235N e deslocamento de 24,77mm.....	92
Figura 81. Vista frontal renderizada em perspectiva da máquina de teste.....	94
Figura 82. Vista traseira renderizada em perspectiva da máquina de teste...	94
Figura 83. Vista Explodida da máquina completa.	95
Figura 84. Modelo de projeto de vista explodida com identificadores e lista de materiais (ANEXO).....	96

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	51
Equação 2.....	52
Equação 3.....	59
Equação 4.....	60
Equação 5.....	61
Equação 6.....	93

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CEPED - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento

EUA - Estados Unidos da América

S-N - Tensão/ N° ciclos

PMMA - Polimetilmetacrilato

PET - Poli tereftalato de etila

PS - Poliestireno

PP - Polipropileno

PE - Polietileno

PTFE - Politetrafluoretileno

F - Carregamento atuante

K - Matriz de rigidez

Δ - Deformação

CAD - Desenho assistido por computador

GPa - Gigapascal

σ - Tensão

E – Módulo de elasticidade

ε - Deformação

SAE - Sociedade de engenheiros automotivos

N - Newton

Mm - Milímetro

Mpa - Mega pascal

M - Metro

IPT - Arquivo de peça única do software Inventor da Autodesk.

IAM - Arquivo de montagem de peças do software Inventor da Autodesk.

FEA - Análise de Elementos Finitos para verificações de tensões e deslocamentos

CFD - Análise Computacional Dinâmica de Flúidos

I2C - Circuito Inter-integrado

AC - Corrente alternada

ml - Mililitro

mm³ - Milímetro ao cubo

Kg - Quilograma

g/cm³ - Grama por centímetro cúbico

g - Grama

Nm - Newton metro

NACA - Comitê Nacional para Aconselhamento sobre Aeronáutica

Hz - Hertz

RPM - Rotações por minuto

KN/m - Quilo Newton por metro

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	21
1.2 OBJETIVOS.....	22
1.2.1 Objetivo Geral	22
1.2.2 Objetivo Específico.....	22
1.3 JUSTIFICATIVA.....	23
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 FIBRAS DE VEGETAIS	23
2.2 RESINA POLIMÉRICA	30
2.3 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS.....	33
2.4 ENSAIO DE FADIGA	36
2.5 ENSAIO DE FLEXÃO	45
2.6 CARGAS ESTÁTICAS.....	50
2.7 CARGAS DINÂMICAS.....	51
2.8 ELEMENTOS FINITOS.....	54
2.8.1 Conceito	54
2.8.2 Objetivo Da Análise Estrutural.....	55
2.8.3 Etapas De Criação	55
2.8.4 Interpretação Dos Resultados.....	57
2.8.4.1 Deslocamento.....	58
2.8.4.2 Deformação	59
2.8.4.3 Tensão.....	60
3 METODOLOGIA	61
3.1 MONTAGENS E DEFINIÇÕES	73
3.2 SIMULAÇÃO DINÂMICA	78
3.3 SIMULAÇÃO ESTÁTICA	81

3.4 ACABAMENTOS	85
4 RESULTADOS	90
5 CONCLUSÃO	93
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
ANEXO	99

1.0 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Engenharia vem buscando cada vez mais tipos de materiais que não venham a prejudicar o meio ambiente. A busca por compósitos utilizando fibras vegetais aumenta exponencialmente dentro da indústria. Uma das fibras vegetais é a fibra de bananeira que veio a ser utilizado na fabricação de um compósito para ser fabricado em aeromodelos de competição neste projeto.

Para melhorar algumas propriedades dos materiais como, mecânicas, térmicas e elétricas vem se utilizando agentes de reforços na forma de fibras. As características dos materiais que contém fibra são dependentes de sua estrutura fibrosa, bem como seus diâmetros, comprimento, distribuição e arranjo das fibras.

Ao longo dos últimos anos as fibras naturais vêm ganhando cada vez mais espaço na comunidade científica e nas indústrias como substituição às fibras inorgânicas. Toda fibra tem a sua origem. Elas podem vir de animais, minerais ou vegetais. Nas de origem vegetal podemos destacar as fibras do coco, sisal, bambu e bananeira.

Alguns estudos dizem que o Brasil tem uma área de ocupação de aproximadamente 500 mil hectares na plantação de banana. Olhando por um escopo mundial o Brasil se encontra no topo, não só como um dos maiores produtores mas também como um dos maiores consumidores de banana do mundo, o 2º maior cultivo mundial da fruta também pertence a nós. Além das fibras vegetais não degradarem o meio ambiente, elas apresentam uma grande resistência a temperaturas bem altas. A sua estrutura só começa apresentar sinais de degradação entre as temperaturas de 200-220°C sendo ideal para reforço de polímeros.

O começo de utilização da fibra de bananeira começou no artesanato, no interior de São Paulo, mais precisamente em São Bento do Sapucaí. Nesta cidade existia uma pequena fábrica de artesanato rural que utilizava o pseudocaule da planta como matéria prima. Eles cortavam tiras bem finas do pseudocaule e cozinhavam elas com sal grosso até o ponto de formar uma liga para ser transformada em uma manta resistente e macia para fabricar objetos de artesanato. Esta técnica mostra

exatamente a utilização da matéria prima da natureza como reforço no compósito polimérico.

Portanto, este material por apresentar uma estrutura fácil de moldar e ter uma estrutura porosa e homogênea, foi escolhido para este projeto como reforço do compósito.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Nos dias atuais, a procura por fibras naturais tem aumentado por conta do elevado preço das fibras sintéticas e a preocupação de utilizar recursos que não degradem mais ainda o meio ambiente. O trabalho em pauta tem a função de projetar e dimensionar um protótipo no software CAD 3D INVENTOR com base em elementos finitos para realizar o ensaio de fadiga em uma asa de aeromodelo com características mais próximas de uma resina epóxi com composição variante de fibra de bananeira. Dessa forma, essa fundamentação se baseia em demonstrar que materiais renováveis podem ser utilizados da mesma forma que os sintéticos, podendo obter características similares ou superiores dependendo da composição e, além disso, agregar na diminuição dos impactos ambientais.

1.2.2 Objetivo Específico

O projeto e dimensionamento de um protótipo que realiza ensaio de fadiga em uma asa com parâmetros próximos de uma resina epóxi com composição variante de fibra de bananeira com o auxílio dos dados de materiais normatizados no próprio software. O objetivo final é desenvolver um protótipo em um software com base em elementos finitos para analisar o comportamento dessa asa de aeromodelo quando submetida ao ensaio de fadiga e se certificar que a máquina pode ser utilizada para realizar teoricamente testes em outros materiais.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com o apelo em utilizar materiais mais sustentáveis, a escolha em trabalhar com fibras naturais proporciona uma melhor preservação do ecossistema.

A decisão de utilizar uma fibra natural proveniente da bananeira para enrijecer a resina epóxi está relacionada com as características que competem com as fibras desenvolvidas em laboratórios. Assim, a asa do aeromodelo criada no INVENTOR CAD 3D teve na sua composição um material compósito com características equivalentes a resina epóxi endurecida com a fibra de bananeira. O trabalho em questão, tem a função de mostrar que esse tipo de insumo pode passar por um protótipo de uma máquina desenvolvida em um software de elementos finitos que realiza ensaio de fadiga e apresentar uma ótima resistência, como os que apresentam fibras sintéticas na sua constituição. É válido ressaltar, que é de suma importância estudar outra gama de materiais e observar as novas possibilidades de uso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FIBRAS DE VEGETAIS

Nos dias de hoje, a procura de materiais que diminuam o impacto ambiental vem aumentando. As fibras vegetais vêm surgindo cada vez mais nas indústrias para diminuir este impacto. A engenharia de materiais passou por um processo de desenvolvimento na fabricação de compósitos, sendo reforçado com fibras vegetais. Elas podem servir não só como reforço a compósitos poliméricos como também tem um grande potencial para substituir a fibra de vidro por exemplo. Essas fibras apresentam vantagens ecológicas como sendo biodegradáveis, renováveis, leves e resistentes.

As fibras naturais, como também são conhecidas, tem um grande impacto positivo ambiental em sua produção. Elas podem ser de origem animal, mineral e vegetal e são classificadas de acordo com a sua região de cultivo, como por exemplo: fibra de sisal e abacá que são extraídos da folha; fibras extraídas do caule que vem da bananeira e linho; do pé/talo que vem do trigo ou bambu; ou de frutos, que vem

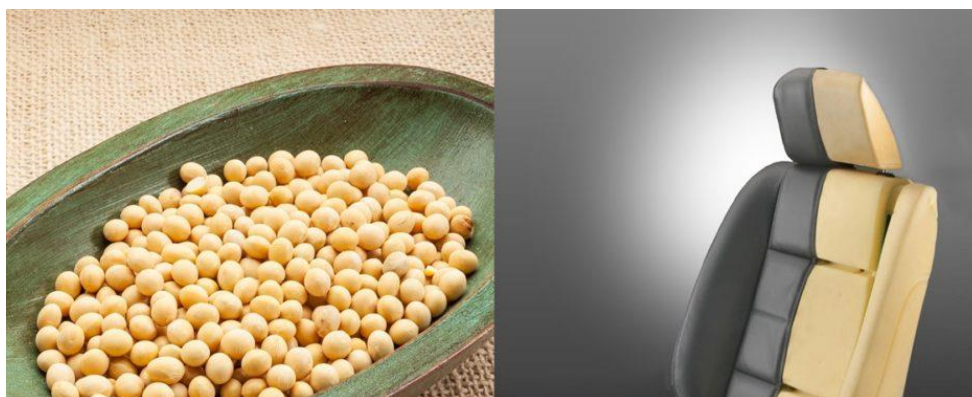
das fibras da casca do coco ou abacaxi. As fibras que vem de origens vegetais ganham um destaque maior por ter uma grande variedade para serem estudadas. Elas também são definidas como materiais lignocelulósicos. No Brasil você encontra este tipo de material na cana de açúcar, no arroz, coco e abacaxi por exemplo.

Os estudos em cima das fibras vegetais com o objetivo de reforço nos materiais começaram na Inglaterra em 1970. Já no Brasil estes experimentos começaram num centro de pesquisa em Camaçari, no estado da Bahia em 1980. As condições climáticas e o solo fértil no Brasil favorecem o cultivo de plantas com diversos recursos naturais para a fibra.

As fibras de origem vegetal já foram utilizadas no passado na indústria automobilística. A borracha natural que vinha dos compósitos de látex era reforçada com fibras de coco para os estofamentos de automóveis. Mas só depois de 1960 estes estofamentos foram substituídos pelas espumas de poliuretano. Esta mudança foi devido ao fato de uma maior fabricação de automóveis e por a espuma ser mais viável na época.

Sobras de grãos de soja já foram utilizadas pela Ford para fabricação de estofados dos seus automóveis. Em dez anos, a empresa já fabricou mais de 15 milhões de veículos com este tipo de material. Com essa iniciativa a Ford reduziu bastante a sua dependência de petróleo e automaticamente a redução de gases que denigrem a camada de ozônio.

Figura 1. Grãos de soja e estofamento de veículo.



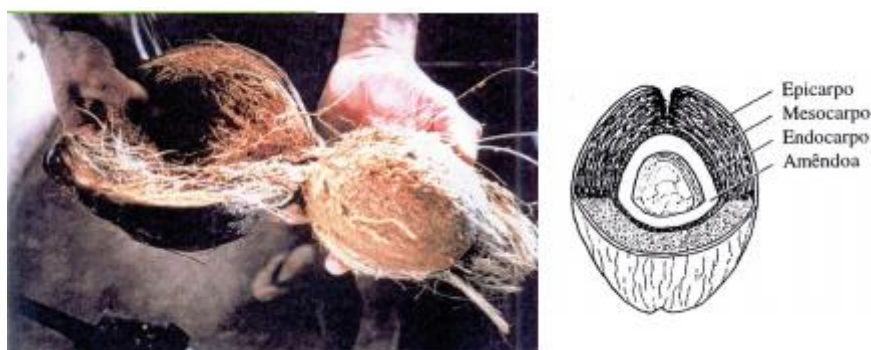
Fonte: Retirada do site eco4planet.com/blog/ford-testa-fabricacao-de-pecas-com-chicletes-rolhas-e-ate-fibras-da-fruta-da-tequila/.

Na construção civil, por exemplo, podem ser utilizados materiais com fibras de menor comprimento, como coco e a sisal. Geralmente, estas fibras são rejeitadas pelas indústrias de estofados e tecelagem que fazem muita utilização destes recursos naturais.

Da fibra de coco é muito comum serem fabricadas cordas, escovas, telhas ecológicas, tapetes e estofamentos para automóveis.

A fibra de coco existe em grande disponibilidade em nosso país. A grande concentração das fibras do coco está nos estados do Nordeste e principalmente nos estados de Pernambuco, Sergipe e Bahia.

Figura 2. Estrutura da fibra de coco.



Fonte: Retirada do site

www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0221/Trabalhos%20Finais%202009/Fibras%20naturais.pdf.

As fibras naturais extraídas das folhas, como por exemplo, a de sisal tem uma quantidade maior de lignina e por esse motivo elas são mais duras e possuem uma grande resistência ao impacto. A lignina é o material que dá sustentação as plantas. Elas são biodegradáveis e de todas as fibras estudadas ela é uma das que possui o maior módulo de elasticidade. Alguns estudos mostram que a fibra de sisal pode ser substituída por alguns tipos de polímeros como o polietileno e a borracha natural.

Figura 3. Planta de sisal e suas fibras sendo extraídas.



Fonte: Retirada do site rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_ed_especial_web_2017/PICM_2017-B3.pdf.

Outro fruto de grande importância que é extraído fibras vegetais é o abacaxi. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de abacaxi, sendo a quinta fruta mais cultivada no país. As fibras do abacaxi contêm celulose, lignina e hemicelulose. O alto teor de celulose que se encontra na fruta apresenta boas propriedades mecânicas. Quando é utilizado este teor de celulose em alguns compósitos como reforço, você ganha um aumento de flexão e resistência.

As folhas da fruta do abacaxi fornecem longas fibras vegetais, que são perfeitas para a produção de artesanato, fabricação de fios, tecidos e malhas.

Figura 4. Fibras extraídas das folhas de abacaxi.



Fonte: Retirada do site www.ipt.br/noticia/1577-engenharia_textil.htm.

A fibra considerada como uma das mais importantes e utilizadas é a fibra de bananeira. Ela pode ser encontrada em abundância no Brasil e em outros países tropicais. Atualmente, a bananeira é cultivada em 115 países, sendo que a América

do Sul produz 19% de todo o volume mundial (EPAGRI/CEPA 2011). Em questão de produção e consumação o Brasil está no topo da lista. (Silva, 2009).

No Brasil, alguns estados como o Pará, Bahia, Amazonas, Minas Gerais, Santa Catarina e São Paulo são os maiores produtores de banana. Geralmente o plantio ocorre principalmente em regiões quentes e úmidas. Por apresentar um alto cultivo dentro do país, os resíduos pós colheita também são altos. Estes resíduos são de grande importância por ter um grande volume de material fibroso vindo da natureza.

Com o objetivo de aprender mais sobre as características fundamentais das fibras vegetais e seu potencial como material, Silva (2009) realizou alguns estudos e um deles foi sobre a fibra de bananeira. Estes estudos são de grande importância para nós buscarmos cada vez mais princípios sustentáveis e métodos para ajudar a diminuir as ações poluidoras no meio ambiente.

A fibra de bananeira tem como destaque as suas fibras naturais por ter maior comprimento, grau de cristalinidade e por apresentar um alto percentual de celulose em sua composição química, isso se comparado às demais fibras vegetais como coco, cana de açúcar, palha de trigo e palha de arroz. Além de ser uma fibra natural resistente ela também apresenta uma qualidade muito boa no quesito de isolamento térmico. A figura abaixo mostra um comparativo estrutural da fibra de bananeira com outras fibras lignocelulósicas.

Figura 5. Propriedades estruturais de fibras lignocelulósicas.

Fibra	Estrutura da Fibra		
	Dimensões da célula		Cristalinidade
	Comprimento (mm)	Largura (μm)	
Coco	0,3 - 1,0	100 - 450	27 - 33
Cana de açúcar	0,8 - 2,8	10 - 34	-
Banana	0,9 - 4,0	80 - 250	45
Palha de trigo	0,4 - 3,2	8 - 34	45
Palha de arroz	0,4 - 3,4	4 - 16	40

Fonte: Retirada do site static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/NeriNoPrelo.pdf.

Uma das espécies estudadas é chamada *Musa Acuminata*. Ela pertence à divisão das Angiospermas, classe das Monocotiledôneas, ordem Scitamineae e família Musaceae (CRONQUIST, 1981). Esta espécie é uma planta típica de regiões úmidas de países tropicais. O tronco desta espécie tem em sua formação um conjunto de bainhas das folhas conhecido como pseudocaule.

É uma espécie de planta conhecida pelas suas formas e tamanhos das folhas. A sua multiplicação acontece de forma natural, com o surgimento de novos brotos. Geralmente a bananeira tem um ciclo definido. Ela começa a crescer com o surgimento de um broto-rebento em outra bananeira. Ao longo do tempo, vão surgindo os cachos.

Os especialistas também mostram um interesse muito grande na bananeira roxa. É uma planta herbácea, chega a ter cerca de 3 metros de altura e tem um tempo de vida curto. Ela também é conhecida como bananeira de jardim e ao ser cultivada gera bastante matéria vegetal que se acumula no solo.

As folhas, o pseudocaule e o engaço podem provocar problemas ambientais ao ser deixado no solo. Para evitar estes problemas ambientais o pseudocaule é aproveitado para fibras vegetais.

Dentre as mais consumidas no mundo todo, a espécie do gênero *Musa* é muito buscada. O Brasil é o terceiro maior produtor desta espécie no mundo, sendo o maior consumidor também. Fica atrás somente da Índia e China (FAOSTAT, 2014).

O Brasil começou a utilizar a fibra de bananeira pelos artesões que trabalhavam em fazendas no interior de São Paulo. Algumas famílias por não terem dinheiro para comprar recipientes de cozinha encontram no artesanato uma forma de produzir seus próprios utensílios domésticos. Então, eles utilizavam a fibra de bananeira para a produção e ao mesmo tempo encontram no artesanato uma nova fonte de renda.

Quando a bananeira atinge o ponto de colheita, retiram-se do caule todas as camadas. Começaram a utilizar o pseudocaule como matéria prima e o cortavam em tiras bem finas para cozinhar com sal grosso com o intuito de formar uma liga que aglutinasse a mistura formando uma massa consistente para ser usada no comércio artesanal. Uma estrutura homogênea e porosa que permite uma fácil impregnação com polímeros é resultado da transformação do pseudocaule em fibras artesanais.

No tronco da bananeira são extraídas bainhas foliares. Já no pseudocaule consegue-se obter propriedades específicas de fibras. Existe uma grande variedade de extração destas fibras.

Figura 6. Fibra retirada do pseudocaule da bananeira.



Fonte: Retirada do site conexaoplaneta.com.br/blog/fibra-da-bananeira-e-transformada-em-bolsas-e-mochilas-com-tecido-biodegradave/.

Do pseudocaule da bananeira podem ser extraídos cinco tipos de fibras e todas elas com uma característica diferente. Existem as fibras mais finas que são chamadas de filés e contrafilé que são mais utilizadas em acabamentos, costuras e adornos e também as fibras mais grossas que são utilizadas para utensílios mais rústicos. As fibras internas do tronco da bananeira são menos resistentes.

O método de extração da fibra é bem simples. É feito manualmente com a utilização de um tratamento em uma solução aquosa com 10% de água sanitária e depois seca ao ar livre. Este tratamento aumenta a resistência das fibras a degradação térmica tendo uma boa utilização em projetos mais sustentáveis.

Falando das propriedades das texturas, pode-se obter de cinco a oito qualidades divergentes, desde uma mais áspera a outras mais finas e delicadas. A produção de derivados com a fibra de bananeira aproveita o tronco que em quinze minutos pode ser transformado em fibras.

As fibras celulósicas têm altos valores de módulo Young proporcionando uma grande resistência à tração por ter um alto conteúdo de lignina quando comparado a outras fibras poliméricas. Além de ter uma grande resistência à tração estas fibras têm também uma baixa densidade, custo baixo e são atóxicas. Ou seja, uma fibra que não é nociva ao ser humano.

2.2 RESINA POLIMÉRICA

O que se entende resina epóxi é que ela é um termofixo que possui seu endurecimento a partir da adição de um catalisador. Em toda sua família podem variar de sólidos a líquidos, e por suas propriedades específicas e baixo custo é um dos materiais mais utilizados globalmente. Através dos anos o uso de resinas na indústria brasileira vem aumentando gradualmente, principalmente quando ela é usada para reforço de materiais, também como colas e adesivos.

A primeira mistura de uma resina baseada em Bisfenol-A foi feita por dois doutores de diferentes países, Dr. Pierre Castan, que era suíço, e o Dr. S. O. Greenlee no ano de 1936, mas sua produção industrial começou dois anos depois em 1938, mas devido a segunda guerra mundial, ocorreu um declínio de matéria-prima. O fornecimento só foi normalizado após a segunda guerra, com a química Ciba-Geigy adquirindo os direitos de produção do produto e se tornando quase de imediato umas das principais fabricantes mundiais no ramo de resinas epóxi. Nos anos 90 a empresa encerrou seus negócios, transferindo seus direitos de produção para outra empresa até chegar na Huntsman. A parte do doutor americano Greenlee está nas mãos da Hexion do grupo Momentive atualmente. Com a Huntsman e Momentive sendo uma das maiores empresas nesse ramo em escala global, no Brasil importamos este tipo de produto vindo da China, Índia, EUA, Suíça e alguns outros países.

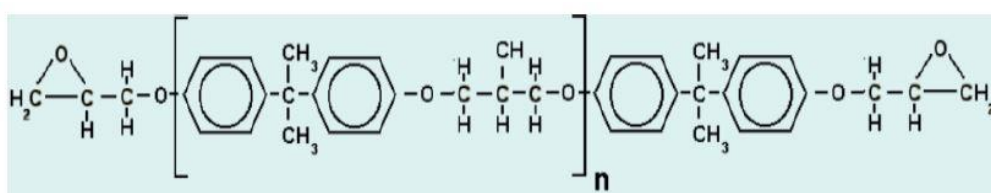
As resinas epóxi tem diversas aplicações diferentes nos ambientes de trabalho, dentro da indústria ela tem como aplicações o adesivo, revestimento com resistência química, primer entre outros. Já no meio da construção civil, tem como aplicação na reconstrução de concreto, adesão de concreto antigo com um novo e na remenda de trincas e juntas. A resina epóxi também tem um uso geral, utilizada como adesivos de

metais e madeira, colagem naval e até mesmo dentro de casa para reparo de algum móvel.

As resinas epóxi apresentam variação de acordo com substância utilizada na sua produção, variando a substância é possível obter diferentes gêneros para as resinas. Os gêneros e suas características são:

- **Resina epóxi Bisfenol – A**: Entre todas as apresentadas é a mais utilizada, por suas propriedades e por seu baixo custo, elas são geradas através da reação química de Epicloridrina e Bisfenol. Tem como característica a baixa viscosidade, resistência a cristalização e alta resistência química, também podemos variar seu peso molecular, podendo deixá-la em fase líquida, semi-sólidas ou sólidas.

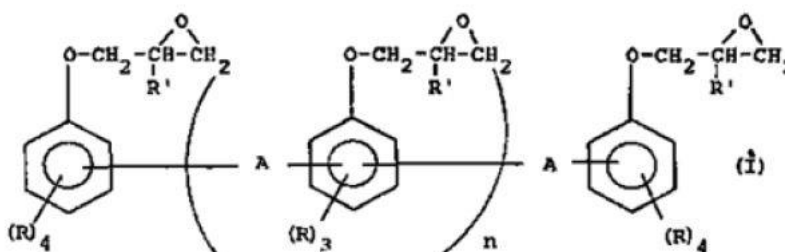
Figura 7. Fórmula química Epóxi Bisfenol – A.



Fonte: CAMPBELL (2019)

- **Resina epóxi Novolaca**: Sua produção é feita a partir da condensação de hidroxila de fenol-formaldeído com epicloridrina. Este tipo de resina possui alta funcionalidade, por ter um maior grau de reticulação, alta resistência térmica e química.

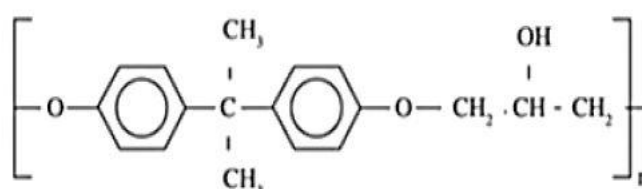
Figura 8. Fórmula química Epóxi Novolaca.



Fonte: PUIG et al. (2012).

- **Resina epóxi Cíclicas Alifáticas:** São obtidas através da reação química entre dióxido de vinil-ciclo-hexano e o dióxido de diclopentadieno, com ciclos de carbono sendo possíveis de serem realizados na produção. Esta resina tem como característica a resistência a ação de raios ultravioletas, sendo indicadas para ambientes com incidência de luz solar.

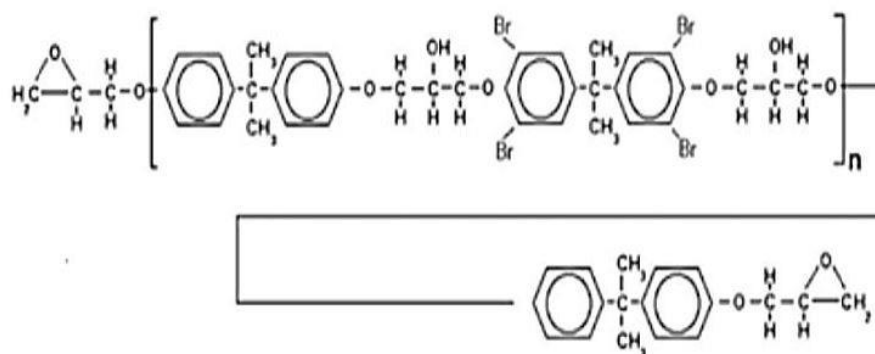
Figura 9. Fórmula Epóxi química Cíclicas Alifáticas.



Fonte: PUIG et al. (2012).

- **Resina Epóxi Bromadas:** São atingidas através da reação química do tetrabromo A com epiclorigrina, são muito utilizadas em conjuntos elétricos pois possuem uma certa resistência (retardam) as chamas.

Figura 10. Fórmula química Epóxi Bromadas.



Fonte: SILAEX (2019).

Por ter algumas características como resistência química, anticorrosiva e à abrasão, a fibra de bananeira tem se mostrado grande aliada das resinas epóxis para melhoramento de características.

2.3 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Os compósitos foram inseridos na classe de materiais a partir do século XX, com o desenvolvimento de materiais combinados com o intuito de chegar no final com uma nova característica para aquele insumo. Esses materiais multifásicos podem ser sintéticos como a fibra de vidro que apresenta resistência e flexibilidade do polímero ou naturais como a madeira que possui na sua constituição fibras de celulose fortes e flexíveis juntamente com um plástico natural denominado lignina presente nas bordas das células vegetais da parede celular que se unem a celulose e hemicelulose.

A resina pode ser considerada um compósito com uma cura, tanto em temperatura ambiente quanto em alta temperatura, resultantes da junção de materiais diversos. O seu endurecimento é responsável pela ação dos anidridos e aminas. As polimercaptanas podem ser encontradas em materiais compósitos como agentes que apresentam na sua composição resinas epoxídicas que tem amina modificada ou poliaminoamida.

É válido observar, que as características que constituem essa resina dependem das combinações dos componentes e do processo de cura. No ensaio de tração é possível analisar as propriedades macroscópicas do polímero para verificar o comportamento da matriz macromolecular ao decorrer do procedimento.

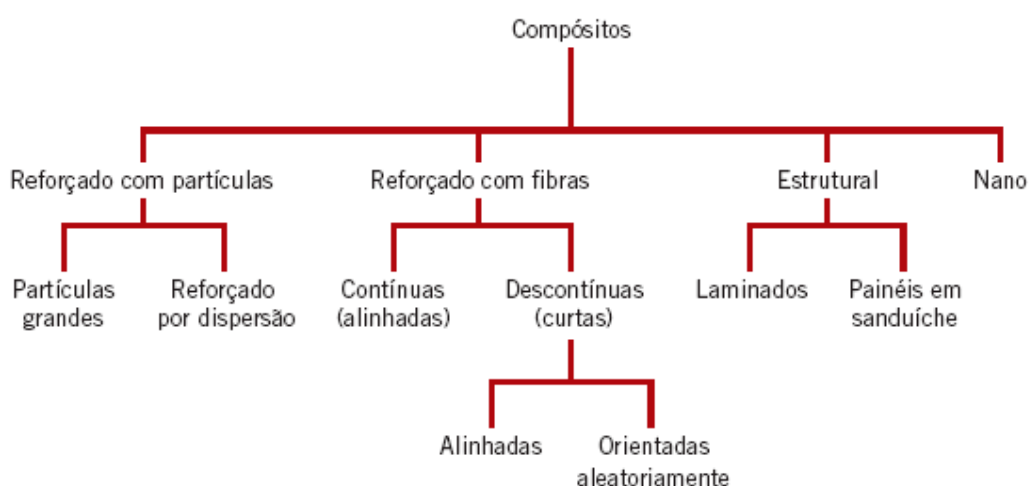
O compósito em questão, apresenta como principais componentes a resina epóxi juntamente com um produto que auxilia seu processo de cura. Porém, existem outros componentes que precisam ser ressaltados, como por exemplo, os solventes, diluentes, cargas e reativos.

Os compósitos apresentam uma fase matriz e uma fase fibra no esquema da sua composição. O material que se comporta como matriz tem a função de unir as fibras e suportar as tensões externas para que não haja trincas na superfície e o material utilizado como fibra de esforço garante elevado limite de resistência à tração ao sistema.

Atualmente, existem diferentes tipos de combinações de fibras sintéticas e naturais que começaram a ser estudadas no meio acadêmico. Um exemplo dessa união seria a fibra de vidro-E e as fibras vegetais, que ainda estão sendo estudadas.

Os compósitos são classificados em diferentes tipos, como por exemplo, podem apresentar um enrijecimento por partícula, por fibra, de forma estrutural e nano. Os compósitos reforçados com partículas apresentam uma fase dispersa equiaxial, isto é, as partículas têm o mesmo tamanho em todas as direções. Quando o material compósito é enrijecido por fibra, no momento em que está em um estágio desordenado apresenta um formato de fibra. Os compósitos estruturais possuem várias camadas que proporcionam menor massa específica e um sistema rígido. Nos nanocompósitos, a fase dispersa tem partículas na ordem nanométrica. Abaixo, a figura exemplifica a classificação dos tipos de compósitos mencionados.

Figura 11. Classificação dos diferentes tipos de compósitos.

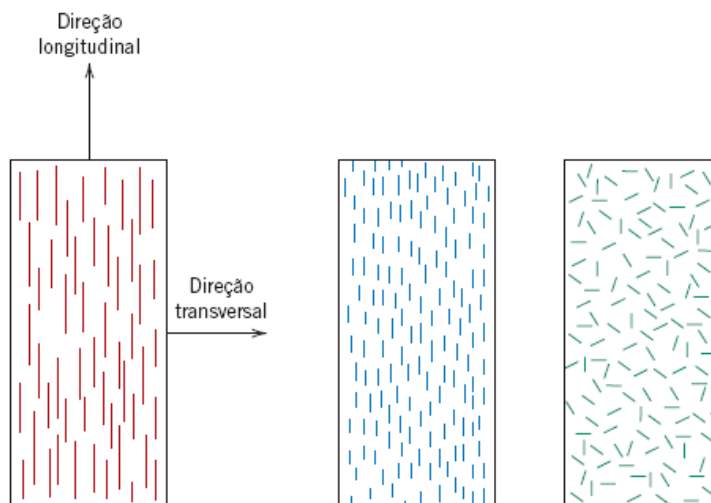


Fonte: CALLISTER (2018).

É válido analisar, que a combinação de materiais compósitos com fibras naturais está sendo muito estudada nos dias de hoje, pois há um certo interesse por parte dos estudiosos e indústria trabalhar com materiais renováveis para que haja um certo cuidado com o nosso ecossistema.

Muitos estudos estão sendo feitos para colocar no mercado novos insumos que apresentam na sua composição fibras naturais. Os compósitos lignocelulósicos possuem propriedades que dependem necessariamente da fase matriz, da fibra, do formato e da sua relação.

Figura 12. Tipos diferentes de compósitos reforçados com fibras.



Fonte: CALLISTER (2018).

Os aspectos baseados na disposição, quantidade e organização das fibras alteram as propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com essas fibras.

Segundo Callister (2018), o compósito é um material multifásico constituído pela junção de diferentes insumos que irá gerar um novo material com características melhores do que o original. Nesse trabalho, será estudado um compósito gerado a partir de um polímero denominado polipropileno que se comporta como matriz reforçado com a fibra proveniente da bananeira.

De acordo com as pesquisas, os compósitos que são reforçados com fibras apresentam elevada resistência e rigidez. Dessa forma, estão analisando substituir as fibras sintéticas pelas fibras naturais para reforçar a matriz do compósito.

Os compósitos estão presentes em obras e para cada material utilizado temos uma propriedade diferente que é obtida a partir da fabricação e relação matriz/fibra. Esses compósitos poliméricos podem ser classificados em termoplásticos, termorrígidos e elastômeros.

Os materiais renováveis são melhores para reciclar e, por isso, são mais buscados ultimamente. Vimos que as resinas poliméricas como o Epóxi e o polipropileno estão sendo muito utilizados em diversas áreas em vez dos outros polímeros para a produção de compósitos poliméricos.

Esses materiais compósitos apresentam diversas utilizações, pois suas propriedades necessitam de uma temperatura ambiente, fácil fabricação e custo menor. Porém, suas características apolares não permitem uma dispersão boa com cargas polares, fazendo com que seja necessário realizar tratamentos para combinar as características consideradas boas.

2.4 ENSAIO DE FADIGA

Normalmente os materiais devem sofrer esforços abaixo do seu limite elástico, ou seja, essa força aplicada precisa ter uma intensidade menor do que a força máxima suportada por esse material.

Dessa forma, os fabricantes produzem materiais com o intuito de suportar tensões maiores a partir de ensaios e controle de produção, para que não haja problemas futuros no momento de sua utilização.

Em um determinado momento esse produto pode sofrer uma falha, mesmo a empresa tendo cuidado de forma correta do produto e não ter dado sinais de rompimento, ele pode apresentar problemas futuros. Esse fenômeno é conhecido com fadiga.

Vale destacar, que um equipamento industrial é composto por diversas peças que apresentam tempo de vida útil diferentes, por isso que as peças não sofrem falhas no mesmo momento.

De acordo com Callister (2006), as falhas presentes nos materiais são provenientes da fase de projeto, como por exemplo, no momento da elaboração e no processo de execução. Como essas atividades são realizadas por seres humanos, pode ocorrer falhas ao decorrer da sua finalização. Assim, deve ter um certo cuidado no momento de escolher o material, realizar os testes e fabricar esse produto.

Para Callister (2006), os testes são muito importantes para observar o comportamento de materiais distintos que recebem uma determinada força na sua superfície. Será analisada a geometria e composição da peça para obter essas respostas.

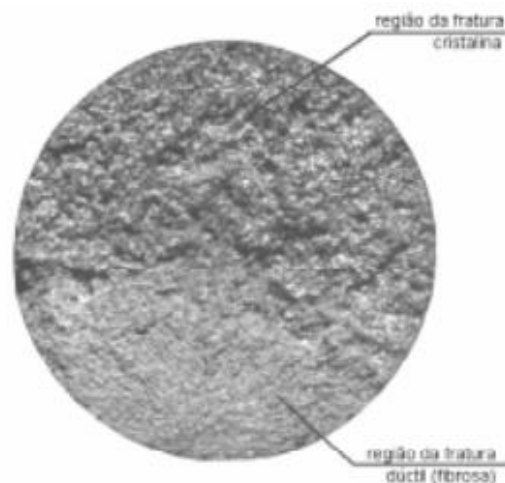
Dessa maneira, Callister (2006) define fratura como uma separação feita em um material por causa de um esforço aplicado. Esse esforço pode ser de tração, compressão, cisalhamento e torção.

Esse ensaio determina a durabilidade dos materiais. Além disso, também avalia o quanto de esforço pode ser aplicado na superfície de uma determinada peça. Esse ensaio pode ser realizado diretamente na peça ou, quando não é possível, é feito em um corpo de prova normalizado.

A fadiga pode ser entendida como uma ruptura que ocorre a partir de um esforço cíclico menor que o máximo suportado por uma peça. Pode ser iniciada com uma trinca ou falha presente na superfície do material que após sofrer uma solitação contínua chega a ruptura.

A fratura gerada pela fadiga apresenta uma seção com fibras na região que irá propagar a trinca e uma seção cristalina no instante do rompimento.

Figura 13. Parte da superfície microscópica de um material.



Fonte: Retirada do site essel.com.br/cursos/material/01/EnsaioMateriais/ensa15.pdf.

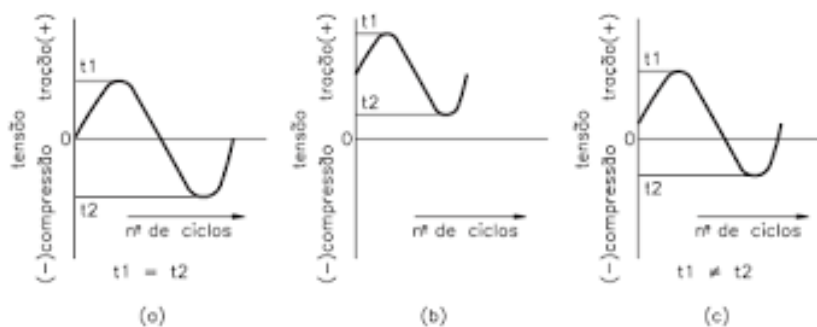
É necessário estudar sobre a fadiga, pois na maioria dos casos os equipamentos industriais sofrem problemas causados por esse fenômeno. As empresas precisam estar atentas a esse assunto para que não haja uma falha repentina na sua produção por conta da fadiga.

Uma tensão periódica se associa com uma série de tensões repetitivas que são aplicadas dentro de um intervalo de tempo. Essas tensões que ocasionam a fadiga podem ser alternadas, repetidas e aleatórias.

Como visto, a fadiga ocorre por causa da aplicação de uma tensão repetitiva sobre a superfície de um material.

Essa tensão é caracterizada por uma senoide e por meio de um gráfico temos os valores de tensão positiva (tração) e negativa (compressão) juntamente com o intervalo de tempo.

Figura 14. Tipos de ciclos de tensão.



Fonte: Retirada do site essel.com.br/cursos/material/01/EnsaioMateriais/ensa15.pdf.

Vale ressaltar, que no primeiro gráfico temos as tensões de tração e compressão com valores iguais. No segundo gráfico, o material sofre somente tensão de tração, porém ela varia entre um valor máximo e mínimo. Por último, o material sofre tensão de tração quanto de compressão, porém o valor da tensão negativa continua sendo menor.

Em relação aos ensaios laboratoriais, as máquinas apresentam um sistema de aplicação de diferentes tipos de cargas e um equipamento embutido que mostra o número de ciclos. No momento em que se coloca o insumo no equipamento para realizar o ensaio, o término do procedimento ocorrerá no momento em que o mesmo sofrer uma ruptura.

Figura 15. Máquina de ensaio de fadiga.

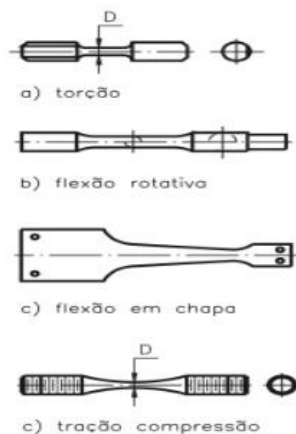


Fonte: Retirada do site www.logismarket.ind.br/instron-emic/3978273513-c.

O ensaio de fadiga pode ser dividido em torção, tração-compressão, flexão e flexão-rotativa. Nesse trabalho, o foco será no ensaio de flexão, onde será analisada a tensão aplicada no material a partir de um número de ciclos para definir em que instante o mesmo irá ter um rompimento.

O insumo que ficará encaixado no equipamento, precisa estar com um acabamento perfeito, pois qualquer irregularidade presente na superfície da peça pode gerar um acúmulo de tensões que leva a ruptura. Além disso, a resistência a fadiga de uma peça pode ser melhorada com tratamentos térmicos adequados e diminuição dos ressaltos encontrados na superfície do material que ocasionam o surgimento de forças concentrada

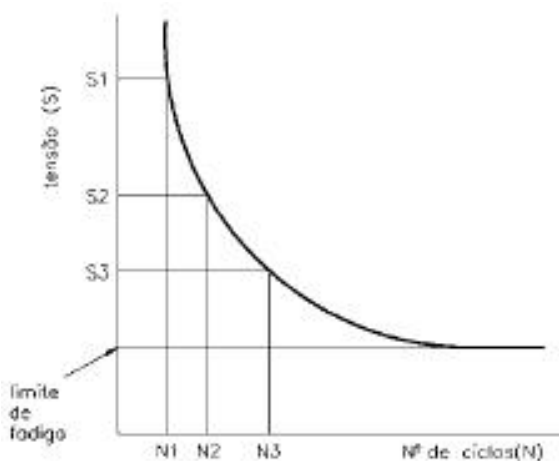
Figura 16. Tipos de corpos de prova.



Fonte: Retirada do site essel.com.br/cursos/material/01/EnsaioMateriais/ensa15.pdf.

Após o ensaio, é gerado um gráfico que apresenta uma curva denominada de S-N. Ela mostra os valores de tensão e números de ciclos e, a partir disso, pode-se visualizar qual tensão foi aplicada em cada corpo de prova e em qual número de solicitações romperam.

Figura 17. Curva S-N.



Fonte: Retirada do site essel.com.br/cursos/material/01/EnsaioMateriais/ensa15.pdf.

Assim, de acordo com a curva S-N quanto menor for a tensão aplicada na peça, mais consegue aguentar as forças aplicadas em um número de ciclos maior até

chegar em um certo limite que não ocorra mais rompimento por fadiga. Porém, essa análise depende do material que está sendo estudado, por isso que para cada material é definido um número de ciclos até o seu limite de fadiga.

Como dito anteriormente, peças com péssimo acabamento são propícias a acumulação de tensões que provocam fadiga.

Para diminuir a propagação da fadiga, os materiais podem passar por tratamentos superficiais que visam diminuir o efeito das tensões residuais. O encruamento pode ser uma forma de aumentar a resistência desses materiais que sofrem com a fadiga.

Para saber quando não ocorre mais rompimento por fadiga, é necessário observar a composição do material, sua estrutura granular, a disposição do material para mudar de forma e qual tratamento térmico tenha passado.

Outros fatores que auxiliam a propagação da fadiga é o meio em que o material se encontra, pois pode ser um ambiente corrosivo que propicia o surgimento de defeitos superficiais, e a forma da peça, ou seja, descontinuidades e cantos vivos também são agentes que aceleram o surgimento da fadiga.

É necessário que não haja esses tipos de defeitos nos materiais, como por exemplo, locais que possam concentrar tensões, poros, inclusões e outros defeitos que possam diminuir a resistência do material que sofre com a fadiga.

As peças passam por testes para observar sua vida útil. Na hora de escolher um material é importante avaliar se ele irá sofrer uma tensão repetitiva elevada ou mínima. Os materiais dúcteis suportam tensões mínimas com certo controle e os materiais resistentes suportam tensões máximas ainda na fase elástica.

Nesse caso, as empresas precisam salientar as informações do ensaio de fadiga feito nos materiais com o intuito de proteger o comprador.

Em relação ao trabalho em questão, os polímeros podem sofrer deformação assim como os metais, porém de uma forma diferente vista de forma microscópica. (CHAWLA, 1998; SILVA, 2003; ROESLER; HARDERS; BAEKER, 2007)

Como os polímeros se deformam de forma viscoelástica, não apresentam a mesma curva tensão – deformação que foi demonstrada acima. Durante o processo de

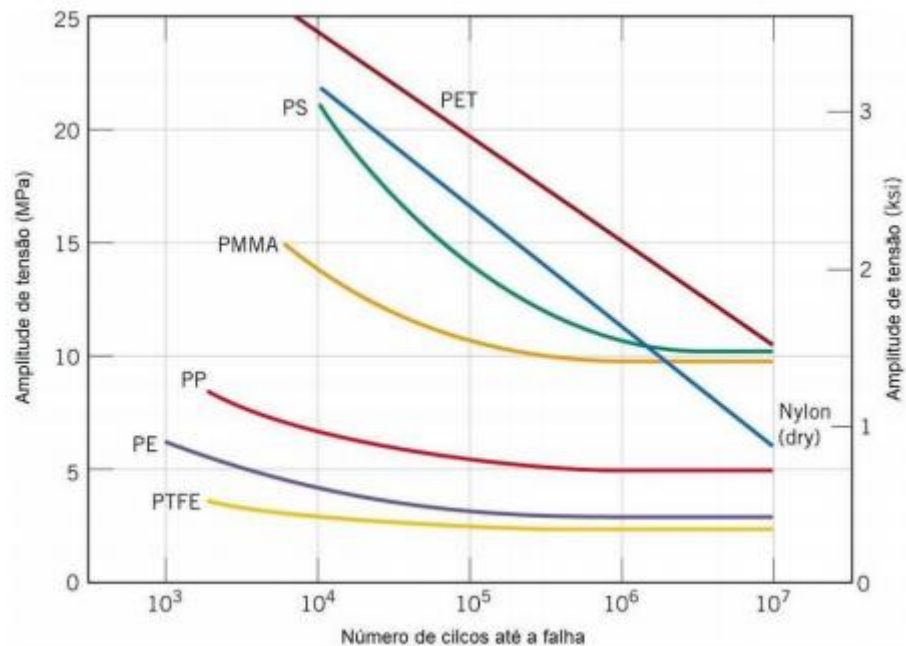
deformação é liberado uma quantidade de energia por causa da interação da fase fibra com o polímero. (ROESLER; HARDESRS; BAEKER, 2007; CRUZ; SOUZA, 2008)

Os polímeros apresentam baixa condutividade térmica, logo, fica mais difícil dissipar a energia presente. Caso essa energia fique presa no polímero, sua temperatura aumenta e fica mais suscetível a sofrer fadiga. Para solucionar esse problema, é necessário diminuir o esforço aplicado para que essa energia se equilibre. Nesse caso, o polímero irá sofrer certa deformidade, porém, com um esforço menor, não teremos o surgimento da fadiga. Alguns polímeros termoplásticos que possuem essas características são o polietileno, polipropileno e poliamida. (ROESLER; HARDERS; BAEKER, 2007)

Nesses materiais as trincas podem se localizar nas seções que ocorreram quebra e desligamento da cadeia polimérica, nas interfaces matriz-reforço e pela ação das fibrilas. Esses defeitos podem diminuir a resistência do polímero. (ROESLER; HARDERS; BAEKER, 2007)

Callister (2002) alerta que o ensaio de fadiga é mais utilizado em metais do que em polímeros, porém ainda podemos gerar um gráfico que abrange esses insumos. Abaixo temos a curva S-N gerada para o náilon, PMMA, PET, PS, PP, PE e PTFE.

Figura 18. Curva de fadiga para diferentes polímeros.



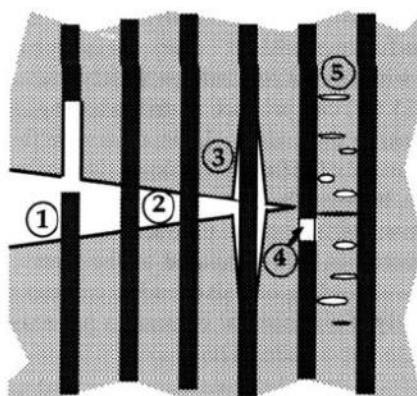
Fonte: CALLISTER (2002).

Como os metais são mais estudados, esbarramos com certa dificuldade na hora de estudar esse tipo de material. Dentre as características que atrapalham o estudo do comportamento mecânico dos materiais compostos pela união de elementos, temos: matriz e reforço utilizado, temperatura, regularidade da sollicitação e tipos de cargas. Porém, é necessário realizar esses ensaios para obter dados sobre fadiga que afeta os compósitos termoplásticos presentes no âmbito da engenharia. Dentre os outros defeitos, a fadiga continua sendo a falha que mais surge nesses materiais. (CHAWLA; KRISHAN, 1998; CRUZ; SOUZA, 2008)

Nesse caso, a fadiga em materiais compósitos continua tendo grande importância, sendo uma das causas mais frequentes de falhas baseada em um esforço contínuo. (CRUZ; SOUZA, 2008)

O aparecimento de falhas nos materiais compósitos é diferente do que nos metais, porém sua propagação tem certas semelhanças (CRAWFORD, 1998).

Figura 19. Mecanismo de propagação da trinca em um polímero reforçado com fibra.



Fonte: Retirado do site <https://fei.edu.br/~rodrmag/mestrado/2013/DVOM.pdf>

Primeiramente, temos o processo referente a retirada da fibra do interior da matriz, que pode ser representado pelo número 1 da figura acima e é denominado “pull-out”. Depois, com a propagação da falha temos uma matriz rachada com fibras ainda, essa etapa é representada pelo número 2 e é denominada “fiber bridging”. Já o número 3 da figura, representa a separação da fibra com a matriz devido aos esforços cíclicos que vão se propagando na trinca e é denominado de “debonding”. Com isso, pode ter uma ruptura da fibra representada pelo número 4 ou apenas a falha da matriz representada pelo número 5.

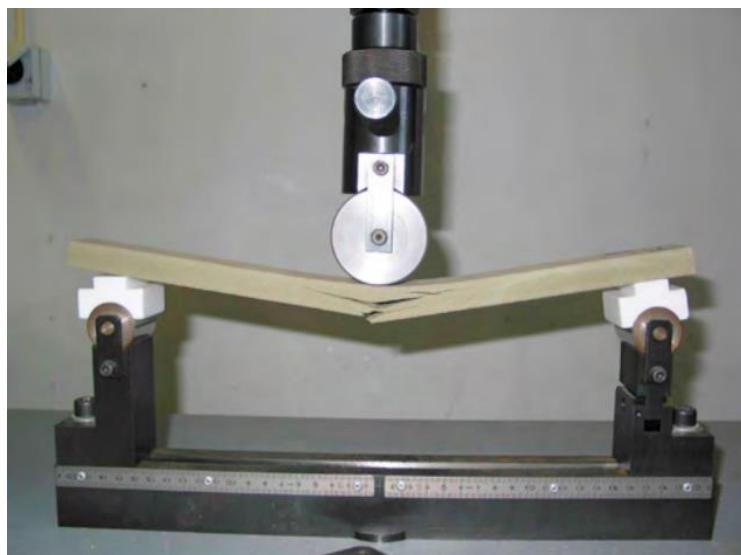
É válido ressaltar, que caso a fibra tenha uma elevada rigidez em comparação a matriz, no momento que a tensão for aplicada de forma controlada, o surgimento da fadiga será lento e, assim, a matriz estará protegida de certo rompimento por parte das fibras. Porém, se realizar o mesmo procedimento agora com a deformação, o material ficará mais rígido propiciando o rompimento da matriz a partir de uma elevada tensão (ROESLER; HARDERS; BAEKER, 2007; ANTUNES, 2009).

Neste trabalho, o ensaio de fadiga será realizado por uma máquina projetada e dimensionada no software CAD 3D INVENTOR com base em elementos finitos para analisar se haverá certa influência nas características mecânicas da asa com parâmetros próximos ao compósito de resina epóxi com fibra de bananeira ao ser submetida a esse ensaio.

2.5 ENSAIO DE FLEXÃO

Baseado em (ANNICK; POKORNY, 2009), a flexão é uma combinação entre as forças compressivas e trativas. A força aplicada na superfície do corpo de prova gera uma compressão de suas fibras e na parte inferior as mesmas tracionam. As partes que sofrem ação trativa apresentam um rompimento mais rápido. Essa ruptura é compatível com a ruptura dúctil ou frágil que ocorre na tração.

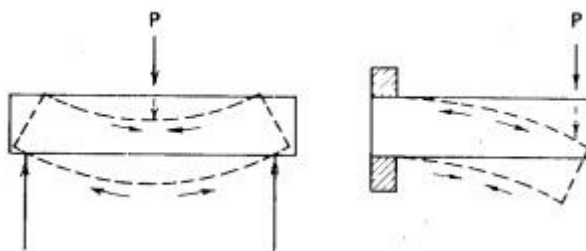
Figura 20. Corpo de prova em ensaio de flexão.



Fonte: ANNICK; POKORNY, 2009.

Para realizar esse ensaio, é necessário aplicar um esforço perpendicular no centro do material apoiado em duas extremidades ou em uma única extremidade livre.

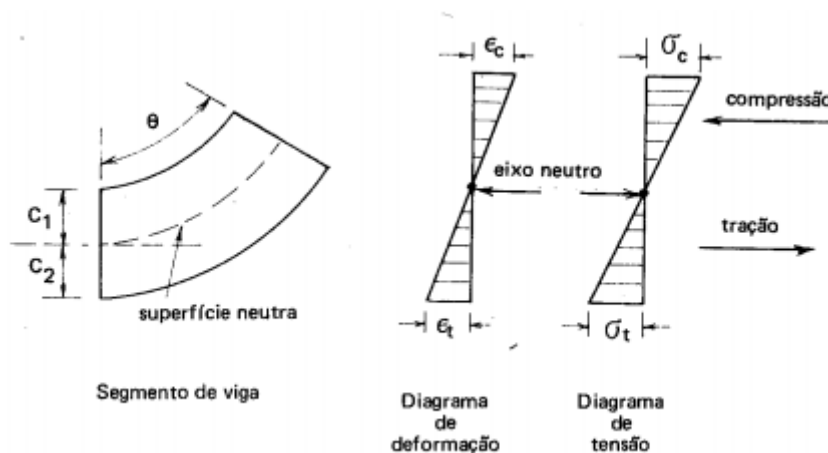
Figura 21. Comportamento do material após sofrer esforço de flexão.



Fonte: Vicente Chiaverini – Vol.1 (1986).

Essa força faz com que as fibras do material que se localizam acima da linha neutra se contraíam e as que ficam abaixo se tracionem. Vale destacar, que não há variação na dimensão da peça nesse teste. A figura abaixo mostra como as regiões da peça quando sofre certa deformidade.

Figura 22. Comportamento das fibras ao sofrer deformação por flexão.



Fonte: Vicente Chiaverini – Vol.I (1986).

Esse ensaio trabalha somente com o regime elástico do material e é aplicado em materiais frágeis e resistentes, como por exemplo, ferro fundido, aços, concreto e outros materiais que podem sofrer algum tipo de esforço proveniente da flexão.

O ensaio de flexão se baseia no mesmo método do ensaio de dobramento, ou seja, temos dois roletes afastados que agem como apoio para o corpo de prova e um

cutelo, presente na parte de cima da máquina, que fornece uma força na superfície do mesmo. Porém, nesse caso temos um extensômetro que tem a finalidade de auxiliar no tamanho da maior deformação.

Figura 23. Desenho demonstrativo da flexão máxima.



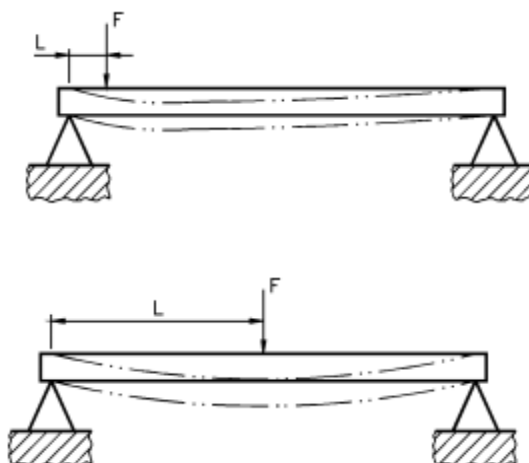
Fonte: Retirada do site essel.com.br/cursos/material/01/EnsaioMateriais/ensa08.pdf.

É válido destacar, que os materiais frágeis produzem uma flexa, referente a uma deformidade, mais curta. A força que vai ser aplicada no material precisa causar seu rompimento.

Certas propriedades são avaliadas nesse ensaio, como a tensão de flexão que depende tanto da distância que a força é aplicada em relação ao apoio como da forma do material, flexa máxima e módulo de elasticidade.

O momento fletor está relacionado a distância em que a força está sendo aplicada em relação a posição do apoio. Caso uma força seja aplicada próximo de um apoio, a flexão gerada é menor. Agora, se a força for aplicada no meio do suporte, a flexão gerada é maior.

Figura 24. Desenhos demonstrativos do momento fletor.



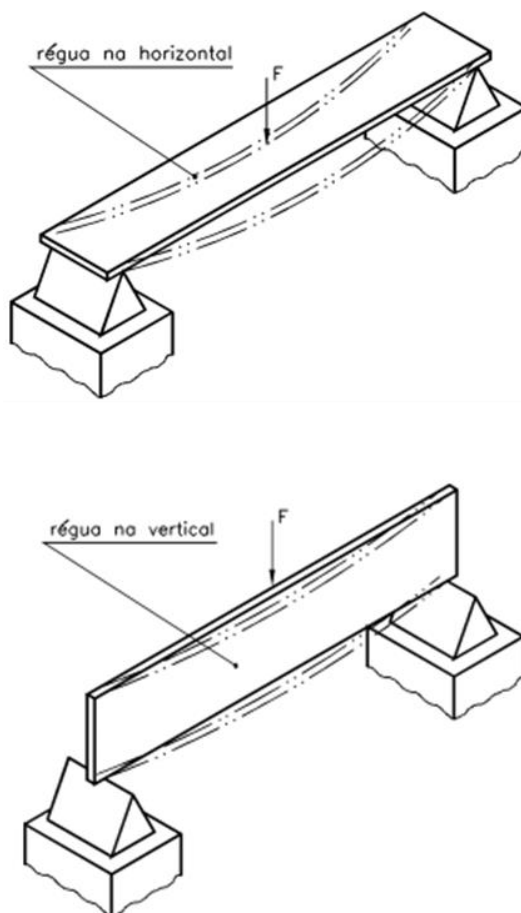
Fonte: Retirada do site essel.com.br/cursos/material/01/EnsaioMateriais/ensa08.pdf.

Assim, essa variável pode ser calculada a partir da multiplicação da força que será aplicada pela distância em que ela se encontra do ponto de apoio.

Nesse caso, a força aplicada estará no centro do corpo de prova, se propagando para o restante do mesmo. Dessa forma, será utilizado na fórmula de momento fletor, metade da força e metade da distância.

O momento de inércia depende da forma do material. Um exemplo é pegar um corpo de prova e colocar o mesmo deitado sobre dois apoios, a força aplicada consegue proporcionar uma flexão elevada. Porém, se o mesmo ficar em pé sobre os apoios, a mesma força aplicada não conseguirá proporcionar uma deformação por flexão.

Figura 25. Desenhos demonstrativos do momento de inércia.



Fonte: Retirada do site essel.com.br/cursos/material/01/EnsaioMateriais/ensa08.pdf.

Já o módulo de resistência apresenta uma relação direta com o momento e pode ser feita uma assimilação com a área da seção transversal presente no cálculo de tração. Pode ser calculado com a divisão do momento de inércia por uma distância, que vai da linha neutra até a superfície do material estudado.

Quando se trata de uma superfície circular, essa distância corresponde à metade do raio. Já em superfícies quadradas e retangulares, essa distância corresponde à metade de sua altura.

Após esses conceitos, temos todas as variáveis necessárias para calcular o esforço de flexão. A mesma irá variar de acordo com o material a ser analisado.

Em materiais dúcteis, a força a ser considerada será a do limite de elasticidade. Para os materiais com certa fragilidade, o esforço que será relevante é o que ocasiona uma falha.

Nesse projeto, será projetado e dimensionado um protótipo de uma máquina de fadiga para realizar o ensaio em um software denominado CAD 3D INVENTOR com base em elementos finitos. O compósito que será estudado é o que apresenta a base de resina epóxi reforçado com fibra de bananeira ou um outro material que possua características parecidas que estão dentro dos dados de materiais normatizados do programa e a propriedade avaliada será o módulo de elasticidade a partir de uma tensão máxima vibratória aplicada na asa de um aeromodelo em um número de ciclos.

2.6 CARGAS ESTÁTICAS

Nesse momento, iremos estudar sobre as cargas que atuam em uma estrutura estaticamente. É aplicado nesse sistema forças dentro de um intervalo de tempo até se deparar com um carregamento máximo que o mesmo suporta e, a partir disso, define a característica da deformação e as forças internas que surgiram. Dessa forma, os carregamentos aplicados lentamente na estrutura produzem um movimento tão lento no interior da mesma que podemos realizar uma análise estática em qualquer intervalo de tempo. Com isso, a deformação provocada por esse carregamento se alastram de forma lenta e chegam ao seu nível máximo, no momento, em que sua força externa é máxima. Vale lembrar, que o carregamento ainda varia com o tempo, porém, em cada intervalo de tempo podemos realizar uma análise estática para a obtenção de resultados. Deve ser entendida como uma estrutura que passa por uma trajetória que pode ser analisada por uma “fotografia” de estudos estáticos até chegar em um carregamento máximo.

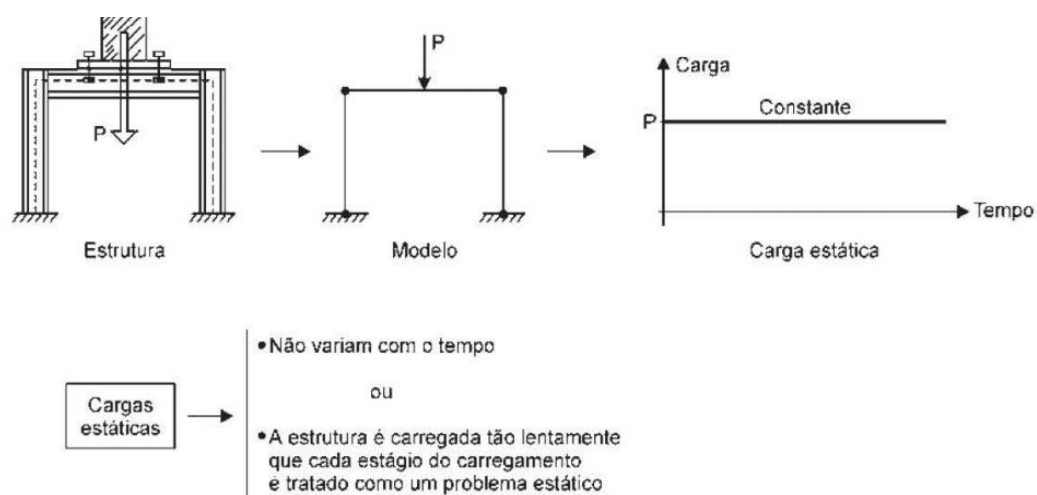
O método de elementos finitos estaticamente disponibiliza o resultado da estrutura com o auxílio de certos elementos que partem da suposição que o desenvolvimento da deformação é proveniente da rigidez da estrutura, conforme a fórmula a seguir.

$$\{F\} = [K] \cdot \{\Delta\} \quad (1)$$

As cargas externas aplicadas na estrutura são absorvidas por forças elásticas, presente no interior da mesma, provenientes da deformação estrutural. A energia disponibilizada a estrutura por meio das forças externas era absorvida diretamente pela energia de deformação.

A estrutura recebe o carregamento de tal forma que não varia dentro de um intervalo de tempo, ou varia tão pouco, que perante a esse intervalo de tempo pode ser considerado estático.

Figura 26. Estrutura sob ação de um carregamento estático externo.



Fonte: Alves Filho, Avelino, 1957- Elementos Finitos: a base da tecnologia CAE / análise dinâmica / Avelino Alves Filho. -- 2. ed. - São Paulo: Érica, 2008.

2.7 CARGAS DINÂMICAS

Além do modelo de análise estático que proporciona resultados simples e, às vezes, inadequados, temos o modelo de análise dinâmico que consiste em um carregamento que varia com o tempo. Assim, essas cargas colocam a estrutura em movimento que sofre variação na velocidade e está sujeita a ação da aceleração.

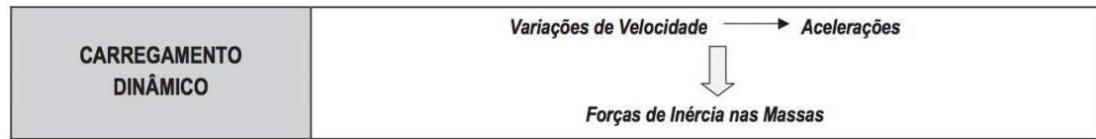
As cargas dinâmicas podem ser aplicadas em diversas estruturas presentes na engenharia. O sistema em questão suporta os impactos distintos ao receber uma carga dinâmica do que a estática. Com isso, a análise dos resultados pode ser obtida mais completamente. Como já mencionado, as cargas dinâmicas promovem aceleração em certos elementos da estrutura ou no seu conjunto como um todo. A aceleração se desenvolve com a variação de velocidade. Pelo fato da estrutura ter uma massa e ser submetida a certa aceleração, surge uma força de inércia prevista pelo Princípio Fundamental da Dinâmica.z.

$$FORÇA = MASSA * ACELERAÇÃO \quad (2)$$

Quando se analisa a estrutura com o método do diagrama de corpo livre, as forças de inércia também precisam ser consideradas juntamente com as outras forças obtidas na análise estática. Ao contabilizar forças elásticas e forças de inércia temos o desenvolvimento do fenômeno de vibrações. O estudo físico da origem desse fenômeno e como calcular é de suma importância para a obtenção de projetos mecânicos.

Como já visto, a maioria dos elementos mecânicos sofrem deformações ocasionadas por cargas que se modificam durante certo período. Com isso, é de suma importância entender o conceito da análise dinâmica em um projeto, por causa das vibrações decorrentes, e o seu cálculo. Isso pode ser aplicado em certas questões, como por exemplo, em balanceamento de equipamentos, vibrações em torno dos eixos, vibrações sobre as pás de turbinas, vibrações em componentes de motores, vibrações em automóveis, vagões, navios, aviões, componentes mecânicos e em estruturas. As vibrações que surgem nas máquinas podem ser importantes para o bom funcionamento do sistema da máquina ou podem prejudicar a mesma. Assim, quando o sistema possui vibrações dentro dos parâmetros aceitáveis, há uma garantia que não terá problemas no sistema por fadiga ocasionada pelos carregamentos repetitivos.

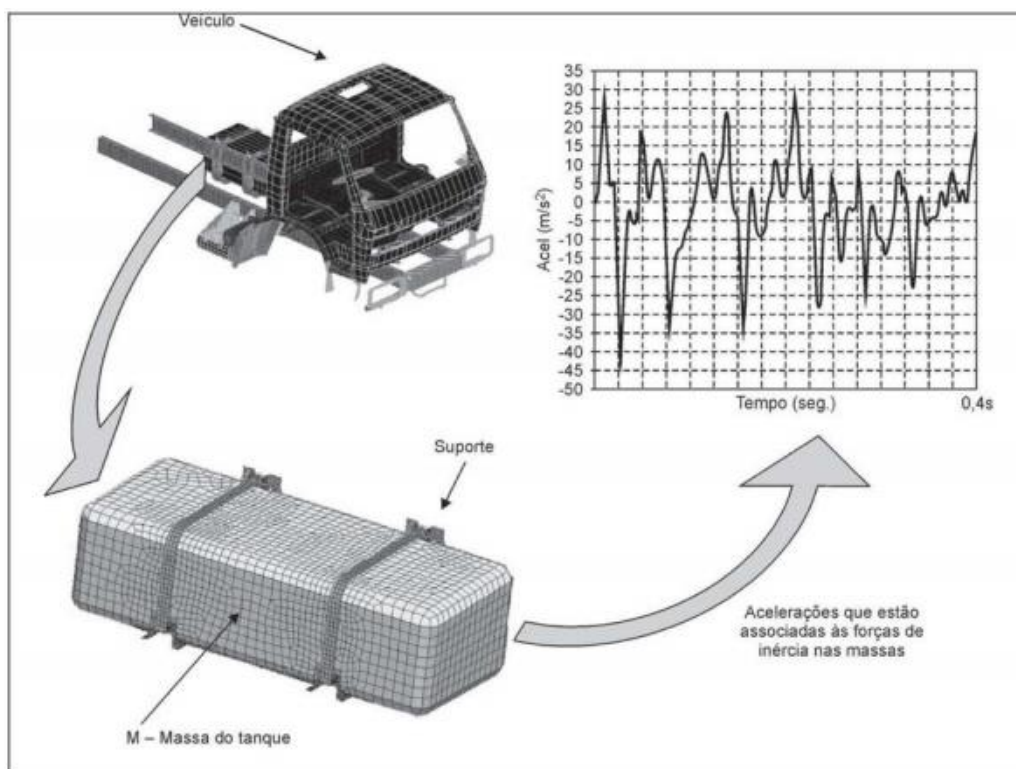
Figura 27. Esquema de um carregamento dinâmico.



Fonte: Alves Filho, Avelino, 1957- Elementos Finitos: a base da tecnologia CAE / análise dinâmica / Avelino Alves Filho. -- 2. ed. - São Paulo: Érica, 2008.

A figura abaixo mostra um tanque que sofre vibração ocasionada pela frenagem, aceleração, impacto vindo do solo e troca de marcha. Isso provoca certa aceleração nos elementos do veículo em diversas direções. No gráfico, temos a representação da aceleração vertical obtida em testes. A massa do tanque sofre o efeito dessa aceleração em um período de tempo juntamente com uma força de inércia. Assim, a estrutura que suporta o tanque e os outros elementos devem ser dimensionados a partir de uma análise dinâmica e não estática. Nesse caso, não se pode considerar somente a máxima força suportada pelo sistema como em uma análise estática. Dessa forma, é necessário analisar a força que está sendo aplicada em um período de tempo e as características de origem dinâmica proveniente nos elementos que serão dimensionados.

Figura 28. Exemplo do funcionamento de um carregamento dinâmico.



Fonte: Alves Filho, Avelino, 1957- Elementos Finitos: a base da tecnologia CAE / análise dinâmica / Avelino Alves Filho. -- 2. ed. - São Paulo: Érica, 2008.

2.8 ELEMENTOS FINITOS

2.8.1 Conceito

O conceito de análise de elementos finitos é entendido como um método de resolução de equações diferenciais, onde o sistema é dividido em partes menores e menos complexas, sob análise em diversos elementos, tais elementos possuem nós que naturalmente irão se deslocar quando um carregamento é aplicado sob ele, a partir daí as respostas sobre toda a ação são fornecidas.

Em teoria é um método que parece ser complexo, mas ao decorrer deste capítulo todas as etapas necessárias para realização de uma análise, e as respostas adquiridas serão compreendidas.

Uma gama de áreas existentes da engenharia é aplicável para uma análise de elementos finitos, como exemplo temos problemas estruturais, eletromagnéticos ou térmicos, o foco será nas análises feitas em estruturas.

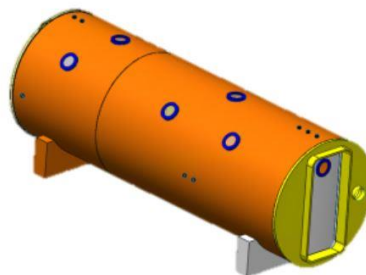
2.8.2 Objetivo Da Análise Estrutural

Uma análise estrutural que tem como base o método de elementos finitos possui alguns objetivos como viabilizar resultados de tensão, deslocamento de estruturas e a sua deformação, mas também é aplicável para equipamentos e produtos. A análise basicamente nos concede resultados essenciais para entendimento e identificação de durabilidade dos componentes, os pontos onde a tensão estará em maior concentração e quando forem submetidas a carregamentos, entender o comportamento estrutural, com isso a otimização de peças, componentes e equipamentos completos é feita antes mesmo da fabricação em massa. É padrão de toda grande indústria a utilização de softwares deste tipo como um pilar para desenvolvimentos de produtos.

2.8.3 Etapas De Criação

Passo 1: Criação e obtenção do modelo CAD do sistema que será submetido a análise;

Figura 29. Modelo CAD de câmara hiperbárica.

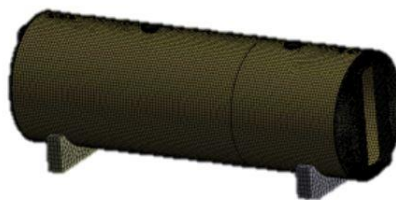


Fonte: Retirada do site <https://ensus.com.br/elementos-finitos-qualis-os-beneficios/>

Passo 2: Definição das propriedades do material;

Passo 3: Criação da malha de modelos de elementos finitos;

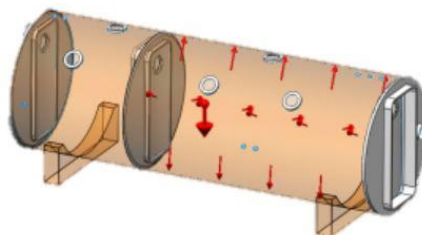
Figura 30. Malha de elementos finitos.



Fonte: Retirada do site <https://ensus.com.br/elementos-finitos-quais-os-beneficios/>

Passo 4: Definição das cargas e das condições de restrição;

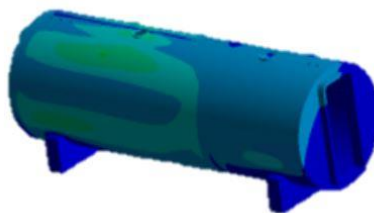
Figura 31. Condição de carregamento e condições.



Fonte: Retirada do site <https://ensus.com.br/elementos-finitos-quais-os-beneficios/>

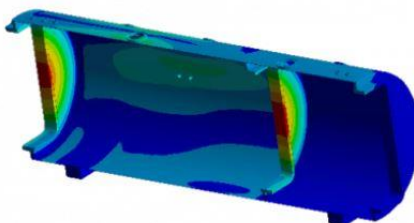
Passo 5: Resolução da análise;

Figura 32. Resultado do deslocamento.



Fonte: Retirada do site <https://ensus.com.br/elementos-finitos-quais-os-beneficios/>

Figura 33. Resultado do deslocamento em vista.



Fonte: Retirada do site <https://ensus.com.br/elementos-finitos-quais-os-beneficios/>

Passo 6: Verificação dos resultados obtidos;

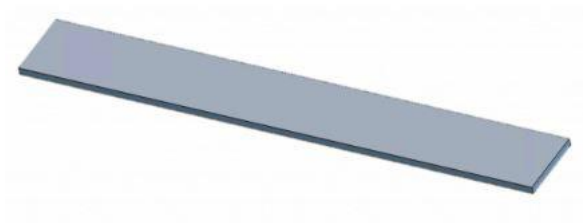
2.8.4 Interpretação Dos Resultados

Para análise dos resultados um modelo fictício será criado e todas as etapas apresentadas abaixo:

Como é observável na Figura 33 uma análise de elementos finitos apresenta uma escala de cor, onde as áreas com maiores resultados no quesito de tensão, deformação e deslocamento será simbolizada pela cor vermelha, enquanto as áreas de menor valor unitário serão representadas pela cor azul, vale destacar que em alguns softwares esta escala pode ser invertida.

Para o exemplo será utilizada uma régua de aço com 150mm (comprimento) x20mm (largura)x 2mm (espessura).

Figura 34. Régua de aço.



Fonte: Retirada do site <https://enssus.com.br/elementos-finitos-quais-os-beneficios/>

Esta régua está engastada em uma das extremidades e na outra será aplicada uma força de aproximadamente 5N. Já a definição das propriedades do material será definida como: Aço baixo carbono, módulo de elasticidade de 200GPa.

Figura 35. Condição de força e restrição.

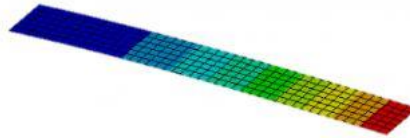


Fonte: Retirada do site <https://enssus.com.br/elementos-finitos-quais-os-beneficios/>

2.8.4.1 Deslocamento

Através do deslocamento é possível observar se algum ponto da peça se movimentou após a aplicação de uma força, é uma medida indicada em milímetros. Para valor de comparação da simulação com as condições reais do sistema, é um parâmetro válido e muito utilizado. Aqui o máximo valor de deslocamento estará na extremidade onde a força de 5N está sendo aplicada, onde ocorrerá um deslocamento de 2,01mm.

Figura 36. Deslocamento na régua de aço.



Fonte: Retirada do site <https://enssus.com.br/elementos-finitos-quais-os-beneficios/>

2.8.4.2 Deformação

Observando a deformação é possível perceber o quanto um corpo expressou variação de forma ou dimensão quando submetido a alguma força, lembrando que é uma unidade adimensional. Este parâmetro é amplamente utilizado quando se tem como interesse a comparação dos resultados com cálculo de fadiga, ensaios de extensometria e deformação plástica.

Aqui o máximo valor de deformação também estará na extremidade da régua que está presa, na maioria dos casos a deformação vai estar interligada ao ponto com a maior demanda de esforços de uma estrutura. Para realização do cálculo de tensão axial, é possível ligar a deformação a lei de Hooke:

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (3)$$

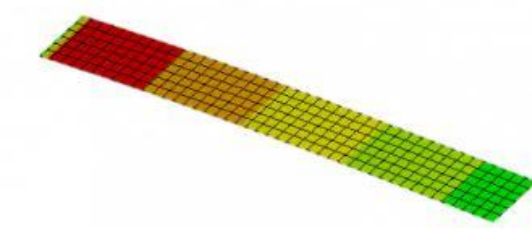
Onde:

σ = tensão

E = módulo de elasticidade

ε = deformação

Figura 37. Deformação no corpo de prova.



Fonte: Retirada do site <https://ensu.com.br/elementos-finitos-quais-os-beneficios/>

2.8.4.3 Tensão

Através da tensão é possível observar que ela é uma medida que está sempre relacionada a deformação, usualmente comparada ao limite de escoamento ou de ruptura de materiais, para melhor entendimento, o exemplo abaixo foi proposto:

Para este exemplo será considerada uma análise feita em uma peça fabricada em SAE 1020, o limite de escoamento de 350Mpa e com tensão máxima na casa dos 200Mpa, o coeficiente de segurança será:

$$C. S = \frac{\text{Limite de escoamento}}{\text{Tensão máxima}} \quad (4)$$

$$C. S. = \frac{350}{200} = 1,75$$

Com este valor é possível observar que para chegar ao limite de escoamento do tipo de material escolhido, a tensão deverá ser aumentada em 1,75x.

OBS: Em algumas análises é possível observar pequenas áreas que detém altas tensões, estas devem ser analisadas antes que qualquer medida seja tomada. Uma gama de possibilidades pode fazer com que estas tensões durante a análise sejam irreais.

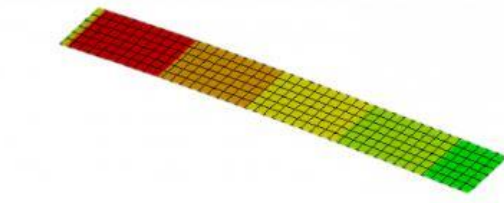
Neste caso é de fácil percepção que o ponto de maior tensão, está relacionado ao ponto mais solicitado da estrutura, que aqui é de 55,9Mpa segundo os cálculos a seguir:

$$\sigma = \frac{Mf * y}{I} \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{(5 * 150 * 1)}{20 * 23 / 12}$$

$$\sigma = 56,25 \text{ Mpa}$$

Figura 38. Tensão no corpo de prova.



Fonte: Retirada do site <https://enssus.com.br/elementos-finitos-quais-os-beneficios/>

É importante ressaltar que o método de análise de elementos finitos é uma simulação que tem como objetivo auxiliar a validação de projetos, todos os resultados tem que ser avaliados de maneira minuciosa, pois existem alguns fatores que podem fazer com que o produto final apresente divergência com a realidade. Estes fatores são, o tipo e tamanho da malha, o local de aplicação de forças e as restrições.

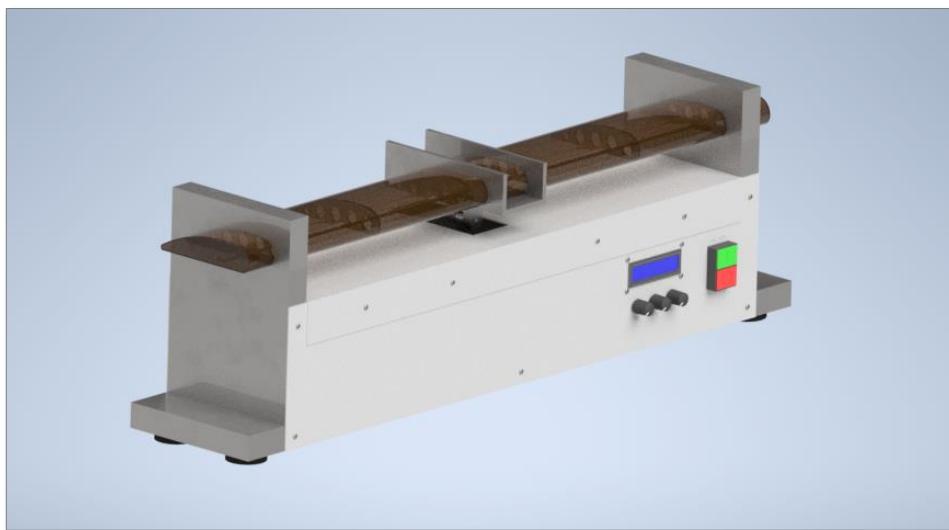
3 METODOLOGIA

O protótipo proposto para o experimento foi totalmente modelado a partir da ferramenta de modelagem 3D Inventor da Autodesk. Todas as peças e partes relevantes do projeto foram verificadas, desenhadas e modeladas como peças separadas (ipt*), com as medidas reais de cada peça assim como os materiais que as compõem.

Após todas as peças devidamente modeladas em separado, as mesmas foram montadas conforme o protótipo proposto e, assim, foi formado um protótipo modelado de conjunto (iam*) no Inventor com suas devidas relações de movimento (junções, restrições) configuradas para possibilitar a verificação de união entre as partes, as possíveis interferências e deslocamentos.

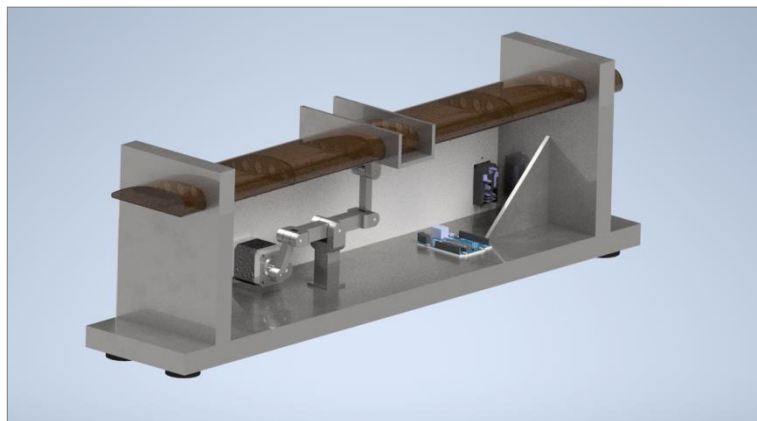
Com todo o protótipo modelado em 3D (conforme a figura 39, que mostra o protótipo montado e fechado, e a Figura 40), parametrizado com suas medidas e com todos os materiais designados, é possível se iniciar uma análise no protótipo com um viés matemático, focando em testes nas partes que o compõem com o princípio da análise de elementos finitos.

Figura 39. Protótipo Modelado completo e fechado.



Fonte: AUTORES (2020).

Figura 40. Protótipo sem a tampa dianteira para expor seu interior.

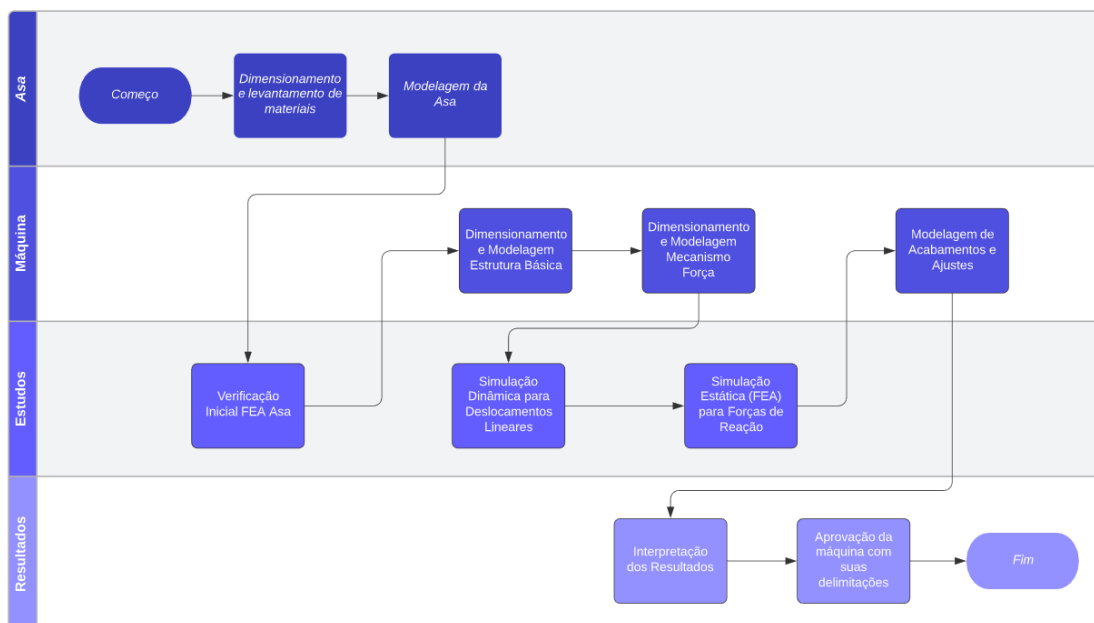


Fonte: AUTORES (2020).

Para qualquer análise computacional no protótipo, é muito importante que os materiais com seus devidos parâmetros reais estejam todos designados, pois assim, informações como massa, volume e momentos inerciais podem ser estabelecidos e utilizados nos cálculos a fim de se ter capacidade de obtenção da resistência, deformação e de cada peça.

Para o sequenciamento de desenvolvimento desse projeto, o fluxograma da Figura 41 pode ser acompanhado com as etapas divididas em execuções e objetos que são representadas pelo fluxo de desenvolvimento da asa, máquina, estudos e resultados.

Figura 41. Fluxograma de acompanhamento desse projeto.

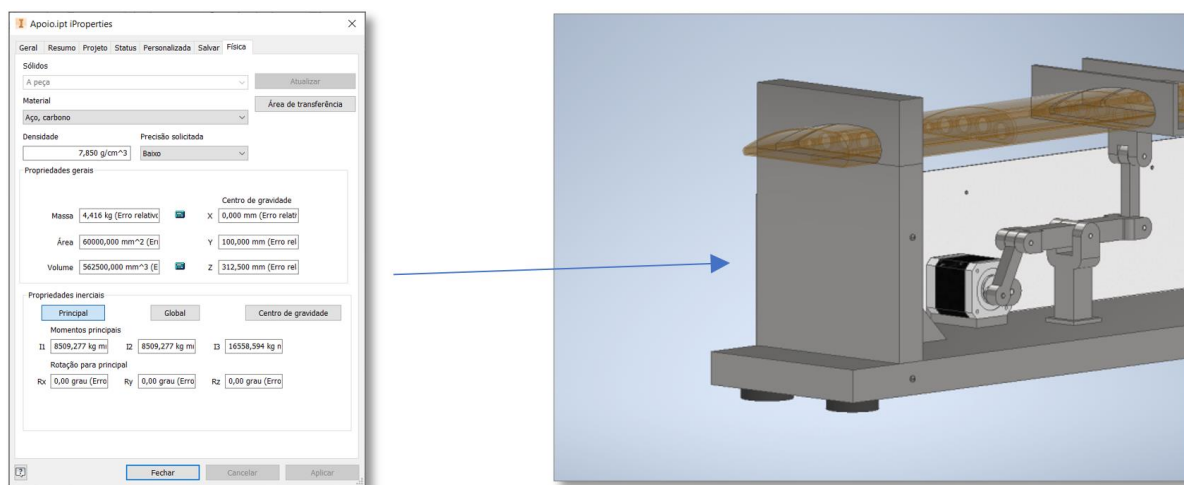


Fonte: AUTORES (2020).

O software de modelagem Inventor da Autodesk, possui um vasto banco de materiais com todos os dados já pré-estabelecidos conforme a utilização do Sistema Internacional.

Dessa forma, foi utilizado o maior número de materiais possível do banco de dados do Inventor (como madeira, aço carbono, aço inox), conforme pode ser visualizado na figura 42, onde temos como exemplo o material de “Aço Carbono” utilizado para o suporte lateral com todos os seus parâmetros, assim como, as propriedades físicas da peça.

Figura 42. Apoio lateral de aço carbono com a designação do material e suas propriedades.

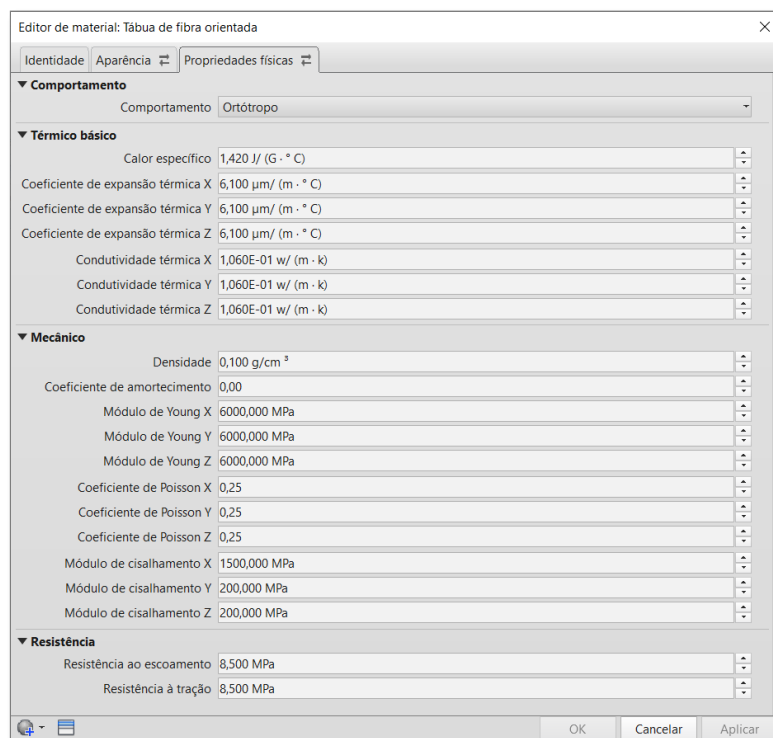


Fonte: AUTORES (2020).

Uma vez que, o propósito do protótipo é testar a fadiga de uma asa construída de compósito de fibra de bananeira, é necessário definir esse material no software Inventor, pois o mesmo que será utilizado na asa precisa ter alguns dados verificados e propostos para auxiliar na parametrização no software, a fim de possibilitar a maior proximidade possível das análises computacionais no protótipo.

Como o material proposto da asa é um compósito de fibra de bananeira a 30%, foi identificado dentro do software de modelagem algum material mais próximo possível para o início do estudo. Como partida inicial da criação do material foi utilizada a “Tábua de fibra orientada”, conforme Figura 43.

Figura 43. Material inicial como partida "Tábua de fibra orientada".

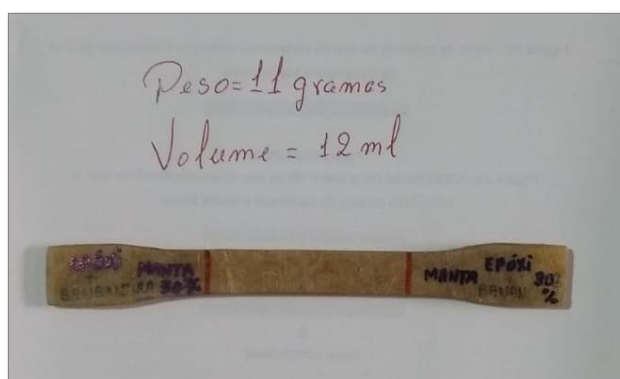


Fonte: AUTORES (2020).

Quanto mais informações sobre o material fosse obtido, as mesmas seriam introduzidas no software para refinamento da análise computacional. Assim, é possível verificar os resultados computacionais de deslocamento e deformações com os dados coletados empiricamente no protótipo e verificar o qual distante ou próximo se está das informações.

Ao utilizar os corpos de prova criados por CAMPBELL para o projeto empírico, foi possível à determinação do volume e peso do corpo de prova do compósito de fibra de bananeira a 30%, conforme Figura 44.

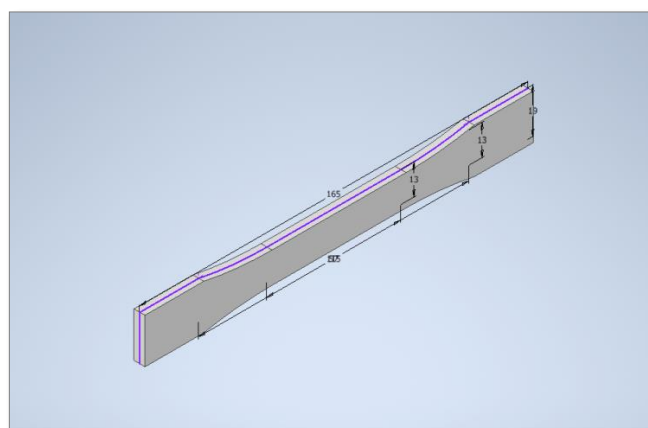
Figura 44. Corpo de prova do compósito de fibra de bananeira a 30% com volume e peso.



Fonte: CAMPBELL (2020).

Com as informações do corpo de prova real, foi possível efetuar uma modelagem 3D do mesmo, seguindo as dimensões conforme a ASTM D 638 (2014) a fim de se obter parâmetros físico-mecânicos do compósito de fibra de bananeira, conforme Figura 45.

Figura 45. Modelagem 3D do corpo de prova conforme ASTM D 638.



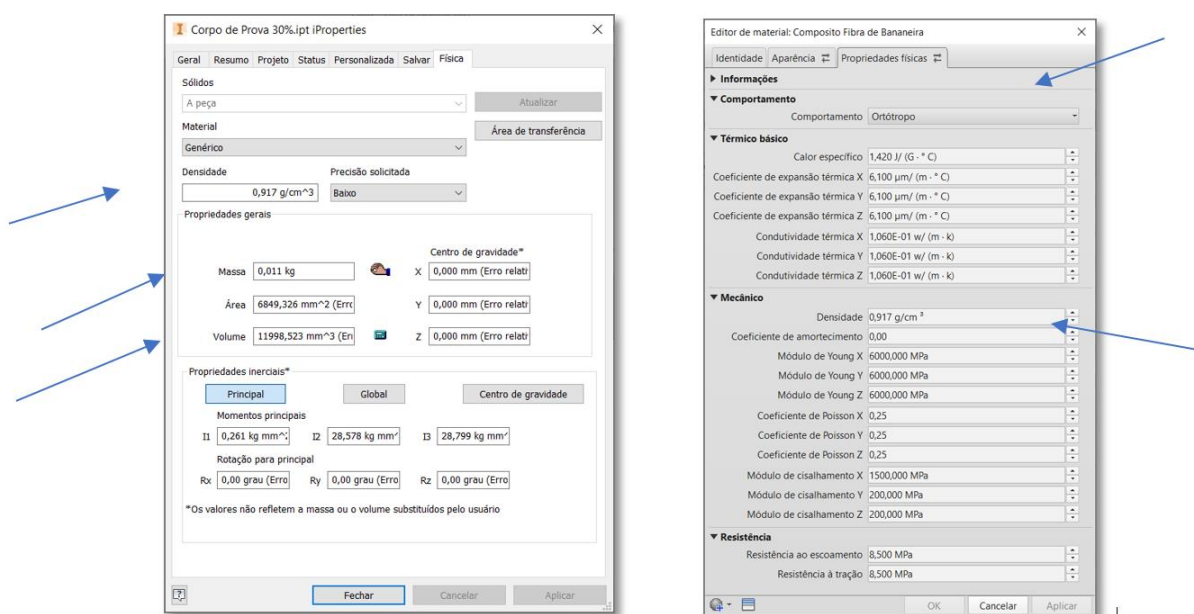
Fonte: AUTORES (2020).

Com uma modelagem que utiliza uma espessura de 3,2 mm, conforme a norma, o volume do corpo de prova deveria ser de 8,2 ml. Uma vez que, o corpo de prova criado estava com um volume de 12 ml e a sua dimensão da face estava

perfeita, foi determinado que o corpo de prova foi criado com uma espessura de 4,686 mm. Assim, a modelagem foi ajustada e seu volume ficou condizente com um valor de 11.998,523 mm³, o que gera um erro na ordem de 0,016%, sendo totalmente aceitável. Ao informar ao software Inventor que o peso do corpo de prova é de 11 g (0,011 Kg), foi possível a determinação da densidade do material compósito de fibra de bananeira 30% como 0,917 g/cm³.

Com a densidade do material definida, o material foi criado no Inventor, conforme Figura 46, tendo a possibilidade de se aplicar esse material na asa a ser testada.

Figura 46. Criação do material compósito de fibra de bananeira.



Fonte: AUTORES (2020).

A partir disso, o material foi determinado e criado para se iniciar a modelagem da asa que seria testada pelo protótipo em desenvolvimento.

As informações dimensionais da asa foram informadas e possuem como base 720 mm de comprimento e 110 mm de largura. A espessura (do maior trecho) não foi informada, mas foi apresentada a estrutura interna utilizada na criação da asa com as suas nervuras e uma longarina.

A imagem da estrutura interna da asa (conforme Figura 47) mostra quantas nervuras foram utilizadas para se obter um possível perfil NACA para tais nervuras.

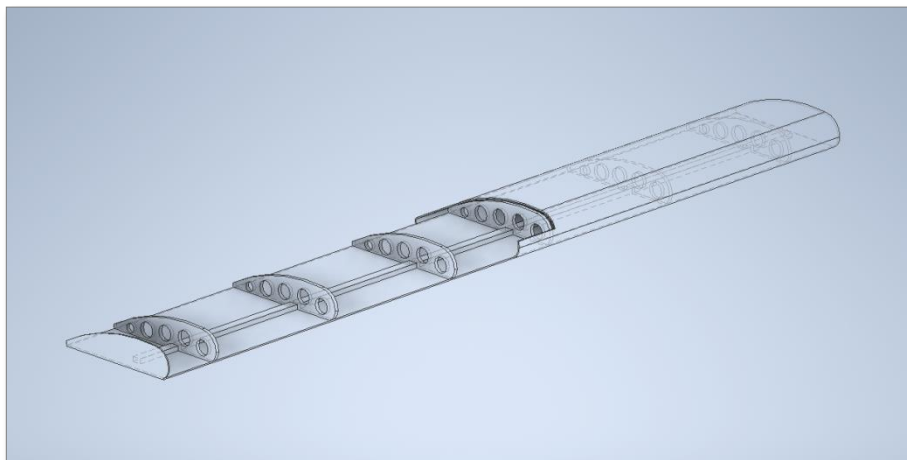
Figura 47. Estrutura interna da asa de compósito real.



Fonte: AUTORES (2020).

Dessa forma, foi possível modelar toda a asa com a mesma estrutura e construção. É importante ressaltar, que o trecho de maior espessura ficou com aproximadamente 26 mm. A asa modelada pode ser observada na Figura 48, com um corte em sua fuselagem para visualização interna da estrutura.

Figura 48. Asa modelada com representação "aramada".



Fonte: AUTORES (2020).

Após a modelagem da asa, foi aplicado o material de compósito de fibra de bananeira (previamente criado), conforme Figura 49.

Figura 49. Asa modelada com representação realística com o material de compósito de fibra de bananeira.



Fonte: AUTORES (2020).

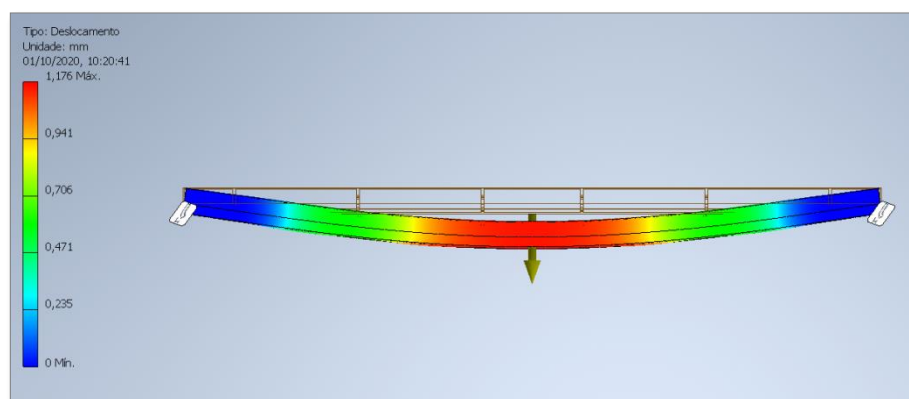
Para a verificação da estrutura da asa, foi utilizada a ferramenta FEA* do próprio Inventor a fim de verificar se as informações computacionais coincidem com a

do protótipo. Foi executado um estudo simples de análise de tensões por elementos finitos em busca do parâmetro de deslocamento da asa.

No estudo, a asa foi configurada como construída de compósito de fibra de bananeira (material inicial de teste e previamente criado), com as suas extremidades “travadas” como ponto de restrição para o estudo e foi aplicada uma força correspondente a um peso de 6 Kg ($\approx 58,84$ N) no seu ponto central de cima para baixo. Sua malha foi configurada e modelada e, assim, o estudo em busca do deslocamento após a carga estática pôde ser simulado.

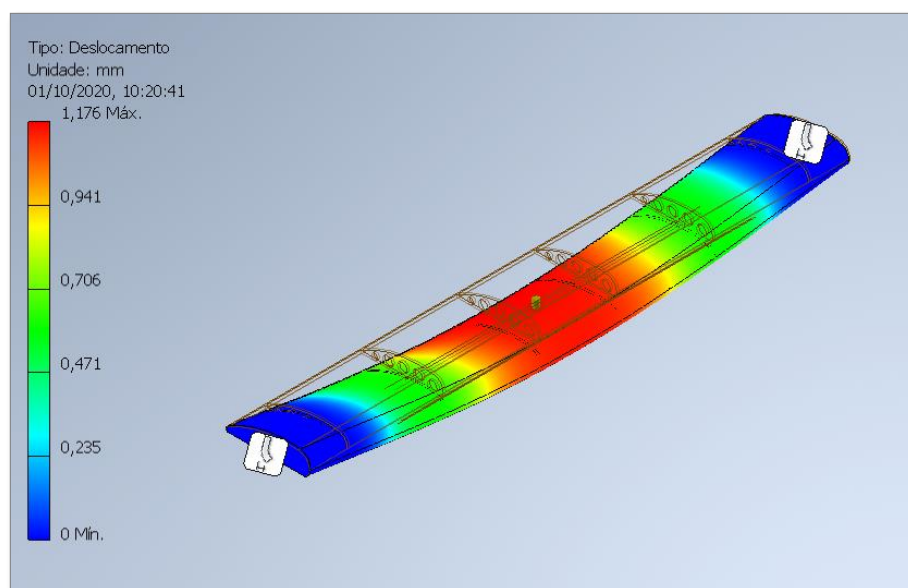
É possível verificar um deslocamento proposto pela análise computacional, conforme pode ser visualizado na Figura 50 e Figura 51, na ordem de 1,176 mm no ponto de maior deslocamento (centro) e, assim, efetuar um comparativo com as informações empíricas do protótipo para o ajuste fino dos dados do material.

Figura 50. Estudo FEA (visão frontal) para deslocamento na asa (compósito fibra de bananeira) e uma carga de 6Kg.



Fonte: AUTORES (2020).

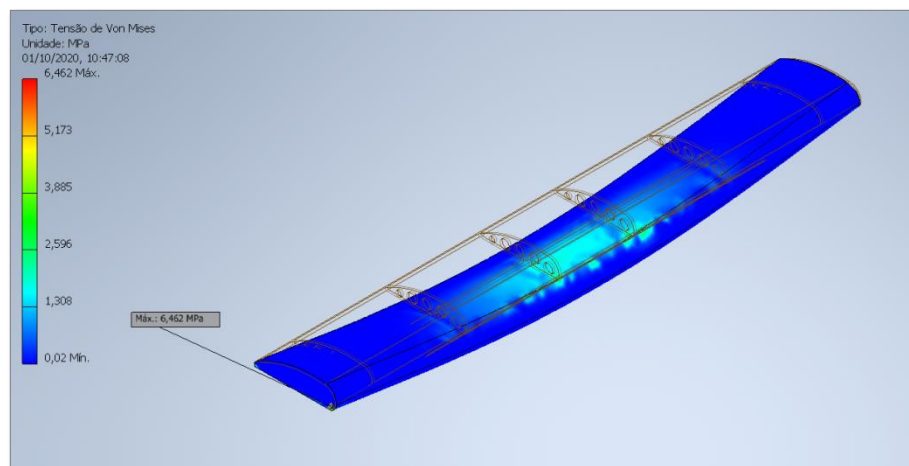
Figura 51. Estudo FEA para deslocamento na asa (compósito fibra de bananeira) e uma carga de 6Kg.



Fonte: AUTORES (2020).

No mesmo estudo, é possível analisar a tensão de Von Mises, conforme Figura 52, que para os parâmetros fornecidos ao material (compósito de fibra de bananeira com dados de fibras orientadas), as tensões para uma carga de 6 Kg no centro não são preocupantes. Apesar do maior valor (6,462 Mpa) se aproximar do valor de tensão de escoamento (8,5 Mpa), o ponto onde essa tensão surgiu não demonstra nenhum problema, pois foi em um dos pontos que estava determinado como ancoramento de extremidade para o teste. Com isso, não surgiu nenhum ponto preocupante em sua estrutura interna.

Figura 52. Estudo FEA para Von Mises na asa (compósito fibra de bananeira) e uma carga de 6Kg.



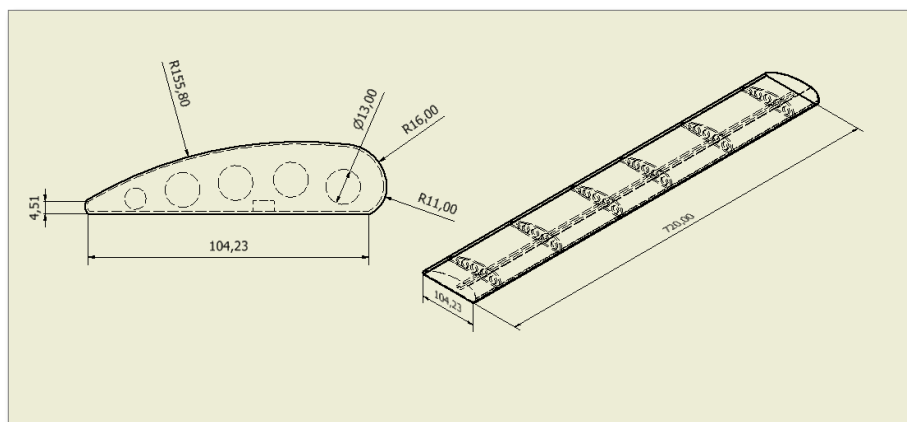
Fonte: AUTORES (2020).

Com os dados da asa testados, é possível agora projetar, dimensionar e modelar o protótipo de teste com o objetivo de poder testar a asa de forma ciclada para análise de fadiga.

3.1 MONTAGENS E DEFINIÇÕES

Como as dimensões da asa e seus parâmetros são conhecidos, conforme a Figura 53, é possível iniciar a definição das dimensões e parâmetros da máquina de teste.

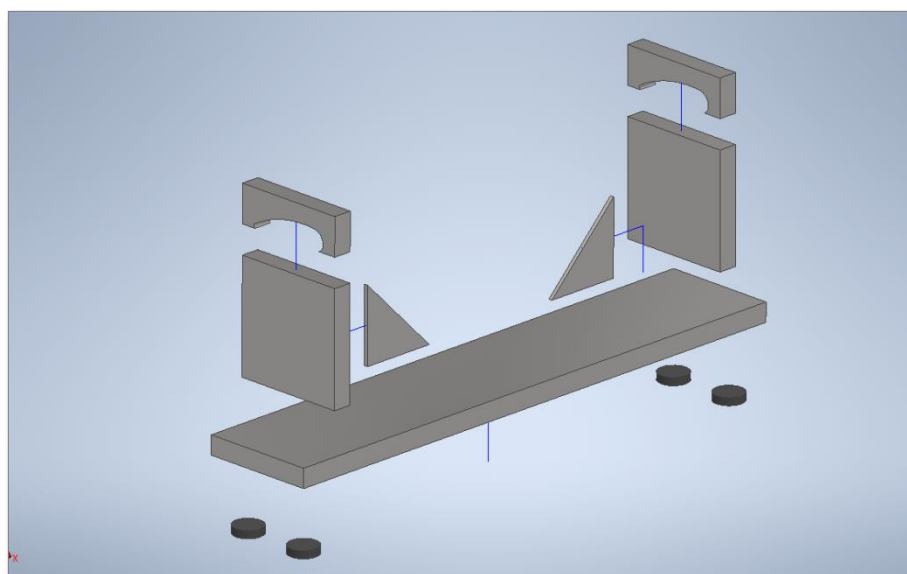
Figura 53. Formato, dimensões e parâmetros da asa usado como base para máquina.



Fonte: AUTORES (2020).

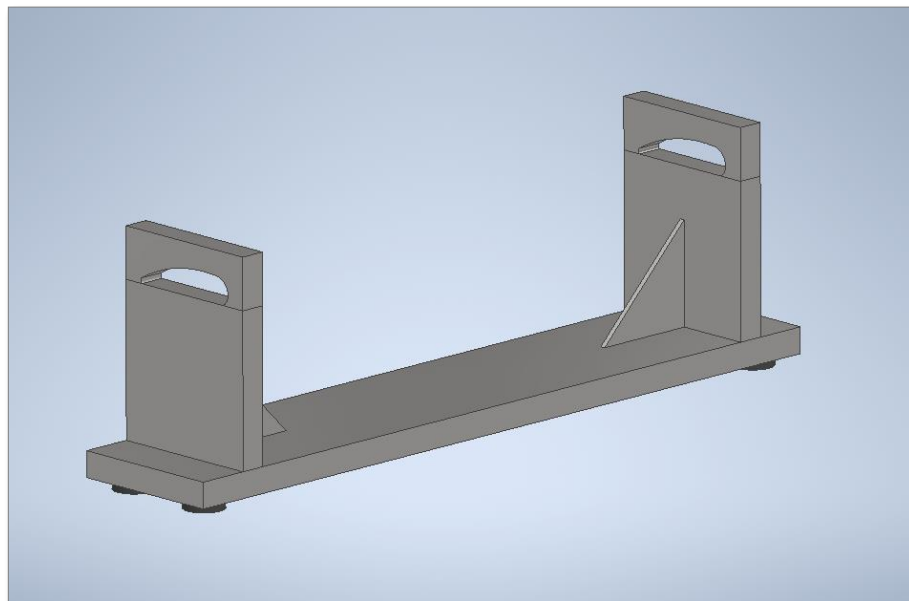
Dessa forma, foram definidas as dimensões e primeiras peças da máquina de teste para garantir um bom equilíbrio e proporção à asa que será testada. Conforme a Figura 54, pode ser visualizada as primeiras partes da montagem da máquina seguido da Figura 55, com as peças acopladas.

Figura 54. Montagem dos componentes iniciais e estruturais.



Fonte: AUTORES (2020).

Figura 55. Peças iniciais devidamente acopladas.

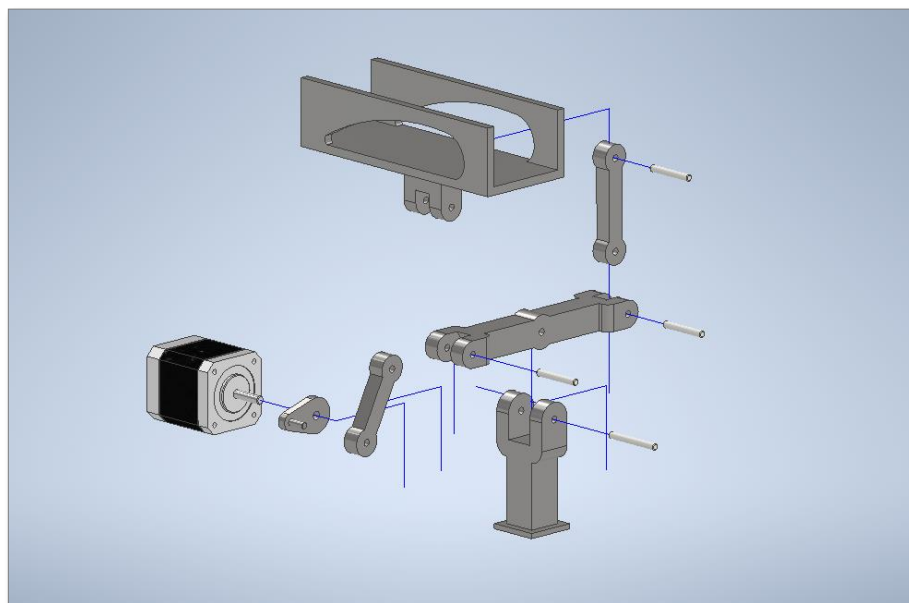


Fonte: AUTORES (2020).

Após a estrutura básica da máquina de testes modelada e ajustada, foi possível criar o sistema de transferência de força.

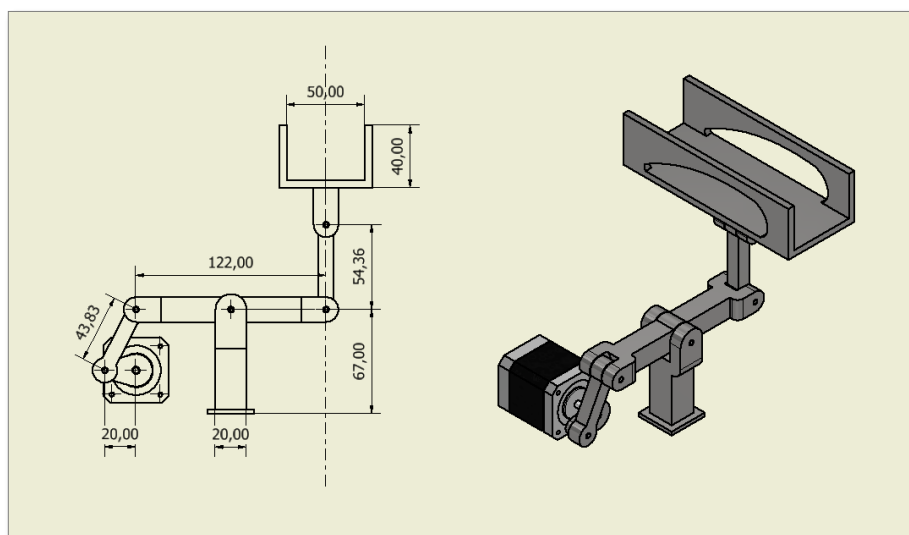
Esse sistema, utiliza um motor de passo NEMA 17 para proporcionar o torque no conjunto que é transformado em movimento linear através de um mecanismo tipo gangorra acoplado por uma biela ao dispositivo “forçador” da asa, conforme imagem explodida da Figura 55 e detalhes dimensionais na Figura 57.

Figura 56. Mecanismo de força explodido.



Fonte: AUTORES (2020).

Figura 57. Dimensionamento do mecanismo de força.

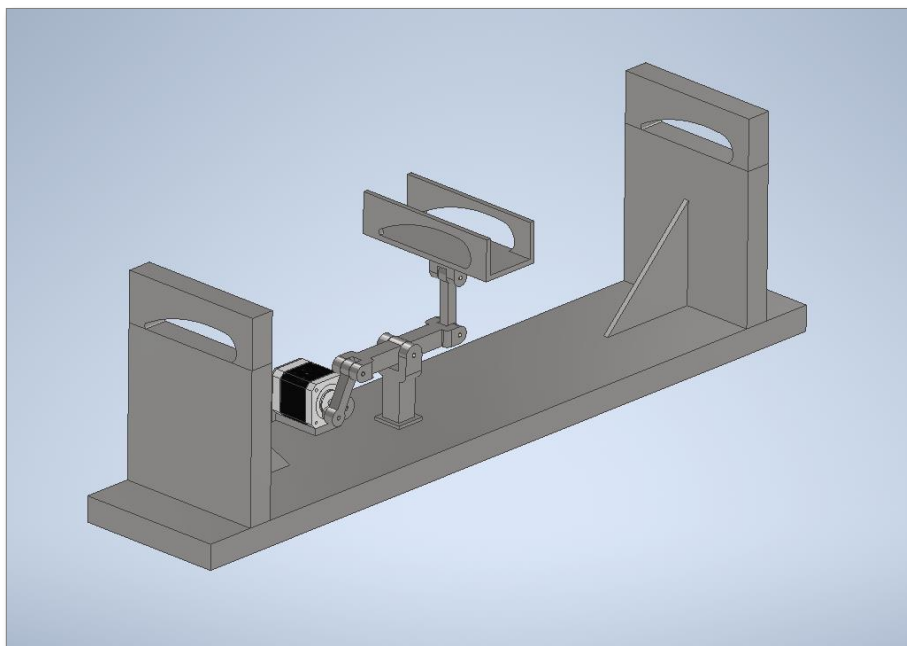


Fonte: AUTORES (2020).

Com a modelagem de toda a estrutura básica de apoio e do mecanismo de força (conforme Figura 58), assim como, o acoplamento dos dois utilizando como restrição a linha de centro do “forçador” da asa, o sistema já possui condições de

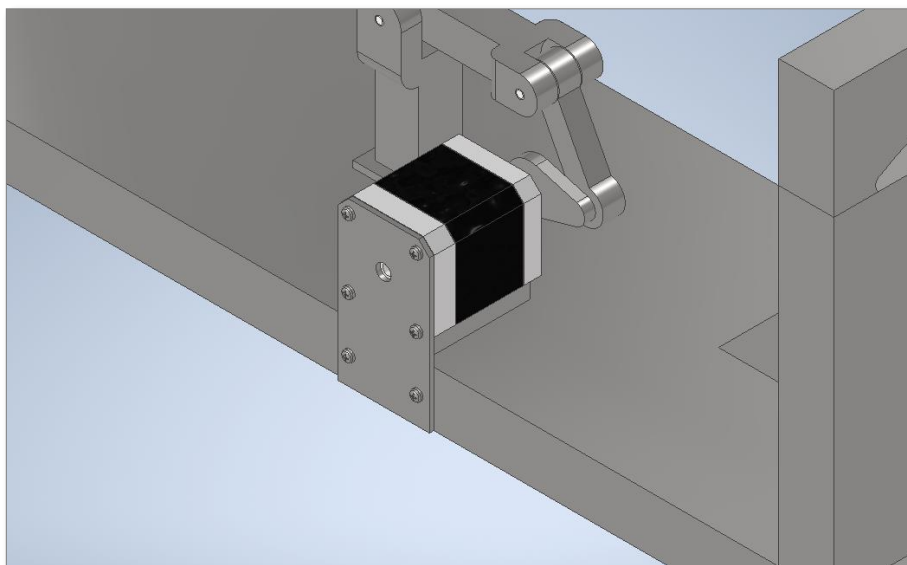
avaliações de simulações mecânicas. Na Figura 59, pode ser observado o acoplamento criado para determinar o ponto e travar o motor.

Figura 58. Estrutura de apoio básico com o sistema de força.



Fonte: AUTORES (2020).

Figura 59. Detalhe da placa de travamento do motor.



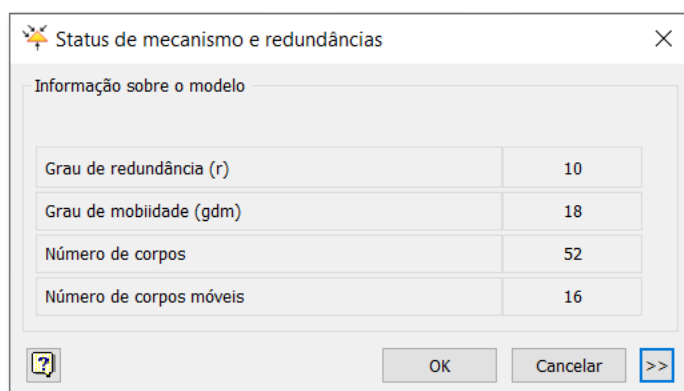
Fonte: AUTORES (2020).

3.2 SIMULAÇÃO DINÂMICA

Com o protótipo devidamente modelado e ajustado, foi possível determinar os pontos de contato das peças a fim de observar o que deve ser fixo e o que deve ser móvel.

Após ter os pontos definidos, indicando as partes fixas e as devidas juntas (a maioria cilíndrica - eixos), podemos definir os parâmetros de contorno para realizar a simulação. Conforme o software Inventor (Figura 60), podemos verificar também o status do mecanismo.

Figura 60. Status do mecanismo antes da simulação.



Fonte: AUTORES (2020).

Para a simulação, foram definidos os seguintes parâmetros de contorno:

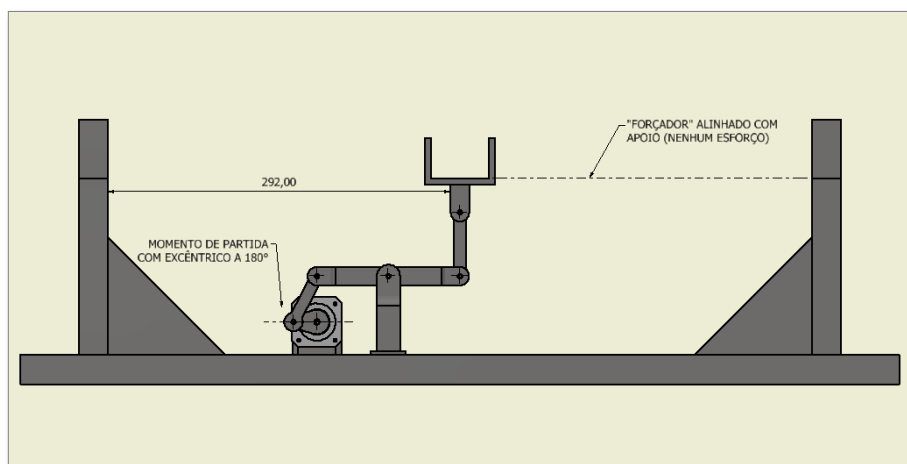
- Torque no eixo do motor: 0,001 Nm;
- RPM motor: 30;
- Ângulo inicial do excêntrico: 180 graus;
- Posição inicial do “forçador”: 0 mm (centro).

É importante ressaltar, que nesse momento o ponto de interesse na simulação é a movimentação do conjunto, a fim de determinar se todas as peças possuem o movimento correto (sem interferências) e qual será o movimento linear final no “forçador” da asa.

A determinação do movimento linear no “forçador” possibilitará uma análise estática na asa usando estes parâmetros.

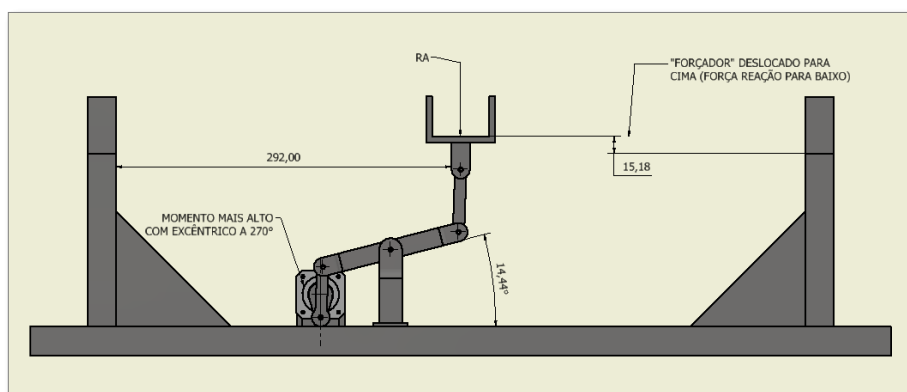
Após execução da simulação dinâmica e verificação de que todos os pontos se encontram sem interferências, podemos apresentar os quatro (04) momentos mais importantes na simulação conforme as imagens d Figura 61 até a Figura 64.

Figura 61. Momento inicial da simulação, excêntrico a 180 graus.



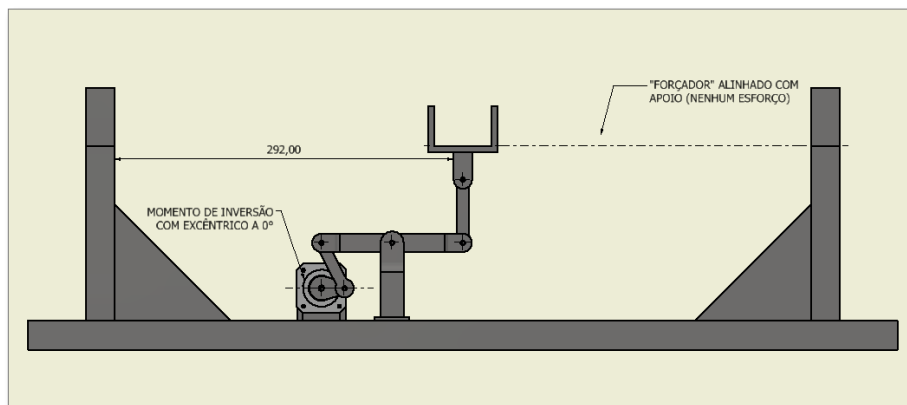
Fonte: AUTORES (2020).

Figura 62. Momento de maior esforço para cima, excêntrico a 270 graus e força de reação RA.



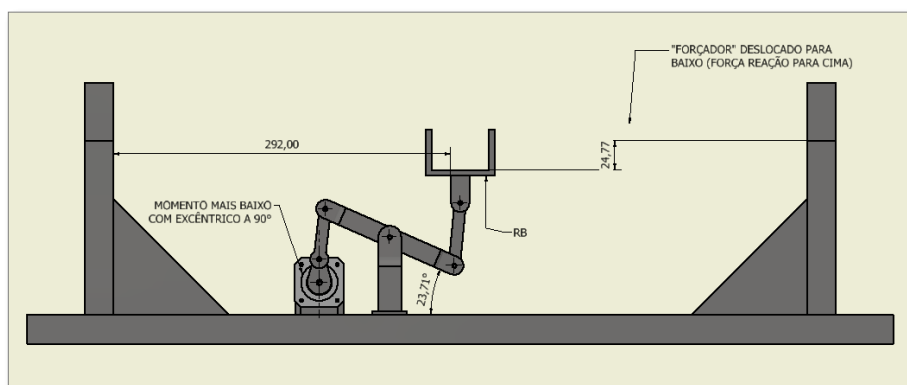
Fonte: AUTORES (2020).

Figura 63. Momento de inversão do movimento, excêntrico a 0 graus.



Fonte: AUTORES (2020).

Figura 64. Momento de maior esforço para baixo, excêntrico a 90 graus e força de reação RB.

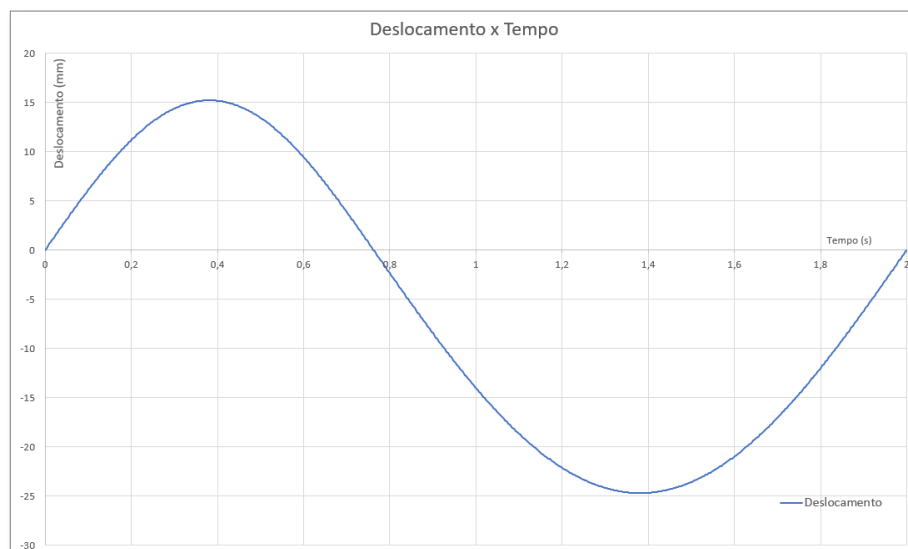


Fonte: AUTORES (2020).

Após a execução da simulação, análise dos dados e parâmetros, foi possível observar que o protótipo executará um deslocamento linear assimétrico no centro da asa, sendo um deslocamento de 15,18 mm para cima (conforme Figura 62) e um deslocamento de 24,77 mm para baixo (conforme Figura 64).

A simulação gerou dados de movimentação que foram convertidos em um gráfico (conforme Figura 65), com o objetivo de se avaliar se todo movimento estava correto e cíclico.

Figura 65. Gráfico de deslocamento linear dentro de um ciclo.



Fonte: AUTORES (2020).

Conforme o gráfico da Figura 65, é possível notar que o movimento completo (1 ciclo) ocorre em um período de dois (02) segundos, dessa forma, a frequência ajustada é de 0,5 Hz. Essa informação está de acordo com os parâmetros de contorno que determinou a rotação do motor em 30 RPM.

Com as informações de deslocamento linear, pode-se efetuar uma simulação estática com a FEA para verificar a "resposta" da asa a esse esforço.

3.3 SIMULAÇÃO ESTÁTICA

Com as informações fornecidas pela simulação dinâmica, é possível efetuar dois estudos estáticos na asa, um para verificar a flexão para cima e o outro para verificar a flexão para baixo.

O primeiro estudo, foi desenvolvido na asa a fim de se encontrar a força necessária para flexioná-la para cima. Para isso, foram indicados os seus pontos de restrição, deslocamento para cima, malha e material.

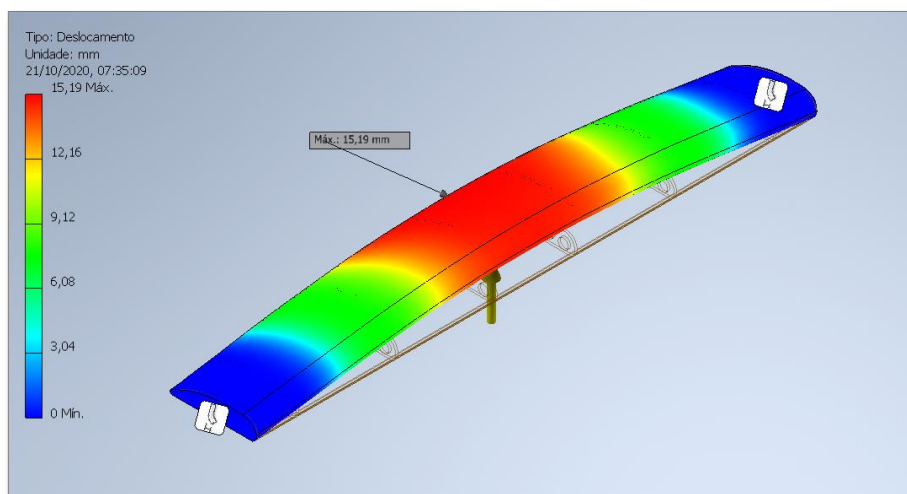
Para que se executasse a primeira simulação, foram determinados os seguintes parâmetros de contorno:

- Material: Compósito fibra de bananeira (previamente criado);
- Malha: Automática;
- Restrições: Travamento nas extremidades com possibilidade de rotação no sentido da flexão (tipo pino);
- Deslocamento: 15,18 mm para cima.

Esses parâmetros foram designados e a simulação foi executada em busca da força necessária até atingir o deslocamento configurado.

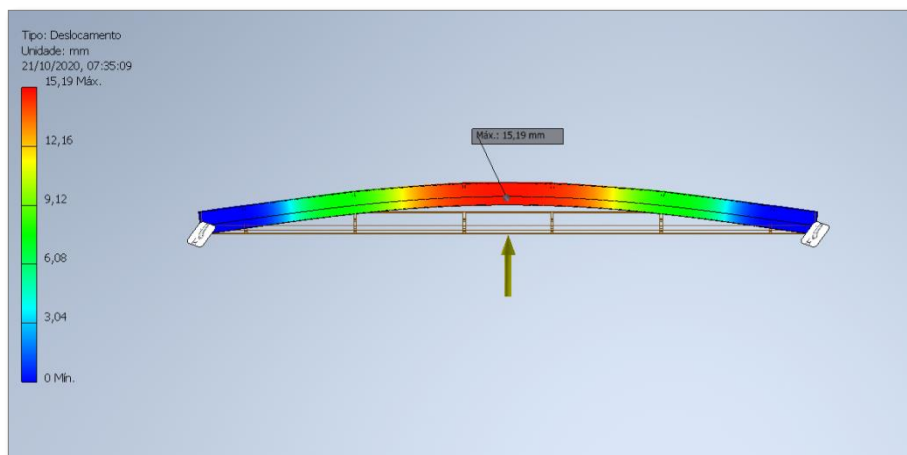
Após a execução da simulação, foram obtidas as informações de gradiente para as deformações, conforme Figura 66 e Figura 67, e a resposta de força necessária, assim como, a tensão de Von Mises que será apresentada nos resultados.

Figura 66. Gradiente de deformação em simulação estática até atingir o deslocamento de 15,18mm para cima configurado - perspectiva.



Fonte: AUTORES (2020).

Figura 67. Gradiente de deformação em simulação estática até atingir o deslocamento de 15,18mm para cima configurada – frontal.



Fonte: AUTORES (2020).

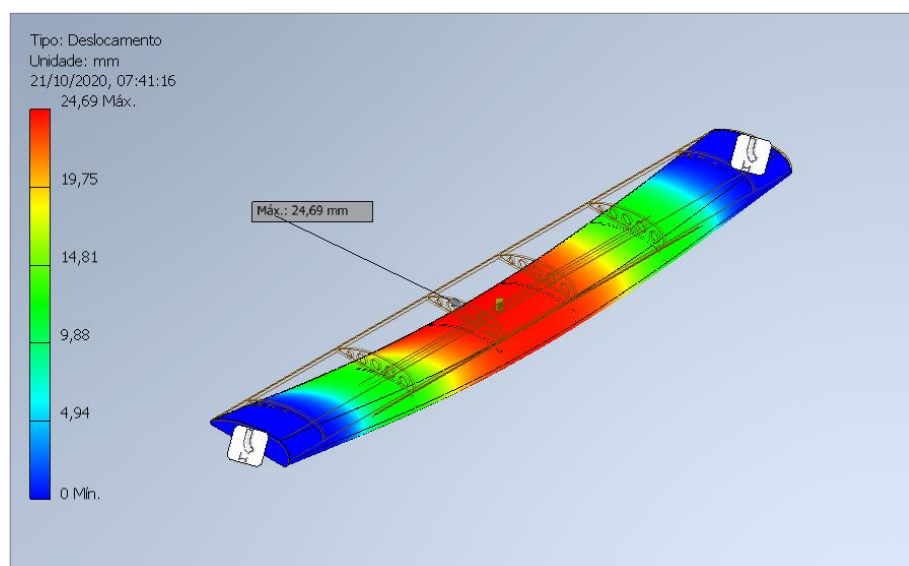
Para que se executasse a segunda simulação, foram determinados os seguintes parâmetros de contorno:

- Material: Compósito fibra de bananeira (previamente criado);
- Malha: Automática;
- Restrições: Travamento nas extremidades com possibilidade de rotação no sentido da flexão (tipo pino);
- Deslocamento: 24,77 mm para baixo.

Esses parâmetros foram designados e a simulação foi executada em busca da força necessária até atingir o deslocamento configurado.

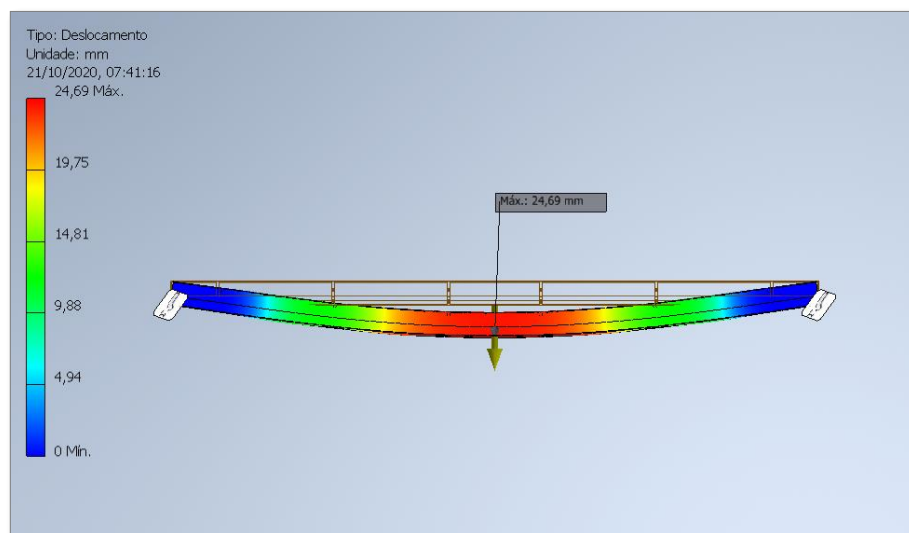
Após a execução da simulação, foram obtidas as informações de gradiente para as deformações, conforme Figura 68 e Figura 69, e a resposta de força necessária, assim como, a tensão de Von Mises que será apresentada nos resultados.

Figura 68. Gradiente de deformação em simulação estática até atingir o deslocamento de 24,77mm para baixo configurado - perspectiva.



Fonte: AUTORES (2020).

Figura 69. Gradiente de deformação em simulação estática até atingir o deslocamento de 24,77mm para baixo configurado - frontal.



Fonte: AUTORES (2020).

3.4 ACABAMENTOS

Com todos os estudos realizados, protótipo modelado e ajustado, é preciso criar e modelar os acessórios de acabamento para a máquina de teste a fim de promover uma melhor aparência ao projeto, assim como, proporcionar segurança as partes móveis (segurança para os mecanismos e para os operadores) e também proteger os dispositivos de instrumentação internos.

Além do acabamento, é preciso também disponibilizar uma interface de operação para a máquina, a fim de possibilitar os ajustes dos parâmetros de teste, como frequência de trabalho, ciclos, horas e outros parâmetros que se deseje configurar.

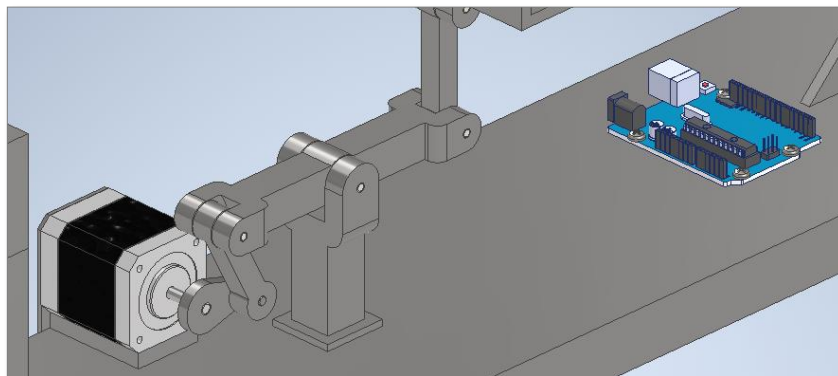
Ao utilizar um motor de passo como força motriz ao movimento, é necessário introduzir um dispositivo de controle para esse motor, que funciona com impulsos controlados e não simplesmente alimentando-o com tensão.

Dessa forma, foi considerada a utilização de um dispositivo de controle universal e amplamente conhecido como Arduino. Foi adicionado um Arduino modelo UNO R3 a fim de proporcionar controle ao motor de passo e aceitar as informações do potenciômetro, assim como, apresentação em um display.

O Arduino é conhecido pela sua fácil operação, programação e a disponibilidade de bibliotecas prontas para motores de passo, display, knobs e outros dispositivos, não exigindo desenvolvimento de placas eletrônicas e nem programação pesada (programação bastante básica).

A Figura 70, apresenta o motor de passo e o Arduino colocados internamente, sendo dispositivos pertencentes ao sistema de instrumentação e controle.

Figura 70. Arduino Uno R3 que controlará o motor de passo.

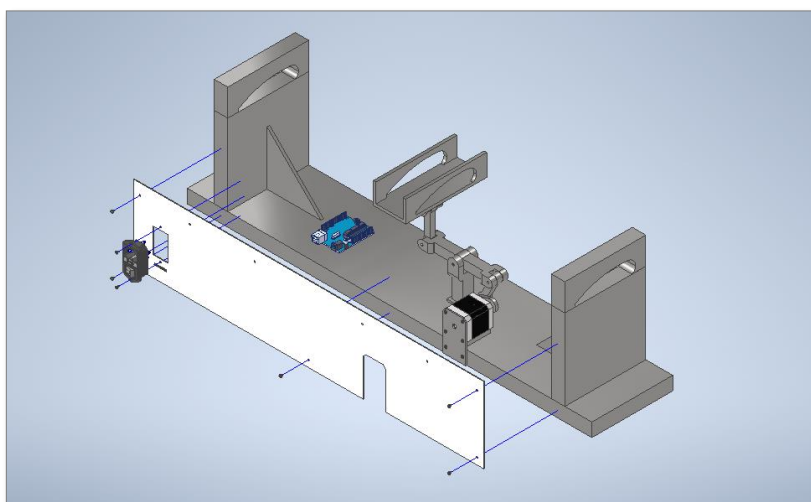


Fonte: AUTORES (2020).

Com o objetivo de promover uma segurança de fechamento à máquina, foi modelada uma tampa traseira presa com cinco parafusos com um dispositivo de conexão de alimentação AC padrão, conforme Figura 71 e Figura 72.

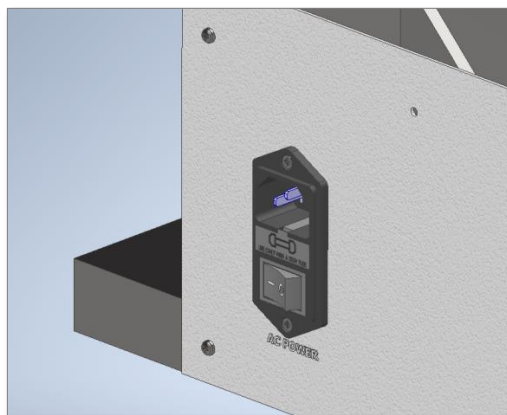
A tampa possui o recorte para a peça de travamento do motor, assim como, a furação em sua parte superior para fixação da tampa superior.

Figura 71. Tampa traseira com seus ajustes e pintura epóxi branca para fechamento traseiro da máquina.



Fonte: AUTORES (2020).

Figura 72. Detalhe do dispositivo de alimentação AC com chave geral e proteção por fusível.

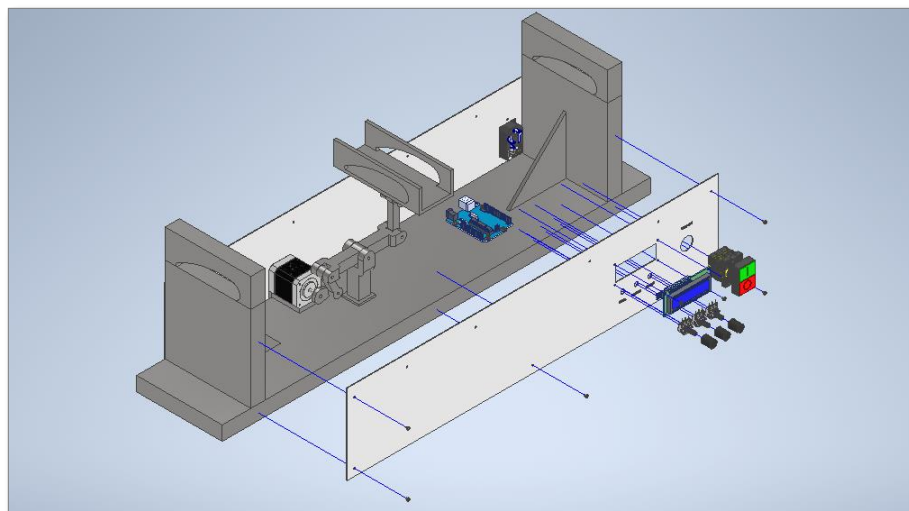


Fonte: AUTORES (2020).

Para a proteção da parte frontal, foi modelada uma tampa presa com cinco parafusos com um dispositivo de partida (on/off), display 16x2 (esse display se conecta ao Arduino por I2C e apresenta 16 caracteres em 2 linhas) para a leitura dos parâmetros, três potenciômetros com seus Knobs para controle dos parâmetros de frequência, ciclo e hora, conforme Figura 73 e Figura 74.

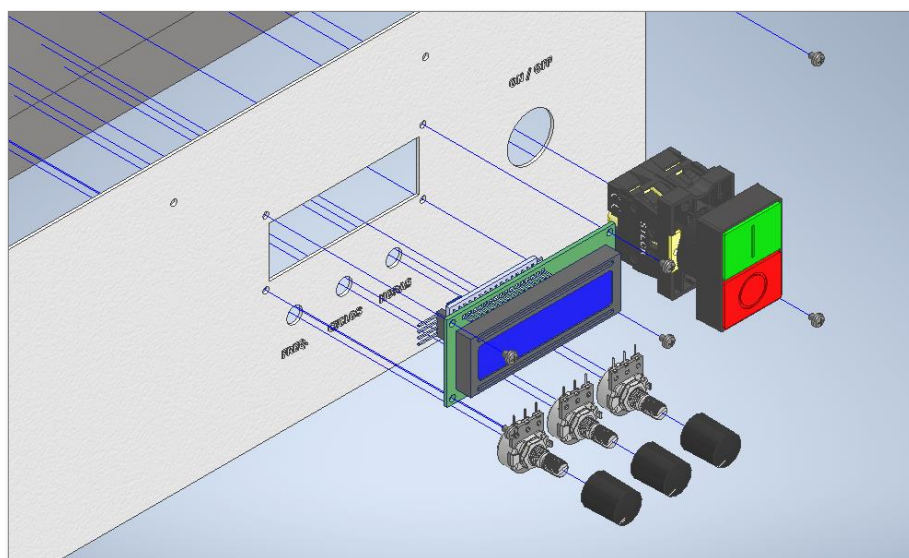
A tampa possui furação em sua parte superior para fixação da tampa de cima. Pode ser visualizado na Figura 75, uma renderização dos acessórios de controle.

Figura 73. Tampa traseira com seus ajustes e pintura epóxi branca para fechamento traseiro da máquina



Fonte: AUTORES (2020).

Figura 74. Detalhe do sequenciamento dos acessórios de controle presos na tampa frontal.



Fonte: AUTORES (2020).

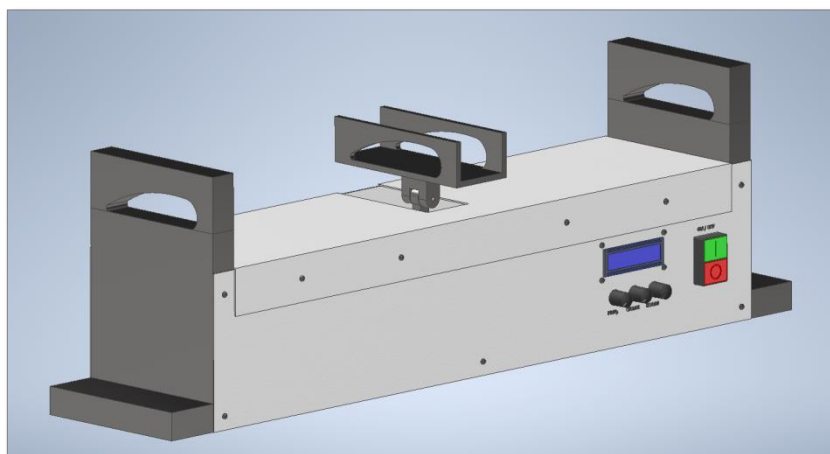
Figura 75. Detalhe dos acessórios de controle renderizado.



Fonte: AUTORES (2020).

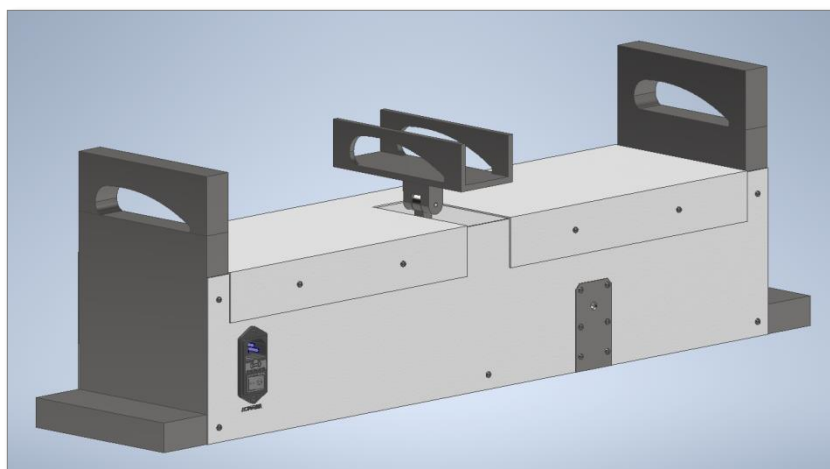
Para proporcionar o fechamento superior, foi modelada uma tampa com duas abas e quatro furos em cada uma, para se fixar na tampa frontal e traseira, conforme Figura 76 e Figura 77. No centro da tampa existe um rasgo para a passagem da biela de movimento linear que auxilia também na desmontagem.

Figura 76. Vista da parte frontal da tampa superior proporcionando fechamento completo da máquina.



Fonte: AUTORES (2020).

Figura 77. Vista da parte traseira da tampa superior proporcionando fechamento completo da máquina.



Fonte: AUTORES (2020).

Com todos os detalhes apresentados, foi possível efetuar o fechamento da máquina a fim de promover segurança e proteção, assim como, disponibilizar os acessórios de alimentação, partida, controle e monitoração da máquina de teste.

4 RESULTADOS

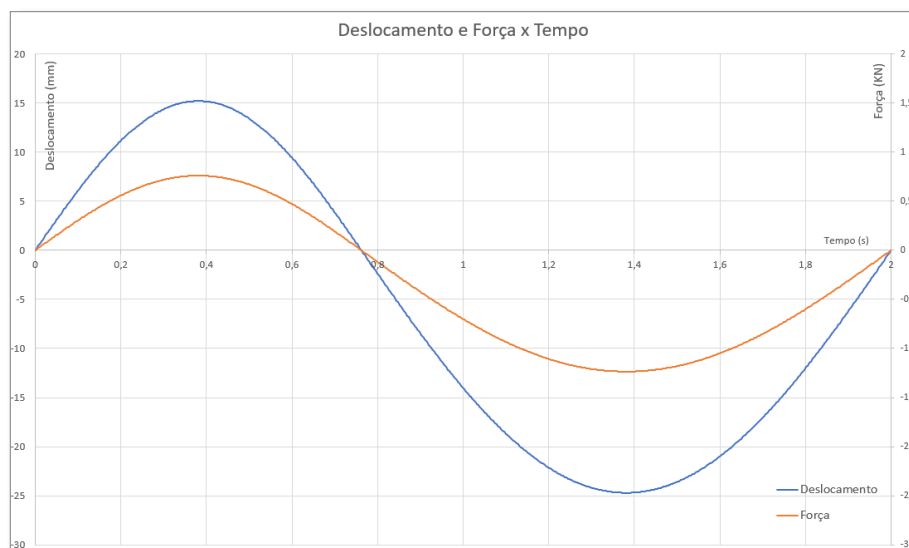
Após todos os dimensionamentos, ajustes e testes na máquina, foi possível a realização dos estudos de simulação dinâmica a fim de se obter a movimentação das peças e os “ranges” de movimento linear, assim como, a simulação estática utilizando tais testes, com o objetivo de se verificar os esforços ao qual a asa estava sendo exposta com tal deslocamento verificado.

Com a captura das informações de ambas as simulações (dinâmicas e estáticas), foi possível realizar um “cruzamento” dos dados e encontrar as forças de reação presentes na asa para os deslocamentos efetuados.

Conforme a Figura 62 e Figura 64, foi efetuado um deslocamento de 15,18 mm para cima que flexionou a asa no mesmo sentido e provocou uma força de reação RA e um deslocamento de 24,77 mm para baixo que flexionou a asa no mesmo sentido e provocou uma força de reação RB.

O “cruzamento” dos dados possibilitou a criação de um gráfico (conforme a Figura 78), a fim de se encontrar as forças presentes em RA e RB.

Figura 78. Gráfico de "cruzamento" do deslocamento e força de reação ao longo do tempo.



Fonte: AUTORES (2020).

As informações presentes no gráfico apresentam forças de reação de:

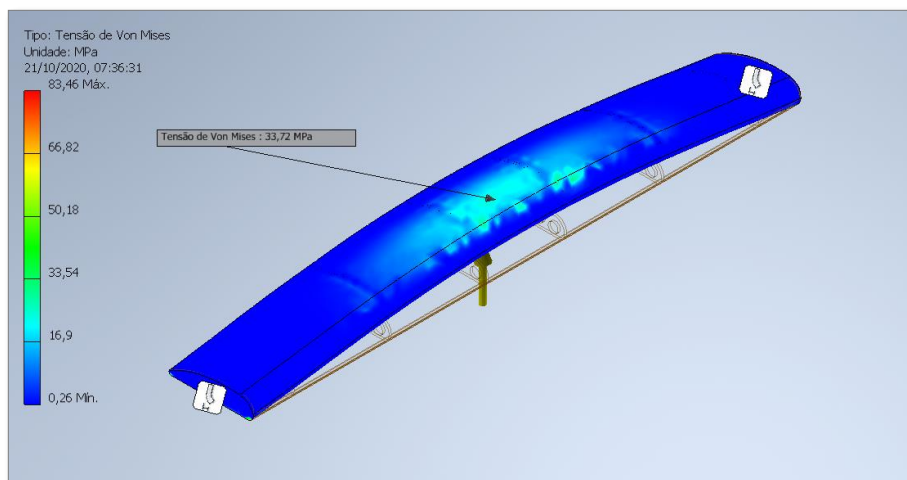
$$RA = 760 \text{ N } \downarrow$$

$$RB = 1235 \text{ N } \uparrow$$

Essas forças podem ser aplicadas no estudo estático com o uso de elementos finitos (FEA), possibilitando encontrar as Tensões de Von Mises nos piores trechos (de maior deslocamento) da asa.

Conforme a força de 760 N, a mesma foi aplicada para promover um deslocamento de 15,18 mm e a tensão de Von Mises gerada foi de 33,72 Mpa no trecho central da asa com uma flexão para cima, conforme pode ser visualizado na Figura 79.

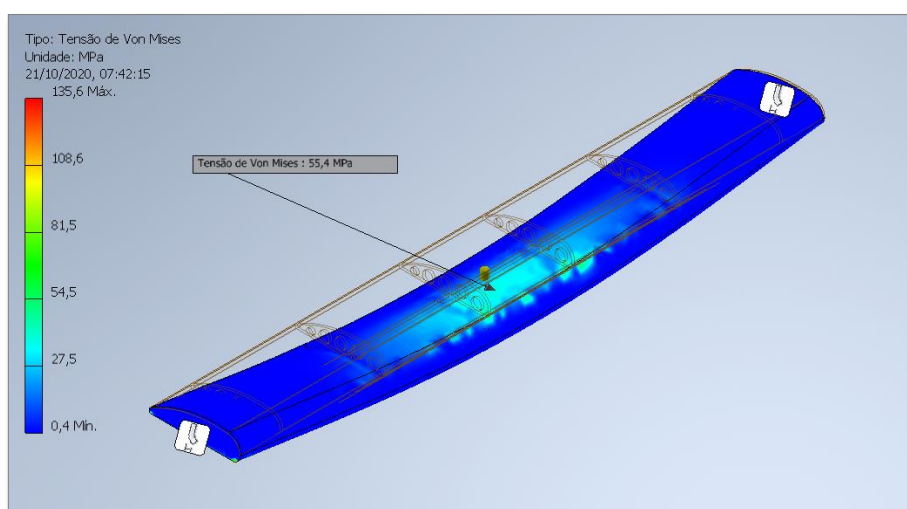
Figura 79. Estudo de Tensão de Von Mises no trecho central para uma força de 760N e deslocamento de 15,18mm.



Fonte: AUTORES (2020).

Conforme a força de 1235 N, a mesma foi aplicada para promover um deslocamento de 24,77 mm e a tensão de Von Mises gerada foi de 55,4 Mpa no trecho central da asa com uma flexão para baixo, conforme pode ser visualizado na Figura 80.

Figura 80. Estudo de Tensão de Von Mises no trecho central para uma força de 1235N e deslocamento de 24,77mm.



Fonte: AUTORES (2020).

Com as informações encontradas nos estudos, podemos fazer um cruzamento dos dados de força e deslocamento para ambos os lados a fim de se obter a constante elástica da asa.

Uma vez que temos um deslocamento assimétrico, assim como, forças assimétricas atuando, é possível a verificação de ambas as equações para a localização de K.

$$F = k \cdot \Delta x \quad (6)$$

$$\begin{cases} R_A = k \cdot \Delta \uparrow \\ R_B = k \cdot \Delta \downarrow \end{cases} \therefore \begin{cases} 760 \text{ N} = k \cdot 0,01518 \text{ m} \\ 1235 \text{ N} = k \cdot 0,02477 \text{ m} \end{cases} \therefore \begin{cases} k \approx 50,06 \text{ kN/m} \\ k \approx 49,86 \text{ kN/m} \end{cases}$$

Assim, podemos dizer que a constante elástica na asa é aproximadamente:

$$k \approx 50 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Os dados disponibilizados nos resultados permitem uma avaliação sobre a análise de fadiga para o teste da asa e encontra-se presente na Conclusão.

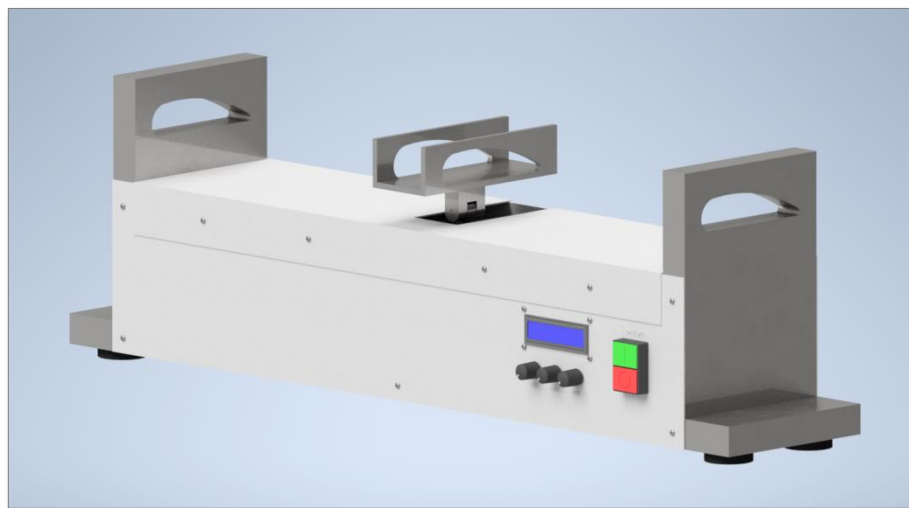
5 CONCLUSÃO

Com todos os estudos efetuados, podemos avaliar as informações e concluir que a máquina apresentada nesse trabalho tem a possibilidade de efetuar uma série de cargas cíclicas (carregamento cíclico) definida por uma função harmônica que possibilitará, a partir, das tensões e deslocamentos expostos uma análise de fadiga da asa.

O deslocamento dessa máquina para esse perfil de asa apresentado é relativamente alto, expondo a asa a tensões elevadas, o que provocará a falência mecânica do material da asa brevemente. A partir disso, cabe uma análise de todos os dados para se efetuar a sua equivalência e definir o tempo de vida do material para cada esforço desejado.

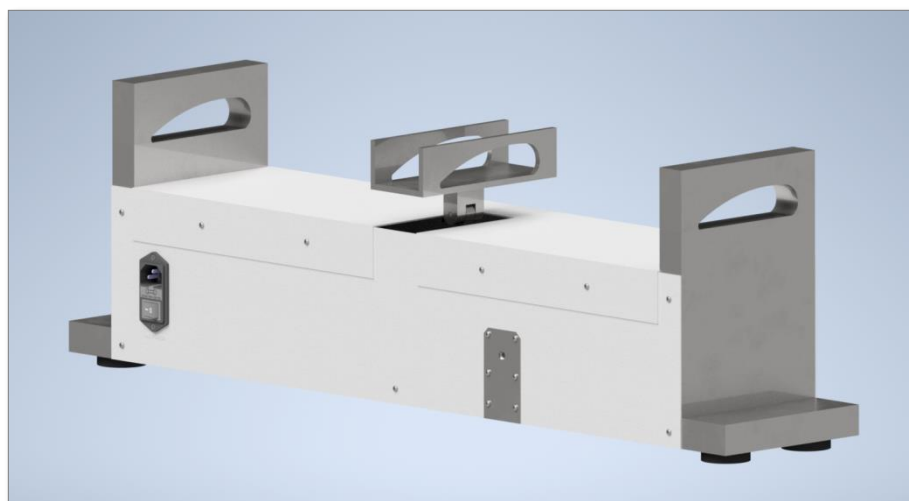
As imagens da figura 81 e da figura 82, apresentam a máquina totalmente finalizada e renderizada para melhor acabamento de iluminação.

Figura 81. Vista frontal renderizada em perspectiva da máquina de teste.



Fonte: AUTORES (2020).

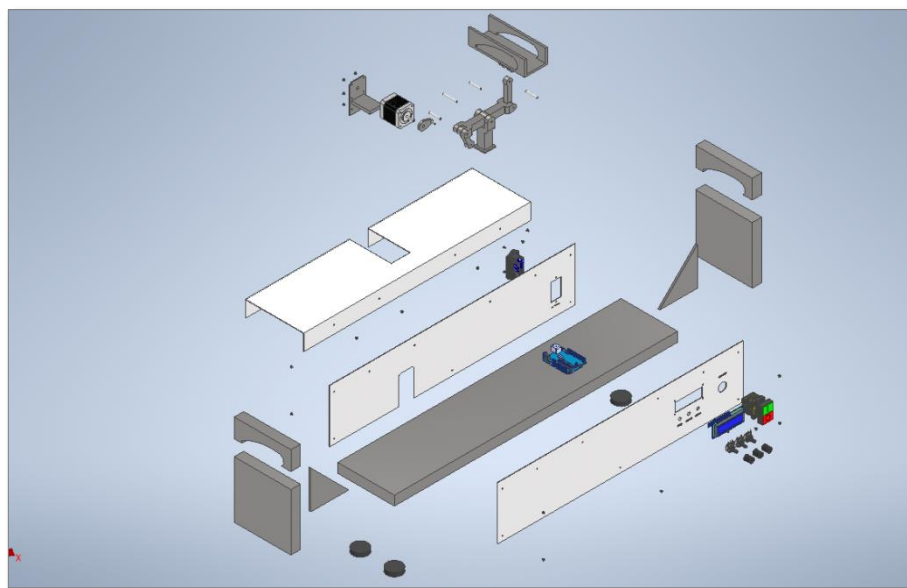
Figura 82. Vista traseira renderizada em perspectiva da máquina de teste.



Fonte: AUTORES (2020).

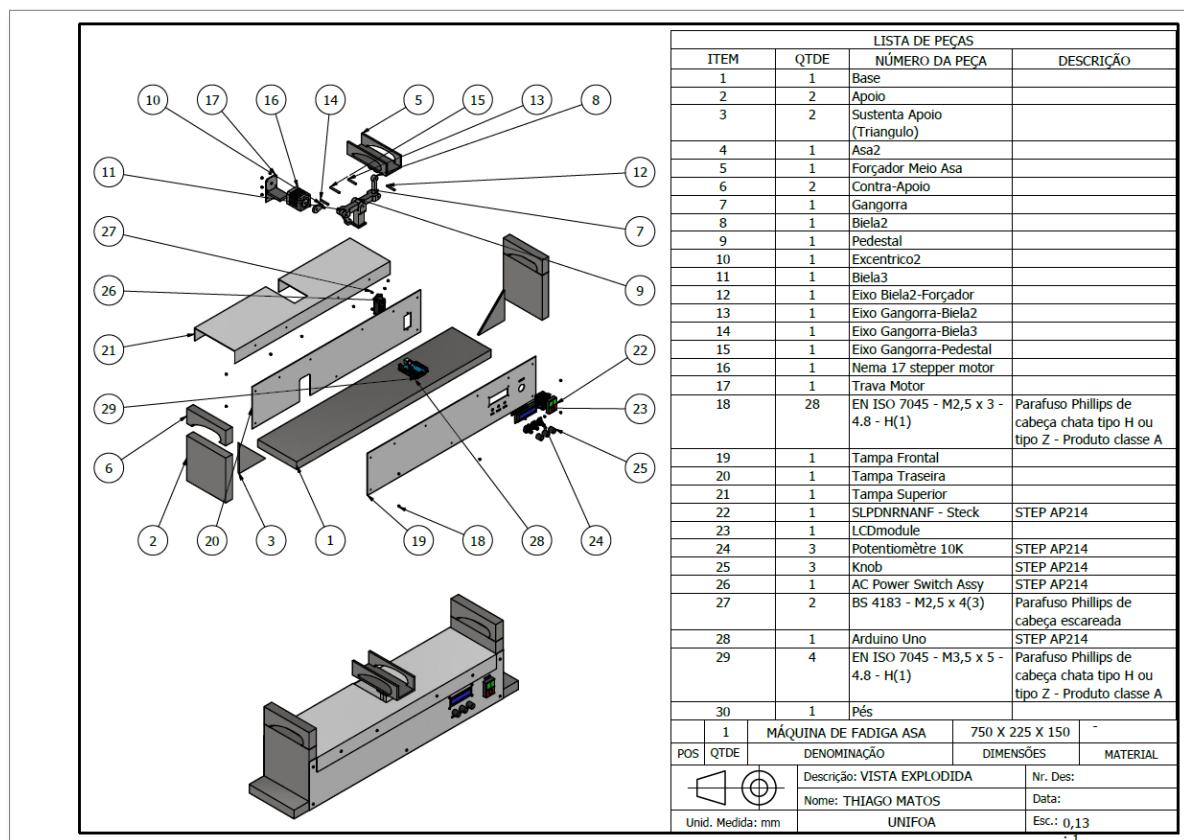
A imagem da Figura 84 apresenta uma prévia do ANEXO, com a máquina de teste em forma explodida, com seus itens identificados por balões e a lista de materiais.

Figura 83. Vista Explodida da máquina completa.



Fonte: AUTORES (2020)

Figura 84. Modelo de projeto de vista explodida com identificadores e lista de materiais (ANEXO).



Fonte: AUTORES (2020).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<http://tamoioestecnologia.com.br/quem-somos/>- Acesso dia 01/06/2020

<http://plantadores.commercesuite.com.br/>- Acesso dia 27/05/2020

<http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/NeriNoPrelo.pdf>- Acesso dia 27/05/2020

<https://www.fuchic.com.br/post/2017/06/29/fibra-de-bananeira-> Acesso dia 27/05/2020

<https://www.scielo.br/pdf/po/v24n1/a10v24n1.pdf>- Acesso dia 27/05/2020

<https://www.bykamy.com.br/blog/tear-capelinha-fibra-de-bananeira-ecologicamente-correto.html>- Acesso dia 27/05/2020

<http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0221/Trabalhos%20Finais%202009/Fibras%20naturais.pdf>- Acesso dia 27/05/2020

<https://www.revistaespacios.com/a18v39n06/a18v39n06p12.pdf>- Acesso dia 10/05/2020

<https://marisadiniznetworking.blogspot.com/2013/09/sustentabilidade-fibras-vegetais.html#:~:text=As%20fibras%20vegetais%20s%C3%A3o%20c%C3%A9lulas,%2C%20aniagem%2C%20linho%20e%20rami.> - Acesso dia 10/05/2020

http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_ed_especial_web_2017/PICM_2017-B3.pdf- Acesso dia 10/05/2020

<http://eco4planet.com/blog/ford-testa-fabricacao-de-pecas-com-chicletes-rolhas-e-ate-fibras-da-fruta-da-tequila/>- Acesso dia 09/05/2020

https://www.ipt.br/noticia/1577-engenharia_textil.htm- Acesso dia 09/05/2020

<https://conexoplaneta.com.br/blog/fibra-da-bananeira-e-transformada-em-bolsas-e-mochilas-com-tecido-biodegradave/> - Acesso dia 09/05/2020

<https://ensus.com.br/elementos-finitos-quais-os-beneficios/> - Acesso dia 20/09/2020

Ciência e engenharia de materiais: uma introdução / William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch; tradução Sergio Murilo Stamile Soares. - 9. ed. - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro: LTC, 2018.

<https://essel.com.br/cursos/material/01/EnsaioMateriais/ensa15.pdf>- Acesso dia 06/06/2020

<https://fei.edu.br/~rodrMagn/mestrado/2013/DVOM.pdf>- Acesso dia 06/06/2020

<https://essel.com.br/cursos/material/01/EnsaioMateriais/ensa08.pdf>- Acesso dia 06/06/2020

https://sites.unifoa.edu.br/portal_ensino/mestrado/memat/arquivos/dissertacao/produ-to-mariana-souza-forte.pdf- Acesso dia 20/05/2020

CAMPBELL, C, H. Caracterização de um Compósito de Fibra de Bananeira para Substituir as Fibras Sintéticas. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, 2019.

ANEXO

LISTA DE PEÇAS				DESCRIÇÃO
ITEM	QTD	NÚMERO DA PEÇA		
1	1	Base		
2	2	Apoio		
3	2	Sustenta Apoio (Triângulo)		
4	1	Asa2		
5	1	Forçador Meio Asa		
6	2	Contra-Apoio		
7	1	Gangorra		
8	1	Bielas2		
9	1	Pedestal		
10	1	Excêntrico2		
11	1	Bielas3		
12	1	Eixo Biela2-Forçador		
13	1	Eixo Gangorra-Bielas2		
14	1	Eixo Gangorra-Bielas3		
15	1	Eixo Gangorra-Pedestal		
16	1	Nema 17 stepper motor		
17	1	Trava Motor		
18	28	EN ISO 7045 - M2,5 x 3 - 4.8 - H(1)		Parafuso Phillips de cabeça chata tipo H ou tipo Z - Produto classe A
19	1	Tampa Frontal		
20	1	Tampa Traseira		
21	1	Tampa Superior		
22	1	SLPDRNAMF - Steck		STEP AP214
23	1	LCDmodule		STEP AP214
24	3	Potentiometre 10K		STEP AP214
25	3	Knob		STEP AP214
26	1	AC Power Switch Assy		STEP AP214
27	2	BS 4183 - M2,5 x 4(3)		Parafuso Phillips de cabeça escareada
28	1	Arduino Uno		STEP AP214
29	4	EN ISO 7045 - M3,5 x 5 - 4.8 - H(1)		Parafuso Phillips de cabeça chata tipo H ou tipo Z - Produto classe A
30	1	Pés		
1	MÁQUINA DE FADIGA ASA	750 X 225 X 150		
POS	QTD	DENOMINAÇÃO	DIMENSÕES	MATERIAL
		Descrição: VISTA EXPLODIDA		Nr. Des:
		Nome: THIAGO MATOS		Data:
		UNIFEOA		Esc.: 0,13

