

## INTRODUÇÃO

### DEFINIÇÃO DE COMPÓSITO

A combinação de dois ou mais materiais ( fibras, resinas, filler, ect), diferindo na forma ou composição numa macro-escala. Os constituintes conservam as suas identidades, i.e., não se dissolvem ou fundem, no entanto actuam em conjunto. Normalmente, os componentes podem ser fisicamente identificados e exibir uma interface entre eles.



## INTRODUÇÃO

### DEFINIÇÃO DE FRP's

Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites:

“Uma matriz de material polimérico reforçada com fibras.”



# INTRODUÇÃO

RESINAS (POLIMEROS)

FIBRAS DE REFORÇO

FILLERS

ADITIVOS



# RESINAS

FUNÇÕES:

- “TRANSFERIR TENSÕES ENTRE AS FIBRAS E PROTEÇÃO CONTRA DANOS MECÂNICOS OU AMBIENTAIS”

• TIPOS:

- TERMO ENDURECIDOS
- TERMO PLÁSTICOS



## RESINAS

- TERMO ENDURECIDOS
  - POLIESTER
  - VINIL ESTER
  - EPOXY
  - FENÓLICAS
  - POLIURETANO

S&P

## RESINAS-ADESIVOS

- ADESIVOS ESTRUTURAIS MAIS COMUNS:
  - ACRILICOS
  - EPOXIDOS
  - URETANOS
  - FENOLICOS
  - SILICONES
- A SELECÇÃO É IMPORTANTE MAS A CURA É O FACTOR CRITICO

S&P

## RESINAS – PULTRUSÃO VINILESTER

- Baixo custo
- Versatilidade de processos
- Existe uma larga experiência
- Excelente propriedades mecânicas
- Excelente resistência química



## RESINAS –PULTRUSÃO EPOXY

- Excelentes propriedades mecânicas
- Boa resistência à fadiga
- Baixa retracção
- Excelente resistência mecânica
- Usos típicos:
  - Sistemas de Reforço FRP
  - Barras FRP



## PROPRIEDADES DAS RESINAS TERMOENDURECIDAS

Tipo de resina	Densidade de (kg/m <sup>3</sup> )	Resist. de tracção (MPa)	Elong. (%)	E-Mod. (GPa)	Long. Term t,(C)
Polyester	1.2	50-65	2-3	3	120
Vinil Ester	1.15	70-80	4-6	3.5	140
Epoxy	1.1-1.4	50-90	2-8	3	120-200
Fenolicas	1.2	40-50	1-2	3	120-150

S&P

## FIBRAS

- FUNÇÕES PRIMÁRIAS:

*“SUPPORTAR TENSÕES ELEVADAS AO LONGO DA FIBRA, PROMOVENDO RESISTÊNCIA E OU RIGIDEZ NUMA DETERMINADA DIRECÇÃO”*

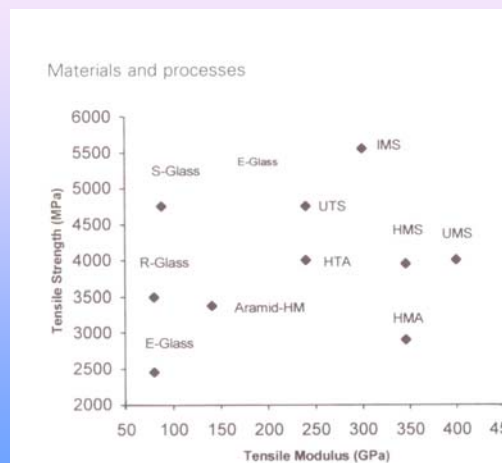
S&P

## PROPRIEDADES DAS FIBRAS

Fiber Type	Density (kg/m <sup>3</sup> )	E-Modulus (GPa)	Tensile Strength (GPa)	Elong. (%)
E-Glass	2.54	72.5	1.72-3.45	2.5
S-Glass	2.49	87	2.53-4.48	2.9
Kevlar 29	1.45	85	2.27-3.80	2.8
Kevlar 49	1.45	117	2.27-3.80	1.8
Carbon (HS)	1.80	227	2.80-5.10	1.1
Carbon (HM)	1.80-1.86	370	1.80	0.5
Carbon (UHM)	1.86-2.10	350-520	1.00-1.75	0.2

S&P

## FIBRAS



2.7 Tensile modulus vs tensile strength for Tenax Fibre's yarns  
 Carbon fibre types: HM, high modulus; HT, high tenacity; IM, intermediate modulus; UM, ultra high modulus; UT, ultra high tenacity.

S&P



# FIBRAS

Vidro  
Aramida  
Carbono



## FIBRA DE CARBONO

- EXCELENTE RIGIDEZ
- MAIS CARO QUE O VIDRO
- FRÁGIL
- CONDUTIVA
- ELEVADO MÓDULO



## FIBRAS - MATERIAIS

- ROVINGS



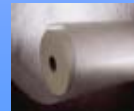
- MANTAS TECIDO



- MANTAS NÃO TECIDO



- VÉUS DE ACABAMENTO



S&P

## FIBRAS ROVINGS Tratamento superficial

- DIMENSÃO
- ACABAMENTO
- IMPORTANCIA:
  - MELHORA A ADERENCIA DA RESINA À FIBRA
  - PREVINE DANOS NA FIBRA DURANTE O FABRICO
- MELHORA A FLUIDEZ DA RESINA NO PROCESSO DE FABRICO

S&P

## DIMENSÃO DA FIBRA

- CARBON - TOW = Centenas de filamento

1K (pequeno diâmetro/baixo peso)

12K (grande diâmetro/elevado peso)



## PROPRIEDADES MECÂNICAS

- TIPO DE FIBRA
- PERCENTAGEM DE FIBRA
- ORIENTAÇÃO DA FIBRA



## FUNÇÃO DOS FILLERS

- Melhora as propriedades mecânicas
- Melhora o acabamento superficial
- Aperfeiçoa o processo de fabrico
- Reduz os custos de fabrico
- Melhora a estabilidade dimensional
- Reduz a retracção



## TIPOS DE FILLER

- CARBONATO DE CALCIO
- TALCO
- TRIHIDRATO DE ALUMINIO
- SILICA
- MICRO ESFERAS
- MICA



## FUNÇÃO DOS ADITIVOS

- MODIFICAÇÃO DA CURA
- EXTENDE O SHELF LIFE
- PREVINE A RETRACÇÃO
- REDUÇÃO DA VISCOSIDADE
- PIGMENTA
- REDUZ POROSIDADE



## TIPOS DE ADITIVOS

- CATALIZADORES & PROMOTORES
- INIBIDORES
- DESMOLDANTES
- PIGMENTOS
- ABSORVENTES UV
- RETARDADORES DE FOGO



## VARIAVEIS DE DESIGN

- TIPO DE FIBRA
- PERCENTAGEM DE FIBRA ou VOLUME DE FIBRA
- ORIENTAÇÃO DA FIBRA
  - 0°, 90°, +45°, -45°
- TIPO DE POLIMERO (RESINA)
- CUSTO
- VOLUME DE PRODUÇÃO – MÉTODO DE FABRICO



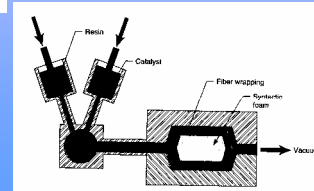
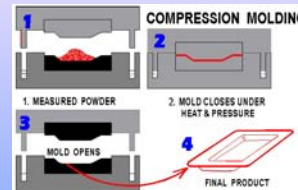
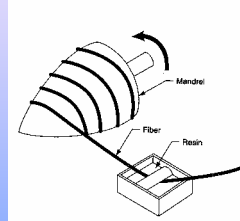
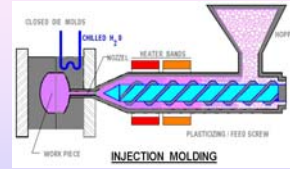
## VARIAVEIS DE DESIGN

- FISICAS:
  - Resistência à tracção
  - Resistência à compressão
  - Rigidez
  - peso, etc
- Ambiental:
  - Fogo
  - UV
  - Resistência à corrosão



## PROCESSOS INDUSTRIAIS DE FABRICO

- Hand Lay-up/Spray-up
- Resin Transfer Molding (RTM)
- Molde comprimido
- Molde injectado
- Pultrusão
- Enrolamento Filamentar
- Vácuo assistido RTM (Va-RTM)



## CONSIDERAÇÕES PARA A ESCOLHA DO PROCESSO

- DIMENSÃO DAS PEÇAS
- COMPLEXIDADE DA SUPERFÍCIE
- REQUISITOS DE PERFORMANCE
- ACABAMENTO SUPERFICIAL
- VELOCIDADE DE PRODUÇÃO
- VOLUME TOTAL DE PRODUÇÃO
- OBJECTIVOS ECONOMICOS/LIMITAÇÕES

## CONSIDERAÇÕES PARA A ESCOLHA DO PROCESSO

### Custo

- MATERIAIS
- ACESSÓRIOS
- EQUIPAMENTO
- MAÕ DE OBRA



## PULTRUSÃO

### Definição

A pultrusão é um processo de fabrico em contínuo de perfis constituídos por fibras e resinas termo endurecidas envolvendo o “pull” de fibras embebidas na resina matriz através de uma fieira ou molde formando um perfil de secção constante.





## CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO Pultrusão

- |                      |   |
|----------------------|---|
| • DIMENSÕES:         | Comprimento: Ilimitado<br>largura: depend. acessórios |
| • GEOMETRIA:         | Simple - Complexo                                     |
| • PRODUÇÃO VOLUME:   | Med - Alto  |
| • TMEPO DE CICLO:    | Med   |
| • ACABAMENTO SUPER.: | Bom   |
| • ACESSÓRIOS CUSTO:  | Med - Alto  |
| • EQUIPAMENTO CUSTO: | Med - alto  |



## CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS Pultrusão

- SECÇÃO TRANSVERSAL CONSTANTE
- COMPRIMENTO CONTINUO
- RESISTENCIAS ORIENTADAS
- POSSIBILIDADE DE PEFÍS COMPLEXOS
- REFORÇOS HIBRIDOS



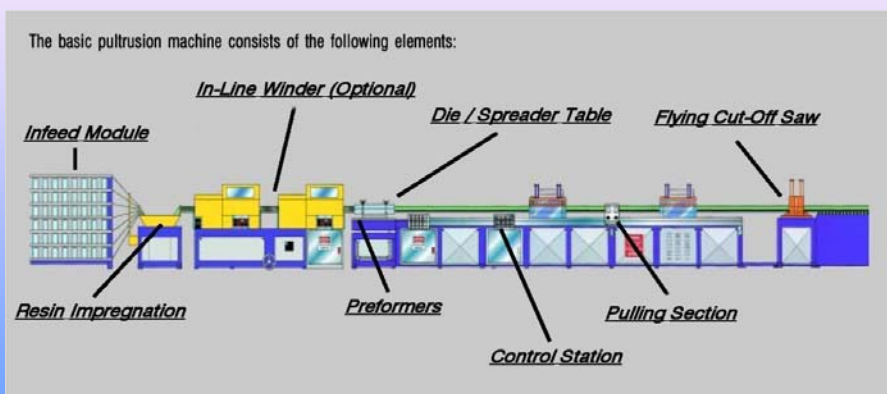
## PULTRUSÃO

### ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO

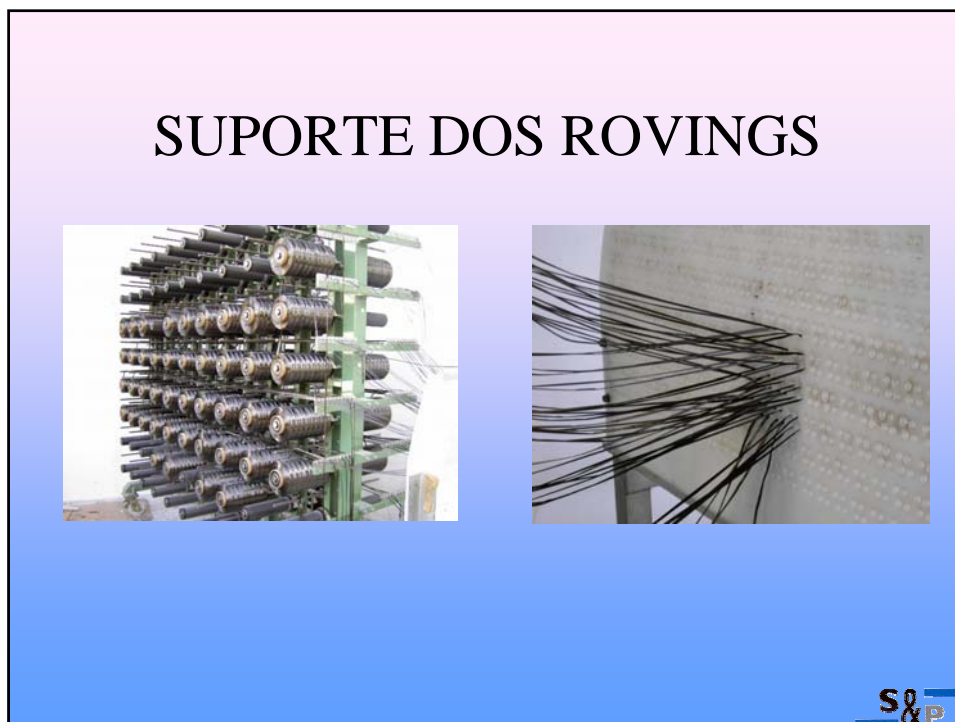
- Selecção das fibras e sua secção.
- Selecção dos sistemas resina matriz.
- Desenvolvimento dos processos
- Ensaios de resistência dos materiais
- Melhoramentos dos processos - optimização do fabrico

S&P

## PULTRUSÃO- ESQUEMA DE FABRICO



S&P

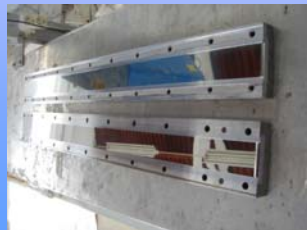


## IMPREGNAÇÃO



S&P

## FIEIRA/PLACAS



S&P

## UNIDADE DE CONTROLO

- Painel de controlo

Velocidade  
Temperatura  
Pulling force



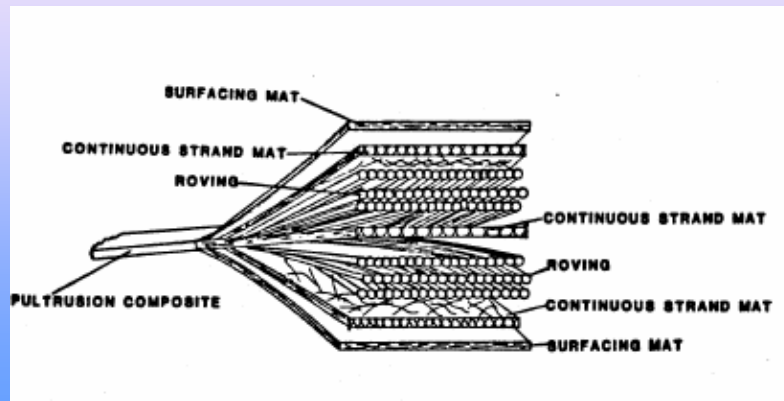
S&P

## SAIDA DO MOLDE



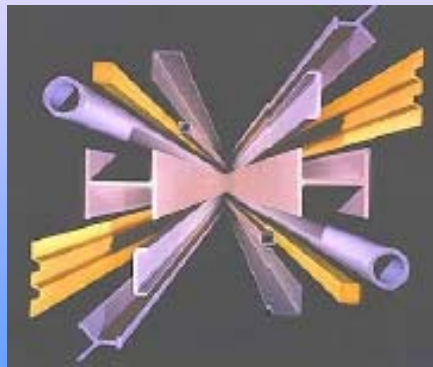
S&P

## CORTE ESQUEMÁTICO DE UM LAMINADO



S&P

## PERFÍS PULTRUDIDOS



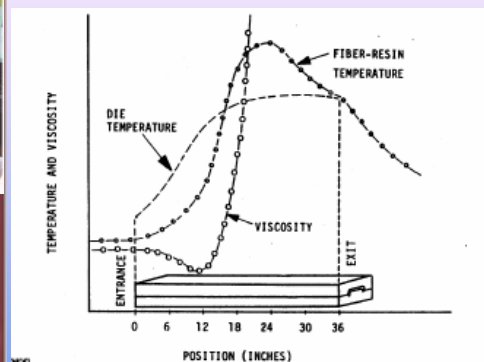
S&P

## PROBLEMAS

- DISTORÇÃO DO LAMIANDO
- ELEVADAS FORÇAS DE PULL
- INSUFUCUENTE IMPREGNAÇÃO DAS FIBRAS

S&P

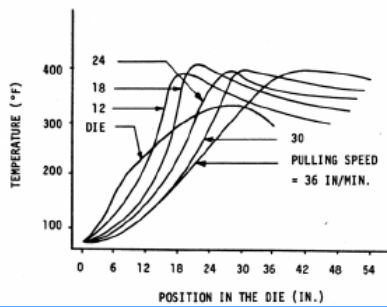
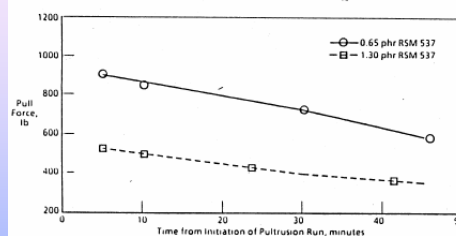
## DISTORÇÃO DO LAMINADO



S&P

## ELEVADAS FORÇAS DE PULL

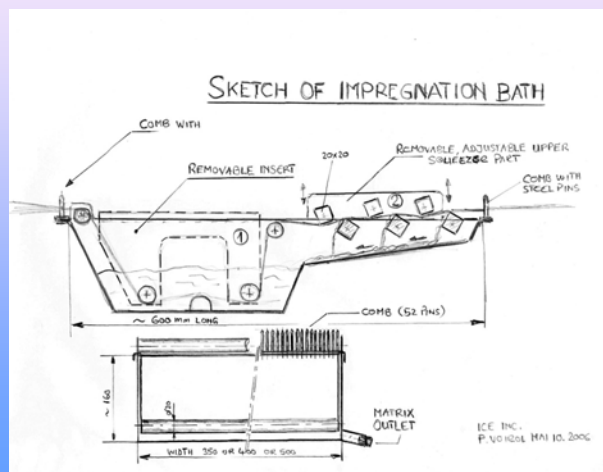
Evolução de pulling force



PF Vs velocidade

S&P

## IMPREGNAÇÃO



S&P



