

Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Mecânica

DEE
11/12/02

***Projeto Parcial de um Veículo Protótipo de Competição:
Adoção do Powertrain de Motocicleta de Alto Desempenho***

Elaborado por:
André Leonel Leal
Flavio de Almeida Colnaghi

Orientador:
Ronaldo de Breyne Salvagni

Coordenador:
Edson Gomes

São Paulo
2002

Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Departamento de Engenharia Mecânica

DEE
11/02/02

***Projeto Parcial de um Veículo Protótipo de Competição:
Adoção do Powertrain de Motocicleta de Alto Desempenho***

**Trabalho de formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Graduação em Engenharia.**

Orientador:
Ronaldo de Breyne Salvagni

São Paulo
2002

SUMÁRIO

ÍNDICE	1
1. RESUMO	3
2. INTRODUÇÃO	4
2.1. Interesses Comerciais	4
2.2. Motivação	5
2.3. Estudo de Caso Lótus Seven	6
3. OBJETIVOS PARA O TRABALHO DE FORMATURA	9
4. METODOLOGIA DE PROJETO NO AUTOMOBILISMO	10
4.1. Busca de Conhecimento	10
4.2. Sistemática do Projeto	15
4.2.1. Passos do Projeto	17
4.2.2. Ordem de Desenvolvimento dos Sistemas	22
4.3. Considerações de Engenharia	26
5. ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DAS NECESSIDADES	28
6. PESQUISA, ESTUDO E ELABORAÇÃO DE ALTERNATIVAS.....	29
6.1. Motor & Transmissão	29
6.1.1. Seleção do Motor.....	29
6.1.2. Motor Transversal	32
6.1.3. Motor Longitudinal	32
6.2. Chassis	33
6.2.1. Spaceframe.....	34
6.2.2. Monocoque	36
6.2.2.1 Tipo Honeycomb	37
6.2.2.2 Fibra de Carbono (ou compostos).....	39
6.3. Suspensão , Freios e Direção	42
6.4. Aerodinâmica	46
7. ESCOLHA DAS ALTERNATIVAS MAIS EXEQÜVEIS	47

7.1. Motor & Transmissão	47
7.1.1. Definição dos Atributos a Serem Comparados	48
7.1.2. Matriz de Decisão	48
7.2. Chassis	49
7.2.1. Definição dos Atributos a Serem Comparados	49
7.2.2. Matriz de Decisão	51
8. DEFINIÇÃO DOS PNEUS	52
9. RELAÇÃO ENTRE-EIXOS E BITOLA.....	56
10. SELEÇÃO E ADEQUAÇÃO DA TRANSMISSÃO FINAL.....	58
10.1. Seleção do diferencial.....	58
10.2. Conexão Motor-Diferencial.....	65
11. ESTIMATIVA GERAL DO PROTÓTIPO.....	68
11.1. Rodas e Pneus.....	69
11.2. Suspensões.....	69
11.3. Motor.....	70
11.4. Tanque de combustível.....	71
11.5. Piloto.....	72
11.6. Conjunto Chassi e Carroceria.....	74
11.7. Dimensões Mínimas	75
12. MODELAGEM SÓLIDA DO PROTÓTIPO.....	78
12.1. Interferências.....	81
12.2. Centro de Massa.....	82
13. PRÓXIMOS PASSOS.....	84
14. BIBLIOGRAFIA.....	85

1. Resumo

Neste relatório estarão sendo apresentadas a metodologia de projeto, a definição de necessidades, a pesquisa, estudo e elaboração de alternativas, assim como os primeiros passos do projeto de um automóvel.

O automóvel consiste em um veículo Protótipo de competições de longa duração que será criado envolvendo um motor de motocicleta de alto desempenho. Por tanto todas as premissas utilizadas é a de que se deve adequar o veículo aos parâmetros citados acima.

Os resultados obtidos foram as decisões do tipo de chassi, disposição do motor e tipo de transmissão, o tipo de suspensão; assim como a definição dos pneus, a estimativa das principais dimensões do veículo e a seleção da transmissão final. Todas as decisões foram tomadas com embasamento nas pesquisas realizadas, embora muitas tenham sido tomadas de forma subjetiva, dando maiores margens a erros de decisões.

2. Introdução

2.1 Interesses Comerciais

As necessidades de um projeto para competições automobilísticas não podem ser enxergadas através da visão comumente utilizada para um produto ao qual deve ser atribuída a capacidade de ser vendido em massa. O automóvel de competição deve ser enxergado como um veículo de imagem, imagem esta que estará sendo associada ao desempenho e resultado do seu expositor.

Ou seja, fazendo a comparação da **necessidade declarada X necessidade real** nota-se que a necessidade declarada é um veículo de alto desempenho, em quanto que a necessidade real é a exposição de um nome através do esporte automobilístico.

A fim de atender esta necessidade o desempenho do automóvel e a sua capacidade de se destacar em competições não deixam de ser fundamentais, sendo ainda sim as mais importantes características do projeto. Algo que costuma tornar esta "mídia" mais atraente é a possibilidade de vincular não só a marca, mas também o produto ao veículo. Por exemplo, uma marca de Freio X estará muito mais exposta se não só o seu nome estiver vinculado ao veículo, mas sim o seu produto, se por exemplo, o sistema de freio produzido pela marca X estiver sendo utilizada durante as competições.

As necessidades do projeto são então a diferenciação, a exeqüibilidade, a viabilidade econômica o desempenho excepcional, e tudo isso utilizando partes que possam ser produzidas pelos patrocinadores (ou compradores do veículo de imagem).

Assim um automóvel de competição atende à frase "O produto final deve ser a resposta ou a solução a uma necessidade".[*]. Na medida em que sempre haverá a necessidade de veículo capaz de se destacar em relação aos outros, sempre haverá a necessidade de expor marcas.

2.2 Motivação

A motivação para este estudo foi originada na vivência que os autores possuem em competições automobilísticas (kartismo).

O kartismo mostrou que o alto desempenho de um veículo não está ligado somente a grandes potências desenvolvidas pelo trem motriz. O conceito primordial do Kart, um veículo microposto, é a sua baixa relação peso-potência (kg/cv), originada a partir da sua construção compacta e leve. Além disso, o baixo peso do kart faz com que ele possua incríveis características dinâmicas, como rápida aceleração, alto poder de frenagem, grande estabilidade em curvas e agilidade direcional.

Outra característica importante é a sua simplicidade construtiva e funcional. Na qual através utilização de conceitos simples pode-se alterar o seu comportamento dinâmico de acordo com o estilo de pilotagem e das condições de trabalho (tipo de circuito, entre outros).

Outra área de motivação foram as corridas de longa duração, nas quais os veículos utilizados são protótipos específicos para este tipo de competição. Pelo regulamento da FIA (Federação Internacional de Automobilismo), os carros denominados protótipos devem ser obrigatoriamente bipostos (espaço físico para duas pessoas) e com as rodas cobertas, distanciando-os da semelhança dos mesmos com veículos monopostos (fórmulas). Também não devem possuir capota, ou seja, o piloto fica exposto ao ambiente, assim como em carros de fórmula.



Figura 1 : Exemplo de protótipo participante das 24 Horas de Le Mans

Ao observar as peculiaridades do kart, a idéia de transpor os seus conceitos para um carro de maior dimensão foi inevitável, sendo assim a necessidade de um Trabalho de Formatura foi a motivação para este projeto, e não o contrário.

2.3 Estudo de Caso: Lótus Seven

Antes de iniciar qualquer projeto é extremamente importante que se faça um estudo de casos a fim de se incorporar as principais idéias e boas praticas já existentes, para tal foram escolhidos alguns dos veículos mais bem sucedidos utilizando princípios similares aos objetivados neste projeto.

Em torno dos anos 50 um engenheiro da Lótus, Colin Chapman, resolveu criar, um veículo com um novo conceito. Fabricado inicialmente em fundo de quintal o Caterham (Lótus Seven) foi o primeiro carro produzido para as ruas com a intenção de ter o máximo de eficiência na função específica do veículo, essa função era proporcionar o maior prazer possível na direção esportiva. Para isso Chapman abdicou de todo e qualquer item supérfluo para a direção

esportiva, o que resultou em um carrinho com menos de 500 kg e desempenho surpreendente sem a necessidade de 300cv, como a maioria



Figura 2 Caterham – Réplica do Lótus Seven

Devido ao excelente desempenho do Lotus Seven e ao seu relativo baixo custo de fabricação, hoje existem inúmeros fabricantes de réplicas, todas mantendo o formato do projeto original, porém com inúmeras melhorias técnicas, principalmente na utilização de materiais mais modernos. Alguns destes fabricantes são: Caterham Cars, Dax, Westfield, Tiger, etc..

O que chama a atenção nestas réplicas é o fato de que muitas delas utilizam powertrain de motocicleta, e possuem um peso muito baixo resultando em altíssimo desempenho. Esta é sem dúvida uma das bases comparativas mais úteis para a estimativa e criação de metas para um projeto como o proposto.

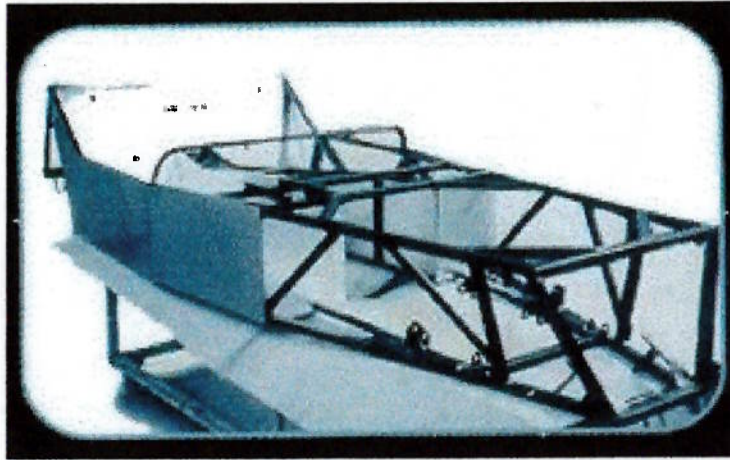
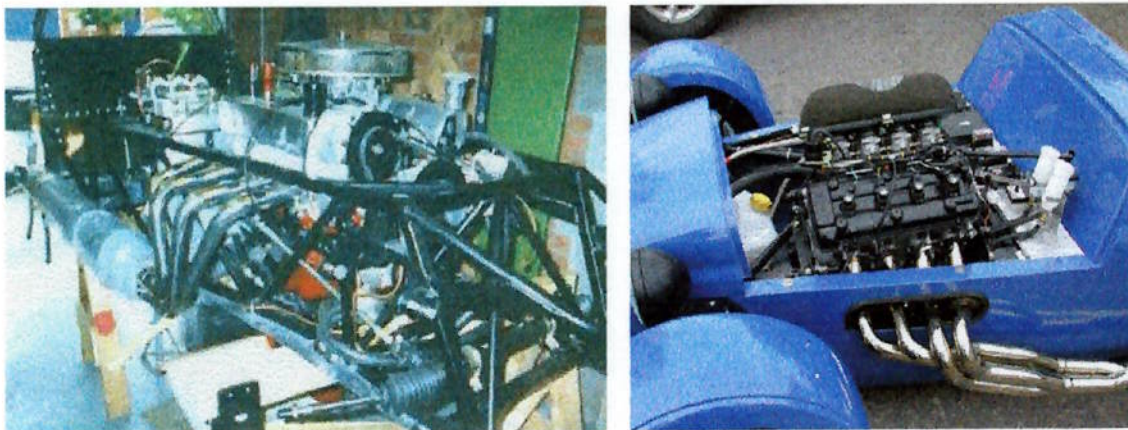


Figura 3: Estrutura tubular de um Westfield que pesa apenas 57 kg



Pode-se ter uma idéia da diferença de tamanho entre os motores acima, à esquerda um V8, à direita um 1300 cc. Para que se tenha uma idéia, um conjunto motor/cambio de um Escort Zetec pesa em torno de 170kg e tem mais ou menos 160cv (com preparação) enquanto um conjunto motor/cambio da Hayabusa pesa 81kg com 175cv (sem preparação).

Apesar do menor torque os modelos com motor de motocicletas obtiveram resultados de desempenho melhores que o do o motor original de 180cv, mostrando a capacidade de motores, que muitas vezes são subestimados pelo baixo volume dos cilindros.

3. OBJETIVOS PARA O TRABALHO DE FORMATURA

Dentre os objetivos deste projeto são:

- Ter contato com um projeto de médio porte antes de concluir o curso de engenharia.
- Criar um veículo de competição com um conceito que até o presente momento não foi aplicado nas competições automobilísticas brasileiras.
- Conceituar e desenvolver a utilização do motor de motocicleta de alto desempenho para um veículo de quatro rodas.
- Atingir alto desempenho à custa do mais baixo peso possível.
- Desenvolver um veículo de relativo baixo custo .
- Ter a possibilidade de enxergar um projeto como um todo, e não apenas partes isoladas de projetos complexos, a fim de permitir uma maior percepção da consistência necessária para um projeto de engenharia.

4. METODOLOGIA DE PROJETO NO AUTOMOBILISMO

Ao longo do curso de engenharia mecânica ficou clara a necessidade de um planejamento na elaboração e no desenvolvimento de projetos de engenharia. Esse planejamento é posto em prática a partir de técnicas que formam a chamada Metodologia de Projeto [*]. A partir do estudo dessa metodologia, procurou-se ampliá-la e customizá-la para o projeto de um veículo de competição.

Como pode ser notado nas pesquisas iniciais, a abordagem ou metodologia adotada no desenvolvimento de um carro de corrida tem algumas particularidades que o diferenciam em relação ao projeto de um carro de passeio ou de outro projeto de engenharia qualquer.

A seguir foram formuladas algumas estratégias a serem seguidas na criação, desenvolvimento e construção de um carro de corrida e que serão adotadas no presente projeto.

4.1. Busca de Conhecimento

O projeto e construção de um carro de corrida exigem inicialmente que se conheça o funcionamento dos sistemas e componentes, assim como o correto entendimento da física e matemática envolvidas. Antes de começar a projetar um carro de corrida, deve-se entender como os diversos subsistemas interagem entre si e como influem individualmente e coletivamente na performance global do veículo. De nada adianta construir um chassi leve e robusto se no projeto não foi visualizada a interação da suspensão com o mesmo.

Num primeiro momento, foram pesquisadas idéias já existentes. A observação é a primeira e mais importante etapa no processo de criação. Conhecer as particularidades e estudar alguns carros de competição que poderiam servir de inspiração para o projeto foi o primeiro objetivo. Isso foi feito em parte através do estudo de casos apresentados na introdução. A observação

deve ser priorizada sobre carros vencedores ou que mostram um bom desempenho.



Figura 4: Protótipo Tango 2000 – segundo colocado nas Mil Milhas 2002

Foram realizadas também pesquisas na Internet sobre carros de corridas, componentes, processos de fabricação, fabricantes, entre outros, além de consulta e aquisição de bibliografia especializada. Foram buscadas em livros as definições matemáticas, explicações físicas, modelos e exemplos dos sistemas de um veículo de competição, principalmente em relação ao chassi [*] e a suspensão [*].

Porém, a mais importante pesquisa realizada foi a observação de "campo". Frequentamos algumas competições automobilísticas, entre elas as "Mil Milhas Brasileiras" dos anos de 2002, 2001 e 2000, onde foi possível observar em detalhe os carros que são (ou serão) os concorrentes diretos do veículo a ser desenvolvido neste projeto. Também foi visitada a equipe "Dragão Motorsport", onde foi possível observar e fotografar carros desmontados de fórmula Renault, fórmula 3 e do protótipo Proton, que participou das Mil Milhas deste ano. Também foram de grande contribuição as sugestões feitas pelo chefe e proprietário da equipe, Sr. Luis Trinci, que se dispôs a ajudar com orientação técnica.



Figura 5: Protótipo Próton da Equipe Dragão MotorSport

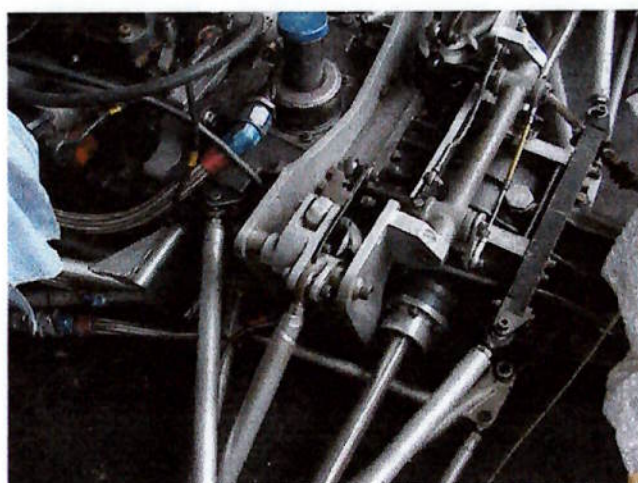


Figura 6: Detalhe da Suspensão Traseira do Protótipo Próton

A construção de um veículo de competição é complexa, por isso é importante entender profundamente as áreas críticas de projeto de um carro de corrida, sob pena de ocorrerem falhas graves no futuro que podem acarretar até mesmo em ferimentos ou morte. Sempre que surgirem pontos nebulosos durante o projeto ou construção, deve ser consultada a bibliografia especializada, o orientador do Projeto de Formatura e pedir a opinião de profissionais com larga experiência no automobilismo.

Foram elaborados alguns pontos chave que devem ser completamente entendidos antes de iniciar o projeto:

Suspensão e Direção:

- forças de inércia u_e atuam no contorno de curva, aceleração e frenagem;
- distribuição de peso e influência nos aspectos citados acima;
- propriedades do conjunto pneu-roda (massa, materiais, compostos, etc.);
- as interações dos pneus com a pista;
- a relação entre o centro de gravidade e o centro de rolagem;
- geometria da suspensão e dirigibilidade;
- princípio da barra estabilizadora;
- conceitos das molas e amortecedores;
- componentes da suspensão e sua regulagem para máximo desempenho;

Chassis:

- características e princípios estruturais;
- cargas e forças que afetam o veículo;
- segurança do piloto;
- materiais e suas propriedades físicas (rigidez, tensão de escoamento, etc.);
- métodos de união (soldagem, cola, rebite, brazagem , etc);

Motor & Transmissão:

- interdependência entre o motor e a transmissão;
- fatores que influenciam na admissão, exaustão e arrefecimento;
- posicionamento do motor e fixação;
- componentes da transmissão final (diferencial, semi-eixos, etc.) e sua fixação;
- sistema elétrico;

Aerodinâmica:

- conceitos de aerodinâmica (escoamento, arrasto, pressão, etc.);
- apêndices aerodinâmicos (aerofólios, venturis, direção do escoamento, etc.);
- materiais (metais e compósitos) para a carroceria e sua confecção;
- estruturação da carroceria e dos apêndices aerodinâmicos;

Piloto:

- segurança e suporte (impactos, capotamentos, etc.);
- ergonomia e visibilidade;

Outros:

- tanque e linha de combustível;
- extintores;
- muitos outros aspectos;

4.2. Sistemática do Projeto

Depois da fase de estudo e compreensão, deve ser considerado agora como **abordar** o projeto de um veículo de competição.

O primeiro ponto a ser considerado no projeto de um carro de corrida é obedecer a uma ordem nas etapas de desenvolvimento dos subsistemas do veículo. Porém, o conceito de espiral de projeto [*] aparecerá neste processo. Como cada um dos subsistemas do veículo interage entre si, é natural que se retornem às etapas anteriores para aprimorar conceitos que ficaram mais visíveis numa fase mais adiantada.

Deve-se manter uma linha de desenvolvimento e sempre procurar antecipar possíveis interações da etapa atual com uma etapa futura. Por exemplo, é importante prever que o projeto da suspensão irá determinar muitos aspectos da forma do chassi, da localização dos pontos de fixação e até mesmo da forma da carroceria. Portanto, já adiantamos aqui que a etapa de desenho da suspensão vem antes da etapa de desenho do chassi e nunca o contrário. Todas as etapas e sua seqüência serão apresentadas mais adiante.

O segundo ponto e mais importante para o projetista de um veículo artesanal é ter bom senso para **estimar**, pois nem sempre uma teoria exata estará disponível. Balancear o melhor compromisso entre performance, segurança e custos é primordial para um bom projeto. Para isso é preciso já ter definidas as especificações do veículo.

No processo de desenho e dimensionamento do carro é necessária a utilização de recursos computacionais. É quase impossível o projeto de um carro de corrida atual sem um software de CAD. Um CAD de duas dimensões[*] pode ser uma ferramenta útil, porém a utilização de um modelador de sólidos [*] é a mais indicada. Visualização espacial dos subsistemas e do carro como um todo, além da possibilidade de realizar montagens virtuais são de grande valia e podem evitar problemas futuros. A utilização de um software de gerenciamento de projeto [*] pode ser muito útil também.

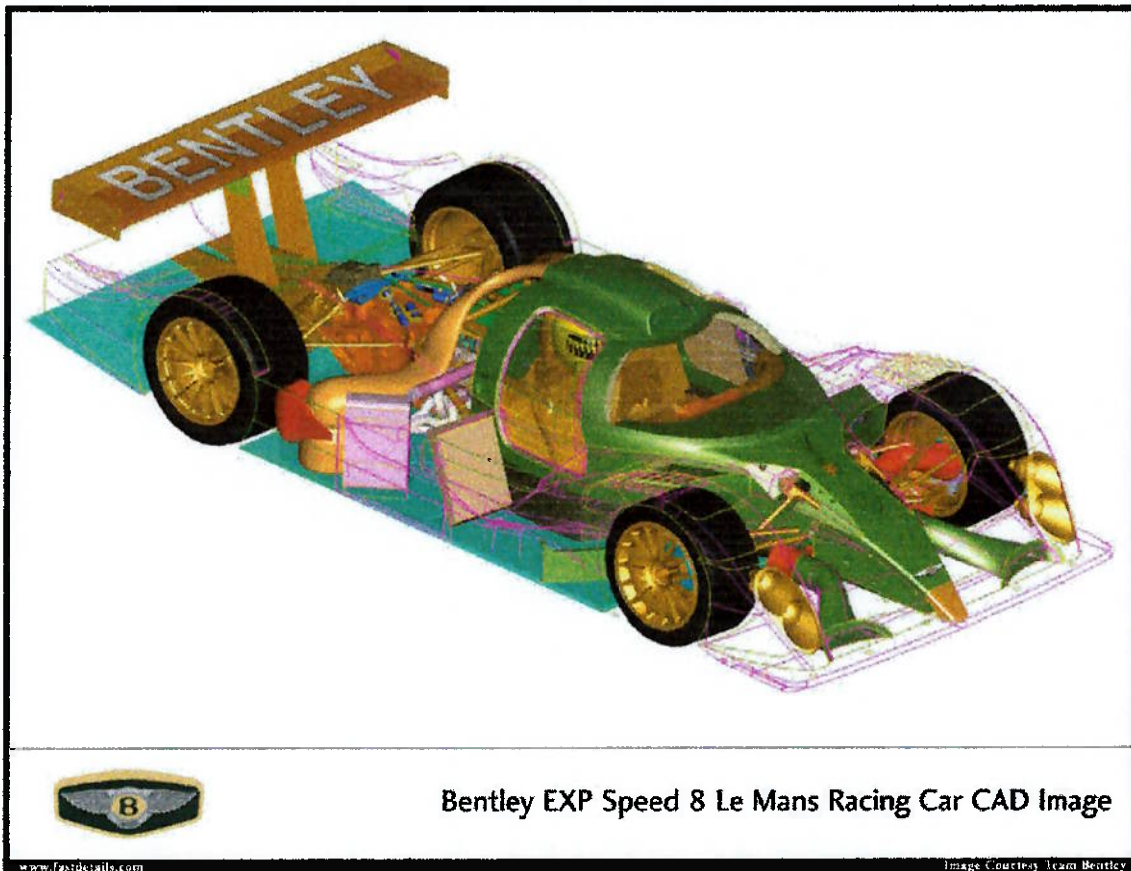
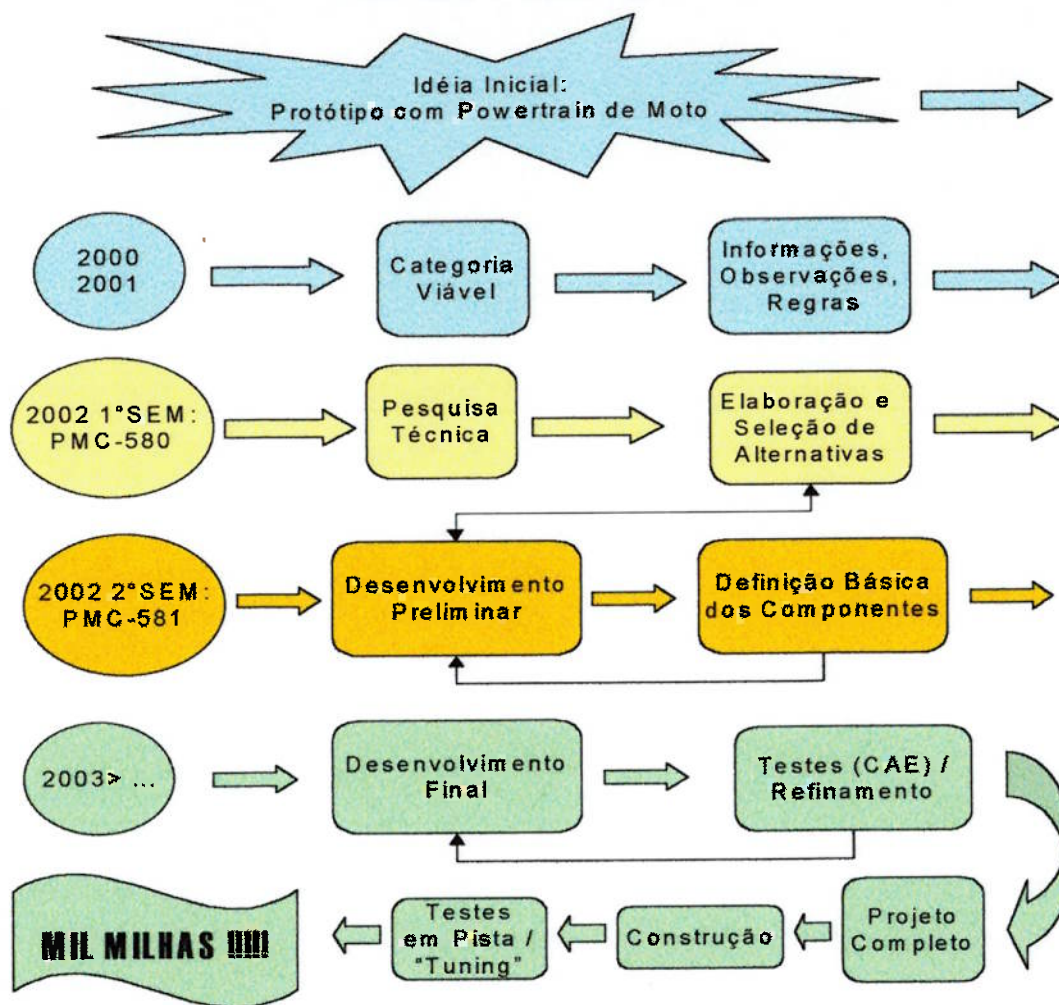


Figura 7: Modelo Completo em CAD 3D do Bentley EXP8

4.2.1. Passos do Projeto

Qualquer projeto de engenharia possui etapas básicas de desenvolvimento [*], porém serão apresentados a seguir os passos adotados neste projeto. Os autores acreditam que esta metodologia pode ser adotada para qualquer outro projeto de um veículo de competição. O projeto em

Passos do Projeto de um Veículo de Competição:
"PROJECT VORTEX"



questão será referenciado a partir de agora de "PROJECT VORTEX" :

Um projeto de engenharia tem início devido a diversos motivos, principalmente devido a necessidades humanas, tecnológicas, ambientais e econômicas. No caso dos autores, a idéia surgiu a partir de uma motivação,

portanto tornando-se o primeiro passo deste projeto. Os demais passos, conforme a figura acima, são:

- **Categoria Viável:** depois da euforia de terem criado uma idéia que para os autores, ingenuamente, se mostrou "brilhante", chega um certo momento onde uma indagação é obrigatória : "Mas aonde vamos correr com isso ?!?" . É neste momento que começa a busca de uma categoria viável para o futuro esporte-protótipo. Não demorou para que os autores chegassem ao Campeonato Brasileiro de Endurance, mais especificamente às Mil Milhas Brasileiras. A "Mil Milhas" possui diversas categorias de turismo, carros GT e os protótipos. Nesta última, competem veículos abertos (sem capota), com as rodas cobertas , mas de fabricação livre, tanto nacional como importado. Analisando-se as regras, chegou-se à conclusão que protótipo "Vortex" poderia se encaixar na categoria "Sport-Protótipo 3", onde competem protótipos nacionais com motores de até 2000cc, de qualquer procedência, portanto permitindo a participação de motores de motocicleta.
- **Informações, Observações e Regras:** neste ponto é feita um pesquisa para obter maiores detalhes dos carros que competem nas Mil Milhas, quais os que mostram melhor desempenho, como são concebidos, suas particularidades, seus dados técnicos, os motores que utilizam e tentar detectar tanto seus pontos fracos, mas principalmente seus pontos fortes. Também é neste ponto que uma leitura mais profunda das regras, principalmente quanto aos requisitos de segurança, se faz necessária. Descobrir o que é ou não permitido pelo regulamento e até seus pontos dúbios pode ser uma vantagem a mais frente à concorrência..
- **Pesquisa Técnica:** a partir deste passo a fase em que está sendo iniciada a abordagem é chamada de Estudo de Viabilidade . É neste

passo que devem ser pesquisadas e adquiridas fontes técnicas sobre o assunto, além de também procurar os possíveis componentes que possam ser utilizados na construção do carro. Estudar e entender os princípios dos subsistemas do veículo, como suspensão e chassi, entender os processos de fabricação envolvidos, compreender as relações físicas envolvidas, suas dinâmicas, as dimensões permitidas e desejadas, o peso e a performance desejada para o veículo, etc. Serão expostos alguns destes pontos técnicos ao longo do texto.

- **Elaboração e Seleção de Alternativas:** é neste ponto que a idéia inicial começa a tomar forma. Elaboração de alternativas baseadas na pesquisa técnica, análise quanto à exequibilidade física, especificação do projeto, etc. É neste passo que são definidos os objetivos e os pontos a serem trabalhados no desenvolvimento preliminar ou no Projeto Básico.
- **Desenvolvimento Preliminar:** é o passo em que as primeiras idéias e conceitos são colocados “no papel”, seja pela descrição técnica textual, seja pelos primeiros desenhos básicos. Para isso se devem utilizar os dados e técnicas pesquisadas nas fases anteriores. Aqui o foco são as partes “macro” do carro, como posição do piloto no chassi, motor, transmissão, braços de suspensão, pinos-mestres, rodas, freios e tanque. Um layout será a primeira fase do desenho de conjunto, que será obviamente completado e desenvolvido em etapas futuras. É importante frisar que nesta fase não se deve entrar em detalhes particulares como, por exemplo, parafusos, a não ser que eles influam na geometria da suspensão ou transmissão. O importante neste estágio é a interconexão entre os componentes principais. O desenho inicial descrito acima será o ponto de partida para o desenvolvimento em um modelador paramétrico como SolidWorks, Microstation, Catia, etc.

- **Definição Básica dos Componentes:** estudando-se os conceitos e desenhos desenvolvidos no projeto preliminar, deve-se proceder com a seleção de componentes que completam o funcionamento das partes “macro” (motor, transmissão, chassi, etc.) do veículo. Isso inclui por exemplos os amortecedores que mais se adaptam à dinâmica pretendida para a suspensão, os componentes secundários de transmissão e freios, entre outros. Toda essa seleção será definida a partir de cálculos que virão das necessidades dos subsistemas principais do carro.
- **Desenvolvimento Final:** Na verdade este não é o passo final do projeto, mas sim o desenho total e final do veículo como um todo. É aqui que todas as vistas geométricas são geradas, assim como a finalização dos modelos sólidos iniciados anteriormente. Porém, a principal característica desta parte do projeto é permitir a completa “montagem” geométrica ou virtual de todas as partes do protótipo, visualizando possíveis interferências e componentes que não atendam às especificações ou que não estão com performance satisfatória. Se a geometria da suspensão, por exemplo, necessitar de alguma alteração, esta será a última chance sem que haja a necessidade de um completo reprojeito. Os componentes devem ser validados em termos de performance, segurança (impactos laterais, capotagem) e eficiência (como os componentes se comportam ou qual o peso e tamanho).
- **Testes (CAE) / Refinamento:** nesta fase são utilizados softwares de elementos finitos para realizar testes da rigidez torcional e estrutural do chassi, dinâmica de mecânica dos fluidos computacional e até mesmo ferramentas de teste de ergonomia. É também através das análises por elementos finitos que será possível o refinamento do projeto, ou seja, a

otimização dos componentes e dos subsistemas com vista à máxima performance e mínimo peso.

- **Projeto Completo:** Com todas as fases completadas, os desenhos revisados e principalmente com as modificações realizadas a partir da fase de testes e refinamento do projeto finalizado, todos os desenhos de montagem e fabricação são finalizados. Neste ponto deve estar claro o lugar em que cada parafuso se encaixa, qual a quantidade necessária, qual a especificação, etc.

As fases de **Construção e Testes em Pista** completam o desenvolvimento do carro, pois os pequenos problemas só serão detectados durante a construção e montagem. Os testes em pista são de extrema importância para que seja realizado o ajuste fino do veículo, principalmente para extrair a máxima performance da suspensão e aerodinâmica.

4.2.2. Ordem de Desenvolvimento dos Sistemas

A tabela abaixo mostra a ordem em que os principais componentes devem ser projetados ou escolhidos, e os aspectos que devem ser considerados para cada um. A tabela abaixo é na verdade um guia para os passos:

Desenvolvimento Preliminar, Definição Básica dos Componentes e Desenvolvimento Final já citados anteriormente.

Ordem de Projeto/ Definição	Componentes	Considerações
1	Pneus/Rodas	<ul style="list-style-type: none">* Roda adequada para a aplicação* Pneu adequado para a aplicação* Roda compatível com o cubo de roda e com o disco de freio* O disco e a pinça de freio são compatíveis* A massa não suspensa é aceitável
2	Cubo/ Disco de Freio, Rolamentos da roda, Ponta de Eixo, Strut (Pino Mestre)	<ul style="list-style-type: none">* Cubos/Discos apropriados para a aplicação* O mesmo para os rolamentos/ ponta de eixo* Definição/ projeto do pino mestre (pelo as dimensões)* Projeto da geometria da suspensão* Esforços que afetam esses componentes
3	Braços da Suspensão, /Eixos de Transmissão / Homocinéticas	<ul style="list-style-type: none">* Resistência adequada para a aplicação* Leveza (não contribui para a massa não suspensa)* Posição dos pontos de fixação no chassi
4	Amortecedores/ Molas / Barras Estabilizadoras	<ul style="list-style-type: none">* Amortecedores / molas / barra estabilizadora adequadas para a aplicação* Considerações de montagem / posição* Constantes de mola e amortecimento adequados para curso, peso, pista, montagem, ajustabilidade, etc.

5	Direção	<ul style="list-style-type: none">* Relação/desmultiplicação da direção* Divergência/convergência das rodas durante o curso da suspensão* Posição de montagem no chassi
6	Habitáculo do Piloto	<ul style="list-style-type: none">* Resistente, forma a célula de sobrevivência do piloto, impede invasão do cockpit* Boa ergonomia para os controles e banco. Bom campo visual* Pedais e volante de direção em posição correta* Posição do piloto otimizada com vista a melhor distribuição de peso* Tubos com rigidez apropriada para o santo Antonio* Sem partes protuberantes que possam ferir o piloto
7	Transmissão Final	<p>(Esta etapa pode ser conduzida juntamente com a suspensão e direção, já que definem onde será a posição do motor).</p> <ul style="list-style-type: none">* Transmitem esforços/torque chassis* Posição de montagem do diferencial* Eixo cardan / pontas de eixos* Atenção para os materiais usados nos componentes altamente exigidos como pontas de eixo/homocinéticas/
8	Posição do Motor / Pontos de Fixação	<ul style="list-style-type: none">* Determina as cargas que serão aplicadas só chassis e nos coxins.* Distância adequada do escapamento a outros componentes que podem ser afetados por altas temperaturas* Linhas de combustível / admissão de ar* Proximidade com o sistema de arrefecimento* Distribuição de peso* Posição da transmissão final (diferencial) / peso

9	Tanque de Combustível	<ul style="list-style-type: none">* Impedir que, no caso de rompimento, ocorra derramamento de combustível para dentro do cockpit* O mais próximo possível do centro de gravidade do carro (plano XY) e o mais baixo possível* Posição relativa ao motor* Linhas/bomba de combustível* Atende as normas de segurança* Fixação no chassi* Bocal de abastecimento o distanciado do piloto
10	Parte Elétrica /Central de Gerenciamento do Motor / Bateria	<ul style="list-style-type: none">* Localização que permita bom acesso para manutenção* Proximidade com o motor* Posição livre da bateria, porém pode ser utilizada para melhorar a distribuição de peso
11	Parte Frontal do Chassi	<ul style="list-style-type: none">* Estrutura que deve suportar a suspensão dianteira (e direção) e os esforços provenientes da mesma* Permitir deformação para absorver um impacto frontal sem que as pernas do piloto sejam esmagadas
12	Célula de Sobrevivência	<ul style="list-style-type: none">* Parte da estrutura focada na proteção contra impactos laterais, frontais, traseiras e capotamentos* Painéis / placas laterais de proteção do piloto

13	Parte Traseira do Chassi	<ul style="list-style-type: none">* Deve prover pontos de fixação para a suspensão e powertrain, além de suportar os esforços provenientes dos mesmos* Permiti deformações em caso de impactos e impede que o motor invada o cockpit
14	Carenagem / Aerofólios	<ul style="list-style-type: none">* Baixo peso* Aberturas para admissão de ar para o motor, radiadores, etc.* Balanço entre "downforce" e arrasto

Tabela 1: Ordem de projeto.

De maneira simplificada, a principal seqüência de projeto é, na ordem: 1) suspensão, 2) motor e transmissão, 3) cockpit, 4) componentes secundários do motor (parte elétrica, tanque, etc.) e 5) célula de sobrevivência. O chassis será sempre projetado em função dos requisitos dessas etapas, e nunca o contrário. Apesar das etapas anteriores definirem, em geral, os requisitos das etapas posteriores, deve tentar prever possíveis interações com as etapas futuras. Por exemplo, durante a escolha dos pneus será necessário visualizar de antemão os requisitos da suspensão, a forma aerodinâmica da carenagem, etc.

4.3. Considerações de Engenharia

Algumas considerações de engenharia importantes também não podem ser esquecidas durante as diversas fases do projeto. Por exemplo, a vida útil dos componentes depende dos materiais escolhidos e de quanto o carro será exigido pelo piloto durante os treinos e corridas. Portanto deve-se ter uma atenção especial quanto às propriedades mecânicas dos materiais.

Todas as considerações de engenharia devem ser visualizadas dentro de quatro aspectos:



O objetivo deve ser otimizar o melhor balanço entre eles.

Segurança é umas das primeiras considerações. Se o carro transmite segurança ao piloto, este estará mais confiante para exigir o máximo desempenho do veículo.

Performance vs. Resistência vs. Peso são considerados como um único aspecto, pois estão inter-relacionados e se aplicam a quase 99% dos componentes do carro. .

Durabilidade é um aspecto importante, porém às custas de um maior peso ou custo. Deve ser suficiente para que o veículo tenha um desempenho uniforme e que permita concluir a corrida sem incidentes mecânicos.

O **Custo** representa o último aspecto limitante. De nada adianta um excelente projeto com excelentes componentes se o “budget” não é suficiente. As fontes de recursos financeiros podem ser, desde cotas de patrocínio até a utilização de

recursos próprios, porém será determinante para que o projeto tenha êxito e seja realizado com qualidade.

5. ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DAS NECESSIDADES

Necessidades Funcionais

- Desempenho: motor com potência ao redor de 170cv; peso abaixo dos 420kg, resultando numa relação peso/potência teórica ao redor de 2,4kg/cv. (relação baseada no estudo de caso do Lótus Seven). Suspensão deve prover o máximo de aderência com o solo e o máximo apoio em curvas;
- Segurança: o chassi deve proteger o piloto em caso de capotamento, impactos laterais, frontais e traseiros;
- Manutenção: deve permitir fácil acesso durante manutenção emergencial

Necessidades Operacionais

- Confiabilidade: deve suportar uma prova de longa duração de de aproximadamente 12 horas (Mil Milhas) .

Necessidades Construtivas

- Deve ser fabricável do ponto de vista da tecnologia disponível e de relativo baixo custo.
- Dimensões externas compatíveis com as regras e com os requisitos de transmissão e suspensão.

6. PESQUISA, ESTUDO E ELABORAÇÃO DE ALTERNATIVAS

6.1. Motor & Transmissão

Esta parte é o principal diferencial deste projeto: a intenção de comparar os vários motores disponíveis no mercado a fim de enxergar a melhor opção.

Devido ao fato dos motores de motocicleta possuírem o cambio na mesma carcaça do motor, a parte da transmissão que deve ser investigada é a transmissão final entre o cambio e as rodas.

6.1.2 Conjunto Motor e cambio

A fim de definir que motor utilizar é necessário inicialmente definir quais são as características do motor mais desejáveis para a intenção do projeto.

Essas características são:

- Baixa relação peso/potência;
- Alto Torque;
- Baixo peso no conjunto motor/cambio
- Simplicidade para adequação a um protótipo
- Durabilidade

O projeto foi idealizado em função de um power-train de motocicleta, devido ao fato de todos os motores de motocicleta de alto desempenho terem características similares foi escolhido o motor com maior torque. A decisão foi baseada no torque pois esta é a característica menos adequada na utilização deste tipo de motor.

Será feita uma comparação com o menor conjunto motor/cambio, de carro e de produção em serie, que possua a mesma ordem de grandeza de potência, a fim de ilustrar o motivo pelo qual os autores idealizaram este projeto.

Motor Honda 1.6 16v VTI

Este é um dos motores de carros produzidos em serie com maior potência específica (cv/cm^3). Utilizado no Civic VTI, já está há vários anos no mercado.

Motor Honda 1,6 16V VTI			
Motor		Cambio	
Tipo de motor	4 Tempos 1600 cm^3	Tipo	Carcaça independente, 5 Marchas
Potência(cv)	160	Peso	60
Peso (kg)	120	Esta relação considera a estimativa de peso total do protótipo sem motor e cambio de 320kg	
Peso/Potência (Kg/cv)	3,1		
Torque (Nm)	153		

Tabela 2: Características do motor Honda.

Motor Suzuki 1.3 16v

Este motor é utilizado pela Susuki Hayabusa a 3 anos, sendo o motor de motocicleta de maior torque disponível no mercado.

Motor Suzuki 1,3 16V			
Motor		Cambio	
Tipo de motor	4 Tempos 1300 cm ³	Tipo	Carcça única, 6 Marchas
Potência(cv)	175	Peso (kg)	40
Peso (kg)	45	Esta relação considera a estimativa de peso total do protótipo sem motor e cambio de 320kg	
Peso/Potência (Kg/cv)	2,3		
Torque (Nm)	140		

Tabela 3: Características do motor Suzuki.

A grande vantagem deste motor (assim como todos os outros utilizados em motos) é a compactação do seu conjunto motor/câmbio.

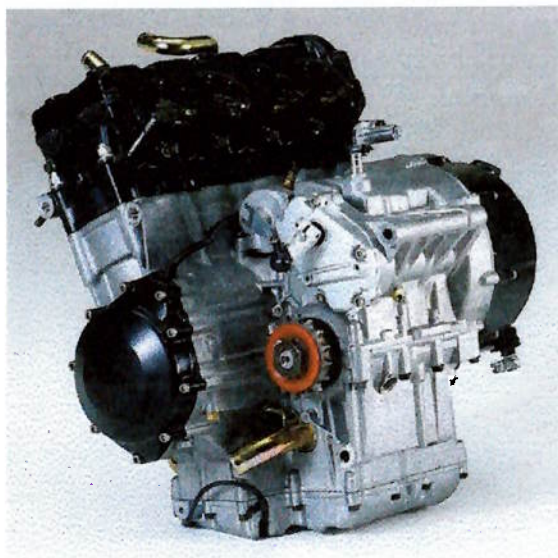


Figura 8: Motor de Hayabusa 1300cc com destaque para a saída do câmbio em vermelho

6.1.1. Motor Transversal

Vantagens do motor transversal

- A utilização de corrente permite a variação freqüente da relação entre o eixo de saída do câmbio e o diferencial.

Desvantagens do motor transversal:

- A transmissão por corrente é menos confiável do que a transmissão por eixo cardan.

- A não existência de um diferencial adequado no Brasil exige a importação da peça de alto custo.

6.1.2. Motor Longitudinal

Vantagens do motor Longitudinal

- Maior confiabilidade na utilização de eixo cardan.

- A utilização de eixo tipo cardan permite a utilização de diferenciais comuns no mercado Brasileiro.

Desvantagens do motor Longitudinal

- o torque aplicado pelo motor pode influenciar no problema de rigidez torcional do chassis

6.2. Chassis

O chassis é sem dúvida nenhuma uma das maiores e mais completas decisões a ser tomada. Essa peça, de extrema complexidade, deve ser capaz de não só sustentar e ter espaço para todos os anexos do veículo, mas sim de distribuir as forças de reação de cada anexo de forma planejada e prevista, mantendo o menor peso possível. Para tal é de absoluta importância a capacidade dos autores de obter e utilizar o conhecimento necessário para projetar adequadamente qualquer das opções de chassis escolhidas mais adiante neste documento. Conseqüentemente é clara a importância destes aspectos na tomada de decisão.

Um dos maiores desafios de projetar e construir um chassi de qualidade se deve ao fato de o projeto da suspensão ser baseada em um chassi absolutamente rígido (perfeito). Outros problemas comumente enfrentados são os imprevistos de projeto, como por exemplo, o excesso de esforço suportado pelo chassi durante as trocas de marcha mais agressivas, que acaba por ocasionar esforços muitas vezes não considerados nos projetos, causando falhas inesperadas.

Apesar de qualquer deformação da estrutura do chassi ser muito inconveniente, a experiência automobilística mostra que a rigidez à torção é fator mais influente na dirigibilidade dos automóveis, sendo assim o maior desafio para os engenheiros. Desta forma o dado mais capaz de avaliar o desempenho de um chassis é a relação entre rigidez torcional e peso, pois se não houvesse limitações de peso ou volume seria possível atingir quase que qualquer rigidez desejada.

O que é importante observar a seguir é fato de que, de certa forma, todos os tipos de estruturas expostas estão interligadas, pois nada impede que o princípio de uma opção seja utilizado para obter novas reações em outra.

Antes de comparar as três opções mais utilizadas em carros de competição deve-se entender os dois grandes grupos de estrutura utilizada em veículos.

6.2.1. Spaceframe

No automobilismo o spaceframe, mais conhecido é a estrutura tubular, consiste em qualquer estrutura que distribui as forças de forma direcionada através barras ou tubos (frames).

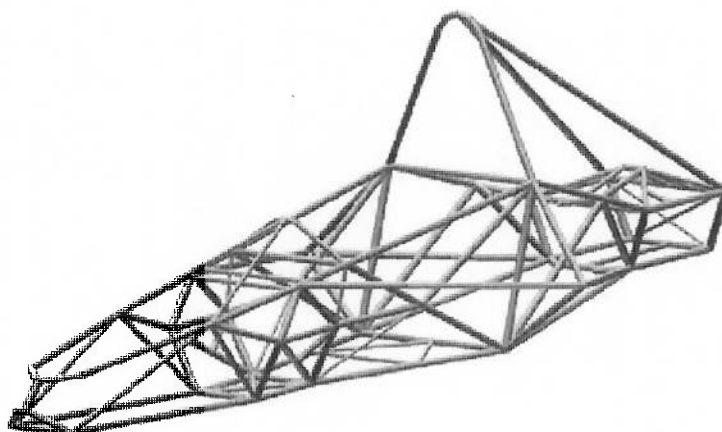


Figura 9: Exemplo de SpaceFrame –Chassi Tubular

No início de sua utilização as estruturas tubulares eram construídas com tubos de grandes diâmetro e espessura isto porque as estruturas utilizadas resultavam em momentos fletores nos tubos.

Sabidamente um tubo de aço tem baixa resistência a momento fletor, em compensação, a resistência à compressão e tração é extremamente alta. Devido a este fato, foram iniciadas as construções utilizando princípios de treliça, que transmitem somente tração e compressão.

Na realidade o tipo de estrutura que passou a ser utilizada não é exatamente uma treliça, pois os elementos das estruturas são soldados, fazendo com que momento fletor seja transmitido. No entanto ao se iniciar a chamada triangularização as transferências de momento foram reduzidas consideravelmente, criando assim um grande avanço nos chassis com estruturas tubulares.

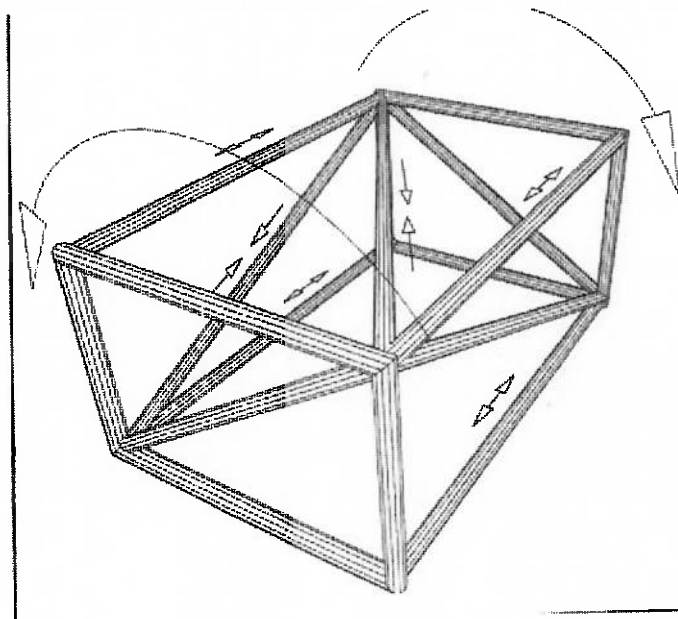


Figura 10: Modelo dos Esforços no Spaceframe

A partir do momento em que isto aconteceu a rigidez geral dos spaceframes aumentou consideravelmente, desde então os chassis tubulares tornaram-se muito populares, constituindo hoje a maior parte da frota de veículos não produzidos em serie (carros de competição, bajas, etc.).

As Vantagens de uma estrutura tubular:

- 1- A vasta utilização deste tipo de estrutura cria um enorme acúmulo de know-how, que permite um projeto e uma execução sem grandes imprevistos.
- 2 - Os conhecimentos adquiridos pelos autores, durante o curso de Engenharia, contém a base para o desenvolvimento deste tipo de estrutura.
- 3 - De forma "razoavelmente simples", é possível realizar, através de métodos numéricos computacionais (como método dos elementos finitos), a simulação das deformações e das tensões em cada ponto da estrutura.
- 4 - O material necessário é de baixo custo e de fácil obtenção

5 – Os métodos de união das peças é extremamente comum e, a informação é de fácil acesso.

As Desvantagens de uma estrutura tubular:

1 – A relação rigidez/peso não é comparável à de outras tecnologias existentes.

2 – Não incentiva a busca de novas soluções tecnológicas

6.2.2. Monocoque

Monocoque (ou stressed skin structure) consiste em uma estrutura “contínua” à qual as tensões são distribuídas não só no frame como na superfície de placas unidas ao frame (ex: figura) .

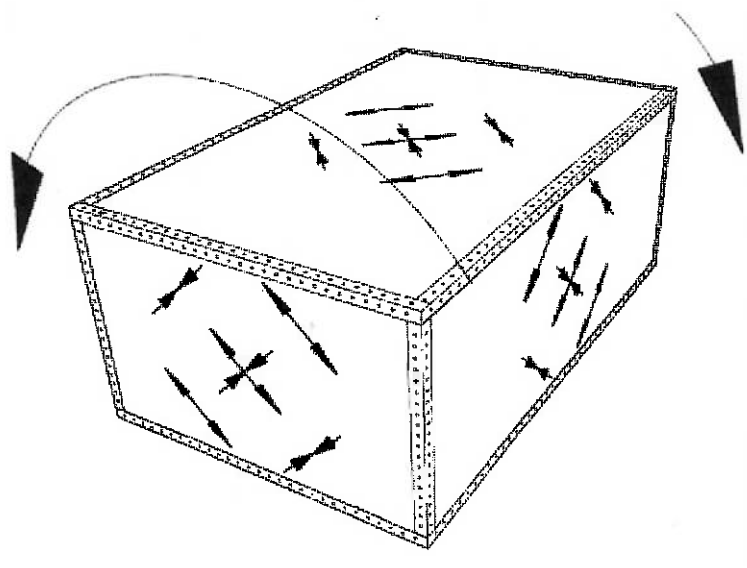


Figura 11: Modelo dos Esforços para Honeycomb

Na figura acima se percebe que placas laterais fazem parte da estrutura, resistindo e distribuindo tensões. Apesar da tradução literal de “stressed skin structure” não ser adequada em português, a expressão é muito significativa no

sentido em que expõe muito bem o conceito do monocoque. Uma “casca” externa (pele/skin) resistindo às tensões.

6.2.2.1 Monocoque Honeycomb

Em competições um dos principais tipos de painéis utilizados na construção de monocoques é o material em formato de honeycomb (favo de mel).

A estrutura em honeycomb possui alta resistência à compressão e alta rigidez. O formato mais comum dessas estruturas é de camadas hexagonais, o que chama a atenção neste tipo de material é a relação entre espessura das paredes de suas camadas e a resistência à flexão resultante.

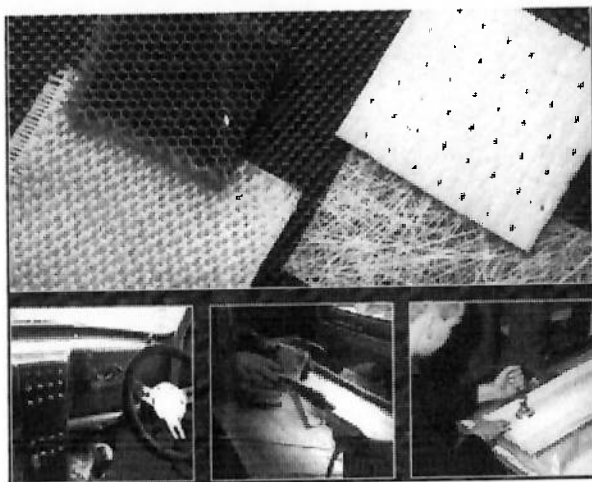


Figura 12: Alguns Materiais Compósitos

A seguir pode se ter uma idéia da capacidade destas estruturas em honeycomb. Todos os painéis da tabela têm a mesma resistência à flexão.

PANELS OF EQUAL BENDING STIFFNESS









Relative Weight	Relative Thickness		
1.00	1.00		Steel
0.65	1.22		6Al-4V Titanium
0.48	1.44		Aluminum
0.36	1.66		Magnesium
0.31	1.88		Aramid fiber & epoxy
0.55	2.29		E-glass & epoxy
0.21	2.97		5-ply Douglas fir
0.19	3.77		Aramid/foam sandwi

Figura 13: Rigidez Comparativa entre várias placas

Na próxima figura pode-se observar um chassi do tipo monocoque montado com painéis de alumínio em honeycomb.



Figura 14: Exemplo de Chassi em Alumínio Honeycomb

6.2.2.2 Monocoque - Fibra de Carbono (ou compostos)

Apesar de o honeycomb poder ser utilizado sozinho a forma mais resistente à tração, compressão e flexão ao mesmo tempo é o sandwich de um material em honeycomb com um material capaz de resistir à tração.

Conseqüentemente uma das composições mais desejadas no mundo automobilístico atualmente é o sandwich de materiais em honeycomb com fibra de carbono. Este tipo de composição resulta em células de sobrevivência como as dos Formulas 1, tão importante quanto a célula de sobrevivência em si é a capacidade estrutural desta composição, o resultado é um chassi do tipo monocoque com altíssima resistência a torção quando comparada ao peso da estrutura.

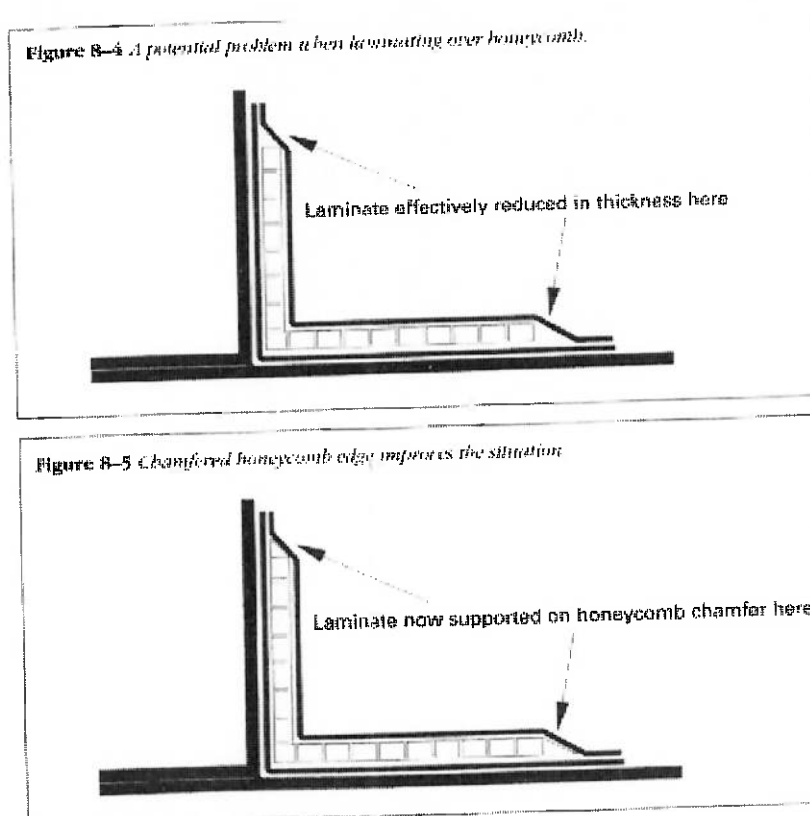


Figura 15: Fibra de Carbono: Material de preenchimento (honeycomb, em branco) e lâminas de fibra de carbono (em preto).

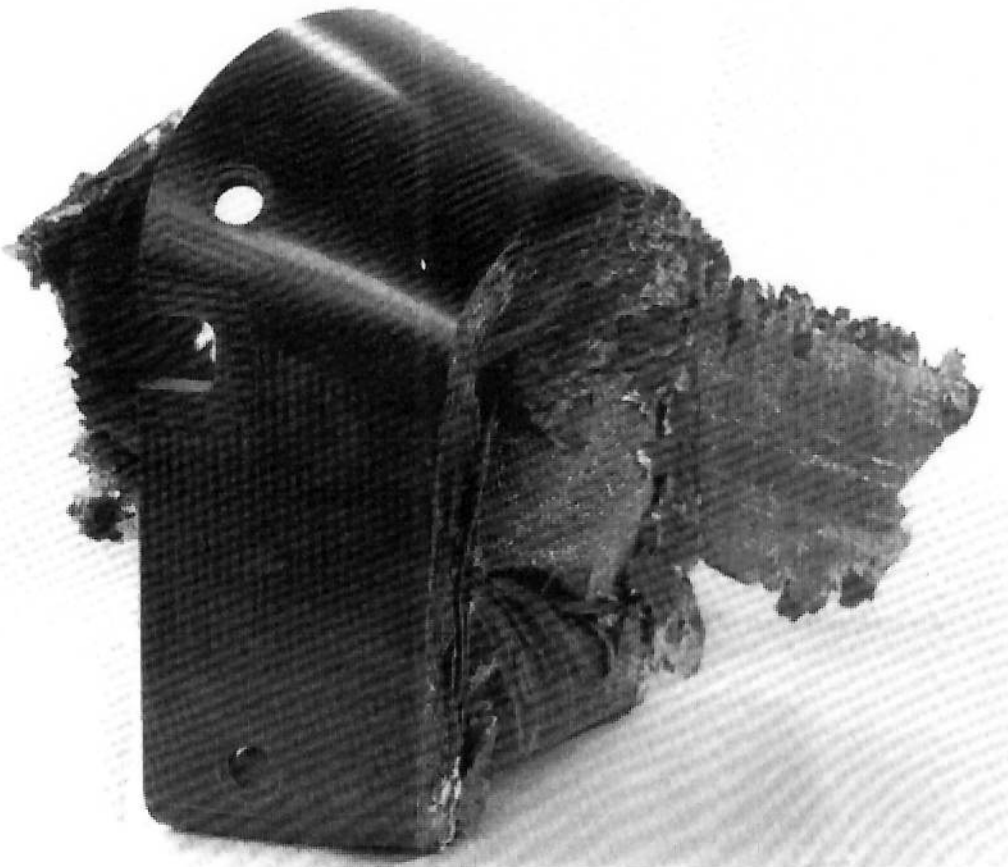


Figura 16: Bico de Fórmula 1 após "crash test"

Tabela 1: Comparação da rigidez a torção de vários chassis.

Chassis	Ano	Tipo de chassis	Rigidez a torção (kNm/grau)	Peso da estrutura (kg)	Relação (Rigidez a torção)/(peso)
MB W 196*	1954	Tubular de aço	5,4	35,9	0,15
Lotus F1	1979	Monocoque em honeycomb de alumínio	6,8	38,55	0,18
Lotus F1	1980	Monocoque de honeycomb envolto por materiais compósitos	13,6	34,02	0,40
Lola F1	1993	Honeycomb envolto por fibra de carbono	40,7	36,28	1,12

(*)MB significa Mercedes Benz

Fonte: Race Car Chassi

Tabela 4: Comparação de rigidez de diversos chassis.

6.3. Suspensão, Freios e Direção

Como já dito , neste trabalho o foco principal é o desenvolvimento do sistema de transmissão final, já que é um projeto parcial.

Porém, todo veículo de competição tem seus subsistemas projetados numa ordem que respeita a interdependência entre os diversos subsistemas , de acordo com a tabela [*]. Portanto, a suspensão é o primeiro item a ser desenvolvido. Para prosseguir para os outros subsistemas ou componentes, é imprescindível que toda geometria da suspensão tenha sido definida.

Diferentemente para os casos do powertrain e do chassi, não haverá escolha de uma melhor solução através de matriz de decisão. Isso se justifica pelo simples fato que o sistema de Duplo A com braços desiguais é comprovadamente o melhor sistema de suspensão para um veículo construído especificamente para competição. Os sistemas de suspensão originados dos veículos de passeio como eixo rígido, Macpherson , Swing Axle, ente outros, não superam a performance do sistema de duplo A.

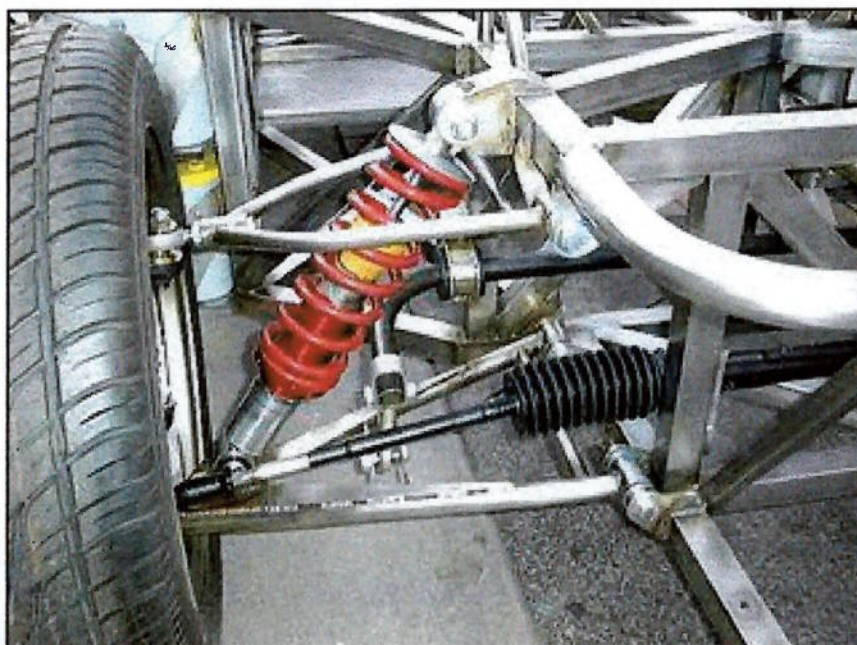


Figura 17: Suspensão Duplo A com atuação direta do amortecedor

Como ilustrado na foto acima, o pino mestre é controlado por braços em A em cima e embaixo. A grande vantagem neste sistema é o fato dos braços (“os duplos As”) conectar rigidamente o pino-meste ao chassi, porém permitindo que o pino-mestre e conseqüentemente a roda permanecessem perpendiculares com o chão, permitindo assim que o contato dos pneus com o solo seja máximo.

Apesar de inicialmente os braços em “A” serem paralelos e de mesmo comprimento, o sistema utilizado atualmente utiliza braços desiguais que podem ser paralelos ou não, O uso de um braço inferior maior e outro superior menor resulta num ganho de cambagem com a compressão da suspensão. Como durante uma curva a carroceria se inclina e o pneu se distorce, uma cambagem positiva surge e o pneu não terá o máximo contato entre a banda de rodagem e o asfalto. O ganho de cambagem (negativo) proporcionado pelos braços desiguais pode anular completamente a inclinação desfavorável (cambagem positiva) .

Existem duas maneiras de se transferir a força das rodas para o amortecedor através do sistema de duplo “A”. A primeira e mais comum é a apresentada na figura acima, onde o amortecedor está conectado ao braço inferior e ao chassi, logo atuando diretamente . A segunda maneira de atuação do amortecedor é de forma indireta, através do sistema de “Push-rod” como ilustrado na figura abaixo.

Nesse sistema o movimento do braço inferior é transferido ao amortecedor através de um braço (rod) e de um balancim, conforme ilustrado na figura abaixo. Ou seja, quando a roda sobe, o braço é empurrado para cima, este aciona o balancim que rotaciona em torno de seu eixo transferindo a força o movimento ao amortecedor. Logicamente, dependendo das relações entre os comprimentos dos braços do balancim, a força de entrada (aplicada ao pneu) poderá ser multiplicada ou dividida quando chegar ao amortecedor.

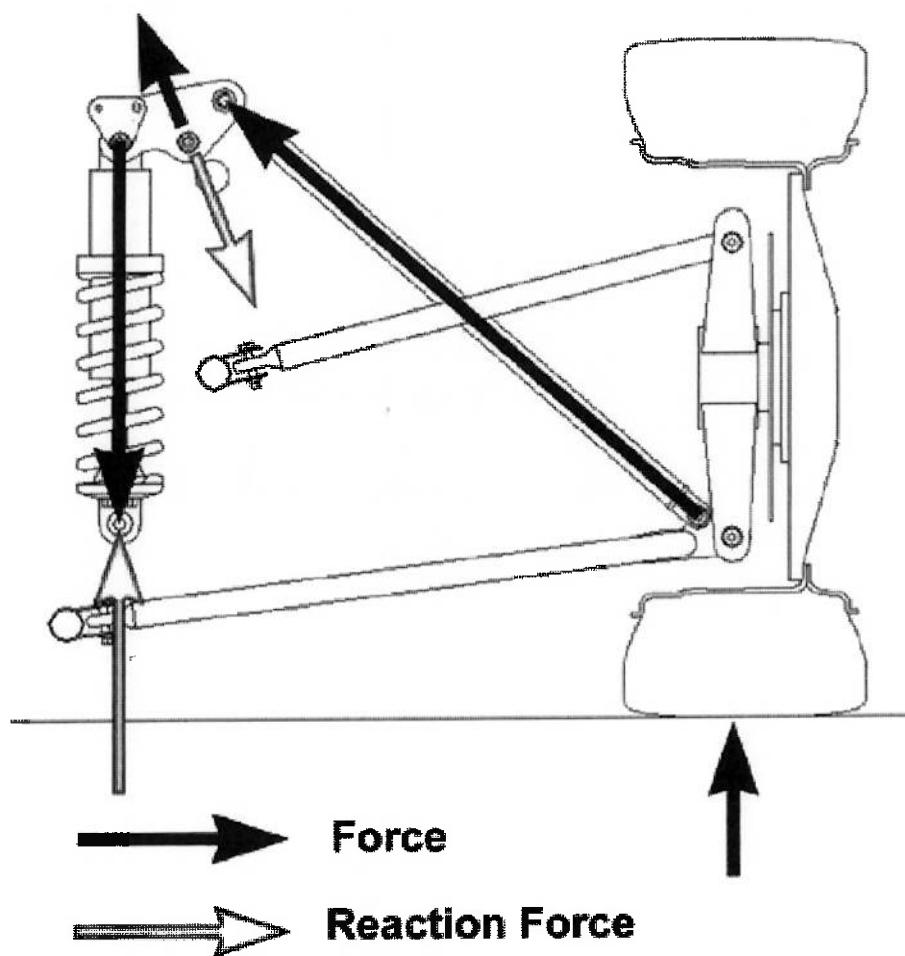


Figura 18: Esquema da suspensão Duplo A com atuação através de Push-Rod

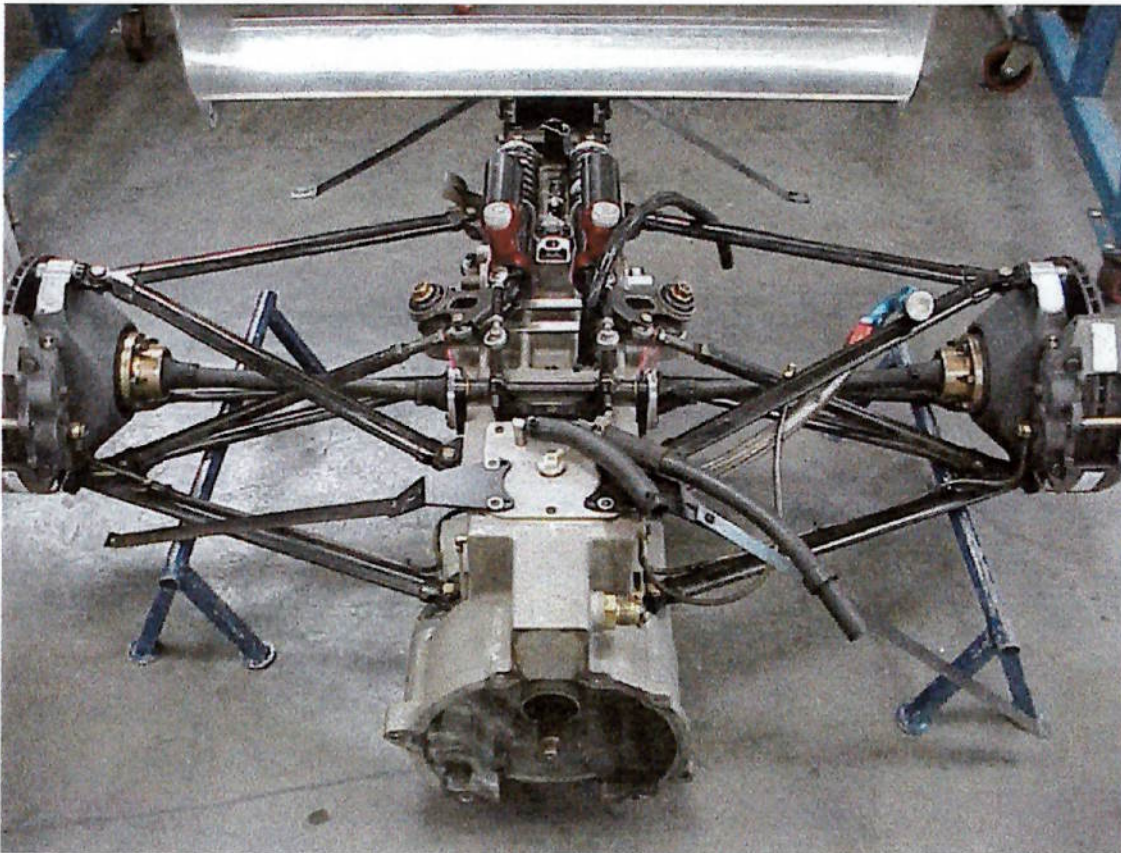


Figura 19: Câmbio de Fórmula Renault com suspensão Duplo A/ Push Rod ancorada na carcaça: Amortecedores em vermelho

Os sistemas de direção e freios serão futuramente selecionados de modo a satisfazer as necessidades definidas anteriormente . Esta seleção será realizada e justificada na próxima etapa do projeto, ou seja, na disciplina Projeto Mecânico II, durante o segundo semestre de 2002.

6.4. Aerodinâmica

Apesar do estudo aerodinâmico não ser um dos objetivos deste trabalho, serão apresentadas ao longo do desenvolvimento do projeto várias soluções possíveis.

A aerodinâmica está ligada ao "bodywork" (carenagem) e a apêndices como aerofólios e spoilers.

A aerodinâmica do protótipo deverá atender às seguintes necessidades básicas:

- Permitir o mais baixo coeficiente de arrasto com o ar
- Gerar força vertical negativa (downforce) visando maior aderência.

Essas duas necessidades são conflitantes entre si. Consegue-se a geração de downforce através de apêndices aerodinâmicos como aerofólios e spoilers, porém os mesmos elevam o arrasto. Definir o melhor balanço entre essas duas necessidades é realizado através de experimentações em pista ou pelo uso de softwares CFD (Computer Fluid Dynamics).

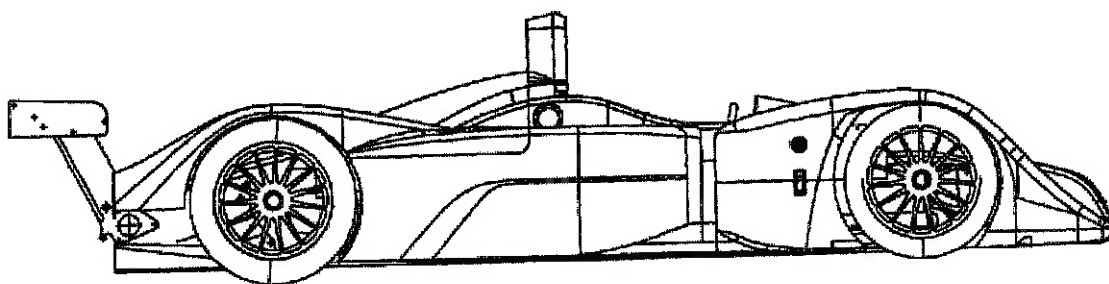


Figura 20: MG Lola : Aerodinâmica

7. ESCOLHA DAS ALTERNATIVAS MAIS EXEQÜIVEIS

7.1. Motor & Transmissão

A seguir será apresentada a matriz de decisão quanto à disposição do motor, e conseqüentemente o tipo de transmissão final.

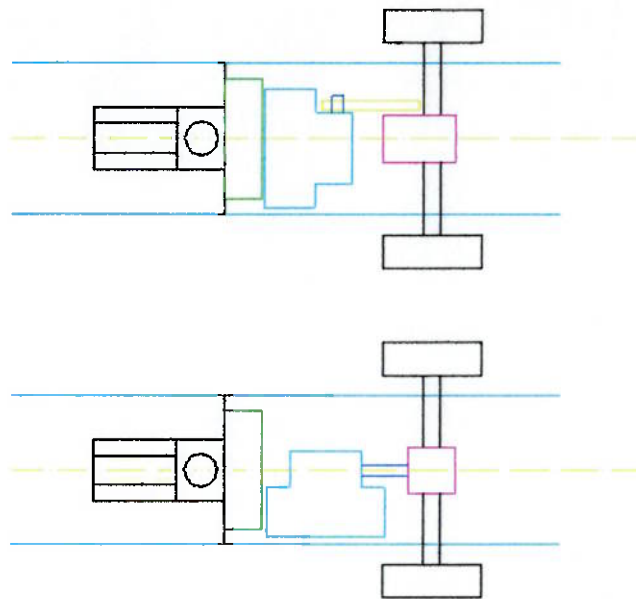


Figura 21: Croqui de posição do motor - Motor transversal (acima) : acionamento final por corrente e diferencial Quaife / Motor Longitudinal (abaixo): transmissão final por diferencial e carda.

7.1.1. Definição do atributos a serem comparados.

- Confiabilidade
- Possibilidade da alteração da relação de transmissão final
- Possibilidade de utilização de peças disponíveis no mercado
- Interferência no desempenho do chassis

7.1.2. Matriz de Decisão

Tabela 2: Matriz de Decisão para posição de Motor

Atributo	Peso	Peso %	Motor Longitudinal		Motor transversal	
			Nota	Nxp	Nota	Nxp
Confiabilidade	10	0,37	10,0	3,7	7,0	2,6
Possibilidade de alteração de relação	7	0,26	8,0	2,1	10,0	2,6
Possibilidade de utilização de peças disponíveis no mercado	7	0,26	10,0	2,6	5,0	1,3
Interferência no desempenho do chassis	3	0,11	5,0	0,6	10,0	1,1
			8,9		7,6	

Tabela 5: Matriz de decisão da disposição do motor.

7.2. Chassis

Antes de iniciar a escolha dos atributos convenientes deve-se ressaltar que o estudo feito sobre as opções de chassis utilizadas atualmente mostra-se passível de uma composição das opções, portanto a matriz a seguir é uma tentativa de definição do principal tipo de chassis que deve ser utilizado.

7.2.1. Definição dos atributos a serem comparados

- Relação rigidez a torção/ kg
- Segurança (absorção de impacto/blindagem)
- Custo de fabricação
- Simplicidade de manufatura
- Facilidade de obtenção do material
- Simplicidade de Projeto
- Simplicidade de obtenção do conhecimento necessário
- Acesso a Tecnologia I
- Manutenção(custo/simplicidade)
- Liberdade de Formas
- Permite Combinação

7.2.2. Matriz de Decisão

Atributo	Peso	Peso %	Chassis Tubular de Aço		Chassis Tubular de Alumínio		Monocoque Honeycomb Alumínio		Monocoque e Fibra de Carbono	
			Nota	Nxp	Nota	Nxp	Nota	Nxp	Nota	Nxp
Rigidez a Torção / kg	10	0,13	7,0	0,9	6,0	0,8	8,0	1,0	10,0	1,3
Segurança (Absorção/ Blindagem)	9	0,12	7,0	0,8	5,0	0,6	8,0	0,9	10,0	1,2
Custo de fabricação	7	0,09	10,0	0,9	6,0	0,5	5,0	0,5	4,0	0,4
Simplicidade de Manufatura	7	0,09	10,0	0,9	7,0	0,6	6,0	0,5	5,0	0,5
Simplicidade de Projeto	6	0,08	10,0	0,8	10,0	0,8	6,0	0,5	6,0	0,5
Facilidade de Obtenção do Material	8	0,10	10,0	1,0	9,0	0,9	5,0	0,5	5,0	0,5
Acesso a Tecnologia	6	0,08	10,0	0,8	9,0	0,7	8,0	0,6	7,0	0,5
Manutenção(Custo/Simplicidade)	5	0,06	10,0	0,6	7,0	0,5	5,0	0,3	4,0	0,3
Liberdade de Formas	7	0,09	8,0	0,7	8,0	0,7	5,0	0,5	10,0	0,9
Resistência á Fadiga	7	0,09	7,0	0,6	5,0	0,5	8,0	0,7	10,0	0,9
Permite Combinação	5	0,06	6,0	0,4	10,0	0,6	10,0	0,6	8,0	0,5
			8,5		7,2		6,7		7,4	

Tabela 6: Matriz de decisão do tipo de chassis.

Obs: "Permite Combinação": formação de chassis híbridos. Ex: Spaceframe principal em aço com painéis de honeycomb nos retângulos da estrutura submetidos a maior torção

Neste momento do projeto a matriz é importante para que se possam organizar as idéias, entretanto a avaliação feita até agora é muito subjetiva, portanto a matriz de decisão deve ser utilizada como um direcionamento, e não uma decisão final.

8. DEFINIÇÃO DOS PNEUS

Os pneus são considerados por muitos engenheiros automotivos e projetistas de carros de corrida como sendo o componente mais importante de um veículo. Elevada potência, aerodinâmica refinada e um sistema de suspensão avançado de nada adiantam se suas potencialidades não são devidamente transmitidas ao chão.

Como são os únicos pontos de contato com a pista, os pneus devem funcionar harmoniosamente com a geometria de suspensão e com a dinâmica de transferência de peso, longitudinalmente e transversalmente, para que a capacidade de curva do veículo seja a máxima possível.

Existem diversos modelos de pneus "slick" de competição disponíveis, de diferentes tamanhos e compostos. Cabe ao projetista escolher o pneu correto de acordo com as regras da competição que se deseja participar, da potência do motor, do tamanho do carro e da característica dinâmica que se deseja obter. Adiante entraremos em mais detalhes sobre o critério de seleção de um pneu.

Como já citado em relatórios anteriores, os pneus e rodas são geralmente os primeiros componentes a serem definidos num projeto de um carro de corrida. Como sua influência é decisiva na estabilidade do carro e principalmente pelo fato de não serem reguláveis como outros componentes da suspensão, os pneus devem ser cuidadosamente escolhidos.

A característica mais importante de um pneu de competição é a aderência ou "grip" que o mesmo é capaz de gerar. Basicamente o "grip" de um pneu está relacionado ao coeficiente de atrito do composto da borracha (coefficient of friction), C_f , e da construção do pneu (Radial/bias). Este coeficiente indica a capacidade de "grip" lateral que um pneu é capaz de gerar para um dado peso que é "colocado" sobre ele. Os pneus "slicks" de competição apresentam os mais altos coeficientes C_f (>1). Se um carro utiliza um pneu com $C_f=1$ e possui aproximadamente 100kg/pneu, isto significa que o chassi é capaz de gerar 400kg de força lateral (força centrífuga), ou seja, se o veículo em questão for desprovido de qualquer tipo de ajuda aerodinâmica (aerofólios, efeito solo, etc.),

ele estará submetido a aproximadamente 1g (uma gravidade) de aderência lateral. Porém, como veremos adiante, devido ao número limitado de modelos de pneu de competição no mercado brasileiro, este quesito não será levado em conta nas análises de nosso projeto.

Como a porção ou área do pneu em contato com o solo tem alta influência no "grip", podemos imaginar que um pneu mais largo pode aumentar a tração. Porém, um pneu maior também é mais pesado e essa massa girante adicional deverá ser movida pelo "pequeno" motor de motocicleta que será utilizado neste projeto. Essa massa adicional pode ser mais prejudicial para a performance geral do veículo do que a melhoria de tração que pode trazer. Um pneu mais largo, além de mais pesado, também aumenta a "quantidade" de borracha para ser aquecida. Como um pneu de competição só funciona corretamente em uma temperatura específica, um pneu largo num carro leve e de dimensões relativamente pequenas não irá atingir essa temperatura ideal. Alguns pneus podem ultrapassar a barreira de 100C°.

Na prática, o primeiro e mais importante fator na escolha de um pneu não são as características "dinâmicas" citadas, mas sim as dimensões. Não existem fórmulas ou teoria exatas que determinem quais devam ser as dimensões de um pneu para uma determinada aplicação, porém elas são fortemente influenciadas por certas constantes como peso do veículo, tamanho (entre-eixos, bitola, etc.) e torque do motor. No caso do projeto em questão:

- Peso do veículo: entre 440kg e 520kg
- Entre-eixos: 2300mm á 2650mm
- Torque do motor Suzuki Hayabusa: 12kgfm

Outro fator muito importante, em relação ao mercado brasileiro e principalmente no nosso projeto, é a disponibilidade e custo dos pneus. Embora no mercado europeu e americano existam inúmeras opções que permitem uma grande liberdade de escolha para o projetista de veículos de competição, no Brasil a gama de pneus de competição se resume a duas marcas (um nacional e outro importado) e a apenas três modelos.

No mercado nacional existem 3 modelos de pneus disponíveis: pela Pirelli dois modelos Pirelli "Pzero" , um destinado á Fórmula 3 e a outras categorias de carros monopostos, e outro para a categoria Stock-car; pela Michelin existe um modelo destinado á Fórmula Renault.

Por motivos óbvios, o modelo "Stock-Car" já está descartado, pois se destina a carros de turismo de elevada potência e de grandes dimensões. Sobram portanto dois modelos, apresentados na tabela a seguir:

	Michelin Sport –F-Renault		Pirelli Pzero –Fórmula 3	
	Dimensões Nominais	Diâmetro (mm)	Dimensões Nominais	Diâmetro (mm)
Dianteiro	160/53/R13	499,9	225/40/R13	510,2
Traseiro	230/57/R13	592,4	265/54/R13	616,4

Tabela 7: Dados dos pneus disponíveis no mercado nacional

Cabe aqui uma pequena explanação do significado da designação das dimensões nominais de um pneu. Se, como na tabela, um pneu tem na sua lateral a indicação 160/53/R13 isto significa que o mesmo tem:

- Uma banda de rodagem com 160mm de largura;
- A sua lateral ou "ombro" tem uma altura correspondente a 53% da banda de rodagem;
- E que o aro da roda para uso nesse pneu é de 13 polegadas;

Com essas informações podemos determinar outras dimensões como diâmetro, perímetro, perfil, etc.

Tendo em vista que os pneus se tornaram uma das condições de contorno, pois não há como fabricá-los sob medida, novamente iremos utilizar comparações para ajudar na decisão dos pneus. A tabela seguinte mostra alguns dados referentes aos monopostos da F-Renault e F-3:

	Formula Renault	Formula 3
Potência	182 hp	215 hp
Torque	21 kgfm	23 kgfm
Entre-eixos	2645 mm	2678 mm
Bitola Dianteira	1434 mm	1520 mm
Bitola Traseira	1318 mm	1470 mm
Peso	490 kg (sem piloto)	455 kg (sem piloto)

Tabela 8: Especificação dos veículos que utilizam os pneus Pirelli e Michelin

Como informado anteriormente, este trabalho tem como um de seus objetivos projetar um veículo com o menor peso possível. Dentro deste objetivo e considerando-se que o motor Suzuki Hayabusa adotado tem um torque (12 kgfm) menor que os motores utilizados nos carros de F-3 e F-Renault, a conclusão que se define é que a melhor escolha recai sobre os pneus de menores dimensões, no caso o Michelin Sport utilizado na F-Renault, conforme tabela xx.

Portanto, todos os cálculos futuros serão realizados adotando-se única e exclusivamente as dimensões dos pneus Michelin.

9. RELAÇÃO ENTRE-EIXOS E BITOLA

A relação entre entre-eixos e bitola sempre foi um motivo de grande discussão entre os engenheiros de veículos de competição. Os antigos de corridas das décadas de 20 e 30 utilizavam um relação EE/B de 2.5:1 (aproximadamente 3000mm de entre-eixos por 1200mm de bitola). Já os modernos karts de hoje em dia utilizam 1:1 e possuem uma incrível estabilidade e capacidade de curva. Os carros atuais tendem a utilizar uma relação EE/B muito semelhante, mais devido às regras técnicas, ao volume do tanque de combustível, às formas do ser humano e ao espaço ocupado pelo motor e câmbio do que a um possível EE/B "ideal". Por exemplo, um fator que influencia fortemente na determinação do entre-eixos é a regra que diz que os pés do piloto devem estar atrás do eixo das rodas dianteiras.

A determinação da bitola ideal também recai sobre a questão das regras e da disposição dos componentes como tanque e motor e o piloto. Além disso, quanto menor for a bitola de um veículo, menor será a sua área frontal, portanto melhor será o seu coeficiente de penetração aerodinâmica. Porém, uma bitola menor também traz a desvantagem de uma pior transferência de peso nas curvas, além de impor restrições de geometria de suspensão.

Apesar de não existir uma teoria sobre o assunto, a prática e a experiência mostram que algumas "pistas" podem surgir nas pistas. Carros longos ou "esguios", com grande relação EE/B, tendem a ser mais estáveis em altas velocidades e curvas de raio longo. Carros curtos e largos, com relativa baixa relação EE/B, não possuem a mesma estabilidade direcional nas retas, mas apresentam uma maior sensibilidade e melhor resposta à mudança de direção num circuito com curvas de raio curto. A manobrabilidade é parte função do momento polar de inércia, que na curva está relacionado ao peso localizado á frente do eixo dianteiro e ao peso atrás do eixo traseiro, e, portanto um entre-eixos menor teoricamente ajudaria a manter baixo esse momento enquanto o peso estiver concentrado entre os eixos.

Devido aos problemas apresentados, métodos que permitem variações entre o entre-eixos e a bitola de um veículo, sem que haja a necessidade de construir um carro inteiramente novo, podem ser de grande valia na determinação experimental (i.e. testes em pista) da melhor relação entre-eixos e bitola. Uma maneira de se obter um mecanismo para variar o entre-eixos seria a confecção de triângulos de suspensão que permitam colocar as rodas mais para frente ou para trás. A bitola pode ser variada através da utilização de espaçadores entre a rodas e o cubo de roda.

É consenso entre os engenheiros do automobilismo de que não existe uma relação "perfeita" EE/B. Entretanto, fica claro que pequenas alterações no entre-eixos e/ou bitola podem trazer grandes mudanças no comportamento dinâmico do veículo, sejam elas mudança para melhor ou pior. Conseqüentemente, a habilidade para variar o entre-eixos e/ou a bitola pode trazer uma vantagem a mais no momento do ajuste do carro às características de um determinado circuito.

A seguir iremos estimar algumas dimensões do veículo para iniciar o processo do projeto. Como citamos neste capítulo, as dimensões e o posicionamento dos componentes como motor e tanque, e do piloto serão fatores limitantes na escolha e definição do entre-eixos e bitola do veículo.

10. SELEÇÃO E ADEQUAÇÃO DA TRANSMISSÃO FINAL

Como foi mostrada no Item 7.1 a solução escolhida para transmissão de potência entre o câmbio e eixo traseiro foi a utilização do motor na direção longitudinal em relação ao carro e um diferencial conectado por um eixo cardan.

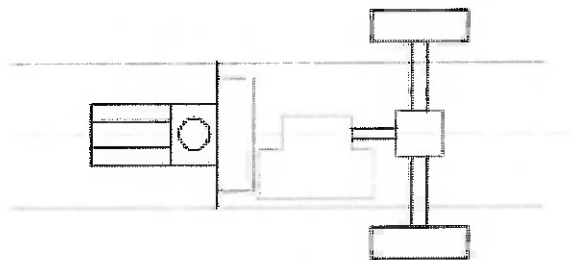


Figura 22: Motor longitudinal.

10.1 Seleção do diferencial

A grande vantagem da utilização de um powertrain de motocicleta está no seu tamanho reduzido, isto se deve ao modo construtivo da união entre o motor e câmbio. Entretanto ligada a esta vantagem está a dificuldade de tratar o conjunto de forma a manter suas características originais, ou seja a relação entre as marchas deve ser mantida ou, em alguns casos, pouco modificada.

Conseqüentemente se faz necessária a avaliação detalhada da relação final do conjunto, permitindo então a adequação do desempenho do protótipo à sua utilização.

Esta modelagem não pode ser feita apenas com a potência do motor e com o peso do veículo como muitos acreditam. O que deve ser feito é o cálculo da força resultante no carro permitindo então a utilização da relação:

$$F=m.a$$

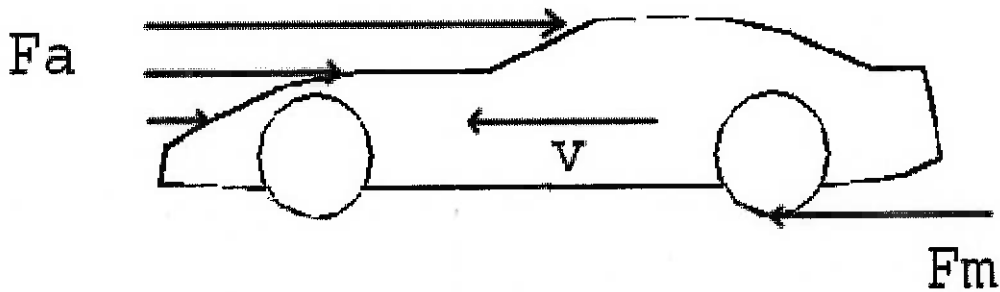


Figura 23: Força de arrasto e Força motora

Para o cálculo da força de arrasto utiliza-se, dos conceitos de Mecânica dos fluidos a seguinte relação:

$$F_a = C_d * \rho * A * V^2$$

Onde:

- F_a é a força de arrasto.
- C_d é o coeficiente de arrasto.
- ρ é o peso específico do ar
- A é a área frontal
- V é a velocidade em m/s

Portanto $F_a = F_a(V)$

Já para a determinação da força motora aplicada nos pneus se faz necessária uma avaliação numérica. Com os dados da curva de potência do motor se pode criar curvas de $F_m \times$ Rotação das rodas.

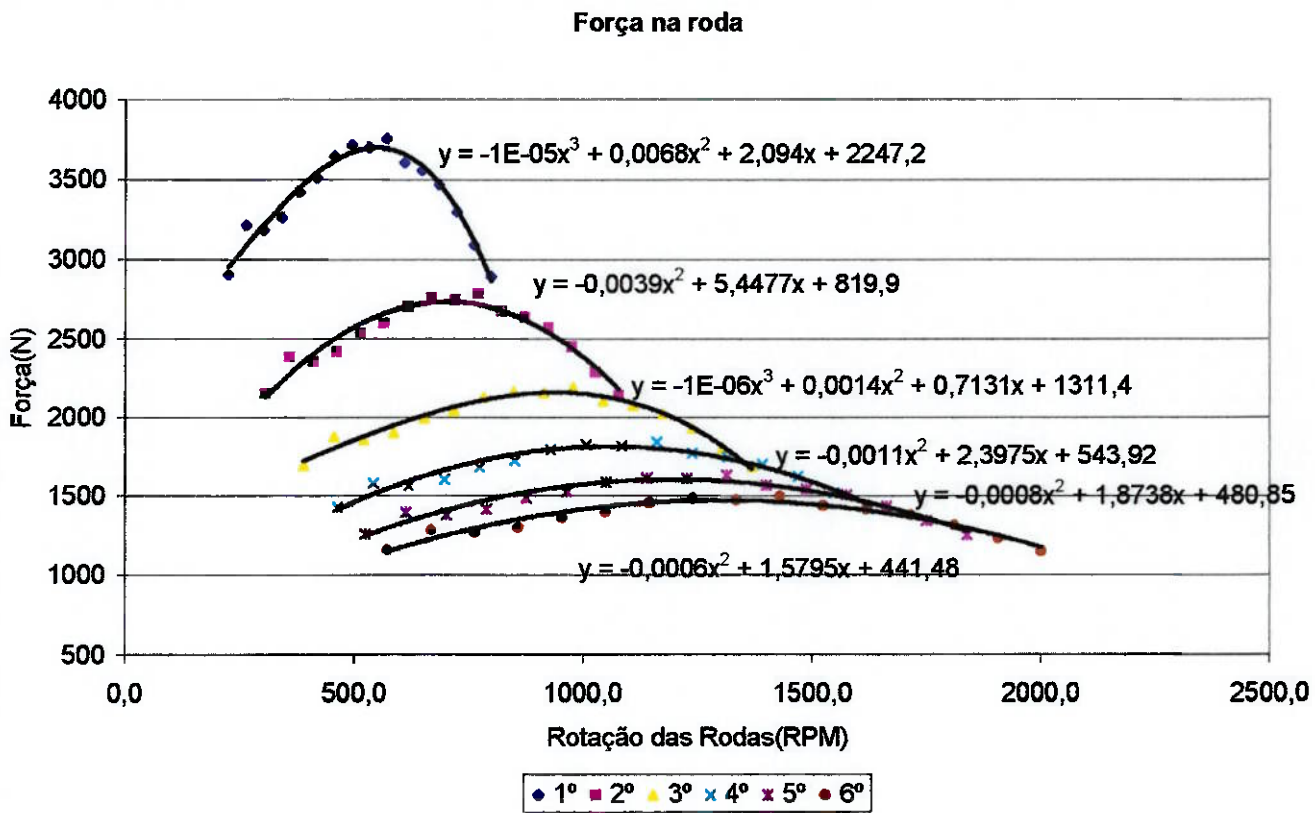


Gráfico: Força aplicada nas rodas traseiras. Polinômios aproximam as curvas para o conjunto motor/câmbio 1300cc da Suzuki Hayabusa e um diferencial de Omega com relação 3.15.

Como velocidade do carro é igual a velocidade angular vezes o raio da roda sabemos que $F_m = F_m(V)$. Ao serem aproximadas por polinômios estas curvas podem ser utilizadas nas equações a seguir.

Desta forma obtém-se a seguinte relação:

$$F_m(V) - F_a(V) = m \cdot a$$

Desenvolvendo:

$$\dot{V} = (F_m(V) - F_a(V)) \cdot m$$

Devido a sua descontinuidade, a equação de $F_m(V)$ deve ser resolvida isoladamente para cada marcha, e os limites de utilização das marchas em corridas são os pontos de descontinuidade. A solução desta equação pode ser obtida através de métodos simples como Euler, permitindo a descrição da velocidade em função do tempo.

Ao pesquisar sobre este tipo de estudo os autores se depararam com o programa vehicle simulation de simples criação e utilização.

A seguir esta a avaliação feita com os seguintes dados:

RPM	KW
3000	31,1
3500	40,2
4000	45,4
4500	52,4
5000	60,9
5500	68,8
6000	78,0
6500	86,1
7000	92,3
7500	100,5
8000	102,9
8500	107,7
9000	111,3
9500	112,0
10000	110,2
10500	108,2

Tabela 9: Curva de potência da Hayabusa.

Relação de transmissão	
Primaria	1,596
1ºmarcha	2,615
2ºmarcha	1,937
1ºmarcha	1,526
2ºmarcha	1,285
1ºmarcha	1,136
2ºmarcha	1,043
Final	3,15

Tabela 10 : Relação de transmissão da Hayabusa.

- Coeficiente aerodinâmico $C_d=0.4$.
- Capacidade máxima de aderência $1.5g$ ($14,7 \text{ m/s}^2$).

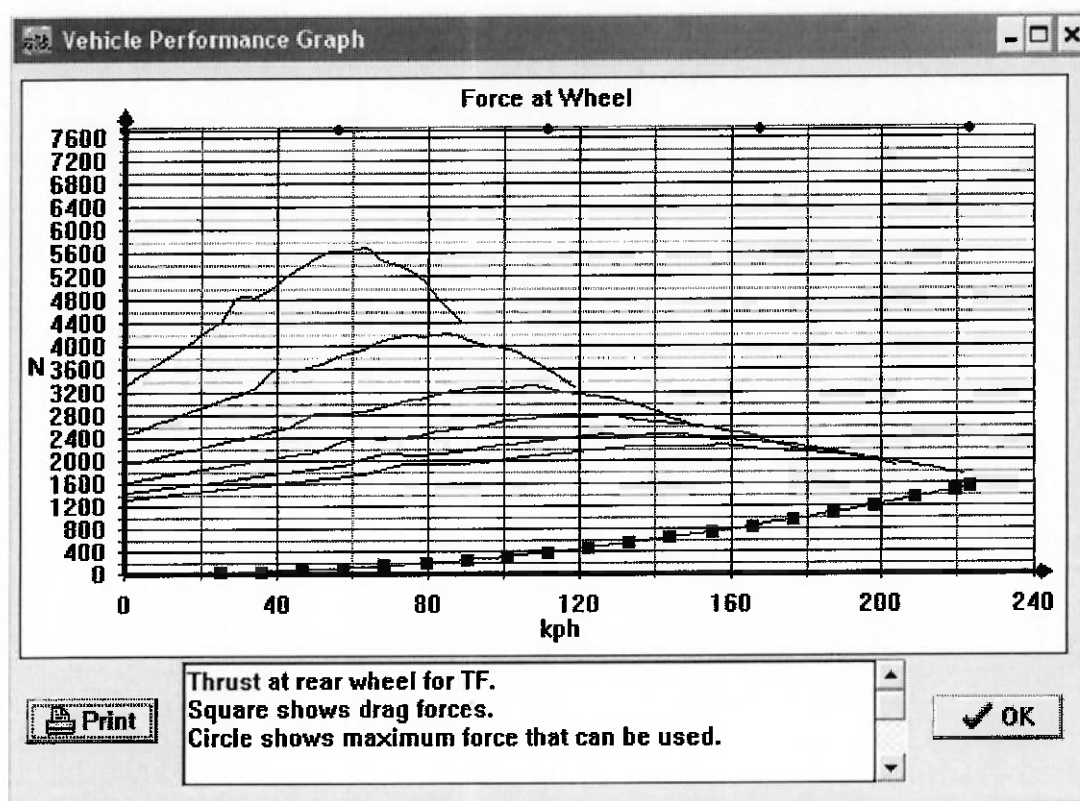


Figura 24: Curvas de Força na roda x Velocidade e Força de arrasto x Velocidade.

As curvas com linhas mais finas são as forças aplicadas nas rodas traseiras, enquanto a linha mais grossa é o arrasto aerodinâmico.

A seguir esta a curva de velocidade x tempo, através pode-se analisar o desempenho do veículo.

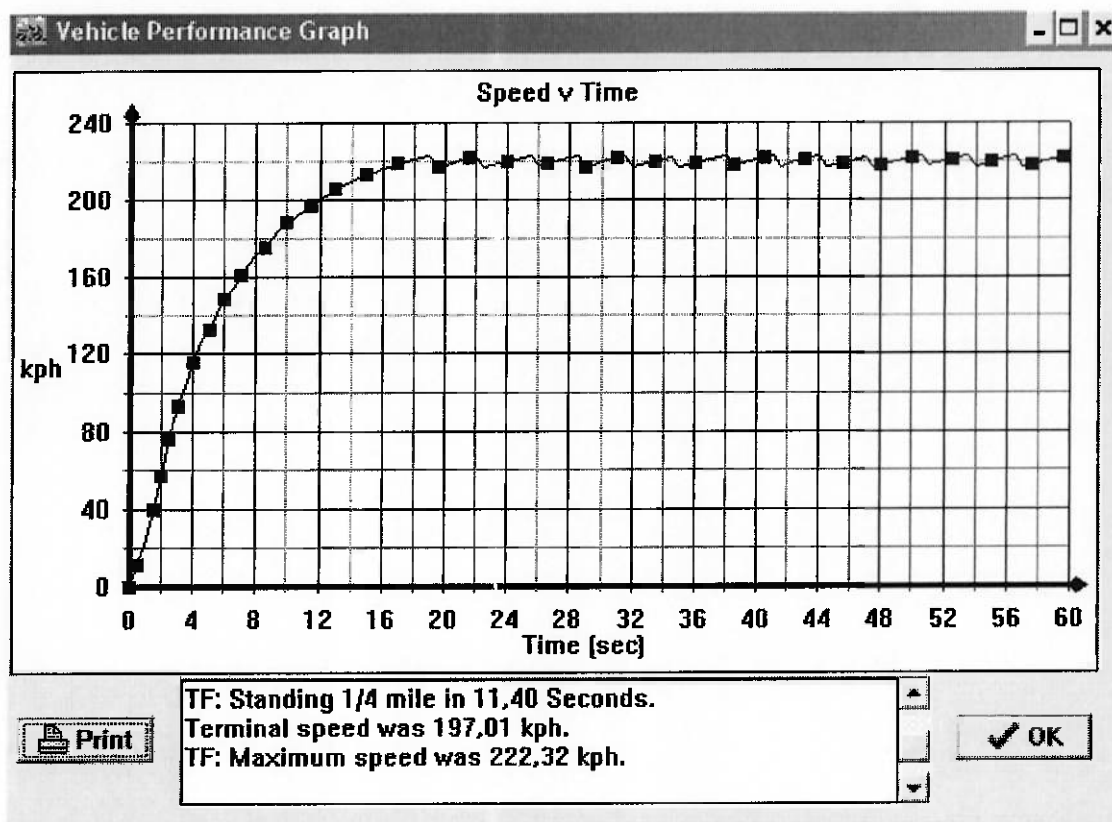


Figura 25: Curva de Tempo x Tempo .

Por tentativa e erro pode-se chegar à relação mais conveniente para cada pista, considerando o comprimento das retas e as médias de velocidade obtidas por carros equivalentes em desempenho.

A relação obtida seria de aproximadamente 2.9 , entretanto as limitações comerciais levou a utilização de outra relação.

Ao pesquisar quais as possibilidades de utilização deparou-se com a seguinte dificuldade: a maior parte dos carros que utilizam diferenciais traseiros com suspensão independente possui a relação de aproximadamente 4 ou maior. Desta forma as opções caíram para duas opções acessíveis que incluem Omega 4.1(3.15) e Land Rover(3.07).

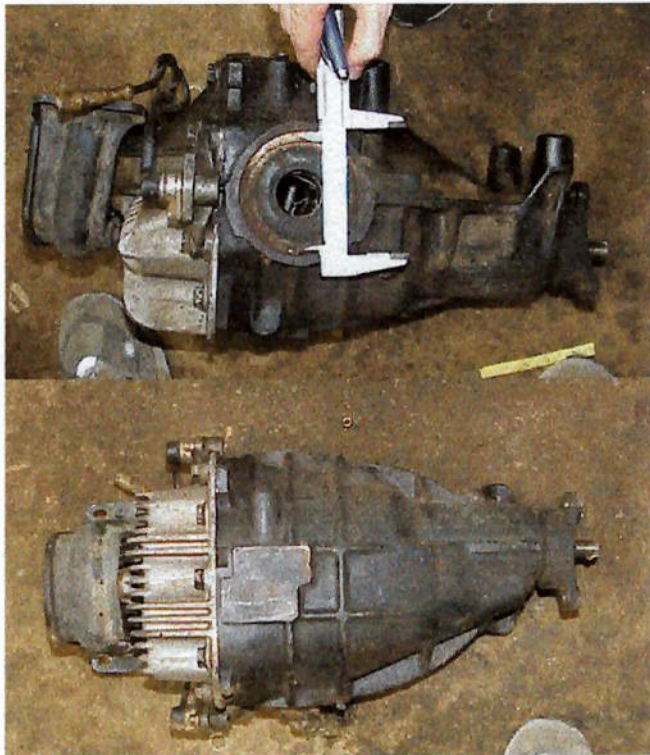


Figura 26: Diferencial do Omega 4.1

Conseqüentemente a escolha, em um primeiro momento, se torna simples, pois o diferencial do veículo de fabricação nacional tem grande disponibilidade no mercado brasileiro. Outra vantagem a ser considerada é a comum utilização desta peça nos Stock-cars, significando que o know-how do uso em corridas esta desenvolvido.

10.2 Conexão Motor-Diferencial

Antes de iniciar a discussão sobre a conexão motor-diferencial deve ser ressaltado que a solução só pôde ser definida depois da primeira aproximação do entre-eixos do carro. Isto ocorreu pois a distância entre o motor e o eixo traseiro possui influência considerável sobre o entre-eixos, e portanto sobre a dimensão geral do veículo.

Na etapa de Estimativa Geral do Protótipo notou-se a necessidade de manter a distância entre o motor e o eixo traseiro em no máximo 400mm, o que eliminou a necessidade de um eixo cardam. Além da eliminação do eixo cardam tornou-se importante a utilização de uma solução que ocupasse menos espaço do que uma cruzeta.

A solução foi a utilização da conexão existente no Omega, pois esta consiste em uma conexão de borracha reforçada por fibras. A função desta se resume a: manutenção da hisoestaticidade do sistema, e redução de transmissão de vibrações. Na etapa de Modelagem Sólida foi observada relação entre as alturas do motor e o diferencial, a fim de garantir que não haverá ângulos prejudiciais a união.

A figura a seguir exemplifica a união, na qual os parafusos nunca seguram mais do que a borracha e um flange, pois caso contrário a hiperestaticidade seria obtida.

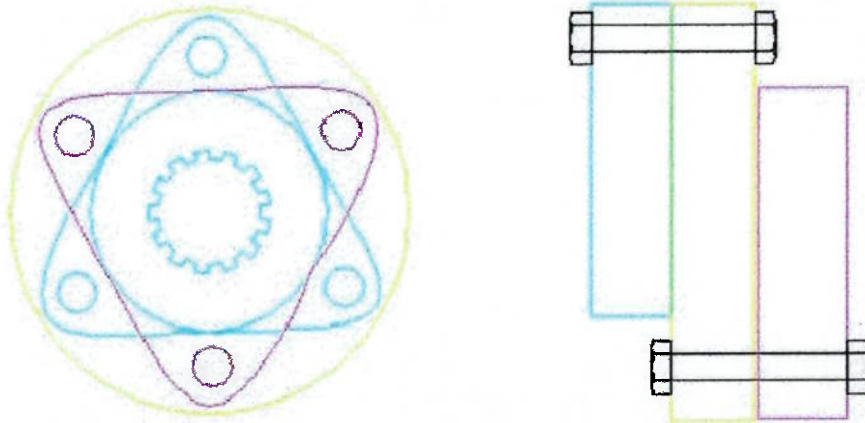


Figura 27: União de flanges motor-diferencial. Azul - Flange do Motor, Amarelo – Borracha de união, Vermelho – Flange do diferencial.

A flange do diferencial é original do conjunto , não havendo a necessidade de adequação ou criação desta peça. No entanto o flange do motor requer a criação de um flange com estrias de dimensões corretas. Não sendo uma peça de extrema complexidade não será abordado o método construtivo neste momento.

Apesar disso será checada a possível existência de interferências no modelo sólido.

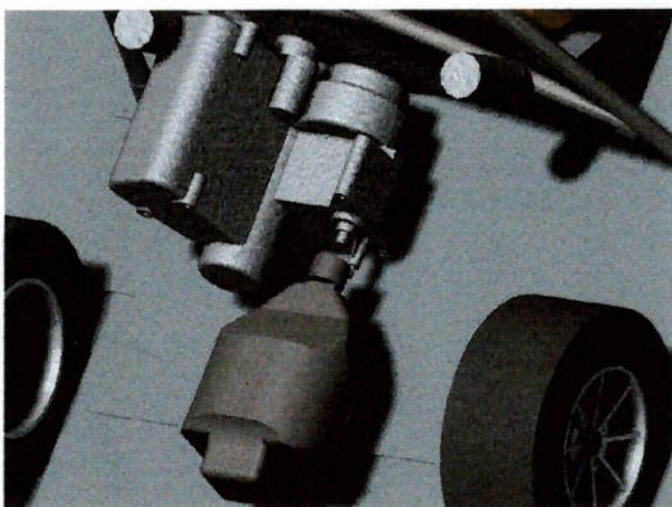


Figura 28: Visualização sólida do motor mais diferencial.

As vantagens da solução apresentada estão em:

- ✓ Pequena distância entre o motor e o eixo traseiro.
- ✓ Solução simples, com a utilização de poucas peças, diminuindo assim a possibilidade de falhas.
- ✓ Utilização de peças originais de projeto do diferencial, reduzindo, também, a possibilidade de falhas.

11. ESTIMATIVA GERAL DO PROTÓTIPO

Ao definir a ordem de levantamento das premissas e hipóteses notou-se que o fator limitante ao se levantar as relações de entre eixos e largura seria o entre eixos do projeto.

Desta forma a estimativa necessária, e abordada, foi a do comprimento (entre-eixos) do veículo, neste levantamento foram levadas em consideração as principais dimensões longitudinais, assim como o posicionamento do centro de massa.

Nesta parte do projeto os autores têm a intenção de estimar as dimensões mínimas do veículo. No entanto não basta apenas verificar se o espaço mínimo é satisfeito, também são necessárias as estimativas de centro de gravidade na direção longitudinal do carro, assim como o CG vertical.

O CG longitudinal é importante para que possa ser garantida a relação de distribuição de peso mínimo (mais próxima de 50/50) de 45% na frente e 55% atrás. Estes números estão embasados na distribuição de peso de veículos de competição utilizados atualmente, incluindo os Fórmulas SAE.

Para estimativa, o primeiro passo realizado foi separar as estimativas do peso e do centro de gravidade (CG) de partes do veículo que possuem influência significativa na posição do CG do carro.

As partes:

- Rodas e pneus dianteiro e traseiros
- Suspensões dos eixos dianteiro e traseiro
- Motor
- Tanque de combustível
- Piloto
- Conjunto chassi e carroceria

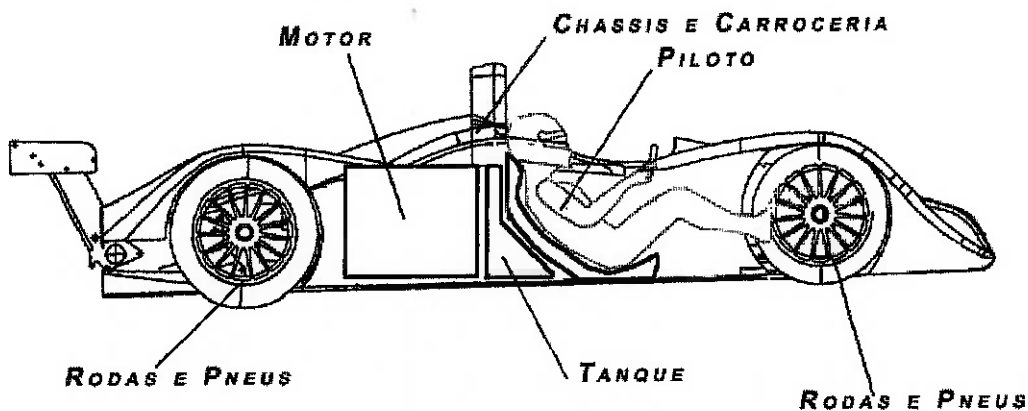


Figura 22: Carro com piloto, tanque e motor. Figura fora de escala.

11.1 Rodas e Pneus

Essa parte não possui nenhuma hipótese simplificadora, pois foram peças definidas anteriormente no texto.

Conjunto Roda e Pneu			
	Tipo	Diâmetro(mm)	Peso(par)(Kg)
Dianteiro	160/53/R13	499,8	20
Traseiro	230/57/R13	592,4	24

Tabela 11 Conjunto Roda/Pneu

11.2 Suspensões

Para este momento do trabalho a estimativa dos pesos e CG das suspensões são relativamente simples, pois será utilizada a comparação com suspensões de Formulas SAE, e outros veículos exemplo.

A estimativa obtida foi de aproximadamente 30 kg em cada eixo do veículo. Neste peso estão inclusos braços da suspensão, strut, discos e pinças de freio.

Devido à disposição dessas peças o CG longitudinal está praticamente sobre cada eixo, na vertical uma boa aproximação é a de que o CG esteja na mesma altura do centro das rodas.

11.3 Motor

O motor é uma das principais influências do CG do carro. As dimensões do motor são: 600mm de altura, 500mm de largura (direção do virabrequim) e 530mm de comprimento*.

Devido às dificuldades de acesso às informações detalhadas sobre o motor, foram utilizadas as seguintes hipóteses simplificadoras:

- CG na direção vertical esta a $2/5$ da altura máxima. Esta hipótese é devida à diferença de “densidade” entre o cambio e o virabrequim (localizados na parte inferior do motor) e os cilindros e os coletores de admissão (localizados na parte superior do motor).
- CG na horizontal longitudinal ao carro pode ser estimada no centro da sua largura, pois nessa direção o motor é quase simétrico, conseqüentemente tendo peso praticamente que central.

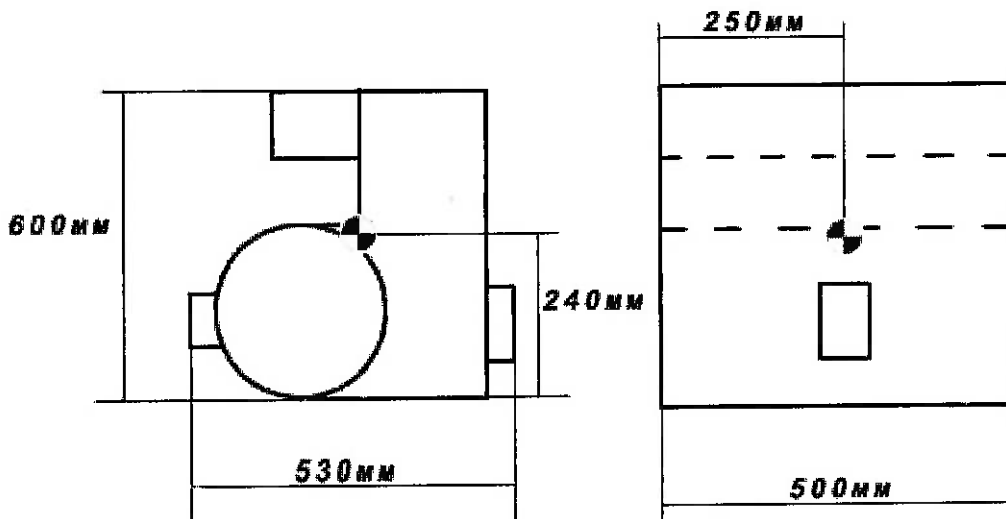


Figura 23 : Dimensões do motor / Determinação do centro de gravidade

11.4 Tanque de Combustível

O Tanque de combustível, que se localiza entre o piloto e o motor, não possui grandes complicações para sua estimativa, pois, definido um volume basta desenvolver as dimensões que permitam sua disposição no lugar permitido.

O volume máximo de 90 litros com uma parede de 10mm de espessura significa portanto:

- O tanque deve ser o mais largo (direção transversal ao carro) possível a fim de manter o centro de gravidade do veículo o mais baixo possível. Com o mínimo permitido de 1350mm, desconsiderando 10mm de cada lado temos um máximo de 1330mm de largura.
- Ao observar os veículos em atividade foi verificado que uma distância (na direção longitudinal ao carro) de aproximadamente 100mm para trás do plano que passa pela cabeça do piloto é razoável. Por outro lado, o formato do tanque se estende 240mm para baixo das costas do piloto baixando ainda mais o seu CG. Portanto no “trapézio” temos $100+140=240$ mm médio de comprimento.
- Temos então para 90 litros, 280mm de altura mais 10 mm de espessura da parede e serão 290mm de altura total.

Com essas dimensões definidas o CG do tanque deve ser estimado com 45 litros, pois esta é a condição mais próxima da utilização real.

A densidade do combustível é aproximadamente 0,7 kg/l, por tanto o peso desta situação é de $31.5\text{kg (combustível)} + 15\text{kg (tanque)} = 46.5 \text{ Kg}$.

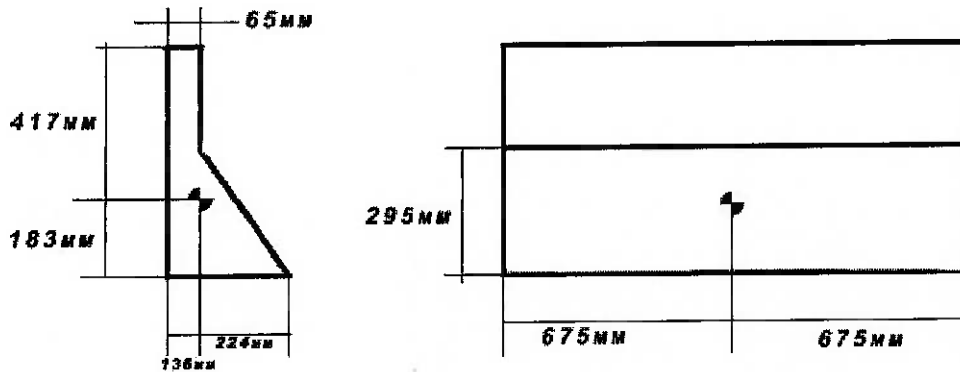


Figura 24: Centro de gravidade com o tanque cheio.

Ao comparar esta duas imagens pode-se notar como esta configuração permite que o CG do protótipo fique, na média, muito baixo na linha vertical.

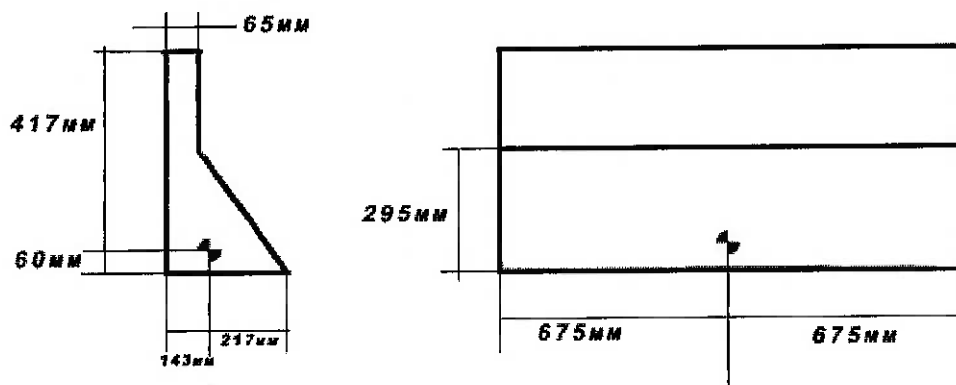


Figura 25: Centro de gravidade com meio tanque.

11.5 Piloto

A figura abaixo mostra a posição ideal de pilotagem. Nesta posição foi feita uma estimativa utilizando uma pessoa de exemplo na qual o CG está a aproximadamente 460mm das costas. Este número foi obtido ao se verificar que em uma posição semelhante à da figura o equilíbrio está na iminência de ser quebrado com a tendência de deitar o piloto. Isto significa que o CG está na linha do ponto de contato com o chão.

Já na vertical esta avaliação foi mais grosseira, pois neste momento não seriam justificáveis uma estiva mais refinada e o tempo necessário para tal, desta forma foi utilizado o bem senso aplicado à pessoa exemplo. A estimativa ficou em 300 mm de altura a partir do apoio inferior. A verificação desta estimativa será confirmada no próximo passo mostrado neste trabalho(Modelagem Sólida).

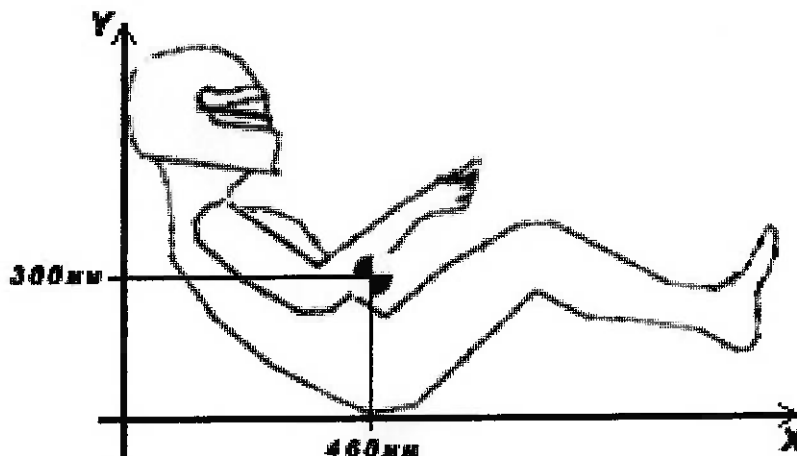


Figura 25: Centro de gravidade do piloto na posição de pilotagem. Figura fora de escala.

11.6 Conjunto Chassi e Carroceria

Devido à grande dificuldade de estimar o peso do Chassis e da Carroceria foi realizado o processo inverso, baseado na estimativa de peso do carro inteiro foram retirados os pesos das partes explicitadas acima, obtendo então o peso do chassis mais Carroceria, mais partes e peças não consideradas até então.

No entanto será utilizada a hipótese de que o peso está distribuído uniformemente pelo carro, desta forma o CG estará exatamente no meio do entre eixos e a uma altura levemente acima do centro das rodas, pois poucos objetos ficam acima do diâmetro das rodas como se pode observar na figura a seguir:

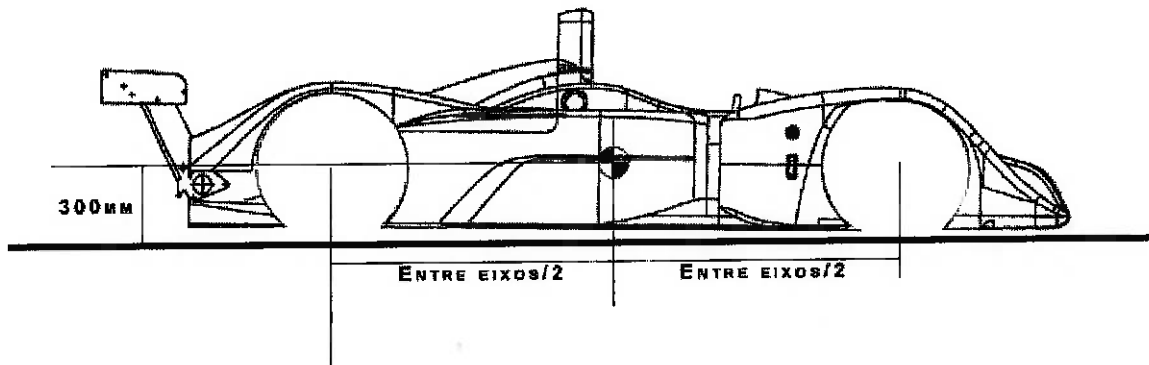


Figura 26: Centro de gravidade do conjunto Carroceria/Chassis. Figura fora de escala

Como os parâmetros dos pneus já foram definidos pôde-se estimar a altura do CG em 300mm já o entre eixos do carro será estimado a seguir.

11.7 Dimensões mínimas

A fim de permitir a localização das partes em relação aos eixos do carro foi necessário fazer uma primeira avaliação da parte frontal do carro.

A chamada parte frontal do carro refere-se, neste momento, à distancia entre a chapa corta fogo atrás da cabeça do piloto e o eixo dianteiro do carro.

Em um primeiro momento esta é a parte mais simples de ser estimada, pois não difere muito dos monopostos existentes. Nesse trecho as principais dimensões estão no cockpit e pedaleiras. Desta forma não se faz necessária neste momento uma avaliação detalhada das dimensões mínimas destes compartimentos, pois se pode, por hipótese, assumir que os carros utilizados

como base de comparação possuem as menores dimensões possíveis que mantenham a segurança necessária.

Os veículos escolhidos como base comparativa foram o Formula 3 e o Formula Renault, com as respectivas dimensões de 1382mm e 1484mm. Devido às diferenças de material utilizado e a garantia da segurança do piloto será assumido que a cota razoável para a parte frontal do protótipo é de 1450mm.

Desta forma as cotas obtidas foram as seguintes:

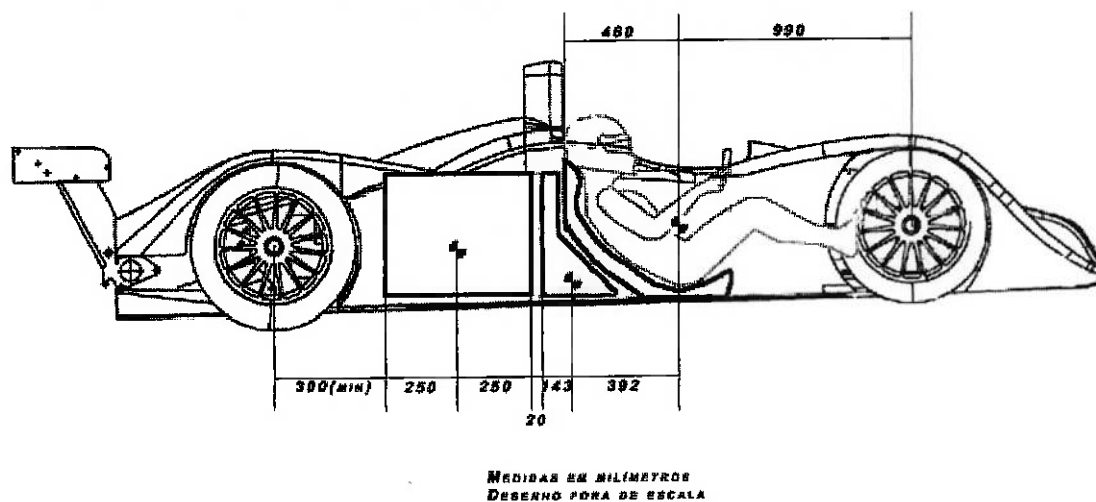


Figura 27: Cotas de mínimas distâncias e de centros de gravidades parciais. Figura fora de escala.

Como explicitado no relatório de PMC-580, uma estimativa ambiciosa, no entanto verificada como possível, é a de um peso do veículo vazio e sem piloto de 400kg. Por tanto se obteve se nas estimativas gerais o seguinte quadro:

Massa total sem Piloto e sem combustível (kg)	410
Massa total com Piloto e ½ (45 l) tanque (kg)	537
Entre Eixos Mínimo (mm)	2345
Entre Eixos escolhido (mm)	2350

Tabela 12: Estimativas gerais.

A seguir podem-se observar os pesos de cada parte significativa, assim como as distâncias entre seus CG e o eixo traseiro, o eixo dianteiro e o chão. Em vermelho está o peso do conjunto Chassis, Carroceria e todas as peças não identificadas, sendo este peso a diferença entre o objetivo, e os pesos estimados neste relatório.

	Massa Kg	Distância do centro de massa à referencia abaixo.(mm)		
		Eixo Tras.	Eixo Diant.	Chão(vertical)
Piloto	80	1360	990	400
Tanque (1/2)	46,5	968	1382	220
Powertrain	85 + 25	555	1795	300
Suspensões T (par)	30	0	2350	296,2
Suspensões D (par)	30	2350	0	249,9
Rodas/pneus T (par)	24	0	2350	296,2
Rodas/pneus D (par)	20	2350	0	249,9
Carroceria, chassis e complementos	221	1175	1175	300

Tabela 13: Massas e posições dos centros de gravidades parciais.

Com estas informações estimadas fica extremamente simples estimar o CG do veículo como um todo.

Distância entre o CG e o eixo traseiro (mm)	1077,7
Distância entre o CG e o eixo Dianteiro (mm)	1272,3
Distancia entre o CG e o chão (mm)	302,9
Porcentagem de peso no eixo traseiro	54,1
Porcentagem de peso no eixo dianteiro	45,9

Tabela 14: Posição do centro de gravidade total e distribuição de peso.

Na figura a seguir pode-se ter uma melhor visualização:

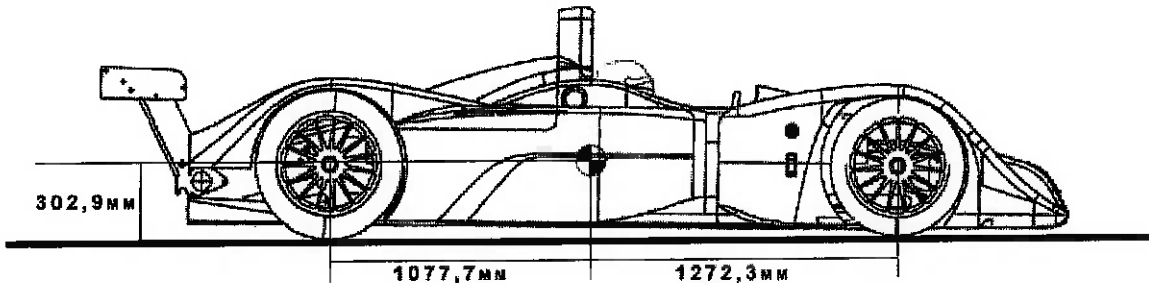


Figura 28 : Posição final do centro de gravidade do carro completo. Figura fora de escala.

12. MODELAGEM SÓLIDA DO PROTÓTIPO

Os autores acharam necessária uma modelagem sólida parcial do projeto a fim de checar as estimativas, checar possíveis interferências e melhorar a visualização geral do projeto.

Para foi utilizado o programa Solidworks, no qual foram utilizadas algumas hipóteses simplificadoras:

- ✓ As peças não têm a densidade do material utilizado, mas sim a densidade que permite que o peso real da peça seja obtido.
- ✓ As densidades são homogêneas.

- ✓ O conjunto carroceria e chassi foi aproximado por um lastro, com a diferença entre o peso das peças sólidas, e o peso objetivado.

Foram modelados a partir das dimensões reais os seguintes sólidos:

- Motor de hayabusa:

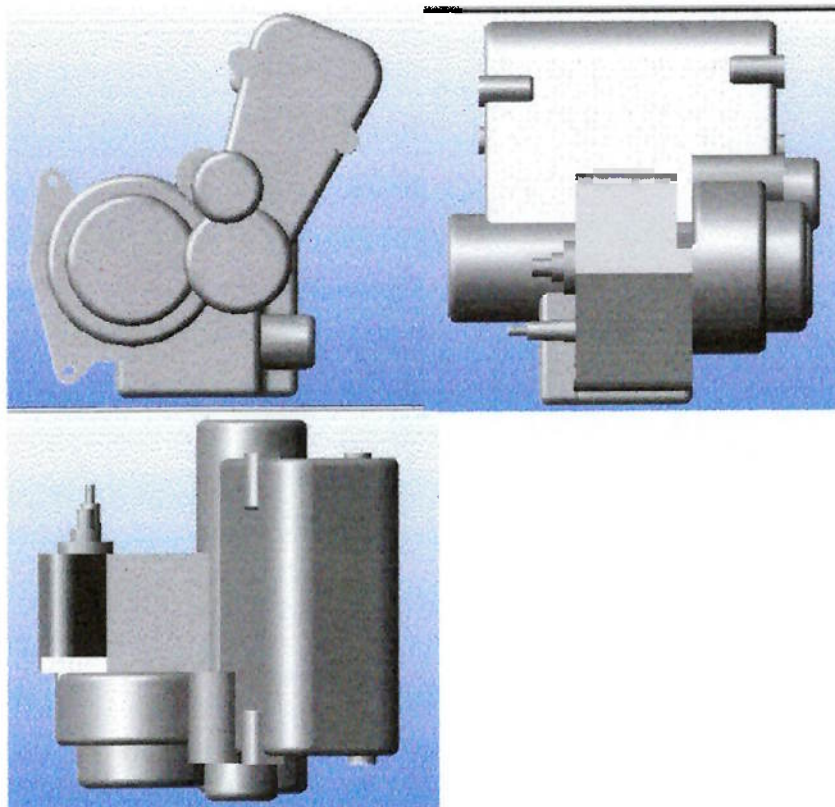


Figura 29: Vistas do motor criado no solidworks.

- Diferencial do Omega:

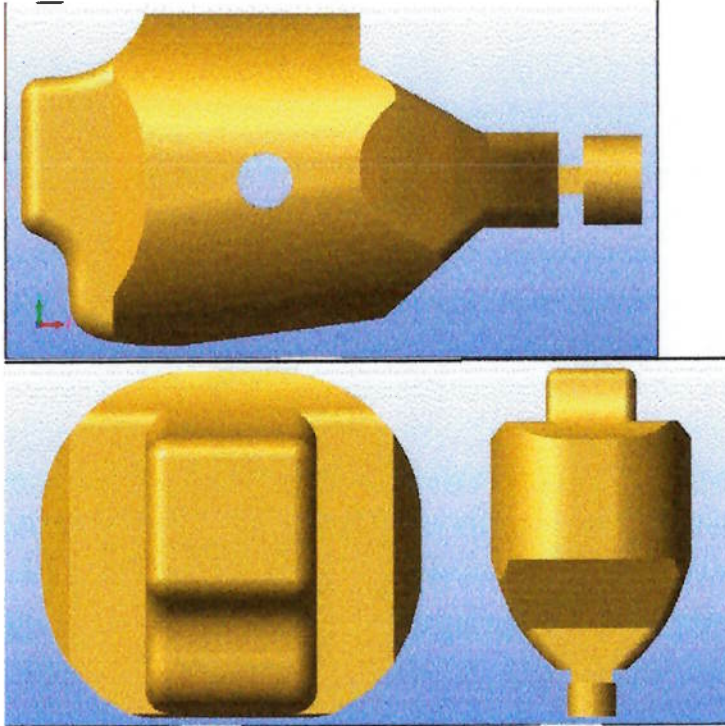


Figura 30: vistas do diferencial criado no Solidworks.

- Tanque de combustível
- Piloto:
- Pneus
- Rodas
- Braços da suspensão dianteira

A seguir pode-se enxergar o veículo criado em sólido:

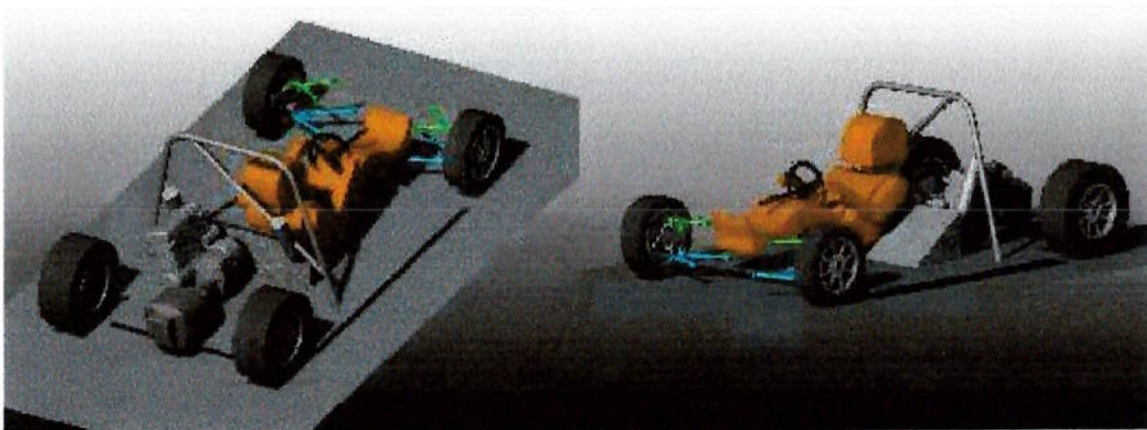


Figura 31: Veículo criado no SolidWorks em perspectiva.

Os resultados mais expressivos serão discutidos a seguir.

12.1. Interferências

Uma das principais funções da modelagem sólida é a visualização de interferência.

O ponto mais relevante neste momento é a conexão motor-diferencial.

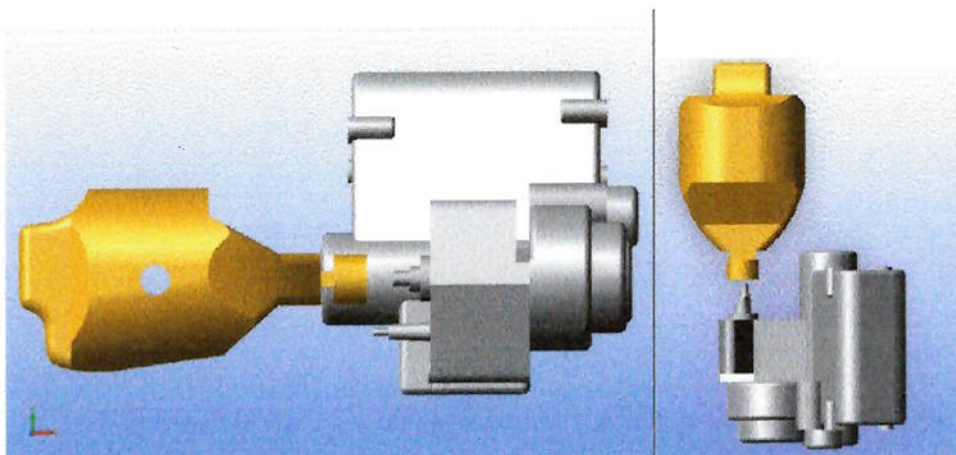


Figura 32: União Motor + Diferencial criado no SolidWorks.

Pode-se observar na figuras acima que não há a possibilidade de interferência entre o motor e o diferencial, mesmo se houver erros pequenos na construção dos sólidos.

12.2. Centro de Massa

A seguir esta o centro de massa calculado pelo Solidworks, baseado nas hipóteses simplificadoras apresentadas anteriormente.

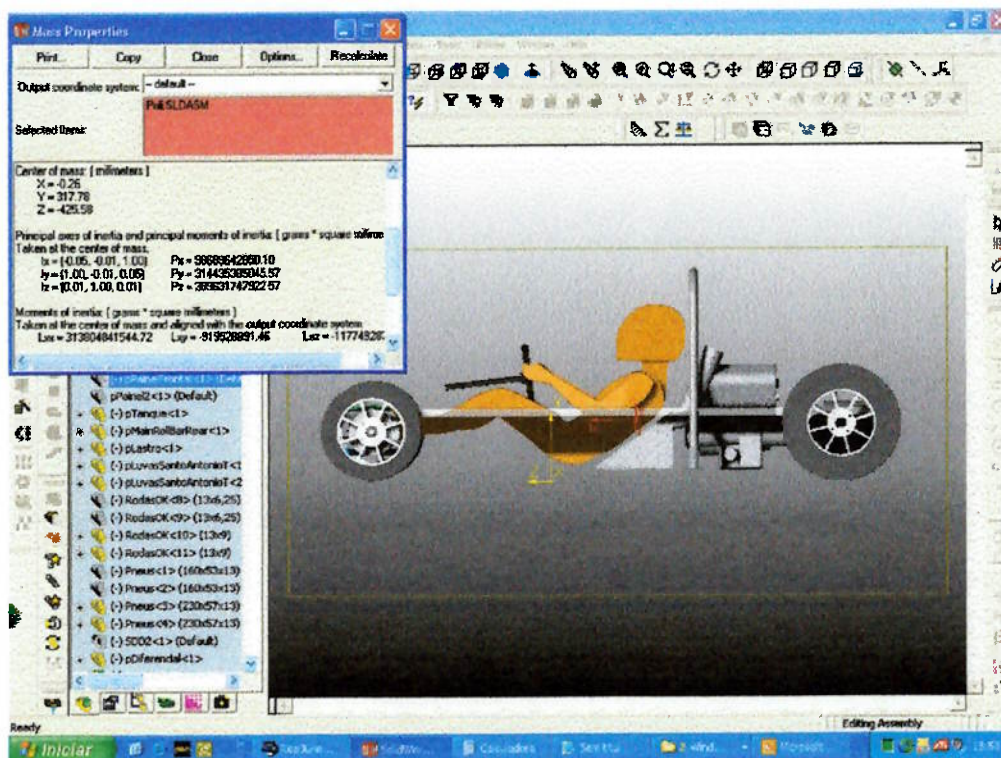


Figura 33: Tela com os cálculos de CG do SolidWorks.

A seguir pode-se comparar as posições do CG obtidas no item anterior (Estimativa Geral do protótipo) e no modelo sólido.

Método de resolução	Estimativa 2D	Modelo Sólido
Distância entre o CG e o eixo traseiro (mm)	1077,7mm	1025mm
Distância entre o CG e o eixo Dianteiro (mm)	1272,3mm	1350mm
Distancia entre o CG e o chão (mm)	302,9mm	317.8mm
Porcentagem de peso no eixo traseiro	54,1%	56,4%
Porcentagem de peso no eixo dianteiro	45,9%	43,6%

Tabela 15: Comparativo do CG obtidos por método diferentes.

A partir deste momento, em que se sabe que os valores obtidos são coerentes, pode-se iniciar o projeto do sistema de suspensão.

13. PRÓXIMOS PASSOS

Os próximos passos para o desenvolvimento deste projeto são:

- Estudo das massas suspensas, e não suspensas.

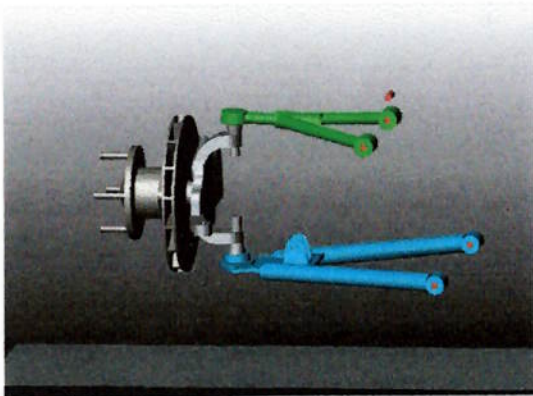


Figura 34: Braços de suspensão(SolidWorks).

- Determinação dos parâmetros aos quais a suspensão deve respeitar.
- Definição das reações anti-dive , anti-lift e anti-squat.
- Determinação da geometria da suspensão.

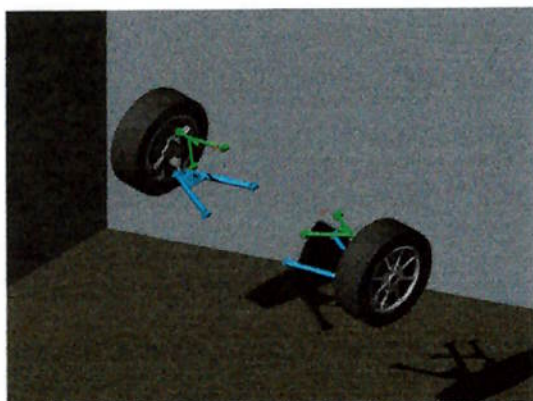


Figura 35: Suspensão dianteira(SolidWorks).

14. BIBLIOGRAFIA

Airb, Forbes ; **Race car Chassis Design and Construction**; MBI Publishing Company 1997

Staniforth, Allan; **Competition Car Suspension**; Haynes Publishing, third edition 1999.

McBeath, Simon; **Competition Car Composites**; Haynes Publishing, 2000.

Fenton, John ; **Handbook of Vehicle Design Analysis** ; Society of Automotive Engineers 1996.

Kaminski, Paulo C.; **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**; Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.; Rio de Janeiro, RJ; 2000.

Adams, Herb ; **Chassis Engineering/Chassis Design** ; 1993.

Smith, Carroll ; **Engineer to Win** ; 1985.

Norton, Robert L.; **Machine Design** , 2000.

Norton, Robert L.; **Design of Machinery**, 1999.

