

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
RODRIGO CUNHA REZENDE

**APLICAÇÃO DA FIBRA DE CARBONO NA CONSTRUÇÃO DE BICICLETAS E
SEUS COMPONENTES**

Varginha

2012

RODRIGO CUNHA REZENDE

**APLICAÇÃO DA FIBRA DE CARBONO NA CONSTRUÇÃO DE BICICLETAS E
SEUS COMPONENTES**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito a obtenção do grau de bacharel, sob orientação do professor Esp. Erik Vitor da Silva.

Varginha

2012

RODRIGO CUNHA REZENDE

**APLICAÇÃO DA FIBRA DE CARBONO NA CONSTRUÇÃO DE BICICLETAS E
SEUS COMPONENTES**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta por:

Aprovado em / /

Prof. Esp. Erik Vitor da Silva

Obs.:

Dedico este trabalho primeiramente a meus familiares, aos meus professores, aos sinceros amigos de classe, aos companheiros de trabalho, e a todos que contribuíram para o seu bom desenvolvimento.

RESUMO

A busca pelo aperfeiçoamento e desenvolvimento de materiais foi sempre uma condição da existência do homem, não obstante a Engenharia sempre se apoiou na tecnologia dos materiais para se desenvolver. As atividades ciclísticas sempre se embasaram no desenvolvimento de tecnologias a fim de alavancar sua evolução. Neste estudo são avaliados todos os principais materiais que foram sendo utilizados ao longo do tempo para construções de bicicletas, suas qualidades e suas fragilidades, os motivos pelos quais estes materiais foram sendo substituídos para enfim entender sua contribuição e como chegamos às atuais aplicações com fibra de carbono. Serão abordados aspectos construtivos adotados, utilização adequada, alternativas de construção, características físicas, características de utilização, perfil do usuário, mercado consumidor, possibilidades de desenvolvimento e uso de novos tipos de fibra de carbono. Passando pelo estudo dos outros materiais utilizados na construção ciclística, suas características, métodos de obtenção, custos, processos de manufaturas, até podermos traçar um paralelo das vantagens e desvantagens do uso da fibra de carbono, frente a estes outros materiais, determinando então, até onde a fibra de carbono pode levar o desenvolvimento e evolução das bicicletas e seus componentes e principalmente evidenciando se realmente ela traz os grandes benefícios propagados pelo mercado. Amparados por uma análise criteriosa, que deverá ser feita colocando de lado a pressão comercial que existe toda vez que novos produtos entram no mercado, focando puramente nas vantagens tecnológicas, econômicas e principalmente nas vantagens que o usuário comum bem como o atleta de alto nível pode vir a obter com a escolha de bicicletas fabricadas em fibra de carbono.

Palavra Chave: Bicicleta. Construção. Fibra de Carbono.

ABSTRACT

The search for improvement and development of materials has always been a condition of man's existence and always relied on engineering materials technology to develop. Cycling activities has always supported the development of technologies seeking its evolution. In this study, all the major materials that have been used over the time to build bicycles are evaluated, their qualities and weaknesses, the reasons why these materials were being replaced to finally understand their contribution and how we go to today's fiber carbon applications. It will examine the constructive aspects adopted, appropriate use, alternative construction, physical characteristics, characteristics of use, user profile, consumer market, opportunities for development and the use of new kinds of carbon fiber. Passing through the study of other materials used in the construction of bicycles, their characteristics, methods of production, costs, manufacturing processes, we can draw a parallel between the advantages and disadvantages about using carbon fiber, compared to these other materials, determining then to where the carbon fiber can lead the development and evolution of bicycle components and especially evident if she really brings great benefits propagated by the market. Supported by a careful analysis, which should be done by putting aside the commercial pressure that exists whenever new products enter the market, focusing purely on technological and economical advantages, mainly on the advantages that the user as well as the top athlete might achieve with the choice of bicycles manufactured with carbon fiber.

Keywords: Bicycle. Construction. Fiber Carbon.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Fig 1 – Celerifero.....	12
Fig 2 – Partes principais da bicicleta.....	16
Fig 3 – Partes do quadro	17
Fig 4 – Bicicleta de passeio	21
Fig 5 – Bicicleta de BMX.....	22
Fig 6 – Bicicleta de Estrada.....	23
Fig 7 – Bicicleta de Contra Relógio	24
Fig 8 – Bicicleta de Ciclocross	24
Fig 9 – Bicicleta de Triátlon	25
Fig 10 – Bicicleta MTB XCO	26
Fig 11 – Bicicleta de Downhill.....	27
Fig 12 – Quadro em aço cromo molibdênio	29
Fig 13 – Garfo em aço cromo molibdênio.....	30
Fig 14 – Quadro cachimbado em liga de alumínio.....	30
Fig 15 – Quadro construído em titânio	32
Fig 16 – Bicicleta construída em fibra de carbono	33
Fig 17 – Quadro em fibra de carbono com rompimento total	33
Fig 18 – Fibras de carbono HS e IM.	57
Fig 19 – Fibras de carbono HM e UHM.....	58
Fig 20 – Orientações geométricas da fibra de carbono.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sistema de classificação dos aços AISI / SAE	36
Tabela 2 – Sistema de codificação DIN	38
Tabela 3 – Norma DIN	38
Tabela 4 – Propriedades Mecânicas Aço cromo molibdênio	40
Tabela 5 – Propriedades e tratamentos térmicos	40
Tabela 6 – Tensões mecânicas do aço	42
Tabela 7 – Composição química 6061	50
Tabela 8 – Propriedades mecânicas 6061	52
Tabela 9 – Composição química 7005	53
Tabela 10 – Propriedades mecânicas 7005	53
Tabela 11 – Propriedades mecânicas da fibra de carbono.....	58
Tabela 12 – Propriedades gerais da fibra de carbono	62
Tabela 13 – Quadro comparativo propriedades mecânicas	72
Tabela 14 – Quadro comparativo custos diretos	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 A BICICLETA	12
2.1 História da Bicicleta	12
2.2 Historia da bicicleta no Brasil	14
3 NOMECLATURA USUAL DAS PEÇAS E PARTES DE BICICLETAS	16
3.1 Quadro	17
3.2 Rodas	17
3.3 Guidão	18
3.4 Mesa	18
3.5 Freios	18
3.6 Transmissão	18
3.6.1 Catraca	19
3.6.2 Corrente	19
3.6.3 Pe de vela	19
3.6.4 Pedal	19
3.7 Banco / selim	20
3.8 Canote	20
3.9 Garfo / suspensão	20
3.10 Pneus	20
4 TIPOS DE BICICLETAS E SUA UTILIZAÇÃO	21
4.1 Passeio	21
4.2 BMX	22
4.3 Ciclismo de estrada	22
4.3.1 Estrada	22
4.3.2 Contra Relógio	24
4.3.3 Ciclocross	24
4.4 Triátlon	25
4.5 MTB XCO	25
4.6 Downhill	26
5 EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA FABRICAÇÃO DE BICICLETAS	28
5.1 Principais materiais utilizados na fabricação de bicicletas	34
5.1.1 Aço cromo molibidênio	35
5.1.1.2 Classificação dos aços	35
5.1.2 Alumínio	44
5.1.2.1 Origens do alumínio	44
5.1.2.2 Processos de fabricação do alumínio	45
5.1.2.2.1 Laminação	45
5.1.2.2.2 Laminação a quente	46
5.1.2.2.3 Laminação a frio	47
5.1.2.2.4 Extrusão	47
5.1.2.3 Propriedades e características do alumínio	48
5.1.2.4 Principais ligas de alumínio utilizadas na construção de bicicletas	49

5.1.2.4.1 Liga 6061	49
5.1.2.4.2 Liga 7005	52
5.1.3 Fibra de carbono	53
5.1.3.1 Origens da fibra de carbono	53
5.1.3.2 Processos de obtenção da fibra de carbono	54
5.1.3.3 Propriedades da fibra de carbono	56
5.1.3.4 Aplicação da fibra de carbono	62
5.1.3.5 Processos de produção de componentes à base de fibra de carbono	63
6 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE BICICLETAS	64
6.1 Processos de fabricação de bicicletas em aço molibidênio.....	64
6.2 Processos de fabricação de bicicletas em alumínio.....	65
6.3 Processos de fabricação de bicicletas em fibra de carbono	67
7 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE BICICLETAS CONSTRUIDAS EM AÇO CROMO MOLIBDÊNIO	69
8 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE BICICLETAS CONSTRUIDAS EM ALUMINIO.....	70
9 VANTAGENS E DESVANTAGENS DE BICICLETAS CONSTRUIDAS EM FIBRA DE CARBONO	71
10 COMPARATIVO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÂNICAS DO AÇO CROMO MOLIBDÊNIO DAS LIGAS DE ALUMÍNIO E DA FIBRA DE CARBONO	72
11 COMPARATIVO SIMPLIFICADO CUSTO DIRETO	73
12 CONCLUSÃO.....	74
REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

Desde que a bicicleta foi inventada seu desenvolvimento nunca parou, de um objeto um tanto quanto curioso no início, um meio de transporte através dos tempos, a bicicleta sempre encantou e mais modernamente surpreende pela alta tecnologia e capacidade de obter desempenho.

Sendo utilizada para as mais variadas aplicações, como lazer, transporte e competições, por todas as classes sociais e em praticamente em todos os países do mundo, o equipamento que muitos acreditaram estar fadado ao abandono com o surgimento dos motores de combustão interna e conseqüentemente com o advento das motocicletas. A bicicleta encontra-se em pleno desenvolvimento e se expande quer seja em quantidade, quer seja em qualidade. Atréados ao grande uso, como não poderia deixar de ser, este equipamento passou por grandes transformações em sua estrutura física e principalmente em seus materiais de construção que viriam a ter um desenvolvimento assombroso. Das rudimentares bicicletas de madeira, passando pelo aço, alumínio, vários outros materiais experimentais e chegando atualmente a fibra de carbono a bicicleta sempre buscou novas opções para sua construção. Desta forma, como não poderia deixar de ser à medida que a tecnologia dos materiais ia se desenvolvendo, as bicicletas recebiam aplicações de novos materiais em sua construção, certo que, em geral com um pouco de atraso em relação à indústria aeroespacial ou mesmo automobilística, porém buscando alternativas que trouxessem sempre melhora em seu desempenho. Esta melhora medida em menor peso, maior resistência mecânica, rigidez lateral e boa flexibilidade, características estas sempre difíceis de encontrar de forma simultânea nos materiais mais comumente utilizados para construção de bicicletas como o aço cromo molibdênio e mais modernamente as ligas de alumínio, sendo que esta última já apresentava boas características gerais e teve grande difusão nas construções de bicicletas nos últimos anos.

Com o já citado advento das ligas de alumínio nas construções de bicicletas experimentou-se um grande avanço, pois este material é consideravelmente leve, fácil de manufaturar, confere bom acabamento, tem preço acessível e apresenta boas características mecânicas. Muitos acreditavam que a solução estava no alumínio, porém a indústria aeroespacial reservava ainda um capítulo a parte na história das construções de bicicletas e seus acessórios. A fibra de carbono tão importante para as construções aeroespaciais e já em fase de grande difusão na indústria automobilística viria a ser o grande impulsionador da

recente transformação na construção de bicicletas. A fibra de carbono traria a tão sonhada leveza com grande resistência mecânica, aliando conforto e desempenho e permitindo a indústria da bicicleta desenvolver-se de forma nunca antes imaginada.

2 A BICICLETA

Segundo o pesquisador do Museu da Bicicleta de Joinville, Bustos (2006), um dos maiores inventos depois da roda, sem dúvida, foi à bicicleta.

Na antiguidade ela antecedeu aos motores a vapor e a explosão, além de ser considerado o “primeiro veículo mecânico” para o transporte individual.

2.1 História da bicicleta

Segundo o alguns autores, e de acordo com o pesquisador do Museu da Bicicleta de Joinville, Bustos (2006), estudos realizados por Leonardo da Vinci registrado em um código guardado pelo museu de Madri, pesquisado pelo professor Piccus da Universidade de Massachussets nos EUA, demonstra o surgimento da Transmissão por corrente. Nos séculos XV e XVI foram desenvolvidos diversos veículos de duas e quatro rodas acionados por mecanismo composto de corrente, alavanca e outros dispositivos. Todavia a historia da bicicleta tem inicio em 1790, quando o conde Sivrac da França idealiza o Celerífero, veículo primitivo de duas rodas ligadas por uma ponte de madeira em forma de cavalo e acionado por impulso alternado dos pés sobre o chão.

Figura1 – Celerífero



Fonte: Bustos, 2006 a

1816 - O barão alemão Karl Friedrich Christian Ludwig Van Sauerbroun Drais, adaptou uma direção ao celerífero, junto com o primeiro guidão apareceu a DRAISIANA.

1818 - Em Abril o barão Drais apresenta seu invento no parque de Luxemburgo em Paris, e meses mais tarde faz o trajeto Beaum - Dijon.

1820 - O escocês Kikpatrick Mcmillan adapta ao eixo trazeiro duas bielas, ligada por uma barra de ferro, isto provocou o avanço da roda trazeira.

1855 - O Frances Ernest Michaux inventa o pedal que foi instalado num veículo de duas rodas trazeira e uma dianteira os pedais eram ligados a roda dianteira e o invento ficou conhecido como velocípede.

1862 - Em Paris foram criados caminhos especiais nos parques para os velocípedes para não se misturarem as charretes e carroças, surgem assim às primeiras ciclovias. Neste mesmo ano Ernest Michaux consegue fabricar 142 unidades em doze meses.

1868 - São realizadas as primeiras provas de bicíclo nas categorias masculina e feminina.

1875 - Surge a primeira fábrica de bicicleta do mundo a Companhia Michaux.

1877 - Rousseau apresenta um dispositivo que por meio de duas correntes que multiplicava o giro da roda dianteira.

1880 - Vincent constrói a primeira bicicleta com transmissão aplicada ao cubo da roda trazeira.

1880 - Na Inglaterra Thomas Humbert inventa o quadro de quatro tubos, na Itália o plano esportivo vai se desenvolvendo e o Veloce Club de Firenze organiza a primeira corrida de bicicleta e o vencedor é Heste Rynner.

1885 - Guiusepe Pasta vence a primeira volta de Bastiones realizada em Milão.

1887 - Na Irlanda Jannes Boyd Dunlop inventa o pneu.

1891 - O francês Michelin lança o pneu desmontável.

1895 - Chega a Milão Raffaele Gatti que tinha competido no Tour do círculo Polar Ártico.

1898 - A Bicicleta chega ao Brasil.(BUSTO, 2006a).

A partir desta data temos visto sucessivas modificações técnicas na bicicleta, até aos nossos dias, a bicicleta vem sofrendo os mais variados aperfeiçoamentos em relação aos materiais empregados e aos vários tipos de aplicações relacionadas com a modalidade. O pleno reconhecimento da bicicleta enquanto veículo ocorreu no final do Século XIX, com a inclusão do “Ciclismo” na primeira Olimpíada da Era Moderna, na cidade de Atenas em 1896 foram cinco provas: Giro de Pista; Prova de 2.000 metros; Prova de 10.000 metros; Maratona de 100 km; Prova de resistência (12 horas) (BUSTOS, 2006).

2.2 História da bicicleta no Brasil

Segundo o pesquisador do Museu da Bicicleta de Joinville, Bustos (2006b), a história da bicicleta no Brasil é sempre um tema de certa polêmica, apesar de pouquíssimos estudiosos ou pessoas simpáticas ao tema, terem se debruçado sobre ele. Vários são os fatores que conduzem ou favoreçam a essa situação, com destaque, sem dúvida, à ausência de uma bibliografia específica, até por que, foram poucos a escreverem sobre o tema ao longo do séc. XX. Anterior a esse período, a coisa fica reduzida a notícias de jornais, e alguns informativos de clubes. No entanto, é consenso entre os pesquisadores que as primeiras bicicletas e bicis que chegaram ao Brasil no último quarto do séc. XIX ocorreu no eixo Rio/São Paulo. Ademais, soma-se aos fatores citados a grande ascendência cultural em nosso país, se, por um lado, as bicicletas eram um atrativo e um deleite para as classes mais abastadas, essa fase ocorreu praticamente em toda à Europa e também no Brasil, quando aconteceu a sua massificação nos pais, logo após a II Guerra Mundial, durante a década de 50, elas adquiriram o “status” de “veículo da classe trabalhadora”; ou seja: já discriminadas pela sociedade consumista do pós-guerra.

Outro dado de suma importância e pouco lembrado para os que desejam entender a razão de estarmos na contra mão dos países civilizados quanto à utilização racional da bicicleta, também remonta aos anos 50, mais especificamente, sob a presidência de Juscelino Kubitschek, quando este, mudou a “matriz” do transporte em nosso país. Fazendo a opção pelos veículos motorizados, inclusive, trazendo para cá, as primeiras montadoras de veículos leves, ônibus e caminhões. O desdobramento dessa política suicida que hoje pagamos o preço foi à imediata abertura de estradas por todo país e o sucateamento de nossas ferrovias, bem como, o banimento dos bondes que eram uma realidade nas grandes cidades brasileiras. Quanto à inclusão da bicicleta nesse processo, nada! Portanto, a ideia já nasceu morta, se é que chegou a nascer.

A conjuntura econômica de época não era ruim, e isso permitiu uma profusão de pequenas fábricas de bicicletas produzindo um excelente material em São Paulo (capital e interior), e objeto de nossa pesquisa. Citamos algumas das marcas encontradas: Role; Beckstar; Bluebird; Patavium; Cacique; NB; Scatt; Hélibia; Adaga, Vulcão; Caloi; Rivera; Bérghamo, Monark; Zeus; Luxor e Apolo. Essas marcas ainda tinham o desafio de concorrer com as importadas provenientes da Inglaterra, Itália, França, Suécia e Alemanha. As bicicletas eram importadas pelos magazines: Mesbla; Cássio Muniz; Lojas Pirani; Mappin e

Eletrorádiodoras. Havia espaço para o mercado crescer mais, afinal, o carro ainda era um sonho longínquo para a grande maioria, e a situação era confortável para os fabricantes até o advento da Revolução de 64, e as reformas monetárias que se seguiram. Os fabricantes que tinham dívidas atreladas ao dólar devido à importação, principalmente de máquinas, ruíram, pois o acesso aos empréstimos governamentais foi suspenso. Nesse contexto de dificuldades para a maioria, Caloi e Monark começaram a deslanchar em busca do domínio do mercado de bicicletas. As duas “grandes fábricas” vão pulverizando aos poucos as “pequenas notáveis” que sobreviveram, mediante aquisição e fechamento das marcas.

O monopólio de mercado se deu até o final da década de 80, com o advento mundial do Mountainbike e a abertura do mercado nacional já no início dos anos 90, inicialmente para as bicicletas produzidas em Taiwan e na China. A partir desse momento o mercado sofreu uma brutal transformação quer pela entrada de produtos com altíssima qualidade, bem como, o perfil do consumidor que passou a ser bem mais exigente. Em decorrência dessa nova situação Caloi e Monark quase naufragaram, sendo que a primeira deixou de ser uma empresa familiar, e sob uma administração competente, voltou a ocupar uma boa fatia no mercado nacional de bicicletas. A Monark restou buscar as origens, e sobrevive comercializando alguns modelos básicos e consagrados no mercado (BUSTOS, 2006b).

3 NOMENCLATURA USUAL DAS PEÇAS E PARTES DE BICICLETAS

As principais partes de uma bicicleta acabam sendo designadas por um a linguagem e nomenclaturas bem particulares, com algumas variações as principais peças são o quadro, rodas, guidão, mesa, freios, transmissão, catraca, corrente, pé de vela, pedal, banco, canote, garfo e pneus.

Figura 2 – Partes principais da bicicleta



Fonte: SPECIALIZED, [2012]

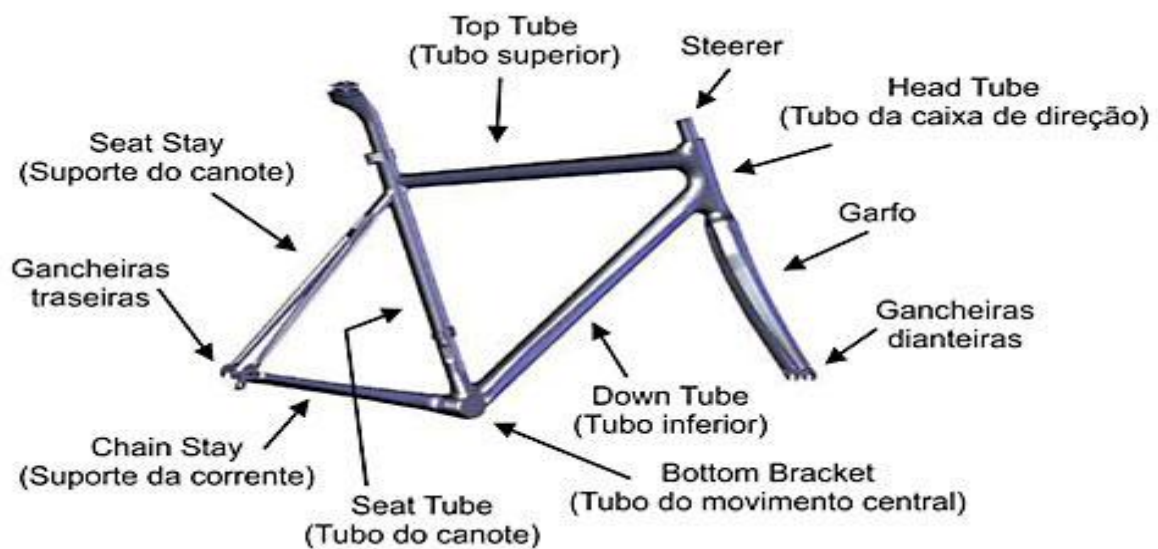
- 1 - Selim
- 2 - Canote de selim
- 3 - Guidão
- 4 - Mesa
- 5 - Manetes de freio
- 6 - Cabos de aço
- 7 - Freio dianteiro
- 8 - Pneu
- 9 - Roda dianteira
- 10 - Garfo
- 11 - Pedal
- 12 - Pedivela e engrenagem
- 13 - Corrente

- 14 - Roda livre e engrenagem
- 15 - Freio traseiro
- 16 - Quadro

3.1 Quadro

Principal sistema estrutural da bicicleta, considerado a alma da bicicleta, composto por tubo superior, tubo inferior, tubo do selim, caixa de direção, tubos da corrente, caixa central, responsável por sustentar o ciclista, juntamente com as rodas e o garfo recebe a maior parte dos esforços gerados no movimento. Faz a ligação entre todos os componentes da bicicleta. Fabricados em diversos tamanhos, materiais e formas, em sua maioria são rígidos, mas podem contar com sistema de amortecimento.

Figura 3 – Partes do quadro



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

3.2 Rodas

Responsável pelo deslocamento da bicicleta e também por receber os esforços gerados pelo movimento, transmitem em fase final a energia gerada pelo ciclista ao solo. Podem ser fabricadas nos mais diversos tamanhos e materiais, são compostas de aros, raios e cubos. Nos últimos tempos tem sido objeto de vários estudos tendo em vista a possibilidade de ganhos de desempenho através de melhorias em sua construção e redução de peso.

3.3 Guidão

Utilizado para dirigibilidade da bicicleta suporta as manoplas do freio e sistema de mudança de marchas em bicicletas que possuem este mecanismo. É basicamente um tubo que se prende o garfo através da mesa ou avanço. Pode ser fabricados em diversos tamanhos e modelos de acordo com a aplicação da bicicleta, apesar se sua simplicidade é um item de segurança.

3.4 Mesa

Une o guidão ao garfo e participa do conjunto de direção da bicicleta, podendo ser de várias formas e dimensões.

3.5 Freios

Mecanismo que sofreu grande desenvolvimento nos últimos tempos, pode utilizar o sistema de sapatas muito tradicional ou o sistema de discos, responsável por parar ou reduzir o movimento da bicicleta, também um item de segurança. Atualmente o mercado conta com modernos conjuntos de freio hidráulicos com alto poder de frenagem, sistemas de refrigeração e discos fabricados em materiais muito nobres.

3.6 Transmissão

Sistema que gera o movimento propriamente dito transfere a energia mecânica gerada pelo ciclista às rodas e estas por sua vez transmitem ao solo. Compostos geralmente por sistema de polia movida e motora. Podem ser muito simples de apenas um engrenamento, mas também podem contar com até trinta opções de redução em uma mesma bicicleta. São alvo de constante evolução tendo em vista sua função primordial.

3.6.1 Catraca

Também chamada de pinhão, é uma engrenagem que alojada na roda traseira e funciona como polia movida no sistema de transmissão, pode ser de apenas um engrenamento ou pode conter múltiplas reduções. Recebe pela corrente a energia mecânica gerada no pé de vela e transmite as rodas. Geralmente são construídas em aços especiais, pois recebem extremos esforços e está sujeitos a grande desgaste.

3.6.2 Corrente

Mecanismo gerado por união de elos que acompanham o passo de engrenamento da catraca e das coroas transmite de forma direta a energia mecânica das coroas (pé de vela) para a catraca. Construída em aço, mantém sua estrutura básica muito similar à sua concepção inicial. É um fator de quebras frequentes, pois além de sofrer muitos esforços precisa de manutenção apropriada e utilização correta. É utilizada em engrenamentos simples ou múltiplos.

3.6.3 Pé de vela

Sistema de alavancas acoplado a uma coroa que através da corrente transmite a energia mecânica gerada pelo ciclista para a catraca. É fixado ao quadro através de um conjunto de rolamentos chamado de caixa central que além de fixar ao quadro possibilita o movimento giratório impulsionado pelas pernas do ciclista. Geralmente o no pé de vela as alavancas o braços são construídos em alumínio e as coroas ou engrenagens em aço. No sistema de transmissão é a parte motora.

3.6.4 Pedal

Fixado ao pé de vela, transmite a este o movimento efetuado pelas pernas do ciclista. Geralmente construídos em aço ou alumínio.

3.7 Banco / selim

Destinado ao assento do ciclista durante o ato de pedalar, se liga ao quadro através do canote. Pode ser construído em material polimérico recoberto com espuma e couro, ou fibra sintética, possui um carro de material metálico para conectar-se ao canote. Tem papel muito importante na ergonomia do conjunto. Juntamente com os pedais sustenta o peso do ciclista.

3.8 Canote

Suporte do banco faz a ligação do quadro com o banco. Deve ter altura regulável para poder adaptar a altura do banco a altura do ciclista. Também de constituição simples, nasce a partir de um tubo que pode ser de aço, alumínio ou carbono, provido de um sistema de trava que se conecta ao carro do banco.

3.9 Garfo / suspensão

Liga a roda dianteira ao quadro através de um tubo chamado de espiga, quando é rígido chama-se garfo, quando é provido de amortecimento chama-se suspensão. A suspensão é um dos componentes providos de maior tecnologia e complexidade nas bicicletas, pode ser construído em vários metais, magnésio ou carbono. A suspensão geralmente utiliza sistema de amortecimento à mola ou ar e sistema de retorno hidráulico.

3.10 Pneus

Utiliza pneus que podem ser com câmara que são chamados *clincher* ou sem câmara conhecidos como tubulares. Atualmente utilizam-se também pneus *clincher* sem câmara da mesma forma que os pneus radiais, porém com um líquido a base de látex para vedar os furos.

4 TIPOS DE BICICLETAS E SUA UTILIZAÇÃO

Com a grande expansão do uso da bicicleta e os diversos aperfeiçoamentos e especificidades de cada modalidade, foram desenvolvidos diversos tipos de bicicleta entre eles se destacam: passeio, BMX, ciclismo de estrada, triátlon, MTB, Downhill.

4.1 Passeio

São consideradas de todas as bicicletas que não tem uma utilização específica e são utilizadas como meio de transporte. Podem ter engrenamentos simples ou várias reduções, podem também ser de vários tamanhos e modelos, geralmente são construídas em aço cromo molibdênio ou alumínio tem um baixo custo e não recebem altos níveis de exigência ou uso severo. Não existe preocupação com peso ou desempenho. Este segmento representa a maioria das bicicletas utilizadas mundo afora.

Figura 4 - Bicicleta de passeio



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

4.2 BMX

As bicicletas de BMX são normalmente construídas sobre rodas aro 20”, totalmente rígidas e de construção simples, são utilizadas para competições em circuitos fechados, dotados de uma sequencia de rampas. Este esporte recentemente foi enquadrado como esporte Olímpico e se encontra num estágio de ótimo desenvolvimento mundial. No Brasil o esporte começa a ganhar corpo e alguns pilotos já se destacam em nível internacional. As bicicletas para uso em alto nível são construídas em fibra de carbono, porém ainda é grande a difusão dos de alumínio e até são encontrados quadros e aço cromo molibdênio.

Figura 5 - Bicicleta de BMX



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

4.3 Ciclismo de estrada

As bicicletas de ciclismo de estrada são divididas basicamente em três grupos: bicicletas de estrada, contra relógio e Ciclocross.

4.3.1 Estrada

As bicicletas de estrada são também conhecidas como *Speed*, são utilizadas para corridas em estradas pavimentadas estão entre as mais antigas bicicletas utilizadas para competição. São totalmente rígidas, possuem transmissão com redução de marchas que atualmente pode chegar a trinta e três marchas, no esporte competitivo usa-se no máximo 22

reduções. Neste tipo de bicicleta acontecem os grandes desenvolvimentos tecnológicos, pois são as maiores estrelas do ciclismo. Atualmente as bicicletas de alto nível são fabricadas totalmente em fibra de carbono e tem peso abaixo de 6 Kg, este peso se justifica, pois esta bicicleta é uma especialista em subidas de montanha pavimentada. O ciclismo de estrada é um esporte tradicional e disputado em Olimpíadas há muito tempo. Quanto ao tamanho, estas bicicletas possuem padrão de rodas 700 c (620 mm), ficando ente as rodas 26” e 29”.

Figura 6 - Bicicleta de Estrada



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

4.3.2 Contra Relógio

As bicicletas de contra relógio são uma variação das bicicletas de estrada, no início nada mais eram do que bicicletas de estrada adaptadas para andar no plano. Hoje diferenciaram muito de suas precursoras. As bicicletas de contra relógio tem uma posição bem mais agressiva do que as demais bicicletas, principalmente no quesito aerodinâmico. São também conhecidas como *Time Trial*. As bicicletas de contra relógio são concebidas para competições em terrenos planos, nas quais o competidor corre individualmente largando cada competidor, mediante um intervalo de tempo. Como o ciclismo de estrada a modalidade contra relógio também faz parte das Olimpíadas, porém há menos tempo. Quanto à construção são em alumínio e ou fibra de carbono, também usam rodas tamanho 700c(620 mm).

Figura 7 – Bicicleta de Contra Relógio



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

4.3.3 Ciclocross

As Bicicletas de Ciclocross são uma evolução das bicicletas de estrada, porém com algumas adaptações que permitem que a mesma ande em terrenos não pavimentados como terra e barro. É uma modalidade muito difundida na Europa mais ainda com pouca aceitação em outros continentes. Quanto à geometria e custo são similares as bicicletas de estrada.

Figura 8 – Bicicleta de Ciclocross



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

4.4 Triátlon

As Bicicletas de Triátlon até bem pouco tempo atrás não diferenciavam em nada das bicicletas de contra relógio. Com a grande expansão do Triátlon e também dos “Iron Man” as bicicletas de triátlon sofreram algumas modificações em ângulos de quadro, avanços e transmissão com intuito principal de serem mais específicas as exigências dos triatletas.

Figura 9 – Bicicleta de Triátlon



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

4.5 MTB XCO

As bicicletas MTB ou Mountain Bikes são atualmente o tipo que mais cresce e se desenvolve no que tange ao número de usuários. Com a inserção em 1996 nos jogos Olímpicos de Atlanta a modalidade teve um grande crescimento que de forma incrível ainda permanece acelerado. O tamanho mais difundido entre estas bicicletas, é o de rodas 26”, porém o mercado de bicicletas com rodas aro 29” se expande a cada dia, já sendo nos Estados Unidos e Europa considerado uma febre. Ao contrário dos modelos citados a MTB XCO conta com suspensão dianteira no lugar do garfo e eventualmente com suspensão traseira. Estes equipamentos se justificam devido ao terreno onde esta bicicleta é usada. Normalmente estas bicicletas se destinam a estradas de terras, trilhas leves, lama e terrenos acidentados de um modo geral. São geralmente construídas em liga de alumínio, porém a fibra de carbono está muito difundida na construção de quadros e componentes.

Figura 10 – Bicicleta de MTB XCO



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

4.6 Downhill

As bicicletas de Downhill são bicicletas específicas para descidas extremas em montanha e trilhas pesadas, são também utilizadas para saltos e outras aplicações severas em descida de montanha. São as bicicletas que mais se assemelham a motos, pois contam com uma grande suspensão dianteira e quase sempre com suspensão traseira. Necessitam de potentes freios e componentes muito reforçados. São geralmente em alumínio, mas a fibra de carbono já começa a entrar em várias marcas.

Figura 11 – Bicicleta de Downhill



Fonte: BIKEMAGAZINE, [2012]

5 EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA A FABRICAÇÃO DE BICICLETAS

De acordo com pesquisas e publicações recentes, o aço cromo molibdênio passou a ser utilizado em escala mundial em bicicletas devido à ociosidade das empresas bélicas afetadas pelo desarmamento no início dos anos 80 início dos anos 90. Estas empresas inicialmente a serviço de finalidades militares se viram em necessidade de conseguir outro ramo a fim de manter sua sobrevivência. Neste panorama, várias destas empresas enxergaram na bicicleta um mercado em desenvolvimento e com grande potencial.

Inicialmente o material escolhido foi o aço carbono que viria a ser substituído pelo aço cromo molibdênio, que com características excepcionais de resistência mecânica, resistência a corrosão facilidade de soldagem e processos de fabricação conseguiria unir boa resistência e um relativo baixo peso. Além destas características o aço cromo molibdênio também é um material de ótima flexibilidade, o que gera conforto ao usuário da bicicleta. Durante muito tempo mais precisamente o início dos anos 90 o aço cromo molibdênio reinou com o grande material na construção ciclística mesmo tendo como fragilidade o problema da corrosão principalmente se sujeito a maresias.

Com o crescimento exponencial do mountain bike nos primeiros anos da década de 90, o aço cromo molibdênio começou a ser substituído pelo alumínio e utilizado largamente em bicicletas de montanha. Apresentado um peso específico reduzido, boas qualidades mecânicas em suas ligas termicamente tratáveis, este material tem níveis baixíssimos de corrosão boa rigidez, apresenta algumas dificuldades quanto a processos de fabricação e reparos, mas de qualquer forma hoje domina o mercado de construção ciclística, sendo de longe o material mais utilizado.

Em paralelo a grande massificação da utilização do alumínio o mercado começa a utilizar em fase experimental a fibra de carbono. Este material vem com a promessa de aliar as boas qualidades de seus antecessores: ótima resistência mecânica com baixíssimo peso boa flexibilidade e totalmente isento de corrosão. O carbono, porém apresentava algumas restrições como dificuldade em obtenção da matéria prima, processos de obtenção e fabricação da matéria prima, caros, o que elevava de forma significativa o preço final do produto.

Na continua busca por desenvolvimento chegamos ao titânio que seria o material ideal, leve, resistente, flexível, imune a oxidação. Mesmo com todos os fatores positivos o titânio continua como uma promessa principalmente devido ao alto custo.

As primeiras bicicletas eram de madeira, pois este material é bem trabalhável e até hoje se pode utilizá-lo. De vez em quando alguém mostra alguma bicicleta curiosa feita de madeira, ou peças “Cult”, como aros, ou bagageiros, mas logo o aço tomou conta. Primeiro o aço carbono, até hoje utilizado na fabricação de bicicletas de baixa gama. Um tanto pesado, mas muito resistente à fadiga, à tração e é dúctil. Pense na bicicleta feita pra carregar carga, as cargueiras que vemos nas ruas transportando produtos, triciclos carregando galões de água, etc.(ASBICICLETAS, 2012).

Figura 12 - Quadro em aço cromo molibdênio



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

Mas logo as corridas de bicicleta impuseram outras necessidades: o baixo peso. Assim, se descobriu a utilização do aço cromo-molibdênio, outra liga de aço (liga 4130), que o tornava bem mais resistente. Com isso, poderia fazer tubos de quadros bem mais finos, de paredes mais finas (e, portanto, mais leves) com a mesma resistência e assim, os tubos de cromo-molibdênio, durante décadas, dominaram os quadros das bicicletas de competição; tubos de paredes finíssimas, de até 0,2 ou 0,1 mm de espessura apenas.

Figura 13 – Garfo em aço cromo molibdênio



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

O interessante nas ligas metálicas é que elas podem mudar com a adição de apenas 0,1% de um material, e suas características mudam bastante! O aço cromo-molibdênio reinou por décadas, até que uma empresa francesa, fabricante de tubos para quadros, e depois de bicicletas também, resolve começar a fazer quadros de alumínio (AS BICICLETAS, 2012).

Figura 14 – Quadro cachimbado em liga de alumínio



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

Essa empresa era a Vitus, que inicialmente fazia quadros cachimbados de alumínio. Usava os cachimbos e não soldava os tubos, colava-os. Com isso, a solda, que não era feita, não afetava o material. Um modelo seu, a Vitus 992, tornou-se lendária no mundo das corridas. Um dos maiores ciclistas dos anos 80, Sean Kelly, gostava tanto dessa bike que usava esse quadro mesmo quando o fabricante/patrocinador era outro: adesivava o quadro e assim corria. O fato de Sean gostar da bicicleta atesta sua qualidade: Kelly ganhou nada mais do que nove vezes algumas das provas mais clássicas das clássicas, as monumentais: milan-san-remo (1986, 1992), paris-roubaix (1984, 1986), liège-batogne-liège (1984, 1989), giro di lombardia (1983, 1985, 1991), mas logo a indústria aprendeu a soldar quadros de alumínio. Os primeiros rompiam-se, mas descobriram logo que a solda precisava de certo tratamento térmico para evitar que enfraquecesse o quadro, e o alumínio, primeiro na liga 6061, e mais recentemente, na liga 7005, passou a dominar o mercado de bicicletas (ASBBICILETAS, 2012).

Os quadros leves de tubos largos logo se impuseram no mercado, seja pela leveza, seja pela facilidade de produção em larguíssima escala, coisa que agradou muito os fabricantes americanos que terceirizaram sua produção para a Ásia, mas enquanto o alumínio começava a se difundir como material, a mesma Vitus, que o lançara no mercado, passou a produzir quadros em fibra de carbono. Na verdade, eram os mesmos quadros colados de alumínio, com os três tubos principais do quadro substituídos por tubos de fibra de carbono. A fibra de carbono revolucionou o mercado, graças à sua plasticidade e permitiu que formas antes impensáveis se tornassem reais. Em paralelo ao desenvolvimento do alumínio nos quadros de bikes e a chegada da fibra de carbono, surgiram também os quadros de titânio, com características semelhantes no conforto aos quadros de cromo-molibdênio, mas inoxidáveis, belos e caros.

O aço, principalmente o cromo-molibdênio liga 4130, é de longe o mais antigo a ser utilizado, portanto tem a tecnologia mais difundida. Assim, qualquer oficina que possua uma máquina de solda é capaz de fazer um reparo, mesmo que ruim, num quadro de cromo. A solda e a brazagem do aço são dominadas há tempo, portanto nenhum outro material se presta melhor aqueles detalhes que cicloturistas adoram: passadores de cabos em vários lugares, suporte para bomba de ar, e até suporte de raios sobressalentes, além de olhais para aparafusar bagageiros, para-lamas e todos aqueles locais para colocar suportes de caramanhola, isso sem falar no conhecido e difundido conforto dos quadros de aço (ASBBICILETAS, 2012).

Figura 15 - Quadro construído em titânio



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

Mas nem tudo no cromo-molibdênio é vantagem. Eles não são resistentes à oxidação, pedem boas pinturas e cuidado nesse aspecto. E não só isso, como qualquer liga metálica, é mais difícil embora não impossível fazer seus tubos em outras formas que não a redonda. Há quem faça quadros com tubos ovalizados, mas são caros.

O alumínio era inicialmente acusado de ser mole e flexível demais. Mas com as medidas de tubos maiores (Over) e os tratamentos térmicos, adquiriu uma dureza sem igual, além de os quadros em alumínio 7005 serem ainda mais duros. A vantagem é que se você está sprintando ou está subindo um morro, quanto menor for a flexão lateral do quadro, melhor. É claro, o fato de ser praticamente imune à oxidação ajuda muito, mas é sempre acusado de ser pouco resistente à fadiga e desconfortável. Por isso, são raras as boas bikes de cicloturismo em alumínio, mas muito comuns em bikes de competição até hoje. A Cannondale é quem hoje faz os melhores quadros de alumínio (em liga 6069). Há quadros excelentes tanto em alumínio 6061 quanto em alumínio 7005. São ligas diferentes com comportamentos diferentes, e o alumínio, não importa a liga, precisa de tratamento térmico após a solda, pois os pontos de solda ficarão muito fragilizados.

O titânio sempre pecou pelo preço alto e pela dificuldade nas soldas. Por conta disso, não possui aqueles pequenos detalhes que tanto encantam muitos ciclistas, mas são belos, mesmo meramente polidos e inoxidáveis (ASBICICLETAS, 2012).

Figura 16 - Bicicleta construída em fibra de carbono



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

A fibra de carbono começa apenas como material exótico. Depois ficam leves ao serem produzidas peças cada vez com paredes mais finas. Sua resistência varia de acordo com o feitio. No intuito de produzir peças cada vez mais leves, a indústria às vezes falha na manutenção da resistência. O resultado são peças de carbono quebradas com certa facilidade, havendo inclusive um blog especializado em publicar fotos de peças de carbono rachadas, quebradas, dobradas, etc. É o busted carbon (ASBICICLETAS, 2012).

Fig. 17 - Quadro em fibra de carbono com rompimento total



Fonte: ASBICICLETAS, [2012]

Não se pode negar que as bicicletas de competição mais arrojadas são feitas em fibra de carbono. Sua grande plasticidade permite que se façam quadros com as formas mais variadas, e muito reforçadas, exatamente nos pontos de maior esforço. Por outro lado, essa mesma plasticidade permite que se construam quadros com formas muito, mas muito aerodinâmicas, e não só quadros, mas guidões, mesas, avanços, aros de rodas, etc. Há outro fator no mundo ciclístico que temos que levar em consideração, a dinâmica industrial. Há décadas a indústria norteia-se pela produção de itens menos duráveis com ciclo de consumo mais curto, para que encerrado esse ciclo, possa-se vender outro produto.

Acrescenta-se a isso a obsolescência programada, que faz com que o produto esteja obsoleto embora ainda usável, pois não há mais peças de reposição ou as exigências de seu uso aumentaram. Isso é muito visível com os computadores que em dois anos fica obsoleto, em quatro ele não roda mais os programas necessários para se realizar as ações mais triviais. Os computadores surgem cada vez com mais memória e mais memória é exigida pelos softwares. No caso dos quadros, a obsolescência programada aparece na alteração do diâmetro das rodas. Por exemplo, de 27" . (630 mm) para 700c (622 mm), ou a utilização de 650c (571 mm) em algumas bikes e 26" . (559 mm) em outras. São pequenas variações de diâmetro, mas que impedem que se utilize um ou outro na mesma bicicleta sem uma drástica alteração nos freios (salvo em caso de uso de freios a disco) e também não haja intercâmbio no uso de componentes: raios, aros e pneus.

Bem, desta forma quando se compra uma bicicleta ou um quadro novo, não se leva em conta apenas o design e à geometria. Há também outros detalhes a serem vistos, como as soldas, o material utilizado, nas medidas que usa (de canote de selim, da caixa de direção da caixa do movimento central – se de rosca italiana, inglesa, BB30 ou BB90) e do posicionamento dos freios entre outros detalhes muito importantes (ASBICICLETAS, 2012).

5.1 Principais materiais utilizados na fabricação de bicicletas

Atualmente os principais materiais utilizados em fabricação de bicicletas são o aço cromo molibdênio, as ligas de alumínio e a fibra de carbono. Além destes existem outros como o titânio, o Escândio, fibras vegetais (bambu) e materiais poliméricos, porém como ainda são aplicações muito restritas não serão alvo deste estudo.

5.1.1 Aço cromo molibdênio

Como já foi citado anteriormente, o aço cromo molibdênio é uma liga que contém algumas particularidades, sua constituição básica é o ferro, carbono, cromo e molibdênio. Sendo assim apresenta alta resistência mecânica, possibilitando a construção de materiais, ou partes destes com a mesma resistência de outros aços e com menos da metade do peso. Seus principais componentes o cromo e o molibdênio aumentam a capacidade tempera destes aços. Existem ainda outros efeitos destes componentes no aço se bem que ainda não totalmente esclarecidos. O cromo aplica boa resistência à corrosão, oxidação, principalmente altas temperaturas e à abrasão, porém apresenta dificuldades de resistir a corrosão quando exposto a maresias. O molibdênio atua na capacidade de tempera, especificamente aumentando a resistência à tração e à deformação causadas quando expostas a temperaturas extremas. Os aços das classes citadas (4130) são tradicionalmente tratados termicamente de acordo com os objetivos e características que se pretende obter.

O aço cromo molibdênio a liga mais utilizado em fabricação de bicicletas é a liga 4130 que em geral é uma liga de bom processamento, pertencentes a ligas de baixo carbono. Seu valor de 0,30 % de carbono é o valor de corte, pois ligas acima de 0,30% de carbono já se tornam de mais difícil soldagem.

5.1.1.2 Classificação dos aços de acordo com a Norma Society Of Automotive Engineer - SAE

Segundo a SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEER - SAE, (1980) os vários tipos de aços utilizados na indústria da construção mecânica podem ser classificados com o seu sistema próprio de codificação SAE/AISI que usa em geral quatro algarismos na forma ABXX onde:

A e B - números que identificam os principais elementos de liga presentes no aço e seus teores dados em porcentagem de peso.

XX - indicam a porcentagem em peso de carbono do aço multiplicado por 100.

Isso significa dizer que um aço identificado como 1045 contém 0,45 % em peso de carbono em sua composição química.

Quando a letra B aparece entre os dois primeiros números e os dois últimos indica que o aço tem um teor de boro no mínimo 0,0005% em peso (o boro, quanto presente no aço em teores muito baixos, facilita a têmpera do aço, aumentando a sua resistência).

Quando o teor de carbono excede 1% o sistema admite a utilização de cinco algarismos. O aço prata, utilizado principalmente na fabricação de anéis, esferas e roletes de rolamentos, pois apresenta uma dureza elevada, é codificado como 52100 o que corresponde a, 1,5% Cr e 1% de carbono.

Sistema de classificação dos aços AISI/SAE

Tabela 1 – Sistema de classificação dos aços AISI / SAE

Designação		TIPO DE AÇO
SAE	AISI	
10XX	C10XX	Aços carbono comuns
11XX	C11XX	Aços de usinagem (ou corte) fácil, com alto S
13XX	13XX	Aço manganês com 1,75% de Mn
23XX	23XX	Aços Níquel com 3,5% de Ni
25XX	25XX	Aços Níquel com 5,0% de Ni
31XX	31XX	Aços Níquel Cromo com 1,25% de Ni e 0,65% de Cr
33XX	E33XX	Aços Níquel Cromo com 3,5 % de Ni e 1,55 Cr
40XX	40XX	Aços Molibdênio com 0,25% de Mo
41XX	41XX	Aços Cromo Molibdênio com 0,50% ou 0,90% de Cr e 0,12% ou 0,20% de Mo
43XX	43XX	Aços Níquel cromo com molibdênio com 1,80% de Ni e 0,20% ou 0,25% de Mo

46XX	46XX	Aços Níquel Molibdênio com 1,55% ou 1,80% de Ni e 0,20% ou 0,25% de Mo
47XX	47XX	Aços Níquel Cromo Molibdênio com 1,05% de Ni, 0,45% de Cr e 0,20 de Mo
48XX	48XX	Aços Níquel Molibdênio com 3,5 % de Ni e 0,25% de Mo
50XX	50XX	Aços cromo com 0,28% ou 0,65% de Cr
50BXX	50BXX	Aços cromo boro com baixo teor de Cr e no mínimo 0,0005% de B
51XX	51XX	Aços cromo com 0,80 a 1,05% de Cr
61XX	61XX	Aço cromo vanádio com 0,8 ou 0,95% de Cr a 0,1% ou 0,15% de v
86XX	86XX	Aços níquel molibdênio com baixos teores de Ni, Cr e Mo
87XX	87XX	Idem
92XX	92XX	Aço silício manganês com 0,85% de Mn e 2,0% de Si
93XX	93XX	Aços silício manganês com 3,25% de Ni, 1,20% de Cr e 0,12% de Mo
94BXX	94BXX	Aço níquel cromo molibdênio com baixos teores de Ni, Mo e no mínimo 0,0005% de B
98XX	98XX	Aço níquel cromo molibdênio com 1,0% de Ni, 0,80 de Cr e 0,25% de Mo

Fonte: Sistema de codificação *Society Of Automotive Engineer* – SAE, 2010

Sistema de Codificação *Deustesches Intitut Fur Normung-* DIN (DIN EM 10027-1), 2005.

Tabela 2 - Sistema de Codificação DIN

Elemento	Fator
Cr,Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
Ce, N, P, S	100
B	1000

Fonte: *Deustesches Intitut Fur Normung-* DIN, 2005.

Segundo a Interpretação da Codificação da *DEUSTESCHES INTITUT FUR NORMUNG-* DIN, (2005) um número que é 100 vezes o teor especificado de carbono. Caracteriza-se pelo uso dos símbolos dos elementos químicos que indicam os elementos de liga que caracterizam o aço em questão. A sequencia dos símbolos deve estar em ordem decrescente de seu teor, quando o valor dos teores for o mesmo para dois ou mais elementos, os símbolos correspondentes devem ser indicados em ordem alfabética. Cada número representa, respectivamente, a percentagem média do elemento indicado, multiplicado pelos fatores dados pela tabela codificação SAE e arredondados para o mais próximo inteiro, números que se referem a diferentes elementos devem ser separados por hífens. Desta forma: Aço 37CrS4 - Este aço possui 0,37% de Carbono, 0,90% de Cromo ($4 \times 0,90=3,60\%$, arredondando = 4) além do enxofre.

Norma DIN / Tipo de Aplicação

Tabela 3 – Norma DIN

DIN N° Data	TIPO APLICAÇÃO
-------------	----------------

1629 - Jan 61	Aços não ligados para tubos sem costura
1651 - Abr 70	Aços de usinagem fácil
1654 - Mar 80	Aços para parafusos
17100 - Jan 80	Aços para construção em geral
17115 - Ago 72	Aços para correntes soldadas
17135 - Mar 64	Aços resistentes ao envelhecimento
17155 - Jan 59	Aços para caldeiras
17200 - Nov 84	Aços para beneficiamento
17210 - Dez 69	Aços para cementação
17211 - Ago 70	Aços para nitretação
17212 - Ago 72	Aços para têmpera por chama ou indução
17221 - Dez 72	Aços laminados a quente para molas beneficiadas
17222 - Ago 79	Aços laminados a frio para molas
17225 - Abr 55	Aços resistentes ao calor para molas
17230 - Set 80	Aços para rolamentos
17240 - Jul 76	Aços resistentes ao calor para porcas e parafusos

Fonte: *Deustesches Intitut Fur Normung-* DIN, 2010.

Fatores que Influenciam as Propriedades Mecânicas

Tabela 4 - Propriedades Mecânicas dos aços

PROPRIEDADES	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Al
Aumenta dureza	X	X	X		X					
Aumenta a resistência	X	X	X		X				X	
Diminui a ductilidade	X		X	X						
Diminui a soldabilidade	X									
Desoxidante		X			X					X
Aumenta a resistência ao impacto						X				
Aumenta a resistência a corrosão							X			
Aumenta a temperabilidade							X	X		
Aumenta a resistência abrasão							X			
Aumenta resistência altas temperaturas								X		

Fonte: TECEM, 2012

Propriedades Térmicas: Influência nas Propriedades Mecânicas

Tabela 5 – Propriedades e tratamentos térmicos dos aços

TRATAMENO	FINALIDADE	PROCESSO
-----------	------------	----------

TÉRMICO		
RECOZIMENTO	Remoção de tensões deixadas no aço por trabalho a frio. Diminui a dureza e as tensões de escoamento e ruptura. Amolece o aço.	Aquecimento seguido de resfriamento no próprio forno (lentamente).
NORMALIZAÇÃO	Homogeneização da microestrutura e alívio de tensões internas causadoras de empenamento.	Aquecimento seguido de resfriamento ao ar.
PATENTEAMENTO	Obtensão de uma estrutura que combine com alta resistência a tração, boa ductilidade (especial para arames de alta taxa de trefilação), resultando em alta tenacidade.	Aquecimento seguido de resfriamento em banhos de chumbo líquido a 450C.
TÊMPERA	Obtensão de um micro estrutura interna extremamente dura (martensita) que aumenta o limite de resistência a traça e também a sua dureza.	Aquecimento a alta temperatura seguido de resfriamento rápido (em água ou óleo)
REVENIMENTO	Acompanha a têmpera, aliviando ou removendo as tensões internas deixadas por ela, e corrigindo as excessivas dureza e fragilidade do material, melhorando sua ductilidade.	Aquecimento e permanência em temperatura de 250 a 550 C, seguido de resfriamento.
CEMENTAÇÃO	Aumentar a dureza e resistência ao desgaste superficial (por fricção ou atrito), enquanto mantém o núcleo	Aquecimento em conjunto com uma substância em carbono permitindo a difusão do

	(miolo) do material ainda dúctil.	© para o aço.
--	-----------------------------------	---------------

Fonte: TECEM, 2012

O aço cromo molibdênio mais utilizado em fabricação de bicicletas é a liga 4130 que em geral é uma liga de bom processamento, pertencentes a ligas de baixo carbono. Seu valor de 0,30 % de carbono é o valor de corte, pois ligas acima de 0,30% de carbono já se tornam de mais difícil soldagem.

Tensões médias e alongamento aproximado dos materiais

Tabela 6 – Tensões mecânicas dos aços

Material	Tensão de ruptura			Tensão	along.	OBSERVAÇÕES
	kgf / cm ²			esc.		
	Tração	Compres.	Cisalham.	tração	%	
	Tr	Tr-c	Tr-s	kgf / cm ²		
Aço estrutural	4000	4000	3000	2000	30	Aços carbonos recozidos ou normalizados
SAE 1010	3500	3500	2600	1300	33	
SAE 1015	3850	3850	2900	1750	30	
SAE 1020	4200	4200	3200	1930	26	
SAE 1025	4650	4650	3500	2100	22	
SAE 1030	5000	5000	3750	2300	20	
SAE 1040	5800	5800	4350	2620	18	
SAE 1050	6500	6500	4900	3600	15	
SAE 1070	7000	7000	5250	4200	9	
SAE 2330	7400	7400	5500	6300	20	Aço níquel, recozido ou normalizado
SAE 2340	7000	7000	5250	4850	25	
SAE 3120	6300	6300	4750	5300	22	Aço níquel-cromo, recozido ou normalizado
SAE 3130	6800	6800	5100	5900	20	
SAE 3140	7500	7500	5600	6500	17	

SAE 4130	6900	6900	5200	5750	20	Aço cromo-molibdênio, recozido ou normalizado
SAE 4140	7600	7600	5700	6500	17	
SAE 4150	8150	8150	6100	6900	15	
SAE 4320	8400	8400	6300	6500	19	Aço níquel-cromo- molibdênio, recozido ou normalizado
SAE 4340	8600	8600	6500	7400	15	
Material	Tensão de ruptura			Tensão	along.	OBSERVAÇÕES
	kgf / cm ²			esc.		
	Tração	Compres.	Cisalham.	tração	%	
	Tr	Tr-c	Tr-s	kgf / cm ²		
SAE 4620	6200	6200	4650	5100	23	Aço níquel-molibdênio, recozido ou normalizado
SAE 4640	8200	8200	6150	6700	15	
SAE 4820	6900	6900	5200	4700	22	
SAE 5120	6100	6100	4600	4900	23	Aço cromo, recozido ou normalizado
SAE 5140	7400	7400	5500	6200	18	
SAE 5150	8150	8150	6100	7000	16	
SAE 6120	6500	6500	4850	6400	18	Aço Cr-V, recoz.ou normaliz.
SAE 8620	6200	6200	4650	5600	18	Aço Cromo-níquel- molibdênio, recozido ou normalizado
SAE 8640	7500	7500	5600	6300	14	
AISI 301	7700	7700	5800	2800	55	Aço inoxidável cromo- níquel
AISI 302	6300	6300	4700	2480	55	
AISI 310	6900	6900	5150	3150	45	
AISI 316	6000	6000	4500	2460	55	
AISI 410	4900	4900	3700	2640	30	Aço inoxidável cromo
AISI 420	6700	6700	5000	3500	25	
Material	Tensão de ruptura			Tensão	along.	OBSERVAÇÕES
	kgf / cm ²			esc.		
	Tração	Compres.	Cisalham.	tração	%	
	Tr	Tr-c	Tr-s	kgf / cm ²		

Ferro Fundido	1200 a 2400	6000 a 8500				
Cobre	2250	2250	1680	700	45	
Latão	3420	3420	2550	1200	57	
Bronze	2800	2800	2100		50	
Br.Fosforoso	5250	5250	3950	4500	25	
Alumínio	1800	1800	1350	700	22	
Metal Patente	790	790	590	100		

Fonte: *Society Of Automotive Engineer* – SAE, 1980.

5.1.2 Alumínio

O alumínio em sua forma metálica tem baixo peso específico, muito dútil e com relativa resistência mecânica, característica esta passível de modificações mediante á tratamentos térmicos. Apresenta-se na cor cinza também podendo ter um tom chumbo claro, nem todas as suas ligas podem ser submetidas a tratamento térmico. O alumínio é um excelente condutor de eletricidade, não é tóxico como metal nem magnético utilizado amplamente nas mais diversas aplicações da Engenharia.

5.1.2.1 Origens do alumínio

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL, (2012), há sete milênios, ceramistas da Pérsia já produziam seus vasos com um tipo de barro que continha óxido de alumínio, que hoje conhecemos como alumina. Trinta séculos mais tarde, egípcios e babilônios usaram outra substância contendo alumínio na fabricação de cosméticos e produtos medicinais. Até então, nada se sabia sobre o metal na forma como o conhecemos hoje. Apesar de ser o 3º mais abundante do planeta, o metal puro não é encontrado naturalmente. O processo percorrido até conhecermos o alumínio na sua forma atual foi longo:

- Em 6000 A.C., os Persas fabricaram potes e recipientes de argila que continham óxido de alumínio (Al_2O_3);
- Em 3000 A.C., argilas com alumina eram utilizadas por povos antigos do Egito e Babilônia para a fabricação de cosméticos, medicamentos e corantes de tecidos;

- Em 1809, primeira obtenção do que até então mais se aproximava do alumínio. Humphrey Davy foi o mentor da descoberta, fundindo ferro na presença de alumina;
- Em 1821, o francês P. Berthier descobre um minério avermelhado, que contém 52% de óxido de alumínio, perto da aldeia de Lês Baux, no sul da França. É a descoberta da bauxita, o minério mais comum de alumínio;
- Em 1825, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted consegue isolar o alumínio de outra maneira, a partir do cloreto de alumínio na forma como é conhecido hoje;
- Em 1854, primeira obtenção do alumínio por via química, realizada por Henry Saint Claire Deville.
- Em 1855, Deville mostra, na exposição de Paris, o primeiro lingote de um metal muito mais leve que o ferro;
- Em 1866 torna-se público o processo de obtenção de alumínio por meio da redução eletrolítica da alumina dissolvida em banho fundido de criolita. Esse procedimento foi desenvolvido separadamente pelo norte-americano Charles Martin Hall e pelo francês Paul Louis Toussaint Héroult, que o descobriram e o patentearam quase simultaneamente. Esse processo ficou conhecido como Hall-Héroult e foi o que permitiu o estabelecimento da indústria global do alumínio;
- Em 1945 na cidade de Ouro Preto (MG) é produzido o primeiro lingote de alumínio do Hemisfério Sul, na fábrica da Elquisa. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO – ABAL, 2012).

5.1.2.2 Processos de fabricação do alumínio

Laminação, trefilação e extrusão.

5.1.2.2.1 Laminação

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL, (2012), a laminação é o processo de transformação mecânica que consiste na redução da seção transversal por compressão do metal, por meio da passagem entre dois cilindros de aço ou ferro fundido com eixos paralelos que giram em torno de si mesmos. Esta seção transversal é retangular e referem-se a produtos laminados planos de alumínio e suas ligas, compreendendo desde chapas grossas com espessuras de 150 mm, usadas em usinas atômicas, até folhas com

espessura de 0,005 mm, usadas em condensadores. Existem dois processos tradicionais de laminação de alumínio: laminação a quente e laminação a frio. Atualmente, a indústria também se utiliza da laminação contínua. Os principais tipos de produtos laminados são: chapas planas ou bobinadas, folhas e discos. Esses semimanufaturados têm diversas aplicações em setores como transportes (carrocerias para ônibus, equipamentos rodoviários, elementos estruturais, etc.), construção civil (telhas, fachadas, calhas, rufos, etc.), embalagens (latas, descartáveis e flexíveis) e bens de consumo (painéis, utensílios domésticos, etc.).

5.1.2.2.2 Laminação a quente

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL, (2012), a laminação a quente promove reduções da seção transversal com o metal a uma temperatura mínima de aproximadamente 350°C (igual à temperatura de recristalização do alumínio). A ductilidade do metal a temperaturas desta ordem é máxima e, nesse processo ocorre a recristalização dinâmica na deformação plástica. Concepções mais modernas do processo de laminação a quente podem apresentar em linha, após o desbastamento, em um laminador reversível, uma cadeia de vários laminadores, denominada de "tandem", que reduz a espessura do material para cerca de 2 mm. Uma unidade de laminação a quente contém: laminador, refusão (unidade de fundição de placas), fornos de pré-aquecimento para placas, tratamentos térmicos de homogeneização (distribuição mais homogênea dos elementos microconstituintes químico-metalúrgicos), tesouras rotativas e guilhotinas para cortes laterais e longitudinais do material laminado, serras para cortes das extremidades e faceadeira para usinagem das superfícies. A deformação a frio confere encruamento ao alumínio. Aumenta os limites de resistência à tração e ao escoamento, com diminuição do alongamento. Esse procedimento produz um metal com bom acabamento superficial e preciso controle dimensional.

5.1.2.2.3 Laminação a frio

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL, (2012), a laminação a frio realiza-se a temperaturas bem inferiores às de recristalização do alumínio. A matéria-prima é oriunda da laminação a quente. A laminação a frio é executada, geralmente, em laminadores quádruplos, reversíveis ou não, sendo este último mais empregado. O número de passes depende da espessura inicial da matéria-prima, da espessura final, da liga e da

têmpera do produto desejado. Os laminadores estão dimensionados para reduções de seções entre 30% e 70% por passe, dependendo, também, das características do material em questão. Laminadores mais sofisticados possuem sistemas computadorizados de controle de espessura e de planicidade. Na laminação a frio utilizam-se dois recursos: tensões avante e tensões a ré. Ambas aliviam o esforço de compressão exercido pelos cilindros ou aumentam a capacidade de redução por passe. Estes recursos são também responsáveis pela redução da espessura no caso de laminação de folhas finas, em que os cilindros de laminação estão em contato e praticamente sem abertura perceptível. Os produtos laminados de alumínio são utilizados em todas as operações metalúrgicas usuais de chapas, incluindo aquelas que exigem do metal de excepcional ductilidade, como é o caso de processos como estampagem, extrusão por impacto, perfilação (roletagem), etc. Recozimentos intermediários podem ser realizados para amolecimento (recristalização) e para facilitar posterior laminação ou determinar têmperas específicas. Os produtos laminados a frio mais finos (folhas), com espessura de até 0,005 mm, são produzidos em laminadores específicos, que concebem o processo de laminação de folhas duplas com lubrificação entre elas. Outro processo atualmente muito utilizado é o de laminação contínua que elimina a etapa de laminação a quente. O alumínio é solidificado entre dois cilindros refrigerados internamente por água, que giram em torno de seus eixos, produzindo uma chapa com seção retangular e espessura aproximada de 6 mm. Posteriormente, esta chapa é enrolada, obtendo-se assim um produto similar àquele obtido por laminação a quente. Porém, este produto apresentará uma estrutura bruta de fusão bastante refinada, dada a alta eficiência do refinador de grão utilizado no vazamento.

5.1.2.2 .4 Extrusão

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL, (2012), os tubos de alumínio extrudidos são tubos de metal fabricados a partir de alumínio e produzidos pelo método de extrusão. A extrusão é um processo de fabricação que é concebido para produzir objetos (como tubagens) de um perfil em corte transversal fixo. O alumínio é estirado ou empurrado através de uma matriz, e o molde é fabricado na forma da secção transversal desejada. Os tubos trefilados recebem um tratamento térmico em baixa temperatura. A trefilação provoca uma deformação do tubo, reduzindo o seu tamanho e as suas extremidades através da força tração. O processo ainda determina a espessura do tubo trefilado. São tubos de alta precisão, produzidos para atenderem a uma série de especificações

técnicas, como para o trabalho em sistemas aerodinâmicos, em conjuntos estruturais mecânicos e em máquinas, ferramentas e outros tipos de equipamentos. Eles são aplicados em equipamentos que exigem boa qualidade de superfície, propriedades impermeáveis e resistência mecânica. Os tubos trefilados recebem amplo acompanhamento durante sua fabricação. Além da deformação propriamente dita, são purificados através de banhos químicos e, dependendo da necessidade, recebem tratamento térmico. Podem ser forjados com ou sem costura e ganham os mais diversos acabamentos: lisos (mais utilizado em retíficas), cromados ou pintados. Têm inúmeras aplicações, mas são essenciais na indústria automotiva, para a produção de pneumáticos, cilindros hidráulicos e sistemas de fluidos dinâmicos fabricação de quadros para bicicletas. Em todos esses empregos, necessitam de máxima precisão, já que as falhas podem fazer perder o produto final. A tubulação pode, ainda, ser fabricada sem a necessidade de precisão. Este tipo de trefilado leva em consideração mais a resistência e é aplicado na indústria moveleira, na composição de estruturas e na montagem de poços artesianos e usinas de tratamento de água. De modo geral, os tubos trefilados têm excelente condutividade, são leves, anticorrosivos e são moldados com facilidade, o que permite seu emprego na montagem de sistemas de refrigeração. Podem ser empregados por empresas de telecomunicações, onde serão utilizados na cobertura e proteção de fios.

5.1.2.3 Propriedades e características do alumínio

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL, (2012), a composição química: do alumínio e suas ligas são expressas em percentagem, obedecendo a Norma NBR 6834 da ABNT. Esta norma abrange sistemas de classificação das ligas trabalháveis, das ligas para fundição, peças, lingotes e de alumínio primário, além de densidade nominal das ligas trabalháveis de alumínio. Um dos aspectos que tornam as ligas de alumínio tão atraentes como materiais de construção mecânica é o fato de o alumínio poder combinar-se com a maioria dos metais de engenharia, chamados de elementos de liga. Com essas associações, é possível obter características tecnológicas ajustadas de acordo com a aplicação do produto final. Mas para isso, é preciso conhecer bem as vantagens e limitações de cada elemento para fazer a melhor seleção.

O alumínio tem uma densidade de $2,7 \text{ g/cm}^3$, aproximadamente um terço da densidade do aço.

As ligas de alumínio têm normalmente uma resistência à tração de 70 a 700 Mpa. A gama para as ligas utilizadas em extrusão é de 150 a 300 Mpa. Ao contrário do que sucede com a maioria dos aços, o alumínio não se torna quebradiço a baixas temperaturas. Pelo contrário, a sua resistência aumenta. As altas temperaturas, a resistência do alumínio diminui. As temperaturas que se mantenham acima dos 100°C, a resistência é afetada, de tal modo, que o enfraquecimento deve ser tido em consideração.

A expansão linear em comparação com outros metais, o alumínio tem um coeficiente de expansão linear relativamente elevado. Isto tem de ser tido em conta em determinados projetos.

A maleabilidade superior do alumínio é essencial para a extrusão. Com o metal quente ou frio, esta característica é também explorada na laminagem de bandas e chapas, bem como no encurvamento e noutras operações de moldagem.

A maquinagem do alumínio é feita com facilidade utilizando a maior parte dos métodos de maquinagem: fresagem, perfuração, corte punçoamento e encurvamento. O afluxo de energia durante a maquinagem é baixo. O alumínio é fácil de maquinar mediante a utilização da maioria dos métodos de maquinagem.

As uniões são frequentemente incorporadas na concepção dos perfis elementos que facilitam a união. A soldadura (por fusão, por fricção), a aglutinação e a colagem topo a topo são também utilizadas para união.

O alumínio é um excelente condutor de calor e de eletricidade. O peso de um condutor de alumínio é aproximadamente metade do peso de um condutor de cobre com a mesma condutividade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO – ABAL, 2012).

5.1.2.4 Principais ligas de alumínio utilizadas na construção de bicicletas

As principais ligas de alumínio utilizadas na fabricação de bicicletas são a liga 6061 e a liga 7005.

5.1.2.4.1 Liga 6061

Segundo o (INFOMET, 2012), as ligas da série 6xxx apresentam duas características que justificam o seu uso mais frequente quando comparadas às demais ligas de alumínio: a capacidade de endurecimento por precipitação (são termicamente tratáveis) aliada à facilidade de serem extrudadas. Estas ligas apresentam elevada ductilidade, que permite o seu uso em

operações que acarretam elevados graus de deformação, como a extrusão. Por esse motivo, as ligas Al-Mg-Si representam a maior parte do volume de ligas de alumínio extrudada. Além da maior facilidade de serem trabalhadas, quando comparadas com as demais ligas termicamente tratáveis (Al-Zn-Mg e Al-Cu), as ligas Al-Mg-Si apresentam maior soldabilidade e maior resistência à corrosão do que as demais ligas termicamente tratáveis (Al-Zn-Mg e Al-Cu). Assim, as ligas da série 6xxx são as mais utilizadas comercialmente. As ligas de alumínio da série 6xxx são utilizadas em uma ampla variedade de aplicações, desde o uso em perfis de arquitetura, como é o caso das ligas mais diluídas e conseqüentemente de menor resistência mecânica, como a 6063 e a 6060, até as chamadas ligas de aplicação estrutural com maiores teores de elementos de liga e maior dureza, como a 6061 e a 6351, com grande potencial de aplicação na indústria automobilística, naval e fabricação de bicicletas.

Composição química de ligas Al-Mg-Si 6XXX

Tabela 7 – Composição química

Liga	Mg	Si	Cu	Mn	Cr
6101	0,6	0,5	-	-	-
6201	0,8	0,7	-	-	-
6009	0,6	0,8	0,37	0,5	-
6010	0,8	1,0	0,37	0,5	-
6013	1,0	0,8	0,9	0,6	-
6022	0,58	1,28	0,07	0,08	-
6151	0,6	0,9	-	-	0,25
6351	0,6	1,0	-	0,6	-
6951	0,6	0,35	0,28	-	-
6053	1,2	0,7	-	-	0,25
6061	1,0	0,6	0,2	0,28	0,2
6262	1,0	0,6	0,28	-	0,09
6063	0,7	0,4	-	-	-
6066	1,1	1,3	1,0	0,8	-
6070	0,8	1,3	0,28	0,7	-

Fonte: INFOMET, 2012

Propriedades mecânicas de ligas Al-Mg-Si 6XXX

Tabela 8 – propriedades mecânicas

Liga	Têmpera	Limite de	Limite de	Alongamento	Dureza	Limite de
------	---------	-----------	-----------	-------------	--------	-----------

		resistência à tração (MPa)	resistência ao escoamento (MPa)	em 50 mm (%)	Brinell	resistência à fadiga (MPa)
6101	T6	220	195	15	71	-
6201	T81	330	-	6	-	105
6009	T4	230	125	25	62	-
6010	T4	290	170	24	78	-
6013	T651	406	372	9	132	-
6151	T6	330	295	17	100	85
6351	T6, T651	340	295	13	95	90
6951	T6	270	230	13	82	-
6053	T6	255	220	13	80	90
6063	T6	240	215	12	73	70
6463	T6	240	215	12	74	70
6061	T6	310	275	12	95	95
6262	T9	400	380	10	120	90
6066	T6, T651	395	360	12	120	110
6070	T6	380	350	10	120	95

Fonte: INFOMET, 2012

5.1.2.4.2 Liga 7005

Segundo o (INFOMET, 2012), entre as ligas da série 7XXX (Al-Zn) destacam-se os subgrupos Al-Zn-Mg e Al-Zn-Mg-Cu (7005). Assim como as ligas Al-Cu e Al-Mg-Si são ligas endurecíveis por precipitação, ou seja, mediante tratamento térmico controlado em condições específicas, geralmente de solubilização e envelhecimento, apresentam ganhos significativos de dureza. Encontram sua principal aplicação na fabricação de aviões, automóveis e bicicletas, uma vez que essas ligas da série 7XXX são aquelas que atingem os níveis mais elevados de resistência mecânica entre as ligas de alumínio. Apesar de sua elevada resistência mecânica, as ligas Al-Zn-Mg foram estudadas por muito tempo, principalmente com o intuito de superar a desvantagem significativa causada por sua baixa resistência à corrosão sobtensão. Nos últimos anos as ligas Al-Zn-Mg têm recebido muita atenção. Essas ligas contêm teores reduzidos de zinco e magnésio com pequenas adições de manganês, cromo, titânio e zircônio. O cobre é eliminado ou limitado a teores muito baixos. Esse controle de composição química reflete-se na completa solubilização dos elementos de liga em temperaturas de tratamento térmico em contraste com as ligas de uso aeronáutico e alta resistência mecânica. Os níveis de resistência mecânica ótimos são atingidos mesmo com taxas de resfriamento lentas.

Composição química de algumas ligas da série 7XXX (% em massa)

Tabela 9 – composição química

Liga	Zn	Mg	Cu	Mn	Cr	Zr	Ti	Al
7001	7,4	3,0	2,1	-	0,26	-	-	Bal.
7005	4,5	1,4	-	0,45	0,13	0,14	0,03	Bal.
7016	4,5	1,1	0,8	-	-	-	-	Bal.
7021	5,5	1,5	-	-	-	0,13	-	Bal.
7029	4,7	1,6	0,7	-	-	-	-	Bal.
7049	5,6	2,5	1,6	-	0,16	-	-	Bal.
7050	6,2	2,2	2,3	-	-	0,12	-	Bal.
7150	6,4	2,4	2,2	-	-	-	-	Bal.
7075	5,6	2,5	1,6	-	0,23	-	-	Bal.
7475	5,7	2,2	1,6	-	0,22	-	-	Bal.
7076	7,5	1,6	0,6	0,50	-	-	-	Bal.
7178	6,8	2,7	2,0	-	0,23	-	-	Bal.

Fonte: INFOMET, 2012

Propriedades mecânicas de algumas ligas da série 7XXX:

Tabela 10 – Propriedades mecânicas

Liga	Têmpera	Limite de resistência mecânica (MPa)	Limite de resistência ao escoamento (MPa)	Alongamento % (em 50 mm)	Dureza Brinell	Limite de resistência à fadiga (MPa)
7001	T6	675	625	9	160	150
7005	T5	360	315	15	96	-
7021	T62	420	380	13	-	138
7029	T5	430	380	15	-	-
7049	T73	540	475	10	146	-
7050	T74	510	450	13	142	-
7075	T6, T73	505	435	13	-	150
7475	T7351	505	435	14	-	-
7076	T61	510	470	14	150	-
7178	T6, T651	605	540	10	160	150

Fonte: INFOMET, 2012

5.1.3 Fibra de carbono

As fibras carbonáceas, fibras carbônicas ou fibras de carbono são materiais obtidos pelo processo de pirólise de produtos derivados do carbono. Estes materiais são responsáveis pela produção de filamentos de alta resistência físico-químicas que são empregados nos mais diversos segmentos da Engenharia. Entre estes segmentos podemos destacar a indústria aeroespacial, o segmento automotivo e a construção de bicicletas.

5.1.3.1 Origens da fibra de carbono

Segundo o (RHBJ História, 2012), nas suas formas de diamante e grafite, o carbono é conhecido desde a pré-história. Provavelmente e segundo textos hindus antigos, o diamante é conhecido desde 1200 A.C., mas a primeira referência autêntica ao diamante é atribuída a Manilius, cerca do séc. I da nossa era. O nome diamante deriva de uma corrupção da palavra grega adamas que significa invencível. É difícil precisar a descoberta da grafite, uma vez que na Antiguidade foi confundido com outros minerais de aspecto semelhante, principalmente a molibdenite (MoS₂). A constituição da grafite era desconhecida até aos tempos modernos,

julgando-se inclusive que continha chumbo (um dos nomes da grafite era plumbago, como chumbo), até que Scheele, em 1779, demonstrou que se podia oxidar a grafite originando dióxido de carbono e provando, assim, que a grafite apenas continha carbono. O nome de grafite surgiu com Werner em 1789, e provém do verbo grego graphain, que significa escrever. Também já se faz uso do carbono como agente redutor na manufatura do ferro e outros materiais desde tempos pré-históricos, mas só recentemente se conseguiu identificar e compreender o seu papel nestes processos. Estes têm desempenhado um papel importante no crescimento do desenvolvimento tecnológico humano.

5.1.3.2 Processo de obtenção da fibra de carbono

Segundo (SANTOS, 2010), a fibra de carbono é um compósito filamentosos, obtido a partir de vários tipos de materiais compostos de carbono através da decomposição térmica também conhecida como pirólise, contendo pequenas quantidades de materiais inseridos em sua estrutura, como resinas, por exemplo. Em virtude de sua resistência e baixa densidade é utilizada na fabricação naves espacial, na indústria automotiva, e em equipamentos empregados em técnicas eletroanalíticas.

Confere resistência a plásticos, e estruturas na construção civil. Uma característica importante na utilização dessa fibra é fundamental: ela não sofre corrosão, talvez seja esse a maior vantagem desta sobre os metais, que por vez ou outra sofrem oxidação.

Relatos de pesquisadores afirmam ser Thomas Edison, o inventor da lâmpada, quem obteve em primeira mão esse material, pela decomposição térmica de algodão, no ano de 1878, para obter filamentos para suas lâmpadas incandescentes.

A exploração comercial da fibra de carbono iniciou-se no ano de 1950, quando se utilizou primeiramente “rayon”, porém concluiu-se que este material produzia pouco carbono. Estendendo assim o campo de pesquisa ao redor de materiais, chegando ao poliácridonitrila e piche de petróleo, sendo atualmente utilizados como material primordial na obtenção dos filamentos, em função de sua alta taxa de carbono.

O aperfeiçoamento deste material ocorreu no decorrer da década de 60, quando Japão e Inglaterra empregaram o poliácridonitrila (PAN), na produção desta fibra. Hoje a fibra de carbono detém uma abrangência sobre bens de consumo, sendo utilizados em celulares, sapatos, móveis, eletrodomésticos, artefato de uso médico, esportivo e odontológico. Está presente em praticamente todos os bens de consumo em todo mundo, o que fatalmente

aumenta a demanda pelo material, aumentando sua produção e exigindo de pesquisadores novas técnicas na fabricação e é lógico, diminuindo o custo.

O algodão é uma excelente fonte de carbono em virtude de sua composição ser basicamente celulose, apresenta uma razoável quantidade de carbono, visto que as fibras de carbono contêm cerca de 90 a 91%, do elemento. Porém existem materiais sintéticos e naturais mais viáveis e de custo mais baixo.

O processo de Fabricação em função do material pode variar na oxidação do material em torno de 200°C ou na carbonização do material a 1000°C a 2000°C em atmosfera inerte.

Obviamente este é um rápido exemplo de um processo. Existem outros processos que foram desenvolvidos de acordo com o material a ser utilizado, como estiramento das fibras diante do calor em meio oxidante ou ainda onde o material é submetido à deposição e eletrodeposição de outros elementos, com objetivo de aumentar sua resistência.

As estruturas dessa fibra sofrem diversas variações desde a sua descoberta, muitos pesquisadores vem tentando determinar uma estrutura conveniente. Para descrevê-la, porém, a maioria desses grupos de cientistas tem concluído que a estrutura depende do material utilizado para a carbonização. Existem duas teorias a esse respeito formuladas, sendo a primeira enunciando uma fibra formada pelo empilhamento de fitas carbônicas. Já uma segunda enuncia a formação por meio de microfibras que são a união de diversos conjuntos de fitas de carbono, sendo este modelo mais aceito e adequado para explicação das fibras em função de sua resistência mecânica, térmica e a tensão. As fibras carbono apresentam grupos funcionais em sua superfície, possibilitando seu uso como condutor eletrolítico; os grupos vão desde ácidos carboxílicos a aromáticos (SANTOS, 2010).

Outra forma de obtenção parecida descrita, segundo (ROCARBON, 2012), onde o processo de fabricação inicia-se pela pirólise ou decomposição pelo calor. A PAN é carbonizada a temperaturas em torno de 1000 graus Celsius, gerando um produto secundário de alto teor de carbono. Após o processo de pirólise, ocorre a grafitação, um aquecimento entre 2000 e 3000 graus Celsius que promove um alinhamento ordenado dos cristais de carbono no interior da fibra, resultando em um filamento de diâmetro e leveza microscópicos com altíssima resistência mecânica.

Normalmente os tecidos de fibra de carbono possuem nomenclatura 1K, 3K, 6K, 12K, entre outras, que significa respectivamente 1000, 3000, 6000 e 12000 filamentos por fio.

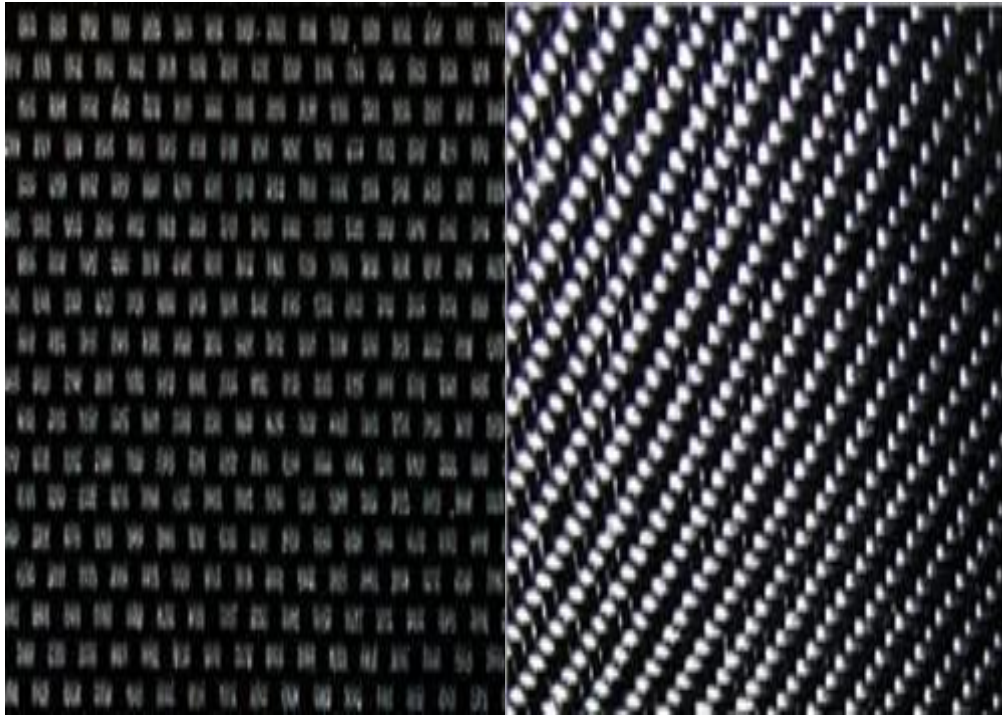
5.1.3.3 Propriedades da fibra de carbono

As fibras de carbonos ou fibras carbonaceas apresentam excelentes propriedades para utilização em Engenharia, estas propriedades estão diretamente ligadas a sua composição estrutural, molecular e por suas falhas de construção. Atualmente no mercado existem diversos tipos de fibra de carbono e diversas nomenclaturas referentes à sua construção, porém todas estas designações partem dos dois tipos de fibra básicos, a fibra com alto módulo de elasticidade chamada tipo um e com elevada resistência chamada tipo dois. Estas propriedades bem como outras da fibra de carbono estão diretamente atreladas às ligações e geometrias de sua molécula hexagonal. Estas ligações são dependentes principalmente da matéria prima utilizada para a obtenção da fibra que basicamente são o alcatrão as fibras precursoras de poliacrinil e as fibras de *rayon*.

Como será visto mais adiante as características físico-mecânicas da fibra de carbono são o que mais nos interessam e por serem excelentes são o fator decisivo para sua aplicação na construção de bicicletas e seus componentes.

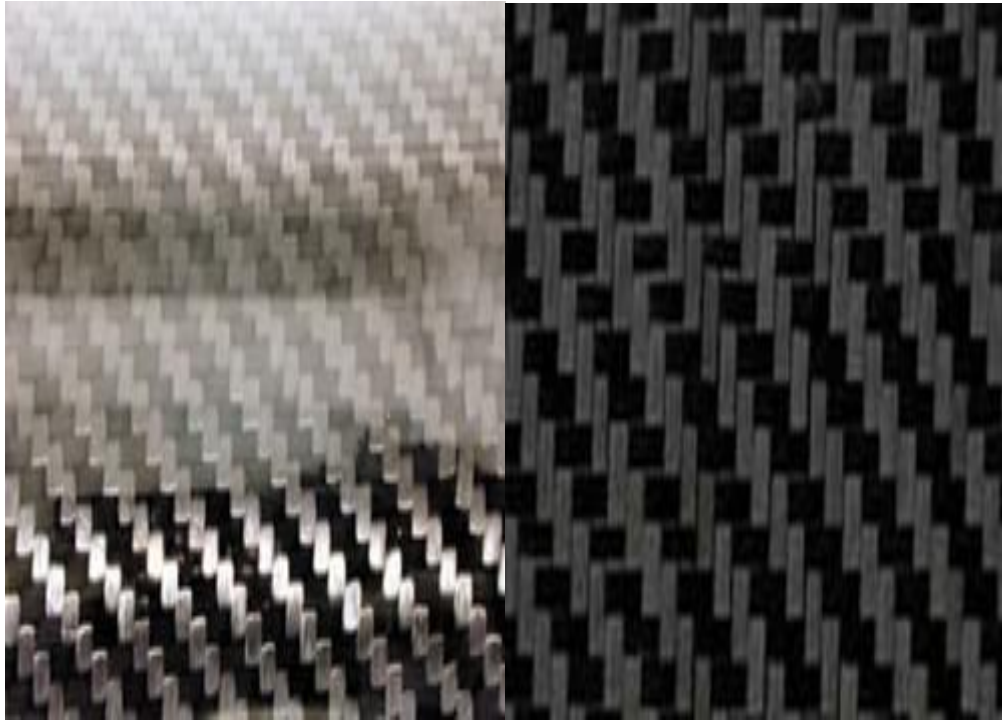
Abaixo os quatro principais tipos de fibra de carbono:

Figura 18 – Fibras de carbono HS e IM



Fonte: FIBERTEH, 2011

Figura 17 – Fibras de carbono HM e UHM



Fonte: FIBERTECH, 2011

Propriedades Mecânicas da fibra de carbono:

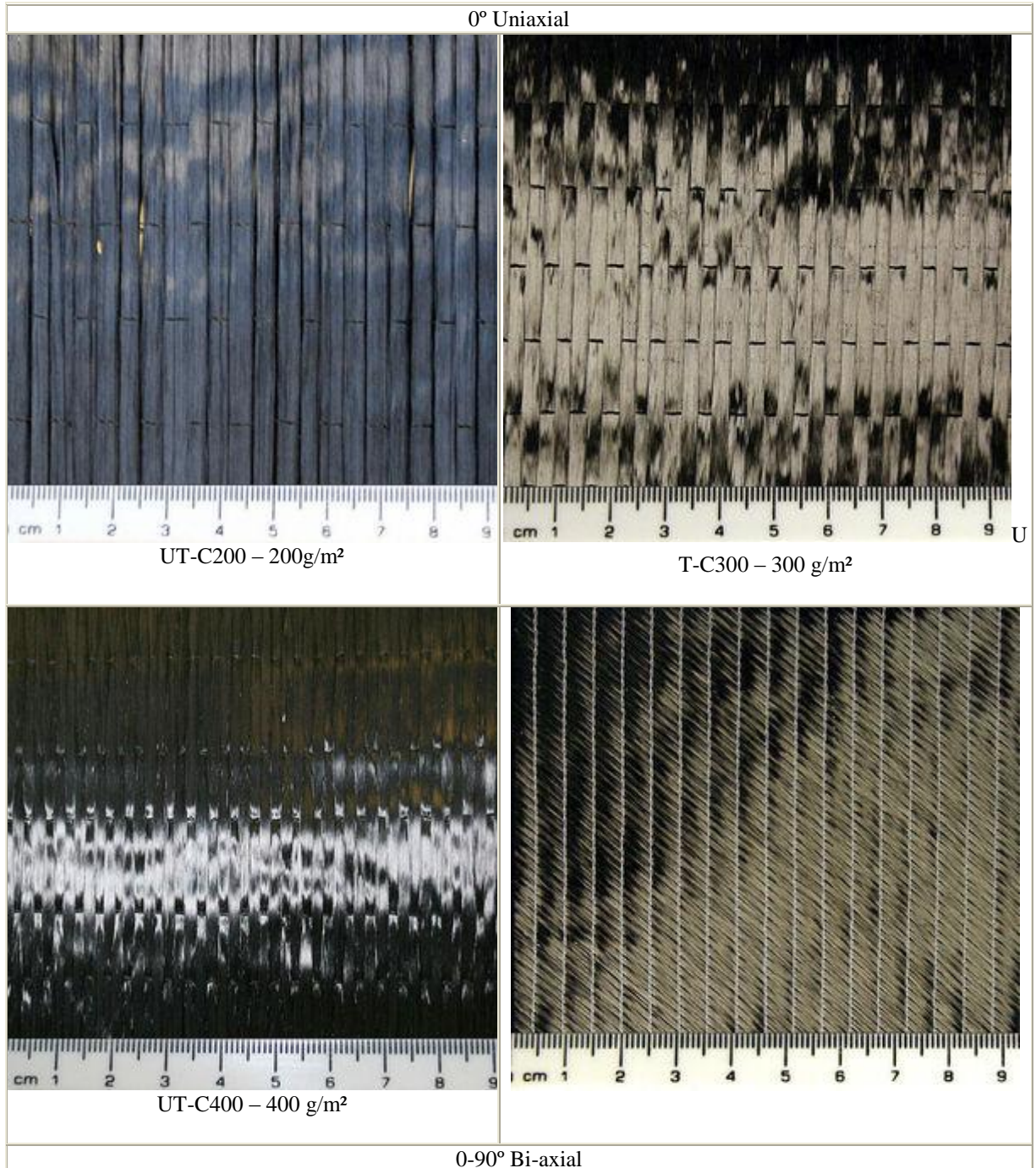
Tabela 11 – Propriedades mecânicas das fibras de carbono

Basic Mechanical Properties of Fibres and Other Engineering Materials				
Material Type	Tensile Str. (MPa)	Tensile Modulus (GPa)	Typical Density (g/cc)	Specific Modulus
Carbon HS	3500	160 - 270	18	90 - 150
Carbon IM	5300	270 - 325	18	150 - 180
Carbon HM	3500	325 - 440	18	180 - 240
Carbon UHM	2000	440+	20	200+
Aramid LM	3600	60	145	40
Aramid HM	3100	120	145	80
Aramid UHM	3400	180	147	120
Glass - E glass	2400	69	25	27
Glass - S2 glass	3450	86	25	34
Glass - quartz	3700	69	22	31
Aluminium	460	72	28	26
Titanium	9300	110	45	24
Steel (bulk)	620	207	78	26
Steel (stainless)	1450	197	79	25
Steel (extruded)	2410	207	78	26

Fonte: AZOM, 2012

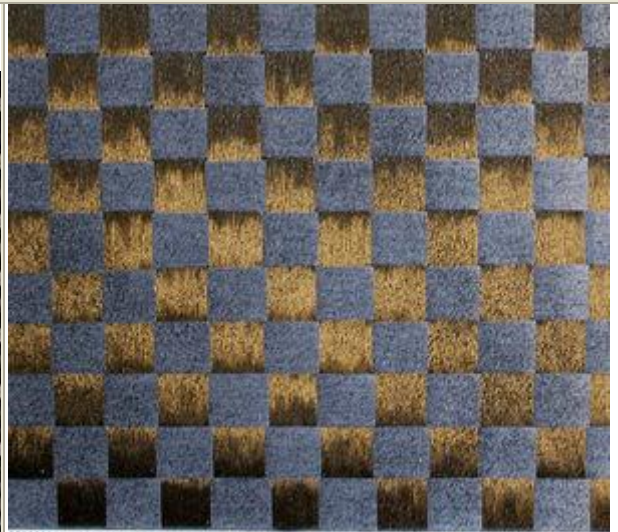
Abaixo algumas formas geométricas de construção da fibra de carbono:

Figura 18 – Orientações geométricas da fibra de carbono

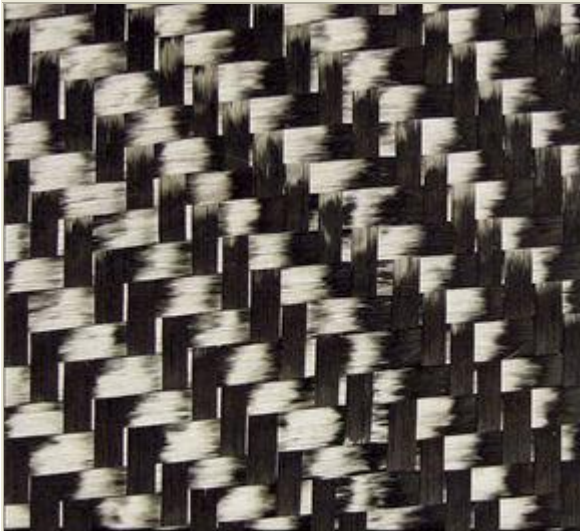




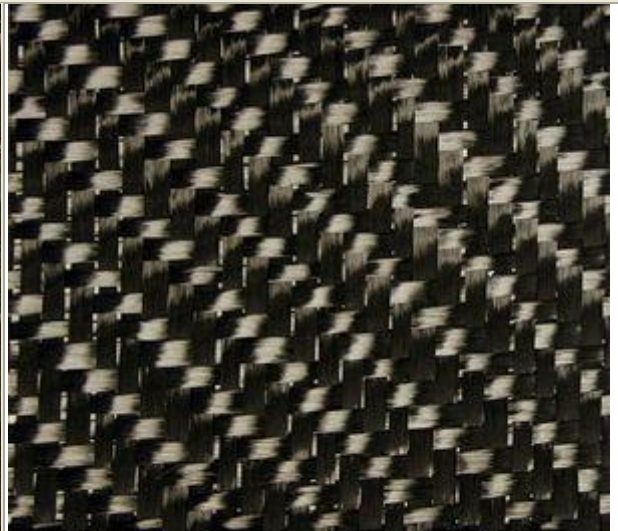
RC-200T – 200 g/m²



C203P-POW – 193 g/m²



RC-303T – 300 g/m²



C416T – 420 g/m²



RC-660T – 660 g/m²



0-45-90° Tri-axial

XC-305 – 302 g/m²



XC-411 – 408



g/m²

Fonte: FIBERTECH, 2011

Propriedades gerais da fibra de carbono

Tabela 12 – propriedades da fibra de carbono

Propriedade	Unidade	Fibra de Carbono
Densidade:	g/cm ³	1.76
Elongação até a ruptura:	%	1.9
Módulo de Elasticidade:	GPa	234
Resistência à Tração:	MPa	3530
Breaking Tenacity:	MPa	4100
Condutividade Elétrica:		Ótimo condutor
Resistência aos álcalis:		Alta resistência
Resistência aos ácidos:		Alta resistência
Resistência à abrasão:		Baixa resistência
Efeito do calor:		Oxida a > 316°C
Efeito do fogo:		Não funde, sublima.

Fonte: TEXIGLASS, 2012

5.1.3.4 Aplicação da fibra de carbono

A fibra de carbono foi inicialmente desenvolvida para utilização na indústria aeroespacial posteriormente foi adotada pela indústria automobilística em protótipos e foi largamente utilizada em carros de competição, nesta altura também a indústria naval já fazia utilização de seus benefícios em seus processos de fabricação e produtos. A indústria da construção civil também descobriu as relevantes propriedades da fibra de carbono e passou a utilizá-la em reforço de estruturas como pontes viadutos entre outros. A indústria química também já utiliza em larga escala, além da indústria elétrica entre outros. Atualmente existem estudos e algumas aplicações da fibra de carbono na área de nanotecnologia.

Para os objetivos deste trabalho a aplicação mais importante são as ligadas ao esporte mais precisamente ao ciclismo, onde o uso da fibra de carbono encontra-se hoje em franca ascensão.

5.1.3.5 Processos de produção de componentes à base da fibra de carbono

È importante esclarecer que os filamentos de carbono são utilizados para tecer a fibra de carbono e esta por sua vez necessita da combinação com outra matriz para poder gerar outras formas e conseqüentemente outros materiais, tornando-se aí um compósito. Entre os diversos processos conhecidos para a fabricação da fibra de carbono dois se destacam. Estes processos são conhecidos como moldagem e compressão a quente. O primeiro pela grande simplicidade sendo utilizado inclusive em fabricações caseiras. Tem como base um molde onde é aplicada uma substância que evita que a peça depois de pronta fica presa ao mesmo. A fibra é introduzida no molde e vai recebendo aplicação de resina catalisadora até que adquira a forma do molde, após a secagem a peça está pronta.

A segunda aplicação, a compressão a quente, é a mais difundida industrialmente principalmente no setor aeroespacial automotivo e ciclístico. É considerado um processo cirúrgico, pois através de um molde tecnologicamente desenvolvido, controles severos de pressão e temperatura é possível reforçar as partes que serão sujeitas a maior esforço e conseqüentemente obter um produto de maior qualidade. D mesma forma que o processo de moldagem a fibra e o material catalisador são introduzidos no molde que com já foi dito recebe temperatura e pressão previamente determinados. A grande aceitação deste processo deve-se fundamentalmente a precisão dos controles de fabricação.

6 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE BICICLETAS

Os principais processos de fabricação de bicicletas são os que atualmente englobam as bicicletas de aço cromo molibdênio, ligas de alumínio, e fibra de carbono. São processos industriais que se encontram amplamente dominados. Os processos de fabricação de bicicletas em aço cromo molibdênio encontram-se praticamente sempre próximo as regiões de comercialização das mesmas, enquanto os processos de fabricação de bicicletas de ligas de alumínio e fibra de carbono concentram-se na Ásia mais precisamente na China.

Os processos de fabricação de bicicletas em ligas de alumínio e aço molibdênio são muito similares, contemplam basicamente cortes de tubos e união por soldas já o processo de fabricação de bicicletas em fibra de carbono difere-se totalmente destes utilizando moldes, prensas entre outros. Geralmente um fato que acompanha a fabricação de bicicletas é que quase sempre é necessário um grande investimento para que se tenha redução no peso final da bicicleta.

6.1 processos de fabricação de bicicletas de aço cromo molibdênio

Segundo (PEQUINI, 2000), o aço cromo molibdênio já foi a liga mais utilizada na fabricação de bicicletas sendo a liga de aço cromo-molibdênio, conhecida no mercado como Chrome-Moly. São considerados de alta qualidade, razoavelmente leves. Um bom tubo de cromo-molibdênio não tem soldas, pois seguirá um processo de laminado em sua fabricação com grande precisão, sendo calibrado interna e externamente. Existem os tubos moldados que são aqueles que têm diferentes espessuras de parede ao longo de sua extensão. Ao se variar a espessura do tubo nos pontos precisos, eles se tornam mais fortes, geralmente em cada extremo, sendo leves nos pontos onde não é necessária tanta força. Os tubos de cromo-molibdênio especiais são duplamente moldados ao longo de sua extensão, o que significa que a parede tem duas espessuras diferentes e os quadros altamente especiais são triplamente moldados para diminuir mais o peso e têm sido tratados a altas temperaturas para torná-los ainda mais resistentes. Os tubos de cromo-molibdênio oscilam entre 0,8 a 1 mm de espessura e os moldados, em seu ponto mais fino, podem chegar aos 0,6 mm. As técnicas a união dos tubos realiza-se por meio de solda. O método consiste em levar até o ponto de fusão os extremos dos tubos que se queira unir, e posteriormente, recobre-se com material da mesma composição dos tubos segundo.

Ainda segundo (PEQUINI, 2000), os principais tipos de solda utilizados são a solda latão, solda TIG e solda MIG e materiais não afins.

Os quadros de liga de aço têm utilizado “cachimbos” a solda latão, peças em aço fundido em forma de cachimbos para encaixar os extremos dos tubos. Ajustam-se mecanicamente os tubos dentro dos “cachimbos”, soldando-os e deixando esfriar. Os extremos dos tubos ficam encaixados e soldados por dentro do “cachimbo”. É mais seguro para os tubos de pouca espessura, porque o latão penetra em todo seu interior, reduzindo progressivamente os esforços nas uniões dos tubos. Tem sido o sistema mais popular.

Já a solda TIG tem-se convertido na forma mais adequada para a construção de quadros de Mountain Bike, ainda que seu procedimento seja quatro vezes mais lento e, portanto, mais caro. Os tubos se unem com uma solda de tungstênio em torno de gás inerte, ou seja, TIG (tungstênio em gás inerte). Estas soldas não têm porosidade externa e mostram um anel muito estreito de ondas de união em volta da junção.

A solda MIG é a mais rápida de fazer, limpa, um pouco larga, sendo utilizada nas bicicletas de um custo mais baixo. É muito segura, porém, não muito bonita, ainda que sempre dependa da mão do soldador. A solda MIG é chamada também solda de fio contínuo e, em definitivo, é a que tem substituído aos antigos eletrodos. Também leva gás inerte (oxigênio), igual à TIG, em seu processo.

As soldas com materiais não afins utilizam-se de material para soldar que tem características diferentes dos tubos. Este material é constituído geralmente de ligas de cobre ou prata e tem um ponto de fusão inferior ao material a ser soldado. É usada quando se quer evitar que, como consequência de elevadas temperaturas de solda, determinadas ligas de aço ou alumínio percam parte de suas propriedades. É utilizada geralmente na Europa mediante o uso de cachimbos e não requer tanta tecnologia, sendo muito adequada principalmente para as grandes produções em série (PEQUINI, 2000).

6.2 Processos de fabricação de bicicletas de alumínio

Atualmente o processo de fabricação de quadros de bicicletas mais utilizados nas ligas de alumínio é o processo de hidroformação ou hidroformagem. A referência a este processo é fundamental, pois ele permitiu o grande desenvolvimento na fabricação de quadros tanto na geometria, no formato dos tubos mais principalmente na qualidade do material. É do conhecimento geral nem todas as ligas de alumínio são tratáveis termicamente ou seja devem

ser escolhidas ligas que respondam bem aos tratamentos térmicos no caso de bicicletas as mais aceitas são da família 6XXX e 7XXX que já foram estudadas neste trabalho. Precisamente em bicicletas as mais utilizadas são a 6061 e 7005.

Retornando ao processo de hidroformação podemos dizer que ele consiste em pressionar uma bexiga contra as paredes dos tubos de alumínio que estão dentro de um molde através da força hidráulica (extrema pressão). Como já foi dito este processo permite que sejam feitas praticamente todas as formas nos tubos de alumínio, o que pode ser verificado nas mais variadas formas nos quadros de alumínio vistos em nosso dia a dia. Também cabe a este processo a diminuição do preço do produto final já que a bexiga funciona como o molde interno sendo necessária apenas a parte externa do molde.

Seguindo no processo de fabricação a soldagem é de extrema importância. Durante muito tempo houve muita dificuldade de soldar quadros de alumínio, por isso se adotava a técnica de fabricação de quadros cachimbados que praticamente foi abandonada com o advento da hidroformação e adoção de novas técnicas de soldagem. Dentre essas técnicas a que melhor se adaptou foi o processo TIG por apresentar ótima qualidade no conjunto segurança e acabamento apesar de ser um processo um tanto quanto lento e requerer grande especialização da mão de obra. Também não se pode deixar de citar que os processos de soldagem causam diversas alterações nas estruturas de alumínio em partes principalmente pela alta condutividade térmica deste material e pelo risco das partes soldadas e áreas ao redor esfriarem de forma desigual agravando os problemas de tensões.

Para eliminar as tensões causadas pelos processos de soldagem são utilizados os tratamentos térmicos. Como já foi dito nem todas as ligas são soldáveis ou respondem bem ao tratamento, uma análise bem superficial mostra que poucas ligas são de fato tratáveis. Com os tratamentos térmicos são objetivados além do alívio das tensões também uma diminuição da ductilidade e aumento da dureza. É importante observar que o alinhamento dos quadros deve ser feito após a soldagem, pois este processo mecânico também pode aumentar as tensões nos materiais.

Os principais tratamentos térmicos aplicados às ligas de alumínio utilizadas na fabricação de quadros são a solubilização e endurecimento por precipitação também conhecido como envelhecimento. A solubilização é aplicada às ligas da classe 6XXX como a 6061, para esta liga o alinhamento dos quadros deve ocorrer após o tratamento térmico. Este tratamento consiste basicamente em um aquecimento total da peça(quadro) próximo a 550 graus Celsius e resfriamento rápido em água próximo a 40 graus Celsius. Já o processo de

envelhecimento a peça o material é aquecido gradualmente podendo ficar até oito horas a quase 180 graus Celsius resfriando-se mais lentamente.

Outra característica que não pode ser esquecido é processo de conificação dos tubos que consiste em aumentar a espessura nas extremidades dos tubos onde os mesmos recebem maiores esforços, permitindo uma espessura menor nas partes centrais que recebem menor esforço. Este processo também está ligado juntamente com os tratamentos térmicos e a hidroformação na maior leveza e resistência dos quadros de alumínio.

6.3 Processos de fabricação de bicicletas de fibra de carbono

O tecido de fibra de carbono já pronto, ou seja, a fibra de carbono já ligada com resina poliacrílica (PAN), geralmente em rolos é recebida já na configuração determinada quanto a qualidade das fibras, HS, IM, HM,UHM. Paralelo a este processo a confecção do projeto do quadro se desenrola. Caso o quadro seja sobre medida, o atleta ou usuário tem suas medidas retiradas, basicamente mede-se altura total, comprimento de pernas, braços, largura dos ombros, tamanho dos pés, tamanho do tronco e antebraços. Outra possibilidade é do quadro ser tamanho padrão, ou seja, pequeno, médio e grande eventualmente tamanho PP ou XG. Na Europa e Estados Unidos devido à estatura da população é muito comum o quadro de tamanhos maiores. As medidas sejam personalizadas ou padrão são transferidas a um software responsável por criar o projeto e dar vida ao quadro. Este software permite também alguns ajustes como os referentes às características da pedalada do usuário caso seja um quadro personalizado.

Definido o projeto do quadro, o mesmo é transferido de forma eletrônica para uma máquina automatizada que corta a o tecido de fibra de carbono, já de maneira predisposta a montar o quadro em questão. Esta máquina bem como o software utilizado pela mesma são fundamentais na fabricação do quadro, pois a fibra é cortada adequadamente para ser montada e inserida no molde, praticamente não sobram nem rebarbas. Geralmente são necessários entre nove e onze peças de fibra de carbono para montar um quadro de tamanho médio. Retornando a máquina de corte elas se assemelham muito às máquinas CNC utilizadas em usinagem. A partir deste ponto a fibra de carbono está pronta para ir para o molde que geralmente é de alumínio. Sobre os moldes vale dizer que cada fabricante utiliza suas particularidades, mas de uma forma geral a pode-se utilizar um molde apenas para todo o quadro (monocoque) ou vários moldes para partes do quadro que serão posteriormente montados. A maioria dos quadros é fabricada utilizando o sistema de montagem de suas

partes, pois o processo é mais barato, porém já é comum a fabricação de quadros monocoque que sofrem menos torção e são mais leves já que sendo uma única peça e não precisar de excesso de material para a montagem das partes. Este processo além de um molde maior e mais caro também requer muita pericia na montagem da fibra no balão e posterior introdução no molde, além de exigir equipamentos maiores.

A fibra de carbono depois de cortada é aplicada ao redor de uma bexiga ou balão de látex e moldada de forma similar ao molde, neste ponto vale dizer que as fibras de carbono são fabricadas em um único sentido, ou seja, as fibras no tecido estão na mesma direção, desta forma na hora de moldar sobre a bexiga as partes do tecido são dispostas em várias direções a fim de conferir maior resistência ao material. O molde é preparado com uma substância desmoldante e recebe a bexiga envolta pela fibra de carbono, o molde é então fechado e levado à prensa onde a bexiga é inflada pressionando as fibras contra o molde para que as mesmas adquiram sua forma. Nos processos mais comuns o molde recebe internamente um eletrodo que mede a temperatura e pressão. Residem aí alguns dos grandes segredos da fabricação dos quadros em fibra de carbono, temperatura, pressão e tempo na prensa. Acredita-se que o quadro fique em torno de trinta minutos na prensa e por ser de alumínio sabe-se que a temperatura é limitada. Depois de retirado do molde as peças recebem uma limpeza para retirar o desmoldante e as rebarbas, as peças são usinadas para que os encaixes fiquem na geometria correta e posteriormente são montadas.

Caso as partes montem corretamente o quadro é desmontado e recebe a aplicação de cola aeroespacial e é novamente montado. Passada esta fase o mesmo é totalmente lixado e recebendo além do acabamento final a preparação para a pintura. Antes de seguir adiante o quadro é inspecionado em aparelhos de medição tridimensional para garantir seu perfeito alinhamento geométrico Na fase de pintura o quadro recebe um fundo, uma mão de tinta, uma proteção contra efeitos do sol e o verniz final. Para finalizar as partes roscadas são desobstruídas para retirada de tinta e limpeza geral, após esta etapa o quadro então está pronto.

7 VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS BICICLETAS EM AÇO CROMO MOLIBDÊNIO

As principais vantagens das bicicletas em aço cromo molibdênio são o baixo custo, boa resistência a choques, boa resistência mecânica, boa flexibilidade, facilidade de consertos e reparos principalmente soldados, boa resistência à fadiga.

As principais desvantagens são a pouca resistência à corrosão, necessidade de pintura especial, alto peso específico em relação ao alumínio e a fibra de carbono, dificuldade de moldar formatos irregulares e certa dificuldade no processo de soldagem.

8 VANTAGENS DAS BICICLETAS EM LIGAS DE ALUMÍNIO

As principais vantagens das bicicletas em alumínio são custo relativamente baixo (intermediário), boa resistência à fadiga, boa resistência a choques, alta resistência à corrosão, peso específico médio e média resistência ao impacto.

As principais desvantagens são a dificuldade em processos de soldagem (reparos e construtivos), dificuldade de moldar formatos irregulares, necessidade de tratamento térmico após processo de soldagem.

9 VANTAGENS DAS BICICLETAS E FIBRA DE CARBONO

As principais vantagens das bicicletas em fibra de carbono são o baixo peso específico, alta resistência à tração, alta resistência à fadiga, alta resistência mecânica, facilidade de moldar praticamente qualquer formato, não sofre corrosão, proporciona alto conforto.

As principais desvantagens são o alto custo, difícil mão de obra e matéria prima para reparos e construção, certa fragilidade quanto a choques laterais (impacto), tecnologias de fabricação centralizada em poucas empresas, geralmente em países asiáticos.

10 COMPARATIVO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÂNICAS DO AÇO CROMO MOLIBDÊNIO DAS LIGAS DE ALUMÍNIO E DA FIBRA DE CARBONO

Tabela 13 – Quadro comparativo propriedades mecânicas

Tabela comparativa característica físico - mecânicas						
Material	Densidade	Resistência à tração	Resistência ao escoamento	Resistência à fadiga	Dureza	Alongamento
	(g/cm ³)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	Brinel	(%)
Aço Cromo Molibdênio 4130	7,86	950	870	270		22
Ligas de alumínio 6061	2,73	275	315	95	95	12
Liga de alumínio 7005	2,71	315		130	96	15
Fibra de Carbono HS	1,61	3500	2280	480		1,9
Fibra de Carbono IM	1,72	5300	2150	390		1,8
Fibra de Carbono HM	1,8	3500	2400	650		1,8
Fibra de Carbono UHM	1,93	2000	2650	730		1,9

Fonte : o autor

11 COMPARATIVO SIMPLIFICADO DE CUSTO DIRETO

No aspecto custo direto a fibra de carbono ainda encontra certa dificuldade, pois devido aos seus produtos serem totalmente manufaturados fora do país, além de seu custo naturalmente mais elevado existe a presença da carga tributária referente a produtos importados. Vale ressaltar que no caso de bicicletas de aço cromo molibdênio a comparação carece um olhar mais profundo, pois não existe no mercado uma bicicleta deste material com componentes similares as bicicletas de ligas de alumínio ou fibra de carbono. Já não seria um fator irreal e é perfeitamente possível duas bicicletas com componentes semelhantes tendo como diferença apenas o material construtivo.

Tabela 14 – Quadro comparativo custo direto

Comparativo entre custo dos materiais em estudo					
Produto	Bicicleta aro 26"				
Material	Peso	Preço	Preço/peso	Percentual de custo	Uso
	(kg)	(R\$)	(R\$)/grama		
Aço cromo molibdênio	16	450	R\$ 0,03		Transporte
Ligas de alumínio	13	2100	R\$ 0,16	574,36%	Passeio/esporte/lazer
Fibra de carbono (EUA)	9	9000	R\$ 1,00	619,05%	Esporte/lazer
Fibra de carbono (Brasil)	9	15000	R\$ 1,67	1031,75%	Esporte/lazer

Fonte:autor

12 CONCLUSÃO

Através dos estudos desenvolvidos e das pesquisas já realizadas é possível demonstrar a viabilidade do uso da fibra de carbono em maior escala junto a equipamentos ciclísticos, principalmente nos equipamentos que serão destinados a aplicações mais severas e ou visando o alto desempenho, já em equipamentos de passeio que não tenham grandes exigências de uso ou aplicações mais severas o investimento ainda não se justifica.

As excelentes características físico-químicas e as significativas reduções nos custos da fibra de carbono nos últimos tempos facilitam a cada dia o acesso e a utilização por parte dos usuários comuns. No que tange ao desempenho de alto nível, como provas Olímpicas, campeonatos mundiais e tentativas de quebras de recorde em pista, a fibra de carbono está amplamente difundida já há alguns anos. Atualmente não são mais comuns às imagens de bicicletas em fibra de carbono com seus componentes rompidos ou danificados em pleno uso, ao contrário o usual é ver a bicicleta construída em fibra de carbono associada a grandes conquistas, recordes, vitórias em Olimpíadas e campeonatos mundiais. Como a cada dia os componentes de fibra de carbono se tornam mais leves e ao mesmo tempo resistentes, o usuário da bicicleta passa a confiar no desempenho deste material, ficando para trás algumas desconfianças passadas. O mercado que veio aceitando de forma gradativa a fibra de carbono, hoje já impõe sérias restrições às bicicletas de alumínio, ficando este material como substituto do aço cromo molibdênio, este ultimo restringindo-se a bicicletas de baixíssimo custo ou voltada para colecionadores.

A tendência real é que o alumínio venha mesmo a substituir o aço cromo molibdênio em bicicletas populares e seja substituído pela fibra de carbono em bicicletas mais sofisticadas mesmo que o custo ainda seja mais elevado. As grandes vantagens apresentadas ao longo deste trabalho leva a concluir que, o que foi tendência é hoje uma realidade sem volta, o material que foi exótico e considerado algo para o futuro tornou-se realidade, passa a dominar os mercados se impondo de forma definitiva através de sua eficiência, versatilidade e excepcionais características mecânicas. Em um futuro próximo devido a suas virtudes a fibra de carbono dominará totalmente o mercado de bicicletas de médio e alto custo.

REFERÊNCIAS

ASBICICLETAS. [2012]. Disponível em: <<http://www.asbicicletas.wordpress.com/materiais-usados-em-quadros-de-bicicletas>>. Acesso em: 24 set. 2012

ARAUJO, Urbano C. F. **Dificuldades e cuidados no processo de furacão em carbono.** Máquinas e Metais, São Paulo, v.25, n.284, p.84-86, set.1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, **NBR 6834.** Alumínio e suas Ligas - Classificação. São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL. **A História do alumínio** - Disponível em: < <http://www.abal.org.br/aluminio/historia.asp>>. Acesso em 12 jun.2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL. **Fundamentos e aplicações do Alumínio** - Disponível em: <<http://www.abal.org.br/aluminio/servicos/biblioteca/fundamentos.asp>>. Acesso em 12 jun.2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO - ABAL. **Laminação do Alumínio.** Disponível em: < <http://www.abal.org.br/aluminio/processos-laminação.asp>>. Acesso em 12 jun.2012

AZOM. [2012]. Disponível em:<<http://www.azom.com.br/tabelas>>. Acesso em: 13 mai. 2012

BIKEMAGAZINE. [2012]. Disponível em: <<http://www.bikemagazine.com.br/imagens>>. Acesso em: 12 jun. 2012

BUSTOS, VALTER F.. **A História da Bicicleta**, Museu da Bicicleta de Joinville, 2006 a. Disponível em: <<http://www.escoladabicicleta.com.br>>. Acesso em 29 ago. 2012

BUSTOS, VALTER F.. **A História da Bicicleta no Brasil**, Museu da Bicicleta de Joinville, 2006 b. Disponível em: < <http://www.escoladabicicleta.com.br>>. Acesso em 29 ago. 2012

DEUSTESCSCHES INTITUT FUR NORMUNG – DIN, **10027-1, 2005:10.** Classificação dos aços. Germany, 2005 Disponível em: <<http://www.unisulfixadores.com.br/page16.aspx>> Acesso em: 12 mar. 2012

DOTAN, Ana Léa. **Análise da rugosidade superficial de fibras de carbono e sua influência na interface fibra/matriz.** Disponível em: <http://www.bd.bibl.ita.br/tde_busca/arquivo>. Acesso em: 14 jul.2012.

LEBRÃO, Guilherme Wolf. **Fibra de carbono.** Centro de Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. Revista Plástico Sul, 2008. Disponível: <<http://www.maua.br/arquivos/artigo/h/a6e27aa5ba059321171a9f2f51de4f0d>>. Acesso em 12 jul.2012

LEVY NETO, F.; PARDINI, Luis Claudio; SILVA, J. L. G. **Development of a tri directional carbon fibre reinforced carbon composite for aerospace applications**. Revista Brasileira de Ciências Mecânicas, v.17, n.2, p.171-80, 1995.

MACHADO, Ari de Paula. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono: características, dimensionamento e aplicação**. São Paulo: PINI, 2002. 271 p. ISBN 8572661387.

MAGALHÃES, A.G. ET AL. **Materiais Compósitos – Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico**. 1ª edição. São Paulo Ed. Publindústria, 2007.

Materiais utilizados em quadros de bicicletas. Disponível em:

<<http://www.asbicicletas.wordpress.com/materiais-usados-em-quadros-de-bicicletas>>.

Acesso em: 24 set. 2012

Metais e Ligas – **Ligas de Alumínio**. Disponível em: <http://www.infomet.com.br/metais-e-ligas-conteudos.php?cod_tema=10&cod_assunto=54>. Acesso em 15 ago. 2012

Metais e Ligas – **Ligas de Alumínio**. Disponível em: <http://www.infomet.com.br/metais-e-ligas-conteudos.php?cod_tema=10&cod_assunto=55>. Acesso em 15 ago. 2012

MIGUEL, José Aparecido. **Os riscos da falta da tecnologia do carbono**. Disponível em: <http://www.abcarb.org.br/br-netrevista1.html>. Acesso em 22 Abr. 2012

Origens da fibra de carbono. Disponível em:

<<http://www.rhbj.blogspot.com.br/2009/12/historia-de-elementos-quimicos.html>>. Acesso em 18 jun.2012

PARDINI, Luiz Cláudio; NETO, Flaminio Levy. **Compósitos Estruturais – Ciência e Tecnologia**. 1ª edição. São Paulo. Ed. Edgard Bluncher, 2006.

PAVANI, Paulo Afonso. **Compósitos de carbono reforçado com fibras de carbono com recobrimentos de Si-SiC obtidos por meio de técnicas assistidas por plasma**. Disponível em: <http://www.bd.bibl.ita.br/tde_busca/arquivo>. Acesso em: 26 abr.2012.

PEQUINI, Suzi Mariño. **Evolução tecnológica da bicicleta e suas implicações para a máquina humana**. Disponível em:

http://www.posdesign.com.br/artigos/dissertacao_suzi/04%20Cap%C3%ADtulo%204%20-%20Morfologia%20da%20bicicleta.pdf >. Acesso em 22 Abr. 2012

Propriedades Mecânicas e efeitos térmicos nos Aços. Disponível em:

<http://www.tecem.com.br/site/downloads/tabelas/tabela_23.htm>. Acesso em: 23 jul.2012

SANTOS, Luiz Ricardo. **Fibra de carbono**. Disponível em:

<<http://www.infoescola.com/quimica/fibra-de-carbono>>. Acesso em 18 jun. 2012

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEER - SAE. **Classificação dos aços, EUA, 1980**.

Disponível em: <http://www.infomet.com.br/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?cod_tema=9&cod_secao=10&cod_assunto=36&cod_conteudo=4>

Acesso em: 12 mar. 2012

SPECIALIZED. [2012]. Disponível em: <<http://www.specialized.com/image/bikes>> Acesso em: 22 jun. 2012

TEXIGLASS. [2012]. Disponível em: <<http://www.texiglass.com.br>> Acesso em: 08 abr. 2012

Tipos de fibra de carbono e suas formas geométricas. Disponível em: <<http://www.fibertch/fibra-carbono/imagens>>. Acesso em: 10 mai.2012