



*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

**XTREMO SUL CATARINENSE É UNESC  
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**DAIARA FLORIANO DA SILVA**

**ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA  
UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS PARA A FABRICAÇÃO  
DE ESTRUTURAS MODULARES UTILIZADAS EM EVENTOS**

**CRICIÚMA, DEZEMBRO DE 2009**



*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

A FLORIANO DA SILVA

## **ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS PARA A FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS MODULARES UTILIZADAS EM EVENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, no Curso de Engenharia de Materiais, da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador(a): Prof. Dr. Eng. Márcio Roberto da Rocha.

**CRICIÚMA, DEZEMBRO DE 2009**

## **ESTUDO SOBRE A VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS PARA A FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS MODULARES UTILIZADAS EM EVENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso, aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau em Bacharel de Engenharia de Materiais, no Curso de Engenharia de Materiais, da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com linha de pesquisa em materiais metálicos e materiais compósitos.

Criciúma, 10 de dezembro de 2009

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Eng. Márcio Roberto da Rocha . (UNESC) - Orientador

---

Prof. Dr. Eng. Adriano Michael Bernardin . (UNESC) - Examinador

---

Prof. Msc. João Luís Silva Rieth . (UNESC) - Examinador



*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Dedico esta conquista a minha família, especialmente ao meu irmão Diomário Junior (in memoriam), pela força que ele sempre me dispensou em todos os momentos de minha existência, e por ser meu alicerce em todos os momentos que pensei em desistir.

## GRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar meu caminho e me abençoar durante essa minha trajetória, tornando possível a concretização desse sonho.

Aos meus pais Diomário e Maribel, pelo apoio e incentivo.

Às minhas irmãs Gislaine e Daiane, que mesmo de longe sempre me apoiaram com amor e carinho. Às minha irmãs do peito Paulinha e Karol que sempre estiveram ao meu lado dando força para continuar.

Às minhas pequeninas, Anelize, Bruna, Clarice, Izadora, Júlia, Mariah e Nicole; pelos seus sorrisos risonhos, pelo amor de seus gestos e pela sinceridade de seus afagos. À minha amiga-mãe Lourdes, pelas preces e pensamentos positivos em todos os momentos.

À minha avó Edi, pelo amor incondicional em todos os momentos, por acreditar em meus esforços e me acompanhar no dia-a-dia desta trajetória.

A meu eterno amigo e companheiro Tiago pela paciência de ter passado comigo todo o processo desta jornada, pelo amor, carinho, compreensão, incentivo e estímulo que sempre me dispensou.

Aos colegas que conquistei no período da graduação e especialmente aos amigos verdadeiros Roselane B. Cesconeto e Leonardo W. Oenning que foram mais que irmãos e sempre tiveram dispostos a ajudar, obrigada pela grande sintonia e amizade que temos.

Ao meu orientador Márcio Rocha pela dedicação e pelas sugestões que foram essenciais para este trabalho e para o engrandecimento de meus conhecimentos na área da engenharia de materiais. Aos professores que compartilharam seus conhecimentos Adriano Bernardin, Ademir Damásio, Ângela Arnt., Ângela Piccinini, Marcos da Silva (Bocão), Edelu Kawarala, Elídio Angioletto, Márcio Fiori, Gilson Bez, João da Silva, Leopoldo Guimarães, Luciano da Silva, Michael Peterson, João Rieth, Ricardo Zambrano, José dos Passos (Zé), pela amizade, atenção e incentivo para a realização desta etapa da minha vida.

Aos colaboradores da empresa Silva & Silva Estruturas Metálicas que contribuíram para o desenvolvimento esta etapa. Aos colaboradores empresa Pultrusão do Brasil pela atenção e disponibilidade de dados para a pesquisa.

Por tudo o que fizeram, deixo aqui registrados meus sinceros agradecimentos. A eles dedico, por jamais terem duvidado do meu potencial.



*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

**“É praticamente uma lei na vida, quando uma porta se fecha para nós, outra se abre. a dificuldade está em que, freqüentemente, ficamos olhando com tanto pesar a porta fechada, que não vemos aquela que se abriu.”**  
**ANDREW CARNEGIE.**

## RESUMO

A realização de eventos para as mais diversas finalidades apresentam necessidade de construção de estruturas de apoio, tais como palcos, arquibancadas, tendas, entre outros. Estas estruturas são fabricadas convencionalmente em aço carbono que apresenta grande versatilidade, seja no quesito conformação e soldagem, seja no quesito resistência mecânica. Embora os aços sejam materiais com propriedades interessantes para estas aplicações, eles apresentam alguns inconvenientes. Cita-se a alta densidade, que resulta em estruturas mais pesadas de difícil montagem e transporte, e resistência a corrosão, que necessita de menores períodos para manutenção. No sentido de prover uma alternativa para a utilização dos aços, o presente trabalho propôs sua substituição por materiais compósitos, e em particular, de estruturas pultrudadas. Para tanto, foi realizado um estudo sistemático quanto às características físicas e mecânicas necessárias para a aplicação destes materiais. Os resultados indicaram ser os compósitos uma boa alternativa, embora seu custo inicial seja maior comparativamente ao aço.

**Palavras-chave:** Materiais compósitos, aços, estruturas modulares, eventos.

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 4.1</b> Ë Alguns projetos realizados pela empresa.....	18
<b>Figura 5.1</b> . Diagrama tensão x deformação do aço A-36.....	22
<b>Figura 5.2</b> Ë (a) Roving e (b) manta.....	27
<b>Figura 5.3</b> . Representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras (a)contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente.....	28
<b>Figura 5.4</b> . (a) Quando carregado ao longo da direção da fibra, as fibras e a matriz de um compósito de fibra contínua sofrem deformações iguais. (b) Quando carregado na direção transversal da fibra, as fibras e a matriz sofrem aproximadamente a mesma deformação, com compósitos particulados acontece a mesma coisa. (c) Um laminado 0-90° tem direções com módulo alto e módulo baixo, um laminado 0-45-90-135° é quase isotrópico.....	29
<b>Figura 5.5</b> . Processo de pultrusão.....	31
<b>Figura 5.6</b> . Importância relativa das necessidades de baixo custo e desempenho estrutural em componentes utilizados em diferentes ramos da indústria....	32
<b>Figura 5.7</b> . Tipos de perfis estruturais.....	33
<b>Figura 5.8</b> . Mapa de seleção de Materiais.....	34
<b>Figura 6.1</b> . (a) pés; (b) travessas; (c) traves e suas dimensões.....	44
<b>Figura 6.2</b> Ë Detalhamento da quantidade de módulos necessários para montagem de um palco medindo 10Mx10m.....	45
<b>Figura 6.3</b> . Dimensões e geometria dos perfis estudados com cotas em mm. A= 40mm, e=0,9mm.....	46
<b>Figura 6.4</b> . Elaboração da distribuição de cargas a serem aplicadas em cada viga vertical para aferir procedimentos de cálculos.....	47
<b>Figura 7.1</b> . Conexões tongue and groove ( tipo lego).....	58



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 5.1</b> . Propriedades dos materiais pultrudados.....	38
<b>Tabela 5.2</b> . Propriedades dos materiais metálicos.....	38
<b>Tabela 5.3</b> . Valores mínimos das cargas verticais.....	40
<b>Tabela 7.1</b> . Resultados obtidos com os cálculos referente ao aço e compósitos.	53
<b>Tabela 7.2</b> . Redução de peso dos módulos de um palcos medindo 10mx10m....	55
<b>Tabela 7.3</b> . Preços de materiais para módulos de um palcos medindo 10mx10m.....	56
<b>Tabela 7.4</b> . Ameaças e oportunidades comparadas entre aços e compósitos.....	57

## VIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT . Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ASTM . Sociedade Americana para Testes e Materiais (American Society for Testing and Materials);

AISI . American Iron Steel Institute . Instituto Americano do ferro e do aço

A . Área da seção transversal do perfil da viga;

$A_{\text{tubo}\surd}$  = Área menor da seção transversal do tubo quadrado correspondente ao perfil utilizado;

$A_{\text{tubo}\slo}$  = Área maior da seção transversal do tubo quadrado correspondente ao perfil utilizado;

$P_{\text{crit.material}}$  = É o limite de tensão suportado por cada material em estudo;

E= Módulo de elasticidade no momento de aplicação de cargas;

F= Força suportado em cada viga vertical;

GPa = Gigapascal;

I= Momento de inércia da seção (calculado);

L=Comprimento da viga;

kgf/m= quilograma força por metro;

kN= Quilo Newton;

MPa= Megapascal;

$\rho$  = Densidade;

$\Delta L_{\text{material}}$  = É a deformação sofrida pelo material com a aplicação da força aplicada.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>15</b>
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
3.1 Geral.....	16
3.2 Específicos.....	16
<b>4 HISTÓRICO DA EMPRESA.....</b>	<b>17</b>
<b>5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>19</b>
5.1 Sistemas de Estruturas Modulares.....	19
5.1.1 Estruturas em Aço.....	19
5.1.2 Fatores que Afetam as Propriedades do Aço.....	21
5.1.3 Corrosão em Materiais Metálicos.....	22
5.2 Materiais Compósitos.....	24
5.2.1 Considerações Gerais Sobre Materiais Compósitos.....	24
5.2.2 Reforço.....	26
5.2.3 Definições e Classificações.....	27
5.2.4 Resinas.....	29
5.2.5 Processo de Perfis Compósitos (Pultrusão).....	30
5.2.6 Aplicações dos Compósitos.....	32
5.2.7 Tipos de Perfis Disponíveis.....	33
5.3 Resistência e Seleção dos Materiais.....	33
5.3.1 Critérios de Ruptura.....	36
5.3.2 Propriedades dos Materiais Estudados.....	38
5.3.3 Teoria da Elasticidade (Comportamento Tensão-Deformação).....	39
5.4 Normas Técnicas.....	39
<b>6 METODOLOGIA.....</b>	<b>43</b>
6.1 Projeto de Estruturas E Aspectos Gerais.....	43
6.2 Dados Relativos aos Materiais Estudados.....	46
6.3 Procedimento de Cálculo.....	47
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>51</b>
7.1 Análise e Comparativo dos Pontos Fortes e Fracos dos Materiais Estudados (Ameaças e Oportunidades).....	56
7.2 Proposta de Encaixes.....	58
<b>8 CONCLUSÃO.....</b>	<b>59</b>

<b>ANEXOS FUTUROS.....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO ANEXO A È SOLUÇÕES DE ENGENHARIA APRESENTADOS PELA EMPRESA PARCEIRA DO PROJETO È PULTRUSÃO DO BRASIL.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO B È IMAGENS DE PROJETOS DESENVOLVIDOS E EXECUTADOS PELA EMPREA SILVA &amp; SILVA ESTRUTURAS METÁLICAS LTDA ME NO PERÍODO DE 2006 A 2009.....</b>	<b>66</b>

A substituição de materiais pode ser entendida como uma atividade voltada para a determinação da estética, da qualidade, do custo e da integridade química, física, funcional, de forma e de dimensões dos produtos, durante a realização das tarefas para as quais foram projetados. A crescente busca pela competitividade torna maior a importância da seleção dos materiais, uma vez que a sua boa escolha pode refletir em menores custos, maior durabilidade e melhor desempenho do produto, dentre outros ganhos (ASHBY, 2005).

No desenvolvimento de palcos para eventos, buscam-se estruturas que particularmente levam a concepção de peças modulares. Dentre os materiais normalmente utilizados para esta aplicação estão os materiais metálicos que têm seu custo reduzido devido a grande disponibilidade no mercado e facilidade de fabricação.

Sabe-se que os diversos tipos existentes de sistemas estruturais estão sujeitos a carregamentos e influências ambientais que podem levar à ocorrência de danos que, por sua vez, podem comprometer a segurança e a eficiência operacional de todo o projeto. O dano de um sistema estrutural pode ser definido como mudanças intencionais ou não intencionais nas propriedades dos materiais e/ou geométricas das peças modulares, incluindo mudanças nas condições de contorno e na conectividade do sistema, que prejudiquem o desempenho do mesmo (FARRAR *et al.* 2005). Assim, procura-se por materiais estruturais que possuam baixa massa específica, que sejam resistentes, rígidos, resistentes a abrasão e ao impacto e que não sejam corroídos com facilidade (CALLISTER, 2008, p.423).

Nos últimos anos é crescente o interesse do mundo pelo uso de materiais compósitos em sistemas estruturais, pelas suas atrativas propriedades como resistência mecânica em relação ao baixo peso específico, durabilidade, facilidade de transporte e manuseio, baixa necessidade de manutenção e resistência a corrosão. Estes materiais substituem os materiais metálicos tradicionais, onde as características individuais não atendem as exigências do melhor desempenho (GRONDEL *et al.*, 2004); (MENDONÇA, 2005).

O presente trabalho abordará um estudo sistemático para a viabilidade da utilização de materiais compósitos em substituição aos materiais metálicos. Para que este quesito seja alcançado às estruturas modulares devem proporcionar eficiência operacional na montagem, desmontagem, carregamento e transporte para facilitar o trabalho dos montadores, além de ser uma alternativa ao apelo estético.

As informações a seguir foram distribuídas do seguinte modo: na primeira parte apresenta-se o histórico da empresa, tópicos necessários para o entendimento do conjunto deste estudo na revisão bibliográfica, abordando o cálculo de estruturas, seleção e aplicação de materiais. Na segunda parte são apresentadas a metodologia, resultados e discussão e, por último as conclusões obtidas.

Em virtude da necessidade crescente de novos produtos e principalmente da redução de custos dentro do sistema, a empresa ampliou significativamente seu estoque confeccionando cada vez mais estruturas para atender principalmente o mercado de locação, com alternativas que ampliem o seu portfólio. Há também uma necessidade crescente de itens que satisfaçam as necessidades específicas dos clientes, mas também que sejam versáteis no ponto de vista da empresa, no quesito desenvolvimento de estruturas modulares. Junto com esta necessidade, surgiu a preocupação com o desenvolvimento de novos materiais para que a empresa pudesse contar com este diferencial no que diz respeito às opções de materiais a serem ofertadas ao cliente, haja vista que os parâmetros visuais são bastante considerados no momento da escolha dos mesmos, não deixando a desejar os fatores de responsabilidade técnica e de segurança que cabe a empresa manter, principalmente com a busca do desenvolvimento tecnológico de novos materiais que permitam a lucratividade com a redução de custos de manutenção, montagem e transporte destes sistemas modulares.

Para atender estas necessidades, visando uma maior facilidade de transporte, montagem, redução dos custos de manutenção, propôs-se uma avaliação para a substituição de partes dos palcos construídos com material metálico por materiais compósitos, em particular a de estruturas pultrudadas.

### 3.1 Geral

Estudo da viabilidade técnica e econômica da utilização de materiais compósitos para a fabricação de peças modulares para palcos utilizados em eventos.

### 3.2 Específicos

- Fazer um comparativo de projeto desenvolvido em material convencional (aço) e material compósito;
  - Avaliar economicamente a viabilidade da substituição;
  - Projetar um modelo reduzido para visualizar as estruturas modulares do palco;
  - Verificar os parâmetros de projeto para a confecção de estruturas em aço e compósitos, através de cálculos de cargas e tensões admissíveis;
  - Evidenciar a potencialidade de substituição de materiais convencionais por materiais compósitos, tidos inicialmente como de alto custo.



A Empresa Silva & Silva Estruturas Metálicas LTDA ME - %COMPLEXO1001+, iniciou suas atividades no ano de 1974 através do Sr. Diomário da Silva, com suas atividades voltadas a produção, locação e terceirização de instrumentos musicais para eventos e promoções e produções artísticas.

Desde a sua fundação até o ano de 2006, a empresa atuou no ramo de organização de eventos. Devido à necessidade e expansão deste ramo em todo o estado, o mercado de estruturas metálicas tornou-se uma oportunidade para expandir a empresa que passou a fabricar estruturas em maiores escalas em troca das locações terceirizadas.

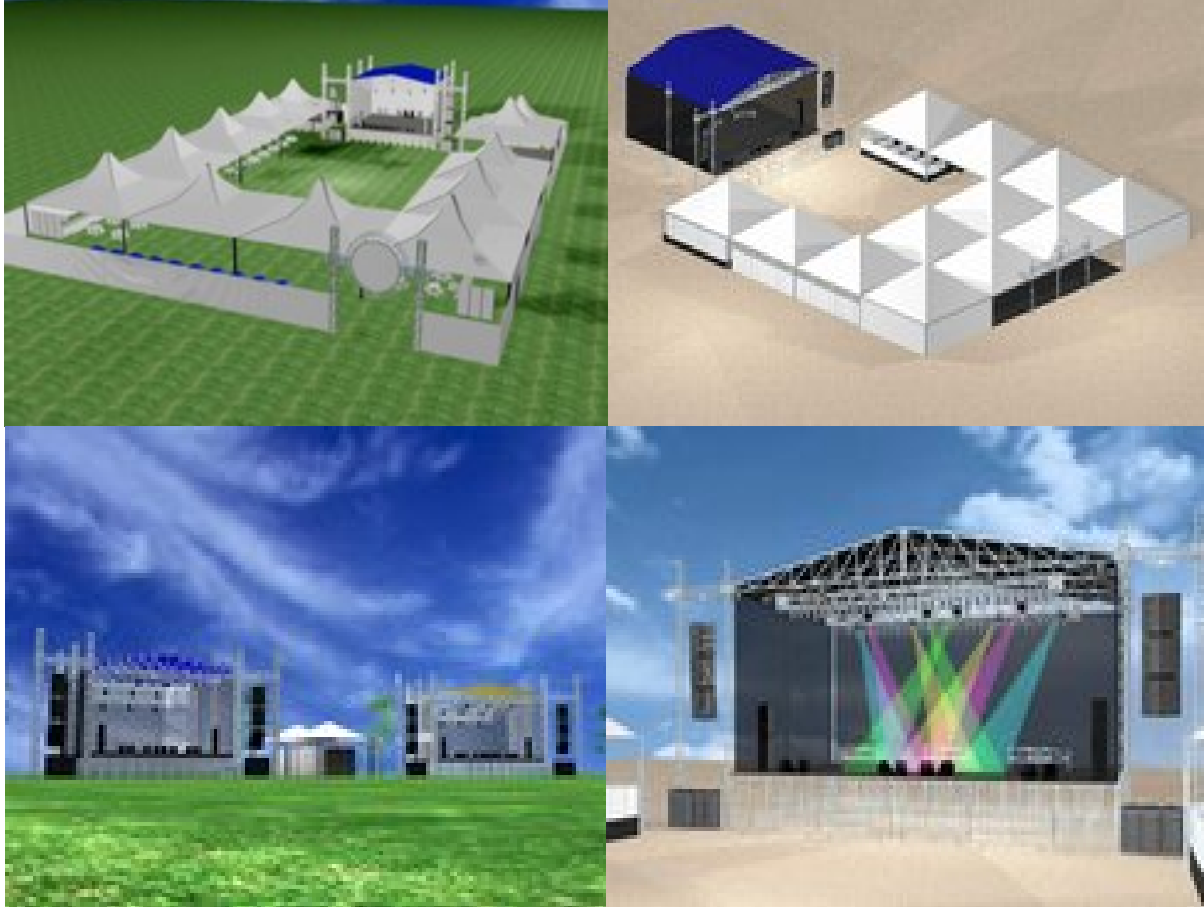
Hoje a empresa atua no ramo de fabricação, locação e montagens de palcos, passarelas, arquibancadas, pirâmides, pavilhões de lonas, stands, camarotes, tabladados, fechamento com chapas metálicas galvanizadas fresadas, divisórias, grades metálicas para isolamento, treliças modulares montáveis, portais, entre outras estruturas. Está presente em feiras, exposições, rodeios, festas e eventos em geral.

A empresa possui sede própria na Rod. Br 101, Km384,5, B. Poço três . Içara/SC e escritório de vendas sito a Rua Ipiranga, nº 92, Centro . Içara/SC.

Em 2005/2006 a empresa foi certificada pelo prêmio Top of Mind da categoria de eventos no qual foi considerada a empresa mais lembrada no estado do ramo de eventos.

A figura 4.1 apresenta projetos realizados pela empresa; no anexo A, outros projetos de estruturas são apresentados.

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



**Figura 4.1** É Alguns projetos realizados pela empresa (Adaptado de Silva & Silva Estruturas Metálicas LTDA ME, 2009).

## 5.1 Sistemas de Estruturas Modulares

As estruturas tradicionais em aço oferecem elevada resistência mecânica com baixo custo inicial. Entretanto, apesar de todo o desenvolvimento na fabricação do aço, este material, apresenta restrições relacionadas a reduzida resistência aos ataques químicos (corrosão), ao elevado custo de manutenção de estruturas e ao peso-próprio dos elementos estruturais na etapa de montagem. Quesitos muitas vezes superados pelos materiais compósitos, que apresentam reduzido peso, elevada resistência aos ataques químicos, baixos custos de manutenção, além de manter propriedades estruturais semelhantes ao aço. Sua aplicabilidade pode ser vasta em substituição ao aço (GRONDEL *et al.*,2004).

As pesquisas teóricas devem ser realizadas a fim de se caracterizar e descrever o comportamento destes elementos modulares, buscando soluções de cálculo e métodos de dimensionamento econômicos e seguros.

### 5.1.1 Estruturas em Aço

São produtos siderúrgicos sendo o metal de maior aplicação na indústria da construção. Os aços estruturais combinam propriedades como resistência mecânica, trabalhabilidade, disponibilidade e baixo custo. A maior parte das suas aplicações, o fator peso não é primordial, o que faz dos aços-carbono comuns sem tratamentos térmicos serem o principal grupo de aços estruturais e bastante satisfatórios para estruturas fixas e móveis (CBCA, 2009).

Os aços estruturais são produzidos em uma grande variedade de tipos e formas, cada qual atendendo as aplicações específicas. Esta variedade decorre da necessidade de contínua adequação do produto às exigências de aplicações

o mercado ou, ainda, na forma final como chapas, perfis, tubos, barras, etc (PANNONI, 2009).

As ligas de Ferro-Carbono contém geralmente de 0,008% até 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais resultantes dos processos de fabricação. Seus requisitos fundamentais a que devem obedecer são (CALLISTER, 2008):

- Ductilidade de homogeneidade; que garantem a trabalhabilidade destes aços;
- Elevada tenacidade,
- Bom alongamento e elasticidade; uma peça de aço, sob efeito de tensões de tração ou de compressão sofre deformações, que podem ser elásticas ou plásticas. A elasticidade de um material é caracterizada pela sua capacidade de voltar à forma original em ciclos de carregamento e descarregamento; a deformação elástica é reversível, desaparecendo quando a tensão é removida. Nos aços, o módulo de elasticidade vale aproximadamente 20 500 KN/c m<sup>2</sup>;
- Resistência à tração;
- Resistente à Fadiga e fluência;
- Limite de escoamento e elasticidade; fator de grande importância no projeto e nos cálculos de estruturas;
- Soldabilidade; é um característico muito importante para materiais de estruturais, visto que a soldagem ou corte por chama são bastante usados em peças estruturais. O uso do aço-carbono é pouco afetado sob este ponto de vista nas vizinhanças da zona de corte; pois apresentam boa susceptibilidade de corte por chama sem endurecimento; A soldabilidade de um aço pode ser estimada através da utilização de uma das expressões desenvolvidas para essa finalidade. Uma das mais conhecidas é:

$$\%C_{eq} = \% \left( C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \right)$$

Assim, quanto maior for o carbono equivalente, menor será a soldabilidade do aço, e mais lentamente deverá ser feito o resfriamento do conjunto.

Quanto à resistência a corrosão, os aço-carbono não são satisfatórias. Quando se quer resistência à corrosão, adiciona-se pequenos teores de cobre

ercentual de carbono é aumentado nestes aços, aumenta a dureza, reduzindo a ductilidade (alongamento e estrição) e a tenacidade entendida também como resistência ao choque (PANNONI, 2009).

De acordo com alguns impressos importantes sobre construção em aço indicados pelo Centro Brasileiro de construção em aço (CBCA, 2009), dos aços estruturais existentes atualmente, o mais utilizado e conhecido é o ASTM A36, que é classificado como um aço carbono de média resistência mecânica e atende de modo satisfatório as características apresentadas acima.

### 5.1.2 Fatores que Afetam as Propriedades do Aço

Os principais fatores que afetam os valores medidos e definem as propriedades mecânicas são: a composição química, a geometria, estado de tensões e velocidade de deformação a qual a estrutura está submetida. Os perfis de aço ASTM A-36 formados a frio, são bastante utilizados para a fabricação das estruturas metálicas e os avanços dos processos produtivos e pesquisas em materiais têm possibilitado a produção de perfis estruturais com seções abertas das mais variadas geometrias e resistências consideráveis (PANNONI, 2009).

No caso das estruturas de aço, quando uma barra metálica é submetida a um esforço de tração crescente, sofre uma deformação progressiva. Quando a barra é tracionada sua seção transversal diminui. Assim, a tensão real em cada estágio de carga é obtida dividindo-se a força pela área medida no estágio. Por simplificação, define-se uma tensão convencional como o resultado de divisão da força pela área inicial, sem carga (METÁLICA, 2009)

O diagrama tensão x deformação reflete o comportamento do aço sob efeito de cargas estáticas, veja figura 5.1:

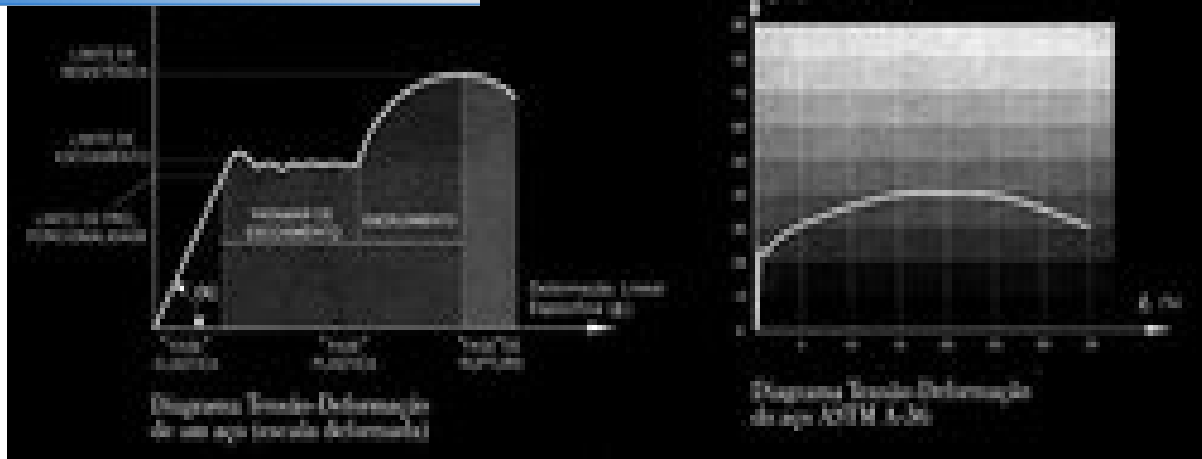


Figura 5.1 . Diagrama tensão x deformação do aço A-36. (METÁLICA, 2009).

Observando-se o diagrama, vemos que a lei física linear ou elástica (lei de Hook) é válida até um certo valor de tensão. A inclinação do trecho linear do diagrama é o módulo de Elasticidade ( $E$ ). Ultrapassando o regime elástico, o material apresenta uma propriedade, chamada escoamento, caracterizado pelo aumento da deformação para a mesma tensão aplicada. A tensão que produz o escoamento chama-se limite de escoamento do material; que produz, uma deformação visível da peça metálica e esta tensão é considerada como um estado limite, na qual se adota o coeficiente de segurança. O valor máximo da tensão é chamado de limite de resistência do aço, após ao qual ocorre a ruptura (METÁLICA, 2009).

### 5.1.3 Corrosão em Materiais Metálicos

O fator corrosão é um dos fatores mais relevantes que afetam as propriedades das estruturas metálicas. A utilização de maiores coeficientes de segurança, necessidade de manutenção preventiva e corretiva, utilização de materiais mais nobres e caros, parada temporária da utilização do equipamento ou da estrutura, contaminação de produto, perda de eficiência, perda de credibilidade, etc (GEMELLI, 2001).

Embora o aço não tenha a taxa de corrosão muito boa quanto outros materiais de aplicação estrutural com o auxílio de camadas superficiais

Quando um bom papel é utilizado, tornando-se estruturas duráveis.

Obviamente todos estes itens envolvem aspectos econômicos. Assim, existem muitas razões para se evitar a corrosão que é definida, de modo simples, como sendo a tendência espontânea do metal de reverter ao seu estado original (minério), de mais baixa energia livre. Outra definição, amplamente aceita, é a que afirma que corrosão é a deterioração de propriedades que ocorre quando um material reage com o ambiente (PANNONI, 2009).

Para a proteção da corrosão em aços estruturais existem diversos tipos de pigmentos anti-corrosivos veja algumas alternativas baseado em (PANNONI, 2009):

- **Zarcão.** Um dos pigmentos mais antigos utilizados na proteção do aço, sua coloração é laranja e possui características alcalinas. O zarcão é tóxico, pois possui chumbo em sua composição.
- **Fosfato de zinco.** É um pigmento que, em contato com água, dissolve-se parcialmente, liberando os ânions fosfato que passivam localmente a superfície do aço, formando fosfatos de ferro.
- **Galvanização a frio.** Utiliza o zinco metálico de alta pureza disperso em resinas epoxídicas. As tintas ricas em zinco são também chamadas de galvanização a frio+, conferem proteção catódica ao substrato de aço, ou seja, o zinco corrói, protegendo o aço, processo idêntico à proteção de galvanização tradicional. Um risco na pintura e o zinco começa a corroer, protegendo o aço.
- **Galvanização a quente.** É um processo químico que reveste o aço com zinco. Assim, o principal objetivo da galvanização a Fogo é impedir o contato do aço com o meio corrosivo. Como o zinco é mais anódico do que o elemento ferro na série galvânica, é ele que corrói, originando a proteção catódica, ou seja, o zinco se sacrifica para proteger o ferro.
- **Cromato de zinco.** É um pigmento amarelo, parcialmente solúvel em água que, assim como o fosfato de zinco, passiva localmente a superfície do aço pela precipitação de cromatos de ferro. Este pigmento é tóxico, pois contém cromo.
- **Óxido de ferro.** É um pigmento vermelho que não tem nenhum mecanismo de proteção anti-corrosiva por passivação, alcalinização ou proteção catódica. Entretanto, por ser sólida e maciça, a partícula atua como barreira à difusão de

de zinco e oxigênio. Este pigmento é muito utilizado nas tintas de fundo, não é tóxico, e possui bom tingimento.

- **Alumínio e outros.** O alumínio lamelar e outros pigmentos também lamelares tais como a mica, talco, óxido de ferro micáceo e certos caulins atuam pela formação de folhas microscópicas, sobrepostas, constituindo uma barreira que dificulta a difusão de espécies agressivas. Quanto melhor a barreira, mais durável será a tinta.

A junção de resinas bastante impermeáveis com pigmentos lamelares oferecem uma ótima barreira contra a penetração dos agentes agressivos. Os solventes têm por finalidade dissolver a resina e, pela diminuição da viscosidade, facilitar a aplicação da tinta. Os solventes mais comuns utilizados em tintas são os líquidos orgânicos e a água. Os ligantes mais comuns são as resinas e os óleos, mas também podem ser inorgânicos, como os silicatos solúveis. Eles têm a função de envolver as partículas de pigmento e mantê-las unidas entre si e o substrato. A resina proporciona impermeabilidade, continuidade e flexibilidade à tinta, além de aderência entre esta e o substrato. As resinas se solidificam através da simples evaporação do solvente ou pela polimerização, com ou sem a intervenção do oxigênio do ar. Em alguns casos, a resina é frágil e não possui boa aderência. Nestes casos, adicionam-se os chamados plastificantes, que, não sendo voláteis, permanecem na película após a secagem.

O pigmento mais viável e eficiente para a proteção dos módulos para palco em eventos, de acordo com os fabricantes é o processo de galvanização, pois aumenta a durabilidade e seu custo é mais acessível em relação a outros tratamentos superficiais citados (METÁLICA, 2009).

## 5.2 Materiais Compósitos

### 5.2.1 Considerações Gerais Sobre Materiais Compósitos

Os materiais compósitos são compostos pela combinação de dois ou mais materiais individuais quimicamente distintos com uma interface separando os



adram dentro das categorias: metais, cerâmicas e polímeros. A principal meta de projeto de um material compósito consiste em se atingir uma combinação de propriedades que não são encontradas isoladamente por qualquer material, incorporando melhores características de cada um dos materiais componentes (CALLISTER, 2008).

Os compósitos são materiais multifásicos produzidos artificialmente que possuem uma combinação desejável das melhores propriedades de suas fases constituintes. Geralmente, uma fase (a matriz) é contínua e envolve completamente a outra fase (a fase dispersa) (CALLISTER, 2008, p.450).

Contudo, como os compósitos são usualmente utilizados devido às suas propriedades estruturais que são superiores às propriedades de seus componentes isolados, a definição pode ser restringida para incluir somente aqueles materiais que contêm um reforço, tais como fibras ou partículas, sustentado por uma matriz que pode ser polimérica, cerâmica ou metálica (SMITH, 1998).

Tecnologicamente, os mais comuns e importantes são aqueles onde a fase dispersa está na forma de uma fibra. Compósito é uma composição onde as fibras de vidro são embutidas no interior de um material polimérico (normalmente resina poliéster) estas fibras são relativamente resistentes e rígidas (mas também frágeis), enquanto o polímero é dúctil (mas também fraco e flexível). Dessa forma, o compósito resultante é relativamente rígido, resistente, flexível e dúctil, além disso possui baixa densidade (CALLISTER, 2008).

Os objetivos de projetos de compósitos reforçados com fibra incluem com frequência alta resistência e/ou rigidez em relação ao peso. Essas características são expressas em termos dos parâmetros resistência específica e módulo específico, os quais correspondem, respectivamente as razões entre o limite de resistência a tração e o peso específico e entre o módulo de elasticidade e o peso específico. Compósitos reforçados com fibras com resistências e módulos específicos excepcionalmente elevados têm sido fabricados empregando materiais de baixo peso específico tanto para fibra como para matriz (CALLISTER, 2008, p.428).

Os materiais compósitos possuem algumas vantagens quando comparados aos materiais tradicionalmente utilizados na engenharia, como por exemplo, aço e alumínio. Devido ao elevado desempenho e seu aspecto multifuncional, os compósitos são capazes de atender a diversos requisitos de projeto. A redução de peso específico é significativa e outras vantagens que podem

tência à fadiga, ao impacto, à corrosão, além da possibilidade de eliminar diversas juntas, evitando pontos críticos estruturais.

### 5.2.2 Reforço

Os reforços comumente usados para a confecção de compósitos pultrudados são à base de fibra de vidro que além de oferecer viabilidade econômica é responsável pela rigidez da peça permitindo que o perfil tenha capacidade de alta resistência na direção do carregamento, usadas para reforçar matrizes plásticas, de modo a obter compósitos estruturais e componentes moldados. Apresentam características favoráveis como à elevada razão resistência/peso, boa estabilidade dimensional, baixa densidade  $2,6\text{g/cm}^3$ , boa resistência ao calor, à umidade e à corrosão além de seu custo ser relativamente baixo em relação às demais fibras utilizadas na fabricação de compósitos (ASHBY, 2007).

As fibras de vidro são fabricadas através da trefilagem de monofilamentos de vidro, e a partir de um forno que contém o vidro fundido, segue a uma junção que contém um grande número de filamentos de modo a formar um feixe de fibras de vidro. Estes feixes são depois usados para se obter fio simples ou multifios contínuos. Estes feixes são por sua vez normalmente unidos por meio de um ligante resinoso. Existem também as telas que são obtidas pela união química de um tecido com uma manta de feixes não contínuos (SMITH, 1998).

Os dois tipos mais importantes tipos de vidro usados na produção de fibras de vidro para compósitos são o vidro *E* (*elétrico*) e o vidro *S* (*elevada resistência mecânica*). O vidro *E* é usado para a obtenção de fibras contínuas. Basicamente o vidro *E* é um vidro de boro-silicato, alumínio e cálcio, isento de sódio e potássio. Situa-se entre 52-56% de  $\text{SiO}_2$ , 12-16% $\text{CaO}$  e 8-13% $\text{B}_2\text{O}_3$ . Logo após a sua fabricação apresenta uma resistência a tração de 3,4GPa e um módulo de elasticidade de 72,3GPa. O vidro *S* tem razão resistência/peso mais elevada, e é mais caro do que o vidro *E*, sendo geralmente utilizado em aplicações militares e aeroespaciais. A resistência a tração do vidro *S* é superior a 4,4GPa, e o seu

aproximadamente 85,4GPa. O vidro S tem uma composição do tipo 65% SiO<sub>2</sub>, 25%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 10%MgO (SMITH, 1998).

As fibras de vidro utilizadas em compósitos pultrudados se dividem em *roving* e manta.

*Rovings* são como cabos com centenas de finíssimos filamentos de vidro paralelos, sendo responsável pela resistência à tração do perfil pultrudado. Já a manta apresenta-se, como o nome próprio já diz, numa distribuição de filamentos aleatoriamente em várias direções de forma entrelaçada, possibilitando ao perfil compósito a resistência transversal. A figura 5.2 apresenta exemplos destes materiais (PULTRUSÃO, 2009).

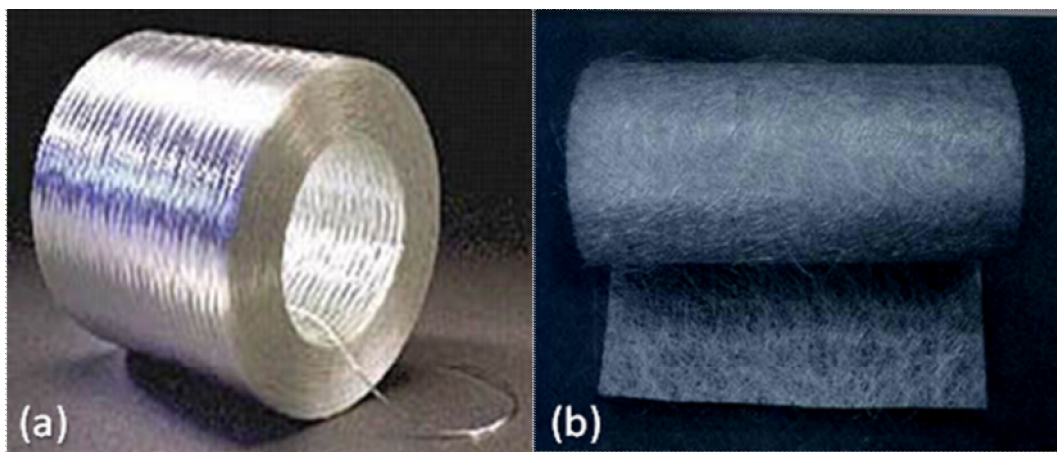


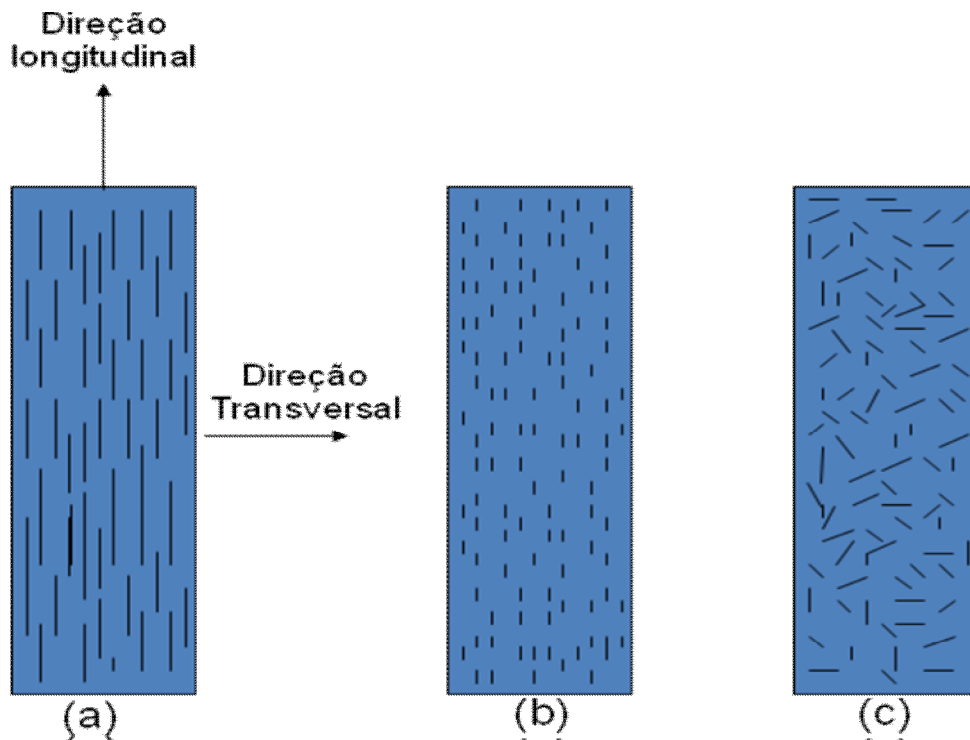
Figura 5.2 - (a) Roving e (b) manta. (PULTRUSÃO,2009).

### 5.2.3 Definições e Classificações

Segundo Callister (2008), é importante destacar que a quantidade e a orientação das fibras são muito importantes e têm influência em algumas propriedades destes materiais, como a densidade, a resistência mecânica, o módulo de tração e compressão, a resistência à fadiga, o mecanismo de falha, a condutividade elétrica e térmica e principalmente, sobre o custo da produção do material. As Figuras 5.3 apresentam algumas definições e classificações dos tipos de materiais compósitos. A resposta mecânica deste tipo de compósito depende de

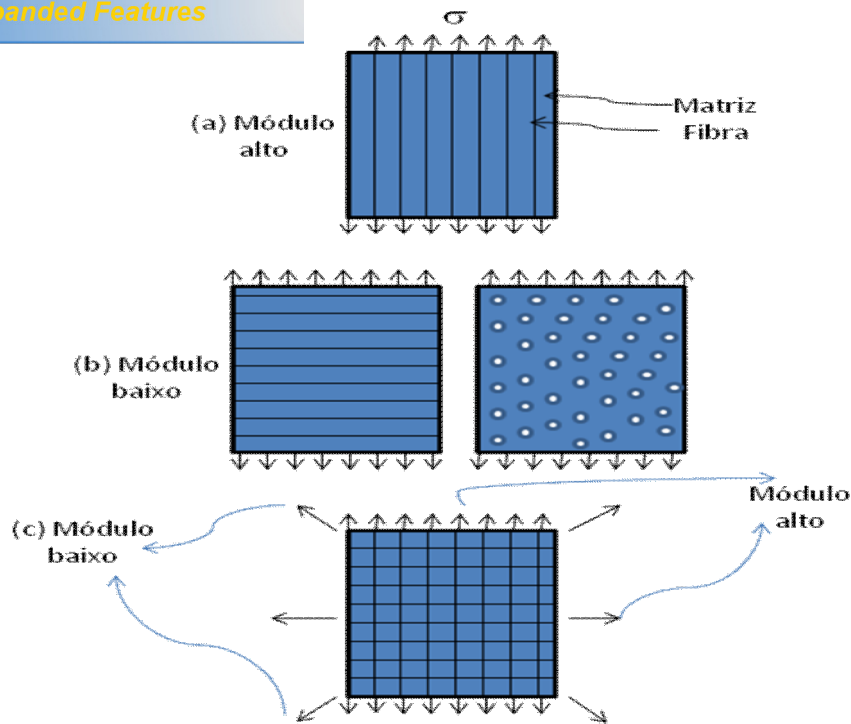
comportamentos tensão-deformação das fases da fibra e matriz, além da direção na qual a tensão ou carga é aplicada.

Outra propriedade física importante a ser considerada é a anisotropia, associada à variação do espaçamento atômico ou iônico que depende da direção cristalográfica na qual as medições são feitas, por exemplo do módulo de elasticidade que podem possuir valores diferentes para cada direção analisada (CALLISTER, 2008). Os materiais compósitos reforçados com fibras de vidro possui elevada resistência mecânica na direção longitudinal das fibras e na direção transversal sua resistência pode ser reduzida.



**Figura 5.3 .** Representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente (CALLISTER, 2008).

Os compósitos obtidos com fibras contínuas podem apresentar reforço unidirecional ou reforço bidirecional (obtidos com os tecidos e mantas). Casos particulares de esforços são ilustrados na figura 5.4.



**Figura 5.4** . (a) Quando carregado ao longo da direção da fibra, as fibras e a matriz de um compósito de fibra contínua sofrem deformações iguais. (b) Quando carregado na direção transversal da fibra, as fibras e a matriz sofrem aproximadamente a mesma deformação, com compósitos particulados acontece a mesma coisa. (c) Um laminado 0-90° tem direções com módulo alto e módulo baixo, um laminado 0-45-90-135° é quase isotrópico (CALLISTER,2008).

Os compósitos obtidos a partir de fibras unidirecionais e tecidos bidimensionais (figuras 5.4a e 5.4c), tendem a ser muito mais eficientes estruturalmente em relação aos compósitos obtidos com fibras picadas ou carregamentos no sentido contrário da fibra (figura 5.4b); no sentido longitudinal os resultados de resistência mecânica e rigidez apresentam valores maiores (NETO,2009).

### 5.2.4 Resinas

Diversas resinas termofixas são processáveis pelo processo de pultrusão, apresentando boas características. A resina é chamada de matriz em um material compósito e sua principal função é manter a rigidez da peça e a coesão das fibras, protegê-las do meio envolvente distribuindo o carregamento pelas fibras e protege as mesmas contra os meios agressivos e a abrasão. A resina ainda

ção, ao impacto e à fadiga. A melhor resina a ser utilizada depende diretamente da aplicação final do compósito (PULTRUSÃO, 2009).

Das resinas existentes no mercado, a mais indicada para o desenvolvimento deste produto é a resina poliéster; além de corresponderem a 88% das resinas termofixas e 74% das resinas totais utilizadas na produção de materiais relativamente baixo e suas propriedades físicas são facilmente ajustadas ao tipo de material utilizado como carga com tempo de cura rápido. Além disso, a resina poliéster pode proporcionar excelente aparência estética para o produto final (ASHBY, 2007).

As matrizes poliméricas mais utilizadas são: Resina epóxi, grande resistência à umidade, alta resistência à temperatura, boa adesão com fibras de vidro e baixa retração durante a cura, em comparação com poliéster e éster vinílico. A resina epóxi pode ser curada a temperatura ambiente ou a alta temperatura.

A resina poliéster possui grande resistência química, resistência a desgastes por ações atmosféricas, resistência ao envelhecimento, boa adesão com fibras de vidro e, por fim, tem baixo custo. As resinas de poliéster são muito utilizadas em compósito reforçados com fibras em produtos comerciais, pelo seu baixo custo e facilidade na sua produção. O emprego de resinas poliésteres oferecem elevada resistência a ataques químicos, bem como maior resistência e rigidez mecânica a altas temperaturas, por apresentarem elevada dureza.

Finalmente as resinas fenólicas apresentam melhor desempenho a altas temperaturas, por conservarem suas propriedades sob condições de incêndio e por propiciar baixa emissão de gases tóxicos. Além disso, trata-se de uma resina que possui baixa retração, se comparadas com as resinas poliéster, segundo o (EUROCOMP 2009).

### **5.2.5 Processo de Perfís Compósitos (Pultrusão)**

É o processo industrial de produção contínua de formas estruturais de resina plástica reforçada. Este processo pode produzir uma grande variedade de perfis sólidos, tubulares ou estruturais, com propriedades químicas, físicas e

conseguidas através do bom alinhamento das fibras.

As matérias primas são misturas de resina líquida que contém elementos aditivos como coagulantes e fibras flexíveis para reforço. O Equipamento de pultrusão puxa estas matérias primas (inverso da extrusão) através de um molde de aço aquecido. (PULTRUSÃO, 2009).

Os materiais fibrosos alimentam o equipamento de forma contínua com rolos de fios. Os reforços são molhados em uma mistura resinosa fora da forma, e atravessam o molde aquecido. O endurecimento da resina é iniciado pelo calor do molde e com isso obtemos um perfil rígido e curado. O Processo pode ser observado na figura 5.5:

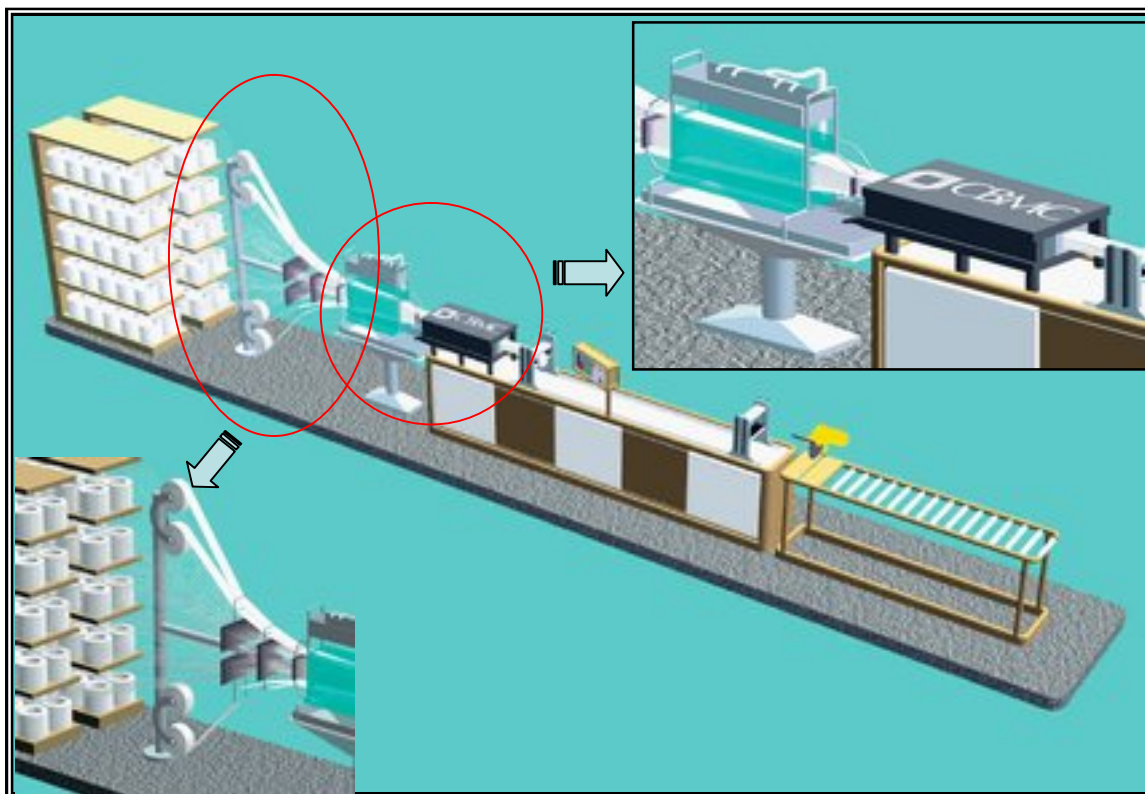


Figura 5.5 . Processo de pultrusão (CBMC, 2009).

os

A aplicação destes perfis na construção civil ainda é mínima, considerando o seu potencial.

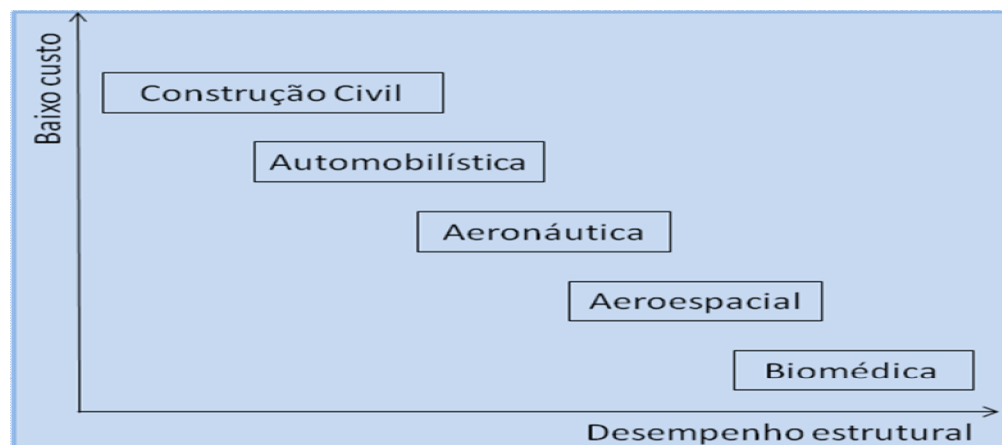
Dada a elevada capacidade e facilidade de modelagem dos compósitos, a integração entre as peças é facilitada, potencializando a montagem de subconjuntos modulares. O sistema de encaixe das peças elaboradas em compósitos pode proporcionar a eliminação de acessórios de fixação de metal, diminuindo custos de ferramentaria e montagem. Por sua maior flexibilidade, adequa-se mais facilmente as novas tendências de design, com formas mais esbeltas e arredondadas. Assim, estes materiais podem ser competitivos em termos de custos finais.

Alguns exemplos onde os materiais podem ser aplicados são:

- “ Torres treliçadas para telefonia e outros fins;
- “ Passarelas para pedestre em geral suspensas em cabos, pela leveza e facilidade na montagem;
- “ Estruturas de uso geral em plantas industriais, como passarelas, escadas, degraus, entre outros.

Estes exemplos de aplicações podem ser visualizados no anexo A.

Em virtude de o espectro de aplicações dos compósitos ser significativamente amplo, os requisitos de desempenho estrutural e baixo custo apresentam diferentes estágios de importância e distintos segmentos industriais. Estes parâmetros são mostrados na figura 5.6.



**Figura 5.6 .** Importância relativa das necessidades de baixo custo e desempenho estrutural em componentes utilizados em diferentes ramos da indústria (NETO, 2006).



Segue abaixo alguns tipos de perfis estruturais de compósitos pultrudados conforme figura 5.7.



Figura 5.7 . Tipos de perfis estruturais (FIBERLINE; FIBERGLASS, 2009).

### 5.3 Resistência e Seleção dos Materiais

A essência do conceito de seleção de materiais encontra-se nos mapas das propriedades dos materiais, desenvolvidos por Ashby, 2005. Que procuram agrupar todas as famílias de materiais em gráficos cujas coordenadas compõem os índices de méritos utilizados em cálculos de dimensionamento e seleção. A figura 5.8 Apresenta um dos mapas de seleção de materiais, relacionando a densidade com o módulo de elasticidade.

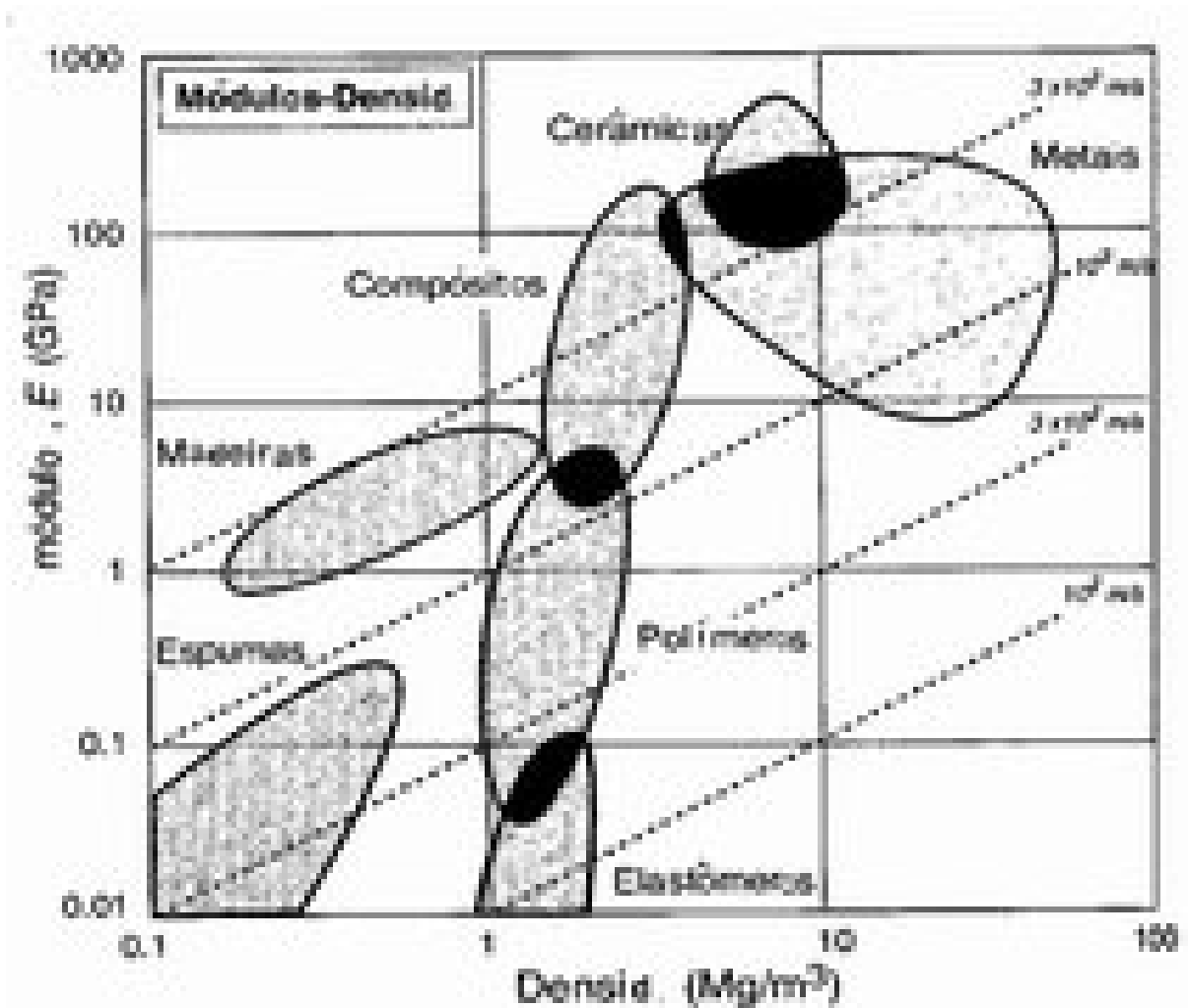


Figura 5.8 . Mapa de seleção de Materiais (ASBHY, 2005).

Dentro das aplicações de engenharia, a determinação de tensões é um passo necessário no desenvolvimento de estudos como este relacionados a análise de estruturas com o objetivo de prever seu comportamento sob condições de cargas específicas. O projeto de novas estruturas devem cumprir determinadas funções de maneira segura e econômica (BEER, 1995).

o principal objetivo do estudo da mecânica dos materiais é proporcionar ao engenheiro meios que habilitem para a análise e projeto de diversas estruturas sujeitas a diferentes carregamentos+ (BEER, 1995, p.1).

nar das normas de projeto estrutural é controlar e padronizar o risco em níveis aceitáveis pela sociedade. O método de dimensionamento que predomina é Método das tensões admissíveis. No sentido de minorar as objeções relativas a este método, foi desenvolvido o *método dos estados limites* que é a condição que determina o ponto crítico da estrutura ou elemento estrutural onde o mesmo torna-se inadequado para desempenhar a função proposta. Isto significa que os esforços e deformações devem ser inferiores a certos valores limites, que dependem do material usado e do tipo de estrutura adotada.

Em Beer (1995), a escolha do coeficiente de segurança adequado para as diferentes aplicações práticas requer uma análise cuidadosa, que leve em consideração muitos fatores, como os que seguem:

“ **Modificações que ocorrem nas propriedades do material.** A composição, resistência e dimensões dos materiais estão sujeitas a pequenas variações durante a fabricação das peças. Além disso, as propriedades do material podem ficar alteradas, e podem ocorrer tensões residuais devido a deformações e variações de temperatura a que o material se sujeita no transporte, armazenamento ou na própria execução d estrutura (BEER,1995).

“ **O número de vezes em que a carga é aplicada durante a vida da estrutura.** Para a maior parte dos materiais a aplicação do carregamento, repetida muitas vezes, leva a um decréscimo no valor da tensão ultima. Este fenômeno é chamado fadiga do material e, se não levado em conta, poderá ocorrer uma ruptura brusca.

“ **O tipo de carregamento para o qual se projeta, ou que poderá atuar futuramente.** A maior parte dos carregamentos adotados em projeto são estimados, pois são poucas as vezes em que um carregamento pode ser previsto com precisão. Ocorre também a possibilidade de alterações futuras na finalidade da estrutura que está sendo projetada, como modificação nos valores previstos por ocasião do projeto. Cargas dinâmicas, cíclicas e instantâneas exigem altos valores de coeficientes de segurança.

**modo ocorrer.** Materiais frágeis apresentam ruptura repentina, sem nenhuma indicação de que o colapso é iminente. Já os materiais dúcteis, como o aço estrutural, apresentam grande deformação, chamada *escoamento*, antes de atingir a ruptura, e esse comportamento do material fornece um aviso que está ocorrendo carregamento excessivo. A ruptura ocasionada por perda de estabilidade da estrutura é geralmente repentina, seja o material frágil ou não. Quando existe a possibilidade de ruptura repentina, o valor a se adotar para o coeficiente de segurança deve ser maior do que no caso de ruptura com aviso.

“ **Métodos aproximados e análise.** Os métodos de cálculo e análise são baseados em certas simplificações que levam a diferenças entre as tensões calculadas e aquelas realmente atuantes na estrutura.

“ **Deterioração que poderá ocorrer no futuro devido a falta de manutenção ou por causas naturais imprevisíveis.** Em locais em que a composição do material ou a ferrugem são difíceis de controlar ou de prever, deve ser adotado um coeficiente de segurança de valor mais alto.

“ **A importância de um certo membro para a integridade de toda a estrutura.** Para as peças secundárias e contraventamentos da estrutura pode ser usado um coeficiente de segurança menor do que aquele das peças principais. Medidas e tolerâncias, Segundo Colin Taylor (in TAYLOR, apud PANNONI, 2009), comparando-se com outros materiais estruturais, as estruturas em aço podem ser feitas economicamente com tolerâncias bem mais rigorosas. E comparadas com peças mecânicas, entretanto, não é nem econômico nem necessário alcançar exatidão tão extrema.

### 5.3.1 Critérios de Ruptura

Os critérios de ruptura têm por objetivo permitir ao projetista avaliar a resistência mecânica de estruturas. A ruptura de estruturas compósitas podem ocorrer por diferentes mecanismos: ruptura das fibras, ruptura da matriz, coesão fibra/matriz, delaminação (descolamento das camadas), etc.



*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

ura podem ser classificados em critério de tensão máxima ou deformação máxima onde estipula-se que a resistência mecânica do perfil analisado é atingida quando uma das deformações as quais o material é submetido atinge o valor da deformação de ruptura correspondente (BEER, 1995).

## is Estudados

Os dados de propriedades dos materiais objetos do estudo são apresentados nas tabelas 5.1. e 5.2.:

**Tabela 5.1** . Propriedades dos materiais pultrudados. Fonte: (PULTRUSÃO, 2009)

Propriedades mecânicas	Perfis (Compósitos/Manta + Roving)	
	Longitudinal	Transversal
Resistência máx. a tração - MPa	210	49
Módulo de elasticidade na tração - GPa	17,5	5,6
Resistência máx. a compressão - MPa	210	105
Módulo de elasticidade na compressão - GPa	17,5	7,0
Resistência máx. a flexão - GPa	11,2	5,6
Resistência ao impacto IZOD - MPa	0,00014	0,00002
Densidade	1,94	

OBS: Os dados acima são para referência de consulta apenas. Para cada aplicação específica são necessários testes individuais, para determinação das suas efetivas características e propriedades.

**Tabela 5.2** . Propriedades dos materiais metálicos. Fonte: (CALLISTER<sup>1</sup>, 2008)

Propriedades mecânicas	Perfis (Aço-carbono/A36)	
	Longitudinal	Transversal
Resistência máx. a tração - MPa	380 <sup>1</sup>	380 <sup>1</sup>
Módulo de elasticidade na tração - GPa	205 <sup>1</sup>	205 <sup>1</sup>
Resistência máx. a compressão - MPa	380 <sup>1</sup>	380 <sup>1</sup>
Módulo de elasticidade na compressão - GPa	205 <sup>1</sup>	205 <sup>1</sup>
Resistência máx. a flexão - GPa	15 <sup>1</sup>	15 <sup>1</sup>
Resistência ao impacto IZOD - MPa	N/A	N/A
Densidade kg/m <sup>2</sup>	7,86 <sup>1</sup>	

N/A = Não analisado

OBS: Os dados acima são para referência de consulta apenas. Para cada aplicação específica são necessários testes individuais, para determinação das suas efetivas características e propriedades.

## Comportamento Tensão-Deformação)

Uma peça de aço, sob efeito de tensões de tração ou de compressão sofre deformações, que podem ser elásticas ou plásticas. Tal comportamento deve-se à natureza cristalina dos metais, pela presença de planos de escorregamento ou de menor resistência mecânica no interior do reticulado. A elasticidade de um material é a sua capacidade de voltar à forma original em ciclo de carregamento e descarregamento. A deformação elástica é reversível, ou seja, desaparece quando a tensão é removida. A deformação elástica é conseqüência da movimentação dos átomos constituintes da rede cristalina do material, desde que a posição relativa desses átomos seja mantida. A relação entre os valores da tensão e da deformação linear específica, na fase elástica, é o módulo de elasticidade, cujo valor é proporcional às forças de atração entre os átomos (VILLAÇA,1998).

Denomina-se *elasticidade* a propriedade de um material pela qual um corpo dele constituído deformado sob a ação de forças, uma vez cessada a ação dessas forças retorna a sua configuração original. O material que apresenta tal propriedade é dito elástico. Quando o retorno é apenas parcial, o material é denominado parcialmente elástico+(VILLAÇA,1998, p.1).

### 5.4 Normas Técnicas

As avaliações foram realizadas com base em técnicas da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da aplicação de metodologias apropriadas. A sua aplicação adequada exige, além dos conhecimentos necessários para elaboração do trabalho, segurança, consciência, ética profissional, senso crítico, investigação, observação e criatividade. Destacou-se algumas normas para o desenvolvimento deste trabalho:

“ **NBR 8681** **É Ações de segurança nas estruturas** - Esta Norma fixa os requisitos exigíveis na verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil e estabelece as definições e os critérios de quantificação das ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações,

de e destino, salvo os casos previstos em Normas Brasileiras específicas. Os critérios de verificação da segurança e os de quantificação das ações adotados nesta Norma são aplicáveis às peças estruturais construídas com quaisquer dos materiais usualmente empregados na construção civil (ABNT NBR 8681, 2003).

“ **NBR 6123 É Forças devidas ao vento** - Esta norma considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração. Fixa as condições exigíveis das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações.

“ **NBR 8800 - Projeto e execução de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios** - Esta Norma define critérios gerais que regem os projetos à temperatura ambiente e a execução das estruturas de aço e das estruturas mistas aço-concreto de edifícios.

“ A **NBR 6120** (1980) e seu projeto de revisão de (2008) referem-se às cargas utilizadas para cálculos de estrutura, foco de nosso estudo. As condições peculiares das mesmas destinadas a carregamentos verticais que se consideram atuando nos pisos, além das que se aplicam em caráter especial referem-se a carregamentos devidos a pessoas, móveis, equipamentos, utensílios e veículos, que são supostas uniformemente distribuídas, com valores mínimos indicados na Tabela 5.3.:

**Tabela 5.3** . Valores mínimos das cargas verticais Fonte:(ABNT NBR 6120:1980/conf:2008, p.3).

Local		Carga kN/m <sup>2</sup>
1 Arquibancadas		4
2 Balcões	Mesma carga da peça	-
3 Bancos	Escritórios e banheiros	2
	Salas da diretoria e de gerencia	1,5
4 Bibliotecas	Sala de Leitura	2,5
	Sala para depósitos de livros	4
	Sala com estantes de livros a ser determinada em cada caso ou 2,5	



[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

	or metro de altura observado, porém o valor mínimo de	6
5 Casas de máquinas	(Incluindo o peso das máquinas) a ser determinada em cada caso, porém com o valor mínimo de	7,5
6 Cinemas	Platéia com assentos fixos	3
	Estúdio e platéia com assentos móveis	4
		2
	Banheiros	
7 Clubes	Sala de refeições e de assembléia com assentos fixos	3
	Sala de assembléia com assentos móveis	4
		5
	Salão de danças e salão de esportes	2
	Salão de bilhar e banheiro	
8 Corredores	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2
9 Cozinhas não residenciais	A ser determinada em cada caso. Porém com o mínimo de	3
10 Depósitos	A ser determinada em cada caso	-
11 Edifícios Residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro.	1,5
	Dispensa, área de serviço e lavanderia.	2
12 Escadas	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2,5
13 Escolas	Anfiteatro com assentos fixos	3
	Corredor sala de aula e outras salas	2
14 Escritórios	Sala de uso geral e banheiro	2
15 Forros	Sem acesso a pessoas	0,5
16 Galerias de arte	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo.	3
17 Galerias de lojas	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo.	3
18 Garagens e Estacionamentos	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25 kN por veículos.	3
19 Ginásios de esportes		5

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

	s, enfermarias, sala de recuperação, sala de cirurgia, sala de raio X e banheiro. Corredor	2 3
21 Laboratórios	Incluindo Equipamentos, a ser determinado em cada caso, porém com o mínimo	3
22 Lavanderias	Incluindo Equipamentos	3
23 Lojas		4
24 Restaurantes		3
25 Teatros	Palco Demais dependências, cargas iguais às especificadas para cinemas.	5 -
26 Terraços	Sem acesso ao público Com acesso ao público Inacessível a pessoas Destinados a heliportos elevados; as cargas deverão ser fornecidas pelo órgão competente do Ministério da Aeronáutica.	2 3 0,5 -
27 Vestíbulo	Sem acesso ao público Com acesso ao público	1,5 3

De acordo com a tabela acima, temos o coeficiente de majoração a ser utilizado para o cálculo de tensões as quais o palco projetado estará submetido. Os critérios utilizados para cálculos de tensão baseiam-se no modelo de cargas concentradas sobre maciços. Armam-se com vigas verticais e horizontais (opcionalmente com diagonais).

As normas utilizadas em processo de pultrusão estabelecem as normas:

- **ASTM D-3917(Standard Specification for Dimensional Tolerance of Thermosetting Glass-reinforced Plastic Pultruded Shapes)** - que trata das tolerâncias dimensionais de materiais compósitos pultrudados reforçados com fibra de vidro.

**Thermosetting Reinforced Plastic Pultruded Products) Ë** Trata sobre os defeitos visuais dos materiais compósitos reforçados com fibra de vidro

As tolerâncias adotadas por estes materiais tendem a ser específicas a cada projeto. Para encaminhar estes estudos precisa-se saber como o material a ser usado vai atuar sob condições conhecidas de carregamentos.

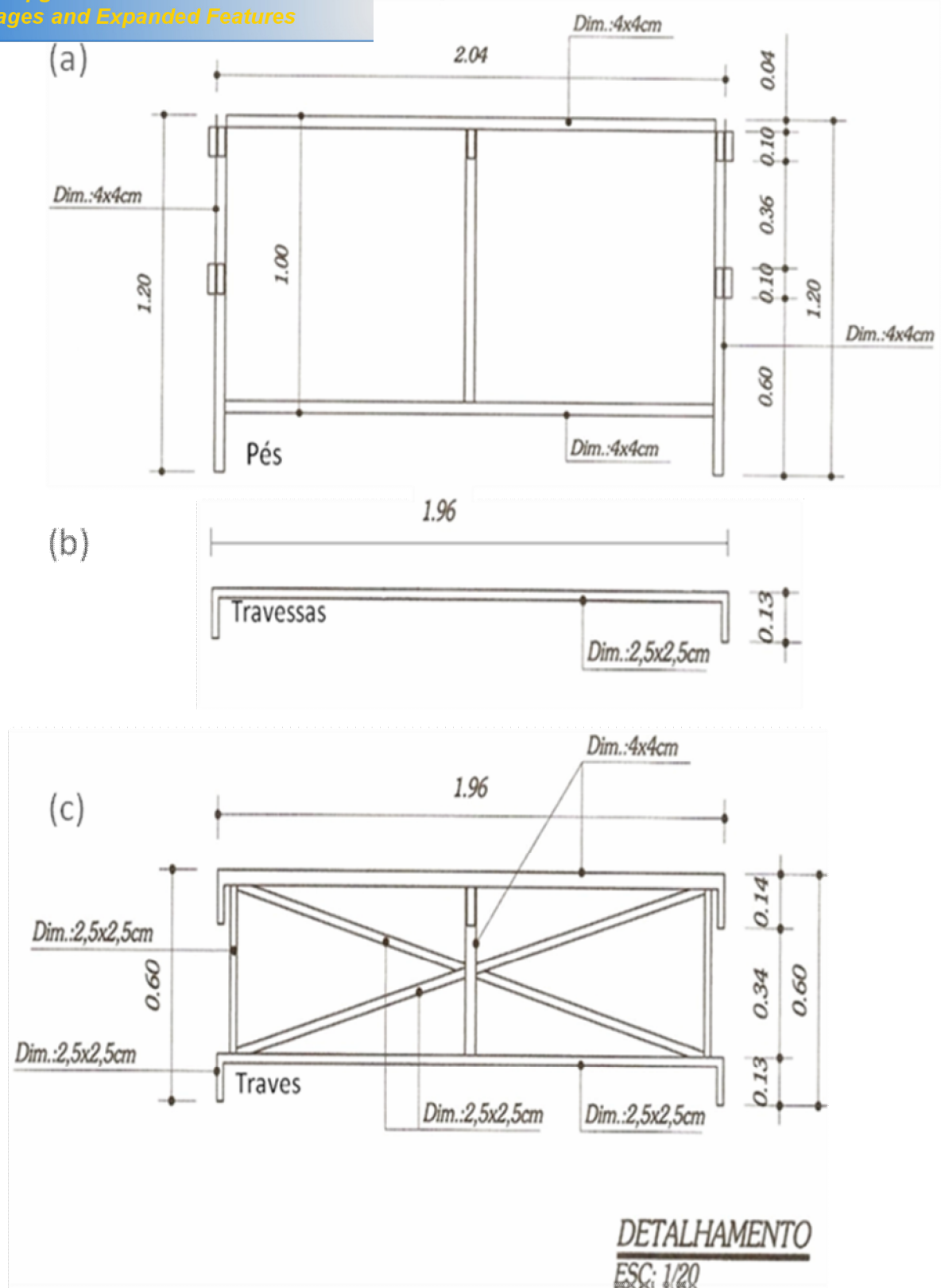
## 6 METODOLOGIA

### 6.1 Projeto de Estruturas Ë Aspectos Gerais

A construção de estruturas destinadas a eventos normalmente apresenta necessidades específicas, tais como facilidade de transporte, de montagem e desmontagem e, principalmente, possuir resistência mecânica adequada para garantir a segurança das instalações.

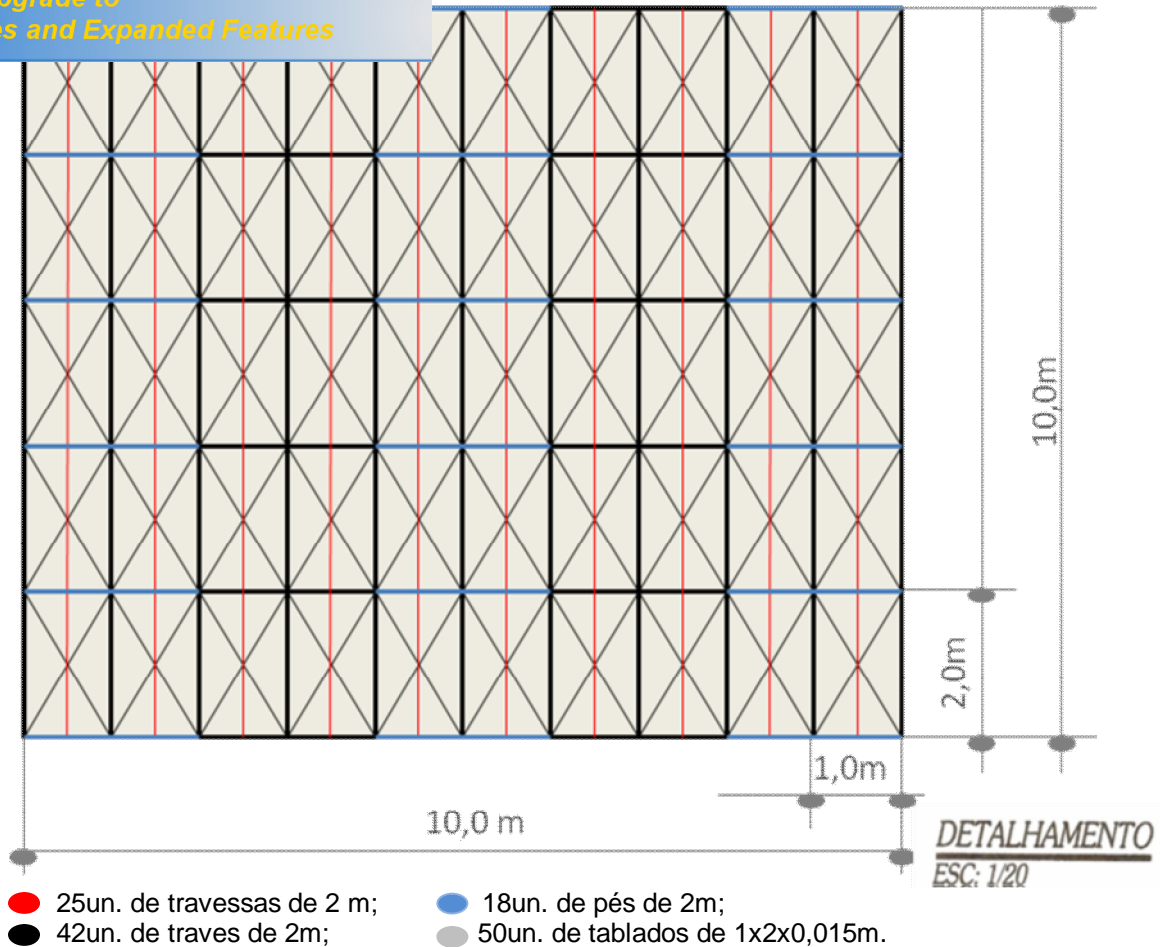
No sentido de apresentar uma alternativa para a construção destas estruturas, fez-se um estudo sistemático da substituição do aço por materiais compósitos. Tal sugestão aplicou-se em virtude de tentar ~~inferir~~ àquelas estruturas maior flexibilidade, menor peso, e reduzir os custos de manutenção frente aos aspectos de corrosão. Além destes, a crescente necessidade de produtos com design diferenciado e melhor apresentação visual foi um dos pontos estudados.

Para as avaliações, realizou-se um estudo focado em estruturas comumente utilizadas em palcos e em particular a estrutura da parte inferior dos tablados. Esta estrutura é comumente fabricada com aço de baixo carbono AISI 1010, 1020 ou A36 e tem concepção modular, o que permite a montagem de palcos com diferentes dimensões. As características dos seus componentes de montagem são apresentadas na Figura 6.1, e esquematizadas na figura 6.2.



**Figura 6.1** . (a) pés; (b) travessas; (c) traves e suas dimensões (Adaptado de Silva & Silva Estruturas Metálicas, 2009).

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features



**Figura 6.2** - Detalhamento da quantidade de módulos necessários para a montagem de um palco medindo 10mx10m. Adaptado de Silva & Silva Estruturas Metálicas.

Para a montagem de um palco medindo 10mx10m, são necessários os seguintes componentes: 25 travessas de 2 m cada (representada pela cor vermelha na figura 6.2); 18 pés de 2 m (em azul); 42 traves de 2m de cor preta. Além destes, são necessários ainda 50 tablados de compensado naval medindo 1x2x0,015 m (em cinza na figura).

Para a determinação das cargas máximas admissíveis das estruturas estudadas, foram utilizados valores recomendados pela norma ABNT NBR 61201980/conf:2008, p.3.

Devido a não existência na empresa de dados técnicos do projeto estrutural da parte inferior dos tablados, foi feito o cálculo também para dimensionar as máximas cargas admissíveis, tanto para o aço, quanto para o material compósito. Tal informação foi útil para a verificação e comparação dos fatores de segurança previstos em norma, na estrutura já fabricada e, de material compósito.

fez-se o projeto de uma estrutura alternativa em material compósito pultrudado, para avaliação de sua viabilidade técnica e econômica.

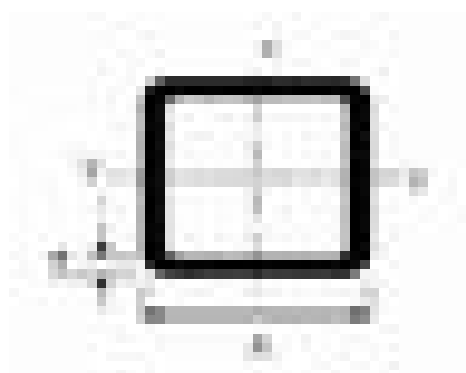
Posteriormente, com a finalidade de analisar o material escolhido (sendo estes perfis de materiais compósitos reforçados com fibras de vidro e matriz resinosa), realizaram-se cálculos para a caracterização mecânica do material em relação ao material convencional. Diagnosticou-se a potencialidade dos perfis pultrudados através de cálculos relacionados aos materiais a serem substituídos pelos aços em projetos de palco confeccionados em estruturas modulares. A escolha dos perfis foi pautada nos materiais já disponíveis no mercado.

## 6.2 Dados Relativos aos Materiais Estudados

As estruturas em materiais metálicos são fabricadas com (perfil tubular quadrado), com as medidas de geometria indicadas na figura 6.3.

O estudo baseou-se nos mesmos dados para a confecção das estruturas modulares em material compósito com porcentagens de fibra e de matriz, sugeridas pelo fabricante iguais a 55% e 45% respectivamente.

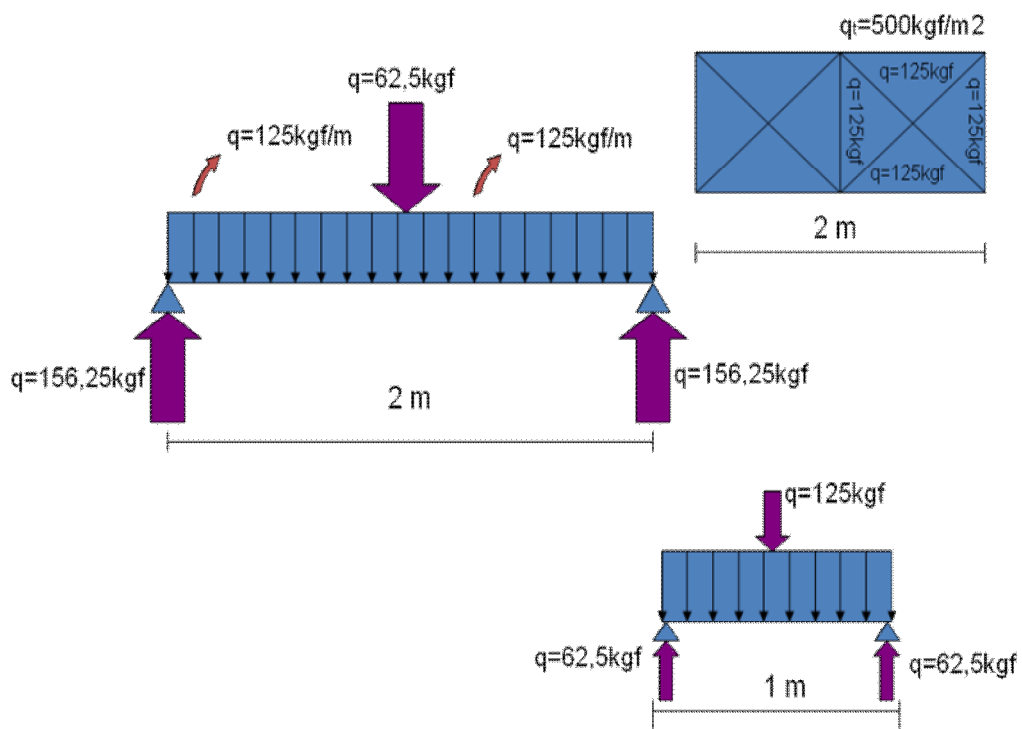
A resina utilizada é poliéster isoftálica resistente a altas temperaturas e a fibra de vidro é do tipo E-glass.



**Figura 6.3 .** Dimensões e geometria dos perfis estudados com cotas em mm.  $A=40\text{mm}$ ,  $e=0,3\text{mm}$  (MEINCOL,2009).

Os critérios utilizados para os procedimentos cálculos de tensão das estruturas projetadas foram fundamentados em modelos de cargas concentradas sobre maciços, onde as vigas são apresentadas verticalmente e horizontalmente (opcionalmente com diagonais - treliçadas).

As situações propostas pela figura 6.4, apresentam condições de carregamento no qual o material a ser usado será submetido.



**Figura 6.4 .** Elaboração da distribuição de cargas a serem aplicadas em cada viga vertical para aferir procedimentos de cálculos.

Segundo a NBR 6120 (1980/conf:2008) adotou-se como valor característico para a tensão máxima resistente da carga equivalente em cada viga ( $F=156,25\text{kgf/m}$ ). Esta força foi obtida utilizando o coeficiente de majoração para palcos descritos na tabela 5.3. Elaborou-se a análise de acordo com a figura 6.4 onde determinou-se a distribuição das cargas aplicadas em cada viga vertical.

Para o tubo de perfil quadrado ( $\varnothing = 40 \times 40 \text{mm}^2$ ) pode-se calcular a área da seção transversal. O cálculo da seção transversal de um tubo foi calculada a partir do quadrado maior (.) o quadrado menor do perfil. A parede do tubo quadrado mede 3mm, então:

$$A_{\text{tubo}} = (40 \times 40) - (37 \times 37)$$

$$A_{\text{tubo}} = 1600 - 1369$$

$$A_{\text{tubo}} = 231 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{tubo}} = 2,31 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Com os dados necessários de acordo com as normas consultadas, determinou-se a tensão ( $\sigma$ ) que o palco deve suportar com a fórmula do quadro 01.

$$\sigma = ?$$

$$1 \text{ kgf} = 10 \text{ N}$$

$$F = 156,25 \text{ kgf/m}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Eq.01})$$

Onde:

$\sigma$  = É a tensão aplicada em cada viga vertical;

F = Força suportado em cada viga vertical;

A = Área da seção transversal do perfil da viga.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{156,25 \text{ kgf}}{2,31 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = \frac{1.562,5 \text{ N}}{2,31 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 6,76 \text{ MPa}$$

Para o cálculo do ponto crítico ( $P_{\text{crítico}}$ ), ou seja, o estado limite no qual o material será submetido, foi obtido pela fórmula 02:

$$P_{\text{crit.material}} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L^2} \quad (\text{Eq.02})$$



Onde:

$P_{crit.material}$  = É o limite de tensão suportado por cada material em estudo,

$E$  = Módulo de elasticidade no momento de aplicação de cargas,

$I$  = Momento de inércia da seção (calculado),

$L$  = Comprimento da viga.

$P_{crit.aço}$  = ?

$P_{crit.compósito}$  = ?

$E_{aço}$  = 205GPa

$E_{compósito}$  = 17,5GPa

$L_{viga}$  = 1m

O Momento de inércia do perfil a ser utilizado no projeto para os dois materiais é calculado a partir da fórmula expressa pela equação disposta no quadro 03:

$$I = \frac{(b \times h^3)}{12} - \frac{(b \times h^3)}{12} \quad \text{Eq.(03)}$$

Com a equação 03 temos o momento de inércia do perfil.

$$I = \frac{(0,04m \times 0,04m^3)}{12} - \frac{(0,037m \times 0,037m^3)}{12} = \boxed{5,71 \times 10^{-8} m^4}$$

Após a obtenção dos dados necessários, calculou-se o ponto crítico do aço e do compósito.

$$P_{\text{crit. aço}} = \frac{\pi^2 \times 205 \text{ GPa} \times 5,71 \times 10^{-8} \text{ m}^4}{1^2 \text{ m}} = \boxed{115,53 \text{ kN}}$$

$$P_{\text{crit. compósito}} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L^2}$$

$$P_{\text{crit. compósito}} = \frac{\pi^2 \times 17,5 \text{ GPa} \times 5,71 \times 10^{-8} \text{ m}^4}{1^2 \text{ m}} = \boxed{9,86 \text{ kN}}$$

Identificou-se também a deformação elástica de cada material usando a seguinte fórmula dada na equação 04:

$$\Delta L_{\text{material}} = \frac{F \times L}{E_{\text{material}} \times A} \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde:

$\Delta L_{\text{material}}$  = É a deformação sofrida pelo material com a aplicação da força aplicada,

F= Força suportado em cada viga vertical;

L=Comprimento da viga

E= Módulo de elasticidade no momento de aplicação de cargas,

A= Área da seção transversal do perfil da viga.

Temos:

$$\Delta L_{\text{aço}} = \frac{F \times L}{E_{\text{aço}} \times A} = \frac{1562,5 \text{ N} \times 1 \text{ m}}{205 \text{ GPa} \times 2,31 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = \boxed{3,3 \times 10^{-5} \text{ m}}$$

$$\Delta L_{\text{compósito}} = \frac{F \times L}{E_{\text{compósito}} \times A} = \frac{1562,5 \text{ N} \times 1 \text{ m}}{17,5 \text{ GPa} \times 2,31 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = \boxed{3,86 \times 10^{-4} \text{ m}}$$

e projeto às estruturas de materiais compósitos a montagem deverá ser reduzida pois este material possui um relação de densidade relativamente baixa quando comparado às estruturas convencionais de aço. Veja o quadro:

$$\text{Fator} = \frac{\rho_{\text{aço}}}{\rho_{\text{compósito}}} \quad \text{Eq. (05)}$$

Onde:  $\rho_{\text{aço}}$  é a densidade do aço;  
 $\rho_{\text{compósito}}$  é a densidade do compósito;  
 $\rho_{\text{aço}} / \rho_{\text{compósito}}$  é a razão entre os dois materiais.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A finalidade básica das peças modulares utilizadas na confecção de palcos utilizados em eventos devem atender as necessidades técnicas referente aos esforços solicitados seja com novos modelos ou formas já existentes. A durabilidade, resistência mecânica, baixo peso específico, facilidade no manuseio e agilidade na montagem são fatores primordiais na escolha do produto, apontou-se através dos cálculos realizados que as estruturas em materiais compósitos podem atender às exigências do projeto existente, como pode ser analisado na tabela 7.1.

A preferência pelos compósitos é inerente ao material que dispensa qualquer tipo de pintura ou outro tipo de proteção, por apresentarem excelente resistência a corrosão quando comparados aos aços

Para o cálculo estrutural deste projeto, existem poucas peças para serem dimensionadas e desenhadas, o que acarreta em uma economia de tempo durante o projeto, pois a mesma peça ocorre várias vezes na mesma estrutura. Desta forma uma estrutura de simples concepção representará maior produtividade em comparação com outra mais complexa. Os parâmetros de projeto favorecem as peças que se apresentam com o dimensionamento adequado facilitando as sucessivas montagens e desmontagens dos elementos modulares. Os projetos não

nerosas da construção estrutural de um palco seja qual for o material. Por outro lado, o projeto elaborado pode resultar em ganhos significativos nas fases seguintes.

**Fabricação** . Durante a fabricação tem-se os ganhos de produtividade pois as peças são dispostas em módulos e ocorrem diversas vezes por metro montado. Uma viga de perfil tubular quadrado, necessita somente ser cortada no comprimento exato e a seguir sofrer o processo de soldagem, caso o material seja metálico, ou o processo de colagem com resina em caso de material compósito pultrudado, nas extremidades de cada elemento para o encaixe dos módulos conforme a geometria do projeto apresentada na figura 6.1. Em contrapartida, estes sistemas modulares permitem a ligação com as linhas e colunas sem sofrer operações de furação, pois são encaixadas como peças de um ``lego``.

**Transporte** . As peças possuem dimensões, forma e peso compatíveis com os veículos utilizados para o transporte, estes fatores representam melhor aproveitamento destes. As peças modulares são adequadamente armazenadas no depósito da empresa propiciando maior facilidade para serem localizadas e de fácil acesso ao carregamento. Estruturas bem acondicionada no veículo também levam a operações de embarque e desembarque mais fáceis além de representar menores gastos com o transporte. O uso de materiais compósitos reduzem custos de transporte, pois em diversos momentos onde o deslocamento das peças somente é possível manualmente, depende maior tempo e cansaço físico aos montadores e o baixo peso específico dos materiais compósitos podem facilitar esta trajetória.

**Montagem** . Durante a montagem da estrutura, as ligações entre as peças se faz com rapidez, pois são encaixadas e não necessitam o uso de parafusos ganhando-se tempo em comparação com ligações consideradas difíceis e trabalhosas. Os erros cometidos nas fases de projeto e fabricação ocasionam grandes perdas de produtividade e atrasos no andamento da montagem, pois não raro exigem correções de dimensões. Os elementos pultrudados podem permitir a combinação de várias funções em uma única estrutura facilitando montagens, manutenção entre outros fatores. Porém em virtude de se manter a mesma geometria com a

madeira por rebitagem o tempo de montagem e desmontagem pode ser equivalente a estrutura de aço.

Com os resultados relacionados aos cálculos de ambas as estruturas, construiu-se uma tabela 7.1, com os resultados os quais relacionaremos a seguir :

Tabela 7.1 . Resultados obtidos com os cálculos referente ao aço e compósitos

Resultados		
Materiais	Aços	Compósitos
Medida do perfil tubular quadrado (mm)	40x40x03	40x40x03
Força aplicada (F)	156,25kgf/m	156,25kgf/m
Tensão aplicada ( $\sigma$ )	6,76 MPa	6,76 MPa
Área da seção transversal do perfil	$2,31 \times 10^{-4} \text{m}^2$	$2,31 \times 10^{-4} \text{m}^2$
Momento de inércia (I)	$5,71 \times 10^{-8} \text{m}^4$	$5,71 \times 10^{-8} \text{m}^4$
Módulo de elasticidade	205GPa	17,5GPa
Densidade	$7,86 \text{g/cm}^3$	$1,94 \text{g/cm}^3$
Ponto crítico ( $P_{\text{crítico}}$ )	115,53kN	9,86kN
Deformação do material ( $\Delta L$ )	$3,3 \times 10^{-5} \text{m}$	$3,86 \times 10^{-4} \text{m}$

A tabela 7.1 relaciona os valores calculados para os dois materiais utilizados, baseado em um carregamento distribuído, figura 6.4.

Para a adaptação do projeto de palco já existente utilizou-se os mesmos parâmetros das estruturas metálicas às estruturas de materiais compósitos, com o perfil quadrado cuja área da seção transversal corresponde a  $2,31 \times 10^{-4} \text{m}^2$ ; a força aplicada a cada metro de palco construído é de 156,25kgf, pode-se observar que a tensão máxima aplicada para cada metro de palco montado equivale a 6,76MPa.

O ponto crítico gerado pelo aço e o compósito nas condições de projeto utilizados foi igual a 115,53kN e 9,86kN, respectivamente.

Relacionou-se o ponto crítico destes dois materiais e obteve-se a medida de proporcionalidade. Foi verificado que o material metálico apresenta uma

é maior que aquele apresentado pelo material compósito.

Dada a tensão de projeto,  $\sigma_{(projeto)}=6,76\text{MPa}$  aplicada, estudou-se a tensão de ruptura do aço e compósito, dados na tabela 5.2, onde  $\sigma_{e(aço)}=380\text{MPa}$  é a tensão de escoamento do aço,  $\sigma_{Rl(compósito)}=210\text{MPa}$  é a tensão resistente do compósito na longitudinal e  $\sigma_{Rt(compósito)}=49\text{MPa}$  é a tensão resistente do compósito na transversal e comparou-se com o a tensão máxima necessária aplicada em projeto. Proporcionalmente temos a relação de resistência ( $R_R$ ):

$$R_{R(aço)} = \frac{\sigma_{e(aço)}=380\text{MPa}}{\sigma_{(projeto)}=6,76\text{MPa}} = 56,2$$

$$R_{R(compósito)} = \frac{\sigma_{Rl(compósito)}=210\text{MPa}}{\sigma_{(projeto)}=6,76\text{MPa}} = 31,1$$

$$R_{R(compósito)} = \frac{\sigma_{Rt(compósito)}=49\text{MPa}}{\sigma_{(projeto)}=6,76\text{MPa}} = 7,2$$

A estrutura fabricada em aço apresentou uma resistência mecânica 56,2 vezes superior a necessária calculada em projeto, e o compósito em 31,1 na longitudinal e 7,2 na transversal.

De acordo com esta análise, a área do perfil utilizado por ambos os materiais pode ser reduzido em função da área resistente calculada, pois observou-se que a estrutura fabricada pela empresa Silva & Silva está superdimensionada. Entende-se que este tipo de estrutura pode não proporcionar apenas segurança, e sim preocupação. Outro fator importante a ser citado é o fato do projeto se tornar mais oneroso, pois consome mais material que o necessário. Após sucessivas montagens, as estruturas apropriadas avisam quando irão fraturar, através de trincas e defeitos pontuais assim o engenheiro responsável pode tomar as providências cabíveis para que o dano não ocorra.

ta teoria pode-se deduzir e reavaliar o perfil dos tubos utilizados e a possível substituição dos materiais tradicionais por materiais compósitos.

Calculou-se ainda a deformação elástica de cada material usando a fórmula expressa pela equação 04.

A deformação originada ao aço, foi de  $3,3 \times 10^{-5} \text{m}$  e para o compósito  $3,86 \times 10^{-4} \text{m}$ ; ou seja a deformação do compósito é maior em relação a estrutura do aço porém não é significativa para efeitos de flambagem do material em relação a tensão aplicada a cada viga.

A relação resistência/peso específico calculado apartir da densidade dos materiais:

$$\begin{aligned} \text{aço} &= \frac{7,86 \text{g/cm}^3}{1,94 \text{g/cm}^3} = 4,05 \\ \text{compósito} &= 1,94 \text{g/cm}^3 \end{aligned}$$

Com esta relação pode-se afirmar que o material compósito possui o peso específico 4,05 vezes menor em relação ao aço das estruturas a serem projetadas. A tabela 7.2 mostra a redução de peso entre as duas estruturas confeccionadas em módulos de aço e compósitos necessários para a montagem de um palco de 10mx10m, veja:

Tabela 7.2 . Redução de peso dos módulos de um palcos medindo 10mx10m.

Materiais necessários para a montagem de um palco 10x10m <sup>2</sup>			
Componentes em módulos	Material Metálico (kg)	Material Compósito (kg)	Redução (kg)
18 Pés de 2m	396	97,8	298,2
42 Traves 2m	252	62,2	189,8
25 Travessas	400	98,8	301,2
50 Tablados 2x1m	1400 (madeira)	1400 (madeira)	-
Total	2.448	1.658,8	789,2

Na tabela 7.2 pode-se observar que na montagem de um palco com estruturas em aço medindo 10mx10m, seu peso total é de 1.048kg e 2.448kg se somados ao peso dos tablados, enquanto que a mesma montagem feita com

z para 258,8kg e somados ao peso de tablado em compensado naval é de 1658,8kg. Apresenta-se uma redução em peso de 789,2kg.

A tabela 7.3 apresenta os custos de fabricação de um palco medindo 10mx10m, baseado em preço por quilo de cada material, consultado em 03 de dezembro de 2009. O quilo da peça fabricada em aço galvanizado é de R\$4,75 e do compósito é de R\$20,00. Veja a:

Tabela 7.3 . Preços de materiais para módulos de um palcos medindo 10mx10m.

Preços de materiais necessários para a montagem de u m palco 10x10m <sup>2</sup>				
Componentes em módulos	Material Metálico(kg)	Material Metálico (R\$)	Material Compósito (kg)	Material Compósito (R\$)
Pés	396	1.881,00	97,8	1.956,00
Traves	252	1.197,00	62,2	1.244,00
Travessas	400	1.900,00	98,8	1.976,00
Tablados 2x1m	1400 (madeira)	-	1400 (madeira)	-
Total	2.448	4.978,00	1.658,8	5.176,00

Para o projeto de um palco em estrutura metálica o custo de material para a confecção dos módulos é de R\$ 4.978,00 e para a construção em materiais compósitos reforçados com fibra de vidro é de R\$5.176,00. Ou seja, em relação ao custos iniciais a diferença é de R\$198,00. Considerada desprezível em relação aos benefícios relacionados ao uso do material compósito.

### 7.1 Análise e Comparativo dos Pontos Fortes e Fracos dos Materiais Estudados (Ameaças e Oportunidades)

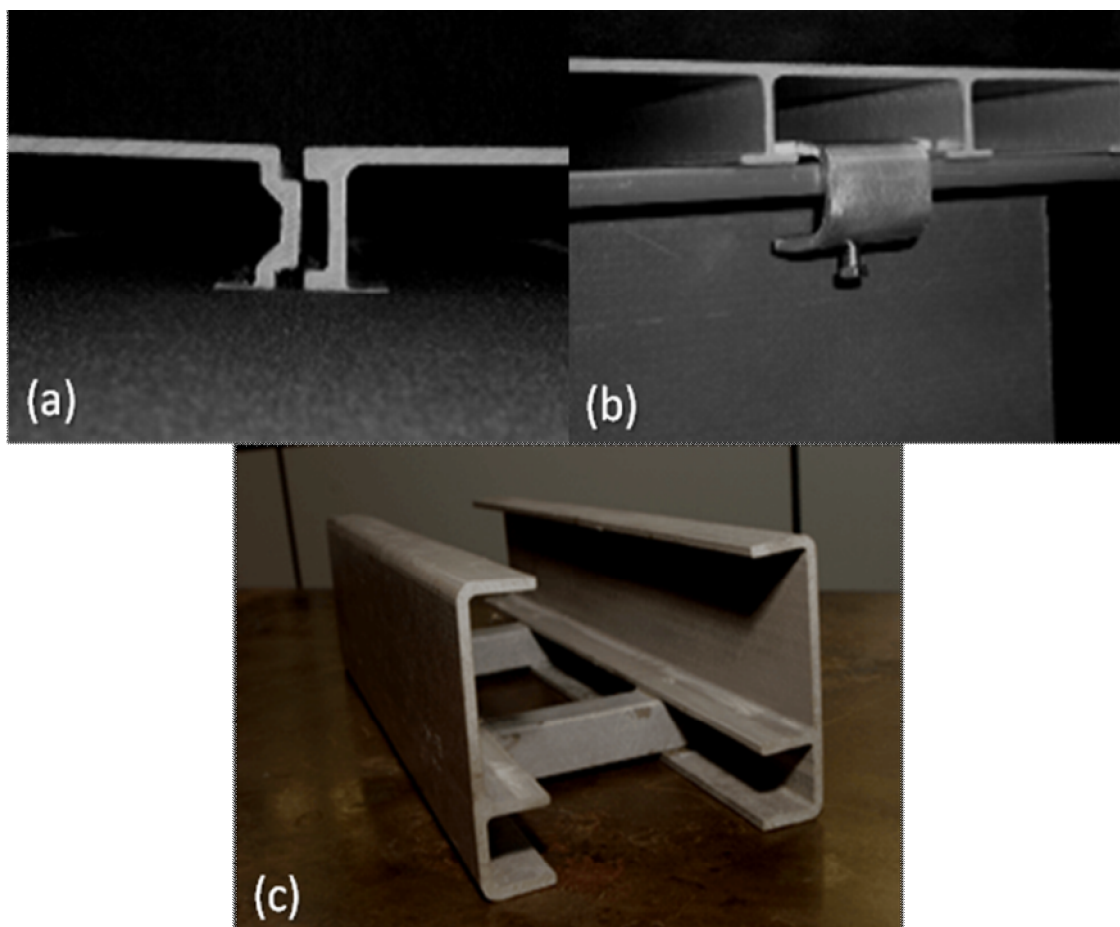
A tabela 7.4 apresenta alguns comparativos entre os materiais estudados.



oportunidades comparadas entre aços e compósitos.

Características	Materiais Compósitos	Materiais Metálicos
Resistência química e à Corrosão	Permitem a sua utilização em uma ampla gama de ambientes agressivos quimicamente. Além disso permite a utilização de aditivos especiais e resinas específicas para solucionar aplicações que requeiram propriedades além das usuais.	Estão sujeitos a corrosão e oxidação, e necessitam de pintura e galvanização para aumentar sua durabilidade
Relação (resistência/peso)	Baixa densidade, são +-75% mais leves que o aço	Alta densidade em alguns casos necessita de equipamentos de elevação como macacos
Condutividade elétrica	Baixa condutividade térmica	Condutor térmico e de eletricidade, possui potencial de aterramento
Resistência Mecânica (Força)	Alta resistência em relação ao peso,	Alta resistência
Rigidez	Não apresenta deformidade permanente sob a carga de trabalho, Módulo de flexão $0,8 \times 10^6$ PSI	Não apresenta deformidade permanente sob a carga de trabalho - Módulo de flexão $20 \times 10^6$ PSI
Resistência ao Impacto	Distribui a carga de impacto para prevenir os danos superficiais . não apresenta deformidade permanente sob impacto	Pode deformar-se permanentemente sob impacto
Versatilidade	Pigmentos da cor inerente . cores especiais disponíveis	Devem ser pintados de cor para manter a resistência à corrosão
Facilidade de fabricação	Fabricados com ferramentas manuais simples . A sua baixa densidade facilita a montagem e manuseio na instalação Fácil moldagem permitindo formas complexas	Requer equipamentos de tochas de solda e corte, bem como profissionais com o manuseio especial do ferramental
Custo	Custo de instalação e manutenção é igual a menores custos de ciclo de vida	Menor custo inicial
Sensação térmica	Agradável	Desagradável
Aparência estética	Boa aparência estética	Boa aparência estética
Resistência aos intempéries	Exposição a umidade, vento, sol, oscilações térmicas, pouco interferem nas características físico-químicas dos compósitos; Quando características não usuais são requeridas pode-se contar com o auxílio de protetores UV e resinas especiais.	São frágeis a oxidação atmosférica

A análise e os cálculos dos materiais compósitos foram baseados nas estruturas convencionais já fabricadas pela empresa, devido ao curto espaço de tempo para a elaboração desta proposta, porém existe a possibilidade de utilização de encaixes previamente projetados que podem facilitar a montagem e principalmente reduzir os custos decorrentes a mão de obra envolvida. A possibilidade de utilização dos materiais compósitos pultrudados para a substituição dos tablados utilizados hoje pela empresa em compensado naval, também devem ser consideradas, haja vista que os mesmos, após sucessivas montagens e desmontagens são danificados pelo processo de rebitagem dos módulos. Na figura 7.1 apresenta alguns exemplos de encaixes sugeridos para aplicação em materiais compósitos.



**Figura 7.1** - Conexões tongue and groove ( tipo lego) (CREATIVE PULTRUSION, 2009).

A competição entre o aço e o compósito é cada vez mais discutida; o custo com equipamentos e ferramentas para peças de compósitos apresenta baixo custo quando comparadas as peças em aço.

Alguns pontos a serem destacados dos materiais compósito são:

- Os custos totais de produção, incluindo montagem final que apresentaram-se acessíveis em relação ao projeto inicial;
  - A qualidade da peça, que inclui serviços e reposição, são competitivos;
  - O sistema de encaixe das peças elaboradas em compósitos pode proporcionar a eliminação de acessórios de fixação de metal, diminuindo custos de ferramentaria e montagem, através do processo de colagem com resina;
  - Por sua maior flexibilidade, adequa-se mais facilmente as novas tendências de *design*, de formas mais esbeltas ou arredondadas. Assim, desde que, usados processos adequados, os compósitos tornam-se também competitivos em termos de custos finais em relação as propriedades alcançadas, como a agilidade de carregamento, a integração entre as peças facilitada, potencializando a montagem de subconjuntos dos módulos estruturais. O sistema de encaixe das peças elaboradas em plásticos pode proporcionar a eliminação de acessórios de fixação de metal, diminuindo custos de ferramentaria e montagem. Assim, desde que, usados os melhores processos, os compósitos pultrudados podem ser competitivos em termos de custos finais.

## OS FUTUROS

- Testar o novo produto através de ensaios laboratoriais em corpos de prova, para determinação das propriedades mecânicas do compósito;
- Desenvolver um sistema estrutural para a confecção de um palco medindo 10mx10m em peças modulares desmontáveis, utilizando perfis pultrudados de materiais compósitos de resina poliéster reforçados em fibra de vidro;
- Desenvolvimento de uma Concha acústica em materiais pultrudados, destacando a cobertura pela redução do peso;
- Confecção de Pés direitos de pirâmides em sistemas de compósitos pultrudados;

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8800 - Projeto e execução de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios. (Método dos estados limites)**, Rio de Janeiro, 2003, 289p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6120** **É Cargas utilizadas para cálculos de estrutura**. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 6123** **É Forças devidas ao vento**. Rio de Janeiro, 1988, 66p.

\_\_\_\_\_. **NBR 8681** **É Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ASHBY, M. F; JONES, David R. H.. **Engenharia de materiais: volume II**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 436p.

\_\_\_\_\_. **Materials Selection in Mechanical Desing**. 3a ed. Burlington: Elsevier, 2005. 603p.

**ASTM D-3917 - Standard Specification for Dimensional Tolerance of Thermosetting Glass-reinforced Plastic Pultruded Shapes**. Seção 15.03. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, PA. 1992.

**ASTM D-4385 - Standard Practice for Classifying Visual Defects in Thermosetting Reinforced Plastic Pultruded Products**. Seção 15.03. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, PA. 1990.

BATALHA, Gilmar Ferreira. **Introdução a Manufatura Mecânica É Conformação Maciça (Volumétrica)**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.poli.usp.br/pmr/lefa/download/PMR2202-Conforma%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 02 setembro 2009.

BEER, Ferdinand Pierre; PEREIRA, Celso Pinto Morais. **Resistência dos materiais**. 3.ed. São Paulo: Makron Books, 1995. 1255 p.

CALLISTER, William. D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Editora LTC; 7ª Edição, 2008, 705p.

CBCA, **Centro Brasileiro de Construção em Aço**. Disponível em: <http://www.cbca-ibs.org.br>. Acesso em: 21 de outubro de 2009.

CBMC, **Companhia Brasileira de Materiais Compósitos**. Disponível em: <http://www.cbmc.ind.br/>. Acesso em: 13 de setembro de 2009.

COMPLEXO1001, **Site da empresa Silva & Silva Estruturas Metálicas ME**. Disponível em: [www.complexo1001.com.br](http://www.complexo1001.com.br). Acesso em 12 de agosto de 2009.

EUROCOMP DESIGN CODE AND HANDBOOK, **Í Projeto Estrutural De Compósitos Poliméricos**, Editado por *John L. Clarke* (1997). Disponível em: <http://www.lavoisier.fr/notice/fr042383.html>. Acesso em 03 de novembro de 2009

FARRAR, C. R.; Lieven, N. A. J. and Bement, M. T., **Í An Introduction to Damage Prognosis**, Capítulo 1 - *Damage Prognosis: For Aerospace Civil and Mechanical Systems*. 1ª Edição: John Wiley & Sons, 2005, 474p.

FIBERLINE, Disponível em: [www.fiberline.com](http://www.fiberline.com). Acesso em: 23 de outubro de 2009.

FIBERGLASS, Disponível em: [www.fiberglass.com.br](http://www.fiberglass.com.br). Acesso em: 12 de setembro de 2009.

GEMELLI, Enori. **Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização**. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 183 p.

GRONDEL, S., Assaad, J., Delebarre, C., Moulin, E.. **Í Health Monitoring of a Composite Wingbox Structure** - Ultrasonics 42, 2004, 824 p.

MEINCOL, **Distribuidora de aços**. disponível em: <http://www.meincol.com.br>. Acesso em: 20 de setembro de 2009.

MENDONÇA, P.T.R; **Materiais Compostos e Estruturas Sanduíche: projeto e análise**, 1ª edição. Barueri, São Paulo: Manole, 2005. 632p.

METÁLICA, **Portal de estruturas e construções civis industrializadas**. Disponível em: [www.metalica.com.br](http://www.metalica.com.br). Acesso em: 17 de outubro de 2009.

NETO, F.L. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. Editora: Edgard Blucher. 1ª Ed. São Paulo, 2006, 313p.

PANNONI, F.D; **Aços estruturais**, Especialista em Engenharia de Proteção Estrutural da Gerdau Açominas S.A . Apostilas. Disponível em: [http://www.cbca-ibs.org.br/nsite/site/acervo\\_item\\_listar\\_apostilas.asp](http://www.cbca-ibs.org.br/nsite/site/acervo_item_listar_apostilas.asp). Acesso em: 10 de outubro de 2009.

PULTRUSÃO. **Catálogos da Empresa Pultrusão do Brasil**. Disponível em [www.pultrusão.com.br](http://www.pultrusão.com.br). Acesso em 01 de dezembro de 2009.

SMITH, William F. **Princípios de ciência e engenharia dos Materiais**. 3.ed Lisboa: McGraw-Hill, 1998. 892 P.

VILLAÇA, S. F. **Introdução à teoria da elasticidade**: S. F. Villaça, L. F. Taborda Garcia. 3.ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Coppe/UFRJ, 1998. 247 p.



**PDF**  
Complete

*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

**ANEXO A Ë SOLUÇÕES DE ENGENHARIA APRESENTADOS PELA EMPRESA  
PARCEIRA DO PROJETO Ë PULTRUSÃO DO BRASIL**

## Aplicações de Engenharia

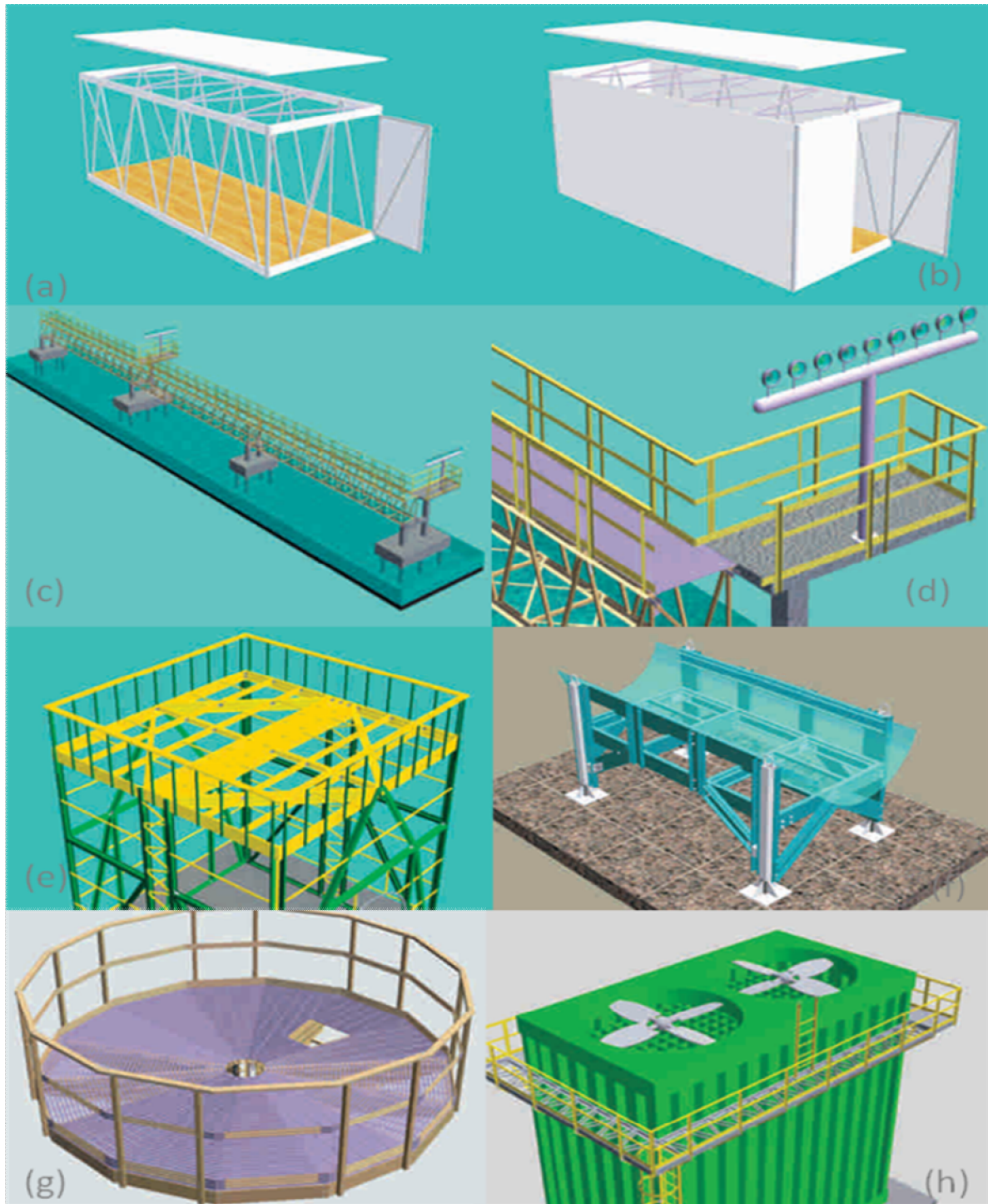
Alguns tipos de perfis sugeridos em materiais compósitos pultrudados reforçados com fibra de vidro para o desenvolvimento de novos projetos:



Anexo A.1 - Tipos de perfis pultrudados (Cortesia de Pultrusão do Brasil).



ria, protótipos fabricados pela empresa.



Anexo A Ë 2 - Soluções de Engenharia. (Cortesia de Pultrusão do Brasil).

Nas figuras (a) e (b) apresenta-se detalhes de contêiner habitacional; (c) e (d) passarela de aeroporto; e detalhe de uma torre de resfriamento; (f) Suporte para bombas; (g) Plataforma circular e (h) torre de resfriamento.



**PDF**  
Complete

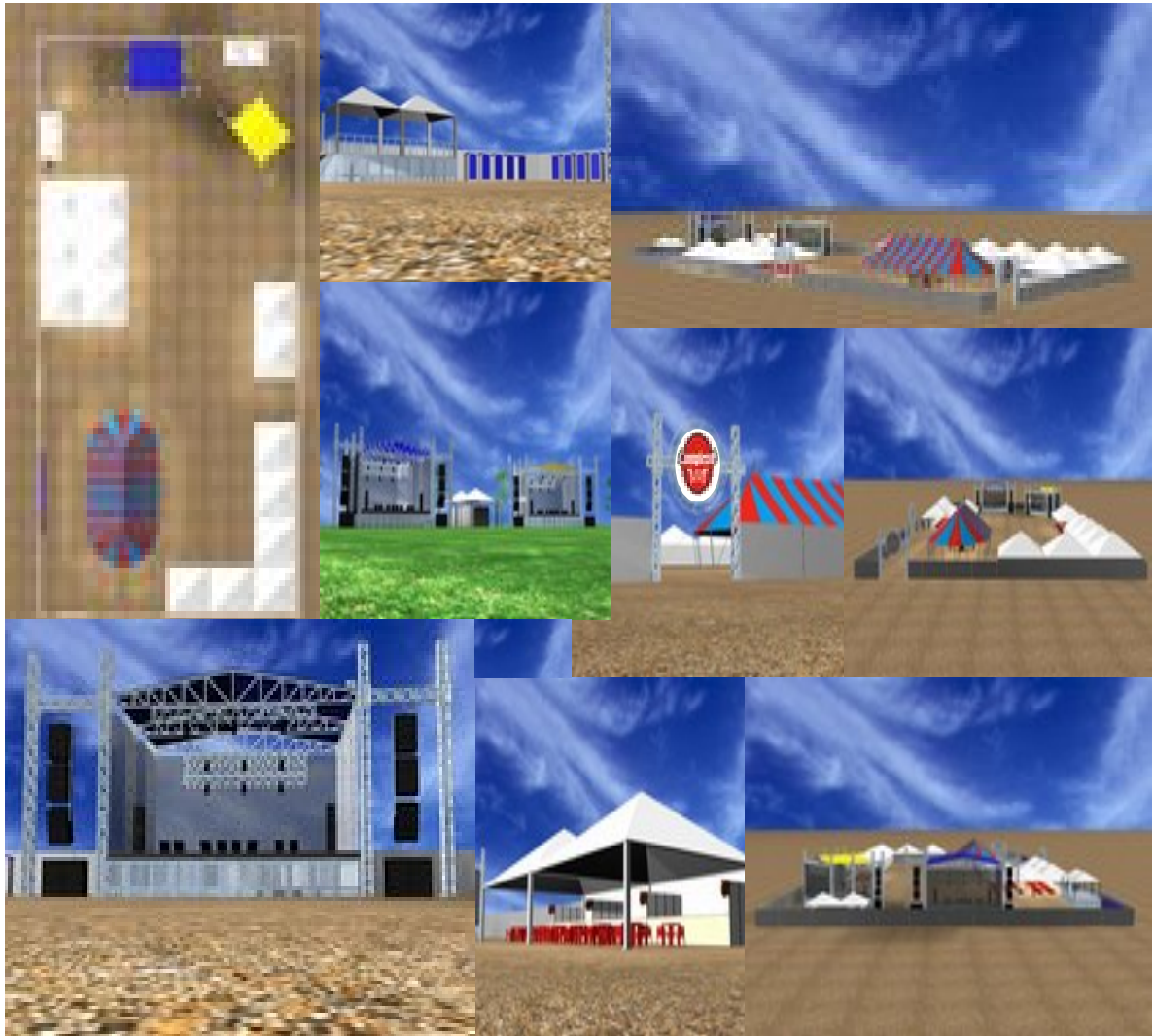
*Your complimentary  
use period has ended.  
Thank you for using  
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

**ANEXO B Ë IMAGENS DE PROJET OS DESENVOLVIDOS E EXECUTADOS  
PELA EMPREA SILVA & SILVA ESTRUTURAS METÁLICAS LTDA ME NO  
PERÍODO DE 2006 A 2009**

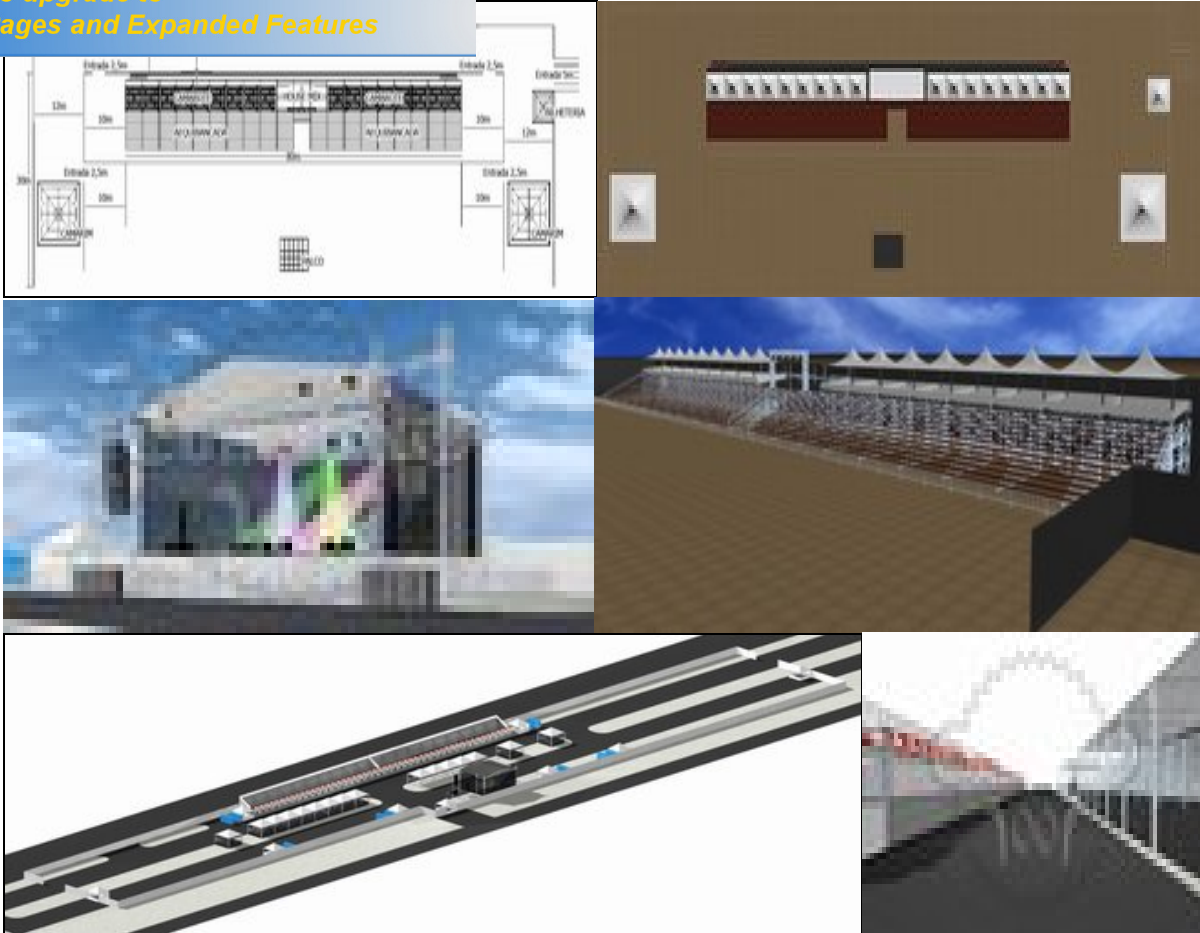
[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Projetos de Eventos de Sil va & Silva Estruturas Metálicas.

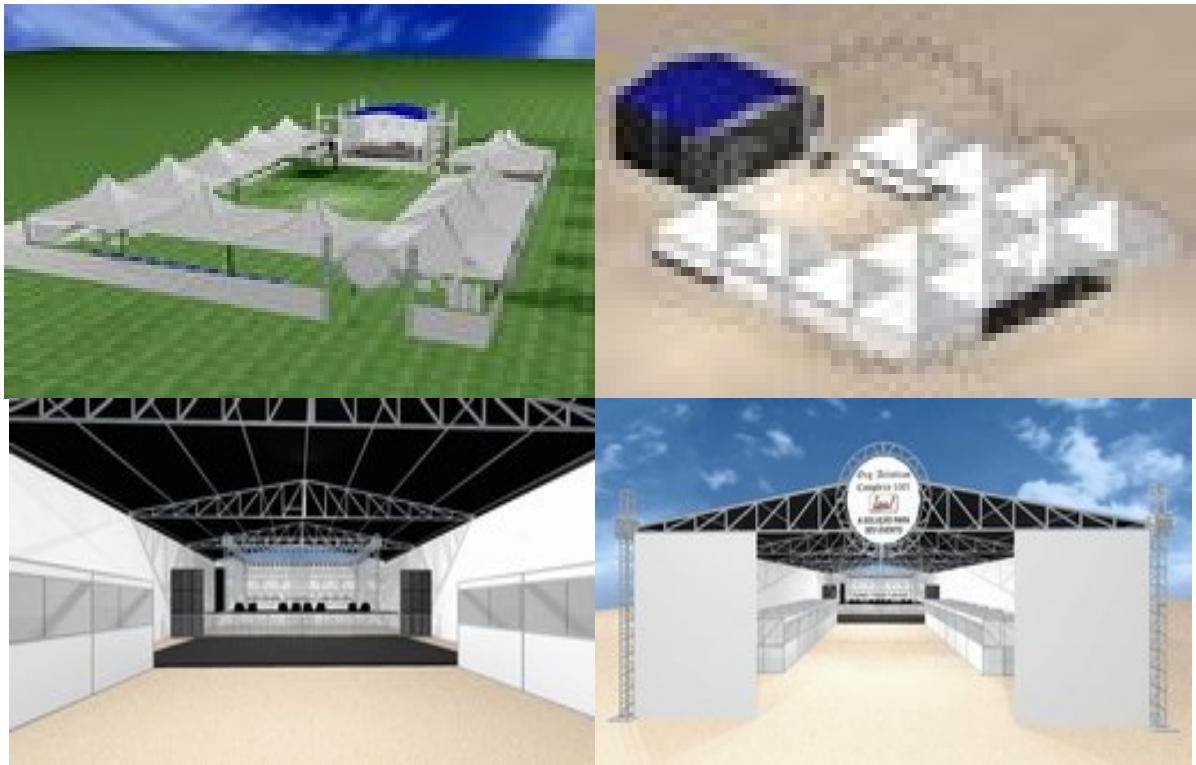


**Anexo B- 1** -Projeto do Reveilon 2008 de Imbituba-SC. (Adaptado de Silva & Silva Estruturas Metálicas LTDA ME).

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

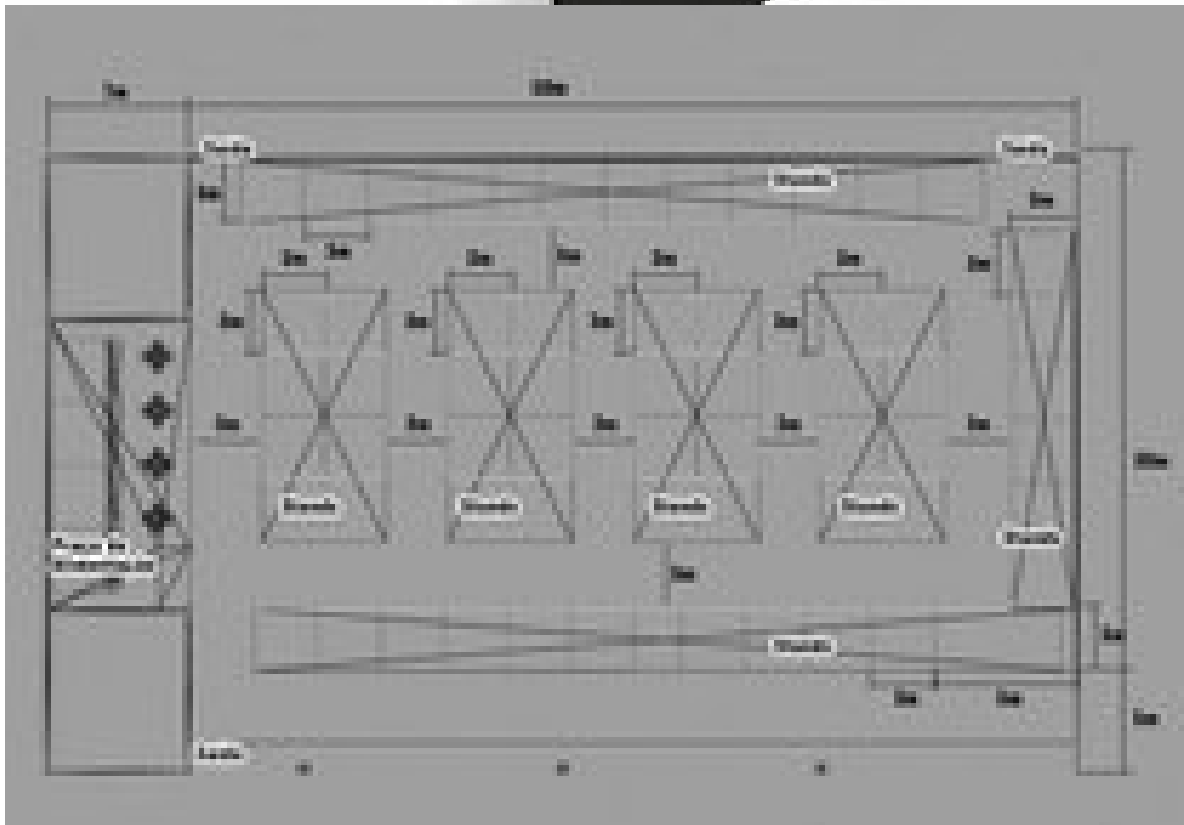


**Anexo B-2** -Projeto do Carnaval 2006 de Criciúma- SC. (Adaptado de Silva & Silva Estruturas Metálicas LTDA ME).



**Anexo B-3** - Estruturas montadas em arenas e festas em parques de CTG. (Adaptado de Silva & Silva Estruturas Metálicas LTDA ME).

[Click Here to upgrade to  
Unlimited Pages and Expanded Features](#)



**Anexo B- 4** - Projeto de estruturas montadas em ginásios ou centro de eventos para feiras e exposições. (Adaptado de Silva & Silva Estruturas Metálicas LTDA ME).