

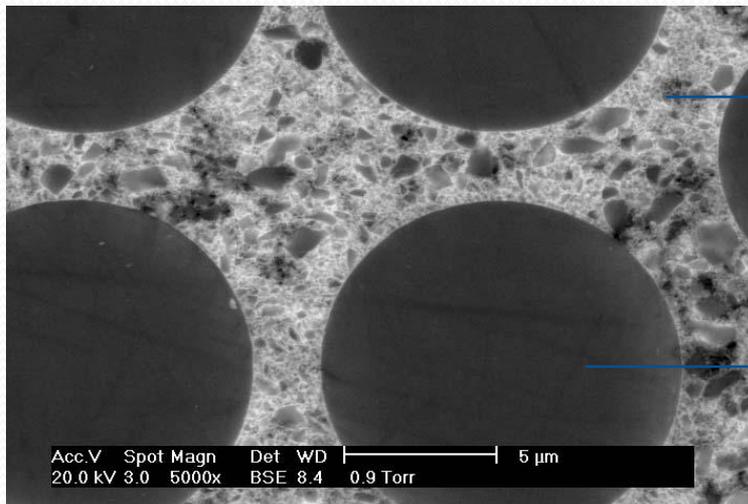
# MATERIAIS COMPOSITOS: Características, Propriedades e Aplicações

ANDRÉ ZORZANI, MSc

# INTRODUÇÃO A MATERIAIS COMPÓSITOS

-O QUE SÃO MATERIAIS COMPÓSITOS?

- Designa-se por material “composto”, ou “compósito” o resultado da combinação de dois ou mais materiais distintos em suas propriedades físicas.



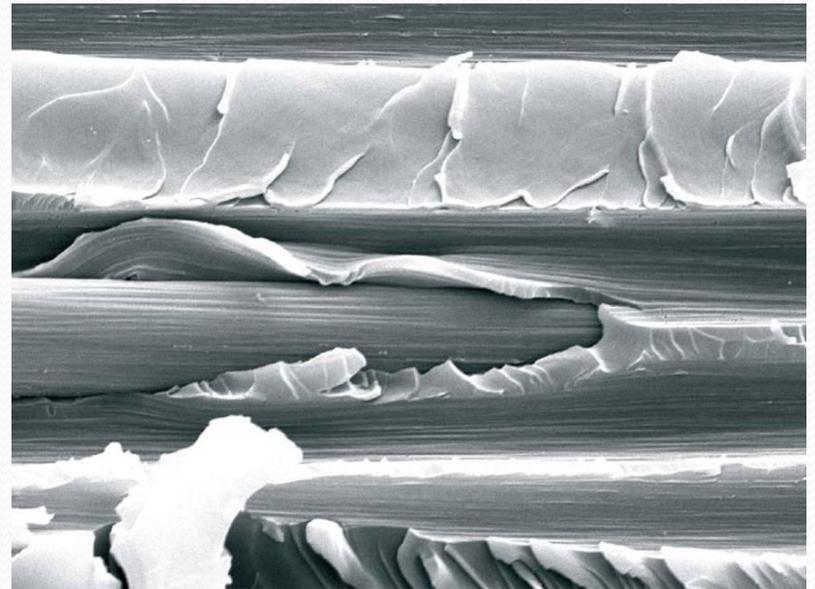
→ Matriz

→ Reforço (fibra)

Acc.V Spot Magn Def WD | 5 µm  
20.0 kV 3.0 5000x BSE 8.4 0.9 Torr

# *INTRODUÇÃO A MATERIAIS COMPÓSITOS*

- Trata-se, portanto, de uma classe heterogênea de material.
- Cujo objetivo é a obtenção de um material que, combinando as características de seus componentes individuais de maneira adequada, apresente um desempenho estrutural superior.



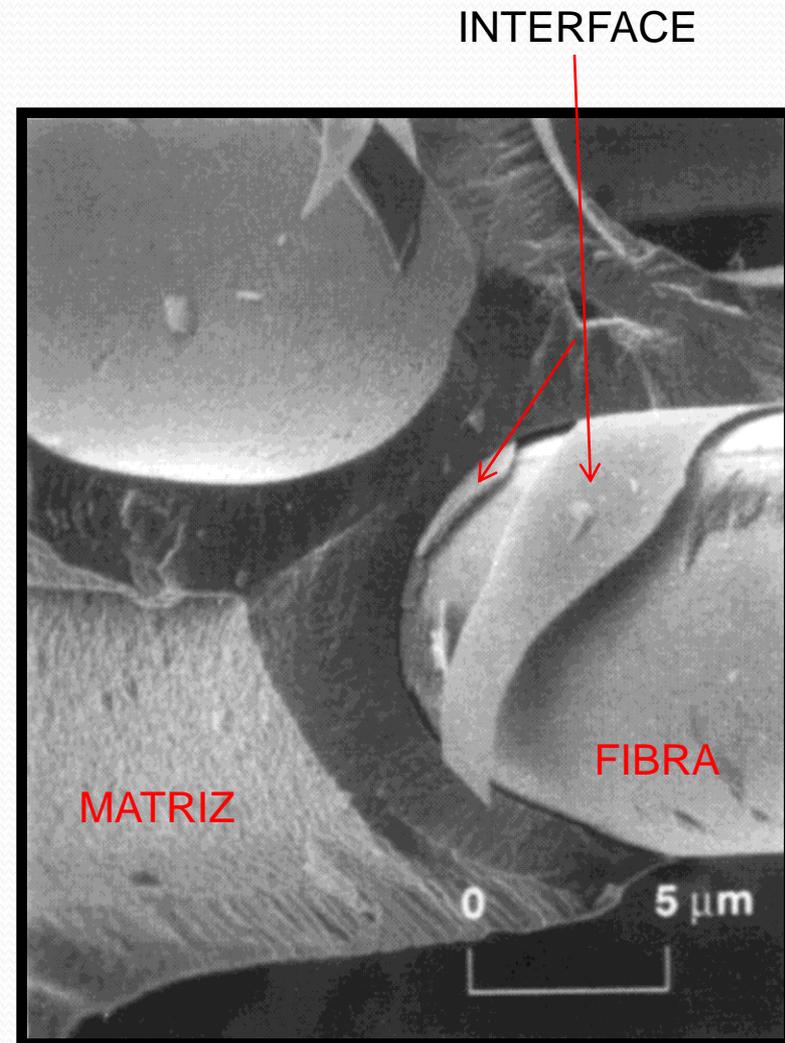
# *INTRODUÇÃO A MATERIAIS COMPÓSITOS*

- Compósitos, geralmente, são reforçados com fibras envolvidas e aderidas por uma matriz.
- Desta forma, ambas, reforço e matriz mantêm suas identidades físicas e químicas, mas produzem uma combinação de propriedades que não são alcançadas com apenas um dos constituintes agindo sozinho. (DAY, D.; HORA, S.V.; TSAI, S.W., 2003).



# INTRODUÇÃO A MATERIAIS COMPÓSITOS

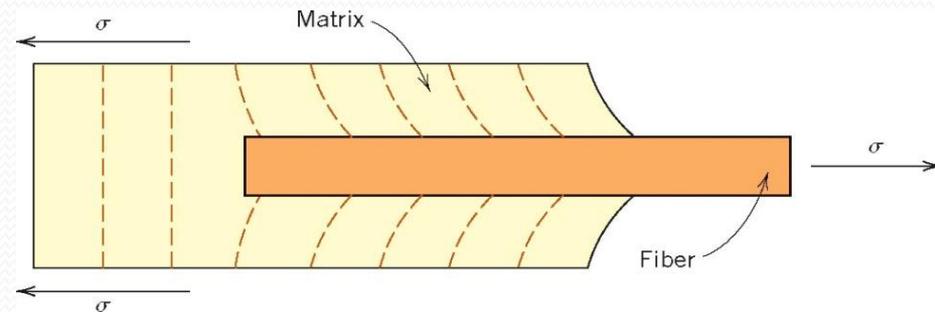
- Nos compósitos as fibras são as principais responsáveis pela resistência às cargas.
- A matriz aderida e envolvente mantém as fibras no local desejado garantindo sua orientação, e transferindo as cargas entre as fibras, e ainda as protege de danos causados por intempéries, umidade e agentes químicos.



# INTRODUÇÃO A MATERIAIS COMPÓSITOS

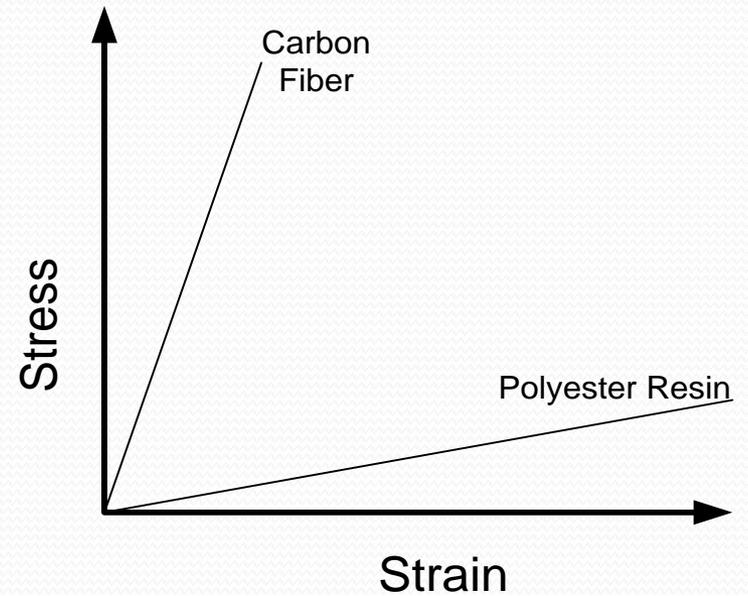
- A Ligação entre a fibra e a matriz é de fundamental importância nas propriedades mecânicas dos compósito.

- A interação (força de ligação) entre a fibra e a matriz dependem principalmente da afinidade química entre elas.



# CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS

-Os compósitos são classificados conforme o tipo de reforço e matriz utilizados



# *CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS*

- Classificação quanto ao tipo de reforço;
- As principais fibras sintéticas para reforços de compósitos poliméricos usualmente utilizados são:
- Fibras de Vidro: maior utilização e menor custo



# *CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS*

- Fibras de Aramida: comercialmente conhecida como Kevlar®



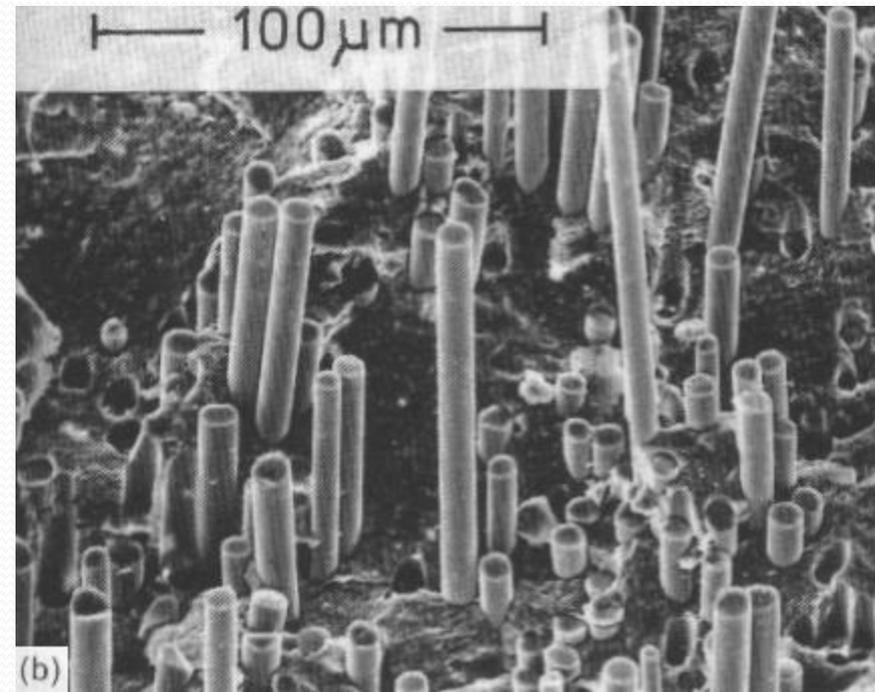
## *CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS*

- Fibras de Carbono: apresentam elevadas resistências mecânicas e baixa densidade.



# CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS

A maioria das fibras utilizadas em compósitos de alto desempenho, consistem de centenas de monofilamentos, cada filamento possui diâmetros entre 5 e 25 micrômetros

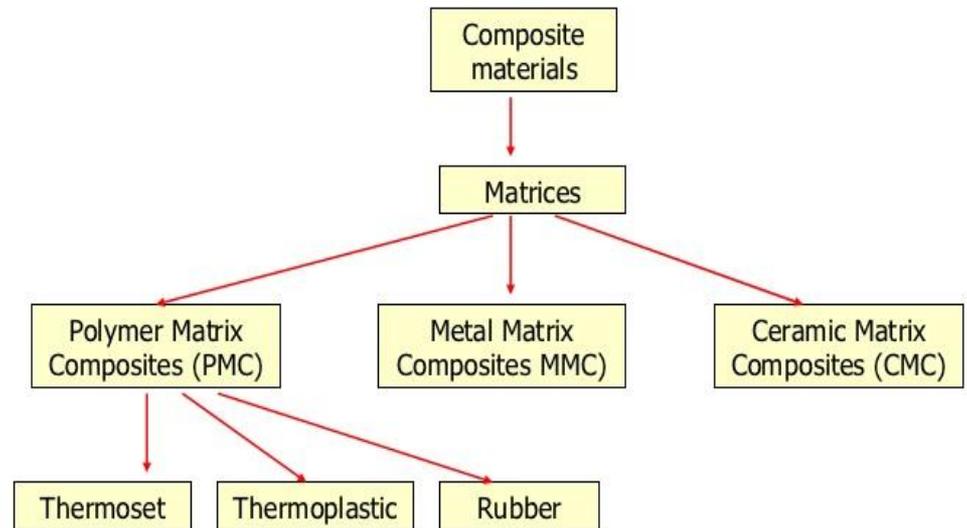


# CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS

Classificação quanto ao tipo de Matriz

- Metálicas;
- Cerâmicas;
- Poliméricas (resinas epóxi, poliéster, éster-vinílica, etc.),.

## Classification based on Matrices



# CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS

## Metálicas (MMC) Metal Matrix Composites

-Fibras de;

-Carbono

-Boro

-Carbeto de Silício

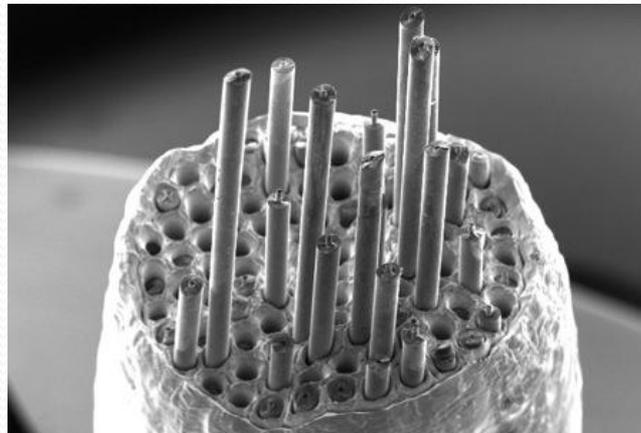
-Matrizes

-Alumínio

-Magnésio

-Cobre

-Titânio



# CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS

## Cerâmicas (CMC) Ceramic Matrix Composites

-Fibras;

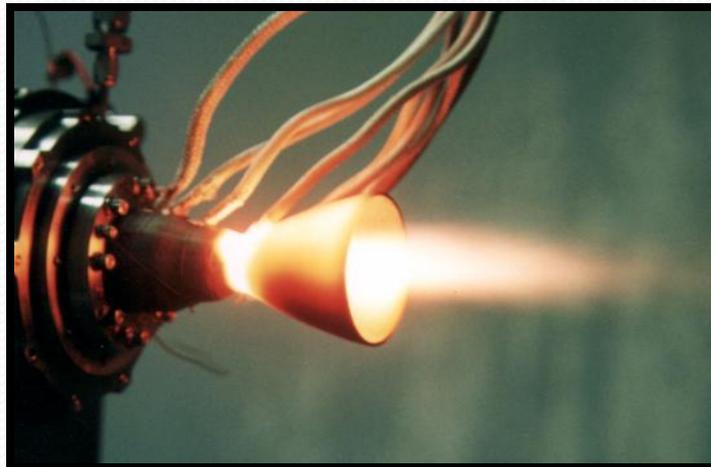
-Carbono

-Carbeto de Silício

-Matrizes

-Silicato de alumínio e cálcio

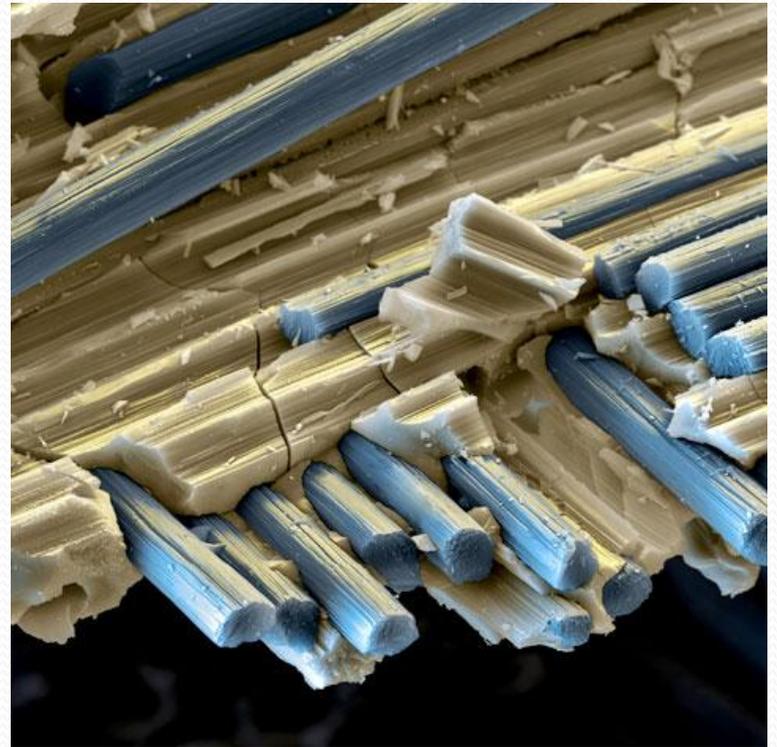
-Silicato de alumínio e lítio



# CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS

-As matrizes poliméricas que podem ser utilizadas na moldagem de vários tipos de compósitos e consistem basicamente em 2 grupos principais.

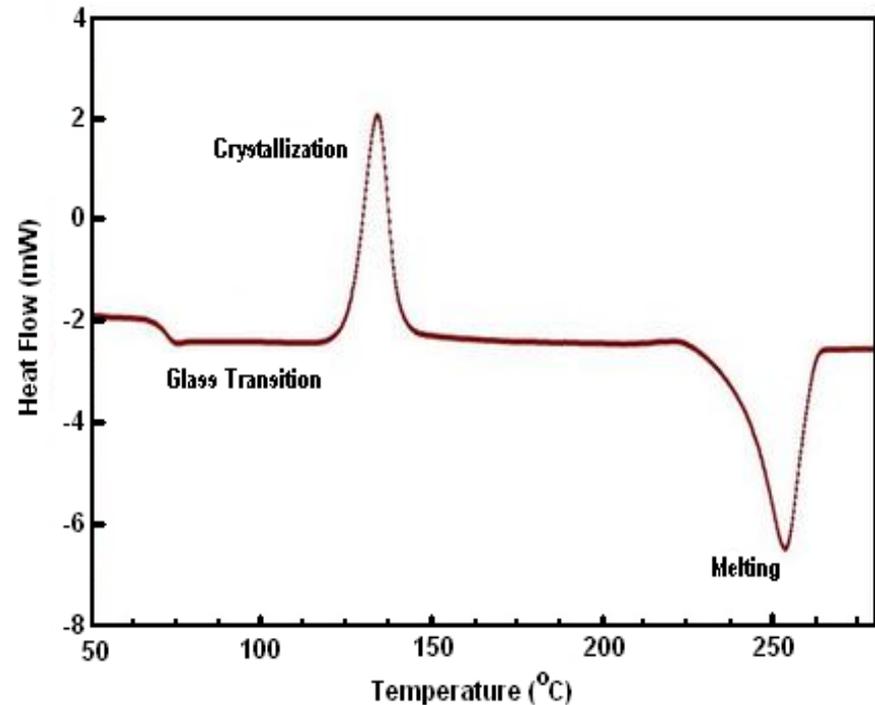
**Matriz Polimérica** { Termoplástica  
Termorrígida



# CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS

## Matrizes termoplásticas

- Sob o efeito de temperatura, e pressão (em alguns casos), amolecem e fluem
- Podendo ser moldados nestas condições.
- Geralmente são solúveis e recicláveis
- como, por exemplo, polipropileno, polietileno, polifenileno, etc...



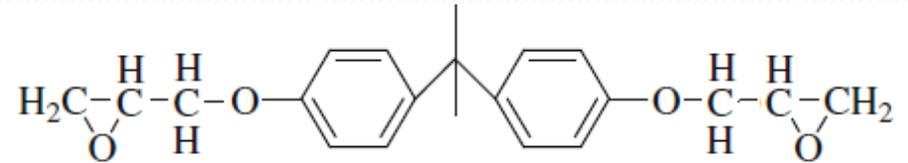
# CLASSIFICAÇÃO DOS COMPÓSITOS

Matrizes termofixas ou

termorrígidas

- Sob o efeito de temperatura e/ou agente de cura, reagem quimicamente formando ligações cruzadas, tornando-se insolúveis, infusíveis e, portanto, não recicláveis.

Ex.: poliésteres insaturados, fenólicas, melaminas, silicones, poliuretanos, epóxis, etc ...



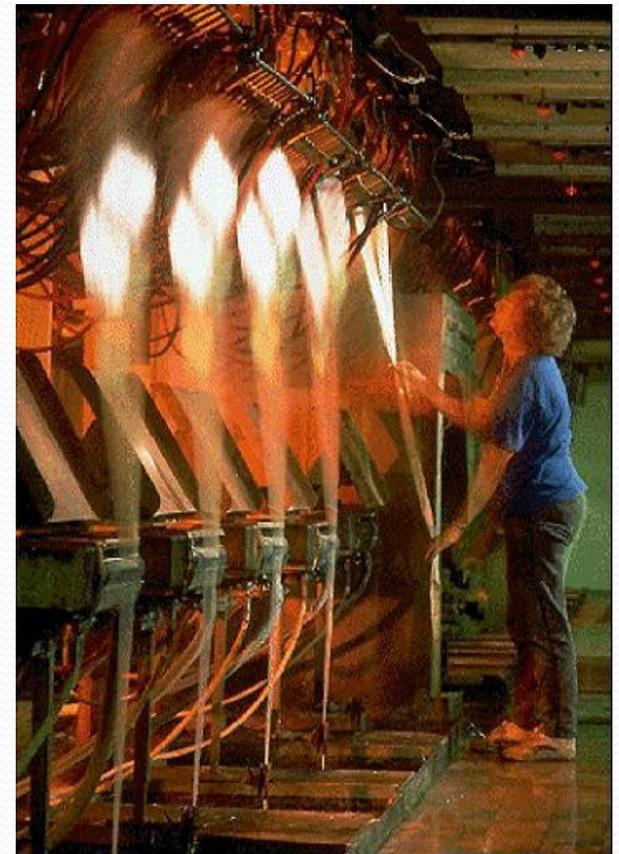
Estrutura química geral da resina epóxi (DGEBA) não curada.

(BAUER, R. S. 1989).

# *CARACTERISTICAS DE ALGUNS CONSTITUINTES DOS COMPÓSITOS*

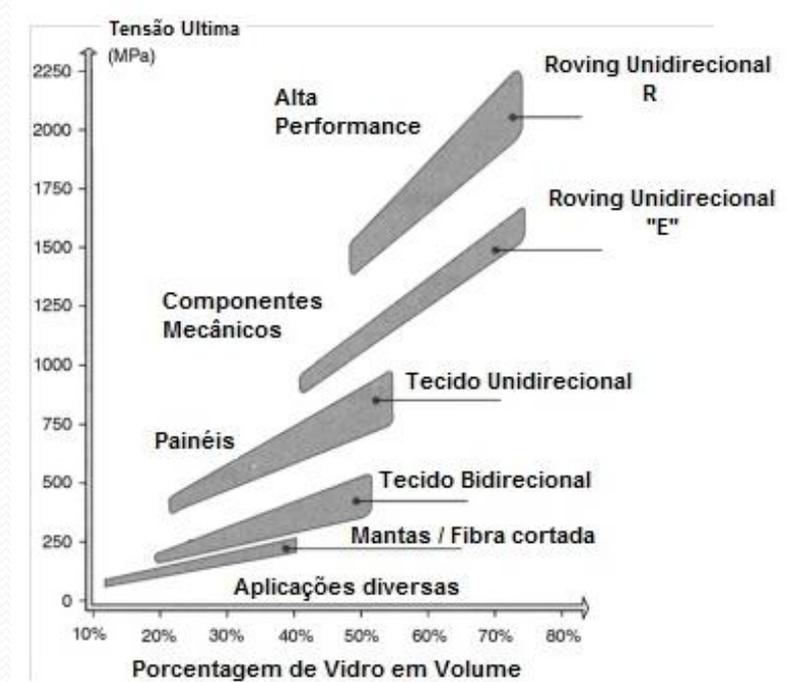
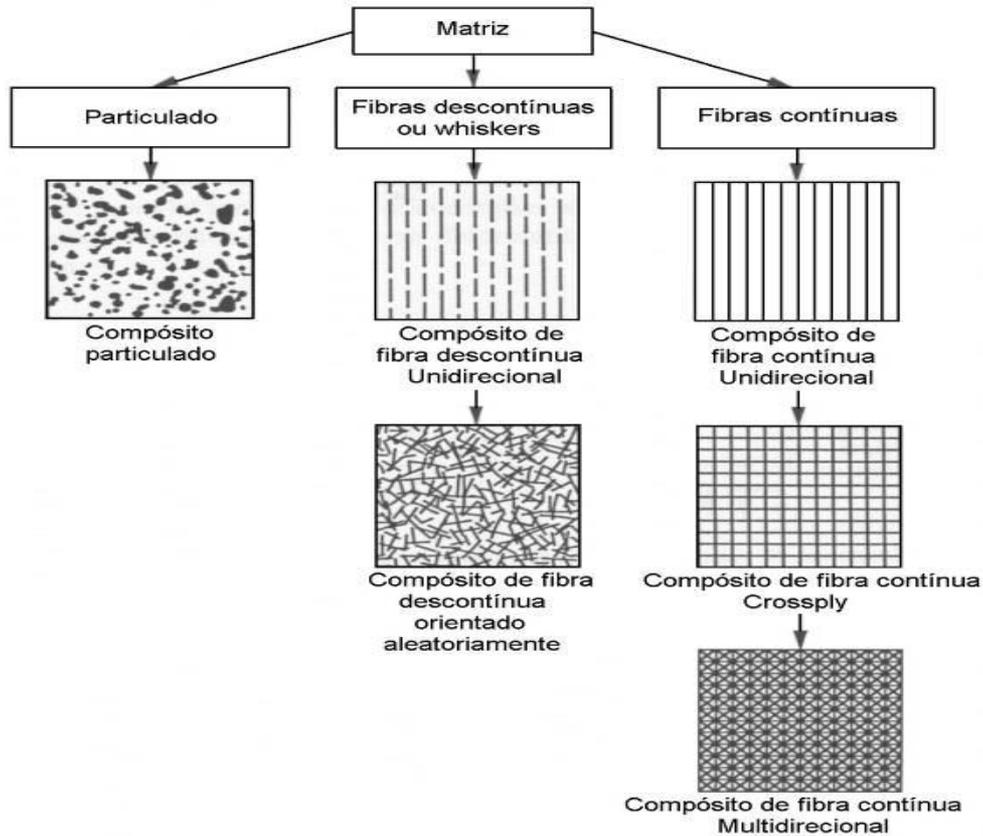
As fibras de vidro é o tipo mais utilizado como reforço em compósitos de matriz polimérica, devido ao seu baixo custo e sua alta resistência mecânica.

<b>Fibre</b>	<b>Cost (\$/lb)</b>
<b>Boron</b>	<b>320</b>
<b>Silicon carbide</b>	<b>100</b>
<b>Carbon</b>	<b>30</b>
<b>Alumina</b>	<b>30</b>
<b>Kevlar</b>	<b>20</b>
<b>E-glass</b>	<b>3</b>



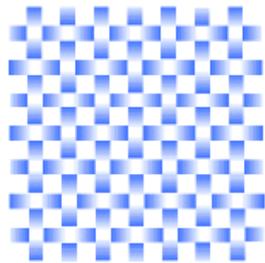
# CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS CONSTITUINTES DOS COMPÓSITOS

As fibras podem variar de forma e tamanho conforme a necessidade de sua aplicação

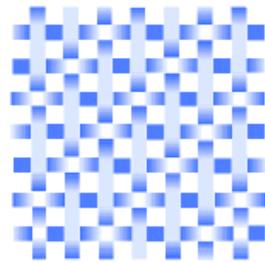


# CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS CONSTITUINTES DOS COMPÓSITOS

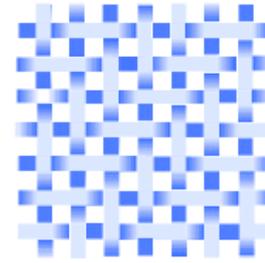
- Os formatos dos reforços dependem da aplicação final, e podem ser fabricados de diversas formas, abaixo alguns tipos de tecelagem.



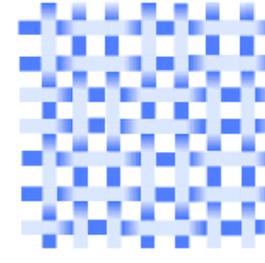
*Plain Weave*



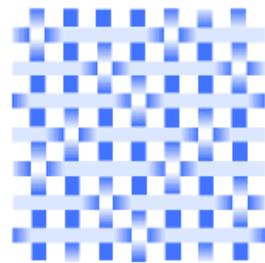
*2/1 Twill*



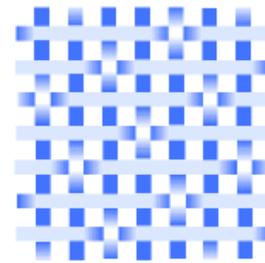
*2/2 Twill*



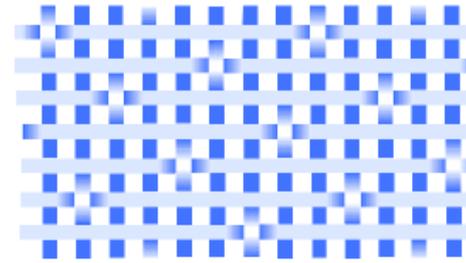
*2/2 Basket*



*Crowfoot Satin*



*5-Harness Satin*



*8-Harness Satin*



*Carbon  
Glass  
Aramid  
Dyneema*

## ***CARACTERISTICAS DE ALGUNS CONSTITUINTES DOS COMPÓSITOS***

- As fibras de vidro utilizadas na manufatura de compósitos são classificadas em E, S, AF, entre outras variando a composição e, conseqüentemente, suas propriedades finais.

<b>Óxido</b>	<b>Silica Fundida</b>	<b>Prato</b>	<b>Garrafa</b>	<b>S</b>	<b>AF</b>	<b>E</b>	<b>Shield Strand™</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>100</b>	<b>73</b>	<b>73</b>	<b>65</b>	<b>60</b>	<b>54</b>	<b>60</b>
<b>CaO</b>	--	<b>9</b>	<b>10</b>	--	<b>8</b>	<b>22</b>	<b>22</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	--	-	<b>2</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>13</b>
<b>B<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	--	--	--	--	<b>7</b>	<b>7</b>	--
<b>MgO</b>	--	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>0.4</b>	<b>3</b>
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	--	<b>14</b>	<b>14</b>	--	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>0.7</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	--	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	--	--	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>
<b>F<sub>2</sub></b>	--					<b>&lt;1.0</b>	--

## *CARACTERISTICAS DE ALGUNS CONSTITUINTES DOS COMPÓSITOS*

As fibras de Aramida (Kevlar®) possuem excelentes propriedades de absorção de energia mecânica, boa resistência ao impacto, à fadiga e à produtos químicos.

São utilizadas em grande escala na fabricação de peças para blindagem balística, por exemplo;

- Capacetes
- Coletes



# *CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS CONSTITUINTES DOS COMPÓSITOS*

As fibras de Carbono são filamentos muito finos, constituídos de carbono. São produzidas pela carbonização de fibras sintéticas.

Utilizadas em aplicações onde se deseja materiais resistentes e de baixo peso;

-Aeronaves

-Carros de fórmula 1

-Bicicletas



Pás de turbina de avião

# *PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS*

-Como opções aos materiais de engenharia convencionais, diversos tipos de materiais compósitos são hoje disponíveis, de acordo com seus processos de fabricação.

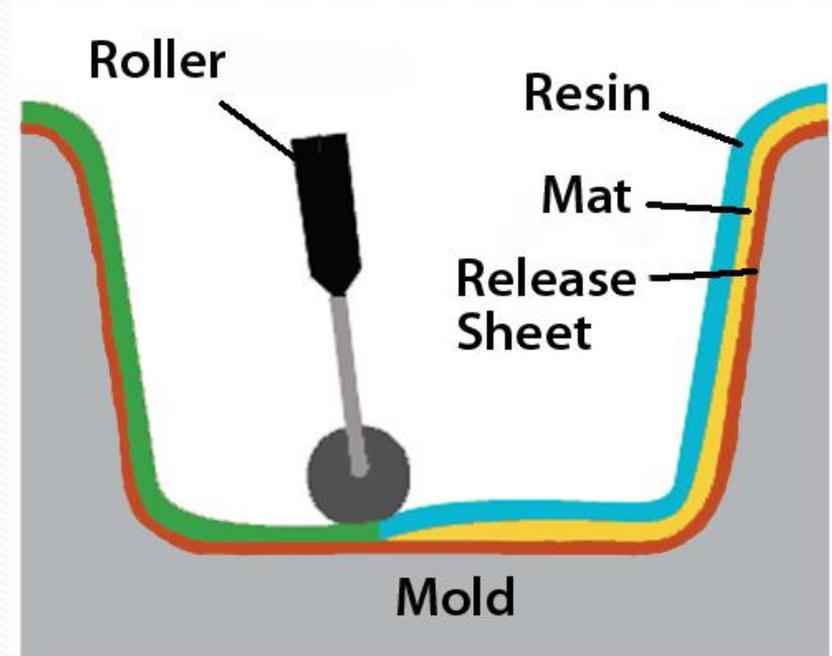
- Laminação manual (hand lay up)
- Pultrusão
- Moldagem por Injeção
- Filamento Contínuo
- Prensagem à quente
- BMC / SMC
- VBOP (vácum Bag Oven Pressure)
- AFP (Automatic Fiber Placement)
- Spray Up
- RTM (Resin Transfer Mold)
- VRI (Vacum Resin Infusion)

# PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

## LAMINAÇÃO MANUAL

### (hand lay up)

-Normalmente feito em moldes, de geometria variada, a matriz (resina + cargas minerais) é aplicada sobre o reforço (manta e/ou tecido) formando camadas sobrepostas, removendo as bolhas com rolo metálico estriado a cada camada.



# *PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS*

## **LAMINAÇÃO MANUAL**

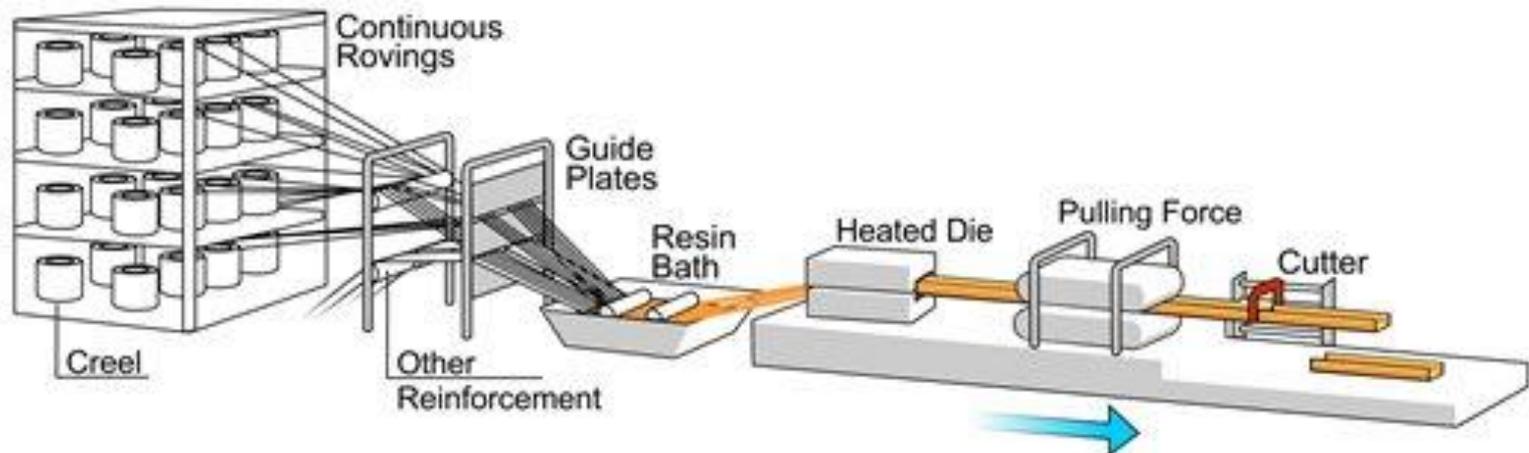
Precursor dos processos de transformação de compósitos.



# PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

## PULTRUSÃO

-O material pultrudado possui seção transversal constante, fabricado através de um molde (ou mandril). A matriz consiste de mistura homogênea de resina e cargas minerais e o reforço é de filamento contínuo (roving).



## *PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS*

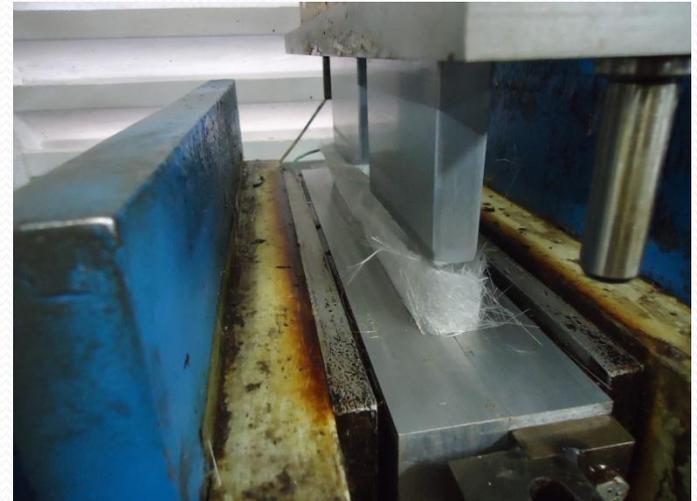
Possibilidade de fabricação de perfis de diversos e formatos sua aplicação na industria civil esta em plena expansão.



# *PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS*

## **MOLDAGEM POR INJEÇÃO DE RESINA**

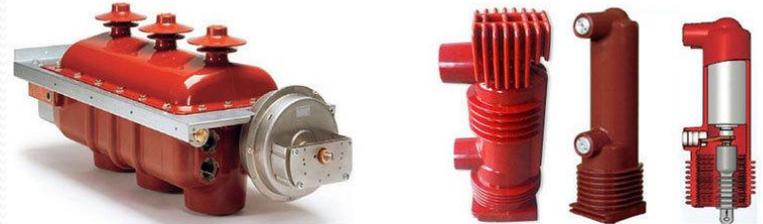
-A moldagem por injeção é um processo muito utilizado na transformação de compósitos poliméricos, devido principalmente à sua elevada produtividade e possibilidade de obtenção de peças com geometria complexa.



# PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

- Processo muito utilizado para fabricação de peças elétricas, como isoladores e transformadores de alta tensão
- Substituem as cerâmicas.

SF6 Load Break Switch and Embedded Poles



Spout Box



CT&PT



Insulators & Bushing



# *PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS*

## **FILAMENTO CONTÍNUO**

Processo no qual rovings de fibras de reforço contínuas são posicionadas em ângulos pré-determinado para compor uma forma oca geralmente cilíndrica.

Fios individuais ou em mechas são alimentados através de um banho de resinas e em seguida enroladas continuamente ao redor de um mandril



# PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

Amplamente utilizado para  
fabricação de cilindros, tubos,  
grandes conexões...



Cilindro de gás natural em fibra de carbono

# *PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS*

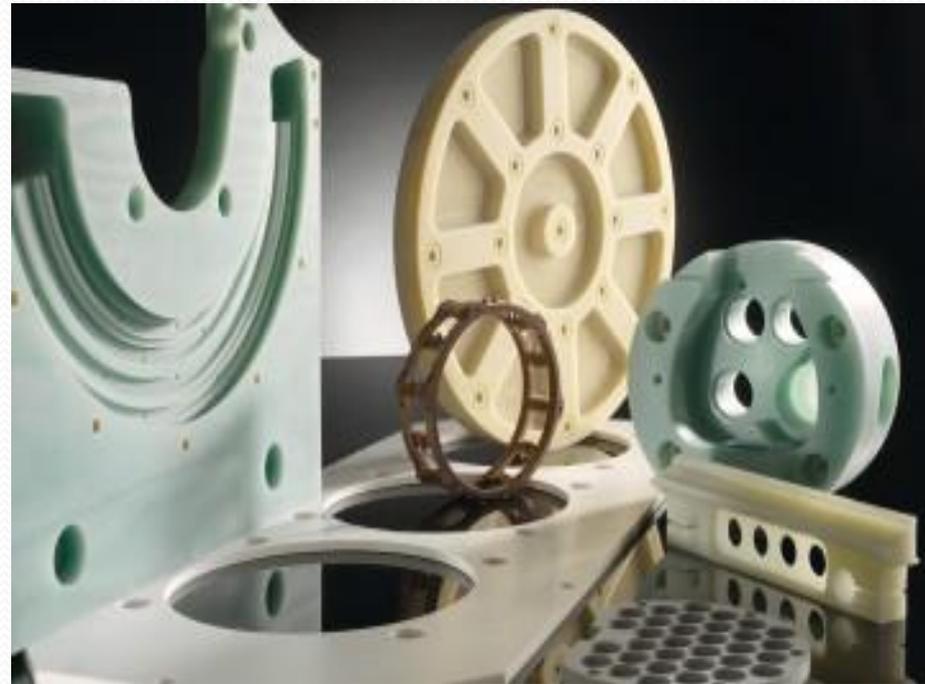
## **PRESAGEM Á QUENTE**

Processo no qual é aplicada a matriz (resina + cargas), manualmente sobre reforços de mantas aleatórias ou tecidos multidirecionais em volumes calculados, colocados em prensa aquecida e prensados sobre pratos distanciados por espaçadores de espessura.



## *PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS*

Possibilita a fabricação de chapas de alta densidade, muito utilizada para fabricação de peças usinadas com a finalidade de isolantes elétricos em transformadores, geradores etc...



# PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

## **BMC (Bulk Mold Compound)**

Processo no qual se faz uma massa com resina, cargas minerais e fibras de vidro picada, num sistema de cura á quente.

Determinadas quantidades de BMC são colocadas em moldes aquecidos previamente insertados e prensados ate a cura do material.



# *PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS*

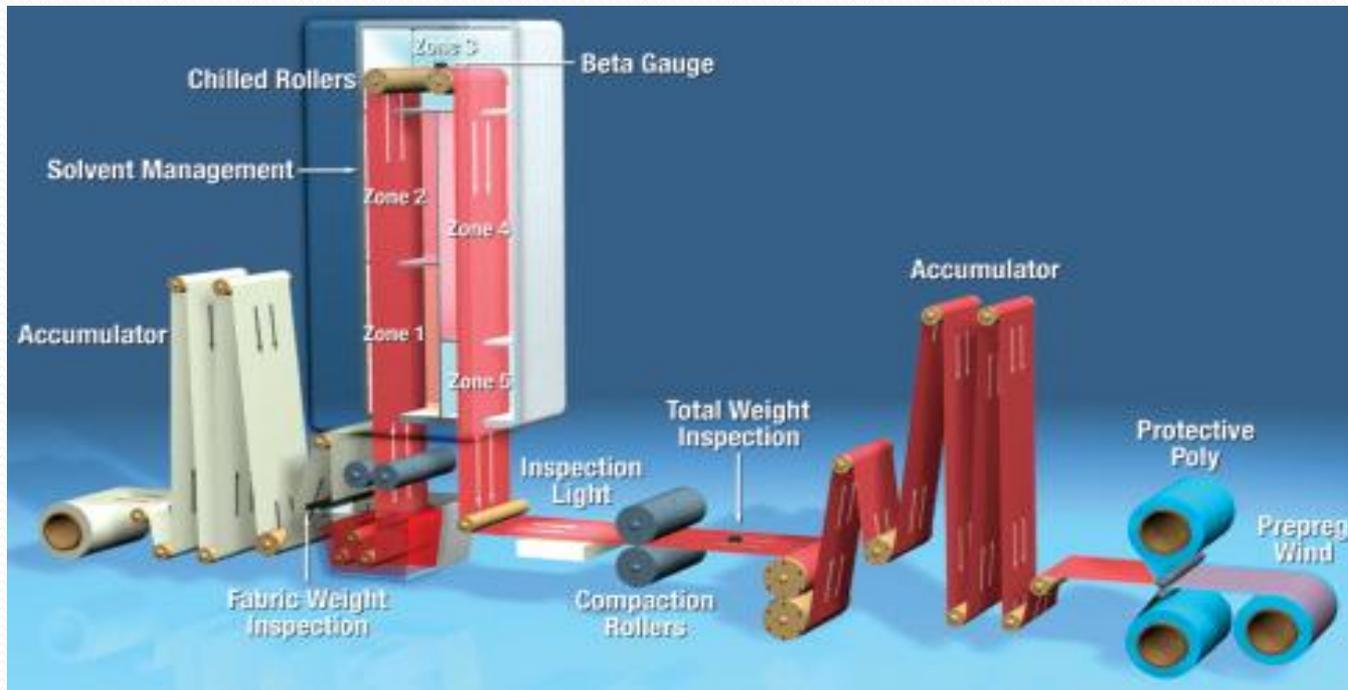
Com grande aplicação também na indústria elétrica, este processo permite fazer peças com a superfície bem polidas e brilhantes.



# PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

## PREPREG

Consiste em um processo de impregnação da Matriz na Fibra de vidro de forma contínua e controlada, garantindo precisamente os teores de fibra-matriz e facilita o processo de laminação em moldes complexos.

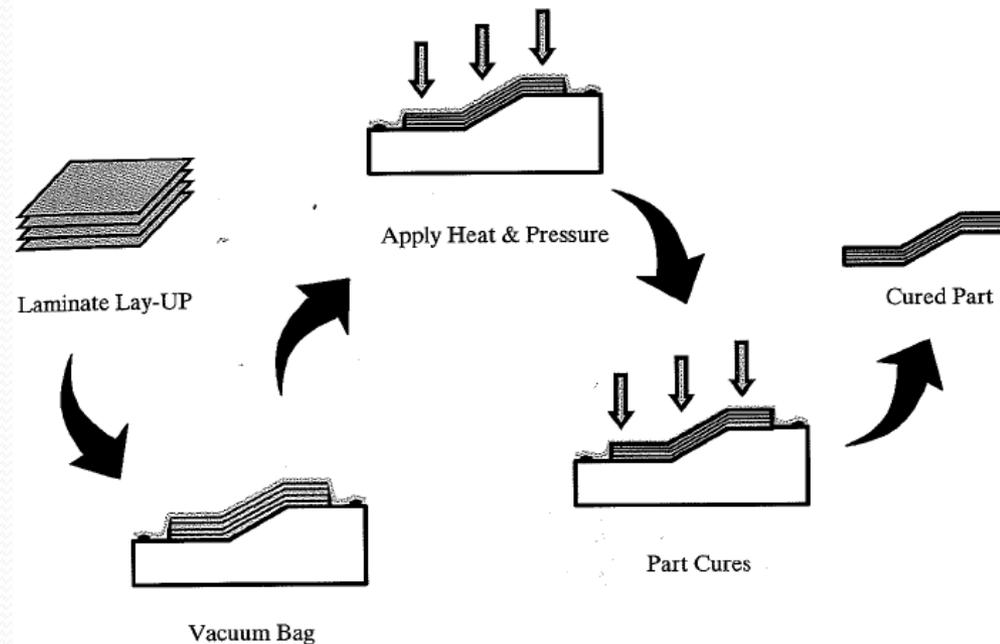


# PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

Existem várias formas de fabricação e obtenção de peças em prepreg, e isso depende da necessidade do desempenho final dessas peças.

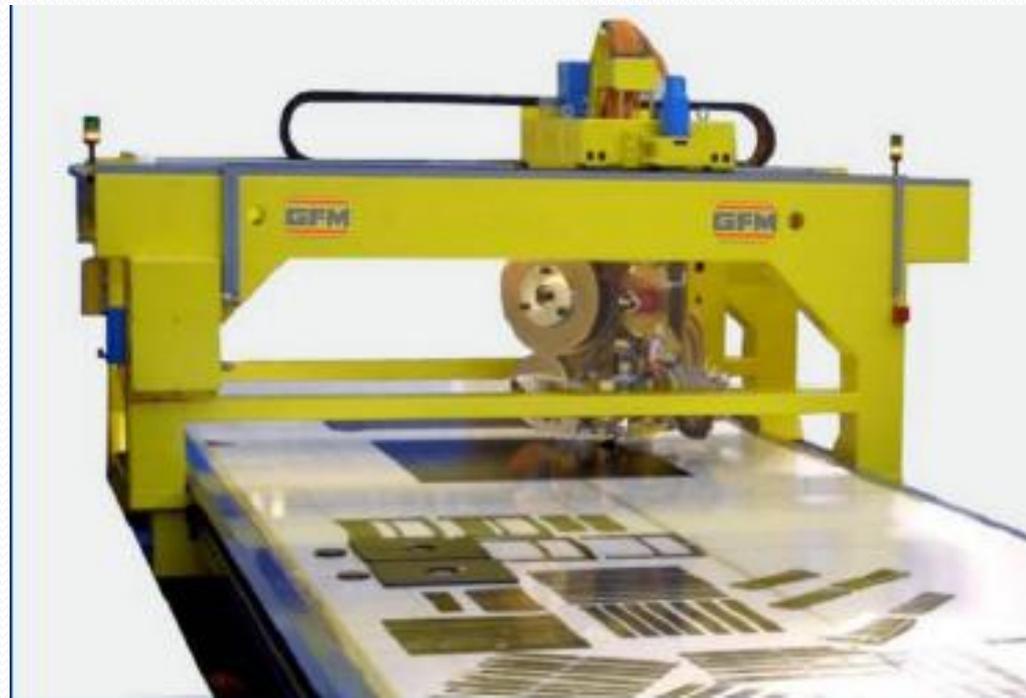
## -Vacuum Bag Oven Pressure

Laminação de prepreg em múltiplas camadas utilizando moldes para cura a quente e sob pressão



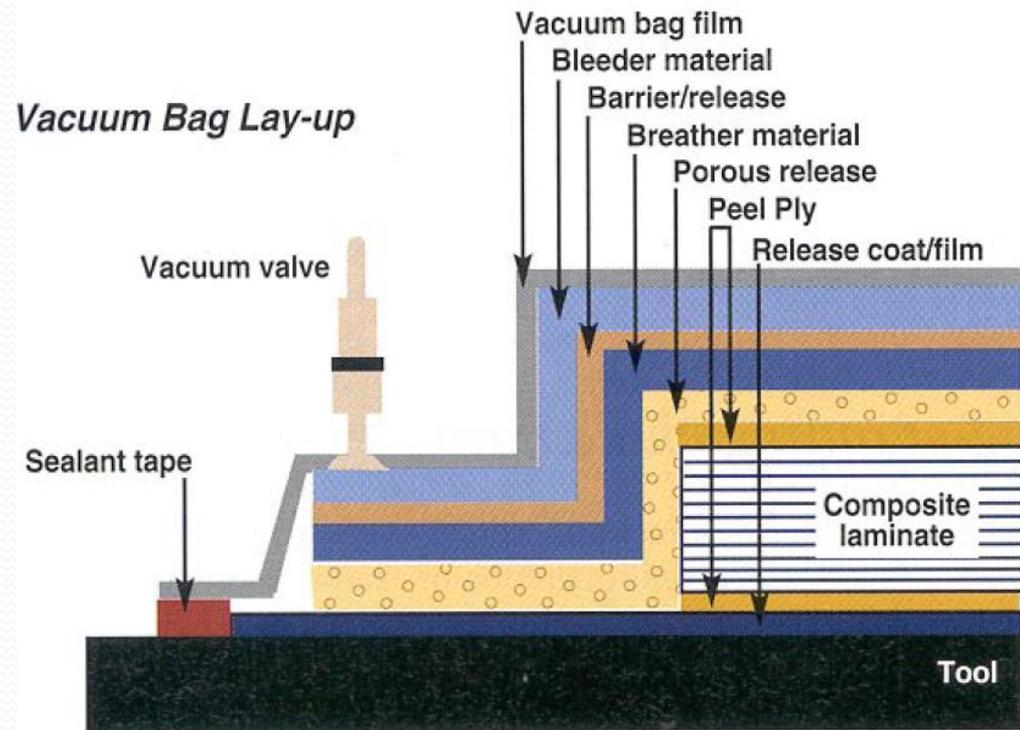
## *PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS*

As camadas de prepreg são cortadas em kit's conforme as definições de projeto através de máquinas de corte CNC



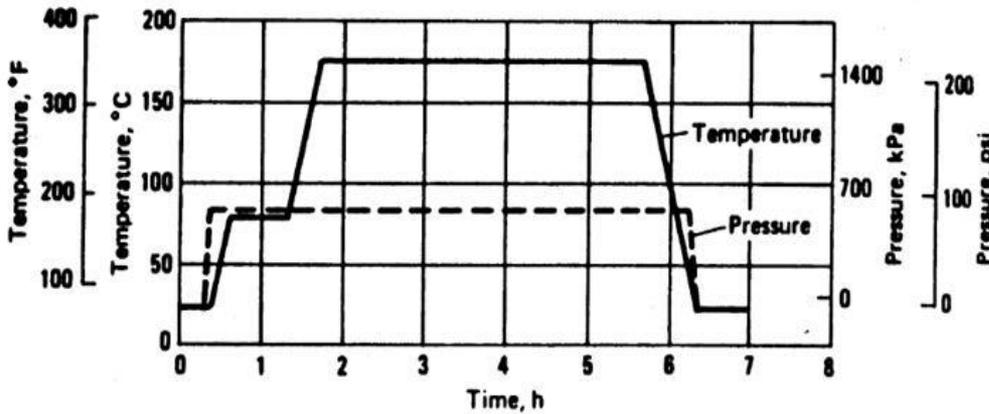
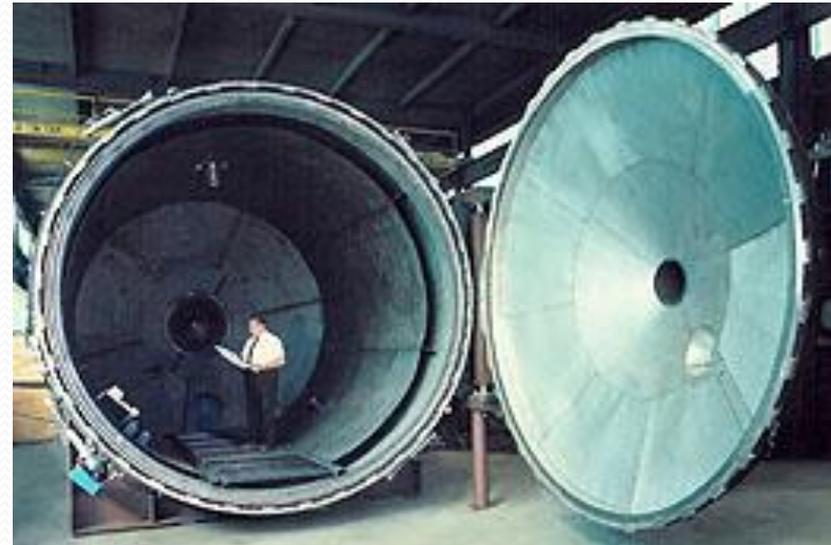
# PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

As camadas são laminadas no molde e posteriormente é montado um sistema denominado Vacuum Bag Oven Pressure.



# PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

O processo de cura (polimerização da matriz) é realizado em estufas ou auto-clave.

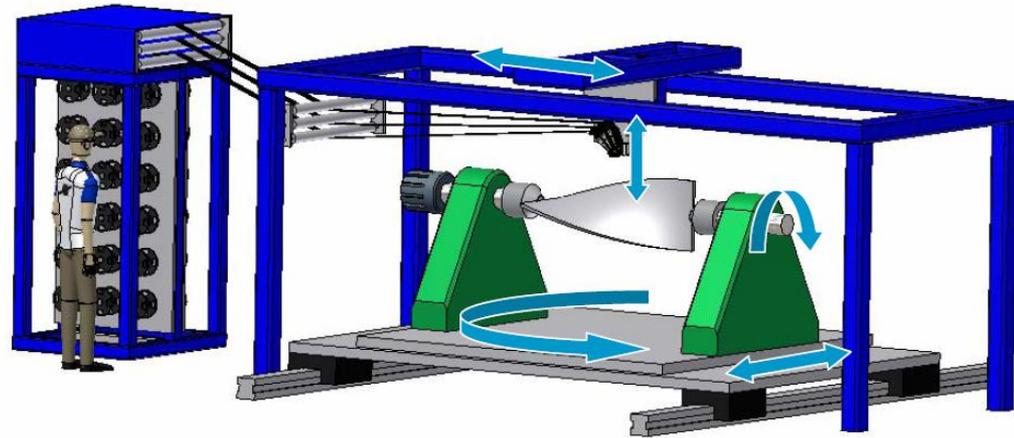


Ciclo típico de auto-clave

# PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

## AFP (AUTOMATIC FIBER PLACEMENT)

O prepreg é posicionado sobre um molde com o auxílio de uma máquina CNC de 5 eixos, a qual garante o posicionamento das camadas, a tensão e a compactação necessária na laminação.



## PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

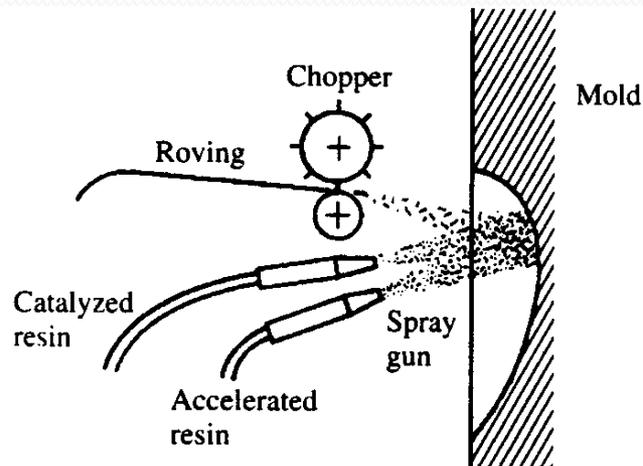
A grande utilização desse processo é na fabricação de peças para a indústria aeronáutica, o qual vem aumentando significativamente.



# PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

## SPRAY UP

É realizado utilizando-se de um equipamento que pica os fios de roving e os lança através de um jato de resina sobre o molde



## *PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS*

Processo amplamente utilizado na fabricação de piscinas, caixas d'água .

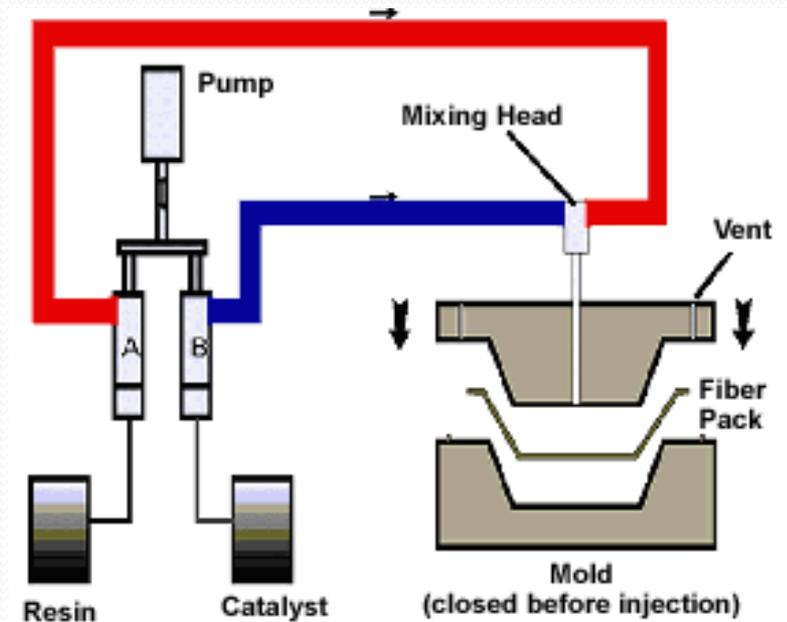
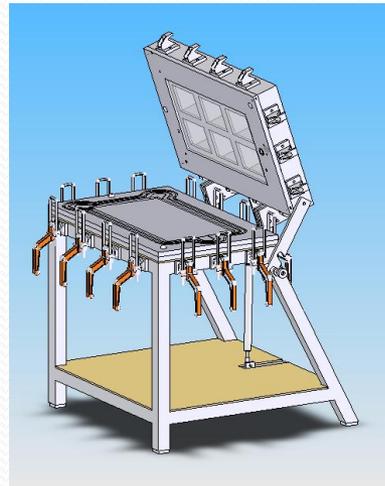
Permite agilidade na fabricação de peças grandes.



# PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

## RTM (Resin Transfer Mould)

Consiste em transferir a matriz através de pressão para dentro de um molde com os reforços já dispostos e pré orientados



# *PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS*

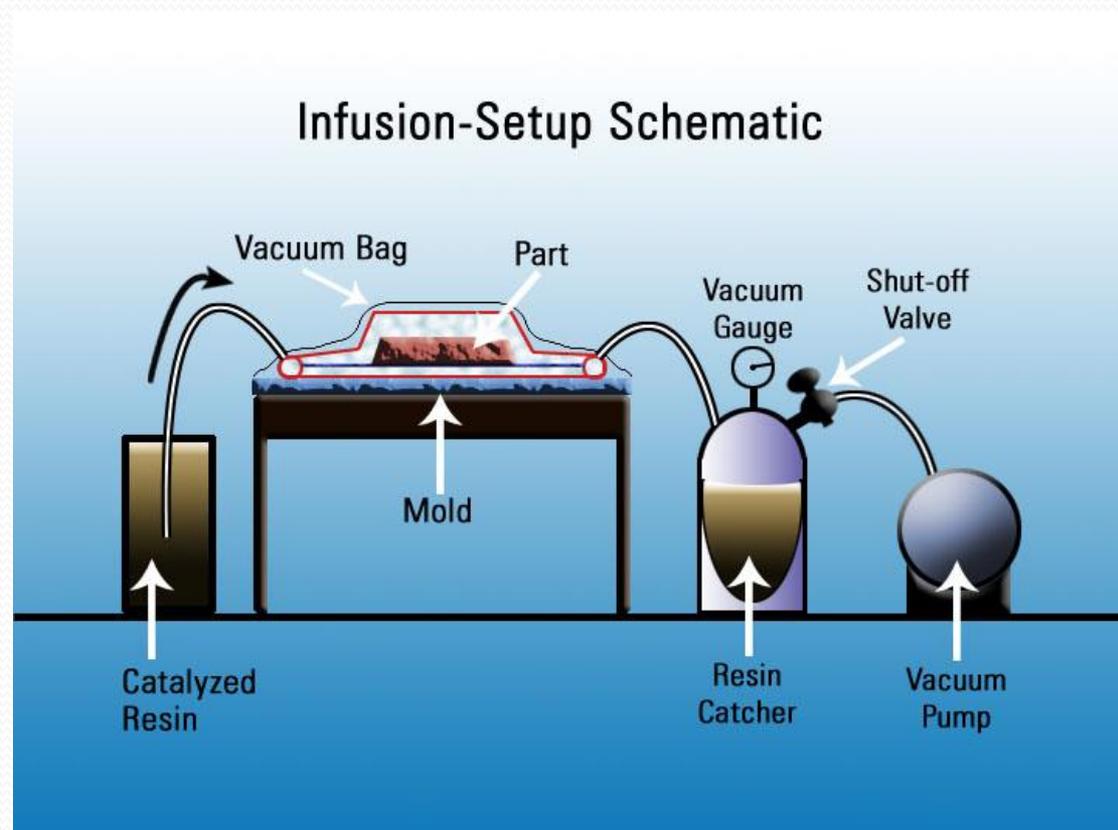
Utilizado em grande escala para fabricação de peças automotivas, carenagens em geral (carros, caminhões, tratores etc...



# PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS

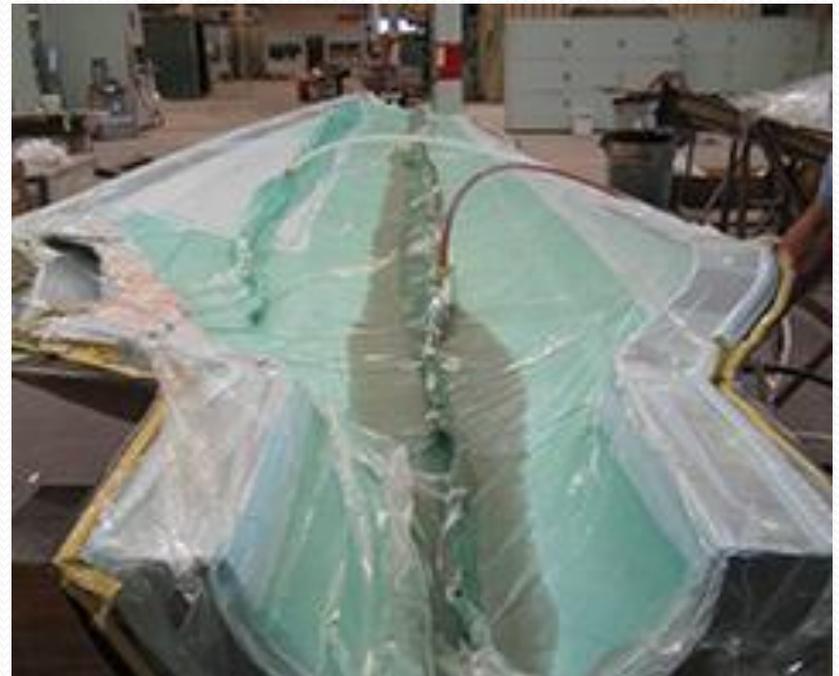
## VRI (Vacum Resin Infusion)

Consiste em sugar a matriz através de vácuo para dentro de um molde com os reforços já dispostos e pré orientados



# *PROCESSAMENTO DOS COMPÓSITOS*

O processo de infusão à vácuo é utilizado largamente para fabricação de peças de grandes dimensões.



# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

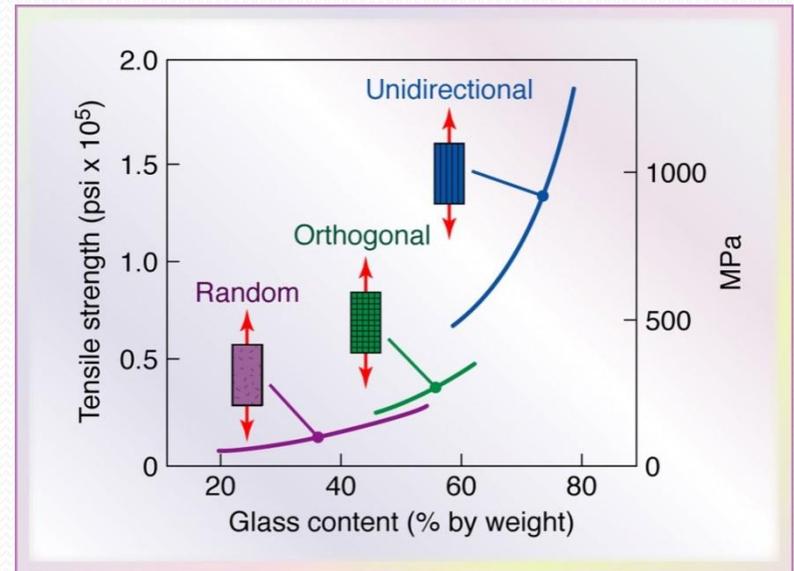
As propriedades dos compósitos dependem significativamente;

- das propriedades do reforço e da matriz
- fração fibra / matriz
- processo construtivo



# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

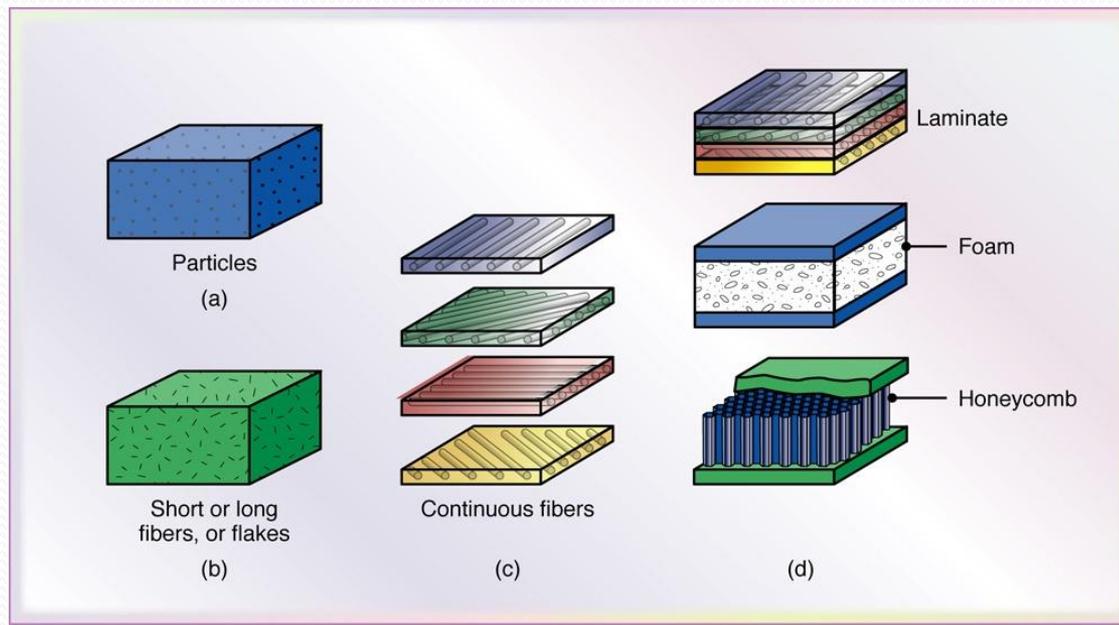
-O desempenho de um compósito é julgado por suas propriedades e comportamento sob tração, compressão, cisalhamento, impacto e outras condições de carga estáticas ou dinâmicas, em condições de trabalho normais ou adversas.



# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

As propriedades mecânicas e físicas dos compósitos são geralmente determinadas através da realização de ensaios mecânicos, ensaios físicos e análise térmica em condições controladas de laboratório.

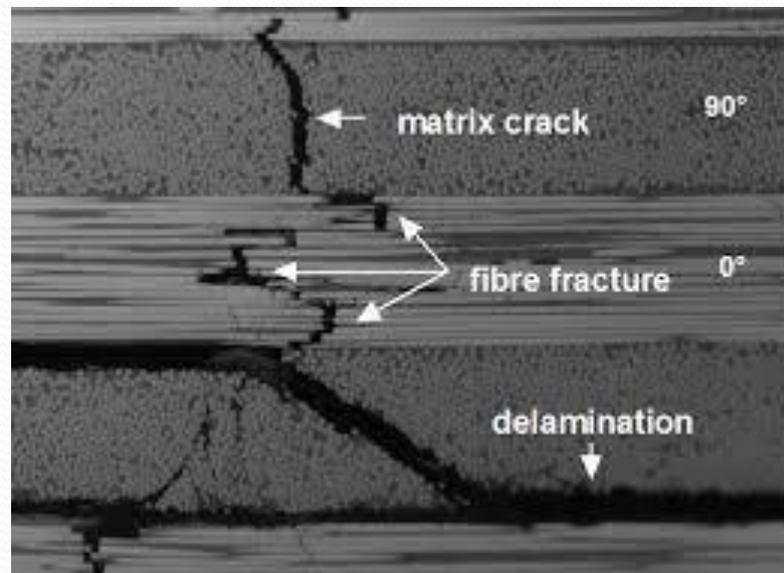
Essas propriedades variam por exemplo de acordo com a forma construtiva;



# *PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS*

A obtenção das propriedades mecânicas e térmicas nos compósitos definem seu comportamento durante a aplicação do material em condições de trabalho.

Ensaio mecânicos e análises térmicas são de fundamental importância nos compósitos em geral;



# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

## Classificação :

### ① Quanto à integridade

- i ) **Destrutivos**: provocam inutilização parcial ou total da peça;  
*Tração, Dureza, Fadiga, Fluência, Torção, Flexão, Impacto, Tenacidade a Fratura*
- ii ) **Não- Destrutivos**: não comprometem a integridade da peça;  
*Raios-X, Raios- $\gamma$ , Ultra-Som, Partículas Magnéticas, Líquidos Penetrantes, Microdureza, Tomografia*

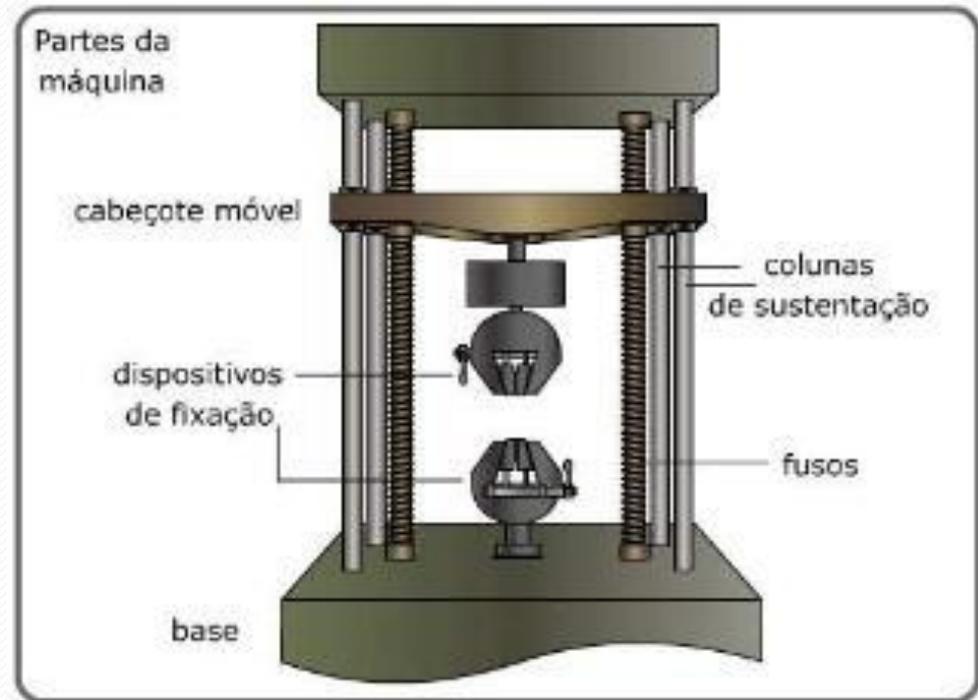
### ② Quanto à velocidade:

- i ) **Estáticos**: carga aplicada lenta (estados de equilíbrio)  
*Tração, Compressão, Flexão, Dureza e Torção*
- ii ) **Dinâmicos**: carga aplicada rapidamente ou ciclicamente;  
*Fadiga e Impacto*
- iii ) **Carga Constante**: carga aplicada durante um longo período;  
*Fluência*

# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

Ensaio mecânicos como ;

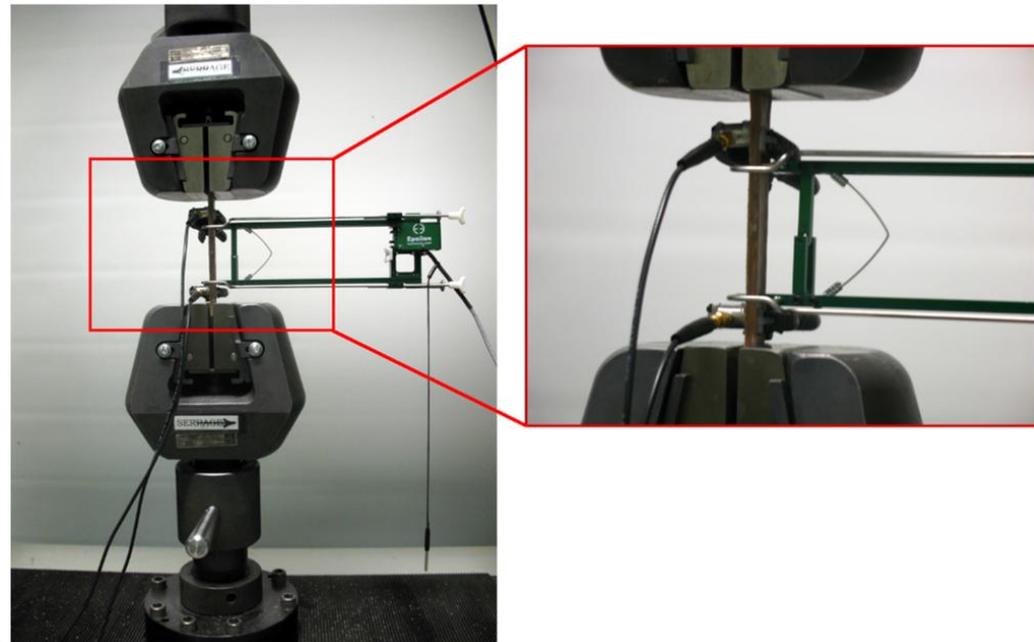
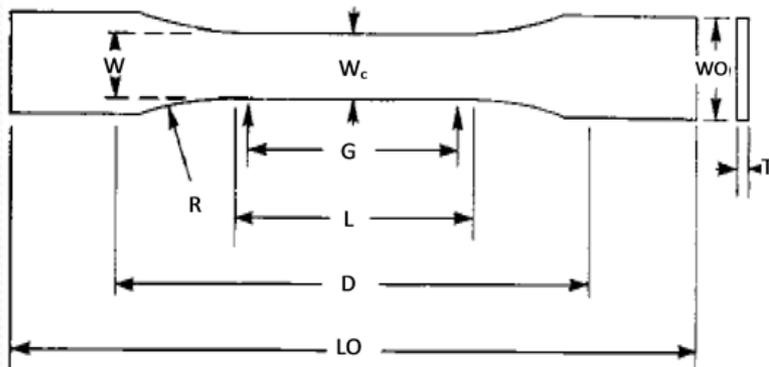
- Tração
- Flexão
- Compressão
- Impacto
- Cisalhamento Interlaminar
- Drum Peel
- Single Lap Shear



# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

Ensaio Tração norma - ASTM D 638

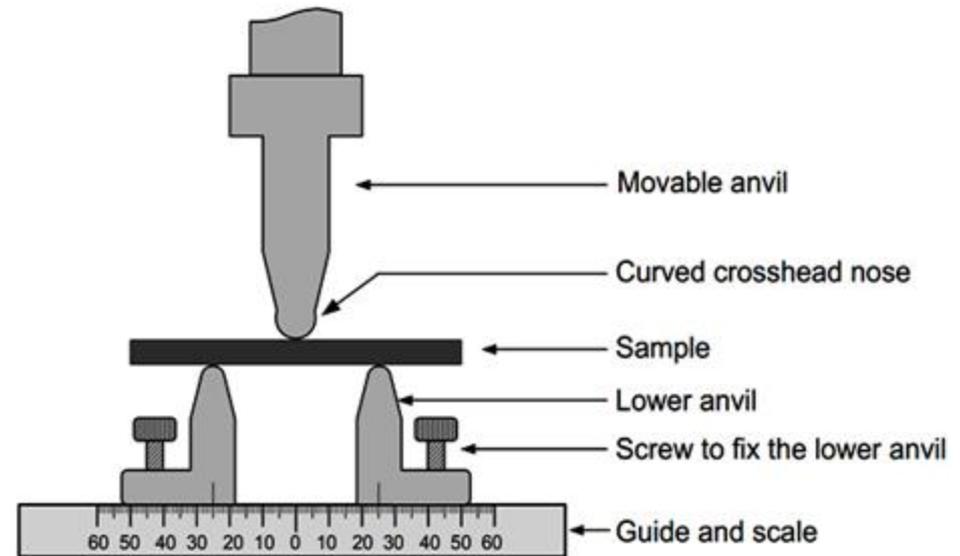
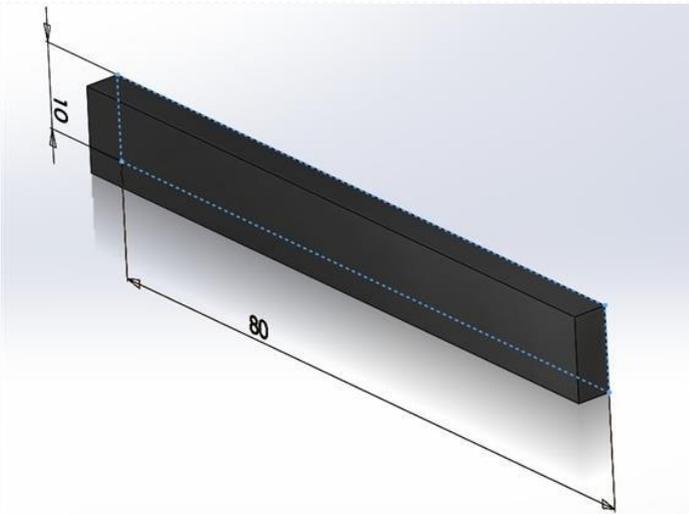
- Determinação de módulo de elasticidade
- Resistência à tração
- Alongamento



# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

Ensaio Flexão norma – ASTM D 790

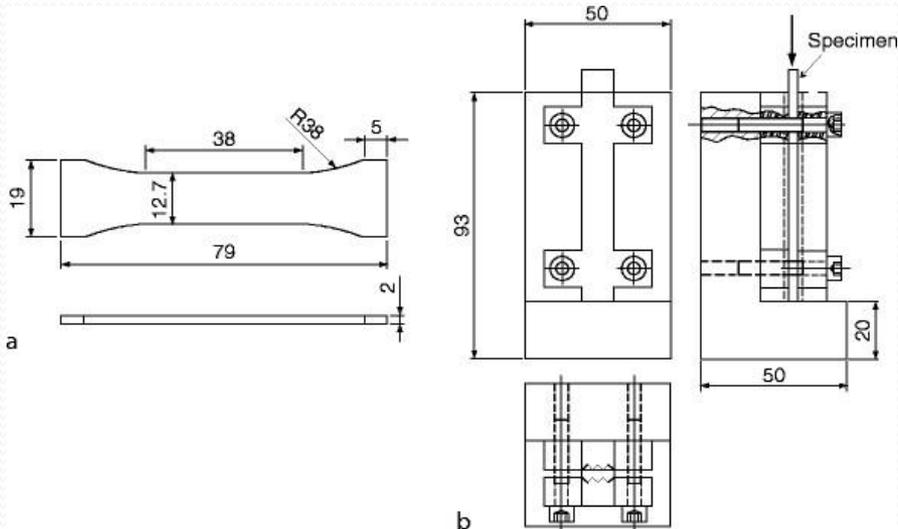
- Determinação de módulo de elasticidade
- Resistência à flexão



# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

Ensaio Compressão norma – ASTM D 695

- Determinação de módulo de elasticidade
- Resistência à Compressão

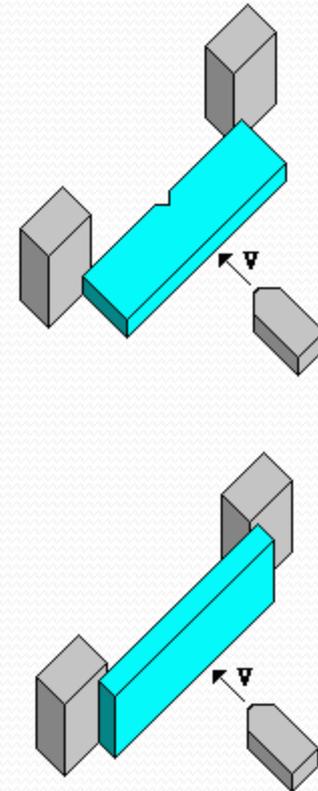
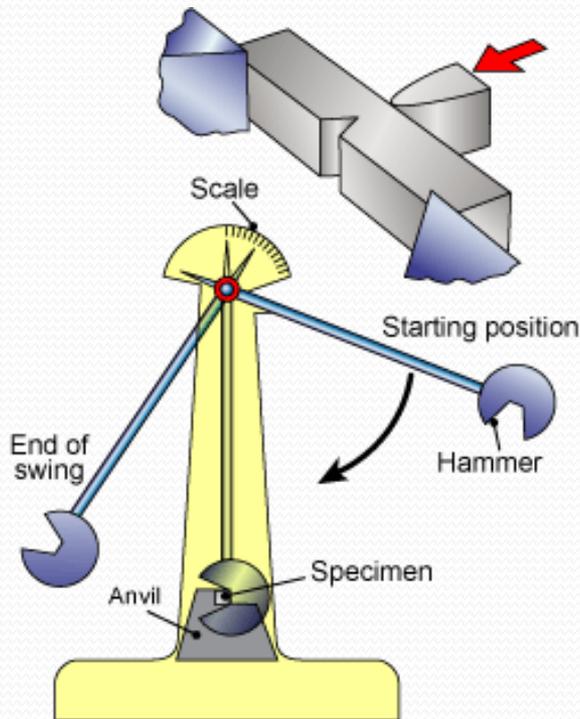


# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

Ensaio Impacto norma – ASTM D 256

ISSO 179

-Resistência ao Impacto Charpy ou IZOD

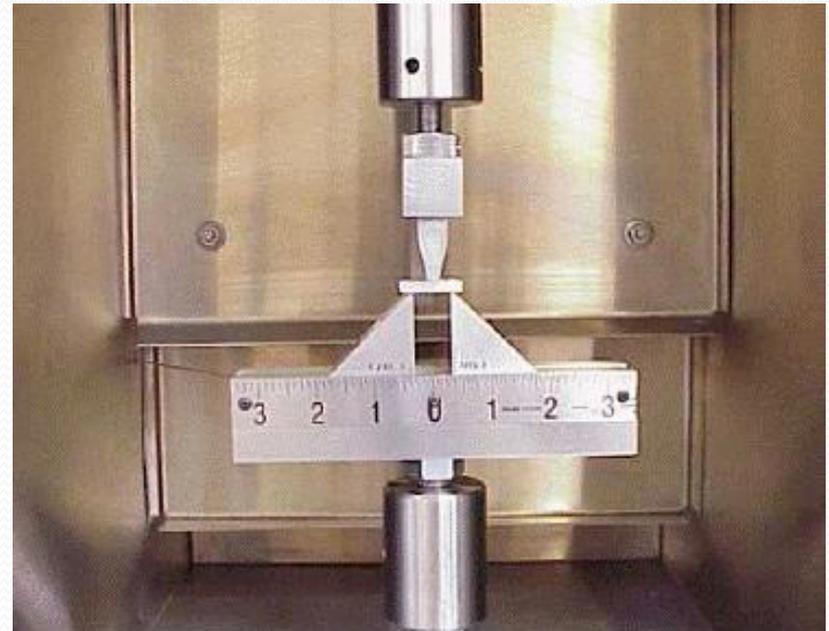
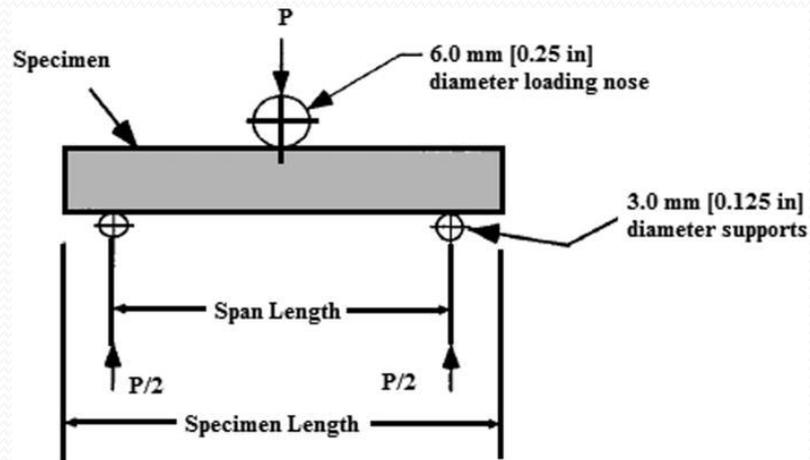


# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

Ensaio Cisalhamento Interlaminar

norma – ASTM D 2344

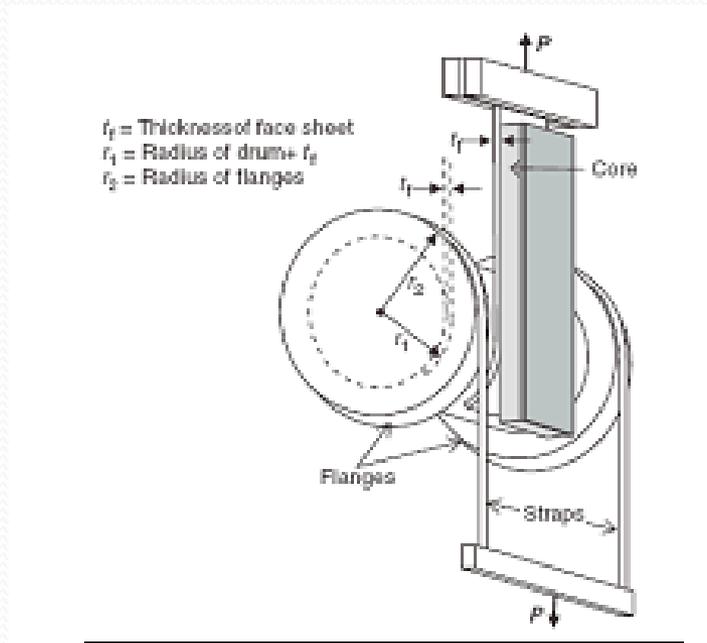
-Resistência ao Cisalhamento Interlaminar



# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

Ensaio Climbing Drum Peel

norma – ASTM D 1781

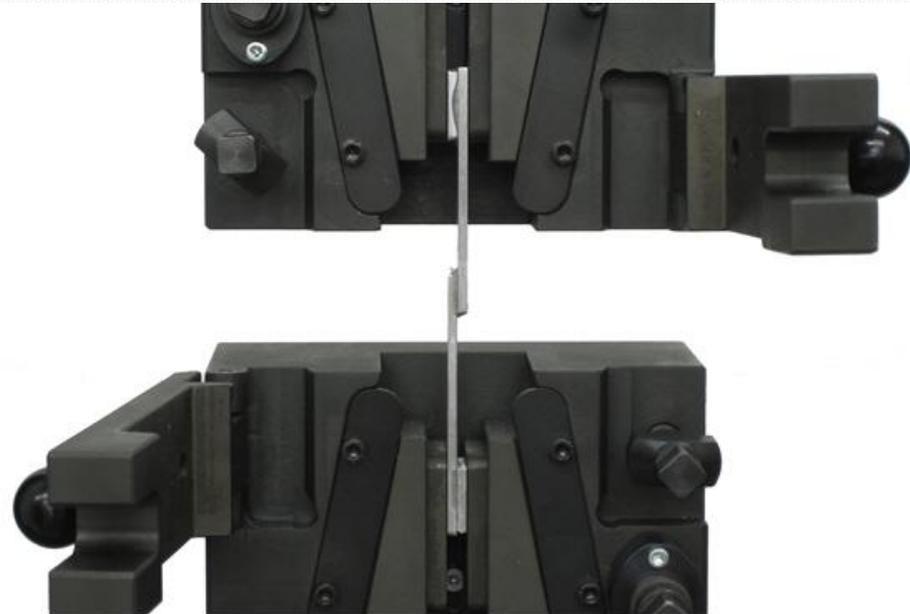
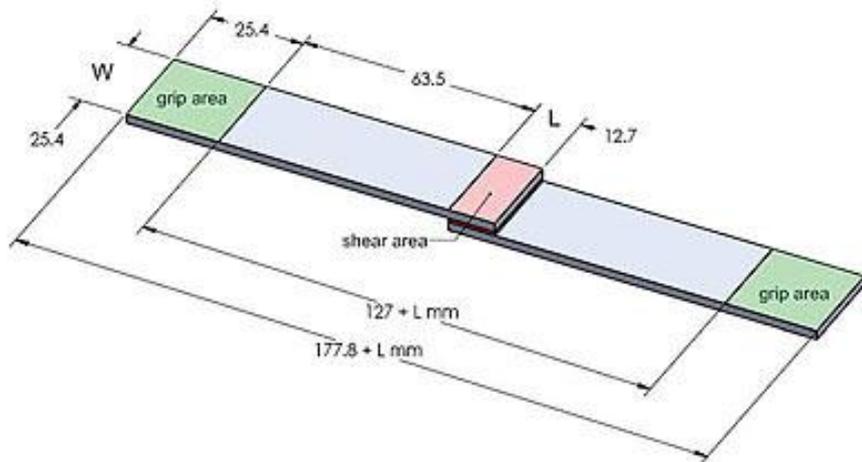


# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

Ensaio Single Lap Shear

norma – ASTM D 1002

-Resistência ao cisalhamento trativo

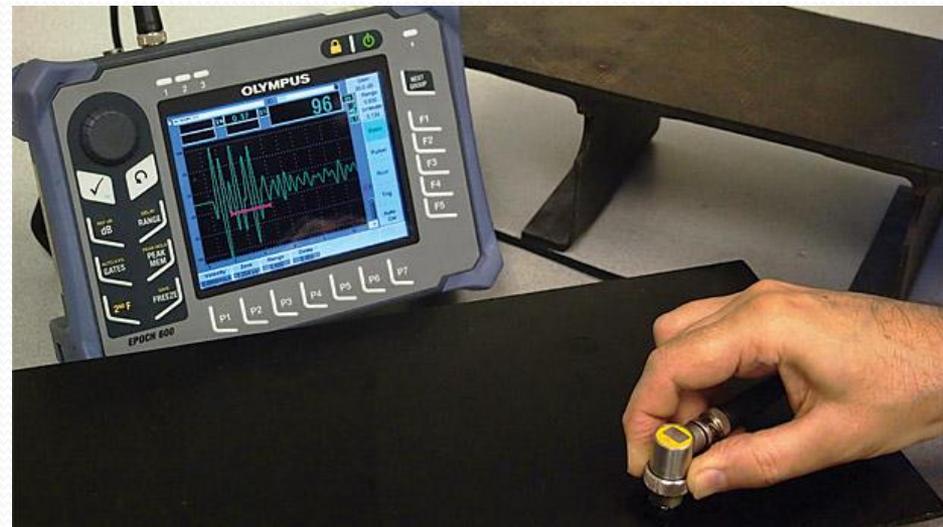


# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

## Ensaio não destrutivo em compósitos

-O principal teste não destrutivo aplicado á compósitos é o Ultra som.

-Ultrasom é energia acústica (som) na forma de ondas que se propagam em meio físico numa frequência de vibração acima da detecção pelo ouvido humano.



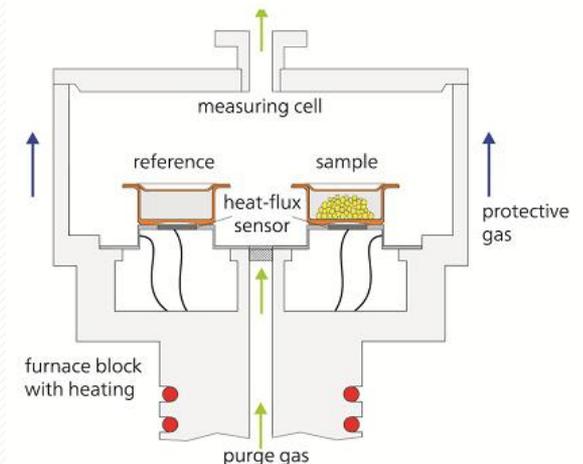
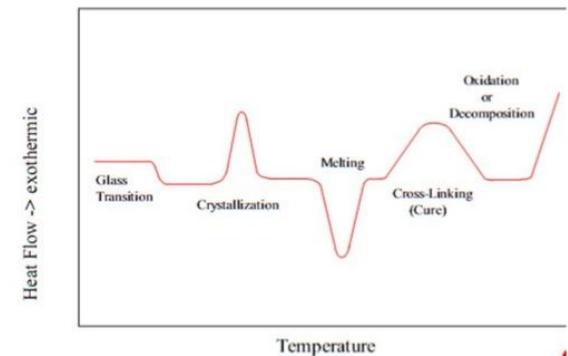
# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

## ANÁLISE TÉRMICA

-DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial)

norma; ASTM D 11357

Consiste em evidenciar as diferenças de energia entre a amostra e a referência relacionadas as transformações que a amostra pode sofrer em função da temperatura a qual está sendo submetida (decomposição, combustão), mudanças de estado (sublimação, fusão) e transições cristalinas.



# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

-DMA (Dynamic Mechanical Analyses)

norma; ASTM D 7028

Esta análise consiste, de modo geral, em se aplicar uma tensão mecânica oscilatória, normalmente senoidal, de baixa amplitude a um sólido ou líquido viscoso, medindo-se a deformação sofrida em função da tensão resultante, respectivamente, sob variação de frequência e temperatura.



# PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS

-TGA (Thermogravimetric analysis )

norma - ASTM E 1131

Esta análise consiste em determinar a perda de massa de materiais sólidos e líquidos com controle de aquecimento e atmosfera.

