

OTIMIZAÇÃO DE UMA GAIOLA DE VEÍCULO BAJA SAE UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.

Rafael Ângelo Nobuyuki Sano, rafasano@gmail.com¹

Sergio Cordero Calvimontes, sergio.cordero.calvimontes@hotmail.com¹

Antonio José Oliveira Cabral, ajoc@metal.eeimvr.uff.br¹

Adauto Martins de Assis, adauto@metal.eeimvr.uff.br¹

¹Universidade Federal Fluminense, Avenida dos Trabalhadores, nº 420, Vila Santa Cecília, Volta Redonda, RJ. CEP. 27255-125

Resumo: BAJA SAE é uma competição automobilística voltada exclusivamente à comunidade acadêmica que tem como objetivo oferecer aos estudantes de engenharia a experiência de vivenciar o cotidiano de uma empresa de fabricação de veículos Off-road. O objetivo deste trabalho é otimizar o chassi tubular utilizado no ano de 2015 pela equipe da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda na competição BAJA utilizando a simulação computacional via o Método dos Elementos Finitos. O modelamento do chassi foi realizado utilizando o software SolidWorks e em seguida exportado para o software ANSYS Workbench onde foram realizadas simulações de impacto frontal, capotamento e impactos laterais. Os resultados obtidos indicaram que o impacto lateral seria o que apresentaria o maior risco à segurança do piloto e com base nesta premissa foram propostas modificações no chassi 2015 além de um novo desenho de chassi para o ano de 2016.

Palavras-chave: Método dos Elementos Finitos, BAJA SAE, Análise Estrutural

1. INTRODUÇÃO

O surgimento dos primeiros automóveis off-roads, veículos cuja finalidade era transitar com eficiência fora das estradas em situações extremas nos terrenos acidentados e com uma grande diversidade de obstáculos, deu-se na segunda guerra mundial, nos anos de 1940 a 1944. Durante a guerra era necessário que os veículos cruzassem terrenos brutos e difíceis entre os campos de batalha de forma rápida mantendo a sua estrutura intacta. Ao final da guerra, os fabricantes desta nova modalidade de veículos viram no mercado civil uma grande oportunidade.

Além da versatilidade destes veículos para o uso doméstico, os seus usuários também notaram a sua utilidade para o entretenimento quando perceberam que dirigir em estradas pavimentadas não era tão divertido quanto em terrenos acidentados. Assim, entusiastas começaram a modificar seus veículos afim de obter um melhor desempenho em regiões adversas ou adquirir um veículo capacitado para situações extremas a um custo mais baixo.

Em decorrência das customizações dos veículos, surgiram as primeiras competições off-roads destinadas a comparar e avaliar as modificações realizadas nos mesmos, muitas vezes semelhantes, feitas por entusiastas e pilotos especializados em terrenos acidentados.

Dentre estas competições off-roads, surgiu a competição BAJA SAE na Universidade da Carolina do Sul no ano de 1976. A competição BAJA SAE desde seu início até os dias atuais sempre teve caráter acadêmico. Com o objetivo principal em simular uma empresa formada por alunos das universidades onde os membros participantes desta empresa fictícia assumem cargos e funções semelhantes às encontradas no mercado profissional, enfrentando os mesmos desafios e dificuldades que profissionais de engenharia encontrariam em competições semelhantes, a competição ganhou notoriedade e estreou no Brasil no ano de 1991.

Uma equipe competidora deverá, respeitando o regulamento da competição, desenvolver um projeto real de um veículo off-road, no qual deverá ser fabricado e aprovado pelos fiscais da competição, sendo estes Engenheiros indicados pela *Society of Automotive Engineers* (SAE). Esta equipe também assume responsabilidades gerenciais adquirindo seus próprios recursos financeiros através de patrocínios e/ou bolsas, administrando-os para que possam projetar um veículo off-road seguro para fins recreativos, cuja produção seja rentável ao seu fabricante e construí-lo, testá-lo e apresentá-lo juntamente com o seu projeto aos avaliadores da competição.

O veículo aprovado pela comissão de segurança do evento é submetido a diferentes provas que visam medir o seu desempenho no que diz respeito à aceleração, a suspensão e a sua resistência em pistas específicas ou acidentadas de elevada dificuldade.

1.1. Descrição do Problema

Pela competição BAJA SAE ser voltada a provas de enduro, os carros competidores são submetidos a altos esforços durante o seu funcionamento e ocasionalmente são acidentados quando estão competindo. Não são raros casos

de colisões e capotamentos durante as provas e quando estes acidentes acontecem o ideal é que o chassi tenha poucos ou nenhum dano para continuar a prova ou as provas seguintes e que proteja o piloto garantindo a sua saúde em seu interior.

Visando a segurança é desejável que o chassi do veículo absorva os impactos causados por estes acidentes garantindo segurança a integridade física do piloto e se possível evitando também possíveis avarias à estrutura. A pior situação possível na competição seria o caso de capotamento seguido de colisão. A Figura (1) mostra um caso de capotamento durante uma competição BAJA.



Figura 1. Veículo de competição BAJA SAE capotando em uma competição.

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é empregado com frequência em virtude de seus bons resultados, comparáveis a análises analíticas e experimentais e pela sua importância industrial no emprego da prototipagem. Em contra partida, não é costumeiro encontrar cursos de graduação que possuam grades curriculares que contemplem cursos dedicados ao método. Atualmente, é comum encontrar estudantes de engenharia que não tenham tido contato com nenhuma ferramenta envolvendo MEF, apesar da grande utilidade que este pode proporcionar em sua vida profissional. Uma das motivações que determinaram o tema deste trabalho foi o conhecimento sobre o MEF que iria ser adquirido durante o seu desenvolvimento. Outro principal motivo pela escolha do tema foi a oportunidade de participar do Projeto BAJA. Através do projeto BAJA, um graduando em engenharia tem a oportunidade vivenciar a rotina de uma micro-empresa automobilística, conhecendo desde os processos de fabricação, bem como, os de gestão de uma empresa, proporcionando uma excelente capacitação para o mercado de trabalho.

1.2. A Técnica de Elementos Finitos

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é um método numérico extremamente eficiente utilizado para resolver equações diferenciais. Inicialmente aplicado às análises estruturais o método evoluiu e atualmente permite a simulação de diversas análises, tais como; análises modais, dinâmicas, elétricas, termodinâmicas, mecânica dos fluidos, entre outras, o que encadeou o emprego do método em diversas áreas da engenharia, física, topologia e em várias outras ciências.

O Método dos Elementos Finitos consiste em subdividir o corpo a ser analisado em pequenas partes finitas formando assim uma malha. A malha é composta por nós, ou pontos nodais, que ficam localizados nas extremidades dos elementos finitos. Para obter o deslocamento interno do corpo o método sobrepõe os deslocamentos de cada elemento finito que por sua vez são obtidos pelo deslocamento de cada nó.

Segundo Vaz (2011), o primeiro Método dos Elementos Finitos foi publicado pelo matemático alemão Richard Courant no ano de 1943. Contudo, na época em que foi publicado o trabalho não obteve prestígio, possivelmente em virtude da precariedade e escassez de recursos computacionais.

Na década de 50, com a invenção dos transistores, iniciou um avanço computacional e com este avanço o Método dos Elementos Finitos ganhou atenção. De acordo com Pereira (2012) em 1956 funcionários da Boeing descreveram um método de análise estrutural semelhante ao MEF e mais tarde em 1960 estes mesmos funcionários utilizaram o termo Método dos elementos finitos pela primeira vez.

Um dos trabalhos que mais contribuiu para a divulgação do MEF foi o livro “The Finite Element Methods for Engineering”, publicado em 1967 de autoria do professor O.C. Richard Courant, segundo Vaz (2011).

Em 1970, o engenheiro Alcebíades Vasconcelos defendeu, na Coppe-UFRJ, a primeira tese brasileira sobre o Método dos Elementos Finitos e em 1971 a UFRJ oferece o primeiro curso voltado para o método, segundo Vaz (2011).

Atualmente o método de elementos finitos é amplamente empregado em virtude da sua eficiência para obter resultados com um bom nível de precisão em análises complexas, nas quais o emprego de um analítico seria inviável. A

aplicação do método é feita por softwares que dispõem em sua data base diversos algoritmos para a análise de diferentes condições, tais como análises modais, termodinâmica, mecânica dos fluidos, entre outros (conforme mencionado anteriormente).

Atualmente, existem vários softwares comerciais criados para resolver problemas através do MEF e na maioria destes softwares o emprego do método por é dividido em três partes, a saber: Pré-processamento, Processamento e Pós-processamento. A Figura (2) ilustra cada uma destas etapas.

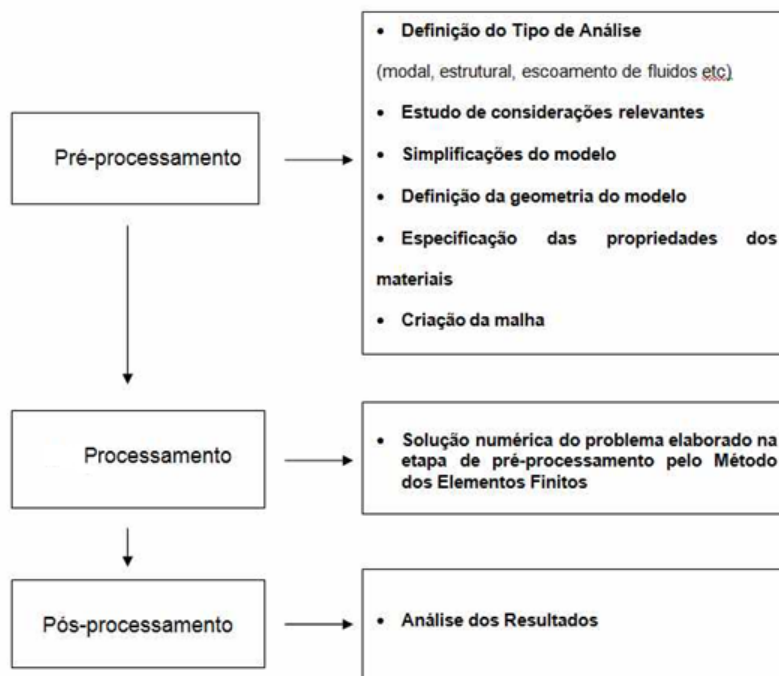


Figura 2. Divisão das etapas no processamento computacional do MEF.

1.2.1. Pré-processamento

O engenheiro deve realizar esta etapa com acuidade uma vez que descuidos nesta etapa podem afetar todo o restante do trabalho. É fundamental ter uma ampla visão do problema e do comportamento esperado do modelo, devendo, sempre que for pertinente, simplificar o problema evitando esforços computacionais desnecessários e demorados, sem incorrer em grandes erros computacionais ou grandes imprecisões do resultado. Sabendo que pequenos erros na fase de pré-processamento podem acarretar grandes erros ao final do processamento numérico é importante criar um modelo fiel ao modelo real que se deseja analisar, porém com simplificações úteis que não afetem o resultado da análise. Com isto, é importante que o engenheiro possua um grande conhecimento técnico para que compreenda o intervalo da solução e os locais nos quais surgirão os pontos críticos para interpretar os resultados e discernir se algum resultado inconsistente é devido a fenômenos imprevistos ou se é fruto de uma má realização da etapa de pré-processamento.

Na etapa de pré-processamento, o usuário inicia o software escolhendo o sistema de análise que será adotado. Atualmente, a maioria dos softwares comerciais encontrados no mercado já vem com pacotes de algoritmos em seus bancos de dados capazes de resolver diversos problemas em diferentes ramos da engenharia e da física (conforme mencionado anteriormente). Contudo, o escopo deste trabalho se limitará à problemas relacionados a análise de um chassi de um veículo projetado para a competição BAJA SAE, sendo o foco principal a análise estrutural.

Após a seleção do tipo de análise é necessário a definição da forma geométrica do sistema. Nesta etapa, o usuário pode construir o desenho do modelo diretamente no software de elementos finitos ou importá-lo de outro com programação CAD. É importante evitar, sempre que possível, detalhes como roscas de parafusos, quinas vivas, pequenos detalhes como pequenos furos, cantos vivos, entre outros, para facilitar a aplicação da malha no desenho e evitar possíveis imprevistos na etapa de processamento.

Com o desenho do modelo já definido o usuário deverá implementar a malha. Os softwares já possuem a opção de inserção de malha automática, mas ainda assim o usuário pode definir as características da malha além de refinar ou otimizar a malha em determinadas regiões do modelo. Uma malha mais refinada tende a garantir uma melhor precisão em relação ao modelo real, contudo exige um maior desempenho no processamento. Assim, o ideal é que se aplique uma malha simples que atenda os limites de precisão desejados. A Figura (3) ilustra um chassi tubular com a malha já definida em sua geometria.

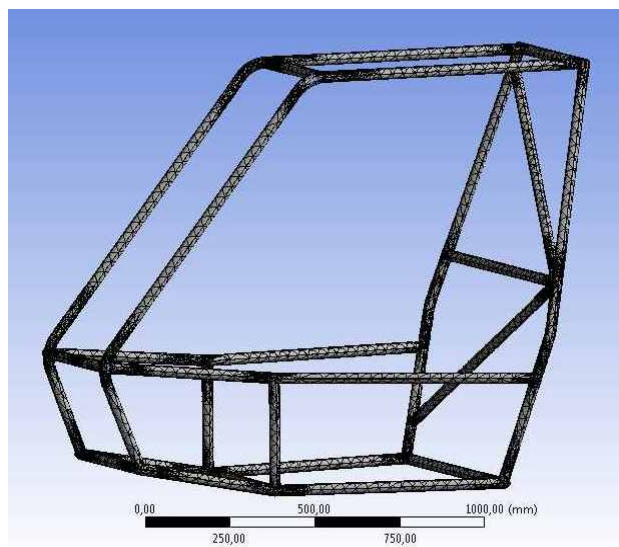


Figura 3. Malha aplicada a um modelo na etapa de pré-processamento.

Outro ponto que deve ser feito no pré-processamento é a inclusão das propriedades físicas características dos materiais usados no modelamento, tais como viscosidade, coeficiente de dilatação térmica, módulo de Young, condutividade térmica, elétrica etc. Cada tipo de análise exige a inserção de um pacote de propriedades físicas e alguns softwares possuem uma biblioteca com alguns materiais utilizados com frequência na engenharia, entretanto, caso não haja disponível ou se o usuário preferir, estes dados podem ser inseridos manualmente. As propriedades físicas fundamentais na análise estrutural são o módulo de Young ou módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, limite de escoamento, limite de resistência e massa específica.

Além das propriedades físicas, também é necessário especificar características como anisotropia, homogeneidade, constantes torcionais, entre outras. É comum adotar nas análises que o material é isotrópico e homogêneo, contudo pode-se definir critérios mais rigorosos de acordo com a precisão da análise e o resultado esperado.

Concluídos os passos citados acima, por final, deve-se determinar as condições de contorno e iniciais do sistema, introduzindo esforços e/ou deslocamentos, pontos de fixação, entre outras condições que representem da melhor forma possível as condições nas quais o objeto de estudo real estará submetido.

1.2.2. Processamento

Finalizada a etapa de pré-processamento, inicia-se o cálculo computacional para encontrar as soluções do problema. Esta etapa é definida como processamento.

Na análise estrutural, geralmente utiliza-se equações de equilíbrio como equações fundamentais para obter os deslocamentos dos nós. Como na maioria das análises por MEF a malha gerada no modelo possui milhares de nós, o esforço computacional torna-se muito grande e, mesmo com equipamentos modernos, uma malha relativamente extensa e complexa pode gerar um tempo de processamento longo e consequentemente custoso. Isto demonstra que em muitos casos a análise analítica torna-se impraticável e torna a análise computacional via MEF uma conceituada ferramenta para a engenharia e para a física.

Eventualmente, na etapa de processamento ocorrem erros decorrentes de uma má formulação do pré-processamento ou por ineficácia dos hardwares em que o software opera. Quando os problemas são relativos à incapacidade de hardware a correção dos erros pode ser sanada através do *upgrade* dos hardwares ou pela simplificação da malha.

1.2.3. Pós-processamento

Sendo a parte final da análise numérica, na qual os dados processados são interpretados, sua qualidade está diretamente relacionada ao conhecimento técnico do engenheiro ou da equipe que realiza esta etapa. É fundamental que os dados sejam interpretados por profissionais que possam validar os resultados com base no conhecimento teórico do sistema modelado. A equipe deve saber distinguir se algum resultado não esperado está relacionado a algum fenômeno não previsto anteriormente ou se é fruto do mau desenvolvimento das etapas anteriores.

Os softwares comerciais apresentam vários recursos gráficos para facilitar a leitura e a análise dos dados obtidos no processamento. As diferentes formas de apresentar os resultados permitem localizar com mais clareza pontos críticos no projeto e otimizá-los visando eliminar os efeitos indesejáveis ou reduzi-los até um valor aceitável.

Diante deste cenário, pode-se dizer que a etapa de pós-processamento é a fase mais importante da análise numérica visto que uma má interpretação pode levar o projeto ao fracasso e uma boa interpretação na etapa de pós-processamento pode validar um trabalho bem feito ou identificar erros ocorridos nas etapas anteriores a tempo de serem corrigidos.

1.2.4. O MEF Aplicado a Veículos

Sánchez (2001) realizou um estudo para identificar a capacidade de um container cilíndrico utilizado para o armazenamento de produtos radioativos em Absorver Impacto (*crashworthiness*) através do Método dos Elementos Finitos simulando uma queda livre com o Software ANSYS/LS-DYNA. Sánchez explicou os fundamentos da análise não-linear dando enfoque aos Métodos de Integração Direta, principalmente os métodos de Newmark e o Método de Diferenças Centrais, com a apresentação dos algoritmos empregados na análise do Método dos elementos Finitos. Também constaram em sua obra teorias sobre impactos e os tipos de análises de impactos que podem ser utilizadas no software ANSYS/LS-DYNA, além uma boa relação de trabalhos que abordaram a Capacidade de Absorver Impacto. A simulação foi repetida com três formas distintas de quedas e verificou-se, pelo Método dos Elementos Finitos, que a queda impactando a chapa base do container provocaria o dano mais severo, causando danos na cápsula interna do container. Apesar dos resultados mostrarem altos valores de aceleração após o impacto da queda livre, o container suportaria quedas com os dados de entrada utilizados quando o ponto de contato do impacto inicial é localizado nos cantos e nos chanfros do container.

Lírio (2004) defende sua dissertação de mestrado apresentando um estudo baseado em uma análise híbrida, experimental-numérica, do comportamento estrutural de chassis empregados em veículos comerciais. Comparando os resultados numéricos com os obtidos nos experimentos e verificando as Densidades Espectrais (PSD - Power Spectral Density), os resultados indicaram uma coerência entre o método numérico e experimental, apresentando amplitudes dos espectros bem próximas, apesar dos mesmos terem formas distintas, sugerindo que esta distinção no espectro esteja relacionada com a simplificação do método numérico para se adequar a capacidade computacional, mostrando como o MEF pode ser eficiente quando empregado corretamente.

Oliveira et al (2006) apresentou um trabalho no 16º POSMEC, realizado na Universidade Federal de Uberlândia, onde estudou a rigidez torcional de um veículo Puma modelo GTS utilizando o software Ansys. Visando adaptar o veículo para competições automobilísticas, após analisar a rigidez torcional aplicando um binário do chassi.

No ano de 2008, pelo menos duas dissertações de mestrado foram defendidas também abordando a análise de chassis com foco na análise da rigidez torcional: uma em Florianópolis por Castro (2008) e outra em São Carlos por Ericsson (2008).

Ericsson (2008) utilizou uma análise de multicorpos para chegar aos valores da rigidez, enquanto Castro (2008) lançou mão de uma análise híbrida, experimental numérica, para prever como a rigidez torcional do chassi se comportaria com modificações em sua estrutura. Estudando estes trabalhos, foi possível conhecer métodos de análises, considerações e fundamentos necessários que embasaram o presente trabalho.

Também foram consultados mais três trabalhos, todos publicados em 2012. Estes trabalhos foram desenvolvidos por Mosquen (2012), Pereira (2012) e Soares et al (2012) e em todos eles os autores empregaram ao MEF, mais uma vez indicando a importância atual e futura do método. Mosquen (2012) simulou uma situação hipotética, através do software ABACUS, de capotamento em um veículo BAJA para verificar prováveis danos causados nesta situação. Apesar da análise ter sido numérica, Mosquen (2012) extraiu parâmetros de análises experimentais para entrar com os dados de entrada nas condições iniciais. Considerando apenas as deformações plásticas, os resultados mostraram que a gaiola do veículo resistiria ao capotamento preservando a integridade física do condutor. Pereira (2012) utilizou o MEF para simular um impacto lateral em um veículo de Stock-car. Os resultados mostraram que em um acidente com estas características provocariam a falha da estrutura afetando a segurança do piloto. Já Soares et al (2012) empregou o método para realizar uma análise híbrida, experimental-numérica, focada no estudo da rigidez torcional de um chassi de veículo elétrico. Em sua análise, também houve divergências nos resultados numéricos e experimentais, contudo Soares et al (2012) levanta a hipótese de que essas discrepâncias são decorrentes pelas tensões residuais remanescentes do processo de soldagem das juntas, não consideradas no modelo numérico, e pela dificuldade de ajustar as mesmas condições de análises entre o método numérico e experimental. Todos estes trabalhos citados contribuíram significativamente no desenvolvimento desta obra acrescentando idéias, conceitos, diretrizes além de agregarem valores na formação acadêmica e profissional do seu autor.

2. METODOLOGIA

O projeto iniciou-se com um levantamento de dados iniciais da Estrutura 2014: dimensionamento dos tubos, tipos de tubos, material de fabricação, componentes que são fixados a estrutura, como exemplo, o motor, suspensão, assoalhos, massa total do protótipo e etc. Após o levantamento de dados iniciais, fez-se a modelagem 3D da Estrutura 2014, utilizando a técnica CAD através do programa Solidworks, seguido de suas simulações estáticas, utilizando a técnica CAE através do programa Cosmos Xpress contido no Solidworks. Para suas simulações estáticas, foram

considerados três colisões básicas na qual o protótipo estará sujeito durante as competições: colisão frontal, colisão lateral e capotamento.

Após uma análise crítica dos resultados das simulações da Estrutura 2014, apresentados pelo programa computacional, foram propostas mudanças em sua forma geométrica, otimizando seu desempenho nas competições e, assim, surge uma nova estrutura, denominada Estrutura 2015, no qual além de sua modelagem 3D efetuou-se, também, suas simulações estáticas utilizando as mesmas técnicas e programas computacionais mencionadas acima.

A etapa inicial consistiu em analisar numericamente, através do software Ansys Workbench, uma gaiola utilizada pela equipe VR BAJA no ano de 2015. A Figura (4) mostra o veículo cuja gaiola foi utilizada na análise deste projeto. A Figura (5) ilustra a gaiola do veículo vista na interface do software CAD SolidWorks.



Figura 4. Malha aplicada a um modelo na etapa de pré-processamento.

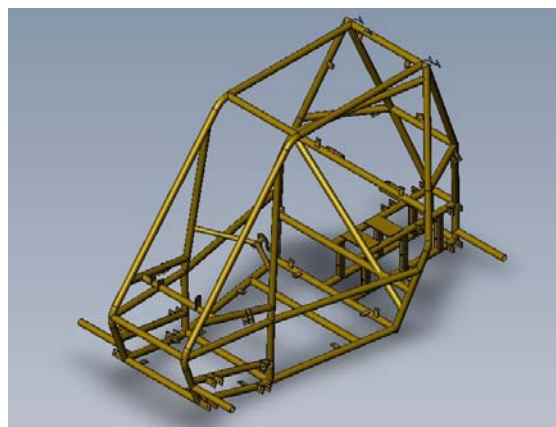


Figura 5. Chassi de veículo de competição da equipe VR BAJA no ano de 2015.

Visando melhor análise com uma redução do esforço computacional, foram feitas algumas modificações no desenho inicial do chassi retirando as “orelhas, olhais” do desenho tendo em vista que estes componentes não fazem parte do foco principal da análise e que os mesmos não apresentariam tensões significantes decorrentes às condições iniciais impostas na etapa de pré-processamento. A Figura (6) ilustra o modelo criado para a simulação no software Ansys.

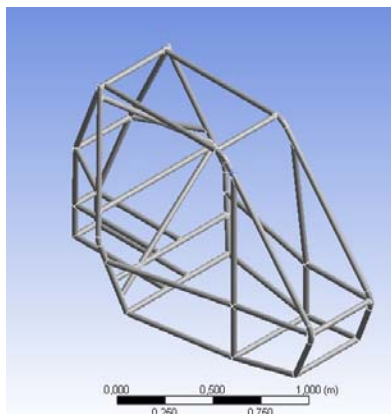


Figura 6. Modelo criado para a simulação no software Ansys Workbench.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Impacto Frontal Gaiola Ano 2015

Após a simulação, obteve-se uma tensão máxima equivalente de 12,88 GPa com uma "flecha" (deslocamento) máxima de 97,19 mm. A Figura (7) ilustra as regiões do chassi que foram afetadas pelas tensões. Analisando as figuras, pode-se verificar que as tensões se propagaram no sentido da força resultante do impacto. As barras que sofreram as maiores deformações estavam localizadas na parte frontal do chassi, porém houve uma grande concentração de tensão na região próxima ao "corta fogo" na parte inferior, por se tratar justamente da região onde a reação das rodas em contato com o solo se propagariam.

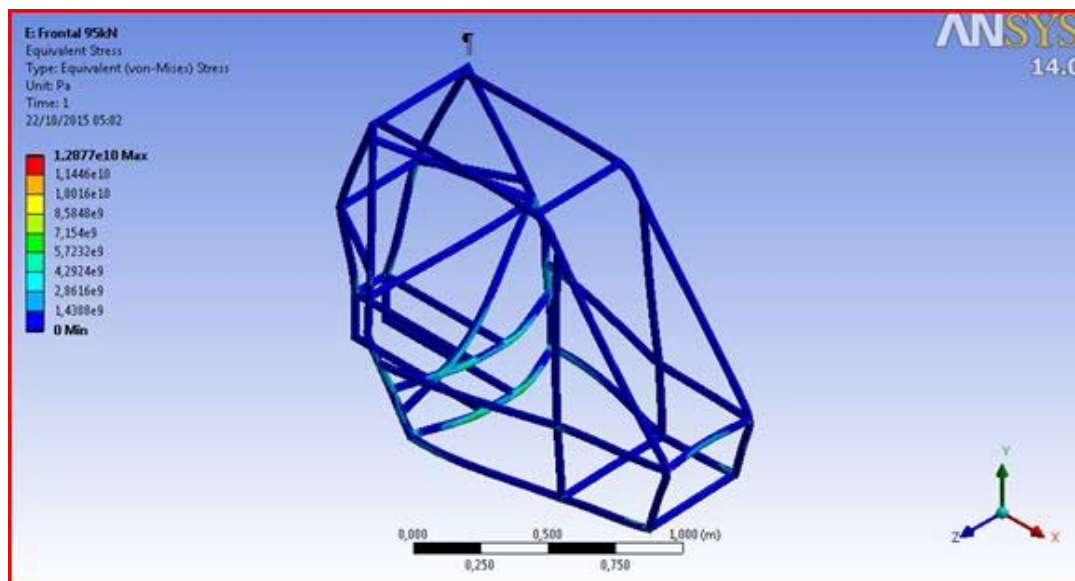


Figura 7. Regiões externas que sofreram as maiores tensões na simulação de impacto frontal

3.2. Capotamento Gaiola Ano 2015

Após o processamento dos dados, o software forneceu uma tensão máxima de 2,23GPa e uma flecha máxima de 25,6mm. A Figura (8) apresenta a distribuição de tensões. Nota-se que a "flecha" máxima não é suficiente para por em risco a segurança do piloto. Mosquen (2012) também realizou uma simulação de capotamento em uma estrutura tubular de veículo BAJA e os resultados obtidos em sua análise mostraram que nesta situação de capotamento o espaço de sobrevivência do piloto seria preservada apesar da estrutura ter sofrido deformações plásticas, porém sem a ocorrência de ruptura. Desta forma, observa-se uma convergência de resultados com a obra de Mosquen (2012) o que indicaria uma possível validação dos resultados.

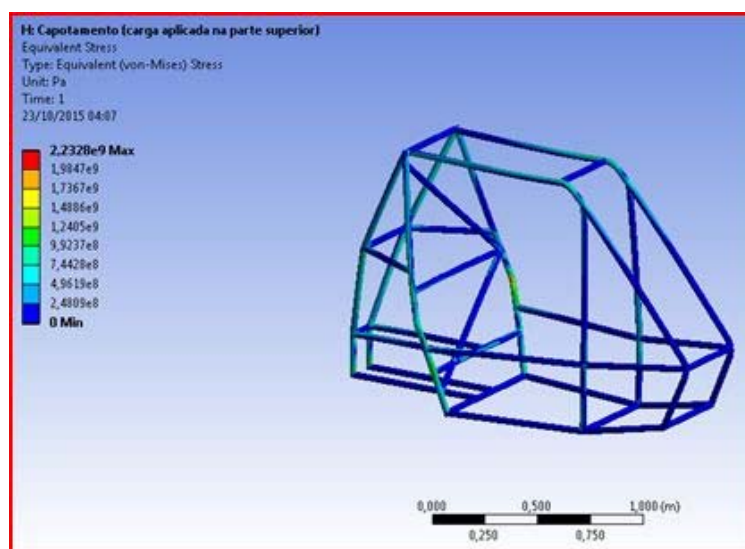


Figura 8. Regiões externas que sofreram as maiores tensões na simulação de capotamento.

3.3. Impacto Lateral Gaiola Ano 2015

O impacto no lado esquerdo gerou uma tensão máxima equivalente de 28,5GPa com uma flecha máxima de 266,4mm, como pode-se verificar na Fig. (9). Na simulação de impacto no lado direito foi obtido uma tensão máxima equivalente de 27GPa e com a flecha de 269,4mm, conforme Fig. (10). Nota-se que o deslocamento de aproximadamente 27cm foi o valor mais elevado em todas as simulações, sendo o resultado mais crítico por ameaçar a saúde do condutor do veículo. Desta forma, pode-se definir como meta para a melhora da segurança do chassi a redução deste valor.

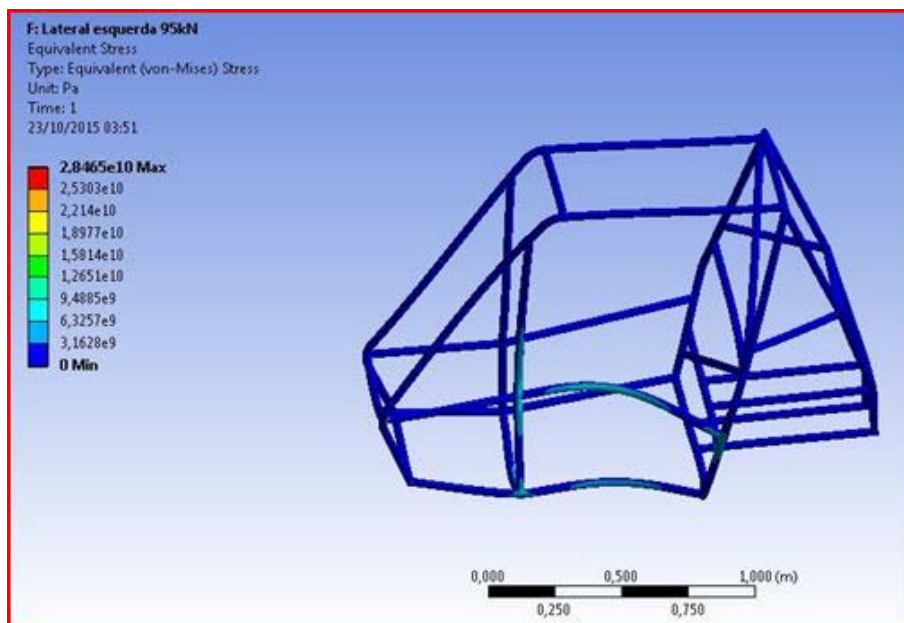


Figura 9. Regiões externas que sofreram as maiores tensões na simulação de impacto lateral do lado esquerdo.

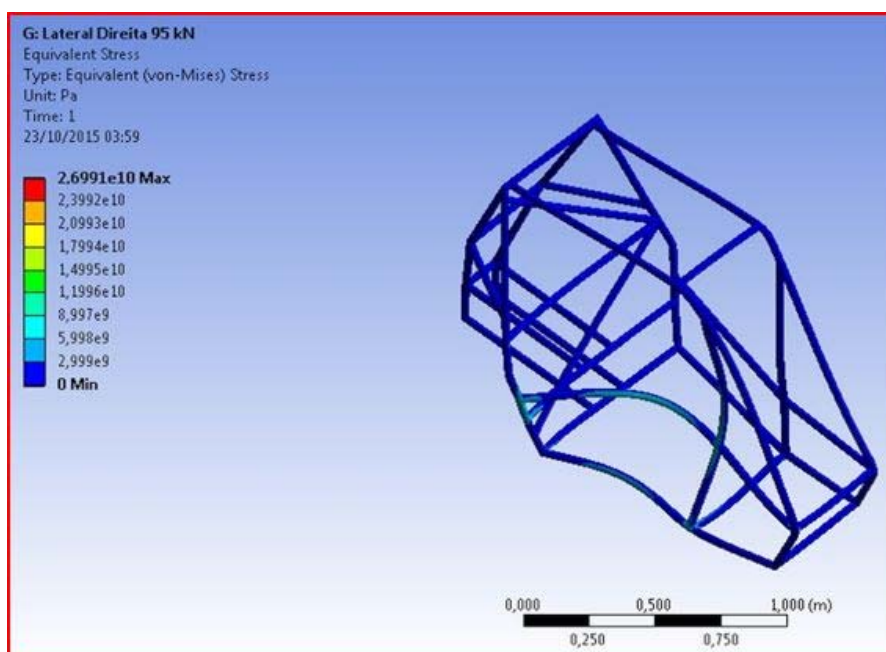


Figura 10. Regiões externas que sofreram as maiores tensões na simulação de impacto lateral do lado direito.

Pode-se observar que os resultados encontrados nesta análise foram consideravelmente piores que nas demais simulações. Da mesma forma que a análise de Pereira (2012) o impacto lateral provocaria uma deformação na estrutura do chassi que comprometeria a segurança do piloto. Além de corroborar os resultados, a análise mostra uma tendência da fragilidade dos projetos quando submetidos a situação de impacto lateral.

Embasado nos resultados obtidos nas simulações anteriores, é possível propor um novo desenho de gaiola que forneça resultados superiores ou semelhantes com custos de produção inferiores ou aceitáveis. Procurando diminuir os cantos vivos e buscando facilitar o processo de produção, propôs-se uma nova gaiola para o ano 2016 em substituição da gaiola analisada anteriormente.

3.4. Impacto Frontal Gaiola Ano 2016

As condições iniciais empregadas nesta análise foram as mesmas utilizadas nas simulações de impactos frontais anteriores. A Figura (11) mostra o resultado obtido após a simulação.

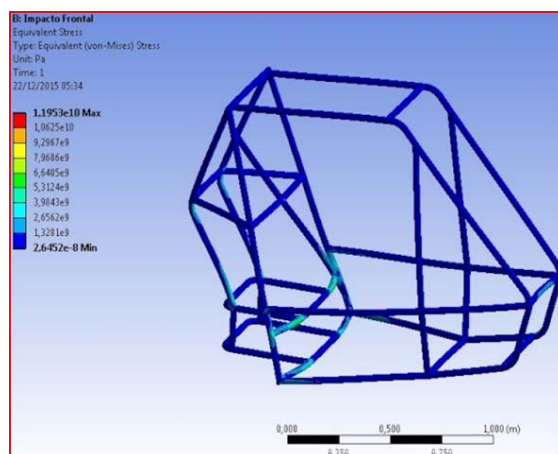


Figura 11. Regiões externas que sofreram as maiores tensões na simulação de impacto frontal

Pode-se observar nas imagens que o deslocamento máximo sofrido nesta simulação foi de aproximadamente 130,7mm com uma tensão máxima aproximada de 11,95GPa. Apesar do deslocamento ter sido superior quando comparado com a gaiola utilizada pela equipe VR BAJA em 2015, nota-se que a deformação da estrutura teve sua maior intensidade nos componentes superiores da estrutura. Isto indica que a energia foi melhor distribuída e os esforços sofridos foram redirecionados para a parte superior da estrutura, justificando a redução da tensão máxima comparada ao resultado fornecida pela simulação da gaiola titular e sugerindo uma evolução na distribuição de energia.

3.5. Capotamento Gaiola Ano 2016

Dentre as simulações realizadas no modelo de gaiola proposto, os resultados obtidos na simulação de capotamento apresentaram os piores valores, sendo um deslocamento máximo de 103,9mm e uma tensão máxima de 4,48GPa, com um aumento percentual considerável quando comparado ao deslocamento máximo de 25,6mm e uma tensão máxima de 2,23GPa encontrados na gaiola da equipe. A distribuição de tensões pode ser observada na Fig. (12). Pode-se supor por estes dados, que o novo projeto dificulta a propagação de energia de impacto na situação idealizada. Todavia, apesar destes resultados estarem muito acima dos resultados encontrados na gaiola da equipe, o sentido da deformação máxima não é direcionada diretamente ao piloto, amenizando o risco de lesões graves. Um ponto positivo que também pode ser mencionado é o fato da gaiola apresentar uma maior absorção da energia total evitando assim a absorção de energia pelo piloto.

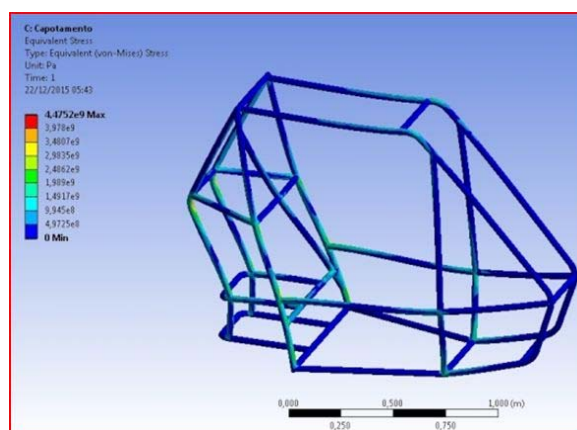


Figura 12. Regiões externas que sofreram as maiores tensões na simulação de capotamento

4. CONCLUSÕES

Realizadas as simulações na gaiola da equipe VR BAJA de 2015 pôde-se identificar os pontos fracos da estrutura. Neste caso específico verificou-se que a principal debilidade da estrutura consistia na falta de segurança em uma possível colisão lateral. Assim, identificada esta característica indesejada pode-se trabalhar em seu aperfeiçoamento, modificando e/ou substituindo os componentes da estrutura que contribuíam ou afetavam a causa da fragilidade.

A princípio fora sugerido a inclusão de alguns reforços para melhorar a absorção de energia do impacto, diminuindo assim a deformação da gaiola e aumentando a segurança do piloto.

Em seguida, visando simplificar o processo de fabricação, foram identificados na geometria da gaiola equipe VR BAJA os locais que não eram criticamente afetados ou responsáveis por suportar tensões elevadas e que, portanto, poderiam ser modificados para diminuir suas complexidades. Desta forma, projetou-se um novo desenho de gaiola visando diminuir pontos de solda e alterando componentes da estrutura que absorvessem e distribuíssem melhor a energia recebida pelo impacto lateral.

Simulando o desenho da gaiola proposta para o ano de 2016 obteve-se bons resultados na simulação de impacto lateral além de resultados satisfatórios na análise do impacto frontal e do capotamento.

5. REFERÊNCIAS

- Castro, M. S., 2008, “Uma Metodologia para Melhoria da Rigidez Torcional de Componentes Estruturais Automotivos”, Dissertação de Mestrado, UFSC – Florianópolis, SC.
- Ericsson, L. G. S., 2008, “Estudo da Influência da Rigidez do Quadro na Dirigibilidade de um Veículo de Competição Fórmula SAE em Ambiente Multicorpos”, Dissertação de Mestrado, USP – São Carlos, São Paulo.
- Kim, Nam-Ho, Sankar, B. V., 2011, “Introdução à Análise e ao Projeto em Elementos Finitos”, Ed. LTC, Rio de Janeiro.
- Lirio, G. R., 2004, “Metodologia Híbrida Experimental-Numérica de Análise do Comportamento Estrutural de Chassi de Veículos Comerciais”, Dissertação de Mestrado, UFSC – Florianópolis, SC.
- MOSQUEN, A., 2012, “Simulação Numérica de um Veículo de Chassi Tubular Frente a uma Situação de Capotamento Frontal”, Trabalho de Conclusão de Curso, UFRGS - Porto Alegre.
- Oliveira, F. C. G., Borges, J. A. F. 2006, “Avaliação da Rigidez Torsional de uma Estrutura Veicular Tipo Space Frame pelo Método de Elementos Finitos com Estudo de Caso” 16º POSMEC – Simpósio de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFU, Uberlândia-MG.
- Pereira, B. V. A., 2012, “Análise de Estrutura de Carro de Corrida (Stock-car) pelo Método de Elementos Finitos”, Dissertação de Mestrado, UNITAU - Taubaté, SP.
- SÁNCHEZ, C. A. A., 2001, “Estudo de Impacto Usando Elementos Finitos e Análise não Linear”, Dissertação de Mestrado, USP – São Carlos, SP.
- SOARES, F. S., GERTZ, L. C., CERVIERI, A., AIRES, A. F. R., SILVEIRA, M. A., 2012, “Desenvolvimento de um Chassi Automotivo para um Veículo Elétrico de Pequeno Porte”, Revista de Iniciação Científica da ULBRA - N°10.
- Vaz, L. E., 2011, “Método dos Elementos Finitos em Análises de Estruturas”, Ed. Elsevier, Rio de Janeiro.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

CAGE VEHICLE BAJA SAE OPTIMIZATION USING THE METHOD OF FINITE ELEMENTS

Rafael Ângelo Nobuyuki Sano, rafasano@gmail.com¹

Sergio Cordero Calvimontes, sergio.cordero.calvimontes@hotmail.com¹

Antonio José Oliveira Cabral, ajoc@metal.eeimvr.uff.br¹

Adauto Martins de Assis, adauto@metal.eeimvr.uff.br¹

¹Universidade Federal Fluminense, Avenida dos Trabalhadores, nº 420, Vila Santa Cecília, Volta Redonda, RJ. CEP. 27255-125

Abstract: BAJA SAE is an automobile competition dedicated exclusively to the academic community that aims to provide engineering students the experience of living the daily life of an Off-road vehicle manufacturing company. The purpose of this work is to optimize the Space Frame used in 2015 by the team of the Metallurgical Industrial Engineering School of Volta Redonda in BAJA competition using the computer simulation via Finite Element Method. The chassis modeling was carried out using SolidWorks software and then exported to the ANSYS Workbench software, which were performed frontal impact simulations, rollover and side impact. The results indicated that the side impact presents the greatest risk to driver safety and based on this premise modifications to the 2015 chassis have been proposed, besides a new Space Frame design for the year of 2016.

Key-words: Finite Element Method, BAJA SAE, Structural Analysis