



ESTRUTURA VEICULAR DESENVOLVIDA EM PROJETO ASSISTIDO POR COMPUTADOR

Leonardo H. Ungaretti – lhu@em.pucrs.br

João C. P. Beck – beck@em.pucrs.br

Isaac N. da Silva – isaac@em.pucrs.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica
Av. Ipiranga, 6681, Prédio 30, sala 169
CEP: 90619-900 – Porto Alegre – RS

Resumo: *A idéia desse trabalho é a participação na competição SAE de Mini Baja. O objetivo da SAE é oferecer aos estudantes membros, um projeto desafiador que envolva as tarefas de planejamento e manufatura com a finalidade de produzir novos produtos para o mercado industrial. Desenvolver produtos tem se tornado um dos processos-chave para a competitividade na manufatura. Movimentos de aumento da concorrência, rápidas mudanças tecnológicas, diminuição do ciclo de vida dos produtos e maior exigência por parte dos consumidores exigem das empresas agilidade, produtividade e alta qualidade que dependem, necessariamente, da eficiência e eficácia da empresa neste processo. Um dos fatores bem conhecidos sobre o processo de desenvolvimento de produto é que o grau de incerteza no início deste processo é bem elevado, diminuindo com o tempo, mas é justamente no início que se seleciona a maior quantidade de soluções construtivas. O custo de modificação aumenta ao longo do ciclo de desenvolvimento, pois, a cada mudança, um número maior de decisões já tomadas podem ser invalidadas. O trabalho prima por apresentar os principais passos de um projeto mecânico atual, sob a ótica da engenharia moderna, ou seja, seguindo a escola de desenvolvimento de produto atua, dando ênfase ao desenvolvimento de um mini veículo fora-de-estrada.*

Palavras-chave: *Projeto, Automotiva, Mecânica, CAD, CAE*

1. INTRODUÇÃO

Acontecendo desde 1976 nos EUA, organizadas pela SAE Internacional, as competições Mini Baja vêm servindo como berço para a formação de novos engenheiros e soluções para a indústria automobilística.

No Brasil, desde 1995 as escolas de engenharia tem a oportunidade de desenvolver protótipos para participar destas competições promovidas pela SAE Brasil. Com o número de participantes cada vez maior, e o interesse crescente do público, os eventos nacionais já tem o seu lugar no calendário nacional de automobilismo.



2. OBJETIVOS

O presente projeto foi desenvolvido para participar da competição, no Brasil, promovida pela SAE, que é uma sociedade de engenheiros na área da mobilidade (Automotiva, Aeroespacial, Naval). Esta privilegia a valorização do conhecimento e a formação dos futuros engenheiros, a SAE BRASIL mantém contatos e relacionamentos duradouros com universidades, promovendo eventos que estimulam o aprimoramento dos estudantes, como neste projeto.

Na competição, o carro é avaliado em dois tipos de provas: estáticas e dinâmicas, segundo SAE [1].

Estáticas. São avaliados os seguintes itens:

1. Segurança: do piloto, da estrutura, sistema de freios, sistema de combustível, elementos de fixação e do habitáculo do piloto;
2. Conforto do piloto;
3. Custos;
4. Originalidade;
5. Aparência;
6. Integridade estrutural;
7. Facilidade de manutenção;
8. Produção em massa.

Dinâmicas. São avaliados os seguintes itens:

1. AVF: aceleração, velocidade e frenagem;
2. Tração;
3. Dirigibilidade;
4. Subida de rampa;
5. Manobrabilidade entre cones.

Após estas avaliações a próxima etapa compreende o chamado “enduro” que é uma corrida propriamente dita, de quatro horas de duração, realizada em terreno acidentado, onde será exigido do carro, velocidade e resistência; itens estes, que comprovem a eficiência do projeto.

No protótipo idealizado priorizaram-se: a resistência, a integridade estrutural, a facilidade de construção (produção em massa), aparência, conforto, originalidade e o mais importante, segurança, pois, sem ela, o veículo não atenderia aos requisitos mínimos exigidos pelo regulamento do evento, e tampouco para ser produzido.

3. SOFTWARES UTILIZADOS

Os softwares usados foram, Pro/Engineer 2001® básico e o Pro/Mechanica 2001®, estes disponíveis no Laboratório de CAD/CAM do Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica da PUCRS.

O Pro/E básico é um modelador geométrico de sólidos em 3D, com características, que diferenciam de outros modeladores mais comuns, sendo algumas delas, parametricidade e associatividade, as quais se caracterizam pelo seguinte [7]:

a) Parametricidade: não é necessário o uso de dimensões de peças, pode-se usar apenas equações, relacionando-as. Em uma família de peças, não é necessário modelar todas as peças, mas sim, pode-se modelar apenas uma, e correlacionar as medidas à uma variável de entrada.

b) Associatividade: todos os módulos do Pro/E são interligados entre si, quando é feita alguma mudança em uma peça que está relacionada a uma montagem, ou a qualquer outro módulo, automaticamente, ela é modificada, sem necessidade de modelá-la novamente.

O Pro/Mechanica é um software de análises (CAE), sendo identificado em três tipos, dinâmicas, estáticas, e térmicas, todas elas, calculadas pelo método de elementos finitos (MEF) [4], [5], [6], [8].

Existem alguns parâmetros obrigatórios para serem efetuadas as simulações, sendo elas:

a) idealizações: são efetuadas para se ter uma aproximação dos resultados reais. No caso do Pro/Mechanica existem alguns tipos de idealizações que podem ser usadas, entre elas, do sólido em si, soldas, conexões, molas e massas.

As idealizações de sólidos podem ser de três tipos:

- *Planos Médios (midsurface)s*: idealiza-se que o sólido será caracterizado apenas pelo plano médio da peça.
- *Cascas (Shells)*: é uma idealização de casca, a peça não é considerada como um sólido mas somente seu contorno com uma espessura que o usuário pré-determina.

Idealizações de soldas: nesse caso foi usado o tipo “soldas de extremidades”. É informado ao software que uma peça está soldada à outra.

b) Forças aplicadas (*Loads*): são as forças que são aplicadas no modelo, estas podem ser; de superfícies ou pontuais.

c) Engastes (*constrains*) : é onde o modelo está engastado e pode se fornecer os graus de liberdade necessários ao modelo.

d) Materiais (*materials*): deve-se informar ao software o material que constitui a peça a ser simulada, com suas características e propriedades mecânicas.

Com estes parâmetros o software está apto a realizar os cálculos.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

No desenvolvimento do projeto do veículo, foi dado maior ênfase ao desenvolvimento do chassi (gaiola), dando maior importância em alguns itens do regulamento e estes foram, resistência, integridade estrutural, e produção em massa.

O projeto exigiu uma estrutura e divisão em módulos, conforme apresentamos a seguir:

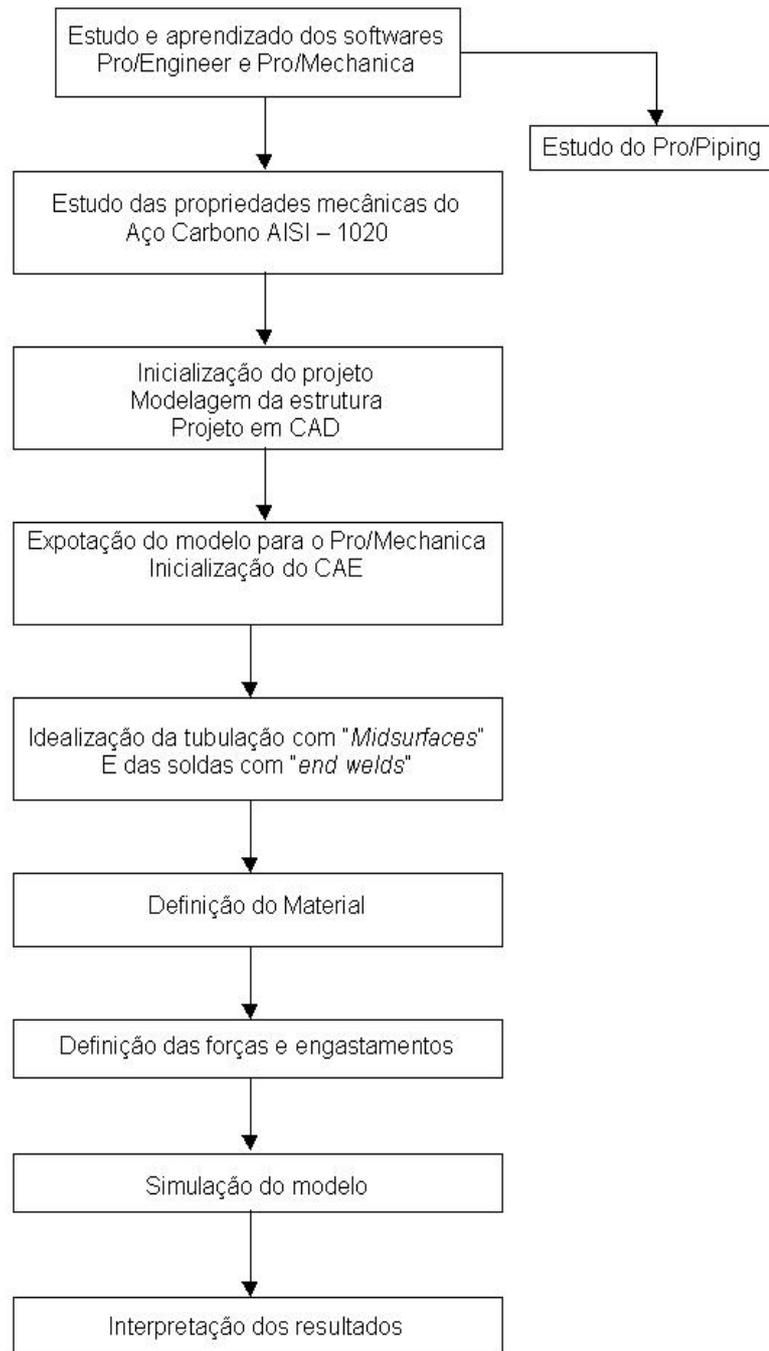


Figura 1: Fluxograma da estrutura do desenvolvimento do projeto

A descrição das etapas do projeto são caracterizadas a seguir.

4.1 Aprendizado dos Softwares

Os manuais da Parametric Technology Inc forneceram as informações necessárias para uma maior compreensão dos procedimentos de utilização dos softwares Pro/Engineer e Pro/Mechanica, para a modelagem e análise estrutural do protótipo. Foram descobertos os parâmetros que ele necessita para realizar a simulação e quem são esses parâmetros. O tempo

gasto para esta fase foi em média de três meses, sendo um mês para o aprendizado do CAD, no módulo Pro/Piping, um mês no módulo específico para tubulações e um mês para o aprendizado do CAE [7],[8].

4.2 Aprendizado sobre as propriedades mecânicas do material usado.

Este passo do projeto foi um dos mais demorados, pois não foi encontrada uma única literatura com todos os parâmetros de materiais pedidos pelo software. A solução encontrada foi fazer uma mesclagem de informações entre as literaturas. O tempo necessário para esta pesquisa foi em média de três meses [2], [3], [9]. O material escolhido foram tubos de aço AISI -1020 com 25mm de diâmetro externo e 2,5mm de parede, pois já estavam disponíveis no Laboratório de Projetos especiais da PUCRS, e também por ser um material de custo baixo e de fácil manuseio. As propriedades do material utilizado, e seus valores são respectivamente:

- Densidade absoluta = 7.85 g/cm^3
- Estrutura molecular = isotrópica
- Coeficiente de Poisson = 0.30
- Módulo de Young = 207 GPa
- Ponto de Ruptura = 0.394 GPa
- Tipo do Material = Aço Carbono

4.3 Modelagem do Protótipo

A modelagem do carro foi relativamente simples, no caso do projeto em questão, pois já se tinha a idéia do design do protótipo, seria necessário, somente, colocá-lo de acordo com o regulamento e modelá-lo. Foi modelada cada peça (tubos) separadamente e depois foi feita uma montagem delas para a construção do veículo. A montagem é desenvolvida como se fosse uma construção real. Os tubos foram modelados um a um e feitos os cortes ou rasgos nas pontas, para prepará-los para as soldas, conforme serão efetuadas na construção real do veículo [10]. Deve-se modelar o mais próximo do real possível, para se obter uma maior confiabilidade nos resultados. O tempo dedicado a esta fase do projeto foi em média de quinze dias. Os exemplos estão nas figuras abaixo.



Figura 2 –Detalhe da lateral do protótipo modelada separadamente



Figura 3 - Detalhe do corte feito em todos os tubos (Preparação para as soldas)

4.4 Exportação do Modelo

Após a modelagem inicial o protótipo teve que ser exportado para um software que fizesse sua análise estrutural pelo método dos Elementos Finitos (Pro/Mechanica), como o Pro/Engineer não efetua esse cálculo, torna-se necessário que o modelo seja exportado.

5. Idealização do Modelo

Todos os tubos foram idealizados por planos médios (midsurfaces), e independentemente. No caso da montagem houve grandes problemas, pois, o software não aceita idealizações de montagens dos tubos com ângulos diferentes de 90° e 180°, com isso o modelo original teve que ser mudado, para mais simples, diminuindo posteriormente o tempo de produção do carro. Tentou-se também modelar algumas partes com o Pro/Piping, mas a tentativa foi em vão, pois o software não idealiza os tubos modelados por este módulo, na verdade a idealização era feita, mas não da maneira que queríamos, por midsurfaces, era apenas possível por shells, mas o Pro/Mechanica não aceita dois tipos de idealizações no mesmo modelo.

As soldas foram idealizadas por "soldas de extremidades" (end welds), este procedimento é obrigatório para o caso de peças soldadas, pois, o Pro/Mechanica necessita para fazer a simulação, para poder gerar a malha de elementos finitos. Existiram também, problemas, quando havia vários tubos sendo soldados no mesmo ponto, pois o software não interpreta soldas "uma em cima da outra" a solução para este impedimento foi a diminuição do diâmetro externo do tubo, e diminuição da parede de alguns tubos. Modificações foram feitas seguindo uma escala para não ser perdida a relação de medidas dos tubos. O tempo dedicado a esta tarefa foi bem alto, comparado com as outras etapas, apenas para fazer as idealizações, sendo este tempo na média de 2 meses.

Os problemas acima relacionados podem ser visualizados nas figuras abaixo:

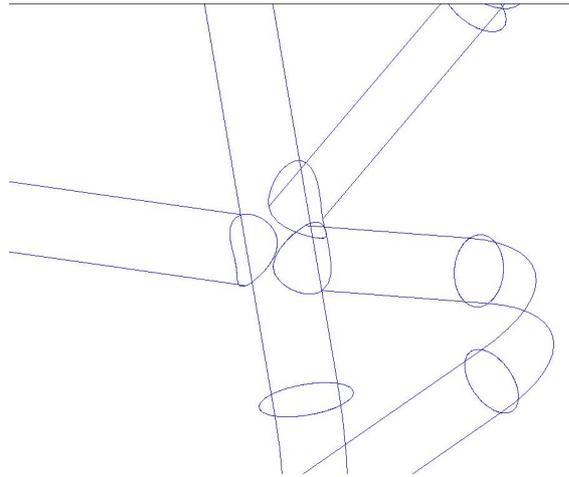


Figura 4 - Problema de idealização das soldas

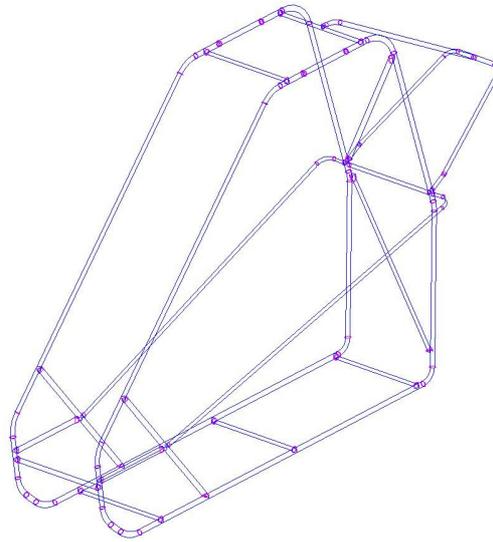


Figura 5 - Modelo idealizado pro Midsurfaces e End Welds

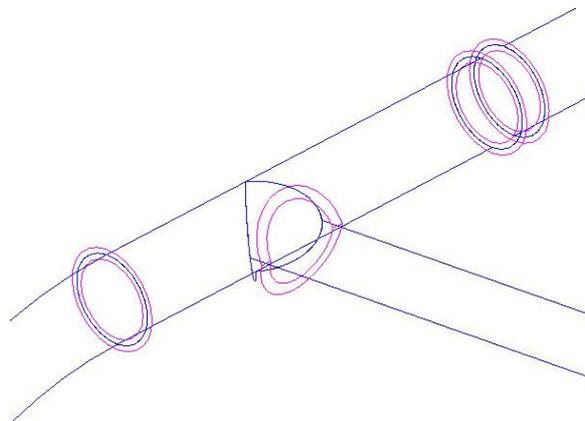


Figura 6 - Solda Idealizada

5.1 Definição do Material

O material utilizado para a modelagem, e depois para a construção do carro, foram tubos de aço carbono AISI - 1020. Na condução do projeto informou-se ao software os parâmetros já relacionados anteriormente.

5.2 Definição dos Carregamentos

Com os carregamentos podem ser simulados impactos e acidentes com o protótipo. No projeto foram feitas duas análises, a primeira foi de capotagem, e a segunda de impacto frontal. Para aplicarmos o carregamento, deve-se criar uma superfície, pois senão a carga fica aplicada em todo o tubo o que não acontece na realidade. A carga aplicada foi de 1000 N.

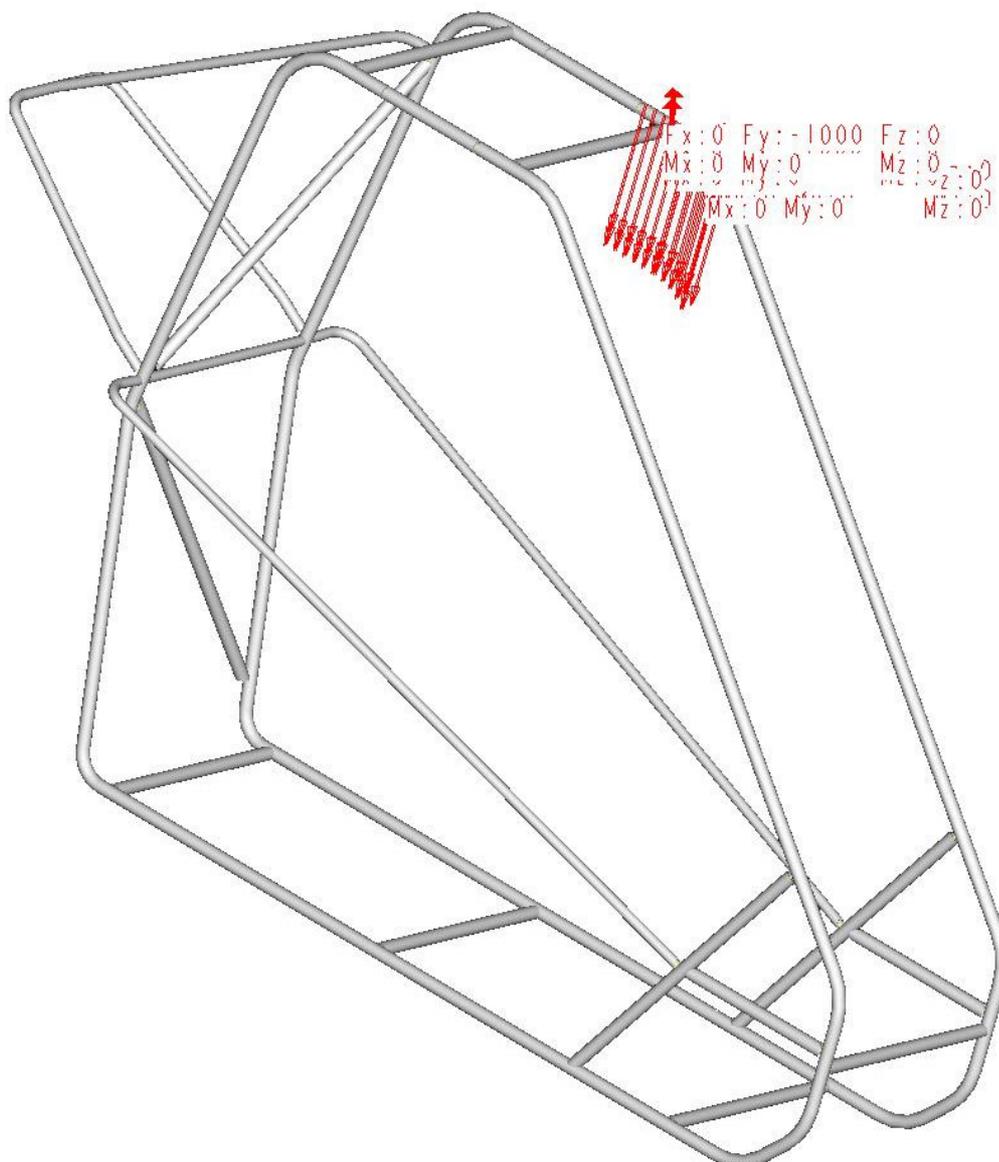


Figura 7 - Modelo com as forças aplicadas

5.3 Definição dos Engastes

A metodologia da definição dos engastes é semelhante ao processo anterior. Fez-se necessário, também, gerar a superfície a ser engastada. O tipo usado no projeto foi do tipo total. Para efeito de simulação não foi deixado nenhum grau de liberdade. O engaste foi aplicado na parte inferior do protótipo.

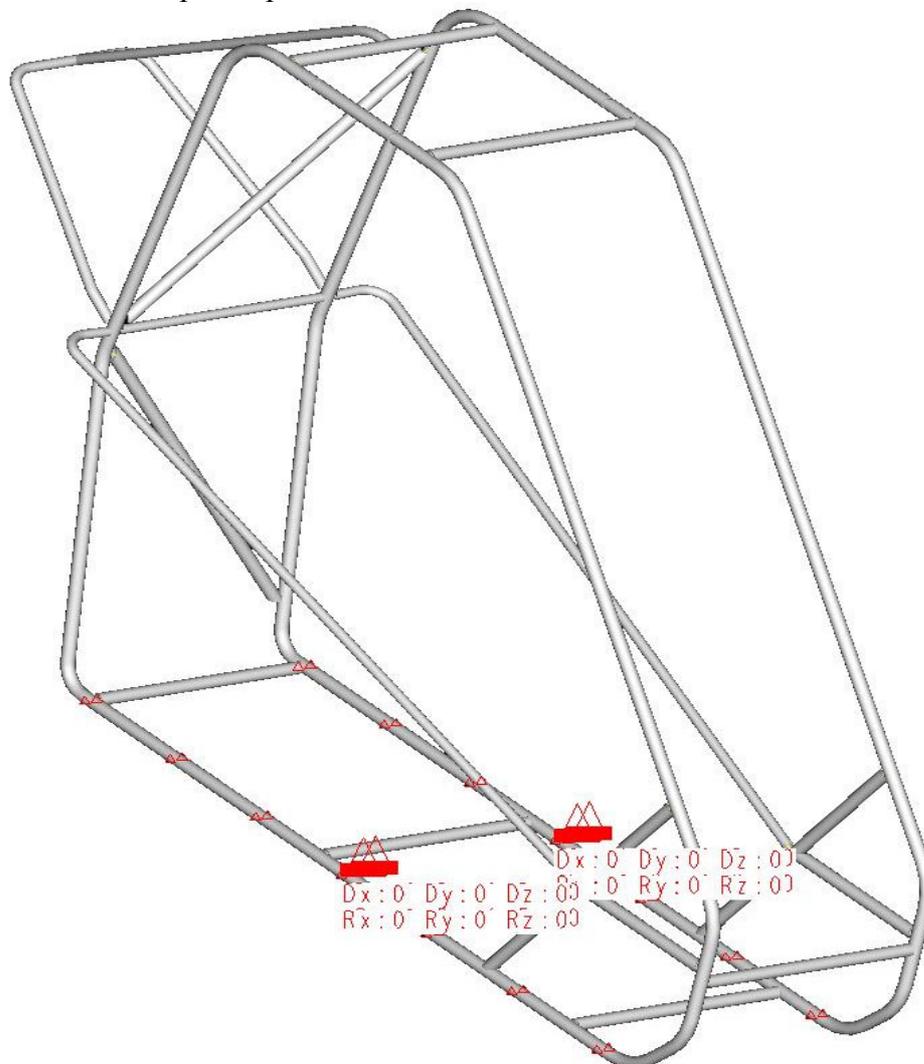


Figura 8 - Modelo engastado

5.4 Simulação do Modelo

Após todos os parâmetros, já definidos, pôde-se criar a análise estrutural do protótipo, esta foi do tipo estática, e iniciou-se a simulação, isto é, a feitura dos cálculos.

Foi alocado para os cálculos 400 Mb de memória dedicada. Eles demoraram, em média cinco minutos cada um.

5.5 Interpretação dos resultados

Na simulação (batida de frente) foram interpretados os seguintes resultados (todas as figuras estão com uma deformação de escala de 10%):

1. **Fluxo de tensões na estrutura:** neste tópico vê-se que a divisão das cargas foram adequadas, pois, nos pontos de aplicação de cargas não vimos a maior concentração de tensões, vimos sim, que elas foram se dissipando para a estrutura toda (vide figura abaixo).

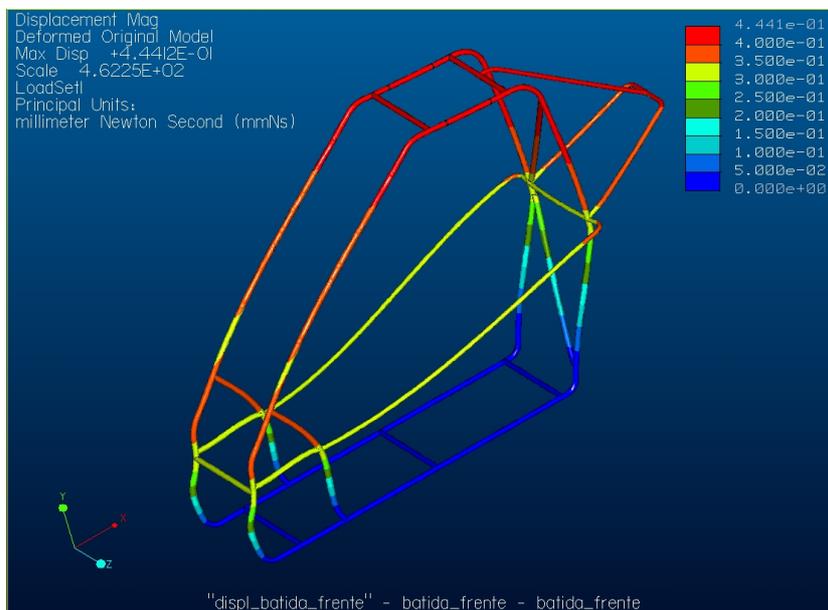


Figura 9 - Resultado de Displacement da simulação (Batida de frente)

2. **Máxima tensão de ruptura:** nesta análise vemos onde se localiza a máxima tensão, para efeito de análise, comparamos a escala da figura, com as tensões de escoamento e com as de ruptura. No caso do modelo idealizado não ocorreram grandes problemas, apenas pode acontecer uma fratura de solda na parte inferior do protótipo, como mostra a figura do detalhe. Para solucionar este caso, deve-se reforçar a solda.

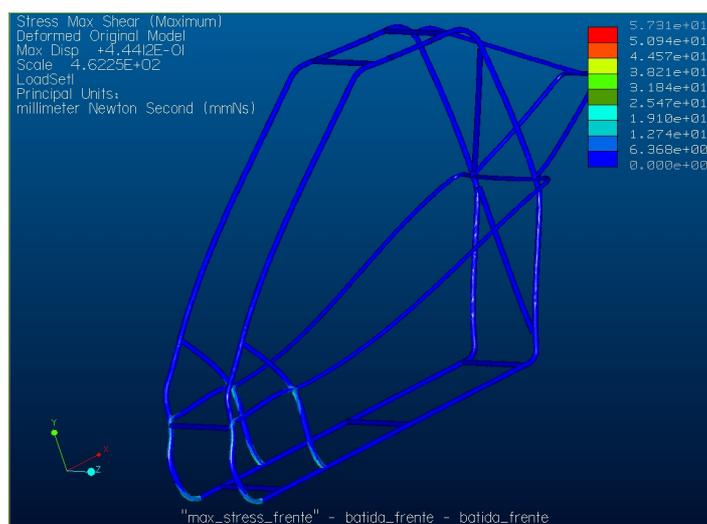


Figura 10 - Resultado de máxima tensão de ruptura da simulação (choque frontal)

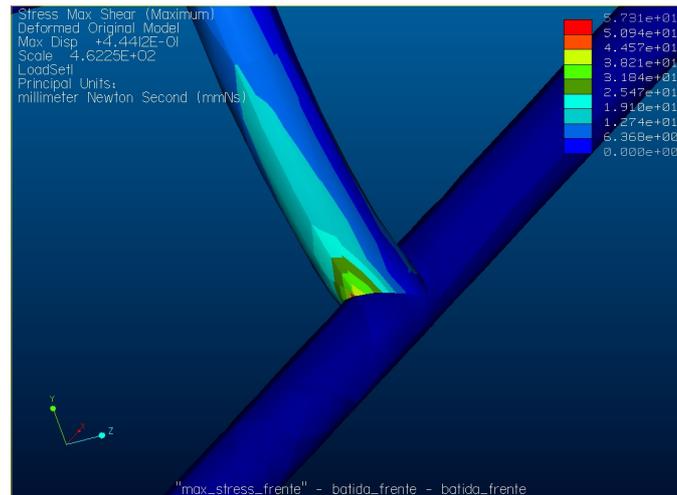


Figura 11 – Maior concentração de tensão na simulação (choque frontal)

6. CONCLUSÃO

Com este trabalho obteve-se uma noção de como é um projeto visto pela ótica de desenvolvimento de produto em engenharia. O design da gaiola do projeto foi uma oportunidade de aprendizado fantástica, aplicando as propriedades mecânicas dos materiais, com uma introdução ao Método dos Elementos Finitos, e utilizando um software comercial de renome em grandes empresas.

O projeto deste novo protótipo durou em média seis meses.

A nova gaiola, pelos resultados apresentados anteriormente, resultou no mínimo quinze quilos mais leve que a anterior, não diminuindo sua integridade estrutural.

Com o design apresentado obteve-se um tempo menor de manufatura. A nova concepção da parte traseira permitiu mais fácil acesso ao motor e maior distribuição dos esforços em caso de choque.

Este projeto mostrou um planejamento de construção do novo carro, com um embasamento teórico, que diminui o risco de fraturas ou torções da gaiola, pois, os maiores defeitos já são visualizados pelo computador, que nos oportuniza várias simulações. Na continuidade deste projeto ter-se-á o desenvolvimento das suspensões, transmissão e sistema de frenagem.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AUTOMOTIVE ENGINEERS, I. Society of. Consolidate rules for 2002 mini baja east, midwest, an west. In: **Consolidate Rules for 2002 Mini Baja East, Midwest, an West**. [S.l.: s.n.], 2002.
- [2] JR., W. D. C. **Materials Science and Engineering**. New York, EUA: John Wiley Sons, Inc, 1999.
- [3] VLACK, L. H. V. **Princípios de Ciência dos Materiais**. São Paulo, Brasil: Ed. Edgard Blücher, 1970.
- [4] HUEBNER, K. H.; THORNTON, E. A. **The Finite Element Method for Engineers**. New York, EUA: John Wiley Sons, Inc, 1942.
- [5] FILHO, A. A. **Elementos Finitos: a base da tecnologia CAE**. São Paulo, Brasil: Editora Érica, 2000.
- [6] CHANDRUPATLA, T. R. **Introduction to finite elements in engineering**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.

- [7] INC, P. T. **Introduction to Pro/Engineer**. [S.I.]: PTC manuals series, 1998.
- [8] INC, P. T. **Introduction to Pro/Mechanica**. [S.I.]: PTC manuals series, 2001.
- [9] HOYT, S. L. **ASME Handbook, Metals Properties**. New York, EUA: McGraw-Hill Book Company, Inc, 1954.
- [10] INTERNATIONAL, M. **Race car chassis, Design an Construction**. Osceola, EUA: Forbes Aird, Inc, 1997.

Abstract: *This work was meant to enable our group to participate in the SAE competition. The main objective is to offer the SAE student members a project that challenges their abilities and that invokes them to plan, design, manufacture and produce a novel product for the industrial market.*

The rhythm of technological changes, the reduction of life-cycle of products and the requirements for even better quality products demand agility, productivity and high quality from the companies.

The degree of uncertainty at the initial stages is very high, and, although the uncertainty is expected to drop with project time. That will help little as the majority of the constructive solutions were already chosen at the beginning of the process. The cost of modifications to it augments through development cycle, as each change made will involve a greater number of already made decisions.

This work presents the main steps of a modern mechanical project, under the view point of a up to date Engineering, or, in other words, following the most recent Product Development School, emphasizing the development of a Mini Off-Road Vehicle.

Key-words: *Project, Automotive, Mechanics, CAD, CAE*