

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

EMILIANO BARRETTO ALMENDRO

**FABRICAÇÃO E ENSAIO DE COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM
FIBRA DE ALGODÃO HIDRATADA.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2018

EMILIANO BARRETTO ALMENDRO

**FABRICAÇÃO E ENSAIO DE COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM
FIBRA DE ALGODÃO HIDRATADA.**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Romeu Rony Cavalcante da Costa

CORNÉLIO PROCÓPIO
2018



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Mecânica
Curso de Engenharia Mecânica**



FOLHA DE APROVAÇÃO

EMILIANO BARRETTO ALMENDRO

Fabricação e ensaio de compósitos poliméricos reforçado com fibra de algodão hidratada.

Trabalho de conclusão de curso apresentado às **08:30hs** do dia **03/12/2018**, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Romeu Rony Cavalcante da Costa

Prof. Dr. Sandra Mara Domiciano

Prof. Dr. Rogerio Akihide Ikegami

“A folha de aprovação assinada se encontra na coordenação do curso.”

Dedico este trabalho para minha família, em especial para os meus Pais, irmã e namorada, e aos meus amigos que sempre me apoiaram independente das dificuldades e que nunca me deixaram desistir.

RESUMO

ALMENDRO, E.B. **Fabricação e Ensaio de Compósito Polimérico Reforçado com Fibra de Algodão Hidratada**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

O presente trabalho visa à fabricação de um material compósito formado por sete camadas de fibra de algodão que permaneceram em um recipiente de vidro com água por 24 horas para a fabricação de corpos de prova com a orientação da fibra a 0° e 90°, servindo de reforço para a Poliuretana (PU) derivada de óleos vegetais, fornecida pelo fabricante KEHL (com proporção de 1:1 de AG201 Pré-Polímero+ AG201 Polioli) junto com a Alumina trihidratada (ATH) em uma mistura de 70% de PU e 30% de ATH. Com intuito desse compósito servir na fabricação de corpos de prova (CDP) para ensaios de tração para comparar os resultados com compósito de DA SILVA (2018) também fabricado pelo Laboratório de Materiais Compósitos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), porém que não permaneceu por 24h em água, e assim observar as diferenças nas propriedades mecânicas que isso resultou.

Palavras-chave: Compósito. Poliuretana. Algodão. Alumina tri hidratada. Ensaio de Tração.

ABSTRACT

ALMENDRO, E.B. **Fabricação e Ensaio de Compósito Polimérico Reforçado com Fibras de Algodão Hidratada**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

The present work aims at the manufacture of a composite material composed of seven layers of cotton fiber that remained in a glass container with water for 24 hours for the manufacture of test specimens with the orientation of the fiber at 0° and 90°, serving as reinforcement for Polyurethane (PU) derived from vegetable oils, supplied by the manufacturer KEHL (1: 1 ratio of AG201 Prepolymer + AG201 Polyol) together with Alumina trihydrate (ATH) in a mixture of 70% PU and 30% ATH. In order to compare the results with DA SILVA (2018) composite also manufactured by the Composite Materials Laboratory of the Federal Technological University of Paraná (UTFPR), remained for 24 hours in water, and thus observe the differences in the mechanical properties that this resulted.

Keywords: Composite. Polyurethane. Cotton fiber fabric. Alumina trihydrate. Traction Test.

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Tensão x Deformação PU+FA0 ⁰ +H2O+ATH30%..... | 33 |
| Gráfico 2 - Tensão x Deformação PU+FA0 ⁰ +ATH30%..... | 34 |
| Gráfico 3 - Tensão x Deformação PU+FA90 ⁰ +H2O+ATH30%..... | 35 |
| Gráfico 4 - Tensão x Deformação PU+FA90 ⁰ +ATH30%..... | 36 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Comparação do comportamento mecânico entre PU+FA0 ⁰ +H2O+ATH30% (A) e PU+FA0 ⁰ +ATH30% (B)..... | 34 |
| Tabela 2- Comparação do comportamento mecânico entre PU+FA90 ⁰ +H2O+ATH30% (A) e PU+FA90 ⁰ +ATH30%(B)..... | 36 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|------|--|
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| ATH | Alumina Tri-hidratada |
| CDP | Corpo (s) de Prova |
| FA | Fibra de Algodão |
| PU | Poliuretana |

LISTA DE SÍMBOLO

| | |
|-----|---|
| GPa | Gigapascal |
| MPa | Megapascal |
| mm | Milímetro |
| E | Módulo de Elasticidade |
| E11 | Módulo de Elasticidade, Fibras Orientadas na Direção da Carga. |
| E22 | Módulo de Elasticidade, Fibras Orientadas Transversalmente a Carga. |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 1.1 | Objetivos..... | 12 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral..... | 12 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos..... | 13 |
| 1.2 | Justificativas..... | 13 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 15 |
| 2.1 | Compósito..... | 15 |
| 2.1.1 | Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibra..... | 16 |
| 2.2 | POLIURETANA..... | 18 |
| 2.2.1 | Poliuretano Derivado de Óleos Vegetais..... | 20 |
| 2.3 | FIBRAS VEGETAIS..... | 21 |
| 2.3.1 | Fibra de Algodão..... | 22 |
| 3. | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 24 |
| 4. | RESULTADO E DISCUSSÕES..... | 31 |
| 4.1 | Resultados e Comparação Dos Corpos de Prova de 0° E 90°.... | 32 |
| 4.1.1 | Resultados do PU+FA0°+H2O+ATH30%..... | 32 |
| 4.1.2 | Resultados do PU+FA90°+H2O+ATH30%..... | 35 |
| 4.1.3 | Comparação geométrica e morfológica dos compósitos hidratados com os não hidratados..... | 37 |
| 5. | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 41 |
| | REFERÊNCIAS..... | 42 |

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a preservação do meio ambiente tem incentivado as pesquisas de novos materiais biodegradáveis e que utilizem matérias primas de fontes renováveis, capazes de substituírem com qualidade e apropriado desempenho os materiais poliméricos derivados dos combustíveis fósseis [Pizzi 2006, Marinho, 2013].

Entre tantos exemplos de materiais biodegradáveis que podem substituir os petroquímicos, aparece a Poliuretana (PU) de origem vegetal, que pode ser reforçado com fibras vegetais, apresentando assim boa resistência mecânica, baixa densidade, não sofrer com a corrosão e baixa abrasividade aos equipamentos de produção do compósito [Carvalho, 2006].

Compósitos que utilizam fibras naturais, como reforço, e polímeros biodegradáveis, como matriz, são considerados materiais ambientalmente amigáveis [Bledzki 1999, Borsoi 2011]. Fibras como sisal, coco, juta, rami, folha de abacaxi, algodão, curauá e linho, entre outras, estão sendo estudadas como reforço em compósitos, devido ao seu grande potencial [Sgriccia 2008, Borsoi 2011]. O algodão, em especial, tem propriedades mecânicas muito promissoras [Borsoi 2011]. E também possui uma vantagem importante quando comparada a outras fibras vegetais, já que são processadas em grande escala pela indústria têxtil, facilitando assim a reprodução das propriedades da fibra de forma uniforme.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é o de comparar os compósitos fabricados com e sem adição de água, sendo eles de sete camadas de algodão e a resina (70% de PU, AG201 Pré-Polímero+ AG201 Polioliol e 30% de ATH). Esses compósitos têm suas fibras orientadas em 0° e 90° para ensaio de tração.

1.1.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Produzir placas de compósito de fibra de tecido de algodão hidratado com matriz de poliuretana;
- Realizar os ensaios de tração para obter as propriedades
- Análise dos resultados;
- Discussão comparativa das propriedades mecânicas do compósito com fibras de algodão hidratadas com o compósito de DA SILVA (2018).

1.2 Justificativas

Na literatura já existem muitos estudos sobre fibra de algodão, ATH e PU, inclusive, estudos, como da Silva (2003) apontando a PU como hidrofóbica e estudos apontando que a fibra de algodão, quando trabalhada hidratada, seja com água ou com moléculas de OH, causa problemas no controle dimensional e nas propriedades do compósito. Porém, há poucos artigos sobre a PU reforçada com fibras naturais hidratadas. Estabelecido esse ponto, o seguinte trabalho visa observar o que a literatura diz sobre o comportamento nessa situação e comprova-lo na prática, o que explica o motivo da comparação com compósito de DA SILVA (2018).

O compósito de DA SILVA (2018) teve igualmente sete lâminas de tecido de fibras de algodão, e a resina composta de 70% de PU com 30% de ATH, em virtude do melhor desempenho na extinção do fogo quando a fonte de ignição da chama foi removida. Este fato foi levado em consideração devido à intenção de aplicação desejada, ou seja, interiores de automóveis. Esse percentual de ATH foi escolhido baseado na comparação dos resultados dos compósitos de 10% e 20% de ATH em sua composição, dados retirados da dissertação de DA SILVA (2018).

No caso desse trabalho, será utilizada a Alumina Tri-Hidratada, já que a temperatura necessária para iniciar o seu processo de extinção e redução de chamas é de 200°C estando abaixo da temperatura de decomposição da poliuretana

e por não ter grande impacto ao meio ambiente (DA Silva, 2018). Quando exposta a altas temperaturas se torna tri óxido de alumínio (incombustível) e água, sendo a evaporação dessa, a responsável por tirar calor do meio.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Compósito

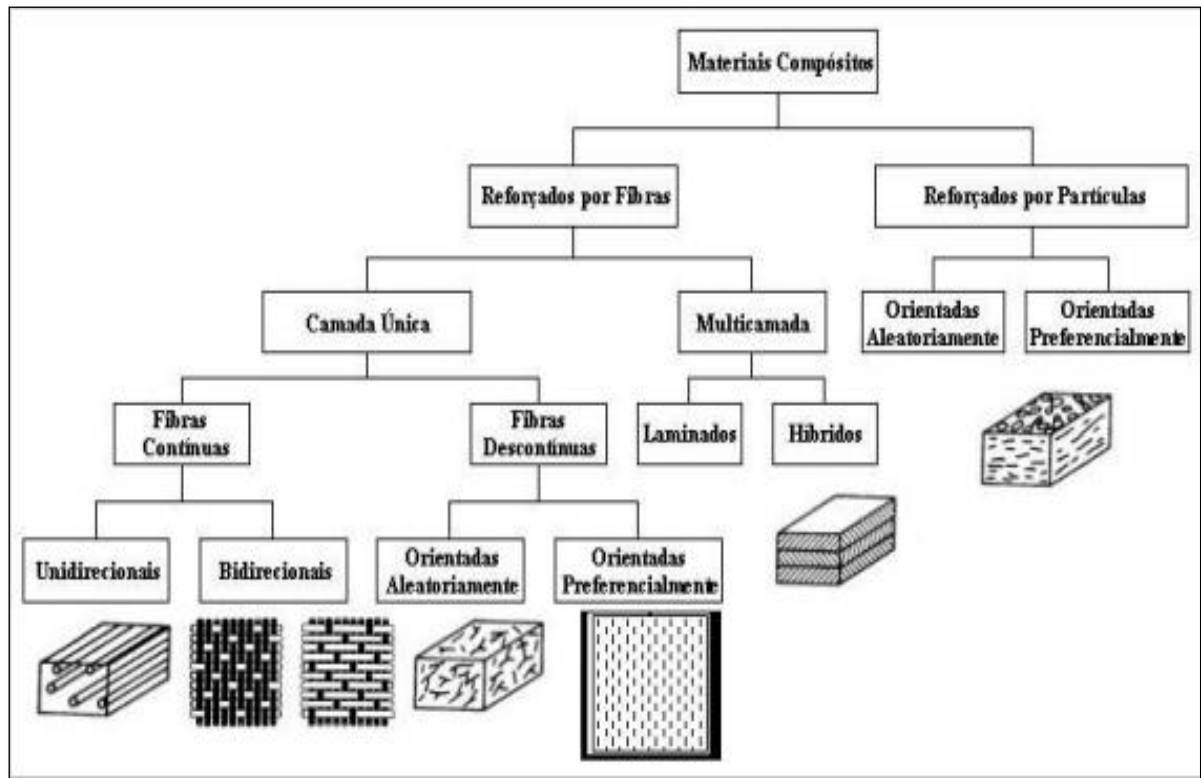
Compósitos são formados por dois ou mais materiais insolúveis entre si, que quando combinados formam um material com propriedades específicas que não seriam possíveis encontrar nesses materiais separadamente, portanto, se tornariam úteis para a engenharia, segundo a norma ASTM D3878-95. Outra forma, segundo CALISTER JR (2002), é considerar um compósito como sendo qualquer material multifásico que apresente, de maneira significativa, as propriedades de cada componente que o constitui, com intenção de obter uma melhor combinação de propriedades. Mesmo nessa combinação os constituintes permanecem com a sua identidade, ou seja, eles atuam em conjunto sem se dissolverem ou se descaracterizarem completamente, fazendo com que as propriedades do compósito sejam superiores as de cada constituinte individualmente (SILVESTRE, 2001).

Os compósitos são formados por uma fase contínua, chamada de matriz e por uma ou mais fases descontínuas, reforço, sendo que as propriedades do compósito dependem da natureza e das propriedades da matriz e do reforço.

A Matriz pode ser de materiais poliméricos, cerâmicos ou metálicos e tem como função envolver os componentes, podendo assim transmitir as cargas aplicadas, conferir ductilidade e manter a estrutura coesa, além de contribuir para o conjunto se caracterizar por boas condições de fabricação e necessária flexibilidade. (SILVESTRE 2001, RODRIGUES 2008).

O reforço tem como função suportar as cargas aplicadas que foram transmitidas pela matriz, para isso devem possuir propriedades mecânicas melhores. Os compósitos podem ser classificados de acordo com a geometria do reforço, como visto na figura 1, que é dividido entre fibras (Camada única ou Multicamadas) e partículas (aleatoriamente ou orientadas).

Figura 1: Formas de Reforço



Fonte: Tita (2006, P. 9)

Segundo Silvestre (2001), uma característica marcante dos compósitos é que suas propriedades sofrem forte influência da distribuição, interação e propriedades dos seus componentes.

2.1.1 Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibra

Segundo RODRIGUES (2008), a utilização de compósitos poliméricos reforçados por fibras não é algo novo, tendo em vista que as primeiras patentes são dos anos 60. Porém foi só a partir dos anos 90, com uma maior conscientização ambiental na indústria, que ressurgiu de maneira muito forte o interesse em materiais renováveis como fibras vegetais e poliuretana de origem vegetal.

Ainda segundo RODRIGUES (2008), existem outros fatores que fizeram o investimento aumentarem nesses materiais, que seriam o tecnológico, vantagens financeiras e outro forte argumento que incentivou a produção de compósitos

naturais seria a questão social já que os materiais utilizados na produção, geralmente, são oriundos de regiões economicamente pobres.

Tem aumentado o número de estudos sobre fibras vegetais, para reforçar a poliuretana, na preparação de compósitos, sendo que as mais utilizadas são as de algodão, coco, bambu e outras já que causam um impacto muito menor para o meio ambiente comparado com as fibras de vidro [Araújo, 1998, Mothé 2004]. Tendo um olhar especial para a fibra de algodão, estudada nesse trabalho, por ter propriedades físicas muito promissoras no ramo de compósitos.

O desempenho tem forte ligação com a matriz e a fibra, tendo em vista a figura 1, existem vários tipos de classificação que dependem de como a fibra está posicionada. Segundo da Silva (2003), os compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas apresentam alta resistência mecânica e rigidez na direção da fibra, denominada E11, porém, baixa resistência e rigidez na direção transversal, denominada E22. Esse comportamento impulsiona estudo sobre desenvolvimento de projetos que empreguem esses materiais, bem como a escolha da matriz que apresente uma melhor interação com a fibra e a orientação que a fibra deve ser colocada, além de levar em conta o fator econômico. A interface fibra/matriz, responsável pela transferência da solicitação mecânica da matriz para o reforço.

Fatores que podem influenciar para uma melhor ou pior interface fibra/matriz pode ser a presença de impurezas, fibras desalinhadas e até mesmo o processo de fabricação do compósito (da SILVA 2003).

Hoje existem muitos processos de fabricação e neste trabalho foi empregado o processo de infusão por moldagem a vácuo, que apresenta como dificuldades a distribuição da resina de maneira uniforme, as impurezas e a umidade relativa do ar.

O aumento dos estudos sobre materiais compósitos mostraram determinadas vantagens, segundo SILVESTRE (2008), são:

- Capacidade de satisfazer diversas exigências de projeto;
- Diminuição de peso variando entre 25% e 50%;
- Alta rigidez;
- Alta resistência à corrosão;
- Numerosas qualidades de fratura e fadiga;

Ainda segundo SILVESTRE (2008), alguns fatores que retardam a aceitação desses produtos no mercado são:

- Ter que se adaptar a ISO14000;
- Alguns processos de manufaturas são complexos e de alto custo;
- Conhecimento insuficiente sobre o comportamento mecânico desses produtos;
- Elevada sensibilidade a efeitos ambientais, antes e depois da produção do compósito.

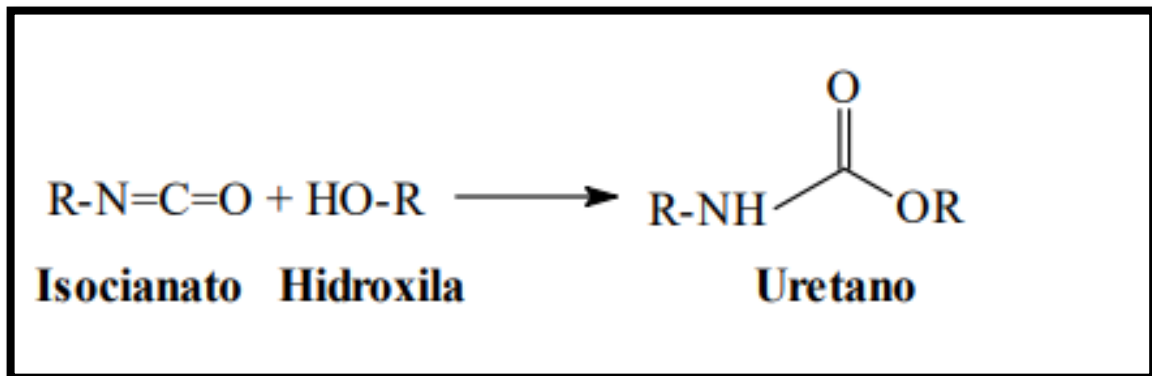
Além disso, apresentam algumas dificuldades que ainda precisam de estudos, como controle e eliminação das bolhas e baixa estabilidade dimensional (da Silva, 2003).

Ainda segundo da Silva (2003), estas dificuldades devem-se principalmente ao pouco tempo disponível para o processamento do compósito que depende, principalmente, do tempo de gel da resina, tendo como solução para esse problema o aumento do tempo de gel da resina, o que depende do fabricante, e utilizar equipamentos de maior capacidade.

2.2 POLIURETANA

O Uretano foi descoberto em 1848, por Wurtz, fruto da reação química de um grupo de isocianato e um grupo de hidroxila (Cangemi, 2006), como mostra a figura 2.

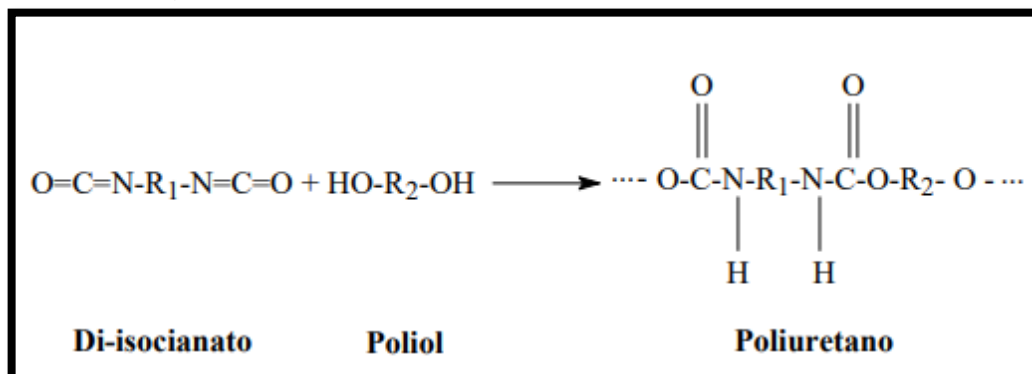
Figura 2: Reação química do Uretano.



Fonte: Cangemi 2006.

Mas foi apenas em 1947 que começou a ter aplicações comerciais, graças ao alemão Otto Bayer, que desenvolveu os primeiros poliuretanos, que seriam a reação de dois ou mais isocianatos com um poliálcool (Cangemi, 2006), figura 3.

Figura 3: Reação do Poliuretano.



Fonte: Cangemi 2006

Além da reação principal podem também ocorrer reações paralelas. A mais comum é a reação do isocianato com a água que libera dióxido de carbono (CO₂), que pode promover a expansão do polímero (da Silva 2003).

Para fabricação de poliuretano é possível utilizar uma grande variedade de polióis como os do óleo de mamona (utilizado neste trabalho), polibutadieno entre outros, sendo que 90% dos polióis utilizados na indústria são os poliésteres hidroxilados. No caso dos isocianatos o mais utilizado é o derivado de tolueno diisocianato (TDI) e o difenilmetano diisocianato (MDI).

A Poliuretana (PU), de origem vegetal, chamadas de 'Biomônômeros', é encontrada em diversos vegetais como na mamona, milho, soja, amendoim, girassol, entre outros. A poliuretana derivada de óleos vegetais se tornou uma opção muito propícia para substituir a Poliuretana derivada do petróleo, a qual afeta mais o meio ambiente por não ser de origem renovável. Esse conceito de preservação ambiental se deu em virtude de muitos estudos sobre o descarte dos produtos acabados, isso motivou estudos sobre materiais biodegradáveis (da Silva, 2003).

2.2.1 Poliuretana Derivada de Óleos Vegetais

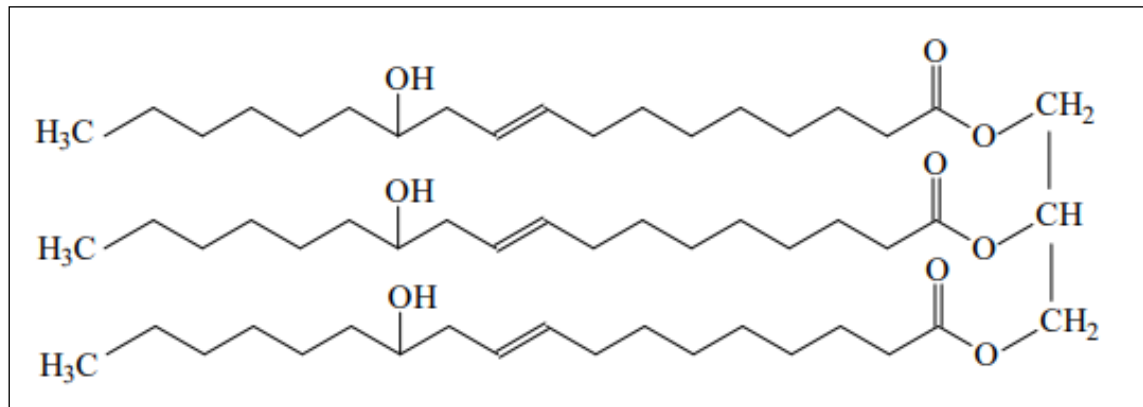
Neste trabalho foi utilizada a poliuretana derivada do óleo da mamona que tem na sua composição, como as demais poliuretanas derivadas de óleos vegetais, cerca de 90% triglicérido do ácido Ricinoléico, o que faz dele um meio interessante para a composição do polioliol (Silvestre, 2001).

Ainda segundo Silvestre Filho (2001), o ácido Ricinoléico é especial por ser um dos poucos ácidos graxos naturais que possuem, em sua estrutura química, três grupos funcionais altamente reativos:

- Grupo Hidroxila;
- A insaturação;
- Grupo carboxila.

E a partir deles pode-se obter a matéria prima para a síntese da poliuretana, o polioliol poliéster, figura 4.

Figura 4: Composição química do ácido Ricinoléico.



Fonte: Cangemi 2006.

Existem muitos estudos sobre os testes da utilização da poliuretana derivada da mamona em diversos ramos. Alguns desses ramos é o médico, utilizada em materiais de confecção de próteses, cimento ósseo e material de recuperação de falhas ósseas, exatamente por ter o ácido Ricinoléico [Rodrigues 2008] e também na utilização em interiores de automóveis (como estudado neste trabalho), aviões, entre outros.

2.3 FIBRAS VEGETAIS

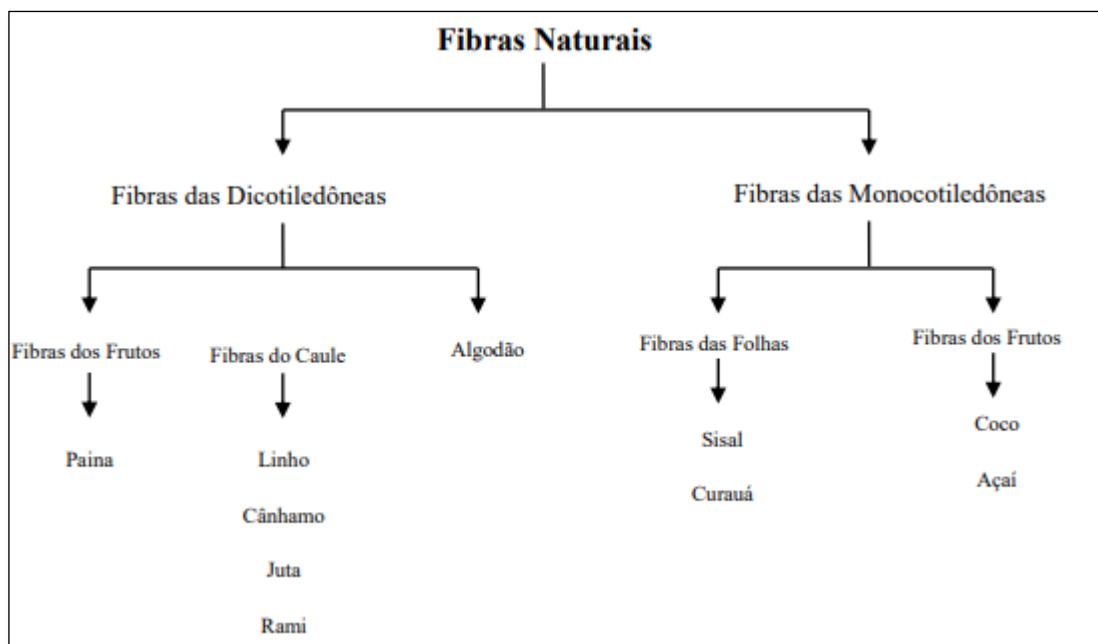
As fibras vegetais são recursos naturais e renováveis. Estas apresentam baixo custo, são biodegradáveis, recicláveis e não tóxicas. Por esses motivos, estão sendo utilizadas como reforço em polímeros, substituindo parcialmente as fibras sintéticas como amianto, Kevlar, boro, carbono, nylon e vidro. Apesar de possuírem boas características mecânicas, as fibras sintéticas apresentam um custo elevado, são abrasivas aos equipamentos de processamento, possuem alta densidade, não são biodegradáveis, geram produtos com um custo muito alto de reciclagem, além de algumas dessas fibras comprometerem a saúde humana. [Araújo, 1998, Mothé 2004]

Por tantos problemas que as fibras sintéticas apresentam, está em voga uma crescente visão ambiental cada vez mais forte, bem como a tentativa de sempre evoluir tecnologicamente, promovendo com isso a necessidade de substituir

as fibras e matrizes sintéticas. Dito isso, as fibras naturais se credenciam cada vez mais para serem escolhidas. Apresentando além das vantagens já citadas possuem baixo custo tanto na obtenção quanto na produção. Características muito bem vistas principalmente no ramo automobilístico, aeronáutico e da construção civil.

As fibras vegetais são classificadas de acordo com a sua origem na planta, como mostra a figura 5.

Figura 5: Classificação das fibras.



Fonte: Leão 2012, pág. 4.

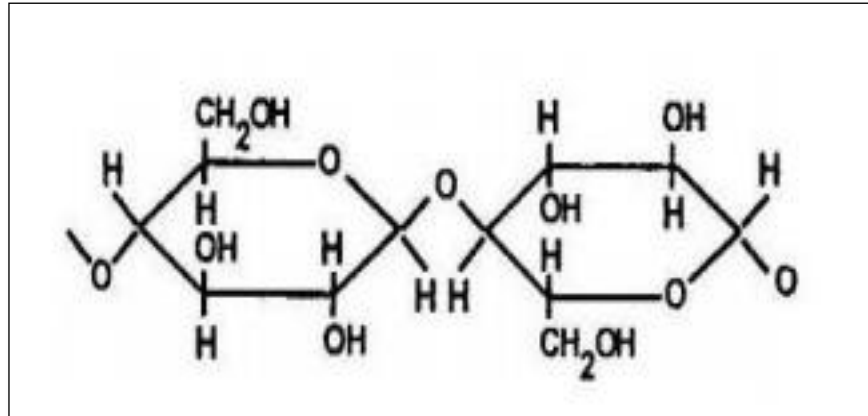
Fibras vegetais são constituídas principalmente por celulose, hemicelulose e lignina, são fibras de grande importância comercial, que podem ser aplicadas como reforço em materiais compósitos, na construção civil e como filtro para a retenção de metais pesados (Benini, 2011).

2.3.1 Fibra de Algodão

O algodão contém na sua composição 82,7% de celulose, produto orgânico mais abundante da terra, que é um polissacarídeo composto por carbono,

oxigênio e hidrogênio $(C_6H_{10}O_5)_n$, figura 6, além disso, a celulose do algodão possui cadeias mais ordenadas com cristalinidade de 70% (da Silva, 2003).

Figura 6: Estrutura molecular da celulose.



Fonte: MULINARI (2011)

A celulose, além de ser o principal componente de todas as fibras vegetais, é a responsável pela resistência mecânica (da SILVA 2003) e como exemplo, a fibra de coco possui 36% de celulose e uma resistência à tração de no máximo 175 MPa e a fibra de algodão que é de 597 MPa.

Propriedades da fibra de algodão, segundo da Silva 2003:

- Diâmetro de 16-21µm;
- Densidade de 1,5-1,6 g/cm³;
- Resistência à tração 287-597 MPa;
- Módulo de elasticidade 5,5-12,6 GPa
- Alongamento 7-8 %

Segundo Borsoi (2011), a presença de água livre e grupos OH, especialmente nas regiões amorfas, prejudica a capacidade de aderência da fibra na matriz. A alta absorção de água e umidade na fibra por conta das ligações de hidrogênio da celulose provoca inchaço e efeito de plasticidade, o que resulta em instabilidade dimensional e baixas propriedades mecânicas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizando a poliuretana derivada do óleo da mamona reforçada com sete lâminas de tecido de fibras de algodão (FA) hidratadas com água, foram fabricados corpos de prova para averiguar o comportamento mecânico desses compósitos e assim poder compara-los com o estudo realizado por DA SILVA (2018), com a FA não hidratada.

Para ter mais certeza das diferentes propriedades mecânicas comparando-os com o não hidratado, foi realizado o mesmo método de fabricação dos corpos de prova de DA SILVA (2018), a única diferença na metodologia se deu pela adição de água na fibra.

Foram realizadas testes com a intenção de aperfeiçoar a metodologia empregada para a introdução de água de maneira mais satisfatória possível na fibra. Sendo, as sete fibras, colocadas em um recipiente com água e medindo a massa delas no espaço de 1 hora até que não houvesse mudança no resultado ocorrendo, portanto, a absorção máxima de água pelas fibras. Chegando que seria melhor utilizar as fibras de algodão após seis horas submersas em um recipiente com água.

Assim, o processo de fabricação utilizado para a moldagem dos corpos de prova com orientação das fibras de 0° e 90° foi utilizando 70% da Poliuretana na proporção de 1:1 de polioliol (Componente A – AG201) e o pré-polímero (Componente B – AG201) com 30% de ATH, reforçada com 7 lâminas de fibras de algodão unidirecional hidratadas, seguindo o seguinte procedimento:

1. Cortou-se sete camadas de fibra de algodão com tamanho de 350 x 350 mm. Sendo utilizada fita crepe para delimitar o tamanho das fibras e também com a intenção de evitar que a fibra desfiasse.
2. Mediu-se a massa das sete fibras, 77,88g, em uma balança, Shimadzu BL3200H tara de 0,01g, para saber a massa dessas fibras sem água.

3. Seis horas antes da realização do procedimento, colocaram-se as sete camadas de fibra de algodão submersas em água (figura 7):

Figura 7: Fibras de algodão submersas em água.



Fonte: Autoria própria.

4. Antes da realização foi medida a massa das fibras hidratadas, encontrando a massa de 163,27g, ou seja, a massa da água é 85,39g.
5. Baseou-se nas medidas das fibras de algodão para limitar o tamanho da bolsa de vácuo com fita dupla face em cima de uma mesa de vidro. E dentro desse perímetro passou-se desmoldante, específico para PU, para facilitar a retirada.
6. Com a intenção de facilitar a retirada do ar de maneira uniforme, instalou-se um espiroduto em uma das laterais da bolsa.
7. Colocou-se a primeira lâmina de PEEL PLY, com a intenção de melhorar o acabamento do compósito e também de facilitar a retirada dele.

O resultado dos passos 5, 6 e 7 pode ser visto na figura 8.

Figura 8: Limitação da bolsa, PEEL PLY e conexão em T já instalado.



Fonte: Autoria própria.

8. Colocou-se a primeira camada de PU no PEEL PLY, cobrindo toda a área da fibra (350 x 350). Observa-se na figura 9.

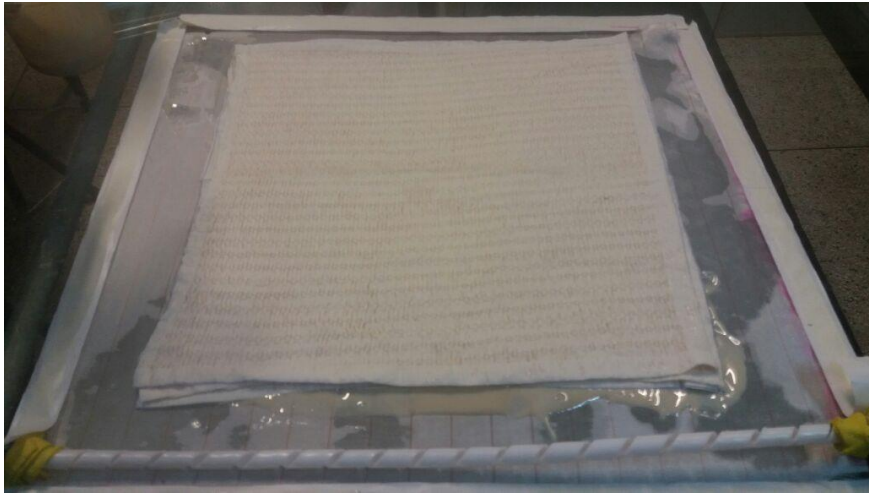
Figura 9: Primeira camada de Poliuretano.



Fonte: Autoria própria.

9. Após a primeira camada de PU, colocou-se quatro camadas, das sete, de fibra de algodão (Figura 10):

Figura 10: Primeiras 4 fibras de algodão.



Fonte: Autoria própria.

10. Cobre-se novamente com outra camada de PU, espalhando totalmente na fibra, figura 11:

Figura 11: Camada intermediária de PU cobrindo as quatro camadas de algodão.



Fonte: Autoria própria.

11. Colocou-se as últimas três lâminas de fibras de algodão, já cobrindo toda a área de PU, figura 12:

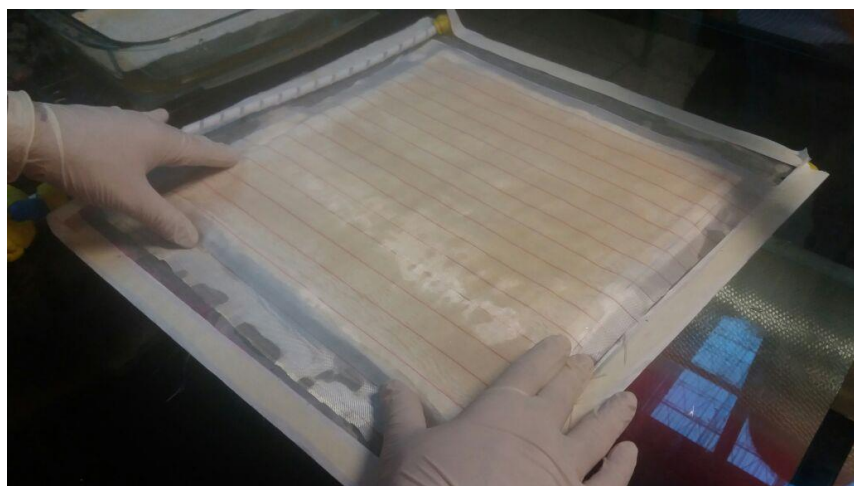
Figura 12: Última camada de PU, cobrindo as sete fibras de algodão.



Fonte: Autoria própria.

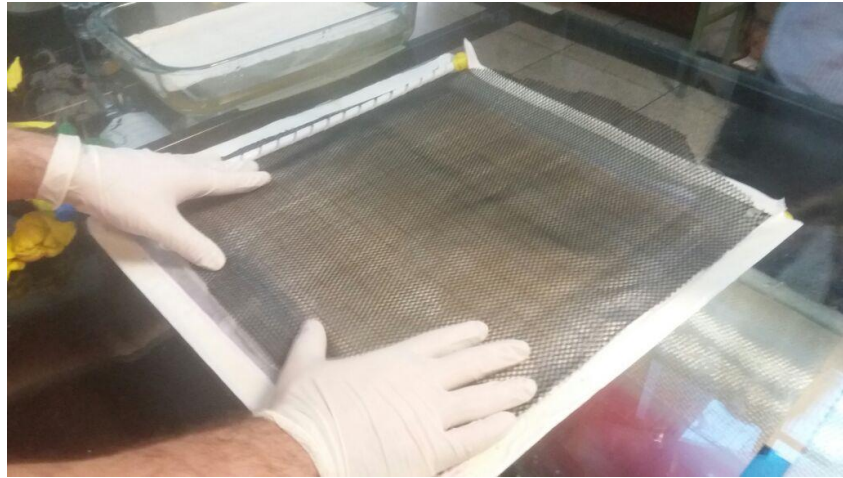
12. Após a última camada de PU, coloca-se a segunda lâmina de PEEL PLY, já posicionando o distribuidor de resina (resin air flow), com a intenção de garantir uma completa e proporcional distribuição da PU, por cima. Como visto nas figuras 13 e 14.

Figura 13: Segunda camada de PEEL PLY.



Fonte: Autoria própria.

Figura 14: Distribuidor de resina.



Fonte: Aatoria própria.

13. Por fim, o fechamento da bolsa de vácuo é realizado com a ajuda do filme para vácuo, como visto na figura 15.

Figura 15: Bolsa de vácuo finalizada.



Fonte: Acervo do Laboratório de Materiais Compósito UTFPR-CP.

O compósito permanece por volta de 24 horas com a bomba de vácuo em funcionamento, buscando a melhor fração entre fibra e matriz, ou seja, com o intuito de evitar bolhas de ar na interface da fibra e da matriz.

Após uma semana fez-se o corte dos CDPs nas dimensões segundo a norma ASTM D3039 / D3039M – 14 para realizar os ensaios de tração.

Figura 16: Corpos de prova



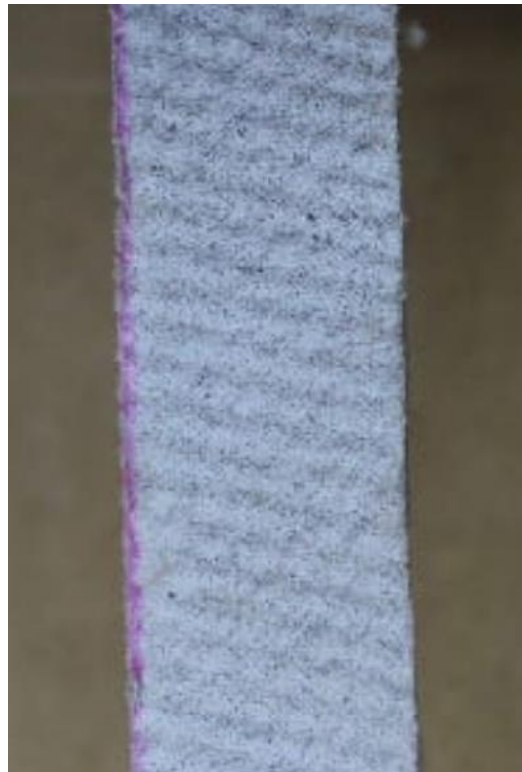
Fonte: Autoria própria

4- RESULTADO E DISCUSSÕES

Foram realizados testes de tração, segundo a norma ASTM D3039 / D3039M – 14 programando a máquina de ensaio a uma velocidade de 2 mm/min, para melhor exatidão dos resultados, em seis CDP's. Sendo separados em três de PU+FA0⁰+H₂O+ATH30% e três de PU+FA90⁰+H₂O+ATH30%. E a partir do resultado dos três CDP, foi encontrado um resultado médio de cada grupo com o desvio padrão pertinente.

A obtenção dos resultados se fez a partir da Correlação de Imagens Digitais (CID) utilizando o software GOM, onde se fez necessário a pintura dos corpos de prova de uma maneira a deixar o fundo branco com pontinhos pretos singulares, assim como mostrado na figura 17, para que a câmera fotográfica tivesse resolução suficiente para capturar com nitidez satisfatória a pintura realizada nos corpos de prova, para que o software conseguisse bom desempenho.

Figura 17: Pintura para a Correlação de Imagem Digital



Fonte: Autoria própria

No ensaio a câmera fotografia era posicionada de frente ao CDP e configurada para tirar uma foto a cada 5 segundos do começo até o rompimento do material. E essas fotos foram encaminhadas para os softwares com a intenção de obter os gráficos de Tensão x Deformação.

4.1 Resultados e Comparação Dos Corpos de Prova de 0° e 90°

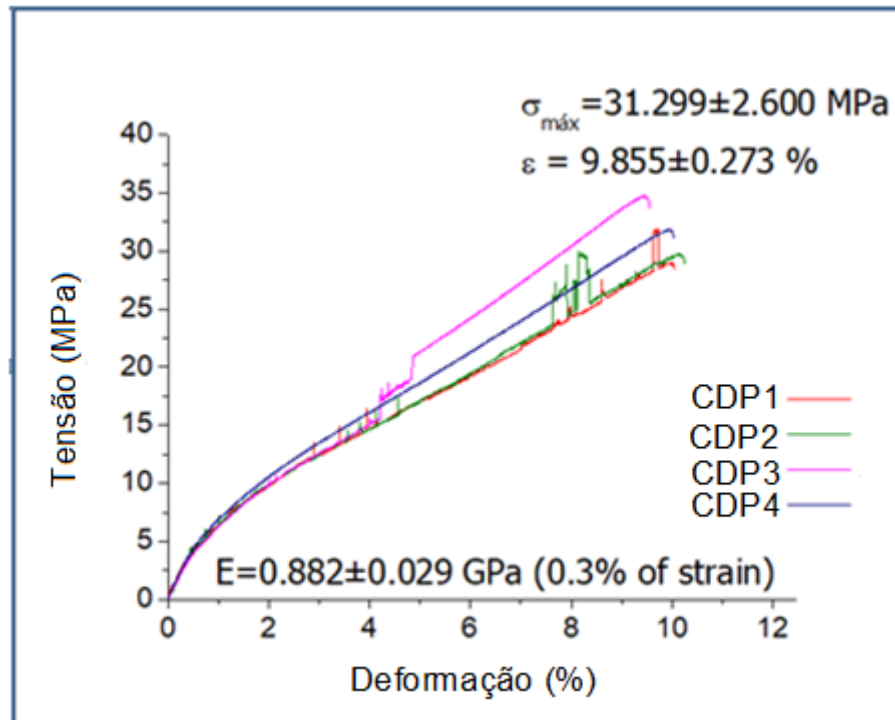
Os CDP's de PU+FA90°+H₂O+ATH30% e PU+FA0°+H₂O+ATH30% foram produzidos a partir da mesma placa de compósito. Por isso seus dados são discutidos de maneira paralela.

A partir dos resultados, obtidos pela Correlação de Imagens Digitais (CID), foi elaborado o gráfico TENSÃO x DEFORMAÇÃO de cada grupo, e assim possibilitando a comparação dos CDP's de Algodão hidratado com o não hidratado, podendo-se analisar as diferenças em todos os resultados.

4.1.1 Resultados do PU+FA0°+H₂O+ATH30%

Seguindo a norma ASTM D3039 / D3039M – 14 foram realizados os ensaios de tração dos CDP's de PU+FA0°+H₂O+ATH30%, sendo obtido o seguinte gráfico de TENSÃO x DEFORMAÇÃO, gráfico 1.

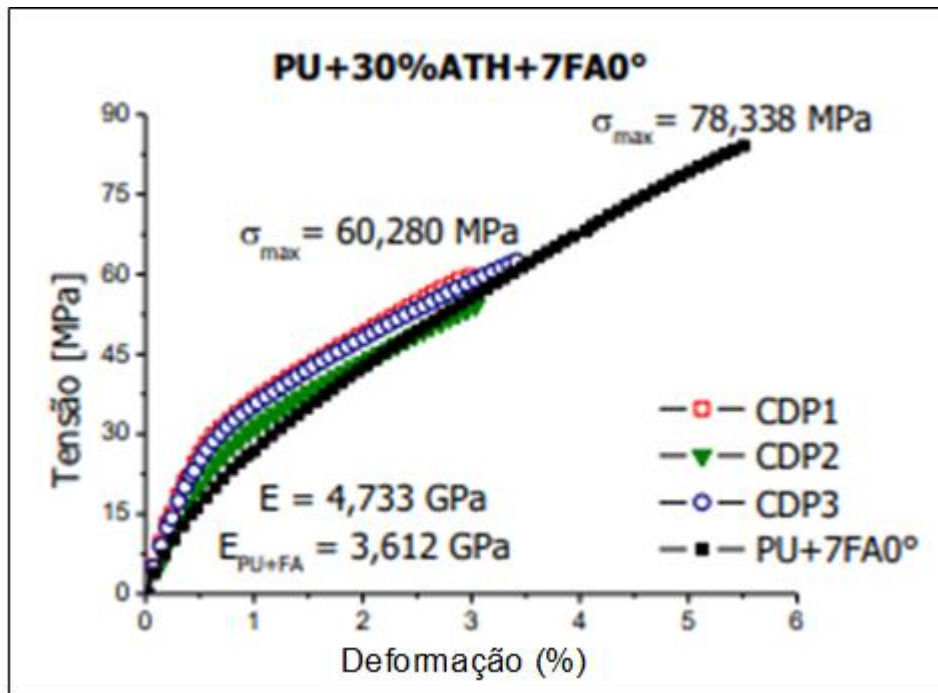
Gráfico 1: Tensão x Deformação PU+FA0⁰+H2O+ATH30%



Fonte: Autoria Própria.

A partir do gráfico 1 dos três CDP's foi feita uma média da Tensão máxima suportada e do módulo de elasticidade, E11, já com os seus desvios padrão, igual a $31,299 \pm 2,600 \text{ MPa}$ e $0,882 \pm 0,029 \text{ GPa}$, respectivamente.

Com esses resultados se tornou viável a comparação com o compósito não hidratado DA SILVA (2018). Que apresentou o gráfico 2 de Tensão x Deformação:

Gráfico 2: Tensão x Deformação PU+FA0⁰+ATH30%

Fonte: DA SILVA (2018)

Na tabela 1, é possível observar o comportamento mecânico do PU+FA0⁰+H₂O+ATH30% (A) e PU+FA0⁰+ATH30% (B):

Tabela 1- Comparação do comportamento mecânico entre PU+FA0⁰+H₂O+ATH30% (A) e PU+FA0⁰+ATH30% (B)

| Compósito | Máxima tensão suportada (MPa) | Módulo de elasticidade (GPa) |
|-----------|-------------------------------|------------------------------|
| A | 31,299 MPa | 0,882 GPa |
| B | 60,280 MPa | 4,733 GPa |

Fonte: Autoria Própria.

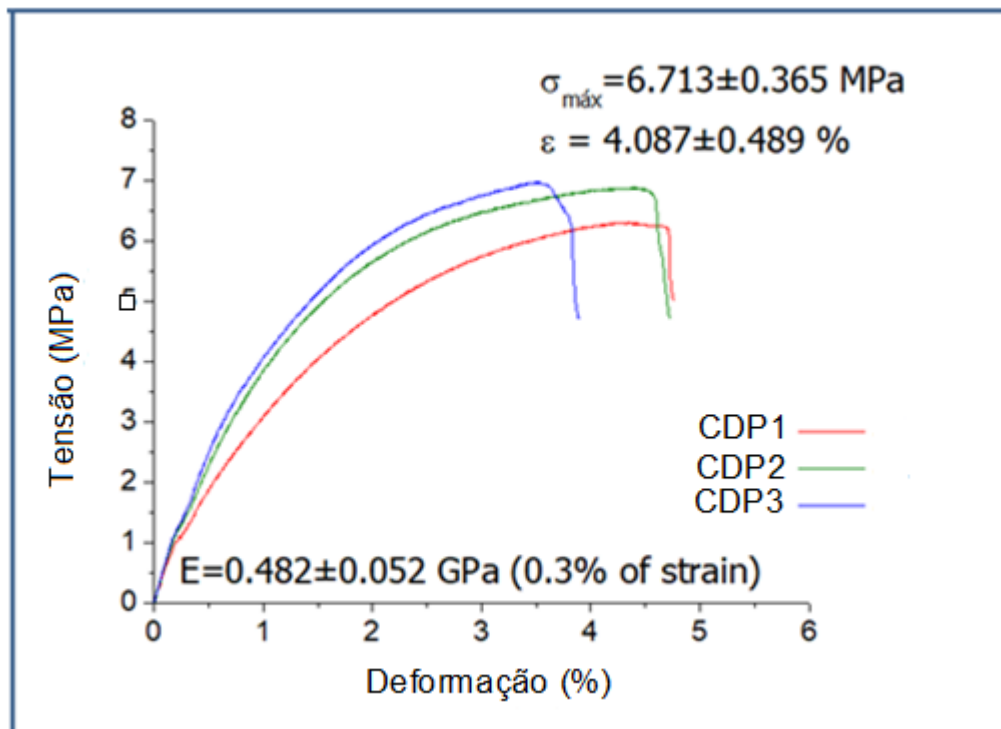
Comparando os dois compósitos foi possível perceber uma diferença significativa entre eles. Sendo a tensão máxima suportada e o módulo de elasticidade do PU+FA0⁰+H₂O+ATH30% bem inferior ao não hidratado.

4.1.2 Resultados do PU+FA90⁰+H₂O+ATH30%

O resultado obtido no ensaio de tração dos CDP's PU+FA90⁰+H₂O+ATH30% foi de uma tensão máxima média de $6,713 \pm 0,365$ MPa e o módulo de elasticidade médio, E₂₂, igual a $0,482 \pm 0,052$ GPa.

No gráfico 3, será possível observar a Tensão x Deformação dos CDP's utilizados para encontrar a tensão e o módulo de elasticidade médios.

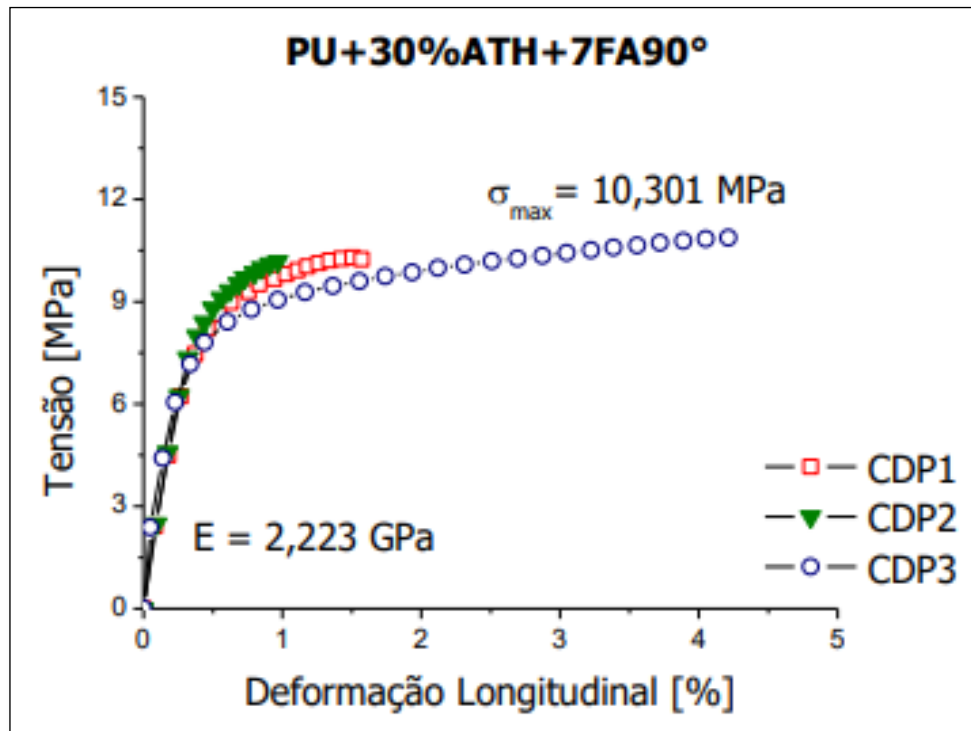
Gráfico 3: Tensão x Deformação PU+FA90⁰+H₂O+ATH30%



Fonte: Autoria Própria.

A comparação com o compósito não hidratado se torna possível, o gráfico 4 de Tensão x Deformação do PU+FA90⁰+ATH30%, gráfico 4.

Gráfico 4: Tensão x Deformação PU+FA90°+ATH30%



Fonte: DA SILVA (2018).

A tabela 2 mostra o comportamento mecânico dos compósitos PU+FA90°+H₂O+ATH30% (A) e PU+FA90°+ATH30%:

Tabela 2- Comparação do comportamento mecânico entre PU+FA90°+H₂O+ATH30% (A) e PU+FA90°+ATH30%(B)

| Compósito | Máxima tensão suportada (MPa) | Módulo de elasticidade (GPa) |
|-----------|-------------------------------|------------------------------|
| A | 6,713 MPa | 0,482 GPa |
| B | 10,301 MPa | 2,223 GPa |

Fonte: Autoria Própria.

O compósito B apresentou vantagens em relação ao compósito A em todos os parâmetros, sendo o módulo de elasticidade quase 5 vezes maior e a tensão máxima do A cerca de 65% da tensão máxima de B.

4.1.3 Comparação geométrica e morfológica dos compósitos hidratados com os não hidratados.

Como visto tanto os resultados encontrados da PU+FA90⁰+H₂O+ATH30%, quanto do PU+FA0⁰+H₂O+ATH30% apresentaram valores inferiores aos respectivos compósitos não hidratados no ensaio de tração. Notaram-se diferenças entre o compósito estudado nesse trabalho em comparação com o compósito estudado no trabalho realizado por DA SILVA (2018), uma delas já se foi percebido na espessura entre eles, figura 18.

Figura 18: Lado esquerdo o compósito hidratado e Lado direito o não hidratado.



Fonte: Autoria própria.

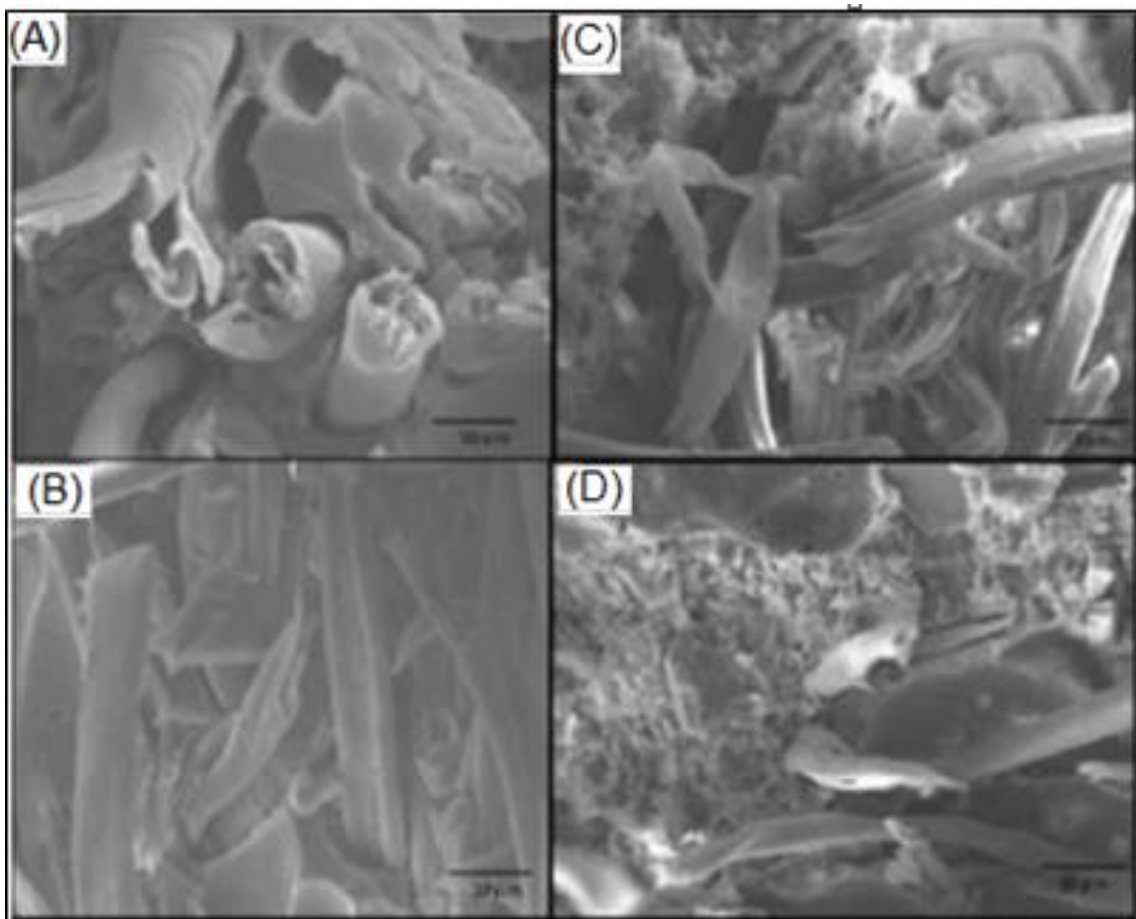
A espessura do compósito hidratado mede 4,35 mm e o não hidratado mede 62% dessa espessura, ou seja, 2,7 mm. Assim, pela metodologia ser a

mesma, pode-se concluir que ocorreu uma expansão significativa, resultado da absorção de água, tanto pelo algodão quanto pela PU.

Essa diferença na área foi um dos fatores que influenciou, como visto nas tabelas 1 e 2, para que a tensão máxima suportada e o módulo de elasticidade do compósito hidratado seja tão inferiores ao compósito comparado, mesmo que as cargas finais sejam próximas.

Além disso, foi realizado um ensaio de MEV no compósito hidratado e no não hidratado. Sendo, assim possível uma análise mais detalhada do efeito da água na interação fibra/matriz, na PU e na fibra de algodão, figura 19.

Figura 19: Imagens SEM da fratura do compósito polimérico de algodão PU + FA + ATH30 orientado a 0 ° (A) e 90 ° (B), PU+FA+H2O+ATH30 orientados a 0 ° (C) e 90 ° (D).



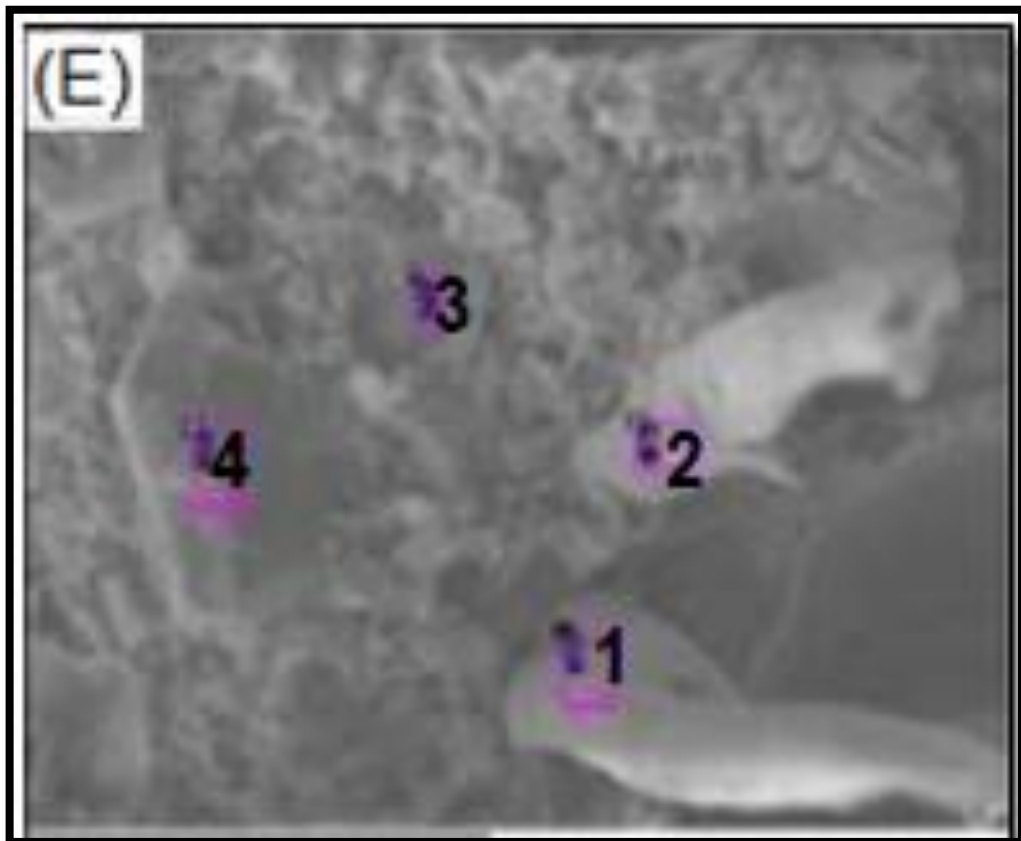
Fonte: Autoria Própria.

Nas figuras A e B estão demonstradas as imagens da fratura dos compósitos não hidratados orientados a 0° e 90°, respectivamente. Enquanto C e D

demonstram as imagens das fraturas do compósito hidratado orientado a 0° e 90°, respectivamente.

A partir das imagens de MEV pode-se notar que o compósito com as fibras de algodão não hidratadas apresentaram um corpo denso, sem poros e com a ATH bem distribuída entre o compósito. Ao contrário das fibras hidratadas, que apresentaram muitos poros entre a poliuretana e a fibra de algodão que, de acordo com o EDX mostrado nas figuras 20 e 21, apresentaram alta concentração de alumínio e de maneira não uniforme no restante do compósito, indicando que a água também prejudicou a homogeneização da matriz.

Figura 20: Ensaio de EDX.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 21: Resultado do Ensaio EDX.

| | C | O | Al | Total |
|----------|----------|----------|-----------|--------------|
| 1 | 17,41 | 56,10 | 26,49 | 100% |
| 2 | 10,34 | 63,10 | 26,24 | 100% |
| 3 | 51,78 | 43,72 | 4,49 | 100% |
| 4 | 50,15 | 47,41 | 2,44 | 100% |

Fonte: Aatoria Própria.

Segundo SZYCHER (2013), uma pequena quantidade de água pode ter uma influência drástica na sequência de reação e na a estrutura molecular final do poliuretano. Isso significa dizer, em relação ao compósito, que a água presente na fibra de algodão reagiu com o isocianato produzindo moléculas de dióxido de carbono causando os poros presentes no material. Fazendo com que a interação fibra/matriz fique prejudicada e por consequência diminuindo as propriedades mecânicas.

Mas é importante ressaltar que essa interação da água com a PU fez com que ela se expandisse, se tornando uma espuma, alterando totalmente as suas propriedades mecânicas, por esse detalhe a comparação dos resultados do compósito hidratado com o não hidratado devem ser analisados como materiais diferentes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível encontrar na literatura sobre os malefícios que a água e outras substâncias com OH causam em compósitos que contenham fibras vegetais e poliuretana. Porém, não se encontra com facilidade artigos que provem, experimentalmente, o que está na literatura.

Sendo assim, esse trabalho teve como função a comparação de compósito hidratado com um compósito semelhante não hidratado e, como os resultados alcançados provam, demonstrar como o comportamento mecânico se prejudica com isso. Desta maneira, podendo concluir que os resultados ficaram dentro do esperado segundo a literatura.

Com tudo, é importante ressaltar que como a água expandiu a PU, fazendo dela uma espuma, a comparação deve ser realizada considerando a matriz do compósito hidratado com propriedades mecânicas diferentes do não hidratado.

Para possíveis trabalhos futuros, sugere-se a lavagem das fibras com água. Porém, na hora da moldagem, as fibras estando secas. Além da possibilidade da realização outros tipos de ensaios, como flexão e, principalmente, inflamabilidade, do compósito trabalhado aqui.

REFERÊNCIAS

- [1] Almendro, E. B., da Silva, A. A. X., da Silva, E. H.P., de Moura, Ana P., da Costa, R.R.C.; MANUFACTURE AND MECHANICAL BEHAVIOR OF GREEN POLYMERIC COMPOSITE REINFORCED WITH HYDRATED COTTON FIBER. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.
- [2] Araújo, C. R.; Mothé, C. G. - "Characterization of Natural Fiber Reinforced Polyurethane Composites", in: Second International Symposium on Natural Polymers and Composites, p.123-126, São Paulo - SP (1998).
- [3] ASTM D3039/D3039M – 14, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.
- [4] ASTM D3878 -95 - Standard Terminology for Composite Materials, 1995.
- [5] Benini, K. C. C. C.; Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS / fibra de casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar. Dissertação de Mestrado em Engenharia – Faculdade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, 2011.
- [6] Bledzki, A. K. & Gassan, J. - Progr. Polym. Sci., 24, p.221 (1999)
- [7] Borsoi, C.; L. C. Scienza; A. J. Zattera, Obtenção e Caracterização de Compósitos Utilizando Poliestireno como Matriz e Resíduos de Fibras de Algodão da Indústria Têxtil como Reforço. Polímeros, vol.21, p. 271-279, 2011.
- [8] Callister Jr. W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução, 5ª ed., Rio de Janeiro, RJ, LTC, 2002;
- [9] Cangemi, J. M.; Biodegradação de Poliuretano Derivado do Óleo de Mamona. Tese de Doutorado em Ciências (Química Analítica) – Universidade de São Paulo. São Carlos 2006.
- [10] CARVALHO, Laura H.; CAVALCANTI, Wilma S.. Propriedades Mecânicas de Tração de Compósitos Poliéster/Tecidos Híbridos Sisal/Vidro. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 16, n.1, p. 33-37, 2006.
- [11] DA SILVA, A. A. X. Comportamento mecânico e de inflamabilidade do compósito de poliuretano derivada de óleos vegetais (PU) reforçado com fibra de algodão e alumina tri-hidratada. Qualificação – Dissertação – (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2018.
- [12] da Silva, R. V.; Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais. Tese de Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

- [13] Leão, R. M.; Tratamento Superficial de Fibra de Coco e Aplicação em Materiais Compósitos como Reforço do Polipropileno. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2012.
- [14] Marinho, N. P.; Nascimento, E. M.; Nisgoskill, S.; Magalhães, W. L. E.; Neto, S. C.; Azevedo, E. C., Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu, *Polímeros*, vol. 23, p. 201-205, 2013.
- [15] Mothé, C. G.; de Araujo, C. R., Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de Curauá, *Polímeros* vol.14 São Carlos 2004.
- [16] Pizzi, A. - *J. Adhes. Sci. Technol.*, 20, p.829 (2006).
- [17] Rodrigues, S. J; “Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira”. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Fabricação de Materiais) – Universidade Federal do Pará, UFPA, Belém.
- [18] Sgriccia, N.; Hawley, M. C. & Misra, M. - *Comp. Part A.*, 39, p.1632 (2008).
- [19] SILVESTRE FILHO, G.D.; Comportamento mecânico do poliuretano derivado do óleo de mamona reforçado com fibra de carbono: Contribuição para o projeto de hastes de implante de quadril. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.
- [20] Szycher, M. *Szycher's Handbook of Polyurethanes*. 2. ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2013.
- [21] Tita, V. ; Projeto e Fabricação de Estruturas em Material Compósito Polimérico; Engenharia Aeronáutica Universidade de São Paulos. São Carlos 2006.