

DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DE UM CHASSI PARA MOTOCICLETAS DE COMPETIÇÃO

Alex Ferreira de Lima, alexferreira.labem@gmail.com¹

Caio Costa Barbosa do Nascimento, caiocbn94@gmail.com²

Wanderley Ferreira de Amorim Junior, engenhariabrasileira@gmail.com³

¹²³ Universidade Federal de Campina Grande, 58429-900, Av. Aprígio Veloso, 882 –Bodocongó- Campina Grande – Paraíba, Brasil.

Resumo: Atualmente o mercado brasileiro de motocicletas de competição vem apresentando uma crescente demanda, visto que é um mercado onde os consumidores não possuem a opção de ter uma motocicleta específica de competição para a prática do esporte de motovelocidade, tendo que adaptar as motocicletas comerciais de uso urbano para as pistas. Em detrimento disso, este trabalho teve como objetivo projetar um chassi para uma motocicleta de competição na categoria 250 cilindradas, utilizando um modelo multicorpos de motocicleta contendo 4 corpos rígidos conectados por juntas de revolução e parametrizados por 7 graus de liberdade. O modelo contempla as principais características geométricas e inerciais da motocicleta. O chassi projetado foi baseado no motor da Honda Twister 250 cc. Uma pesquisa foi realizada objetivando listar as motocicletas desta categoria que mais comumente são utilizadas na prática deste esporte. Os dados coletados foram parâmetros próprios de cada modelo de motocicleta, apresentando as suas influências na dirigibilidade e eficiência do veículo. Em seguida, foram comparados com as informações contidas na literatura. Para garantir a resistência mecânica ao chassi, realizou-se modelagens e simulações pelo método de elementos finitos no Software CAD 3D Inventor. Como consideração final, podemos afirmar que esse método se mostra bastante eficiente, levando em consideração que se obtém um chassi com excelente resistência, leveza considerável, custo baixo, fácil fabricação e boa aparência.

Palavras-chave: Chassi, Motovelocidade, Motorcycle Dynamics, Vittore Cossalter.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo a revista Auto Esporte, em 2014 tínhamos uma frota de 13,12 milhões de motos em circulação. Cada vez mais congestionado, o trânsito se mostra uns dos motivos para esse crescimento, outro fator que se torna bem relevante é o aumento da prática de um esporte relativamente novo no Brasil, a motovelocidade.

Entretanto, a motovelocidade poderia apresentar números bem mais elevados. O motivo para a não ocorrência disso seria o alto custo para se manter no esporte. O mercado não apresenta motocicletas para a prática da motovelocidade, adaptação e adequações são extremamente necessárias, elevando-se os custos.

Como solução para tais problemas, busca-se dimensionar um chassi para motocicletas de competição da categoria inicial do esporte, 250 cilindradas, com custo de fabricação baixo, boa resistência mecânica, design inovador e que possa atender todas as necessidades que surgirem durante a prática do esporte. A dinâmica da motocicleta, a ergonomia e a boa condutibilidade são influentes no resultado.

2. METODOLOGIA

O trabalho desenvolvido teve como objetivo estudar, projetar e fabricar um chassi para motocicletas de competição para a categoria 250 cilindradas da motovelocidade. Para melhor entendermos como se deu o desenvolvimento vejamos abaixo (Fig. 1):

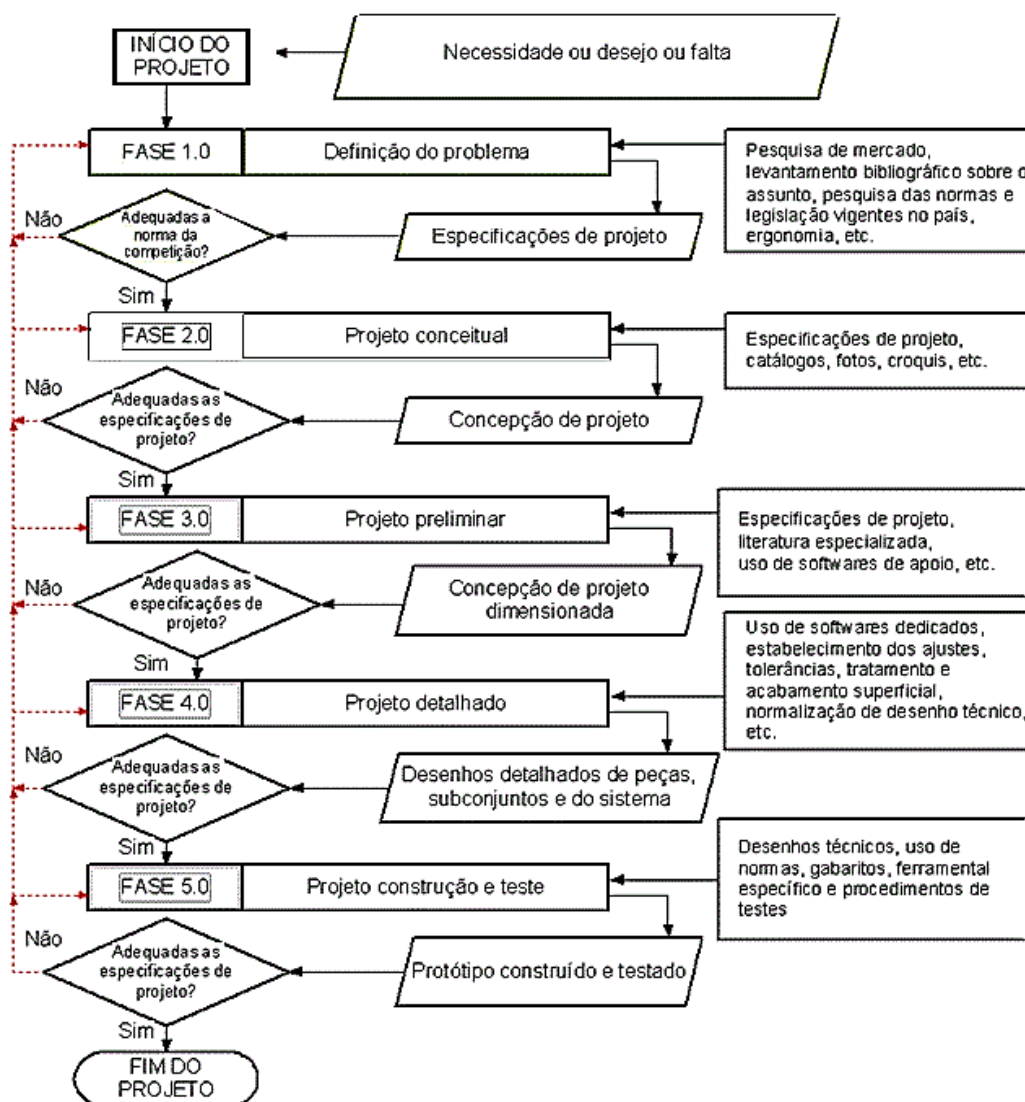


Figura 1. Metodologia para desenvolvimento de produtos.

Em busca de conteúdo a respeito do assunto, inicialmente foi realizada uma pesquisa em materiais técnicos, como manuais de serviço e fichas técnicas de motocicletas em geral. A busca por imagens, vídeos e gráficos é de grande interesse para análise e concepção do projeto, pois traz informações valiosas para o projeto. Os gráficos registram e descrevem o comportamento da motocicleta, ou seja, é o elemento que permite a caracterização da motocicleta. Sendo assim, gráficos coletados serão importantes para analogia com os gráficos gerados durante o desenvolvimento.

Uma ferramenta essencial para análise do comportamento da motocicleta são os softwares de modelagem e simulação computacional, tendo como objetivo chegar o mais próximo da realidade sem gerar custos com ensaios físicos. Para tal função foi utilizado o Software CAD 3D Inventor, pela excelente precisão nos resultados e por ser um software de uso livre para o meio acadêmico.

Depois de encontrar muitas informações no mercado, sentiu-se a necessidade de se ter uma literatura específica sobre motocicletas de competição, então foi utilizada como referência o regulamento desenvolvido pela Moto Engineering Foundation – MEF, aplicado a Competição Internacional MotoStudent e o livro Motorcycle Dynamics, do autor Vittore Cossalter.

2.1. Projeto Conceitual

Apesar das motocicletas serem compostas por uma grande variedade de componentes mecânicos (suspensão, motor, sistema de transmissão, etc.) do ponto de vista cinemático considera-se a suspensão rígida e demais subsistemas agrupados em quatro corpos rígidos (Cossalter, 2006):

- Estrutura traseira (composta pelo quadro, reservatório de combustível, motor/transmissão e assento);
- Estrutura dianteira (composta pelo garfo e guidão);
- Roda dianteira;
- Roda traseira.

Estes corpos rígidos são conectados por três juntas de revolução (eixo de esterço e das duas rodas) e estão em contato com o solo por dois pontos de contato gerados pela interface pneu / solo, conforme Figura 2.

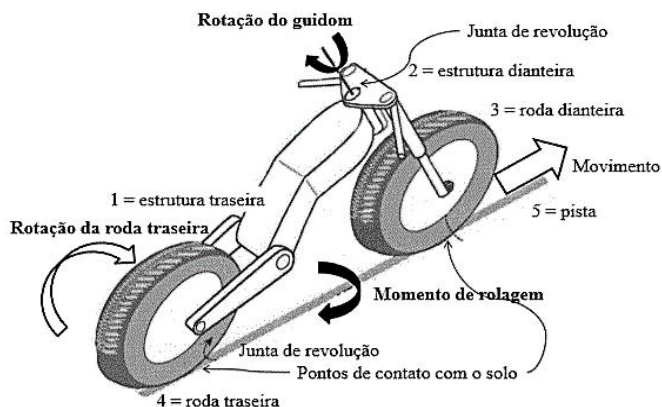


Figura 2. Estrutura cinemática da motocicleta.

A motocicleta apresenta sete graus de liberdade totais, três graus de liberdade podem ser associados aos movimentos principais:

- Movimento de avanço da motocicleta (representada pela rotação da roda traseira);
- Movimento de rolagem ao redor da linha que une o ponto de contato dos pneus com o plano do solo;
- Rotação de esterço.

Enquanto o piloto conduz a motocicleta, gerencia os três mais importantes movimentos, de acordo com o estilo e conhecimento individual: o movimento resultante da motocicleta e a trajetória correspondente dependem de uma combinação, no domínio do tempo, de três movimentos relacionados com os três graus de liberdade.

Esta consideração é formulada assumindo-se que os pneus se movem sem escorregamento, entretanto na prática, o movimento dos pneus não é apenas um processo de rotação.

O estudo da cinemática da motocicleta refere-se a uma motocicleta rígida, sem suspensão, com rodas montadas com pneus indeformáveis.

Motocicletas podem ser descritas utilizando os seguintes parâmetros geométricos (Fig. 3):

- p : entre-eixos;
- d : fork offset: distância perpendicular entre o eixo de rotação da estrutura dianteira e o centro da roda dianteira;
- ε : ângulo de cáster;
- R_t : raio da roda traseira;
- R_d : raio da roda dianteira;
- tt : raio da seção transversal da roda traseira;
- td : raio da seção transversal da roda dianteira.

Outros parâmetros geométricos são expressos em termos destas variáveis por meio das seguintes equações:

- $pt = (R_t - tt)$: raio do centro do toróide traseiro; (1)
- $pd = (R_d - td)$: raio do centro do toróide dianteiro; (2)
- $an = [(R_d \sin \varepsilon) - d]$: normal trail dianteiro; (3)
- $bn = [(p + a) \cos \varepsilon]$: trail normal traseiro; (4)
- $an = an / \cos \varepsilon = (R_d \tan \varepsilon) - (d / \cos \varepsilon)$: trail mecânico (5)
- $Rn = (an / bn)$: razão entre o normal trail dianteiro e traseiro. (6)

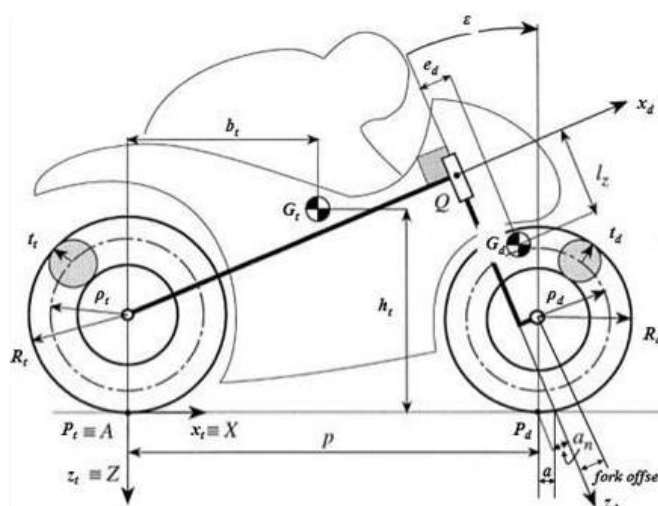


Figura 3. Parâmetros Geométricos.

O entre-eixo p é a distância entre os pontos de contato dos pneus com o solo. O ângulo de caster ε é o ângulo entre o eixo vertical e o eixo de rotação da seção frontal. O trail a é a distância entre o ponto de contato da roda dianteira e o ponto de intersecção do eixo de rotação da direção com o solo medido no plano do solo.

Juntos estes parâmetros são importantes e definem a manobrabilidade da motocicleta. O valor do entre-eixo varia de acordo com a motocicleta. Pode ter 1300 mm à 1350 mm para motocicletas médias com 250 cc.

Geralmente, o aumento do entre-eixos, assumindo que os outros parâmetros permanecem constantes, resulta em (Cossalter, 2006):

- Aumento na deformabilidade flexional e torcional da estrutura. Este parâmetro é muito importante para manobrabilidade;
- Aumento do raio mínimo de curvatura, prejudicando a manobrabilidade;
- Aumento no torque aplicado ao guidão em uma curva;
- Redução da transferência de carga entre as duas rodas durante aceleração e frenagem, que resultam uma redução no movimento de pitch;
- Redução do movimento de pitch produzido por irregularidades da pista;
- Aumento na estabilidade direcional da motocicleta.

O trail e o ângulo de caster são muito importantes para o sistema de direção, a definição de manobrabilidade e estabilidade direcional da motocicleta estão diretamente associadas a esses parâmetros. Trail é a distância, em milímetros, horizontal entre o eixo vertical imaginário e a projeção do eixo de direção. Sempre que a projeção do eixo da direção, ultrapasse o eixo vertical imaginário, dizemos que temos trail positivo, caso contrário então será trail negativo. Procuramos ter trail positivo e um ângulo de caster diferente de zero para se obter a compensação. A compensação trata-se de uma solução mecânica que tendencialmente mantém o veículo equilibrado em sua trajetória sobre uma linha reta, facilitando a manobrabilidade da motocicleta.

O ângulo de caster varia de acordo com o tipo de motocicleta, entre 21 e 24° para as de competição ou Sport. Do ponto de vista estrutural, um pequeno ângulo de caster produz um notável esforço no garfo durante a frenagem. Uma vez que o garfo é deformável, tanto flexionalmente quanto torsionalmente, pequenos valores de deslocamento provocam vibrações perigosas na parte da estrutura dianteira.

O valor do trail depende do tipo de motocicletas e do entre-eixos. Para motocicletas de competição o trail terá valores de 75 a 90 mm. Valores pequenos de trail produzem pequenos momentos auto-alinhantes em função da força de atrito lateral. Mesmo que o piloto tenha a impressão que o movimento do sistema de direção é fácil, o sistema é bastante sensível a irregularidades da pista. Valores altos de trail aumentam a estabilidade da motocicleta em movimento retilíneo, mas reduzem drasticamente a sua manobrabilidade.

As forças laterais dianteiras e traseiras produzem momentos ao redor do eixo de rotação do sistema de direção e proporcionais às distâncias an e bn respectivamente. Estas dimensões estão relacionadas ao entre-eixos e ao trail pelas Eq. (3) e (4).

Esta consideração demonstra como o entre-eixo e o trail estão relacionados entre si e devem ser considerados juntos. Não é correto definir que o trail é pequeno ou grande sem referenciá-lo com o entre-eixo. Como parâmetro comparativo entre motocicletas, utiliza-se a razão entre o trail normal dianteiro e traseiro (Eq. 6). Geralmente o trail normal dianteiro está entre 4 e 8% do valor do traseiro. O valor desta razão (Eq. 6) para motocicletas de competição é aproximadamente 6%.

Outro parâmetro importante na dinâmica da motocicleta é o *fork offset*. Definido pela distância entre o centro da suspensão dianteira e o centro do eixo de direção, situado no interior da caixa de direção. Este pode ser nulo ou maior

que zero. Conclui-se que com o fork offset maior que zero existe uma movimentação do centro da roda dianteira para baixo menor do que na configuração com fork offset nulo. Conclui-se também que quanto menor a movimentação vertical da roda dianteira durante o esterçamento melhor para a estabilidade da motocicleta. Esta movimentação produz rotação do conjunto formado pela estrutura dianteira, roda dianteira e estrutura traseira ao redor do ponto de contato do pneu traseiro. Esta rotação é denominada de *pitch*, produzindo variação da posição do centro de massa da motocicleta, estas variações podem afetar a estabilidade direcional da motocicleta.

A relação peso/potência é obtida consultando a ficha técnica do veículo. Esta razão é muito importante, pois não basta apenas ter uma motocicleta de alta potência se ela for muito pesada. Podemos ter uma motocicleta menos potente com menor peso e obter um melhor resultado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Projeto Informacional

3.1.1. Levantamento Dos Parâmetros Característicos Das Motocicletas

Está comprovado que não existe um desenho perfeito, ou seja, possuem várias soluções que podem nos dar bons resultados. É por isto que vamos nos basear em uma associação da experiência de marcas conceituadas no mundo das competições e na literatura, analisando as diferentes seleções de geometrias utilizadas para tomar nossa própria decisão.

Devido à escassez de informação técnica quanto a geometria das motocicletas de competição foi realizada uma pesquisa de mercado para identificar as opções de motocicletas para a prática da motovelocidade e também foi verificado se os principais parâmetros geométricos encontrados na literatura são compatíveis com a realidade de mercado, ou se são apenas valores empíricos. Os resultados foram organizados na Tab. 1.

Tabela 1: Dados obtidos na pesquisa de mercado.

Motos	Caster	Trail	Entre-Eixo	Massa
CBR 250	25	95	1369	166
CB 300R	25,14	97	1402	147
COMET 250R	25,5	85	1430	173
NINJA 300	27	93	1405	172
FAZER 250	26,3	104,5	1360	137
DUKE 390	25	94	1367	139
KTM RC 390	23,5	88	1340	147
MSX 125	25	81	1200	101
CB 125F	26	97	1295	128
CBR 300R	25,05	98	1380	164
Z 300	26	82	1405	168
Z 250 SL	24	90	1330	148
COMET GT 125	25,5	85	1445	150
GD 250 N-EXIV	23,5	94	1360	143
COMET GT 125R	25,5	90	1435	166

Com base nessa tabela, foi possível construir os gráficos para análise da incidência dos valores para os parâmetros citados.

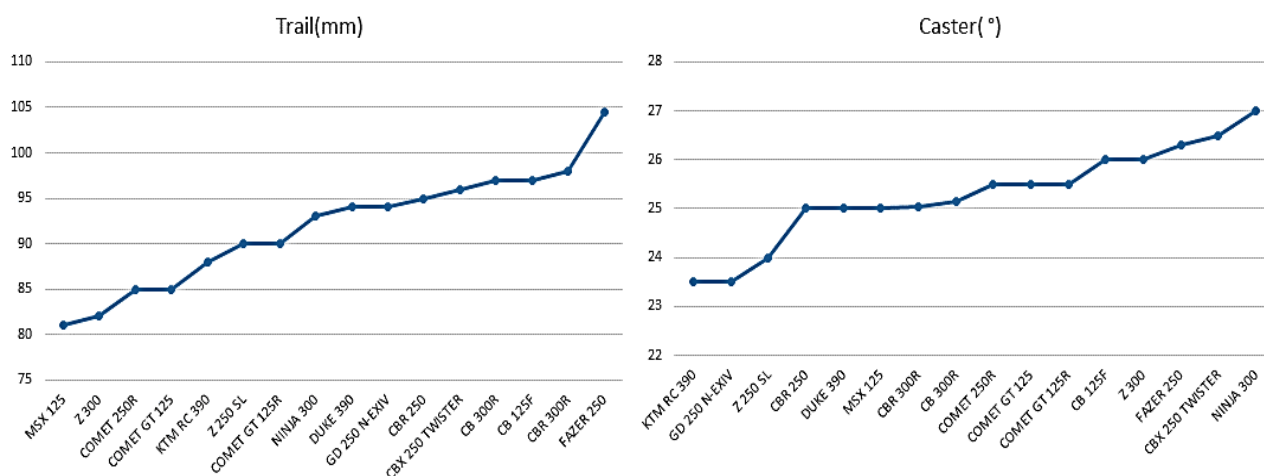


Figura 4. Gráficos relacionados a incidência dos parâmetros Geométricos: Trail e ângulo de caster.

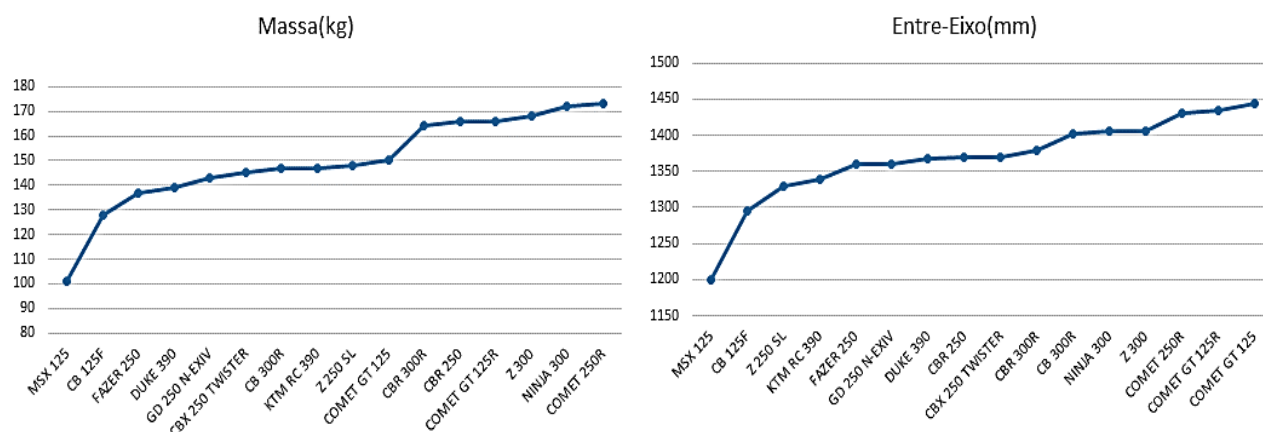


Figura 5. Gráficos relacionados a incidência dos parâmetros Geométricos: Massa e entre-eixos.

Segundo Cossalter, o valor apresentado do Trail an para motocicletas de competição deve entre $75\text{mm} < an < 90\text{mm}$, feito a pesquisa de mercado para as motocicletas do segmento de competição podemos ver naturalmente na Fig. 4 que os modelos de motos esportivas disponíveis no mercado realmente possuem o trail entre os valores estabelecidos, já as motos que possuem o valor acima do demonstrado são motos que tem um uso menos agressivo, uso mais urbano, sendo assim podemos estabelecer uma faixa de trail para o desenvolvimento da geometria do projeto.

O ângulo de caster na maioria dos modelos de motos esportivas disponíveis no mercado são maiores que os valores especificados pelo Cossalter, 2006 (Fig. 4). Essa diferença da literatura se dá por que são motocicletas esportivas mas para uso urbano, sendo assim podemos estabelecer uma faixa de ângulo de caster para o desenvolvimento da geometria do projeto, seguramente tomando como uma das referências a literatura.

De maneira semelhante podemos observar que as motocicletas do segmento de competição disponíveis no mercado realmente possuem o entre-eixo entre os valores estabelecidos.

3.1.2. Definição da Geometria

Como vimos anteriormente a razão ideal entre o an e o bn para motos de competição é de aproximadamente 6%, então baseado nas informações de mercado e pela literatura foi estabelecido os seguintes valores máximos e mínimos dos seguintes parâmetros geométricos, para que pudéssemos obter a razão desejada para a categoria de motocicletas de competição que queremos.

Tabela 2. Faixa de parâmetros a serem trabalhados.

Parâmetros Geométricos			
	Ângulo de Caster	Trail	Entre-Eixo
Mínimo	21°	75 mm	1200 mm
Máximo	24°	90 mm	1400 mm

Visto que os valores teóricos e de mercado estão correlacionados de forma satisfatória foi estabelecido um valor padrão para motor, pneus, rodas, offset, amortecedores dianteiros e traseiro (Tab. 3) já que nas competições regidas pelo regulamento da Competição Internacional MotoStudent esses componentes são padrão com exceção do offset que é opcional.

Tabela 3. Componentes padrão.

Componente	Especificação
Pneu/roda dianteiro	90-70/17
Pneu/roda traseiro	115-70/17
Motor	Honda Cbx 250 Twister
Suspensão dianteira	Honda Cbx 250 Twister
Suspensão traseira	Honda Cbx 250 Twister
Balança (braço oscilante)	Honda Cbx 250 Twister
Mesas (Superior e inferior)	Honda Cbx 250 Twister

Depois de analisado o valor do fork offset da Honda Cbx 250 Twister, 24 mm, e utilizando-se as equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6 foram gerados os gráficos que mostram a relação ideal entre ângulo de caster, trail e entre-eixo para este offset, satisfazendo a condição de que o Rn esteja em torno de 6%, adotando um erro de 0,1% e feito uma análise detalhada dos gráficos, para compreendermos como se comportam as curvas levantadas em função dos parâmetros geométricos (Fig. 4).

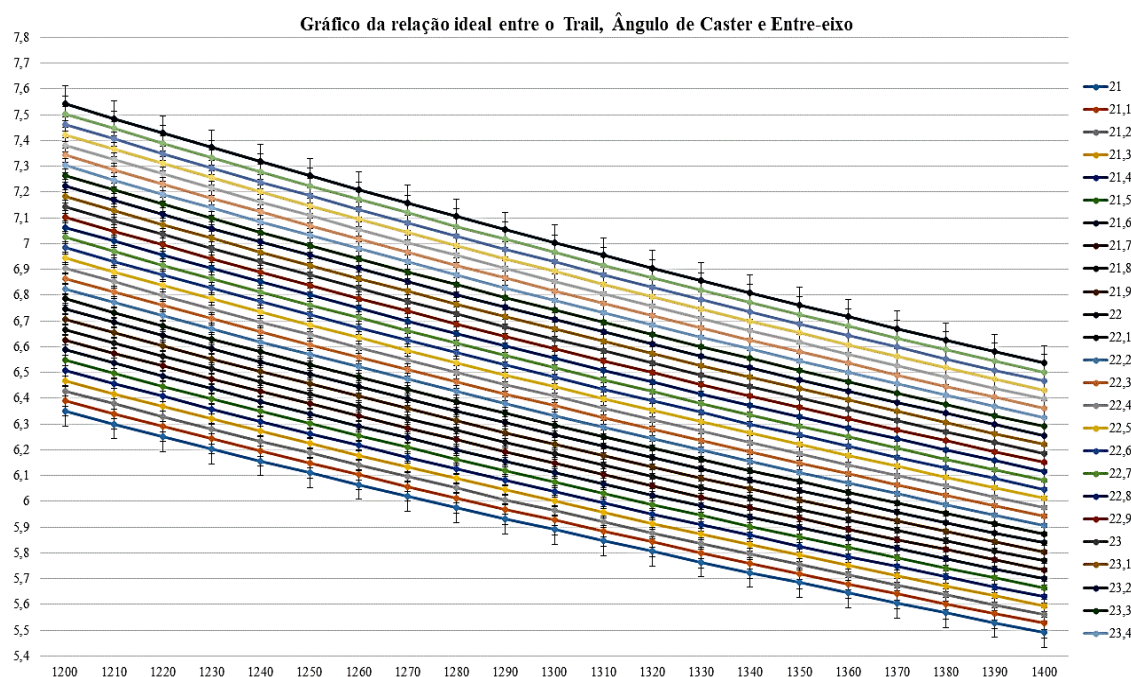


Figura 6. Gráfico da relação ideal entre os parâmetros geométricos.

Que determina a geometria básica da motocicleta desenvolvida sendo está descrita abaixo (Tab. 4):

Tabela 4. Parâmetros geométricos do chassi desenvolvido

	Ângulo de Caster	Trail	Entre-eixo	Rn	Fork Offset
Valor	21,3°	92,98 mm	1300 mm	6,000016	24 mm

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Projeto Preliminar

Com base nos resultados dos cálculos e pesquisas apresentadas, observou-se que o dimensionamento de um chassi será feito fixando os demais elementos que compõe a motocicleta (Fig. 5 e 6), como motor, suspensão, balança, pneus e rodas.

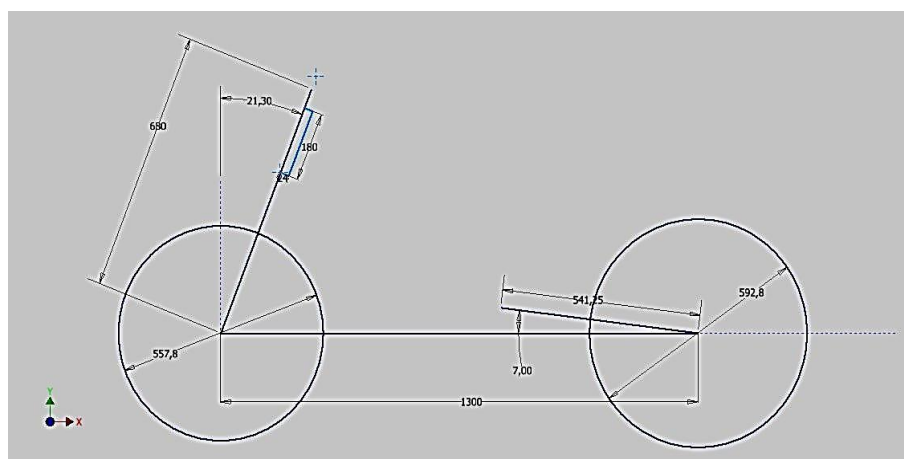


Figura 7. Esboço inicial.

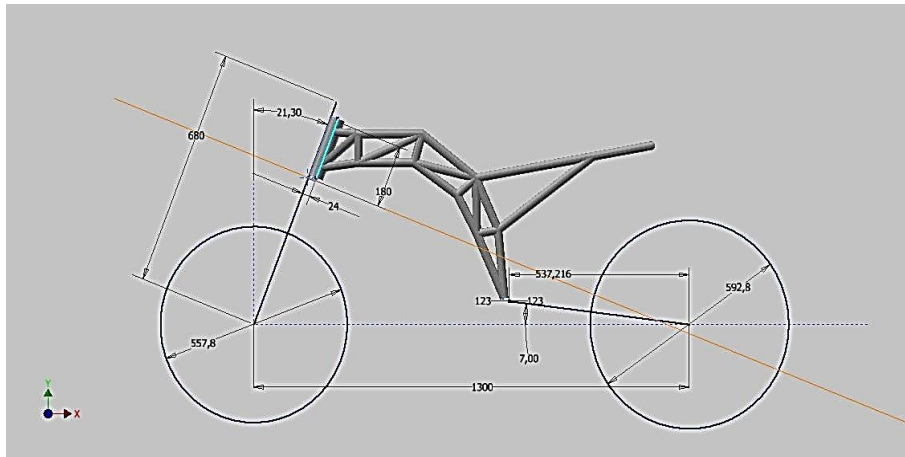


Figura 8. Chassi finalizado.

Simulações pelo método de elementos finitos foram realizadas no Software CAD 3D Inventor seguindo as exigências do regulamento da Competição Internacional MotoStudent (Fig. 7), objetivando avaliar as deformações máximas (Fig. 8). O material utilizado foi o aço SAE 1020, de excelente custo benefício e boa soldabilidade. O mesmo apresenta limite de escoamento de 350 MPa e módulo de elasticidade de 205 GPa.

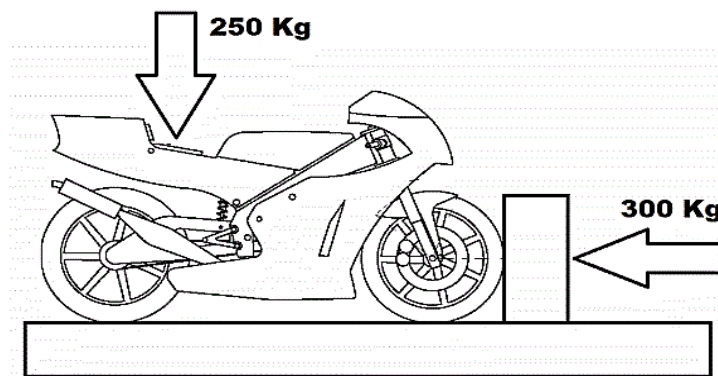


Figura 9. Forças que garantem a resistência mecânica a deformação determinada pelo regulamento da Competição Internacional MotoStudent.

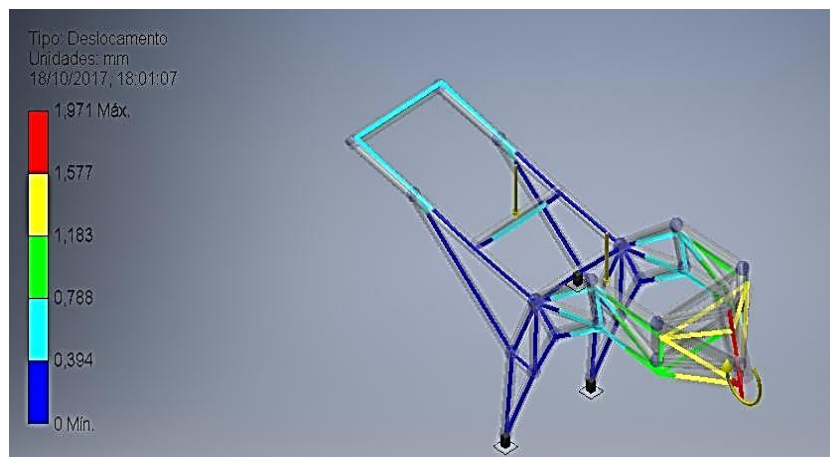


Figura 10. Simulação computacional analisando a deformação máxima.

Essas cargas serão aplicadas alternadamente e progressivamente, verificando que na situação de compressão não há interferência entre elementos. Para garantir que não ocorra uma deformação plástica considerável, a deformação durante a simulação não deve exceder 2 mm.

4.2. Projeto Detalhado

Antes de iniciar a fase de construção foi desenvolvido o desenho técnico do chassi, facilitando a construção e analisando eventuais falhas durante a modelagem.

4.3. Construção

A construção do protótipo foi realizada na oficina da Universidade Federal de Campina Grande (Fig. 9).

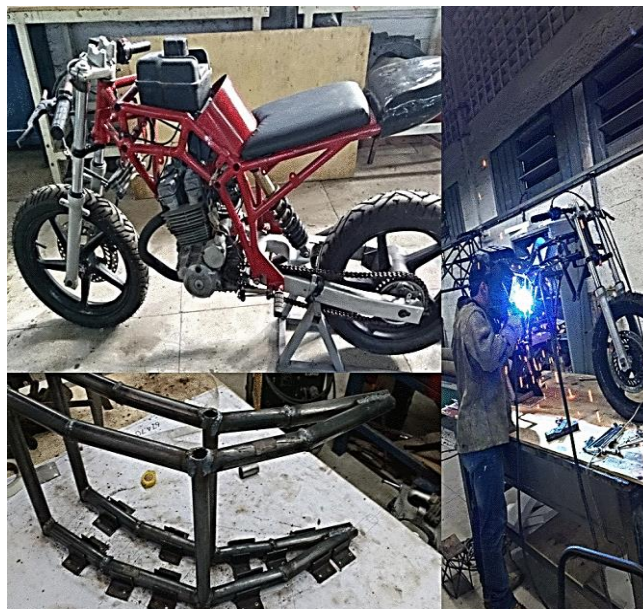


Figura 11. Construção.

5. CONCLUSÃO

Após a realização das etapas de projeto e fabricação foi possível a obtenção de um chassi com elevada rigidez, peso inferior aos encontrados no mercado, custo baixo, excelente dirigibilidade, design inovador, de fácil manutenção e construção.

6. REFERÊNCIAS

- Cossalter, v. Motorcycle Dynamics. 2º Edição em Inglês, 2006. ISBN 978-1-4303-08614.
Donadio, R. D. N. 2009. Modelagem do comportamento direcional de motocicletas em curvas. Trabalho de conclusão de curso, Centro Universitário da Fundação Educacional Inaciana Pe. Sabóia de Medeiros, FEI. 126 p.
Pereira, D. A. 2015. Projeto, fabricação e teste de uma motocicleta de motovelocidade. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 129 p.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

SIZING AND MANUFACTURE OF CHASSIS FOR COMPETITION MOTORCYCLES

Alex Ferreira de Lima, alexferreira.labem@gmail.com ¹
Caio Costa Barbosa do Nascimento, caiocbn94@gmail.com ²
Wanderley Ferreira de Amorim Junior, engenhariabrasileira@gmail.com ³

¹²³ University Federal of Campina Grande, 58429-900, Av. Aprígio Veloso, 882 –Bodocongó- Campina Grande – Paraíba, Brasil.

Abstract: *Currently, the Brazilian motorcycle competition market has been showing a growing demand, in which it is a market where consumers do not have the option to have a specific motorcycle of competition to practice the sport of motorcycle speed, having to adapt the commercial motorcycles of urban use for racing. Therefore, the objective of this work was to design a chassis for a racing motorcycle in the 250-cylinder category, using a multi-body model of motorcycle containing 4 rigid bodies connected by joints of revolution and parameterized by 7 degrees of freedom. The model contemplates the main geometric and inertial characteristics of the motorcycle. The designed chassis was based on the Honda Twister 250 cc engine. A research was carried out aiming to list the motorcycles of this category that are most commonly used in the practice of this sport. The data collected were parameters specific to each model of motorcycle, provide its influences on the drivability and efficiency of the vehicle. Then, they were compared with the information contained in the literature. In order to guarantee the mechanical resistance to the chassis, modeling and simulations were carried out using the finite element method in CAD 3D Inventor Software. As a final consideration, we can say that this method proves to be quite efficient considering that a chassis with excellent strength, lightness, low cost, easy manufacturing and good appearance is obtained.*

Keywords: *Chassis, Motorcycle racing, Motorcycle Dynamics, Vittore Cossalter.*