

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

**DANIEL FARACO PEIXOTO
FELIPE DA SILVA FONSECA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DO MATERIAL DE
UMA PROTEÇÃO DE CVT DE UM VEÍCULO DO TIPO MINI BAJA
POR MATERIAIS COMPÓSITOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RIO DE JANEIRO

2022

**DANIEL FARACO PEIXOTO
FELIPE DA SILVA FONSECA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DO MATERIAL DE
UMA PROTEÇÃO DE CVT DE UM VEÍCULO DO TIPO MINI BAJA
POR MATERIAIS COMPÓSITOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Orientadora: Laís Amaral Alves
Co-orientador: Felipe do Carmo Amorim

RIO DE JANEIRO

2022

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

P379 Peixoto, Daniel Faraco
Estudo de viabilidade da substituição do material de uma
proteção de CVT de um veículo do tipo mini baja por materiais
compósitos / Daniel Faraco Peixoto [e] Felipe da Silva Fonseca. —
2022.
44f. + apêndice : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2022.
Bibliografia : f. 41-44
Orientadora: Lais Amaral Alves
Coorientador: Felipe do Carmo Amorim

1. Engenharia mecânica. 2. Materiais compostos. 3. Automóveis
– Motores. 4. Fibras Naturais. 5. Sustentabilidade. I. Fonseca,
Felipe da Silva. II. Alves, Lais Amaral. (Orient.). III. Amorim, Felipe
do Carmo (Coorient.). IV. Título.

CDD 621

AGRADECIMENTOS

Agradeço meu pai, Marcelo, minha mãe, Patrícia, e meu irmão David pelo apoio que sempre me deram. Sem este suporte eu não teria chegado aqui.

Agradeço aos meus avós, Ely e Regina pelo apoio e incentivo, e aos meus falecidos avós, Agostinho e Leone, que infelizmente não puderam presenciar este momento, mas me deram todo apoio durante seu tempo de vida.

Agradeço aos meus tios e primos que se fizeram presente durante minha vida e me deram o suporte necessário para chegar aqui.

Agradeço aos meus amigos e colegas, em especial ao Felipe da Silva Fonseca pela parceria neste projeto e ao longo do tempo de faculdade.

Agradeço aos meus orientadores Prof. Laís Amaral Alves e Prof. Felipe do Carmo Amorim pela oportunidade e conhecimento agregado.

Por fim, agradeço a equipe Mud Runner pela oportunidade, que proporcionou amizades e experiências incríveis.

- Daniel Faraco Peixoto

Agradeço a minha mãe, Rosane, minha irmã, Mariana, por todo apoio e incentivo durante minha trajetória de vida. Agradeço também ao meu falecido pai biológico, Marcio, e meu falecido pai de criação, Milton, que não puderam presenciar este momento, mas em vida me deram todo o apoio e incentivo que ajudaram a ser quem sou hoje.

Agradeço também as minhas avós, Alaíde e Rosa, por todo o incentivo e amor, e as meus falecidos avôs, Manoel e Marcilio, que não puderam estar presentes nesse momento, mas que em vida me deram todo o apoio que puderam.

Agradeço aos meus tios e primos que foram presentes em minha vida e me deram o suporte necessário para chegar aqui.

Agradeço aos meus amigos, colegas de faculdade e colegas de estágio, principalmente ao Daniel Faraco Peixoto pela parceria e apoio neste projeto e durante meu tempo de faculdade e ao meu amigo e colega de estágio Tiago Frias, por todo seu apoio durante esse projeto.

Agradeço aos meus orientadores Prof. Laís Amaral Alves e Prof. Felipe do Carmo Amorim, sem os quais esse trabalho não seria possível.

Agradeço também a equipe Mud Runner, na qual permaneci por 3 anos e adquiri muito conhecimento e amigos.

- Felipe da Silva Fonseca

RESUMO

PEIXOTO, Daniel; FONSECA, Felipe. **Estudo de viabilidade da substituição do material de uma proteção de CVT de um veículo do tipo mini baja por materiais compósitos**. 2022. 60. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2022.

Uma necessidade constante na indústria automobilística competitiva é a de redução de massa de seus veículos em busca de uma maior eficiência melhorando a relação peso x potência de seus protótipos. O presente trabalho tem como objetivo analisar os possíveis materiais compósitos disponíveis no mercado para estudo de substituição da proteção do câmbio CVT de um veículo protótipo BAJA SAE, que atualmente é feito em aço. Esta substituição implica na redução de massa do veículo e se mostra uma alternativa viável, uma vez que torna sustentável e reduz os impactos ecológicos. O trabalho se baseia no atendimento do regulamento vigente para as competições da SAE Brasil, juntamente com as propriedades mecânicas exigidas neste. Além disso, serão apresentadas as propriedades mecânicas em compósitos, simples e híbridos, baseados em fibras naturais. Da mesma forma, será apresentado um estudo das temperaturas alcançadas na região da proteção do câmbio CVT e em seus componentes, de forma a avaliar a viabilidade da aplicação dos compósitos com base na temperatura de degradação e perda de propriedades. Com base nos resultados das avaliações de propriedades mecânicas e estudo das temperaturas do câmbio CVT, serão avaliadas as opções viáveis e aplicáveis para o projeto e substituição do material tradicional.

Palavras-chave: Compósitos. Câmbio CVT. Fibras Naturais. Sustentabilidade. Baja SAE.

ABSTRACT

PEIXOTO, Daniel; FONSECA, Felipe. **Feasibility study of replacing the material of a CVT protection of a mini baja type vehicle by composite materials.** 2022. 60. Trabalho de Conclusão de Curso - Federal Center of Technological Education – Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2022.

A constant need in the competitive automotive industry is to reduce the mass of its vehicles in search of greater efficiency, improving the weight x power ratio of its prototypes. The present work aims to analyze the possible composite materials available on the market to study the replacement of the CVT gearbox protection of a BAJA SAE prototype vehicle, which is currently made of steel. This replacement implies the reduction of vehicle mass and proves to be a viable alternative, since it makes it sustainable and reduces ecological impacts. The work is based on compliance with the current regulations for SAE Brasil competitions, along with the mechanical properties required there in addition, the mechanical properties of simple and hybrid composites based on natural fibers will be presented. Likewise, a study of the temperatures reached in the region of the CVT gearshift protection and in its components will be presented, in order to evaluate the feasibility of the application of composites based on the degradation temperature and loss of properties. Based on the results of the evaluations of mechanical properties and study of the temperatures of the CVT gearbox, viable and applicable options for the design and replacement of the traditional material will be evaluated.

Keywords: Composites. CVT Gearbox. Natural Fibers. Sustainability. Baja SAE.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PROTÓTIPO <i>OFF-ROAD</i> MR15, MINI BAJA SAE	2
FIGURA 2 - FASES DA ESTRUTURA DE UM COMPÓSITO	4
FIGURA 3 – CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS COM BASE NO MATERIAL DE MATRIZ.....	5
FIGURA 4 - ESQUEMA DAS SUBCLASSIFICAÇÕES DOS POLÍMEROS	6
FIGURA 5 – EXEMPLOS DE FIBRAS DE REFORÇO	8
FIGURA 6 – ORIGEM DAS FIBRAS NATURAIS.....	10
FIGURA 7 – ESQUEMA DE PROCESSO <i>HAND LAY-UP</i>	18
FIGURA 8 – ESQUEMA DE PROCESSO DE PRÉ-IMPREGNAÇÃO	19
FIGURA 9 – ESQUEMA DE PROCESSO <i>SPRAY LAY-UP</i>	20
FIGURA 10 – ESQUEMA PROCESSO DE MOLDAGEM EM BOLSA DE VÁCUO	20
FIGURA 11 – ESQUEMA PROCESSO DE MOLDAGEM POR TRANSFERÊNCIA DE RESINA.....	21
FIGURA 12 – ESQUEMA PROCESSO DE MOLDAGEM POR TRANSFERÊNCIA DE RESINA ASSISTIDA A VÁCUO	21
FIGURA 13 – ESQUEMA PROCESSO DE MOLDAGEM POR COMPRESSÃO	22
FIGURA 14 – ESQUEMA PROCESSO DE PULTRUSÃO	22
FIGURA 15 – ESQUEMA DE MOLDAGEM POR INJEÇÃO	23
FIGURA 16 - CORREIA PLANA	24
FIGURA 17 - CORREIA EM V.....	24
FIGURA 18 – CORREIA DE TEMPO	25
FIGURA 19 – FUNCIONAMENTO CÂMBIO CVT	26
FIGURA 20 – ILUSTRAÇÃO PROTEÇÕES DO CÂMBIO CVT.....	26
FIGURA 21 – CURVA DO MÓDULO DE ARMAZENAMENTO DOS COMPÓSITOS HÍBRIDOS: (A) JUTA + SISAL;.....	33
FIGURA 22 - CURVA DO MÓDULO DE PERDA DOS COMPÓSITOS HÍBRIDOS: (A) JUTA + SISAL; (B) JUTA + CURAUÁ	34
FIGURA 23 - CURVA DO FATOR DE AMORTECIMENTO DOS COMPÓSITOS HÍBRIDOS: (A) JUTA + SISAL; (B) JUTA + CURAUÁ.....	35
FIGURA 24 – PADRÃO TECIDO BIDIRECIONAL (JUTA + FIBRA DE VIDRO) FONTE: CAVALCANTI (2018)	36
FIGURA 25 – PONTOS DE MEDIÇÃO: (A) PRATO INTERNO MOTRIZ; (B) PRATO EXTERNO MOTRIZ; (C) PRATO EXTERNO MOVIDA; (D) PRATO INTERNO MOVIDA; (E) CORREIA; (F) PROTEÇÃO INTERNA.	38
FIGURA 26 – PONTOS DE MEDIÇÃO: (A) PROTEÇÃO INTERNA; (B) PROTEÇÃO EXTERNA.....	39
FIGURA 27 - MODELAGEM 3D PROTEÇÃO INTERNA DO CÂMBIO CVT.....	41
FIGURA 28– PROPRIEDADE DE MASSA DA PROTEÇÃO INTERNA, AÇO SAE 1020.....	42
FIGURA 29– MODELAGEM 3D PROTEÇÃO EXTERNA DO CÂMBIO CVT.....	42
FIGURA 30- PROPRIEDADE DE MASSA DA PROTEÇÃO INTERNA, AÇO SAE 1020	43
FIGURA 31– MODELAGEM 3D DA MONTAGEM DA PROTEÇÃO INTERNA E PROTEÇÃO EXTERNA DO CÂMBIO CVT	43
FIGURA 32– MEDIÇÃO DE MASSA DAS PROTEÇÕES	44
FIGURA 33 – ESTIMATIVA DE MASSA DA PROTEÇÃO JUTA + SISAL: (A) PROTEÇÃO INTERNA; (B) PROTEÇÃO EXTERNA	45
FIGURA 34 - ESTIMATIVA DE MASSA DA PROTEÇÃO JUTA + CURAUÁ: (A) PROTEÇÃO INTERNA; (B) PROTEÇÃO EXTERNA	45

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS FIBRAS NATURAIS	13
TABELA 2 - CARACTERÍSTICA TERMÔMETRO INFRAVERMELHO	28
TABELA 3 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE IMPACTO CHARPY PARA O AÇO SAE 1010	29
TABELA 4 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE IMPACTO ATRAVÉS DE TORRE PARA O AÇO SAE 1010	30
TABELA 5 – ABSORÇÃO DE ENERGIA DE COMPÓSITOS HÍBRIDOS	30
TABELA 6 – DENSIDADE DOS COMPÓSITOS HÍBRIDOS	31
TABELA 7 – PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS COMPÓSITOS HÍBRIDOS	32
TABELA 8 - RESULTADO DO MÓDULO DE ARMAZENAMENTO PARA COMPÓSITOS HÍBRIDOS	33
TABELA 9 - RESULTADO DO MÓDULO DE PERDA PARA COMPÓSITOS HÍBRIDOS	34
TABELA 10 - RESULTADO DO FATOR DE AMORTECIMENTO PARA COMPÓSITOS HÍBRIDOS	35
TABELA 11 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DA RESINA AR260 / AH260	37
TABELA 12 - MEDIÇÕES TEMPERATURA DURANTE TESTES DE ACELERAÇÃO E SUSPENSÃO	40
TABELA 13 - MEDIÇÕES TEMPERATURA DURANTE ENDURO DO EVENTO BAJA RIO	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO	2
1.2 JUSTIFICATIVA	2
1.3 OBJETIVO	3
1.4 METODOLOGIA E TRABALHO REALIZADO	3
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS	4
2.2 MATRIZ	5
2.2.1 Matrices Poliméricas	5
2.2.1.1 Polímeros naturais e sintéticos	6
2.2.1.2 Termorrígidos	6
2.2.1.3 Termoplásticos	7
2.2.1.4 Polímeros <i>commodities</i> e de Engenharia	7
2.3 REFORÇO	7
2.3.1 Fibras Sintéticas	8
2.3.1.1 Fibra de vidro	9
2.3.1.2 Fibra de carbono	9
2.3.1.3 Fibra de aramida	9
2.3.1.4 Fibra de grafeno	9
2.3.1.5 Fibra de basalto	9
2.3.2 Fibras Naturais	9
2.3.2.1 Banana	10
2.3.2.2 Abacaxi	11
2.3.2.3 Cânhamo	11
2.3.2.4 Juta	11
2.3.2.5 Linho	11
2.3.2.6 Kenaf	11
2.3.2.7 Rami	12
2.3.2.8 Sisal	12
2.3.2.9 Coco	12
2.3.2.10 Curauá	12
2.3.3 Propriedades das Fibras	12
2.4 TRATAMENTO PARA MELHORA DAS PROPRIEDADES DAS FIBRAS NATURAIS	13

2.4.1 Tratamento de Mercerização	14
2.4.2 Tratamento de Acetilação e Propionilação	14
2.4.3 Tratamento de Benzilação	15
2.4.4 Tratamento com Permanganato de Potássio.....	15
2.4.5 Tratamento com Peróxido	15
2.4.6 Tratamento de Silanização	16
2.4.7 Tratamento Enzimático	16
2.4.8 Tratamento Isocianato	16
2.4.9 Tratamento por Descarga Corona	16
2.4.10 Tratamento de Plasma	17
2.4.11 Esterificação	17
2.4.12 Tratamento com TDI	17
2.5 MÉTODOS DE FABRICAÇÃO.....	17
2.5.1 <i>Hand Lay-Up</i>	18
2.5.2 Pré-Impregnação.....	18
2.5.3 <i>Spray Lay-Up</i>	19
2.5.4 Bolsa de Vácuo	20
2.5.5 Moldagem por Transferência de Resina	20
2.5.6 Moldagem por Transferência de Resina Assistida a Vácuo	21
2.5.7 Moldagem por Compressão.....	21
2.5.8 Pultrusão	22
2.5.9 Injeção	22
2.6 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO POR CORREIA.....	23
2.6.1 Correia Plana	24
2.6.2 Correia em V.....	24
2.6.3 Correia de Tempo.....	25
2.7 SISTEMA DE TRANSMISSÃO POR CVT	25
2.8 PROTEÇÃO DO CÂMBIO CVT	26
2.9 ANÁLISE TÉRMICA	27
2.9.1 Análise Termogravimétrica (TGA)	27
2.9.2 Análise Dinâmico-Mecânica (DMA).....	27
3 METODOLOGIA.....	28
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	28
3.2 REGULAMENTO BAJA SAE	28
3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS	29
3.4 PROPRIEDADE TÉRMICA.....	31

3.5 MÉTODO DE MANUFATURA.....	36
3.6 ANÁLISE TEMPERATURA BAJA.....	37
4 RESULTADO	40
4.1 ANÁLISE DE TEMPERATURA	40
4.2 MODELAGEM 3D	41
4.3 MASSA DAS PROTEÇÕES	44
5 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

A indústria automobilística vem há algum tempo buscando a redução da massa de seus veículos. A redução de massa traz vantagens dentro do mercado como a economia de matéria prima, redução de gastos com transporte, menores consumos de combustível e uma maior competitividade de seus veículos dentro de suas categorias, o que é uma grande questão principalmente quando se fala de veículos de competições.

Em competições automobilísticas geralmente os veículos são subdivididos em categorias onde os veículos têm características comuns entre si, seja pelo seu tamanho, potência ou tipos de terreno em que competem, geralmente essas características estão atreladas a um regulamento que limita as características dos veículos de forma a movimentar as equipes para arrancar o potencial máximo de seus veículos dentro dessas limitações. Uma forma de obtenção de melhores resultados utilizada por todas as categorias é a redução de massa de seus componentes, melhorando assim a chamada relação peso x potência do veículo.

A indústria vem, ao longo dos anos, trabalhando na adoção de novos materiais em substituição aos materiais tradicionais de Engenharia, largamente utilizados até os dias atuais principalmente quando se fala de veículos populares, criando constantemente materiais com maior relação entre resistência e peso para aplicação em seus veículos.

Muitos desses materiais encontrados como substitutos estão dentro do grupo de materiais compósitos, que segundo Formari Junior (2017), podem ser definidos como uma associação de dois ou mais materiais. Um tipo de fibra sintética, largamente encontrada em carros esportivos modernos, é a fibra de carbono, material utilizado como agente de reforço em matrizes poliméricas que possui boa relação resistência mecânica/peso, porém esse material é baseado em fibras sintéticas de difícil produção e alto custo, o que torna o produto final caro e que agride o meio ambiente em sua produção.

Nos últimos anos, com o avanço do aquecimento global, se iniciou a busca por materiais ainda com boas propriedades mecânicas, porém, que também possuem responsabilidade ambiental em sua fabricação, então surge como alternativa às fibras sintéticas o uso de fibras naturais, produtos encontrados na natureza e que muitas vezes são produtos oriundos de resíduos da agricultura, extrativismo, produção de tecidos etc.

O Projeto Baja SAE é um desafio lançado a todos os estudantes de Engenharia no Brasil e no mundo que tem como objetivo estimular o aprendizado e conhecimento de Engenharia na prática. Este conhecimento é valorizado pelas empresas no mercado de trabalho, uma vez que

o estudante tem a experiência de casos reais de projeto, desde sua criação até a construção e manutenção do veículo, como o mostrado na Figura 1.



Figura 1 - Protótipo *Off-Road* MR15, Mini Baja SAE
Fonte: Autoria Própria (2016)

1.1 MOTIVAÇÃO

A motivação desse projeto surgiu da necessidade de reduzir a massa do veículo a fim de torná-lo mais competitivo, em uma competição onde todas as equipes utilizam os mesmos motores a relação peso/potência se torna crucial. Além disso, a busca por materiais novos e mais sustentáveis levou a pesquisa para aplicação de materiais compósitos baseados em fibras naturais. Vale ressaltar que os autores deste projeto foram membros da Equipe Mud Runner Baja SAE do CEFET/RJ durante o tempo de graduação, levando assim a percepção da necessidade deste estudo.

1.2 JUSTIFICATIVA

O regulamento da SAE Brasil para os eventos de Baja traz diversas regras que limitam diversas características dos veículos participantes, desde suas dimensões até especificações dos componentes que podem ser utilizados. No caso dos motores, a SAE especifica que devem ser da marca Briggs & Stratton com potência de 10 hp e especifica quais modelos dentro da gama da fabricante podem ser utilizados e que todos os componentes do motor devem ser mantidos originais, não permitindo modificações deste por parte das equipes, dessa forma todas as equipes estão em pé de igualdade no que diz respeito a potência e a relação peso/potência dos veículos se torna crucial para torná-los competitivos.

1.3 OBJETIVO

Analisar os possíveis materiais compósitos disponíveis no mercado, a fim de reduzir a massa do veículo, avaliando diferentes materiais com base em suas propriedades mecânicas e térmicas. A equipe estudou a aplicação de materiais compósitos baseados em fibras naturais para a fabricação de sua proteção do câmbio CVT, em substituição a tradicionalmente fabricada em aço.

1.4 METODOLOGIA E TRABALHO REALIZADO

Primeiramente foi apresentado uma revisão dos tipos de compósitos e suas características, citando algumas opções de matriz, reforço, tratamentos químicos e métodos de fabricação. Em seguida foram apresentadas as premissas de projeto e efetuadas as análises de experimentos de ensaio de impacto e propriedades térmicas. Por fim foi feito um estudo de medição de temperatura em campo para caracterização do perfil do projeto.

Posteriormente, foram apresentadas soluções para viabilizar a aplicação de compósitos naturais como material da proteção do câmbio CVT de um protótipo mini Baja.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi organizado em 5 capítulos, divididos da seguinte forma:

No primeiro capítulo é apresentada uma breve introdução sobre os tópicos que serão abordados, com o objetivo de contextualizá-lo para o leitor, além de apresentar as motivações e justificativas que levaram a sua criação.

No segundo capítulo é apresentada a revisão bibliográfica dos assuntos tratados pelo presente trabalho.

No terceiro capítulo são avaliadas as propriedades mecânicas e térmicas para viabilizar a aplicação de fibras naturais na fabricação da proteção do câmbio CVT.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos nas medições realizadas em campo.

Por fim, no quinto capítulo é apresentada a conclusão em relação aos assuntos abordados nos capítulos anteriores.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os materiais compósitos reforçados com fibras naturais vêm crescendo aceleradamente no setor industrial e pesquisa por sua capacidade de ser renovável e biodegradável. Com o objetivo de expandir o seu uso e baixo impacto ambiental, pesquisas surgem com novas aplicabilidades de fibras naturais como: banana, abacaxi, madeira, algodão *etc.* Os compósitos baseados em fibras naturais vêm se destacando por suas boas propriedades mecânicas e como alternativa ecológica, outra vantagem é o desenvolvimento de pequenos produtores que podem fornecer insumos. É notável a crescente preocupação de que os recursos não renováveis de nosso planeta estão prestes a se tornar escassos e por isso cresce o interesse de substituição desses produtos por renováveis (ROHIT e DIXIT, 2016).

2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

Um material compósito é definido como dois ou mais materiais unidos macroscopicamente em busca de melhores propriedades mecânicas, gerando valores de rigidez, resistência mecânica, peso, resistência à temperatura e resistência à corrosão através da combinação das propriedades individuais de seus constituintes. Os constituintes que formam os compósitos podem ser divididos em duas fases, como mostrado na Figura 2, a primeira chamada de matriz, material contínuo que dá forma ao compósito, essa fase é responsável pela proteção das fibras contra agentes externos, e com uma boa adesão interfacial entre as fases, é garantida a transmissão das cargas à segunda fase. Chamada de dispersão ou de reforço, a segunda fase é responsável por realçar algumas propriedades do material e pode ser apresentado em forma de folhas, tecidos, tramas, fios, fragmentos e partículas de materiais sintéticos ou naturais (RAJAK *et al.*, 2019; AL-MOSAWI, 2012).

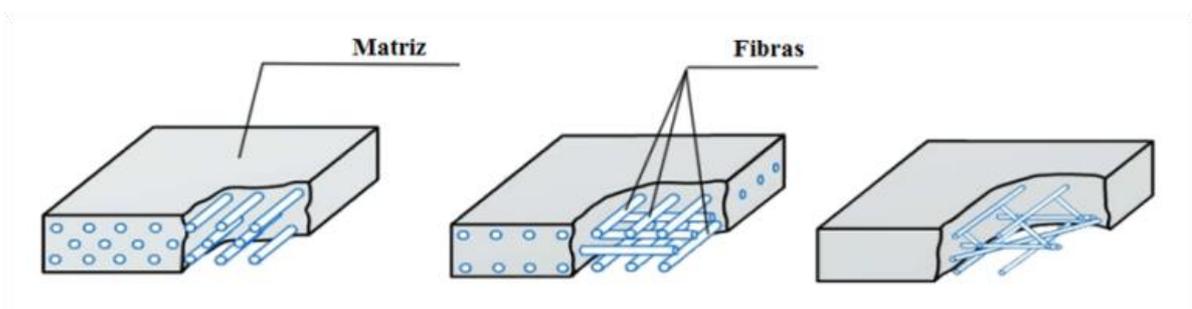


Figura 2 - Fases da estrutura de um compósito
Fonte: Domingues (2020)

2.2 MATRIZ

Uma das duas fases presentes nos compósitos, a matriz, é a responsável por dar forma, manter os componentes unidos e pela distribuição das cargas dentro do compósito. Existem diversos tipos de matrizes que podem ser utilizados nos compósitos que podem ser divididos em três principais grupos a partir do material que os compõem, são essas: matrizes poliméricas, matrizes metálicas e matrizes cerâmicas, com o mostrado na Figura 3 (SHARMA *et al.*, 2019).

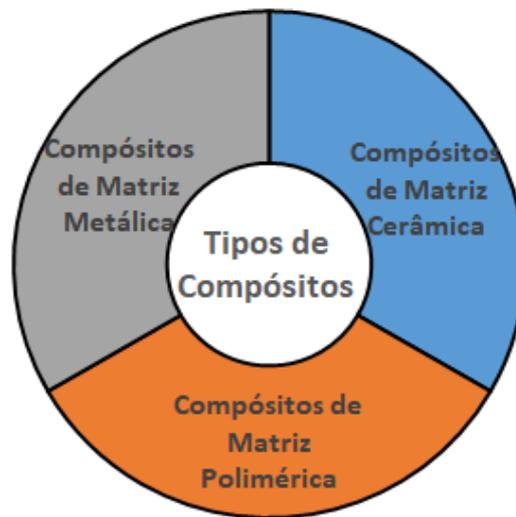


Figura 3 – Classificação dos compósitos com base no material de matriz
Fonte: Editado de Sharma *et al.* (2019)

2.2.1 Matrizes Poliméricas

Essa é uma das classes de matrizes mais aplicadas na fabricação de materiais compósitos, por definição, os polímeros são materiais formados pela união de uma grande quantidade de macromoléculas, chamados de monômeros. Geralmente os compósitos formados com esse tipo de matriz têm como material de reforço as fibras, que possuem resistência mecânica maior do que a da matriz, formando assim um composto de maior resistência do que a matriz (SHARMA *et al.*, 2019).

As propriedades mecânicas dos compósitos de matriz polimérica têm ligação direta com os tipos de materiais de reforço, parâmetros do processo, microestrutura, composição e interface entre matriz e material de reforço. Esse tipo compósito é conhecido por ter um preço de fabricação razoável alinhados a processos de fabricação de baixa complexidade, leveza, resistência a produtos químicos e a corrosão, oferecem também uma grande variedade de propriedades com base em suas composições como alta resistência mecânica, ao impacto, a compressão e a fadiga (SHARMA *et al.*, 2019).

Existem diversos tipos de polímeros, criando assim a necessidade da criação de subclassificações dentro do grupo podendo ser divididos quanto: a sua origem, em polímeros naturais ou sintéticos; a seu método de processamento, em termoplásticos e termorrígidos; e dentro dos termoplásticos, por suas propriedades em *commodities* e polímeros de Engenharia. O esquema das subclassificações dos polímeros é mostrado na Figura 4 (FORMARI JUNIOR, 2017).

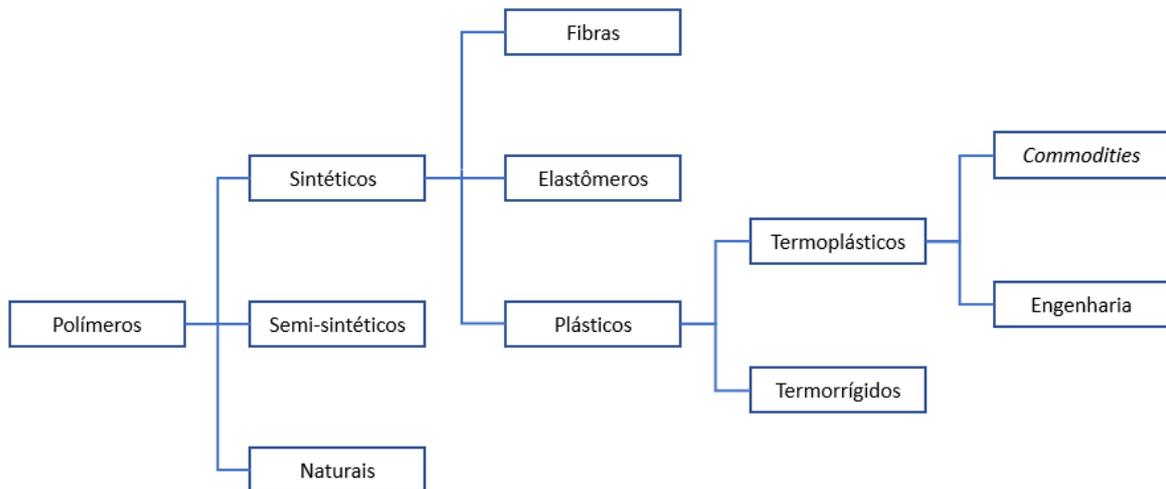


Figura 4 - Esquema das subclassificações dos polímeros
Fonte: Autoria própria (2022)

2.2.1.1 Polímeros naturais e sintéticos

A subdivisão em polímeros naturais e sintéticos é dada pela disponibilidade desses materiais na natureza, matrizes naturais são encontradas no estado final na natureza sem necessidade de grandes processamentos, como por exemplo o látex, extraído da seringueira, e os materiais sintéticos necessitam de processamento para chegar ao seu estado de uso, como é o caso do Polipropileno (PP), material muito utilizado e com uma grande gama de aplicações (FORMARI JUNIOR, 2017).

2.2.1.2 Termorrígidos

Também chamados de termofixos, os materiais termorrígidos são um grupo de materiais poliméricos que tem como uma de suas principais características a resistência a deformação ao calor. Esses materiais não têm a capacidade de retornar a forma original após sua moldagem, seja por aplicação de força ou por variação de sua temperatura. Essa se deve por conta das ligações cruzadas que unem as cadeias poliméricas desse tipo de polímero, ligações covalentes fortes que necessitam de grande quantidade de energia para serem quebradas, quantidades essas

superiores as necessárias para iniciar a degradação do material, impossibilitando assim o retorno desses polímeros a suas formas iniciais (FORMARI JUNIOR, 2017; CANEVAROLO JR, 2006).

2.2.1.3 Termoplásticos

Diferente dos termorrígidos, os materiais termoplásticos têm como principal característica o ganho de plasticidade com o aumento da temperatura, possibilitando que esses materiais voltem ao seu estado inicial e a sua remoldagem, devido a suas cadeias poliméricas possuírem ligações secundárias, mais fracas e que necessitam de menor quantidade de energia para sua quebra que as ligações cruzadas encontradas nos termofixos. Devido a necessidade da elevação da temperatura do material para realizar sua moldagem, essa classe de materiais utiliza processos de fabricação diferentes dos utilizados em outras matrizes como sopro, injeção e extrusão (FORMARI JUNIOR, 2017; CANEVAROLO JR, 2006).

2.2.1.4 Polímeros *commodities* e de Engenharia

Os materiais termoplásticos compõem um grande grupo de materiais e por isso podem ser subdivididos em grupos, segundo Formari Junior (2017), uma subclassificação utilizada é a divisão desses em: *commodities*, grupo de termoplásticos com propriedades interessantes para aplicações gerais e de baixo custo; e os plásticos de Engenharia, materiais com propriedades específicas, como resistência ao desgaste, à tração, à altas temperaturas, entre outras, porém com custos mais elevados em relação aos materiais *commodities*. Esse segundo grupo vem sendo utilizado em substituição a materiais tradicionais de Engenharia, como aço e alumínio.

2.3 REFORÇO

Uma das duas fases presentes nos compósitos, o material de reforço, é o elemento responsável por melhorar as propriedades mecânicas em relação às propriedades originais da matriz, que normalmente é um material frágil e de baixa resistência mecânica quando aplicado isoladamente.

Os compósitos reforçados com fibra podem ser classificados de acordo com o comprimento de suas fibras em: contínuas, quando são utilizadas fibras longas; descontínuas, quando são utilizadas fibras curtas. Podem ser classificadas também quanto a direção das fibras em: unidirecional, quando as fibras do compósito estão orientadas na mesma direção; ou

bidirecional, quando as fibras do compósito estão orientadas em direções diferentes (RAJAK *et al.*, 2019).

A escolha das fibras e direções adotadas influenciam diretamente nas propriedades mecânicas do material fabricado. Além disso, o reforço pode ser classificado com base na origem das fibras utilizadas, sendo elas naturais ou sintéticas. Alguns exemplos podem ser ilustrados na Figura 5.



Figura 5 – Exemplos de fibras de reforço
Fonte: Modificado de Rajak *et al.* (2019)

2.3.1 Fibras Sintéticas

As fibras sintéticas são materiais que não são encontrados em sua forma final na natureza, necessitando da interferência do Homem para que existam. Esses componentes são sintetizados a partir de processos químicos e classificadas como fibras orgânicas ou inorgânicas, baseado em sua composição, possuindo alta resistência, durabilidade e estabilidade térmica, porém não são recicláveis (RAJAK *et al.*, 2019).

2.3.1.1 Fibra de vidro

É a fibra sintética mais utilizada no mundo. Esse material oferece resistência, durabilidade, resistência ao impacto, resistência a fricção, a produtos químicos e estabilidade térmica (RAJAK *et al.*, 2019).

2.3.1.2 Fibra de carbono

Geralmente aplicada em situações em que se exige uma maior rigidez do material, aplicado junto a uma matriz de material termorrígido, esse material tem sido utilizado principalmente na indústria aeroespacial, automobilística e de equipamentos esportivos (RAJAK *et al.*, 2019).

2.3.1.3 Fibra de aramida

Também conhecida como Kevlar®, a fibra de aramida tem características conhecidas como sua excelente resistência mecânica, estabilidade dimensional, resistência à abrasão e resistência térmica, sendo um material com amplo campo de aplicação devido sua alta resistência e leveza (RAJAK *et al.*, 2019).

2.3.1.4 Fibra de grafeno

Confeccionada a partir do carbono, esse material possui vantagens em comparação a fibra de carbono quando se fala de condutividade elétrica, tornando um excelente material para a fabricação de cabos e fios leves de alta resistência e equipamentos como capacitores, células solares e atuadores (RAJAK *et al.*, 2019).

2.3.1.5 Fibra de basalto

Essa fibra ocupa uma posição intermediária entre a fibra de vidro e a de carbono, possuindo melhores propriedades mecânicas que a fibra de vidro, porém, como menor custo que as fibras de carbono (RAJAK *et al.*, 2019).

2.3.2 Fibras Naturais

Um grande problema da aplicação de materiais compósitos em larga escala na indústria automobilística é o impacto ambiental que essa modificação pode trazer. Uma alternativa que pode minimizar este impacto é a aplicação de materiais reciclados como por

exemplo a utilização de fibras naturais, principal refugo gerado na agricultura (AL-MOSAWI, 2012).

O Brasil dispõe de uma grande gama de fibras naturais nativas e não nativas, sendo materiais de baixo custo com propriedades atrativas como baixa densidade, atóxicas, não abrasivas e resistentes a solventes, qualidades que tornam a aplicação desses materiais interessante na produção de compósitos. As fibras naturais possuem grandes vantagens quando comparadas às fibras sintéticas, já que podem ser encontrados facilmente e são recursos renováveis e biodegradáveis.

As fibras naturais têm sua origem em diversas fontes, como mostra a Figura 6.

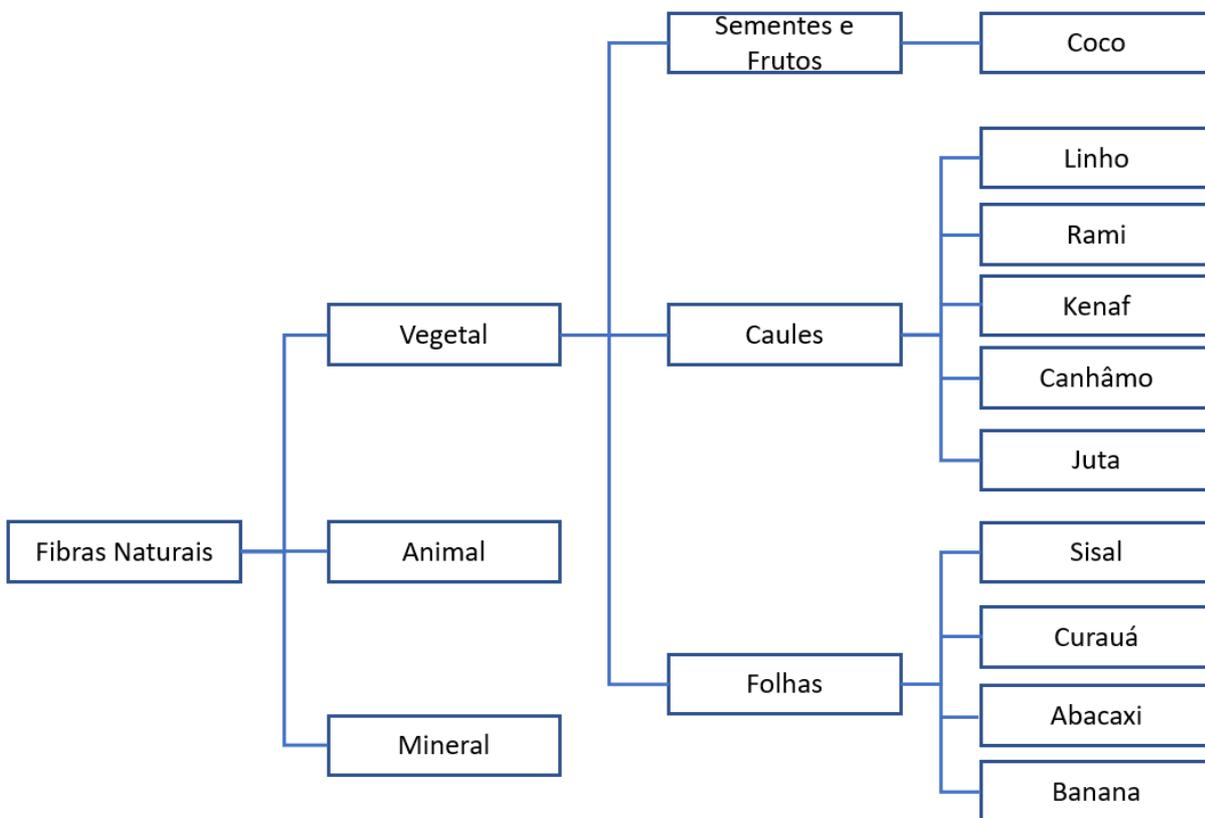


Figura 6 – Origem das fibras naturais
 Fonte: Modificado de Jawaid e Khalil (2011)

2.3.2.1 Banana

A fibra de banana é utilizada como reforço para materiais compósitos, sendo conhecida por sua durabilidade e resistência à água do mar. Esta fibra é produzida nos países centrais e tem forte peso no comércio mundial por suas aplicações marítimas (ROHIT e DIXIT, 2016).

2.3.2.2 Abacaxi

Nativa do Brasil, a fibra da folha do abacaxi é considerada barata e abundante no comércio. Utilizada como reforço de polímeros, a fibra é feita a partir dos resíduos do cultivo da fruta e por isso seu valor não é alto (ROHIT e DIXIT, 2016).

2.3.2.3 Cânhamo

Pertencente à família da *cannabis*, a fibra de cânhamo é conhecida por sua alta resistência mecânica e módulo de Young. Seu crescimento é de época e de climas temperados, estima-se que a China tenha se tornado líder mundial na produção de fibra de cânhamo nos últimos anos para uso na indústria têxtil (ROHIT e DIXIT, 2016).

2.3.2.4 Juta

A fibra de Juta é principalmente extraída do tronco de plantas do gênero *Corchorus*, que inclui aproximadamente 100 espécies. De todas as fibras naturais, a de juta é facilmente encontrada na forma de tecido e fibra com boas propriedades mecânicas e térmicas. Esta fibra possui alta relação de resistência-peso e ótimas propriedades de isolamento, sendo utilizada em portas, móveis e janelas (ROHIT e DIXIT, 2016).

2.3.2.5 Linho

Conhecida como uma das fibras mais antigas do mundo, a fibra de Linho é principalmente cultivada nas regiões temperadas, atraindo grande interesse no seu uso por sua baixa densidade, alta tenacidade, rigidez e resistência, e sua biodegradabilidade (ROHIT e DIXIT, 2016).

2.3.2.6 Kenaf

Composta por talos, folhas e sementes, a fibra de Kenaf, ou Hibiscus, é importante para a fabricação de compósitos, servindo no princípio como fonte para produção de cordel, corda e panos de saco. Atualmente, essa fibra possui grande relevância para fabricação de produtos de papel, materiais de construção, materiais absorventes e rações para animais. A fibra de Kenaf possui amplo destaque por sua baixa densidade, boas propriedades mecânicas e biodegradabilidade (ROHIT e DIXIT, 2016).

2.3.2.7 Rami

A fibra de Rami pertence à família das plantas *Ultricaceae*, que possuem cerca de 100 espécies conhecidas, sua densidade é menor que as fibras sintéticas e sua resistência específica e módulo específico são comparáveis às de fibra de vidro. Esta fibra é largamente utilizada na indústria têxtil e na produção de cordas e fios (ROHIT e DIXIT, 2016).

2.3.2.8 Sisal

Produzida no Brasil e África Oriental, a fibra de sisal é uma das fibras naturais mais utilizadas na indústria têxtil e facilmente cultivadas. Estas fibras possuem vantagens como alta tenacidade, resistência à tração e abrasão tal como resistência à água do mar e corrosão (ROHIT e DIXIT, 2016).

2.3.2.9 Coco

Produzida da casca do coco, a fibra de coco possui alto teor de lignina, e suas características como alta resistência e dureza, resistência à traças, à fungos e à abrasão. As fibras de coco são mais resistentes à umidade e calor do que outras fibras naturais, assim gerando sua ampla utilização para diversos materiais como decorações, fios, cordas, colchões, escovas, sacos, painéis isolantes etc. (ROHIT e DIXIT, 2016).

2.3.2.10 Curauá

Originária da Amazônia, a fibras das folhas de Curauá se destacam dentre as milhares fibras naturais por suas propriedades mecânicas. Esta fibra ainda é relativamente desconhecida quando comparada à outras fibras naturais mais tradicionais como Juta, Sisal ou Cânhamo, porém no que se diz por propriedades mecânicas como resistência à tração e Modulo de Young, a fibra de Curauá está entre as mais altas até agora, tornando-se uma opção promissora para reforço de compósitos de matriz polimérica na Engenharia (COSTA *et al.*, 2020).

2.3.3 Propriedades das Fibras

Na Tabela 1 são apresentadas propriedades mecânicas de algumas das fibras naturais mais conhecidas. Dentre essas estão algumas fibras naturais de grande produção no Brasil como Juta, Sisal, Rami e Curauá, tornando essas opções atrativas dentro do mercado nacional.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas das fibras naturais

Fibra	Densidade (g/cm³)	Comprimento (mm)	Diâmetro (µm)	Deformação (%)	Tensão (MPa)	Módulo de Young (GPa)
Juta	1,23	0,8-6	5-25	1,5-3,1	187-773	20-55
Linho	1,38	10-65	5-38	1,2-3	343-1035	50-70
Sisal	1,20	0,8-8	7-47	1,9-3	507-855	9-22
Rami	1,44	40-250	18-80	2-4	400-938	61,4-128
Cânhamo	1,35	5-55	10-51	1,6-4,5	580-1110	30-60
Coco	1,20	0,3-3	7-30	15-25	175	6
Kenaf	1,20	1,4-11	12-36	2,7-6,9	295-930	22-60
Banana	1,35	0,4-0,9	12-30	5-6	529-914	27-32
Abacaxi	1,50	1-8	8-41	1-3	170-1627	60-82
Curauá	1,40	N/A	N/A	4,20	890-4200	50,40

Fonte: Modificado de Gurunathan, Mohanty e Nayak (2015); Marinelli *et al.* (2008)

2.4 TRATAMENTO PARA MELHORA DAS PROPRIEDADES DAS FIBRAS NATURAIS

Os resíduos da agricultura são os principais componentes para criação de fibras vegetais quando misturados com materiais termoplásticos. As fibras oferecem grandes vantagens como baixo custo, baixa densidade, boa resistência à solventes e temperatura, além de não serem abrasivas e nem tóxicas. Apesar de suas excelentes propriedades, essas fibras também possuem desvantagens como: desempenho mecânico baixo, baixa termoplasticidade e temperatura de processamento, alta absorção de umidade e incompatibilidade com termoplásticos mais comuns (ALBINANTE, VASQUES PACHECO e VISCONTE, 2012).

A principal desvantagem em compósitos baseados em fibras naturais é a incompatibilidade da fibra natural hidrofílica e matriz hidrofóbica, tornando necessário o uso de agentes de acoplamento para melhorar a adesão (ALBINANTE, VASQUES PACHECO e VISCONTE, 2012).

Apesar de suas qualidades, as fibras naturais possuem desvantagem em relação às sintéticas, principalmente no que diz respeito a suas propriedades mecânicas, alta higroscopia, baixa capacidade termoplástica e sua incompatibilidade com diversos materiais termoplásticos comumente utilizados como matriz. Apesar dessas desvantagens essas fibras possuem a capacidade de serem modificadas através de tratamentos químicos por meio de tecnologias para a melhoria das propriedades mecânicas. Algumas técnicas são baseadas no tratamento das fibras visando aumentar a adesão dessas à matriz, outras trabalham modificando diretamente a matriz do compósito (ALBINANTE, VASQUES PACHECO e VISCONTE, 2012).

2.4.1 Tratamento de Mercerização

Também conhecida como tratamento alcalino, a mercerização é um dos processos mais utilizados para tratamento das fibras naturais em matrizes termoplásticas e termorrígidas, esse processo é realizado através de uma solução alcalina que solubiliza a hemicelulose e a lignina. A hemicelulose é um composto presente em fibras naturais solúvel em baixas concentrações de álcalis abrindo assim uma brecha para que a lignina sofra hidrólise, enfraquecendo a ligação hidrogênio na estrutura da celulose. Esse tratamento cria o aumento da rugosidade do material, gerando assim uma maior área de contato entre fibra e matriz, conseqüentemente uma maior adesão entre essas duas e a melhora na transferência de carga (ALBINANTE, VASQUES PACHECO e VISCONTE, 2012).

Normalmente o tratamento de mercerização é aplicado em fibras curtas, aquecendo essas a aproximadamente 80°C em solução aquosa alcalina com 10% de concentração de NaOH durante períodos entre 3 e 4 horas seguido de lavagem e secagem das mesmas (ROHIT e DIXIT, 2016).

2.4.2 Tratamento de Acetilação e Propionilação

Esses métodos de tratamento das fibras naturais visam tornar essas mais hidrofóbicas por meio de esterificação dos grupos hidroxila das fibras, principal responsável pela característica naturalmente hidrofílica das fibras naturais (ALBINANTE, VASQUES PACHECO e VISCONTE, 2012).

Esse tratamento é feito pela imersão das fibras em ácido acético a temperaturas próximas de 100°C por intervalos que variam de uma a três horas, após esse período as fibras são imersas em uma mistura de anidrido acético e algumas gotas de ácido sulfúrico por alguns minutos e posteriormente filtrados, lavados e secados (PANJGOTRA e KUMAR, 2019).

A efetividade do tratamento de acetilação está diretamente ligada a composição da fibra tratada. As fibras naturais são constituídas de diferentes componentes, dentre eles os três principais componentes presentes nos materiais lignocelulósicos são: lignina, hemicelulose e celulose; cada um desses com uma reatividade diferente ao anidrido acético utilizado na acetilação, sendo a lignina a mais reagente dentre as três e a celulose a menos. Desse modo, fibras ricas em lignina, como madeira, bambu, e fibra de coco, apresentam melhores resultados a esse tratamento (ALBINANTE, VASQUES PACHECO e VISCONTE, 2012).

2.4.3 Tratamento de Benzilação

Nesse tratamento, assim como na mercerização, é feita a imersão das fibras lignocelulósicas em uma solução de 10% de NaOH durante uma hora, seguidas de filtragem, lavagem e secagem dessas. Em seguida, diferente da mercerização, as fibras são imersas por mais uma hora em etanol, enxaguadas e secas. A segunda imersão faz com que os grupos benzeno substituam as hidroxilas encontradas nas fibras naturais, tornando-as mais hidrofóbicas (IZWAN *et al.*, 2020).

O tratamento de benzilação melhora a rugosidade das fibras gerando maior molhabilidade na matriz e conseqüentemente a melhora das propriedades de resistência à tração e flexão dos compósitos, e também aumenta a estabilidade térmica do material (IZWAN *et al.*, 2020).

2.4.4 Tratamento com Permanganato de Potássio

Outro tratamento superficial das fibras naturais é o tratamento com permanganato de potássio. Assim como o tratamento de benzilação, nesse tratamento é realizado um pré-tratamento alcalino das fibras com solução de NaOH, em seguida, as fibras passam por tratamento em solução de permanganato de potássio diluído em acetona, as concentrações de permanganato costumam ser trabalhadas na faixa entre 0,005% e 0,205% por um período de um a três minutos, uma vez que concentrações superiores a 1% de permanganato geram degradação das fibras e não são recomendadas. Essa solução trabalha reagindo com os grupos hidroxila-celulósicos expostos no pré-tratamento alcalino e formando grupos celulose-manganato, reduzindo a capacidade de absorção de água das fibras e melhorando a estabilidade térmica do compósito (BATARA *et al.*, 2019).

2.4.5 Tratamento com Peróxido

Nesse tratamento as fibras naturais, após pré tratamento alcalino, são cobertas por peróxido de dibenzoila ou dicumila em solução de acetona em concentrações de até 4% e 6%, respectivamente, por períodos de aproximadamente trinta minutos. A realização desse tratamento gera aumentos significantes das propriedades mecânicas do compósito, além de diminuir a capacidade hidrofílica do material. (PANJOTRA e KUMAR, 2019).

2.4.6 Tratamento de Silanização

O tratamento de Silanização, diferente dos tratamentos apresentados anteriormente, trabalha através da ligação de Van der Waals de moléculas de silano à fibra. Essas moléculas possuem a característica onde cada uma de suas extremidades possui uma polaridade diferente, permitindo assim que uma delas se ligue à fibra, que possui propriedades hidrofílica, e na outra a matriz, de propriedade hidrofóbica, permitindo assim uma ligação mais forte entre os compostos e a consequente melhora de suas propriedades mecânicas (ALBINANTE, VASQUES PACHECO e VISCONTE, 2012).

2.4.7 Tratamento Enzimático

Esse método se usa de enzimas para extração enzimática de alguns componentes presentes nas fibras que atrapalham a ligação entre fibras e compósitos, como ceras e óleos. Entre as principais enzimas utilizadas nesse tratamento estão pectinases, hemicelulases, lacases e celulases (SEIBEL e BELÉIA, 2009; PREZ *et al.*, 2018).

2.4.8 Tratamento Isocianato

Neste tratamento, o grupo funcional isocianato reage com os grupos hidroxila superficiais presentes na lignina e na celulose, diminuindo a capacidade hidrofílica das fibras e melhorando assim a adesão das fibras à matriz polimérica. O tratamento é tipicamente realizado com compostos isocianatos em temperaturas próximas a 50°C por aproximadamente uma hora (PANJGOTRA e KUMAR, 2019).

2.4.9 Tratamento por Descarga Corona

Esse tratamento é largamente utilizado para a melhora da qualidade de materiais termoplásticos. Essa é uma das técnicas mais interessantes quando se fala da ativação da oxidação superficial das fibras, melhorando a compatibilidade entre fibras de celulose, fibras hidrofílicas e uma matriz hidrofóbica (FORMARI JUNIOR, 2017; ROHIT e DIXIT, 2016).

Nesse processo a energia da superfície das fibras é alterada através da submissão das fibras a uma descarga controlada durante um curto período, promovendo a oxidação da superfície das fibras. Uma das grandes vantagens desse tratamento é a possibilidade de controle da potência do tratamento e, dessa forma, controle do nível de ativação da superfície das fibras (FORMARI JUNIOR, 2017).

2.4.10 Tratamento de Plasma

Este tratamento é um tratamento físico cujo método é similar ao tratamento por descarga corona, mostrado anteriormente. Nesse processo a superfície das fibras é submetida a uma condição energética previamente estabelecida que irá modificar a superfície do material, os resultados dessa modificação dependerão do gás utilizado no processo, sendo os mais utilizados o hélio, o nitrogênio, o oxigênio e o ar atmosférico (FORMARI JUNIOR, 2017).

O tratamento a plasma pode aumentar a molhabilidade das fibras, melhorando assim sua adesão à matriz, além disso, esse tratamento também permite a introdução de grupos químicos às fibras e o aumento de sua rugosidade, provocando uma melhor adesão mecânica das fibras à matriz (FORMARI JUNIOR, 2017).

2.4.11 Esterificação

A esterificação é um tratamento que utiliza o ácido esteárico adicionado a uma solução de álcool etílico, em quantidades de até 10% do peso total das fibras a serem tratadas. A solução obtida é então adicionada gota a gota às fibras, que posteriormente são secas em estufa (ROHIT e DIXIT, 2016).

Esse tratamento realiza a modificação química das fibras com o objetivo de aumentar a adesão entre material de reforço e matriz, e conseqüentemente as propriedades mecânicas do material (ROHIT e DIXIT, 2016).

2.4.12 Tratamento com TDI

Neste método, as fibras são imersas em clorofórmio com algumas gotas de um catalisador (à base de dilaurato de dibutilestano) e agitadas por 2 horas após a adição de tolueno-2-4-di isocianato. Finalmente, as fibras são lavadas em acetona e secas em estufa (ROHIT e DIXIT, 2016).

Esse método de tratamento químico faz com que as fibras se tornem mais hidrofóbicas e dessa forma aumenta a coesão entre fibras e matriz, gerando assim compósitos de melhores propriedades mecânicas (ROHIT e DIXIT, 2016; SHIGLEY, MISCHKE e BUDYNAS, 2005).

2.5 MÉTODOS DE FABRICAÇÃO

No mercado existem diferentes técnicas de fabricação para materiais compósitos, cada uma com suas características e particularidades. A escolha do método a ser utilizado depende dos materiais e da qualidade desejada na peça final (RAJAK *et al.*, 2019).

As técnicas de manufatura dos compósitos podem ser divididas em três principais grupos: processos tradicionais de manufatura, esses largamente aplicadas e com menor nível de tecnologia para confecção; processos avançados de manufatura, esse segundo grupo necessita de tecnologias mais avançadas para sua produção; e por fim, técnicas automatizadas de manufatura, esses métodos trabalham de forma contínua sem a necessidade de grandes intervenções humanas (RAJAK *et al.*, 2019).

2.5.1 *Hand Lay-Up*

A técnica *hand lay-up* é o método de laminação manual em molde aberto mais utilizado. Nessa técnica é utilizado um molde com a forma da peça desejada, em que primeiro se aplica uma camada de desmoldante, que facilita a separação da peça de seu molde após a secagem, e em seguida são aplicados uma camada de enchimento e posteriormente uma de resina. Depois com um rolo ou pincel é feita a remoção das bolhas formadas, para que essas não criem um defeito na peça e para uma maior penetração da resina nas fibras, então o processo é repetido adicionando quantas camadas de fibra e resina forem necessárias para a formação da peça, repetindo o processo de remoção de bolhas a cada nova camada. Uma ilustração de como é realizado o processo é mostrada na Figura 7 (RAJAK *et al.*, 2019).

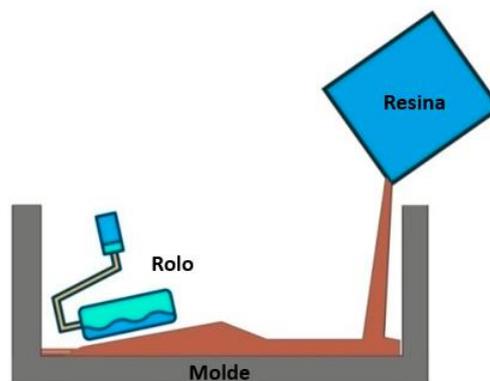


Figura 7 – Esquema de processo *Hand Lay-Up*
Fonte: Panjgotra e Kumar (2019)

2.5.2 Pré-Impregnação

Pré-impregnação é outro processo tradicional em que as fibras são pré impregnadas com a matriz não curada, termoplástica ou termorrígida, deixando essas fibras prontas para a aplicação em um molde, necessitando apenas da adição de temperatura para a realização da cura completa da peça, tornando assim umas das principais qualidades desse processo, a sua

praticidade. Uma ilustração de como é realizado o processo é mostrada na Figura 8, nela é mostrado como o tecido é removido do rolo e então conduzido através de um reservatório contendo a resina que será impregnada em forma líquida, após a passagem pelo banho em resina, o tecido segue uma câmara onde é realizado primeiro o aquecimento do material para sua impregnação nas fibras e em seguida o resfriamento delas para fixação ao material, por fim o material resfriado é então armazenado em rolos prontos para aplicação (RAJAK *et al.*, 2019).

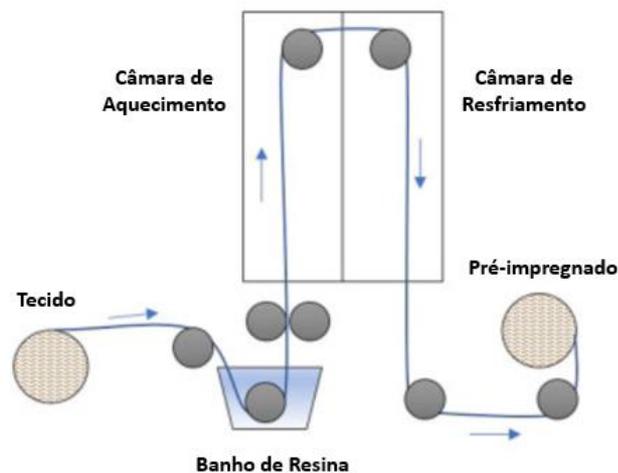


Figura 8 – Esquema de processo de Pré-Impregnação
Fonte: Iqbal e Shaker (2021)

2.5.3 *Spray Lay-Up*

A técnica *Spray Lay-up* é outro método de laminação em molde aberto muito utilizado. Diferente do que acontece na técnica *Hand Lay-up*, nessa técnica as fibras, dessa vez cortadas e não em forma de manta como no *Hand Lay-up*, são pulverizadas no molde juntamente com a resina utilizada através de uma pistola especial. Esse método traz agilidade ao processo de laminação das peças e cria peças de boa confiabilidade. Uma ilustração de como é realizado o processo é mostrada na Figura 9 (RAJAK *et al.*, 2019).

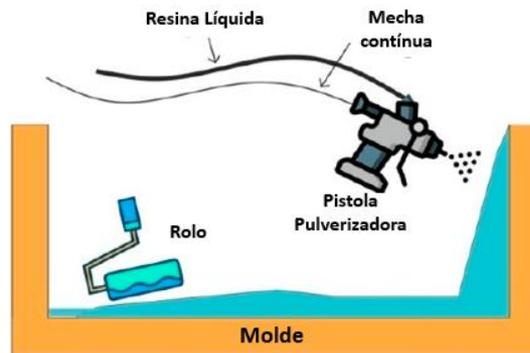


Figura 9 – Esquema de processo *Spray Lay-Up*
Fonte: Panjgotra e Kumar (2019)

2.5.4 Bolsa de Vácuo

A técnica de bolsa de vácuo utiliza de uma bolsa de material flexível, como *nylon* ou polietileno, na qual é introduzida a peça a ser moldada e, através da remoção do ar presente dentro da bolsa, força a resina a penetrar de forma mais profunda nas fibras, reduzindo defeitos, aumentando a adesão da matriz às fibras e, conseqüentemente, as propriedades mecânicas da peça. Essa técnica é muitas vezes utilizada em conjunto com a técnica *Hand Lay-up* para obtenção de peças de maior qualidade. Uma ilustração de como é realizado o processo é mostrada na Figura 10 (RAJAK *et al.*, 2019).

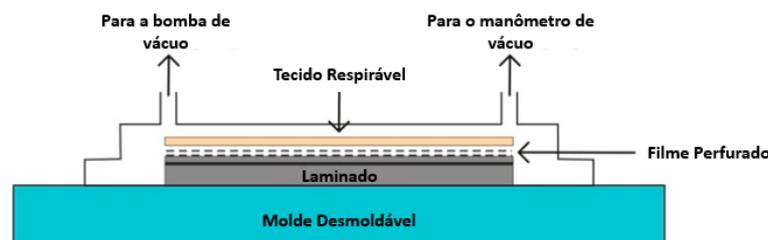


Figura 10 – Esquema processo de moldagem em Bolsa de Vácuo
Fonte: Panjgotra e Kumar (2019)

2.5.5 Moldagem por Transferência de Resina

O processo chamado de RTM (*Resin Transfer Molding*), ou processo de moldagem por transferência de resina (Figura 11), é uma técnica de injeção em molde fechado. Inicialmente as fibras são dispostas na parte inferior do molde que em seguida é fechado, logo depois, um injetor aplica pressão à resina que se espalha pelo interior do molde e penetra nas fibras, produzindo assim peças de alta qualidade e resistência (RAJAK *et al.*, 2019).

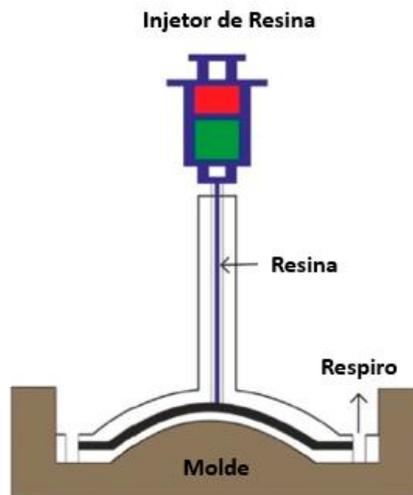


Figura 11 – Esquema processo de moldagem por Transferência de Resina
Fonte: Panjgotra e Kumar (2019)

2.5.6 Moldagem por Transferência de Resina Assistida a Vácuo

Trabalhando de forma oposta ao processo RTM, o processo VARTM (*Vacuum Assisted Resin Transfer Molding*), ou processo de moldagem por transferência de resina assistida a vácuo (Figura 12), opera a partir da pressão negativa formada no molde pelo processo de criação de vácuo, que faz a sucção da resina, preenchendo assim os vazios do molde e removendo o ar presente na peça, o que torna essa técnica muito popular na fabricação de grandes peças em que o ar poderia gerar defeitos (RAJAK *et al.*, 2019).

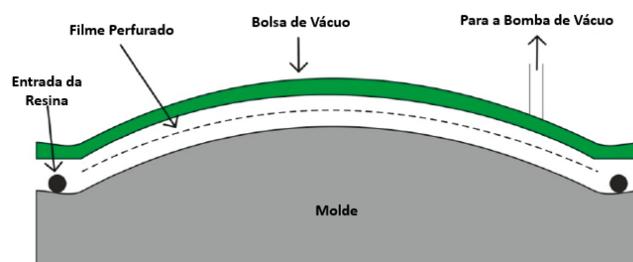


Figura 12 – Esquema processo de Moldagem por Transferência de Resina Assistida a Vácuo
Fonte: Panjgotra e Kumar (2019)

2.5.7 Moldagem por Compressão

O processo de moldagem por compressão é um processo que utiliza um molde pré-aquecido dividido em duas partes: uma móvel, instalada na parte superior de uma prensa; e a segunda fixa instalada na base da prensa. Fibras pré impregnadas são então adicionadas entre as metades do molde e essas metades são prensadas uma contra a outra, fazendo com que o

material ganhe temperatura e, pela pressão, preencha o molde gerando assim a peça desejada. Uma ilustração de como é realizado o processo é mostrada na Figura 13 (RAJAK *et al.*, 2019).

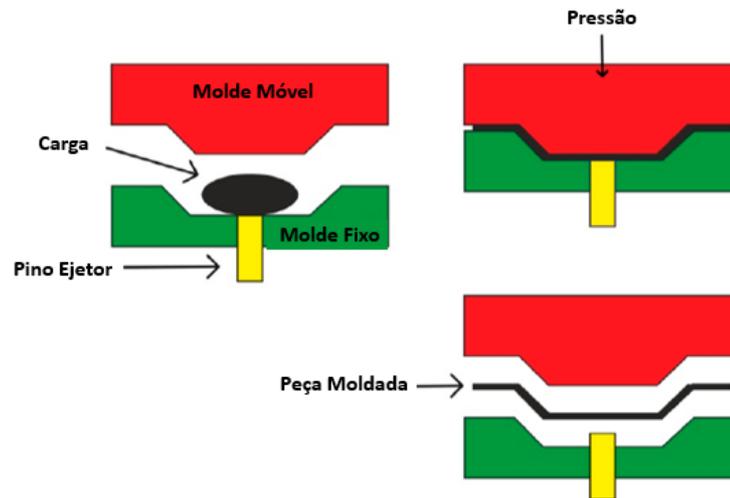


Figura 13 – Esquema processo de Moldagem por Compressão
Fonte: Panjgotra e Kumar (2019)

2.5.8 Pultrusão

No método de pultrusão, conjuntos de fibras são passadas em um banho de resina termoendurecível e depois através de uma fiação ou molde com a seção transversal desejada. Esse processo é muito utilizado na produção de perfilados de forma contínua. Uma ilustração de como é realizado o processo é mostrada na Figura 14 (RAJAK *et al.*, 2019).

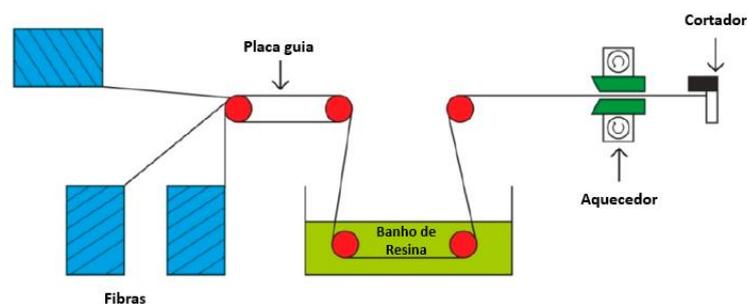


Figura 14 – Esquema processo de Pultrusão
Fonte: Panjgotra e Kumar (2019)

2.5.9 Injeção

Outra técnica tradicional é a de moldagem por injeção, nesse processo, compósitos peletizados de fibras em matriz termoplástica são unidos através de uma extrusora, equipamento que realiza o aquecimento e prensagem desses materiais. O parafuso utilizado na prensagem

dos compósitos peletizados faz também a movimentação desse material gerado, fazendo a injeção do material no molde, então o molde realiza o resfriamento do material e com isso a peça é curada e toma sua forma final. Uma ilustração de como é realizado o processo é mostrada na Figura 15 (RAJAK *et al.*, 2019).

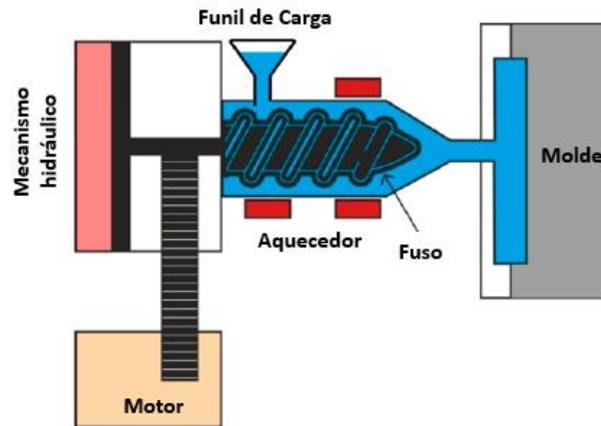


Figura 15 – Esquema de moldagem por Injeção
Fonte: Panjgotra e Kumar (2019)

2.6 SISTEMAS DE TRANSMISSÃO POR CORREIA

Elementos como correias, correntes, elásticos ou flexíveis são frequentemente usados em sistemas que exigem transmissão de potência ou transporte em longas distâncias. Sendo assim, esses elementos são comumente utilizados para substituir os elementos rígidos de transmissão de potência, como engrenagens, eixos, mancais entre outros (SHIGLEY, MISCHKE e BUDYNAS, 2005).

Esses tipos de transmissão, em muitos casos, possuem grande importância já que esses elementos possuem a capacidade de absorver cargas de choque e amortecer ou isolar vibrações, além de simplificar e reduzir o custo de projetos (SHIGLEY, MISCHKE e BUDYNAS, 2005).

No entanto, o sistema de transmissão flexível exige atenção mais frequente para manutenção quando comparado ao sistema de transmissão rígido, uma vez que sua vida útil é menor. Isso se dá pelo fato de os elementos de transmissão flexíveis trabalharem sob constante pressão e atrito, entre a polia e a correia, e considerando possíveis deslizamentos, que geram calor e assim gerando desgaste e perda de elasticidade (SHIGLEY, MISCHKE e BUDYNAS, 2005).

2.6.1 Correia Plana

As correias planas geralmente são feitas de uretano e tecido impregnado de borracha reforçado com cabo de aço ou cordas de *nylon*, que apresentam propriedades de absorver tensões e contribuem para a sustentação da correia, como mostra a Figura 16 (SHIGLEY, MISCHKE e BUDYNAS, 2005).



Figura 16 - Correia Plana
Fonte: <chilteccorreias.com.br/>

Este tipo de correia é conhecido por sua característica de ser silenciosa, eficiente a altas velocidades e são amplamente utilizadas para transmissão de grandes quantidades de potência em longas distâncias (SHIGLEY, MISCHKE e BUDYNAS, 2005).

2.6.2 Correia em V

As correias em V geralmente são feitas de algodão, tecido de fibra celulósica ou náilon e impregnado de borracha, como mostra a Figura 17. Essas correias, diferente das planas, transmitem a força através do atrito de suas laterais, usadas em polias com ranhuras e com transmissão de potência em curtas distâncias (SHIGLEY, MISCHKE e BUDYNAS, 2005).



Figura 17 - Correia em V
Fonte: <irobras.com.br/correia-em-v.php>

Este tipo de correia é utilizado atualmente pela equipe Mud Runner Baja SAE entre as polias do câmbio CVT para transmissão de potência do motor (SHIGLEY, MISCHKE e BUDYNAS, 2005).

2.6.3 Correia de Tempo

As correias de tempo, ou dentadas, são chamadas assim por possuírem dentes uniformemente espaçados que se encaixam em rodas dentadas e também podendo ser usadas em polias, conforme Figura 18. Geralmente feitas em tecidos emborrachados e cabos de aço para sustentação, essas correias não possuem perda de eficiência por deslizamento, gerando então uma maior capacidade de transmissão de potência, com uma velocidade angular constante, e aumentando sua vida útil pela redução do desgaste. Pelo fato de ser dentada, este tipo de correia não exige tensão inicial para trabalho e não possui restrição para velocidades de trabalho (SHIGLEY, MISCHKE e BUDYNAS, 2005).



Figura 18 – Correia de Tempo
Fonte: <correntesttc.com.br/produtos/polias-correias.html>

2.7 SISTEMA DE TRANSMISSÃO POR CVT

O câmbio CVT (*Continuously Variable Transmission* ou Transmissão Continuamente Variável) é um sistema de transmissão de potência que varia de acordo com a velocidade do motor de maneira contínua, seu principal objetivo é prover relações de potência sem a necessidade de engrenagens fixas. Esse mecanismo é feito através de polias que abrem e fecham de acordo com a força centrífuga gerada pela rotação do motor, como mostra a Figura 19 (SHIGLEY, MISCHKE e BUDYNAS, 2005).

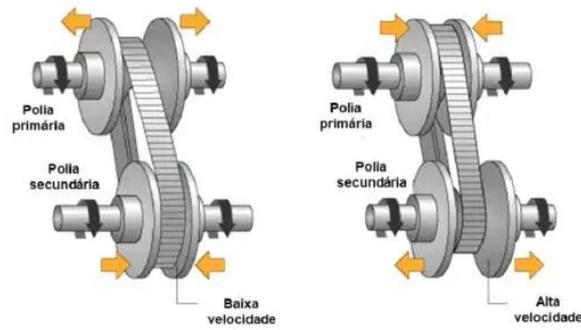


Figura 19 – Funcionamento câmbio CVT
 Fonte: <veiculosnaweb.com.br/carros/cambio-cvt/>

O sistema de CVT permite a variação da troca de relação de torque e velocidade de forma contínua e imperceptível, diferente de veículos com marchas automáticas. Este tipo de sistema se destaca e gera grande interesse em estudos voltados para eficiência por sua capacidade de redução do consumo de combustível e melhor dirigibilidade (SHIGLEY, MISCHKE e BUDYNAS, 2005).

2.8 PROTEÇÃO DO CÂMBIO CVT

De acordo com o Regulamento Baja SAE Brasil, todas as partes girantes e que se movimentam na velocidade do eixo das rodas ou mais rápidas devem ser protegidas, isso inclui correntes, polias e correias. Essas proteções devem se estender ao redor da periferia das partes girantes e devem ser mais largas do que a parte protegida, como mostra a Figura 20, sendo fixadas rigidamente de forma estática e os pontos de fixação não devem ceder ou afrouxar com a vibração do veículo (SAE BRASIL, 2021).

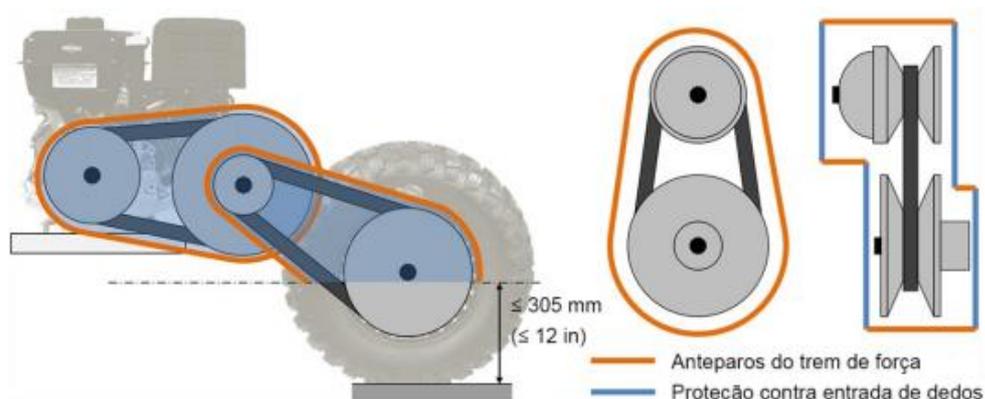


Figura 20 – Ilustração proteções do câmbio CVT
 Fonte: SAE Brasil (2021)

2.9 ANÁLISE TÉRMICA

A análise das propriedades térmicas de um material, principalmente quando falamos de materiais não convencionais, é necessária para compreensão de como as propriedades do material se modificam com a variação da temperatura (aquecimento ou resfriamento) ou em função do tempo a uma temperatura constante. Existem diversas técnicas para análise térmica dos materiais como: Termogravimetria (TGA), termogravimetria derivativa (DTG), análise térmica diferencial (DTA), calorimetria diferencial de varredura (DSC), análise termomecânica (TMA), análise termodielétrica (DETA), e análise termodinâmico-mecânica (DMTA), também chamada de análise dinâmico-mecânica (DMA) (LUCAS, SOARES e MONTEIRO, 2001).

2.9.1 Análise Termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica é um ensaio que tem como objetivo avaliar a estabilidade e a decomposição térmica dos materiais. Este ensaio consiste em sujeitar o material em análise a um programa de temperaturas em um equipamento chamado termobalança, composto genericamente por uma balança, um forno e um programador de temperaturas que permite a realização do perfil de temperatura desejado aplicando razões de aquecimento constantes, além de permitir a pesagem contínua do material durante o experimento. Através desse processo é possível realizar a avaliação do perfil de decomposição do material em função da temperatura, permitindo a caracterização de propriedades importantes como as faixas de temperatura onde ocorre a pirólise, que é o processo de decomposição térmica em que o material começa a modificar sua estrutura química (DENARI e CAVALHEIRO, 2012; VIDAL, 2017; JUNIOR, 2016).

2.9.2 Análise Dinâmico-Mecânica (DMA)

O ensaio de análise dinâmico-mecânica (DMA) é um ensaio que têm como objetivo analisar propriedades como elasticidade, módulo de perda (E''), temperatura de transição vítrea, e módulo de armazenamento (E'). As propriedades são avaliadas através da aplicação de uma solicitação constante oscilatória de baixa amplitude e aplicação de aquecimento pré-definido através de um forno especial dotado de cabeçotes móveis que permitem trocas para diferentes tipos de esforços aos corpos de prova, com objetivo de avaliar as propriedades limites do material, classificando esse ensaio como destrutivo (CASSU e FELISBERTI, 2005; LORANDI, CIOFFI e ORNAGHI JR., 2016).

Uma das propriedades avaliadas nesse ensaio é módulo de armazenamento que representa a energia armazenada e recuperada pelo material em cada ciclo de carga. Já o módulo de perda representa a energia dissipada na forma de calor durante os ciclos de carregamento. A partir dessas duas propriedades é obtido o fator de amortecimento do material ($\tan \delta$), que é a razão entre o módulo de perda do material e o módulo de armazenamento (CASSU e FELISBERTI, 2005; LORANDI, CIOFFI e ORNAGHI JR., 2016).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão abordados as metodologias e análises usadas para definir o material proposto para fabricação da proteção do câmbio CVT.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a modelagem das peças da proteção do câmbio CVT, foi utilizado o *software* SolidWorks, ferramenta que permite a criação de modelos tridimensionais, além de permitir a avaliação da massa através de propriedades de cada material.

Para as medições de temperatura nos testes foi utilizado um termômetro infravermelho Benetech GM320. As especificações do equipamento são mostradas de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Característica termômetro infravermelho

Propriedades	Dados
Distância Razão do Ponto	12:1
Seleção em Temperatura	°C
Tempo de Resposta	500ms
Faixa de Temperatura	-50°C a 380°C
Emissividade	Regulável
Repetibilidade	1%

Fonte: Manual Deerma

3.2 REGULAMENTO BAJA SAE

A proteção segundo o regulamento deve ser feita de aço com, no mínimo, 1,5 mm de espessura e resistência ao impacto igual ou superior ao aço SAE 1010, ou feita de alumínio com, no mínimo, 3 mm de espessura e resistência ao impacto igual ou superior ao alumínio SAE 6061-T6. Para materiais alternativos, as proteções devem ser feitas com materiais que apresentem absorção de energia na ruptura equivalente, sendo necessário ensaios Charpy e Izod para comprovação. Já para materiais compósitos, a proteção deve possuir o dobro da espessura

com absorção de energia equivalente ao material padrão, devido a problemas e defeitos de fabricação (SAE BRASIL, 2021).

3.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Segundo o regulamento Baja SAE Brasil, para substituição do material, os materiais alternativos necessitam ter propriedades de resistência ao impacto igual ou superior a do aço SAE 1010. De forma a analisar o valor de resistência ao impacto do aço SAE 1010 e comparar suas propriedades com compósitos de fibra de carbono com diferentes arranjos das fibras, Mazarim e Salerno (2018) realizaram testes a fim de caracterizar as propriedades mecânicas desses dois materiais através de uma máquina de ensaio de impacto Charpy e corpos de prova com base nas normas ASTM 23-16, para o aço, e ASTM D256, para o compósito de fibra de carbono. Nessa análise foi obtido um valor médio de 15,8(\pm 1,4) J de energia absorvida no impacto para os corpos de prova de aço SAE 1010, os resultados dos ensaios são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de impacto Charpy para o aço SAE 1010

Corpo de Prova	Energia Absorvida (J)
1	13,0
2	16,0
3	17,0
4	17,0
5	17,0
6	16,0
7	14,0
8	16,0
9	16,0
Média	15,8 (\pm 1,4)

Fonte: Mazarim e Salerno (2018)

De forma similar, Tafarello (2013) também realizou um estudo comparando as características entre o aço SAE 1010 e compósito de fibra de fibra de carbono, porém, diferente do estudo anterior, utilizou uma torre para avaliação de resistência à impacto, com penetrador de 1,5kg de carga, construída no Departamento de Engenharia Mecânica do ITA/DCTA, a uma altura suficiente para gerar uma energia de impacto de 25J nos corpos de prova. Esse ensaio utilizou corpos de prova com base na norma ASTM D 7136 e obteve uma energia absorvida média de 22,4J para os corpos de prova de aço SAE 1010 e 21,52J para os corpos de prova de material compósito de fibra de carbono, chegando a um resultado suficientemente próximo ao

do SAE 1010, a ponto de permitir a substituição pelo material compósito. Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos no estudo.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de impacto Através de Torre para o aço SAE 1010

Corpo de Prova	Energia Absorvida (J)
2	21,00
4	22,65
5	21,82
6	22,63
7	22,40
Média	22,40
Desvio Padrão	0,70

Fonte: Modificado de Tafarello (2013)

Cavalcanti (2018) realizou um estudo para caracterização das propriedades de materiais compósitos baseados em fibras naturais, em seu estudo foram analisadas diferentes composições de fibras, variando os materiais entre compósitos simples e compósitos híbridos, e também com base nos tratamentos superficiais empregados nas fibras naturais entre fibras não tratadas, com tratamento alcalino, e por tratamento nomeado como misto, onde além do tratamento alcalino foi aplicado o tratamento de silanização das fibras naturais. Os corpos de prova seguiram os padrões da ASTM 6110 para o ensaio de impacto, ASTM 638 para ensaio de tração, e da ASTM 790 para ensaio de flexão. Os resultados dos ensaios de impacto realizados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Absorção de energia de compósitos híbridos

Compósito	Tratamento	Não Tratado (J)	Alcalino (J)	Misto (J)
Juta		3,4 ± 0,5	4,1 ± 0,4	13,9 ± 3
Juta + Sisal		10 ± 1,9	17,7 ± 3,3	55,1 ± 7,7
Juta + Rami		5,4 ± 0,5	6,4 ± 0,8	9,8 ± 3,3
Juta + Curauá		13,9 ± 1,3	10,4 ± 2,3	54 ± 4,9
Juta + Fibra de Vidro		13,7 ± 1,4	-	-

Fonte: Cavalcanti (2018)

Nos resultados obtidos por Cavalcanti (2018) é possível observar que as composições que melhor reagiram aos tratamentos superficiais das fibras foram os compósitos híbridos entre Juta + Sisal e Juta + Curauá. O composto Juta + Sisal obteve valor semelhante ao testado por Mazarim e Salerno (2018) para o aço SAE 1010 quando aplicado apenas o tratamento alcalino. Quando aplicado o tratamento misto o valor de energia absorvida no impacto pelo compósito

de Juta + Sisal e Juta + Curauá foram semelhantes, obtendo mais que o dobro do valor encontrado por Tafarello (2013).

Cavalcanti (2018) também realizou durante seus estudos o mapeamento e registro da densidade de cada compósito híbrido baseado em fibras naturais de acordo com seu tratamento. Esses valores de densidade são apresentados na Tabela 6 e serão usados posteriormente neste trabalho para fazer uma estimativa de massa através de uma modelagem 3D no *software* SolidWorks.

Tabela 6 – Densidade dos compósitos híbridos

Compósito	Densidade (g/cm³)
Juta + Sisal não Tratada	1,3
Juta + Sisal Merceirizada	1,3
Juta + Sisal Tratamento Misto	1,3
Juta + Curauá não Tratada	1,3
Juta + Curauá Merceirizada	1,3
Juta + Curauá Tratamento Misto	1,2

Fonte: Modificado de Cavalcanti (2018)

3.4 PROPRIEDADE TÉRMICA

Para este trabalho, a análise mais importante é a dinâmico-mecânica, uma vez que influencia diretamente na capacidade do material de armazenar energia sem sofrer deformações permanentes. Como o valor de referência do regulamento Baja SAE se baseia no valor de resistência ao impacto do material comparado ao aço SAE 1010, a modificação desses valores com a variação da temperatura poderia impossibilitar a aplicação desses materiais no veículo.

Neto (2018) realizou estudo TGA para avaliação das faixas de temperatura onde ocorre decomposição do material, os dividindo em três faixas: Na primeira ocorre perda de peso devido a evaporação da umidade presente nas fibras do compósito, na faixa entre 30°C e 180°C; Na segunda onde ocorre a perda de massa devido ao processo de pirólise do material além da degradação da hemicelulose, lignina e celulose presentes nas fibras, entre 210°C e 450°C; E por fim, na terceira faixa, entre 480°C e 600°C, ocorreu a produção de resíduo de carvão reativo. Os resultados obtidos por Neto (2018), mostrados na Tabela 7, para compósitos híbridos de Juta + Sisal e Juta + Curauá indicam que a faixa segura de uso desses materiais está limitada até 180°C.

Tabela 7 – Propriedades térmicas dos compósitos híbridos

Compósito	Perda de Peso (%)		Resíduo (%)
	30 - 180 (°C)	210 - 450 (°C)	480 - 600 (°C)
	Água	Pirólise	Degradação
Juta + Sisal não Tratada	1,15	76,34	15,69
Juta + Sisal Merceirizada	2,78	69,55	19,35
Juta + Sisal Tratamento Misto	1,64	74,01	17,16
Juta + Curauá não Tratada	1,83	76,01	14,94
Juta + Curauá Merceirizada	1,96	75,19	15,36
Juta + Curauá Tratamento Misto	2,35	74,4	16,16

Fonte: Modificado de Neto (2018)

Neto (2018) também realizou o ensaio DMA de diversas combinações de compósitos baseados em fibras naturais, variando os materiais entre compósitos simples e compósitos híbrido e com base nos tratamentos superficiais empregados nas fibras naturais entre fibras não tratadas, com tratamento alcalino, e por tratamento nomeado como misto, onde além do tratamento alcalino foi aplicado o tratamento de silanização das fibras naturais. Dentre as composições analisadas, como mostrado no resultado de Cavalcanti (2018), somente as composições híbridas de Juta + Sisal e Juta + Curauá alcançaram os valores de resistência ao impacto exigidos pelo regulamento Baja SAE e conseqüentemente os resultados de Neto (2018) para essas composições são apresentados a seguir.

Na Figura 21 são apresentadas as curvas obtidas por Neto (2018) em estudo de comparação do módulo de armazenamento em função da temperatura dos compósitos híbridos de Juta + Sisal e Juta + Curauá com diferentes tratamentos superficiais das fibras, onde é possível observar que os compósitos de Juta + Sisal obtiveram os maiores valores de módulo de armazenamento quando as fibras receberam tratamento misto.

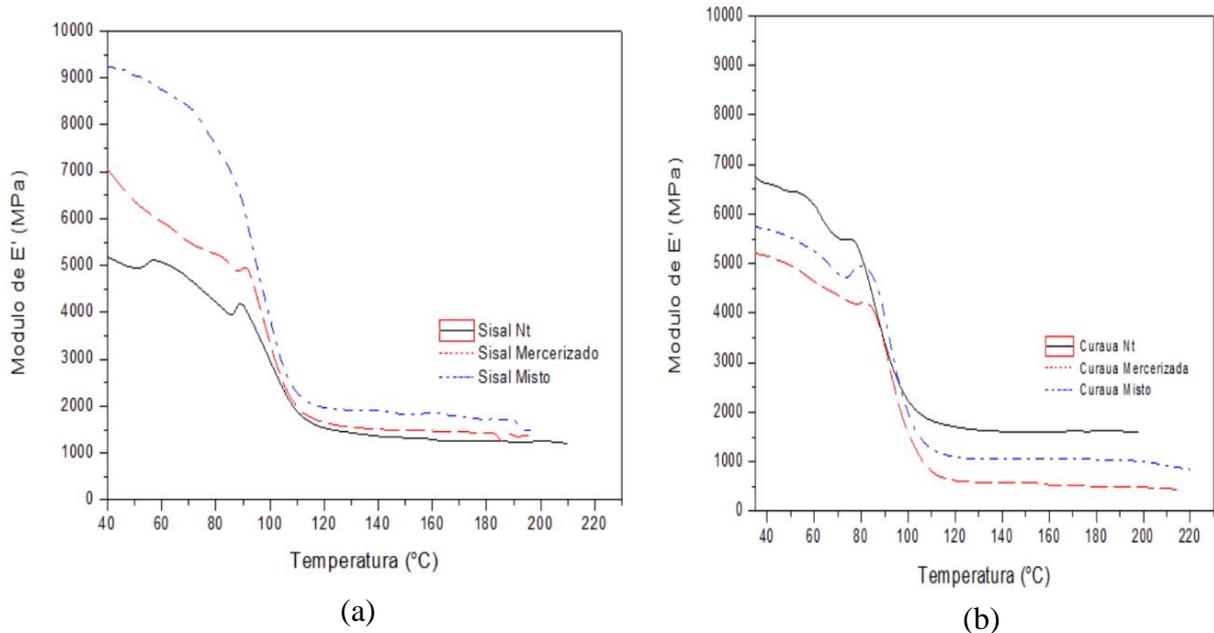


Figura 21 – Curva do Módulo de Armazenamento dos compósitos híbridos: (a) Juta + Sisal; (b) Juta + Curauá
Fonte: Modificado de Neto (2018)

Na Tabela 8 são mostrados os valores obtidos segundo a Figura 21 no ensaio realizado por Neto (2018), nela é possível observar o decaimento do módulo de armazenamento com a variação da temperatura, na tabela entre os patamares de 35°C e 100°C, apresentando uma redução de 58% para o compósito de Juta + Sisal com tratamento misto e 66% para os compósitos de Juta + Curauá com tratamento misto.

Tabela 8 - Resultado do Módulo de Armazenamento para compósitos híbridos

Amostras	Módulo de Armazenamento	
	E' (MPa) - 35°C	E' (MPa) - 100°C
Juta + Sisal não Tratada	5.380,86	2.971,89
Juta + Sisal Mercerizada	7.210,88	3.342,56
Juta + Sisal Tratamento Misto	9.289,07	3.867,23
Juta + Curauá não Tratada	6.778,54	2.393,50
Juta + Curauá Mercerizada	5.269,57	2.331,11
Juta + Curauá Tratamento Misto	5.773,20	1.976,15

Fonte: Modificado de Neto (2018)

Na Figura 22 são apresentadas as variações obtidas por Neto (2018) no ensaio DMA para o módulo de perda em função da temperatura dos compósitos híbridos de Juta + Sisal e Juta + Curauá com diferentes tratamentos superficiais das fibras, onde é possível observar que os compósitos de Juta + Sisal obtiveram os maiores valores de pico do módulo de perda quando as fibras receberam tratamento misto, o que indica alta dissipação de energia na interface entre as fases do compósito.

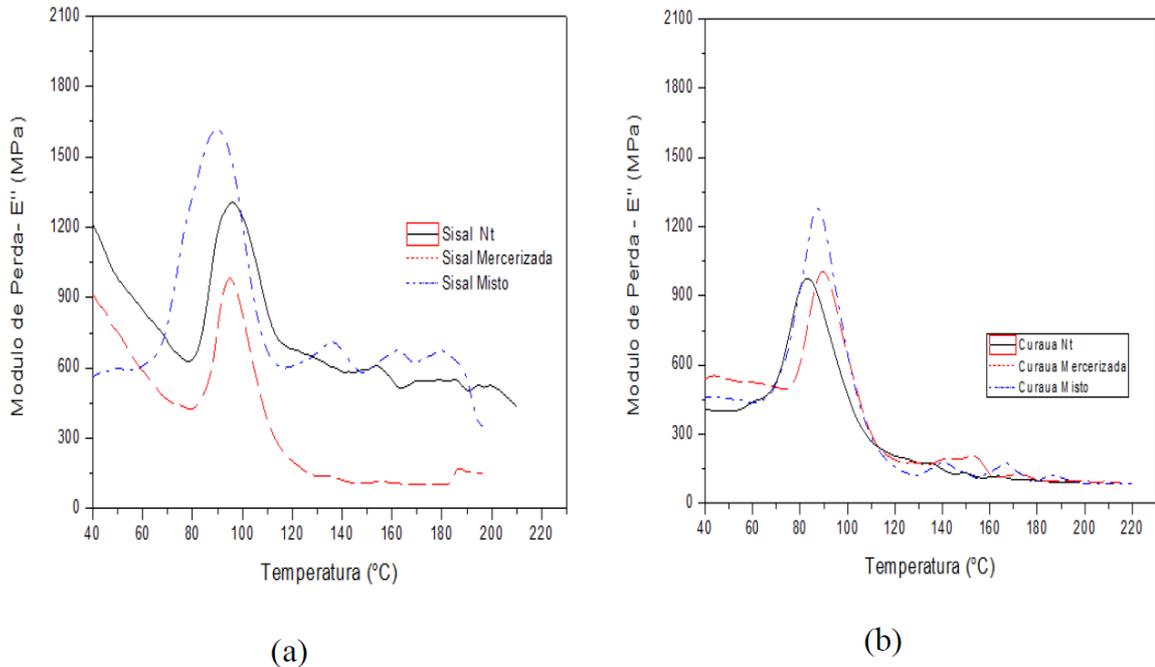


Figura 22 - Curva do Módulo de Perda dos compósitos híbridos: (a) Juta + Sisal; (b) Juta + Curauá
Fonte: Modificado de Neto (2018)

Na Tabela 9 são apresentados os valores encontrados por Neto (2018) para os valores do pico do módulo de perda, e das temperaturas de transição vítrea para o pico do módulo de perda e pico do fator de amortecimento. É possível observar pelos valores apresentados na Tabela 9 que os valores obtidos por Neto (2018) para a temperatura de transição vítrea encontrada no módulo de perda foram menores que os encontrados para os valores de temperatura de transição vítrea para o fator de amortecimento, sendo a temperatura de transição vítrea obtida para o pico do módulo de perda mais realista, indicando de forma mais precisa a temperatura na qual a rigidez do material começa a se deteriorar.

Tabela 9 - Resultado do Módulo de Perda para compósitos híbridos

Amostras	Módulo de Perda		
	Pico - E'' (MPa)	Tg para E'' max (°C)	Tg para tan δ max (°C)
Juta + Sisal não Tratada	1.306	95	97,3
Juta + Sisal Merceirizada	982,05	95,8	99,3
Juta + Sisal Tratamento Misto	1.617	89,7	100,6
Juta + Curauá não Tratada	978,3	85,2	94,6
Juta + Curauá Merceirizada	1.018	94,2	108,1
Juta + Curauá Tratamento Misto	1.279	87,3	96,6

Fonte: Modificado de Neto (2018)

Na Figura 23 são apresentadas as variações obtidas por Neto (2018) no ensaio DMA para o fator de amortecimento dos compósitos Juta+Sisal e Juta+Curauá em função da temperatura com diferentes tratamentos superficiais das fibras, onde é possível observar que os

compósitos de Juta + Sisal obtiveram os menores valores de pico do fator de amortecimento quando as fibras receberam tratamento misto, o que indica uma melhor adesão entre matriz e fibra. Já para os compósitos de Juta+Curauá a condição sem tratamento prévio das fibras apresentou os melhores resultados de fator de amortecimento.

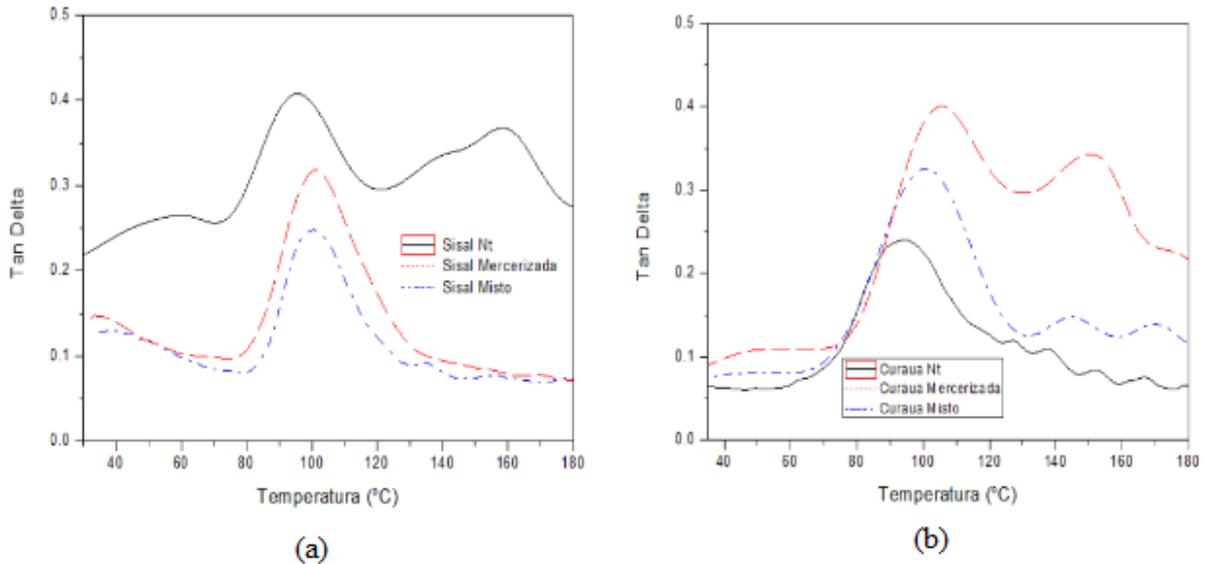


Figura 23 - Curva do Fator de Amortecimento dos compósitos híbridos: (a) Juta + Sisal; (b) Juta + Curauá
Fonte: Modificado de Neto (2018)

Na Tabela 10 são apresentados os valores obtidos para o Fator de Amortecimento através da análise DMA por Neto (2018), nela é possível observar que os compósitos onde foi aplicado tratamento misto obtiveram melhores valores para o fator de amortecimento em comparação aos com tratamento alcalino, o que indica melhores interações entre matriz e fibra.

Tabela 10 - Resultado do Fator de Amortecimento para compósitos híbridos

Amostras	Fator de Amortecimento ($\tan \delta$)	
	Tg máx da $\tan \delta$ (°C)	Pico Máximo da $\tan \delta$
Juta + Sisal não Tratada	95,6	0,408
Juta + Sisal Merceirizada	101,8	0,314
Juta + Sisal Tratamento Misto	100,6	0,248
Juta + Curauá não Tratada	94,6	0,24
Juta + Curauá Merceirizada	108,1	0,401
Juta + Curauá Tratamento Misto	96,6	0,326

Fonte: Modificado de Neto (2018)

3.5 MÉTODO DE MANUFATURA

Para a produção dos corpos de prova dos ensaios analisados por Cavalcanti (2018) e Neto (2018), foi utilizado um tecido bidirecional de juta com a fibra secundária costurada manualmente na direção 0°. Este modelo de produção, segundo Cavalcanti (2018), proporcionou melhor distribuição de energia e resultou em uma manta híbrida intralaminada, reduzindo assim os espaços vazios encontrados na manta de juta e assim tornando a manta mais densa. Os corpos de prova para os ensaios foram confeccionados com a proporção de 60% em massa de juta e 40% de outras fibras, variando entre fibras de sisal, rami, curauá e fibra de vidro, como mostrado na Figura 24.



Figura 24 – Padrão tecido bidirecional (Juta + Fibra de Vidro)
Fonte: Cavalcanti (2018)

As mantas utilizadas nos ensaios foram submetidas a três configurações distintas quanto a seus tratamentos químicos: na primeira as fibras foram utilizadas como recebidas, sem sofrer tratamento químico, passando apenas por processo de lavagem para remoção de resíduos; no segundo o material passou por tratamento em solução alcalina de NaOH com 2% de concentração durante 60 minutos e lavagem; no terceiro foi realizado tratamento chamado de misto pelos autores em que, além do tratamento alcalino e lavagem, também foi realizado tratamento de silanização das peças, no qual as peças foram imersas em solução de silano a 2% (Xiameter OFS 6040 – pH = 5,0) durante 60 minutos. Após os processos as mantas foram submetidas a secagem em estufa a 100°C (CAVALCANTI, 2018; NETO, 2018).

Em ambas as pesquisas, os compósitos foram fabricados através da técnica *Hand Lay-up*, Cavalcanti (2018) cita ainda que a confecção de suas peças teve auxílio de molde metálico e uma prensa hidráulica. O material escolhido para a matriz foi a resina epóxi AR260 e catalisador AH260 em proporção de 100 partes de resina para 26 partes de catalisador. Os corpos de prova obtidos seguiram uma proporção de fração volumétrica de 30% de reforço para

70% de matriz, na Tabela 11 é mostrada as propriedades da resina utilizada nos trabalhos (CAVALCANTI, 2018; NETO, 2018).

Tabela 11 - Propriedades mecânicas da resina AR260 / AH260

Resina AR260 / AH260	
Propriedades	Valor (Mpa)
Resistência Mecânica	73
Resistência à Flexão	119
Resistência à Compressão	89

Fonte: Barracuda (2016)

3.6 ANÁLISE TEMPERATURA BAJA

A análise de temperatura do câmbio CVT e de sua proteção foi realizado junto à equipe durante os testes do veículo. Os testes foram feitos dentro das instalações do CEFET/RJ Campus Maracanã, onde foram realizadas baterias de testes em circuitos pré-definidos e focado nos testes dos subsistemas de Trem de Força e posteriormente Suspensão.

Os testes para o Trem de Força foram focados na configuração do câmbio CVT, realizando 14 baterias direcionadas à avaliação da aceleração do veículo, nesses testes o veículo partia do repouso e então era acelerado ao máximo por 30 metros com dois pontos de medição tempo para cálculo da aceleração, o primeiro a 10 metros do ponto de partida e o segundo a 30 metros. Após isso, o veículo realizava uma volta completa no circuito e retornava ao ponto de partida do teste de aceleração, após os primeiros 10 minutos de teste foi iniciado as medições de temperatura do câmbio CVT e de sua proteção.

Para os testes de Suspensão, foi adotado um circuito aproveitando o desnível do terreno, exigindo de uma configuração diferente do câmbio CVT quando comparado aos testes de Trem de Força, sendo voltado para uma configuração de maior torque, em que a polia motriz se encontra em uma posição com os pratos mais afastados e assim diminuindo a relação entre as polias. Foram realizadas 6 baterias no circuito e as medições foram realizadas nos momentos que o veículo chegava ao ponto de partida.

Para ambos os testes, foram medidas as temperaturas em 6 pontos diferentes: Prato interno da Polia Motriz, Prato externo da Polia Motriz, Prato interno da Polia Movida, Prato externo da Polia Movida, Correia e Proteção interna do câmbio CVT (próximo a fixação do motor). As posições dos pontos de medição para avaliação da temperatura obtidas através de um termômetro infravermelho são mostradas na Figura 25.



Figura 25 – Pontos de medição: (A) Prato Interno Motriz; (B) Prato Externo Motriz; (C) Prato Externo Movida; (D) Prato Interno Movida; (E) Correia; (F) Proteção Interna.

Fonte: Autoria própria (2022)

Também foram realizadas, através de um termômetro infravermelho, medições das temperaturas alcançadas no invólucro de proteção do câmbio CVT durante a realização de uma competição realizada pelo grupo Baja Rio, grupo independente que realiza eventos estaduais envolvendo diversas equipes do Rio de Janeiro com o intuito de aumentar o conhecimento das equipes e prepará-las para os eventos realizados pela SAE Brasil. Durante o evento foram realizadas diversas provas para avaliar os protótipos, entre eles o Enduro, prova de resistência onde os veículos são expostos a um longo circuito repleto de obstáculos por várias horas, o tempo varia de competição para competição, no caso do Baja Rio, o Enduro realizado teve duração de duas horas, invertendo o sentido da pista após a primeira hora de prova para criar novas dificuldades aos pilotos. Durante esse período, foi medida a temperatura da proteção do câmbio CVT em dois pontos próximos ao motor do veículo, região observada como a mais quente do invólucro, como mostrado na Figura 26.



**Figura 26 – Pontos de medição: (A) Proteção Interna; (B) Proteção Externa.
Fonte: Autoria própria (2022)**

4 RESULTADO

4.1 ANÁLISE DE TEMPERATURA

Na Tabela 12 são apresentados os valores das temperaturas aferidas durante os testes realizados no veículo para avaliação de sua aceleração e suspensão, como descrito no item 3.7 apresentado anteriormente. Dessa tabela, as 14 primeiras medições representam as medições realizadas durante os testes de aceleração realizados, no qual é possível perceber uma estabilidade das temperaturas após o início dos testes, em que o sistema de transmissão ainda não estava aquecido. Os resultados obtidos durante os testes de avaliação da suspensão são representados pelas medições 15 a 20, em que é possível observar um aumento da temperatura do sistema devido ao maior esforço solicitado para a transposição dos obstáculos, forçando o câmbio a trabalhar em uma posição com maior relação entre as polias onde é gerado um maior atrito e conseqüentemente maior aquecimento.

É possível observar que durante esse teste, as maiores temperaturas foram registradas na região da proteção próximo a fixação da Proteção Interna com o motor, onde há um contato direto entre essas duas partes e uma conseqüente transmissão de calor por condução.

Tabela 12 - Medições temperatura durante testes de aceleração e suspensão

	Medições	Prato Interno Motriz (°C) (A)	Prato Externo Motriz (°C) (B)	Prato Externo Movida (°C) (C)	Prato Interno Movida (°C) (D)	Correia (°C) (E)	Proteção Interna (°C) (F)
Aceleração	1	48,7	37,5	37,8	37,8	35,9	47,1
	2	47,1	42,8	43,1	45,9	36,3	48,3
	3	44,7	39,9	43,1	44,3	39,5	51,0
	4	47,4	46,6	50,4	50,1	41,6	52,3
	5	52,6	52,1	53,6	54,6	45,7	56,3
	6	49,9	42,3	41,6	41,9	38,6	43,6
	7	47,0	44,8	49,5	50,0	44,7	52,9
	8	49,7	42,6	50,0	50,3	41,3	52,5
	9	48,2	44,2	51,2	50,4	43,6	50,2
	10	50,2	44,7	51,0	51,7	43,9	54,5
	11	48,6	44,6	51,6	51,7	41,4	51,0
	12	51,2	46,2	52,4	52,5	45,4	53,4
	13	52,4	49,8	52,4	53,4	45,0	52,2
	14	45,6	45,4	45,6	46,5	42,8	54,4
Suspensão	15	53,2	51,4	52,1	51,0	44,1	58,7
	16	53,9	52,3	52,3	52,0	45,1	60,6
	17	55,5	53,2	51,9	50,6	45,1	60,5
	18	55,3	46,8	53,0	53,4	48,5	65,6
	19	88,5	68,8	58,2	58,0	51,0	96,2
	20	73,5	60,3	66,0	65,4	54,8	88,1

Uma segunda sequência de medições foi realizada durante o evento Baja Rio na qual foram medidas as temperaturas das Proteções Interna e Externa, mostradas na Tabela 13, focando sempre no ponto de maior temperatura que, como observado no teste anterior, se concentraram na região frontal da proteção próximo à polia motriz, onde está localizado o motor. Nesse teste foram observadas temperaturas elevadas na proteção, o que pode ser explicado pelo alto nível de exigência do percurso além do longo tempo de prova, que forçaram o veículo a trabalhar constantemente em altas rotações.

Tabela 13 - Medições temperatura durante Enduro do evento Baja Rio

Medições	Proteção Externa (°C)	Proteção Interna (°C)
1	41	51
2	64	92
3	74	101
4	42	54

4.2 MODELAGEM 3D

Com base no modelo de proteção do câmbio CVT utilizado pela equipe, foi desenvolvido um modelo tridimensional, no *software* de modelagem 3D SolidWorks, das duas peças que a compõem, chamadas de: Proteção Interna e a Proteção Externa.

Na Figura 27 são mostradas duas vistas isométricas da Proteção Interna, uma mostrando seu interior e outra o seu exterior. Vale ressaltar que esta peça é fixada por parafusos ao motor do protótipo e ao chassi, e que por este motivo, fica mais exposta ao calor do motor e assim aquecendo mais que a parte externa da proteção do câmbio CVT.

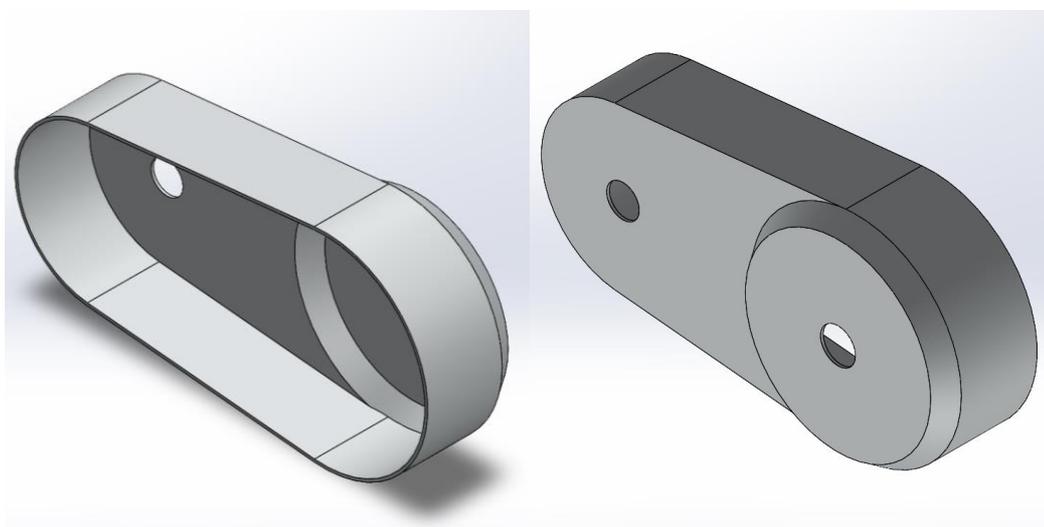


Figura 27 - Modelagem 3D Proteção Interna do câmbio CVT

Também foi feito uma estimativa da massa da Proteção Interna através do recurso de propriedades de massa do *software* SolidWorks, em que a espessura da proteção foi definida de acordo com o regulamento Baja SAE, neste caso de 1,5 mm em aço SAE 1020. Na Figura 28 é mostrado a massa estimada para a Proteção Interna do câmbio CVT, que ficou em aproximadamente 2,16 kg.

Propriedades de massa
Configuração: Gaged 10°
Sistema de coordenadas: -- valor predeterminado --
Massa = 2164.60 gramas
Volume = 273999.82 milímetros cúbicos
Área de superfície = 367404.16 milímetros quadrados
Centro de massa: (milímetros)
X = 151.03
Y = 0.00
Z = 17.49

Figura 28– Propriedade de massa da Proteção Interna, Aço SAE 1020

Na Figura 29 são mostradas duas vistas isométricas da Proteção Externa, uma mostrando seu interior e outra seu exterior. Nesta peça é possível notar duas extrusões, sendo elas concêntricas com os eixos das polias que compõem o câmbio CVT: Motriz e Movida, nestes pontos são fixadas tubulações que auxiliam o fluxo de ar gerado com o movimento do carro, conduzindo o ar externo para dentro e fora da proteção, sendo assim um mecanismo de resfriamento para o câmbio CVT e sua proteção.

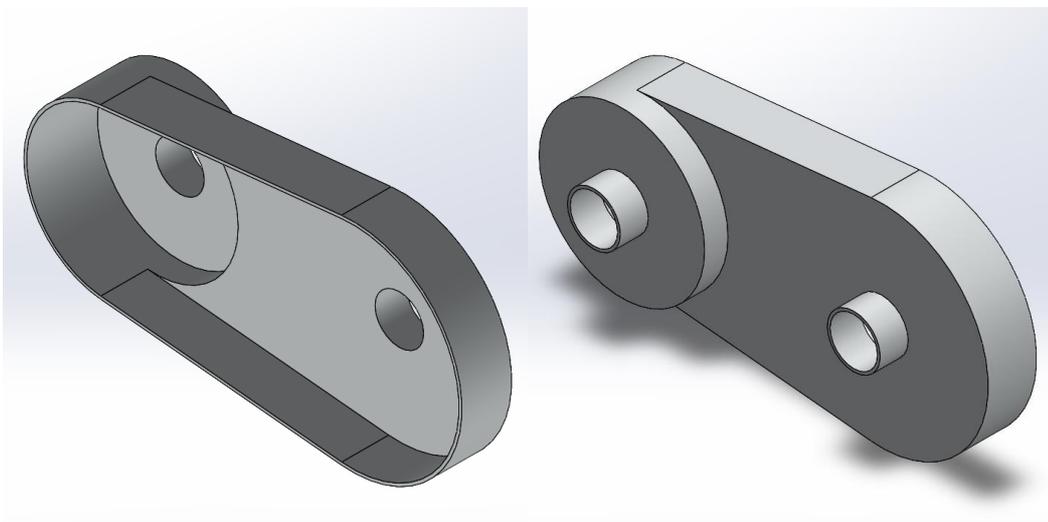


Figura 29– Modelagem 3D Proteção Externa do câmbio CVT

Assim como na Proteção interna, foi feito também uma estimativa da massa da Proteção Externa através do recurso de propriedades de massa do *software* SolidWorks, em que a

espessura da proteção foi definida de acordo com o regulamento Baja SAE, neste caso de 1,5 mm em aço SAE 1020. Na Figura 30 é mostrado a massa estimada para a Proteção Externa do câmbio CVT, que ficou em aproximadamente 2,0 kg.

Propriedades de massa
Configuração: Gaged 10°
Sistema de coordenadas: -- valor predeterminado --
Massa = 2046.07 gramas
Volume = 258996.40 milímetros cúbicos
Área de superfície = 327248.56 milímetros quadrados
Centro de massa: (milímetros)
X = 133.37
Y = 0.00
Z = -1.89

Figura 30- Propriedade de massa da Proteção Interna, Aço SAE 1020

Na Figura 31 é mostrado a montagem das duas peças da proteção, a Proteção Interna e a Proteção externa. Nesta montagem é possível destacar o perfeito acoplamento das peças, que não podem ter brechas de acesso ao câmbio CVT para evitar a entrada de objetos com 6 mm de diâmetro ou maiores, como diz o regulamento da SAE Brasil. Neste modelo, ambas as peças são acopladas através de presilhas de engate rápido, que permite uma fácil e rápida abertura da proteção quando se tem a necessidade de intervenção.

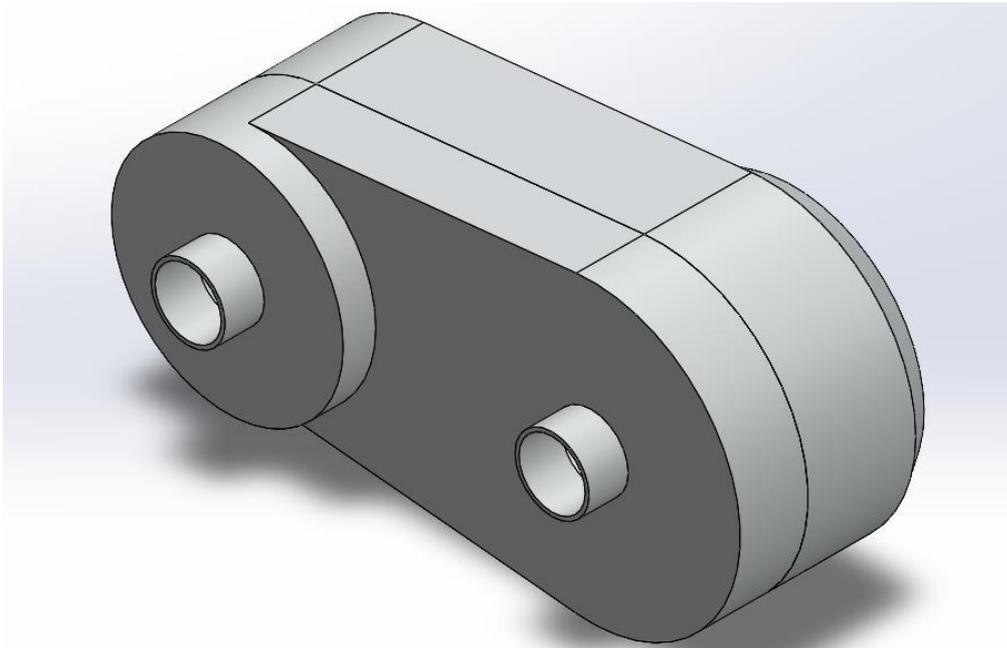


Figura 31– Modelagem 3D da montagem da Proteção Interna e Proteção Externa do câmbio CVT

Como forma de validação, foi feita a medição da massa das proteções Interna e Externa utilizadas atualmente pela equipe Mud Runner. Para a medição foi utilizado uma balança de precisão de limite de 10 kg, nela foi utilizado um suporte para permitir que as proteções estivessem totalmente em cima da balança, a massa deste suporte foi descontado utilizando a função tara.

A Figura 32 mostra como foi feito a medição da massa das proteções Interna e Externa, que tiveram como resultado aproximadamente 2,25 kg para a Proteção Interna, que representa uma adição de aproximadamente 4% em relação à massa encontrada no *software*, e 2,2 kg para a Proteção Externa, que representa uma adição de aproximadamente 7% em relação à massa encontrada no *software*. O peso das tubulações que auxiliam o fluxo de ar e das presilhas de engate rápido foram descontados ao final da medição. É possível observar que a diferença de massa encontrada no SolidWorks e na medição se dá por conta da solda utilizada na fabricação das proteções, gerando assim um acúmulo de massa para cada peça.



Figura 32– Medição de massa das proteções

4.3 MASSA DAS PROTEÇÕES

Para a estimativa das massas das proteções Interna e Externa fabricadas em compósitos híbridos, foi utilizado o *software* SolidWorks, em que foi considerado os valores de densidade encontrados por Cavalcanti (2018) em seu estudo.

A Figura 33 mostra o resultado para a estimativa de massa das proteções Interna e Externa respectivamente, fabricadas com o compósito híbrido de Juta + Sisal, utilizando o valor

de densidade $1,3 \text{ g/cm}^3$ e espessura de $3,0 \text{ mm}$. Quando comparado ao modelo 3D fabricado em aço, é possível observar que a Proteção Interna teve uma redução de aproximadamente $1,46 \text{ kg}$, que é equivalente a 67% da massa total atual, já a Proteção Externa teve uma redução de aproximadamente $1,42 \text{ kg}$, que é equivalente a 69% da massa total atual.

Propriedades de massa Configuração: Gaged 10" Sistema de coordenadas: -- valor predeterminado -- Massa = 704.51 gramas Volume = 541934.17 milímetros cúbicos Área de superfície = 365430.81 milímetros quadrados Centro de massa: (milímetros) X = 151.18 Y = 0.00 Z = 17.98	Propriedades de massa Configuração: Gaged 10" Sistema de coordenadas: -- valor predeterminado -- Massa = 625.79 gramas Volume = 481374.56 milímetros cúbicos Área de superfície = 325320.67 milímetros quadrados Centro de massa: (milímetros) X = 133.74 Y = 0.00 Z = -4.22
(a)	(b)

Figura 33 – Estimativa de massa da proteção Juta + Sisal: (a) Proteção Interna; (b) Proteção Externa

A Figura 34 mostra o resultado para a estimativa de massa das proteções Interna e Externa respectivamente, fabricadas com o compósito híbrido de Juta + Curauá, utilizando o valor de densidade $1,2 \text{ g/cm}^3$ e espessura de $3,0 \text{ mm}$. Quando comparado ao modelo 3D fabricado em aço, é possível observar que a Proteção Interna teve uma redução de aproximadamente $1,5 \text{ kg}$, que é equivalente a 70% da massa total atual, já a Proteção Externa teve uma redução de aproximadamente $1,47 \text{ kg}$, que é equivalente a 71% da massa total atual.

Propriedades de massa Configuração: Gaged 10" Sistema de coordenadas: -- valor predeterminado -- Massa = 650.32 gramas Volume = 541934.17 milímetros cúbicos Área de superfície = 365430.81 milímetros quadrados Centro de massa: (milímetros) X = 151.18 Y = 0.00 Z = 17.98	Propriedades de massa Configuração: Gaged 10" Sistema de coordenadas: -- valor predeterminado -- Massa = 577.65 gramas Volume = 481374.56 milímetros cúbicos Área de superfície = 325320.67 milímetros quadrados Centro de massa: (milímetros) X = 133.74 Y = 0.00 Z = -4.22
(a)	(b)

Figura 34 - Estimativa de massa da proteção Juta + Curauá: (a) Proteção Interna; (b) Proteção Externa

5 CONCLUSÃO

O presente estudo analisou a viabilidade da substituição do material de uma proteção do câmbio CVT de um veículo do tipo Mini Baja, nele foram apresentados materiais compósitos baseados em fibras naturais que usualmente são descartados em processos de produção e tem baixo custo, foram analisadas também as características necessárias conforme o regulamento Baja SAE vigente para esse tipo de competição, além de avaliar as temperaturas a qual esta peça está sujeita e observar se sua troca é viável do ponto de vista de propriedades térmicas do material.

A partir disso, foi possível notar que a troca é viável para os dois compósitos híbridos com tratamento misto analisados, Juta + Sisal e Juta + Curauá, já que a temperatura de trabalho permanece abaixo da temperatura de transição vítrea na maior parte do tempo, e vale ressaltar que a temperatura na proteção do câmbio CVT só foi ultrapassada eventualmente, em situações em que era exigido um alto desempenho do veículo. Além disso, as maiores temperaturas foram observadas na região da proteção interna que permanece em contato direto com o motor do veículo, onde há transferência de calor por condução.

Apesar de possível, é indicado que sejam utilizados mecanismos para a evitar a alta temperatura da proteção além do já existente, podendo ser utilizados materiais isolantes na interface dos componentes de forma a diminuir a transferência de calor do motor para a proteção, ou então a aplicação de ventilação forçada através de uma ventoinha acoplada a uma das polias.

Por fim, para trabalhos futuros, podem ser analisadas as possibilidades de materiais isolantes para ser instalado na interface da proteção interna que está em contato com o motor. É possível fazer também um estudo sobre a os efeitos da instalação de uma ventoinha acoplada à uma das polias. Além disso, pode-se fazer um estudo sobre os reais efeitos da temperatura de transição vítrea para um ensaio de impacto, estudando a perda de propriedade devido à alta temperatura.

REFERÊNCIAS

- A, Vishnu P, Samarth Patil, Rishab R. Kannamvar, e Pradip P. Patil. An Approach to Improvement in Heat Flow Analysis of Continuously Variable Transmission (CVT). **International Journal of Engineering and Applied Physics (IJEAP)**, Setembro de 2021: 216-225.
- Albinante, Sandra Regina, Élen Beatriz Acordi Vasques Pacheco, e Leila Lea Yuan Visconte. REVISÃO DOS TRATAMENTOS QUÍMICOS DA FIBRA NATURAL PARA MISTURA COM POLIOLEFINAS. **Quim. Nova**, 29 de Novembro de 2012: 114-122.
- Al-Mosawi, Ali I. Mechanical Properties of Plants - Synthetic Hybrid Fibers Composites. **Research Journal of Engineering Sciences**, 2 de Setembro de 2012: 22-25.
- Batara, Allysa Gabrielle N., Princess Stephanie P. Llanos, Persia Ada N. de Yro, et al. Surface modification of abaca fibers by permanganate and alkaline treatment via factorial design. **AIP Conference Proceedings**, 21 de Março de 2019: 1-5.
- Cassu, Silvana Navarro, e Maria Isabel Felisberti. COMPORTAMENTO DINÂMICO-MECÂNICO E RELAXAÇÕES EM POLÍMEROS E BLENDA POLIMÉRICAS. **Quim. Nova**, 2005: 255-263.
- CANEVAROLO JR., SEBASTIÃO V. **Ciência dos Polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2006.
- Cavalcanti, Daniel Kioshi Kawasaki. **Caracterização Mecânica de Compósitos Híbridos com Reforços de Fibra Naturais**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, 2018.
- Correia em V. Irobras Rolamentos. Disponível em: < irobras.com.br/correia-em-v.php >. Acesso em: 23 de março de 2022.
- Correias. Correntes e Engrenagens. Disponível em: < <https://correntesttc.com.br/produtos/polias-correias.html> >. Acesso em: 23 de março de 2022.
- Correias para Máquinas Gráficas. Chiltec Correias. Disponível em: <<https://www.chilteccorreias.com.br/>>. Acesso em: 23 de março de 2022.
- Costa, Ulisses Oliveira, et al. Mechanical properties of composites with graphene oxide functionalization of either epoxy matrix or curaua fiber reinforcement. **Journal of Materials Research and Technology**, 2 de October de 2020: 13390-13401.
- Domingues, Bianca. ADC Tecnologia. 20 de Outubro de 2020. <https://edctecnologia.com.br/novos-materiais-compositos-desenvolvidos-por-meio-da-simulacao-molecular-com-biovia-materials-studio/> (acesso em 20 de Março de 2022).
- Formari Junior, Celso Carlino Maria. **Fibras Vegetais para Compósitos Poliméricos**. Ilhéus: Editus, 2017.

Gurunathan, T., Smita Mohanty, e Sanjay K. Nayak. A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. **Composites: Part A**, Outubro de 2015: 1-25.

Iqbal, Muhammad Waqas, e Khubab Shaker. Composite Solutions for Ballistics. **Composite Solutions for Ballistics**, 182-183. Woodhead Publishing, 2021.

Izwan, S. Mohd, S. M. Sapuan, M. Y. M. Zuhri, e A. R. Mohamed. Effects of Benzoyl Treatment on NaOH Treated Sugar Palm Fiber: Tensile, Thermal, and Morphological Properties. **Journal of Materials Research and Technology**, 20 de Abril de 2020: 5805-5814.

Jawaid, M., e H.P.S. Abdul Khalil. Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review. **Carbohydrate Polymers**, 1 de Agosto de 2011: 1-18.

Júnior, Daliomar Lourenço de Oliveira. **Pirólise de Resíduos Plásticos Visando à Obtenção de Produtos de Alto Valor Agregado**. Dissertação de Pós-Graduação, Santa Maria, 2016.

Lorandi, Natália P., Maria Odila H. Cioffi, e Heitor Ornaghi Jr. Análise Dinâmico-Mecânica de Materiais Compósitos Poliméricos. **Scientia Cum Industria**, 2016: 48-60.

Lucas, F. Elizabete, Bluma G. Soares, e E. C. Elisabeth Monteiro. **Caracterização de Polímeros**: Determinação de Peso Molecular e Análise Térmica. Rio de Janeiro: E-papers, 2001.

Marinelli, Alessandra L., Marcos R. Monteiro, José D. Ambrósio, Márcia C. Branciforti, Márcio Kobayashi, e Antonio Donato Nobre. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 2008: 92-99.

Mazarim, G. C., e G. Salerno. Resistência ao Impacto de Compósitos de Fibra de Carbono e Resina Epóxi em Comparação ao Aço 1010. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, 2018.

Neto, Jorge de Souza e Silva. **Efeito do Tratamento Químico nas Propriedades dos Compósitos Híbridos Naturais**. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, 2018.

O que é um câmbio CVT?. Veículos na Web, 2018. Disponível em: <<https://veiculosnaweb.com.br/carros/cambio-cvt/>>. Acesso em: 23 de março de 2022.

Panjgotra, Shivam, e Rajiv Kumar. Chemical Treatments on Plant-Based Natural Fibers for Natural Fiber - Reinforced Polymer Composites: A Review. **International Journal of Science and Research (IJSR)**, 3 de Março de 2019: 1779-1781.

Prez, Jana De, Aart Willem Van Vuure, Jan Ivens, Guido Aerts, e Ilse Van de Voorde. Enzymatic treatment of flax for use in composites. **Biotechnology Reports**, 20 de Dezembro de 2018: 1-39.

Rajak, Dipen Kumar, Durgesh D. Pagar, Pradeep L. Menezes, e Emanoil Linul. Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications. **Polymers**, 2019: 1-37.

Rohit, Kiran, e Savita Dixit. A Review - Future Aspect of Natural Fiber Reinforced Composite. **Polymers from Renewable Resources**, 2016: 43-60.

SAE Brasil. **REGULAMENTO ADMINISTRATIVO E TÉCNICO SAE BRASIL**. Regulamento Administrativo, São Paulo: SAE Brasil, 2021.

Seibel, Neusa Fátima, e Adelaide Del Pino Beléia. Hidrólise enzimática de fibras de cotilédones de soja e caracterização das frações sólidas e solúveis. **Pesq. agropec. bras.**, 30 de Setembro de 2009: 1336-1345.

Sharma, Arun Kumar, Rakesh Bhandari, Amit Aherwar, e Ruta Rimašauskiene. Matrix materials used in composites: A comprehensive study. **Materials Today: Proceedings**, 29 de Novembro de 2019: 1559-1562.

Shigley, Joseph E., Charles R. Mischke, e Richard G. Budynas. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 2005.

Tafarello, Ivylin Giovanna. **Processamento de Peças em Materiais Compósitos para o Projeto Baja SAE**. Trabalho de Conclusão de Curso, Guaratinguetá, 2013.

Vidal, Douglas Bitencourt. **Estudo da Influência das Condições de Pirólise**. Dissertação de Pós-Graduação, São Mateus, 2017.