

## ANÁLISE DE TENSÃO E MELHORAMENTO DE QUADRO DE BICICLETA HARDTAIL

**Macclarck Pessoa Nery, pessoanery@live.com**

Universidade Federal de Sergipe. Av. Maria Pastora, 63. Bl D, Ap 204, Farolândia. Aracaju-SE.

**RESUMO:** O cenário do ciclismo aracajuano apresenta 70 km de ciclovias, diversos grupos de passeio, *mountain bike*, speed, e ainda um projeto de compartilhamento de bicicletas. Encontramos no mercado local diversas bicicletas para quem pretende iniciar na prática do *mountain bike* e não pretende gastar muito. Esse ciclista busca um produto de qualidade e resistente. Nessas condições encontramos as bicicletas *hardtail*. O objetivo desse trabalho foi aplicar a análise de tensões em uma bicicleta *hardtail* destinada ao *mountain bike* dentre as mais vendidas no mercado local. A metodologia consistiu na escolha desta bicicleta, modelagem e simulação computacional para análise de tensões e a aplicação de um modelo para o estudo de fadiga. As simulações mostraram que o carregamento aplicado provoca tensões máximas inferiores a 50 MPa, e que existem duas regiões críticas (*Diagonal Tube* e *Chain Stays*) onde as tensões são mais elevadas. Foi mostrado que uma simples modificação na geometria da seção transversal do *Diagonal Tube* desta bicicleta poderia diminuir o nível de tensão nessa região crítica do quadro.

**PALAVRAS-CHAVE:** tensões, bicicleta, fadiga

**ABSTRACT:** *The scene of the Aracaju city presents 70 km of bicycle routes, many tour groups, mountain bike and speed groups bike, in addition a bike-sharing project. In the local market it found several bikes for those who want to start the practice of mountain biking and don't want to spend much. This rider seeking a quality and strong product. Under these conditions we find the hardtail bikes. The objective of this study was to apply stress analysis on a hardtail bike intended for mountain biking among the most sold in the local market. The methodology consisted in choosing this bike, modeling and computational simulation for stress analysis and the application of a model for the study of fatigue. The simulations showed that the applied load causes lower maximum stresses to 50 MPa, and that there are two critical regions (Diagonal Tube and Chain Stays) where stresses are highest. It was shown that a simple modification in the cross section of the Diagonal Tube geometry of this bike could decrease the level of tension in this critical region of the frame.*

**KEYWORDS:** *stress, bicycle, fatigue*

### INTRODUÇÃO

A busca por novos meios de transporte fez surgir no século XIX as bicicletas, inicialmente um pouco diferente das conhecidas hoje. Ainda naquele século têm-se os primeiros estudos sobre os movimentos que envolvem a utilização da bicicleta, surgindo a dinâmica de bicicletas. Com a passar dos anos surgiram modalidades esportivas utilizando tal veículo nascendo no século XX nos Estados Unidos o *mountain bike*.

No Brasil esse veículo é bastante popular com uma produção anual de aproximadamente 5 milhões de unidades vendidas por ano, segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares, ABRACICLO. Em Aracaju goza de grande prestígio com 70 km de vias exclusivas, um grande número de grupos de prática esportiva e um programa de mobilidade urbana por de compartilhamento de bicicletas.

Conhecendo os diferentes tipos de bicicletas, os parâmetros e força que influenciam o seu desenvolvimento, foi realizada uma análise teórica e computacional das tensões em uma das bicicletas de *mountain bike* entre as mais vendidas para os desportistas de Aracaju, e após isso fora realizada uma

pequena modificação no quadro objetivando melhorar seu fator de segurança para fadiga.

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A bicicleta pode ser considerada o “primeiro veículo mecânico” para transporte individual, surgindo cronologicamente antes dos motores a vapor, Bustus (2006). No final do século XIX surge o quadro trapezoidal, ou diamante, sendo até hoje a base geométrica de qualquer bicicleta. E na década de 50 surgem as primeiras modificações em bicicletas para o uso fora de estrada e em 1990 surgem as bicicletas de *mountain bike* com dois amortecedores. Atualmente o mercado conta com diferentes marcas, modelos, lojas especializadas e observa-se que os conceitos de engenharia procuram tornar a bicicleta e o ciclista um conjunto único para a prática esportiva.

Segundo dados do anuário de 2012 da ABRACICLO, o Brasil se tornou o terceiro maior produtor mundial de bicicletas com uma produção de aproximadamente 5 milhões de unidades por ano, valor que corresponde a aproximadamente 4% da produção mundial.

As bicicletas atuais apresentam uma configuração semelhante a Fig. (1), com a transmissão por corrente, coroa e cassete (coroas menores no eixo traseiro), normalmente conhecidas como marchas, convertendo a

entrada de energia nos pedais em energia de movimento através da roda traseira da bicicleta, Pequini (2005).



**Figura 1.** Configuração da Bicicleta – adaptado de Pequini (2005)

A bicicleta é um veículo relativamente simples, sendo o quadro a peça mais importante do conjunto, a sua alma, que leva o nome do fabricante. Quando o fabricante desenvolve uma nova bicicleta, ele utiliza as ferramentas de engenharia de produto, executando a análise do mercado, a finalidade, os requisitos que a mesma deve ter, etc., e decide se será um projeto novo, ou adaptação de um quadro já existente, com outros componentes. Ballantine (2000).

No desenvolvimento do projeto inicialmente são usadas ferramentas computacionais de desenho e de simulação. Depois de definido todo o projeto virtual, o quadro de uma bicicleta é posto em teste. Para um quadro de *mountain bike* são induzidas as forças que estão presentes durante o seu uso, com um carregamento cíclico característico. Lorenzo and Hull (1999).

Para a prática do *mountain bike* existem dois tipos de configuração: *hardtail* e *full-suspension*. De acordo com Ballantine (2000), as *mountain bikes* foram o último tipo de bicicleta a se desenvolver. Hoje em dia existem diferentes tipos de provas e bicicletas desse tipo, sendo esta uma tendência de design de bicicleta. Desde a sua criação, as *mountain bikes* utilizam o quadro com a geometria tipo diamante. As bicicletas *Hardtail* Fig. (2) possuem apenas a suspensão dianteira, custo mais acessível e são mais rígidas permitindo melhor controle nas arrancadas.



**Figura 2.** Bicicleta *Mountain Bike Hardtail*

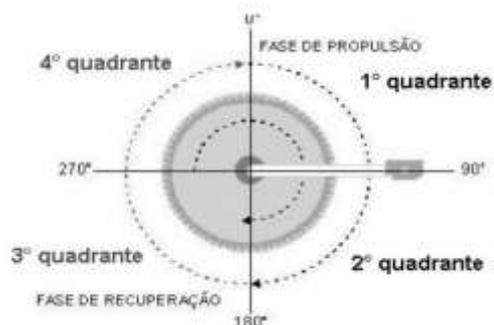
Já as bicicletas *Full-Suspension* Fig. (3) são mais confortáveis, e mais recomendadas para alguns tipos de competição, como o *down-hill*, tipo de competição muito popular, com provas como a “Descida das escadas de Santos”.



**Figura 3.** Bicicleta *Mountain Full Suspension*

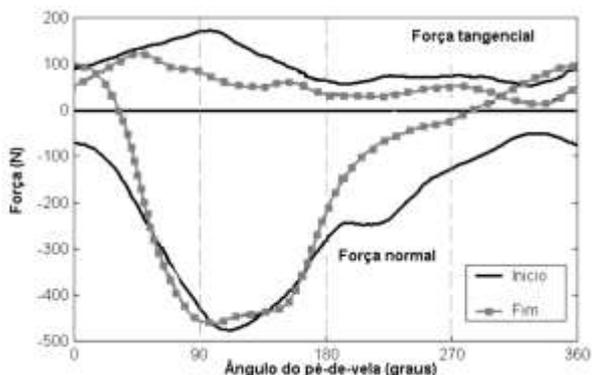
De acordo com Ballantine (2000) quando de posse dos dados dos testes, possíveis falhas de projeto podem ser identificadas e modificações podem ser realizadas antes do produto chegar ao mercado.

Seguindo essa linha, fabricantes e cientistas buscam quantificar as forças que agem no quadro de uma bicicleta durante o seu uso, Carpes et. al. (2005) encontrou em uma prova de 40km as forças de acordo com a posição do pedal em relação ao ciclo Fig. (4), durante a pedalada o ciclista encontra duas fases, a fase de propulsão e a fase de recuperação, a primeira é a fase onde se produz a força que é transmitida à roda traseira.



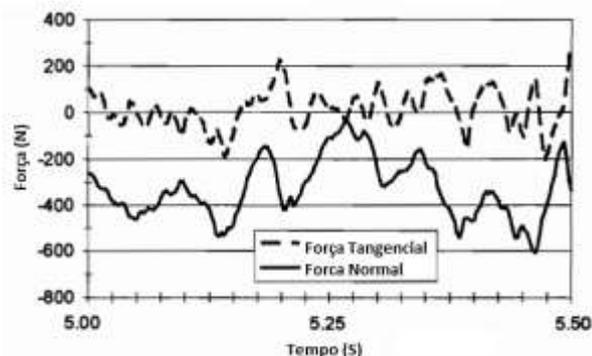
**Figura 4.** Fases do ciclo da pedalada

Já na segunda fase, a força no pedal de um lado diminui devido à força que está sendo gerada no outro pedal. O protocolo do teste consistiu em pedalar 40 km no menor tempo possível, em terreno plano, utilizando uma estratégia de livre escolha do ciclista. A Fig. (5) ilustra essas forças no início dos 40 km e no término deles.



**Figura 5.** Força no pedal durante um ciclo

A fim de quantificar as força no pedal durante a prática do Mountain Bike, Lorenzo e Hull (1999) obtiveram o histórico de carga sobre os pedais ao longo do tempo Fig. (6), segundo os autores, 75% do peso do piloto fica apoiado sobre os pedais, sendo o restante apoiado no guidom, em um teste que consistiu em uma coleta de dados a partir da descida de uma ladeira sendo esta composta por buracos, rochas e pedregulhos, com uma inclinação de 8% e um pouco molhada.



**Figura 6.** Fases do ciclo da pedalada

Os testes foram feitos com 7 pilotos com 180 cm de estatura média e peso médio de 80 kg que foram instruídos a descer o mais rápido possível, com os pés apoiados sobre os pedais, sem pedalar e com o pé esquerdo a frente, podendo utilizar apenas o freio dianteiro para controlar a velocidade, e transportando um sistema portátil de aquisição de dados.

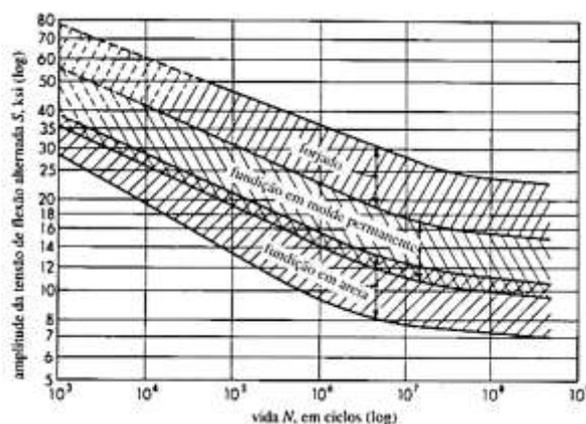
De acordo com os autores, para gerar um carregamento que inclui tanto a superfície e os movimentos do piloto, pode-se sobrepor os dois carregamentos obtidos a partir de medições separadas. Com os pilotos na

posição em pé o contato do piloto inclui os pedais e o guidom, mas exclui o assento.

Lorenzo e Hull (1999) acrescentam ainda que os componentes mais sensíveis à ruptura por fadiga na prática são: os garfos, o guidom, a mesa e o quadro. Este objeto de estudo do presente trabalho.

A fadiga ocorre devido a cargas variantes no tempo, de acordo com Norton (2007), qualquer carga que varie no tempo pode, potencialmente, provocar uma falha devido à fadiga, onde para saber sobre a segurança de um componente referente a fadiga é necessário conhecer o intervalo de tensões, a sua componente alternada e a tensão média, a amplitude, o material do componente, e os efeitos devido a solitação, ao tamanho deste componente, da superfície, da temperatura, e da confiabilidade.

Caso o material utilizado seja o alumínio, estes exibem uma queda contínua da resistência com o número de ciclos Fig. (7), para esses materiais a resistência a fadiga usualmente é tomada como sendo o valor médio da tensão de falha em 5E8 ciclos.



**Figura 7.** Limite de fadiga para o Alumínio

Os efeitos anteriormente citados, são fatores de correção para corrigir os limites de comportamento do material referente a fadiga devido a não ser possível realizar os testes de fadiga nas condições reais de operação. Norton (2007).

Existem três critérios de falha por fadiga para carregamentos com componentes médias não nulas. Fig. (8). A curva de Gerber apresenta um bom ajuste aos dados experimentais, o que a torna útil para a análise de falha de peças, a curva de Goodman modificada é um critério de falha mais conservador e mais usado comumente no projeto de peças sujeitas a tensões médias em adição as alternadas. A curva de Soderberg é usada menos frequentemente, por ser conservadora demais.

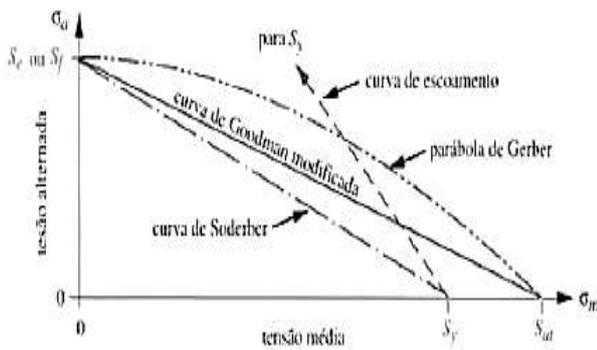


Figura 8. Curva de falha para tensões pulsantes

## METODOLOGIA

### Procedimento experimental

Este trabalho consistiu nas seguintes etapas: obter em uma loja especializada em bicicletas a bicicleta mais vendida do tipo *mountain bike*, coleta das dimensões do seu respectivo quadro, modelagem em CAD da geometria do mesmo utilizando software específico, posteriormente quantificou-se a partir dos trabalhos de Carpes et. al. (2005) e Lorenzo e Hull (1999) as forças atuantes no pedal da bicicleta na prática esportiva, simulação em CAE das forças para obtenção do nível de tensão no quadro da bicicleta, análise de fadiga e por fim realizou-se uma modificação e foi efetuado um comparativo do resultado dos dois quadros.

A bicicleta foi obtida em uma loja exclusiva Specialized Bicycles e Caloi Bicycles, modelo Caloi Supra 2012, semelhante a Fig. (2), sendo uma bicicleta de configuração *Hardtail* com um quadro construído em liga da alumínio Al 6061-T6.

As dimensões do quadro desta bicicleta foram obtidos por meio de paquímetro, micrometro e medidor de ângulo digital para posterior molagem computacional.

### Materiais utilizados

Micrometro Digital Mitutoyo modelo PK-0505 com faixa de medição de 0-25mm e resolução de 0,01mm.

Paquímetro Analógico Starfer com faixa de medição de 0-150mm e resolução de 0,02mm.

Medidor de ângulo digital Bosch modelo DWM 40 com faixa de medição de 0 a 220° e resolução de 0,1°.

Os desenhos e as simulações foram feitas em um computador tipo Desktop com processador Intel® Core 2 Duo E7400 2.80 GHz, 2GB de memória RAM e com sistema operacional Windows® 7 Ultimate, 32 bits.

Softwares utilizados: Microsoft Excel, Solidworks® 2012 e Ansys® 13.0.

### Avaliação das Forças durante o uso no *mountain bike*

Posteriormente a modelagem do quadro da Caloi Supra 2012 combinou-se os estudos de Lorenzo e Hull (1999) e Carpes et. al. (2005) onde aqueles obtiveram o histórico de carga sobre os pedais ao longo do tempo e concluiu que 75% do peso do piloto fica apoiado sobre os pedais, sendo o restante apoiado no guidom. A partir disto, considerou-se o carregamento cíclico apenas

sobre os pedais, sendo a força no guidom fixa em 200 N, que representam os outros 25% do peso do piloto. Elaborou-se um diagrama de corpo livre Fig. (9) representando os pedais, o pedivela e o eixo central, para que fossem encontradas as reações sobre o quadro.

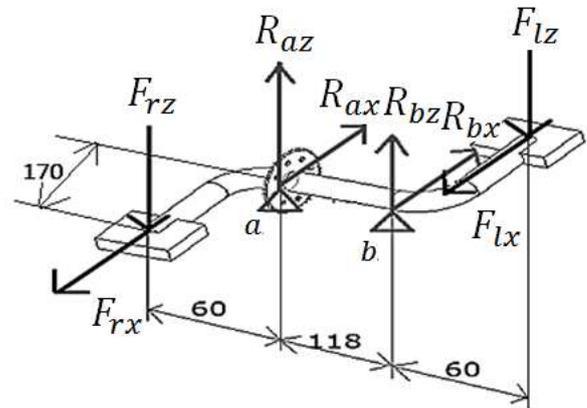


Figura 9. Diagrama de Corpo Livre

Duas componentes foram aplicadas aos pedais, a força normal aplicada aos pedais em Z e uma força tangencial em X. A partir do diagrama de forças temos as reações  $R_{az}$  e  $R_{bz}$ , reações verticais no eixo Z,  $R_{ax}$  e  $R_{bx}$ , reações horizontais no eixo X.  $F_{rz}$  e  $F_{rx}$  são as forças aplicadas no pedal da direita da bicicleta,  $F_{lz}$  e  $F_{lx}$  são as forças aplicadas no pedal da esquerda. Existe também um torque devido à rotação provocada pelo braço do pedivela. Resultando em  $T_a$  torque no ponto a,  $T_b$  torque no ponto b.

### Equações governantes

Por meio do diagrama de corpo livre da Fig. (9) podemos encontrar as forças atuantes no conjunto de pedais da bicicleta a partir das equações. Eq. (1) à Eq. (6).

$$\sum F_z = 0 \therefore -F_{rz} + R_{az} + R_{bz} - F_{lz} = 0 \quad (1)$$

$$\sum Ma(\text{flexão}_y) = 0 \therefore 0,06.F_{rz} + 0,118.R_{bz} - 0,178F_{lz} = 0 \quad (2)$$

$$\sum F_x = 0 \therefore F_{rx} - R_{ax} - R_{bx} + F_{lx} = 0 \quad (3)$$

$$\sum Ma(\text{flexão}_x) = 0 \therefore 0,06.F_{rx} + 0,118.R_{bx} - 0,178F_{lx} = 0 \quad (4)$$

$$\sum Ma(\text{torção}) = 0 \therefore 0,170.F_{rz} = T_a \quad (5)$$

$$\sum Mb(\text{torção}) = 0 \therefore 0,170.F_{lz} = T_b \quad (6)$$

Com os valores das tensões devido as forças atuantes na bicicleta com a tensão máxima  $\sigma_{max}$  e a tensão mínima  $\sigma_{min}$ , obtêm-se o intervalo de tensões  $\Delta\sigma$ , Eq. (7),

$$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min} \quad (7)$$

A amplitude da variação de tensão  $\sigma_a$ , Eq. (8),

$$\sigma_a = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2 \quad (8)$$

E tensão média  $\sigma_m$ , Eq. (9).

$$\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2 \quad (9)$$

Para as ligas de alumínio que possuem o nível de tensão ultima  $S_{ut}$  menor que 330Mpa, a resistência a fadiga teórica  $S'_f$  para 5e8 ciclos Eq. (10), é dada por:

$$S'_{f5e8} = 0,4 \cdot S_{ut} \quad (10)$$

A resistência a fadiga Eq. (11) é obtida mediante a combinação da resistência teórica corrigida devido aos diversos fatores de correção.

$$S_f = C_{carreg} C_{tamanho} C_{superf} C_{temp} C_{conf} S'_f \quad (11)$$

O primeiro termo da Eq. (11) é o efeito devido ao carregamento varia conforme o tipo de ensaio. Sendo ( $C_{carreg} = 1$ ) quando o ensaio de fadiga é feito por flexão rotativa, e quando o ensaio é feito por tensão normal temos ( $C_{carreg} = 0,70$ ).

O segundo termo corrige a resistência teórica de acordo com o tamanho do corpo de prova utilizado no ensaio, para diâmetros até 8 mm temos ( $C_{tamanho} = 1$ ), valores acima de 250 mm, ( $C_{tamanho} = 0,6$ ) e na faixa entre eles temos, Eq. (12), onde  $d$  é o diâmetro do corpo de prova.

$$C_{tamanho} = 1,189d^{(-0,097)} \quad (12)$$

Quando a peça avaliada não possui seção circular, a partir dá área desta peça que esteja tensionada 95% acima da tensão máxíma  $A_{95}$ , encontra-se o diâmetro equivalente, Eq. (13).

$$d_{equi} = (A_{95}/0,0766)^{1/2} \quad (13)$$

O terceiro termo considera o efeito do acabamento superficial sobre a resistência teórica a fadiga, para materiais forjados, esse efeito é quantificado pela Eq. 14.

$$C_{superf} = 272(S_{ut})^{-0,995} \quad (14)$$

O quarto termo considera o efeito da temperatura sobre o material, onde para temperaturas menores que 450°C temos ( $C_{temp} = 1$ ).

**Tabela 1.** Fator de Confiabilidade

50%	$C_{conf} = 1$
90%	$C_{conf} = 0,897$
99%	$C_{conf} = 0,814$
99,9%	$C_{conf} = 0,753$
99,99%	$C_{conf} = 0,702$
99,999%	$C_{conf} = 0,659$

E o quinto termo da equação 11 refere-se ao nível de confiabilidade do ensaio de fadiga, que pode ser qualificado a partir da Tab. 1.

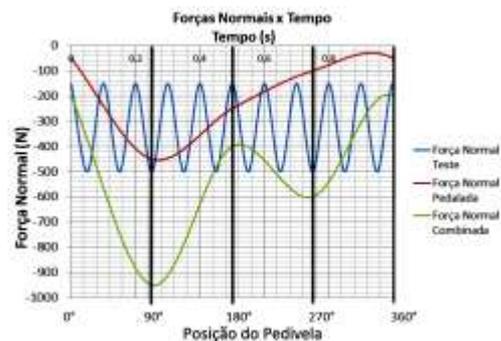
O fator de segurança de fadiga segundo a curva de Goodman é dado pela Eq. (15).

$$\frac{\sigma_a}{S_f} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (15)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

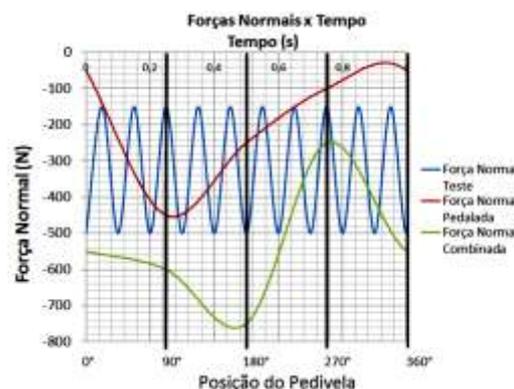
Os estudos de Carpes et. al. (2005) sobre as forças induzidas no pedivela pelo piloto pela ação de pedalar e os estudos de Lorenzo e Hull (1999) obtendo as forças no uso do mountain bike foram combinados para obter o ciclo de carregamento aproximado para as bicicletas deste esporte. Considerando que o pedal gira 60 voltas por minuto, obtemos dois gráficos devido a solicitação do terreno.

Utilizou-se a hipótese de que não é possível precisar a posição do pedal com o início da solicitação do terreno, sendo considerada duas situações: na Figura 10 com solicitação normal do terreno inicial em -150N, temos em azul as forças obtidas por Lorenzo e Hull (1999) e em vermelho as resultantes dos estudos de Carpes et. al. (2005) e em verde a combinação dos dois casos.



**Figura 10.** Força normal  $F_z$  com carga normal do terreno inicial de -150N.

Já a figura 11, temos a mesma combinação com -500N de solicitação normal inicial do terreno.



**Figura 11.** Força normal  $F_z$  com carga normal do terreno inicial de -500N.

Com base na mesma hipótese combinou-se os dois estudos em relação a força tangencial ( $F_x$ ). Com solicitação tangencial inicial do terreno de -100N Fig. (12) e solicitação tangencial inicial do terreno de 150N, Fig. (13).

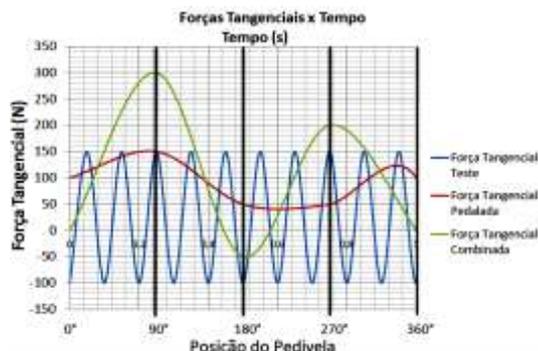


Figura 12. Força tangencial  $F_x$  com carga tangencial do terreno inicial de -100N.

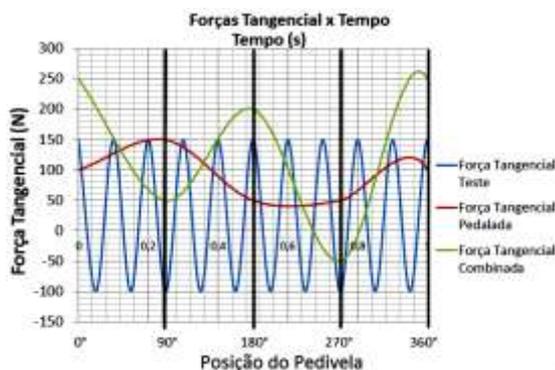


Figura 13. Força tangencial  $F_x$  com carga tangencial do terreno inicial de 150N.

Com isso, com o pedivela nas posições 90° e 270° temos forças máximas e mínimas tanto na componente normal, como na componente tangencial, Fig. 14.

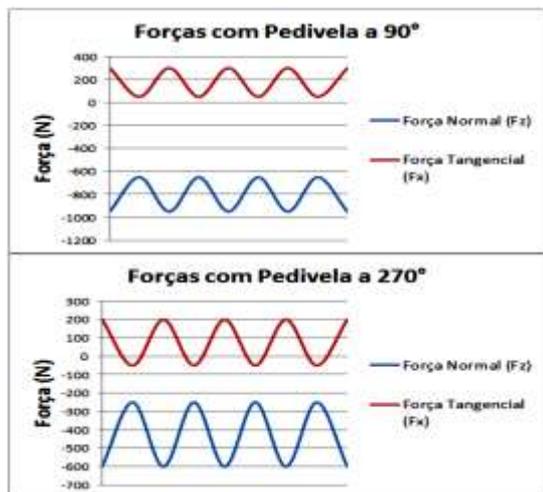


Figura 14. Solicitações devido a posição do pedivela para o ciclista pedalando.

Dois ciclos são considerados, Fig. (14), no ciclo A, o ciclista encontra-se com o pé direito a frente, posição do pedivela 90°, e o pé esquerdo atrás. E no ciclo B, o pé esquerdo do ciclista se posiciona a frente. A partir dos gráficos obteve os seguintes dados para o ciclo A e B, Tab. 2 e Tab. 3 respectivamente.

Tabela 2. Forças máximas e mínimas para o ciclo A

$F_{rz}$ (máx)	-950N
$F_{rz}$ (mín)	-600N
$F_{rx}$ (máx)	300N
$F_{rx}$ (mín)	50N
$F_{lz}$ (máx)	-600N
$F_{lz}$ (mín)	-250N
$F_{lx}$ (máx)	200N
$F_{lx}$ (mín)	-50N

Tabela 3. Forças máximas e mínimas para o ciclo B

$F_{rz}$ (máx)	-600N
$F_{rz}$ (mín)	-250N
$F_{rx}$ (máx)	200N
$F_{rx}$ (mín)	-50N
$F_{lz}$ (máx)	-950N
$F_{lz}$ (mín)	-600N
$F_{lx}$ (máx)	300N
$F_{lx}$ (mín)	50N

Com o diagrama de corpo livre Fig. (9) e das equações Eq. (1) à Eq. (6) encontrou-se as seguintes reações transferidas a bicicleta.

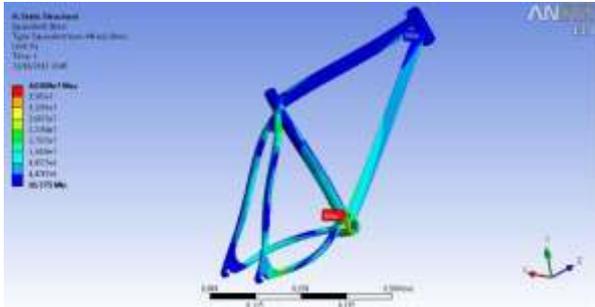
Tabela 4. Reações para o ciclo A

$R_{az}$ (máx)	1127,97N
$R_{az}$ (mín)	777,97N
$R_{bz}$ (máx)	422,03N
$R_{bz}$ (mín)	72,03N
$R_{ax}$ (máx)	-350,85N
$R_{ax}$ (mín)	-100,85N
$R_{bx}$ (máx)	-149,15N
$R_{bx}$ (mín)	100,85N
$T_a$ (máx)	161,5N.m (horário)
$T_a$ (mín)	102N.m (horário)
$T_b$ (máx)	102N.m (anti-horário)
$T_b$ (mín)	42,5N.m (anti-horário)

Tabela 5. Reações para o ciclo A

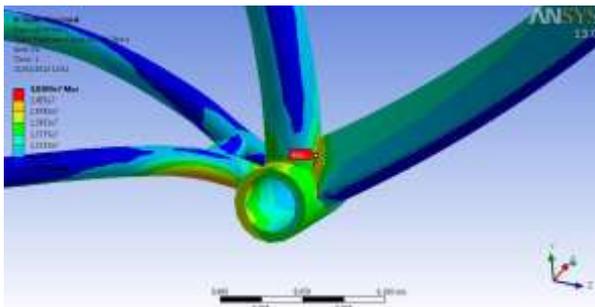
$R_{az}$ (máx)	1127,97N
$R_{az}$ (mín)	777,97N
$R_{bz}$ (máx)	422,03N
$R_{bz}$ (mín)	72,03N
$R_{ax}$ (máx)	-350,85N
$R_{ax}$ (mín)	-100,85N
$R_{bx}$ (máx)	-149,15N
$R_{bx}$ (mín)	100,85N
$T_a$ (máx)	161,5N.m (horário)
$T_a$ (mín)	102N.m (horário)
$T_b$ (máx)	102N.m (anti-horário)
$T_b$ (mín)	42,5N.m (anti-horário)

A partir das reações no quadro da bicicleta e das considerações referentes a distribuição do peso do ciclista aplicou-se os parâmetros para iniciar a simulação obtendo o nível de tensão máxima no ciclo A, Fig. (15).



**Figura 15.** Nível de tensão máxima no ciclo A para a Caloi Supra.

O nível de tensão máxima 40,3MPa fora encontrado na região do *diagonal tube*, Fig. (16).



**Figura 16.** Nível de tensão máxima no ciclo A na região do diagonal tube.

Foram feitas simulações para obtenção dos níveis máximos e mínimos de tensão no ciclo A e no ciclo B, Tab. 6, ambas tendo como ponto crítica a região do *diagonal tube* próxima a região dos pedais.

**Tabela 6.** Níveis de tensão para os ciclos A e B

Tensão máxima - ciclo A	40,31N
Tensão mínima - ciclo A	32,38N
Tensão máxima - ciclo B	40,65N
Tensão mínima - ciclo B	33,05N

A partir dos dados da tabela 6 foi calculado o fator de segurança para fadiga utilizando o critério de Goodman inicialmente por meio das equações 8 e 9 obteve-se a tensão alternada e média respectivamente.

$$\sigma_a = (40,31 - 32,38) / 2 = 3,96 \text{MPa} \quad (8)$$

$$\sigma_m = (40,31 + 32,38) / 2 = 36,35 \text{MPa} \quad (9)$$

O efeito da superfície sobre a resistência teórica a fadiga para o alumínio Al6061-T6, produzido por forjamento fora calculado por meio da Eq. (14).

$$C_{superf} = 272(310)^{-0,995} = 0,9029 \quad (14)$$

A seção transversal do quadro da bicicleta Caloi supra na região do *diagonal tube* não apresenta seção circular, com ( $A_{95} = 194,98 \text{mm}^2$ ) desse modo calculou-se o diâmetro equivalente Eq. (13) para obter o efeito das dimensões da peça.

$$d_{equiv} = (194,98 / 0,0766)^{1/2} = 50,45 \text{mm} \quad (13)$$

Com a Eq. (12) foi dado o efeito do tamanho.

$$C_{tamanho} = 1,189(50,45)^{-0,097} = 0,813 \quad (12)$$

A liga de alumínio utilizada na construção do quadro da bicicleta estudada possui  $S_{ut} = 310 \text{MPa}$  como ( $S_{ut} < 330 \text{MPa}$ ) por meio da Eq. (10) obteve-se a resistência a fadiga teórica.

$$S_f' = 0,4(310) = 124 \text{MPa} \quad (10)$$

Considerando a temperatura ambiente ( $C_{temp} = 1$ ), o ensaio de fadiga oriundo de flexão rotativa ( $C_{carreg} = 1$ ) e o nível de confiabilidade 99,99% ( $C_{conf} = 0,702$ ) têm-se a partir da Eq. (11) a resistência a fadiga corrigida.

$$S_f = 1 \times 0,813 \times 0,9029 \times 1 \times 0,702 \times 124 = 63,89 \text{MPa} \quad (11)$$

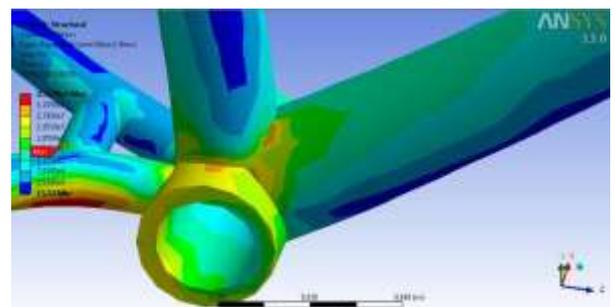
Usando Eq. (15), chega-se para o ciclo A:

$$\frac{3,96}{63,89} + \frac{36,35}{310} = \frac{1}{n} \therefore n = 5,57 \quad (15)$$

O mesmo procedimento foi utilizado para calcular o coeficiente de segurança de fadiga para o ciclo B igual a  $n = 5,60$ .

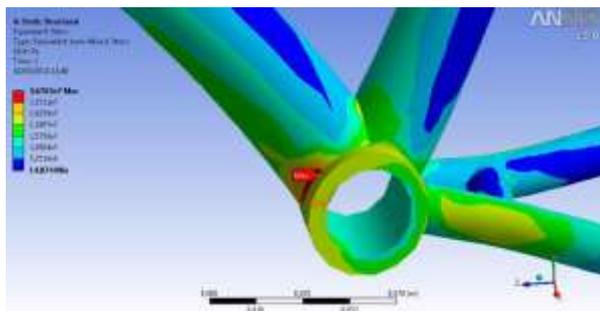
Visando melhorar o desempenho desse quadro, foram estudadas modificações em sua geometria para obter um coeficiente de segurança de fadiga mais alto. O novo quadro modelado modificou a seção do *diagonal tube* da forma em losango para seção circular com diâmetro externo de 40mm e 2mm de espessura da parede. Efetuando novamente as simulações para os ciclos A e B, encontrou-se os seguintes níveis de tensão.

Nível de tensão máxima para o ciclo A, Fig. 17.



**Figura 17.** Nível de tensão máxima no *diagonal tube* modificado no ciclo A

Nível de tensão máxima para o ciclo B, Fig. 18.



**Figura 18.** Nível de tensão máxima no *diagonal tube* modificado no ciclo B

O novo comportamento devido a fadiga para o quadro modificado fora quantificado na Tab. 6.

**Tabela 6.** Níveis de tensão para os ciclos A e B

Tensão máxima - ciclo A	27,43N
Tensão mínima - ciclo A	26,09N
Tensão máxima - ciclo B	36,76N
Tensão mínima - ciclo B	27,52N

Observou-se que houve uma diminuição no nível de tensão máxima tanto para o ciclo A como para o ciclo B e um ligeira diminuição na amplitude. Sendo os novos coeficientes de segurança 10,34 e 5,95 para ciclo A e B respectivamente.

## CONCLUSÃO

As simulações evidenciaram que o nível de tensão de uma bicicleta no uso *off-road* na região do *diagonal tube* apresenta-se inferior a 50MPa, A Caloi Supra apresenta um aceitável coeficiente de segurança devido a fadiga mas esse trabalho mostra que a partir de uma pequena modificação no projeto geométrico de uma peça estrutural como o quadro da bicicleta pode-se melhorar ou até duplicar a segurança que este disponibiliza ao seu usuário.

## AGRADECIMENTOS

O agradecimento deste artigo vai primeiramente a Deus, familiares, aos professores da Universidade Federal de Sergipe, aos lojistas e desportistas locais e ao CREEM.

## REFERÊNCIAS

- ABRACICLO, 2012. “Anuário da Indústria Brasileira de Duas Rodas 2012” – Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares. São Paulo, Agosto de 2012,
- BALLANTINE, R. Richards Bicycle Book. The Revised and Updated First Edition. P. 383. Pan Books, Great Britain. 2000,

- BUSTOS, V. – Publicação do Museu da Bicicleta de Joinville – MUBI. 2006,
- CARPES, F. P. BINI, R. R. NABINGER, E. DIEFENTHAELER, F. MOTA, C. B. GUIMARÃES, A. S. “Aplicação de força no pedal em prova de ciclismo 40 km contra-relógio simulada: estudo preliminar.” Artigo Rev. bras. Educ. Fís. Esp., São Paulo, v.19, n.2, p.105-13, abr./jun. 2005,
- LORENZO, D. S. e HULL M. L. “Quantification of Structural Loading During Off-Road Cycling.” Artigo Journal of Biomechanical Engineering, Agosto 1999, Vol. 121, p. 399-405,
- NORTON, R. – Projeto de Máquinas: uma abordagem integrada, 2ª Ed. Editora Bookman, p. 932. São Paulo. 2007,
- PEQUINI. S. “Ergonomia Aplicada ao Design de Produtos: Um estudo de caso sobre o Design de bicicletas” – tese de doutorado, FAU/USP 2005,
- SILVA, W. – “Análise Estrutural de Quadro de Bicicleta Usando Ligas de Alumínio AA 6061-T6 e AA 7005-T6.” Trabalho de Conclusão de Curso. UFVR. 2010.

## DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

O autor Macclarck Pessoa Nery é o único responsável pelo trabalho apresentado neste presente artigo.