GINA COROMOTO SEQUEIRA AIKAWA

SIMULAÇÃO DA GEOMETRIA DE MOVIMENTAÇÃO DE PAINÉIS BASCULANTES DE UM AUTOMÓVEL

São Paulo

2007

GINA COROMOTO SEQUEIRA AIKAWA

PARA CÓPIAS, CONSULTAR A EDIÇÃO REVISADA :

FMP-148

Ed. rev.

SIMULAÇÃO DA GEOMETRIA DE MOVIMENTAÇÃO DE PAINÉIS BASCULANTES DE UM AUTOMÓVEL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre Profissional em Engenharia Automotiva.

Área de Concentração:
Engenharia Automotiva

Orientador:
Prof. Dr. Douglas Lauria

São Paulo
2007

DEDICATÓRIA

Ao meu marido e filhos, e a todos que se interessam pela Engenharia Automotiva. Espero que esse trabalho ajude de alguma forma a apurar o entendimento do assunto explorado nele.

AGRADECIMENTOS

Ao meu marido e filhos, pela compreensão e constante apoio.

Ao meu orientador Prof. Dr. Douglas Lauria pelo incentivo constante, dedicação e pelas diretrizes dadas, sem as quais o presente trabalho não seria possível.

À General Motors do Brasil Ltda., em especial a Emerson Fischler, pela oportunidade e ajuda inestimável.

Aos meus colegas do curso pelo companheirismo e incentivo constante.

A todos que colaboraram no desenvolvimento e execução desse trabalho e que involuntariamente foram omitidos.

RESUMO

A proposta deste estudo é desenvolver um modelo algébrico que associado a um programa de computação gráfica permita simular a movimentação dos painéis basculantes de um automóvel usando como referência a superfície externa do veículo fornecida pelos artistas do Departamento de Estilo de uma indústria automobilística. O tempo necessário para a análise da movimentação de painéis sem o uso de recursos computacionais é muito elevado. Isso impede o estudo da sensibilidade das múltiplas propostas de solução possíveis para tais casos. Desta forma, apenas um único tema proposto, o de maior impacto, é analisado em detalhes e esta verificação tardia pode descaracterizar o estilo aprovado para o veículo. O presente trabalho deverá gerar um critério de análise e conduzir a um modelo de tomada de decisão relativa à movimentação de painéis. O critério de análise e o modelo de tomada de decisão serão, então, aplicados à geometria de movimentação de uma tampa de porta-malas de um automóvel modelo Sedan, usando os recursos computacionais necessários e disponíveis para tanto.

Palavras-chave: Automóvel. Simulação. Painéis móveis. Unigraphics-Motion.

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop an algebraic model associated to an engineering computer program that will allow the simulation of movable panels using as reference the vehicle external surface that is released by the automobile company design department.

The time to investigate the movable panel's movement without the specific computers assistant is very high and the multiple proposals possible are not explored in a better way. Just the most important theme among all of them is evaluated in detail. A late evaluation can results in changes that impacts the design already approved for the vehicle.

This piece of writing will create an analysis criteria to lead to a decision making model to support the movable panels movement. This model will be applied to a Sedan vehicle using the computers resources required and available.

Key words: Automobile. Simulation. Movable panels. Unigraphics-Motion.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS
LISTAS DE FIGURAS
LISTAS DE SIMBOLOS
1. INTRODUÇÃO....1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA....3
3. FASE INICIAL DO PROJETO....8
3.1. CRITÉRIOS DE ERGONÔMIA....8
3.2. LEGISLAÇÃO....10
3.3. CINEMÁTICA DO MOVIMENTO....11
4. CARACTERÍSTICAS DOS PAINEIS BASCULANTES....12
5. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ANÁLISE....15
5.1. DADOS DO PAINEL....15
5.2. MODELO ALGÉBRICO E GEOMÉTRICO....17
5.3. MODELO DE SIMULAÇÃO....23
6. ESTUDO OPERACIONAL – MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO....24
7. ESTUDO DE CASO – AUTOMÓVEL MODELO SEDAN....26
7.1. APLICAÇÃO DO MODELO GEOMÉTRICO....27
7.2. APLICAÇÃO DO MODELO ALGÉBRICO....39
7.3. APLICAÇÃO DO MODELO SIMULAÇÃO....41
7.4. MODELO DE TOMADA DE DECISÃO....45
8. CONCLUSÃO....46
9. TRABALHOS FUTUROS....47
REFERÊNCIAS

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – VALORES MEDIDOS NO VEÍCULO NA POSIÇÃO 15°.....32
TABELA 2–VALORES DE F CALCULADOS ALGEBRICAMNETE.....39
TABELA 3 – VALORES DE F CALCULADOS À PARTIR DO GÁFICO.....44

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – TRAJETÓRIAS ARBITRÁRIAS CONGRUENTES.....7
FIGURA 2 – TRAJETÓRIAS CIRCULARES CONGRUENTES.....7
FIGURA 3 – TRAJETÓRIAS EM FORMA DE LINHAS RETAS PARALELAS....7
FIGURA 4 – ACESSO E ALCANCE A TAMPA DO PORTA-MALAS.....9
FIGURA 5 – VISIBILIDADE TRASEIRA.....11
FIGURA 6 – VISIBILIDADE DIANTEIRA.....11
FIGURA 7 – TOYOTA YARIS - EIXO IMAGINÁRIO DAS DOBRADIÇAS DO CAPÔ.....12
FIGURA 8 – CHEVROLET LACETTI - EIXO IMAGINÁRIO DAS DOBRADIÇAS DA TAMPA DO PORTA-MALAS.....13
FIGURA 9 – CHEVROLET LACETTI - EIXO IMAGINÁRIO DAS DOBRADIÇAS DA PORTA LATERAL.....13
FIGURA 10 – CHEVROLET LACETTI - PONTOS DE ANCORAGEM DA DOBRADIÇA DO CAPÔ NA CARROCERIA.....14
FIGURA 11 – ESQUEMA DO PROCESSO DE ANÁLISE.....15
FIGURA 12 – INFORMAÇÃO PRELIMINAR DO ESTUDIO PROPOSTA 1.....16
FIGURA 13 – INFORMAÇÃO PRELIMINAR DO ESTUDIO PROPOSTA 2.....16
FIGURA 14 – POSIÇÕES DE ABERTURA DO CAPÔ.....18
FIGURA 15 – POSIÇÕES DE ABERTURA DA TAMPA DO PORTA-MALAS..18
FIGURA 16 – GRANDEZAS ENVOLVIDAS.....19
FIGURA 17 – ROTAÇÕES DE UM CORPO RÍGIDO.....20
FIGURA 18 – ACELERAÇÃO DO PONTO P.....21
FIGURA 19 – RECURSO VISUAL - GRÁFICO.....26
FIGURA 20 – VERIFICAÇÃO DE VISIBILIDADE TRASEIRA INFERIOR.....27
FIGURA 21 – SECÇÕES NECESSÁRIAS.....28
FIGURA 22 – GEOMETRIA E ABERTURA DA TAMPA – VEÍCULO SEDAN..29
FIGURA 23 – ALCANCE E ACESSO AO PORTA-MALAS.....30
FIGURA 24 – 3 POSIÇÕES DE CENTRO DE GIRO.....31
FIGURA 25 – PALIO – MOLA HELICOIDAL.....33

FIGURA 26 – OMEGA – AMORTECEDOR À GÁS.....34
FIGURA 27 – COROLLA – MOLAS DE TORÇÃO 34
FIGURA 28 – MASSAS DO MODELO REAL.....35
FIGURA 29 – DIMENSÕES DO MODELO REAL.....36
FIGURA 30 – DIMENSÕES DO MODELO 2.....37
FIGURA 31 – DIMENSÕES DO MODELO 3.....37
FIGURA 32 – ANGULO DE ABERTURA DA PROPOSTAS ESTUDADAS.....38
FIGURA 33 – ACOPLAMENTO.....41
FIGURA 34 – JUNTA DE REVOLUÇÃO.....41
FIGURA 35 – MOVIMENTAÇÃO.....41
FIGURA 36 – GERAR GRÁFICO.....42
FIGURA 37 – GRÁFICO DAS 3 SIMULAÇÕES.....43
FIGURA 38 – MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO.....45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DE	Departamento de Estilo
EP	Engenharia de Produto
PAB	Painéis basculantes de um automóvel
SAE	Society automotive engineering
CG	Centro de gravidade
F	Força
P	Peso
Θ	Coordenada angular
m	Massa
a	aceleração
k,r	vetores de posição
v	velocidade
ω	velocidade angular
α	aceleração angular
SM	Scenario for Motion
CAE	Computer aided engineering
CAD	Computer aided design
CONTRAN	Conselho Nacional de Transito

1. INTRODUÇÃO

Ao inicio do projeto de um novo automóvel o Departamento de Estilo (DE) de uma indústria automobilística apresenta cerca de cinco temas elaborados pelos seus artistas. Tais temas expressam a intenção de estilo dentro da proposta de mercado solicitada pelo projeto em questão. Estes temas são submetidos à aprovação da diretoria executiva da empresa para que possam ser desenhados e modelados em escala natural e posteriormente submetidos a uma clínica. Nela será definido o tema vencedor a ser desenvolvido até a implementação do projeto e o lançamento do veículo.

Na fase inicial do projeto, quando os artistas estão trabalhando nas propostas, é importantíssimo que a Engenharia de Produto (EP) estabeleça critérios para garantir que o desenho concebido possa ser posteriormente manufaturado. Estes critérios visam definir a condições de manufatura do veículo, evitando que modificações posteriores, necessárias para viabilizar a manufatura, descaracterizem o estilo aprovado anteriormente. A EP apresenta os critérios ao DE em forma de secções típicas, que expressam dimensões a serem respeitadas para atender pré-requisitos de manufatura e das legislações vigentes, tais como visibilidade mínima requerida, altura requerida para iluminação do veículo, entre outros. Nestas secções, porém, não é possível verificar nem representar a geometria de movimentação dos painéis como capô, portas laterais, tampa de porta-malas e portinhola de combustível, entre outros. A limitação do processo de engenharia simultânea imposta pelas secções típicas tem comprometido o tema do projeto no que diz respeito aos painéis móveis. O tempo elevado demandado para a verificação detalhada desta movimentação eleva a sua realização em um estágio avançado do projeto, após o tema já ter sido aprovado em clínicas. Qualquer alteração solicitada pela engenharia como conseqüência da análise de movimentação dos painéis, que afete vincos ou a harmonia de linhas, pode descaracterizar o tema aprovado.

A proposta do trabalho é desenvolver um modelo algébrico que estabeleça parâmetros dimensionais a serem atendidos por estes painéis móveis. O modelo, aplicado em conjunto com um programa de simulação de movimentos deverá permitir a rápida verificação das soluções propostas. Será possível assim solicitar modificações ao Departamento de Estilo antes da submissão dos temas à diretoria, certificando-se assim que qualquer do temas seja aprovado guardando suas características de estilo.

Os painéis basculantes de um automóvel (PBA) são ancorados em dobradiças e a cinemática do seu movimento é circular quando o eixo de rotação é paralelo ou vertical à linha de solo do automóvel e o centro de giro é fixo. Tal cinemática poderá ser relativa quando a dobradiça é um sistema de barras cujo centro instantâneo de rotação varia durante o movimento de abertura e fechamento do painel.

Como os usuários dos automóveis interagem com estes painéis é necessário que se leve em consideração a ergonomia do movimento de abertura e fechamento deles. O único argumento válido para se penalizar a ergonomia quando do projeto de um painel basculante de um veículo é a necessidade de atendimento de um requisito legal para a sua homologação, ainda assim caso não haja alguma outra proposta que possa viabilizar ambos os requisitos. A conformidade dos painéis móveis com os requisitos legais do mercado a ser suprido pelo veículo é a segunda das três verificações importantes que devem ser feitas nestes projetos.

A terceira verificação é a geometria de movimento do PBA. Ela deve permitir que o usuário manuseie o painel sem que os esforços necessários excedam os valores adequados aos seres humanos a pesar de o esforço de travamento de um painel móvel envolver outros componentes, tais como guarnições de vedação, resistência imposta pela pressão do ar interno do automóvel e o atrito das dobradiças, tais fatores não serão considerados no desenvolvimento deste trabalho. Ele se concentrará em garantir que a

geometria de giro de fechamento e abertura do PBA permita o engate do mecanismo de travamento no seu melhor ângulo de ataque.

O modelo algébrico e geométrico a ser apresentado realiza as três verificações discutidas acima, que passam a ser as condições de contorno para a execução dos movimentos, depois de informadas as coordenadas de posição do centro de giro do painel.

O *software* Unigraphics-Motion, quando alimentado com estas informações, descreve a movimentação do painel e permite ao projetista analisar de forma rápida e completa todas as superfícies pré-definidas e, assim, tecer as considerações necessárias sobre eles e propor alterações quando necessário.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O processo de desenvolvimento de produtos pode ser definido como um conjunto de atividades envolvendo a maior parte dos departamentos de uma empresa. Tem ele como objetivo a transformação de necessidades de mercado em produtos ou serviços economicamente viáveis. O processo de desenvolvimento de produtos engloba desde o projeto do produto, em sua fase principal, até a avaliação do produto pelo consumidor.

Podem ser definidas, formalmente, sete fases para o desenvolvimento de um projeto, cada uma com características e finalidades especifica (KAMISKI, 2000):

- 1ª fase – Estudo de Viabilidade
- 2ª fase – Projeto básico
- 3ª fase – Projeto Executivo
- 4ª fase – Planejamento da Produção/Execução
- 5ª fase – Planejamento da Disponibilizarão ao Cliente
- 6ª fase – Planejamento do Consumo ou Utilização do Produto
- 7ª fase – Planejamento do Abandono do Produto.

Segundo o autor, é durante o Estudo de Viabilidade que se deve especificar as características técnicas do produto; definindo os critérios de projetos.No Projeto Básico a melhor solução é submetida a um exame mais profundo, que demanda construções de modelos matemáticos mais apurados e até a construção de protótipos.

A fase de estudo de viabilidade, que Xu e Galloway (2004) chamam de fase de conceito de projeto, é a fase guiada por um processo criativo onde devem ser determinadas as funções e o estilo do produto. Eles propõem nesta fase o uso de um modelo de comportamento que aperfeiçoe a geometria e propriedades dinâmicas do produto. Nesta fase deve-se fazer uso de fórmulas e regras já conhecida para rapidamente iniciar a confecção do novo produto. Estas ferramentas dão subsidio para que sejam feitas verificações sucessivas até que a melhor solução seja encontrada.

Ecker, Salvatore e Zirpoli (2005) ressaltam que nos dias de hoje se faz uso em grande escala da informática como ferramenta de simulação, motivado este uso principalmente pela redução de tempo e custo de desenvolvimento de um novo produto. Segundo os autores, ferramentas de simulação não apenas reduzem os custos de protótipos antecipando a fase de testes, como também melhoram a qualidade do produto por propiciar informações importantes em fases iniciais de desenvolvimento. As ferramentas virtuais auxiliam os engenheiros de produto a visualizar fenômenos repetidamente, podendo avaliar precisa e antecipadamente causa e efeito de soluções em estudo. Além disso, propõe os autores o uso de ferramentas de simulação para introduzir profundas mudanças na cultura de soluções de problemas nas organizações.

O estudo operacional é uma técnica comumente aplicada para a de soluções de problemas. Ela consiste em variar o problema que se tem em mãos para resolver uma situação insatisfatória, traçando um plano para a identificação da melhor solução. De fato, o estudo operacional apóia-se no necessário para a solução de problemas: identificar o problema e as alternativas de solução, para então finalmente tomar uma decisão. Algumas

dessas estratégias são lógicas ou analíticas, enquanto outras naturalmente intuitivas. As estratégias analíticas são fáceis de reproduzir em computador, segundo Fritz (1993).

Simuladores são aplicados em grade escala na engenharia para permitir uma tomada de decisão em etapas iniciais de projetos.

De acordo com Xu (1998), em função dos avanços ocorridos na área tecnológica e relacionados a equipamentos e aplicativos, a simulação passou a representar um papel cada vez mais importante no ciclo de desenvolvimento de um novo produto, sendo responsável direta por uma redução de tempo e custo de desenvolvimento. O autor relata também de forma bastante clara o papel da simulação em diferentes épocas da indústria automobilística mundial. Segundo sua análise, quando métodos de simulação inexistiam, ou ainda se apresentavam como uma ferramenta do futuro restrita a poucos centros de pesquisa, o processo de desenvolvimento era basicamente composto por um ciclo de "Projeto – Teste", ou "Tentativa e Erro". Tais processos estavam totalmente vinculados à construção de protótipos, testes físicos e correções de projeto baseadas nas respostas obtidas, resultando em ciclos longos e onerosos. O autor indica a utilização da simulação como ferramenta de suporte ao projeto, aplicada pela maioria das montadoras ao final da década de noventa. Esta etapa não era necessariamente cumprida, representando um auxílio na solução de problemas identificados durante testes físicos. Como tendência para evolução deste estágio de desenvolvimento é sugerida a utilização de simulação como etapa mandatária desde a fase de conceituação do produto até a fase de sua validação. Com a introdução desta metodologia, ter-se-ia uma pré-validação do produto antes da construção do primeiro protótipo funcional e os testes físicos passariam a ser uma etapa somente de validação e não mais de desenvolvimento, eliminando-se os ciclos de Tentativa e Erro, Fischler (2005).

Chien-Fu, Kuo e Chih-Hsing (2005), desenvolveram um simulador ergonômico em 3D para melhor analisar e decidir sobre a forma do interior de

um automóvel.. Propõem eles que os critérios ergonômicos sejam levados em consideração desde os primeiros estágios de um novo desenvolvimento, resultando em uma customização essencial no projeto de um novo produto para melhor atender as expectativas dos clientes.

O conforto oferecido por um veículo é dependente do seu projeto, da maneira com que o veículo é operado e das expectativas e sensações dos usuários (Griffin, 1995).

Estudos de ergonomia para os painéis móveis podem ser realizados fazendo uso da teoria e dos softwares desenvolvidos para analisar o comportamento da movimentação de mecanismos (capô, porta tampa traseira,...) equipados com mola a gás ou barra de torção. Estes softwares foram desenvolvidos para demonstrar o comportamento dinâmico da movimentação do mecanismo na fase de desenho. No software desenvolvido por Ko (1995) é possível o cálculo aproximado da característica de carga x ângulo, velocidade, a aceleração e o tempo total de abertura de painéis móveis, de maneira tal que o projetista opta pela melhor posição geométrica e esforço para a localização da mola a gás ou barra de torção.

O movimento de um mecanismo está cinematicamente definido quando, além dos deslocamentos ou trajetórias, são conhecidas as condições de velocidade e aceleração de seus membros. No estudo analítico desses parâmetros cinemáticos os membros são representados por planos em movimento em relação à base (plano fixo). No caso de movimentos de translação distinguem-se: a translação curvilínea de trajetórias arbitrárias congruentes deslocadas paralelamente, conforme a figura 1; circular de trajetórias circulares congruentes, conforme a figura 2; e retilínea de trajetórias em forma de linhas retas paralelas, conforme a figura 3. Como as tangentes às trajetórias são paralelas e as curvaturas das trajetórias são idênticas em cada instante, todos os pontos do plano possuem a mesma condição de movimento e, portanto, a mesma velocidade e aceleração Skarski (1980).

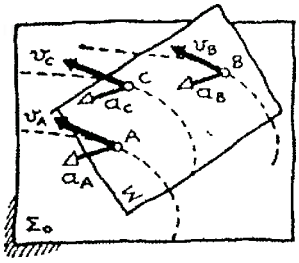


Figura 1: Trajetórias arbitrárias congruentes

Fonte: (Skarski, 1980)

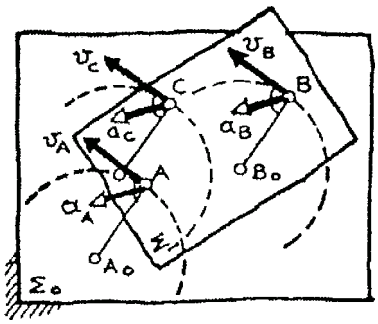


Figura 2: Trajetórias circulares congruentes

Fonte: (Skarski, 1980)

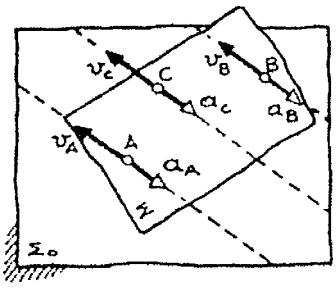


Figura 3: Trajetórias em forma de

linnhas retas paralelas.

Fonte: (Skarski, 1980)

3. FASE INICIAL DO PROJETO

São três as verificações relevantes que devem ser feitas na fase inicial de projeto para garantir que não sejam necessárias alterações de grande impacto no projeto em fases mais avançadas.

A ergonomia para garantir que o usuário interaja de maneira agradável com as dimensões do painel a ser manipulado, os requisitos legais que possam afetar estes painéis, pois indiscutivelmente qualquer violação destes demandaria alterações no projeto e na cinemática do movimento para verificar os esforços que serão necessários para manipular estes painéis.

3.1. CRITÉRIOS DE ERGONOMIA

O homem interage com os PBA através de um manejo que, para o autor Itiro Lida (1990), é caracterizado como manejo grosseiro. Nele os dedos têm a função de prender, mantendo-se relativamente estáticos, enquanto os movimentos são realizados pelo punho e braço. Transmitem forças maiores com velocidade e precisão menores que no manejo fino.

O EP deve garantir que os painéis basculantes do veiculo em desenvolvimento sejam analisados do ponto de vista ergonômico; analisando como o usuário irá interagir com ele.

Há muitos desafios que podem impactar no sucesso de uma pesquisa conduzida por um EP. Provavelmente o maior obstáculo é o tempo disponível para identificar um problema potencial; estudá-lo para determinar a magnitude do mesmo e então recomendar uma contramedida Shereves e Ellis (2003).

Porém um aliado do EP é a vasta bibliografia disponível, com recomendações de dimensões necessárias para atender a manipulação humana de um objeto. O padrão de manequim utilizado nas verificações de

painéis basculantes são os manequins da SAE, que representam uma mulher pequena e um homem grande. O manequim 95% representa o peso e tamanho de 95% da população masculina e o manequim 5%, representa o peso e tamanho de 5% população feminina. Toda verificação deve levar em consideração a interação destes dois manequins para atender a ambos os sexos.

Na manipulação de uma tampa traseira, por exemplo, devemos considerar o acesso ao compartimento de carga pelo manequim de dimensões maiores, sem que ele tenha alguma obstrução ao movimento. Não devemos, porém, nós esquecer do manequim menor; que deve ter assegurado o alcance da tampa ao executar a operação de fechamento desta tampa.

Na figura 4 é possível visualizar a situação exemplificada:

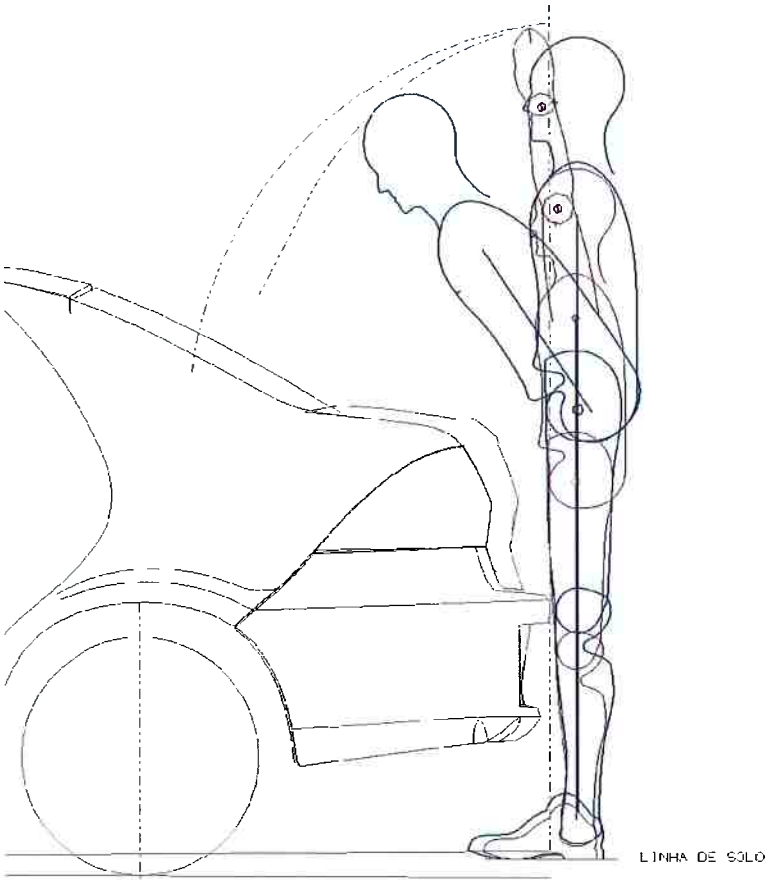


Figura 4: Acesso e alcance a tampa do porta-malas

Esta e outras verificações dimensionais fazem parte do trabalho do EP durante o desenvolvimento de um painel basculante.

3.2. LEGISLAÇÃO

Devido à globalização dos mercados de comercialização de veículos, as empresas automobilísticas hoje desenvolvem veículos que abrangem mais do que apenas um mercado. No início de um projeto é determinado o mercado alvo para este produto e são determinados também alguns mercados potenciais. O Projeto deve atender à legislação dos países que fazem parte da estratégia de mercado assim como deve estar preparado para que com pequenas alterações possa se adequar à legislação dos mercados potenciais.
Um exemplo é o uso de barra de impacto na parte traseira do veiculo para tender requisitos de colisão traseira. O Brasil e os países da América latina não demandam a sua inclusão no veiculo, porém para os mercados da comunidade européia sua inclusão é necessária. Por isso, ao desenvolver um projeto que tenha este mercado como potencial será necessário prover espaço entre o pára-choque traseiro e a estrutura do veiculo para uma possível inclusão da barra de impacto. Desta maneira há interesse das empresas em minimizar os investimentos necessários para adequar um veículo desenvolvido em uma região para lançá-lo em um mercado onde surge oportunidade de negociação.

Como requisitos legais não podem ser violados, quando, durante um desenvolvimento, o EP depara com um problema destes deve de maneira rápida buscar alternativas para atender o requisito legal sem demérito à interação do usuário com o veículo.

Para painéis basculantes um item importante da legislação brasileira e que se assemelha a de outros paises é a visibilidade: dianteira, lateral e traseira.

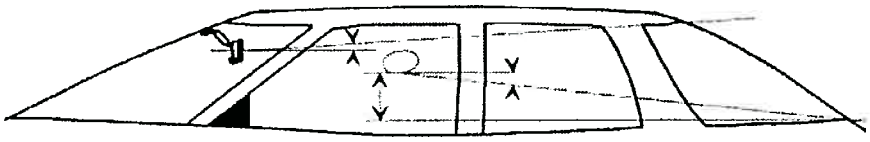


Figura 5: Visibilidade traseira

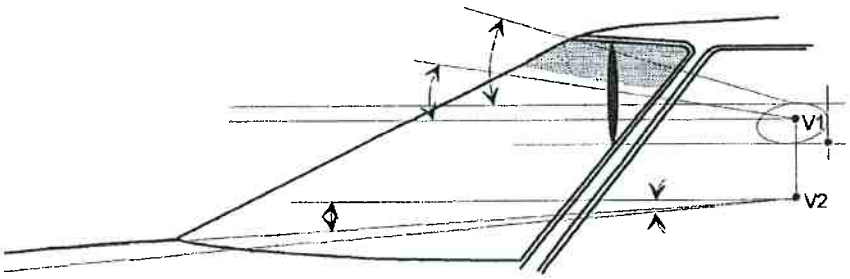


Figura 6: Visibilidade dianteira

3.3. CINEMÁTICA DO MOVIMENTO

Apesar de enumerada como a terceira das verificações, a cinemática afeta a primeira delas, a ergonomia, pois a movimentação do painel basculante deve permitir que o usuário interaja com ele sem exercer esforços que possam causar danos físicos. As dimensões apropriadas e os esforços, respeitando os limites máximos, permitem uma interação adequada para o usuário.

Quando o EP recebe a superfície preliminar, deve garantir que os painéis basculantes se movimentem, cumprindo a geometria de abertura e

fechamento, respeitando os fatores humanos que envolvem a manipulação e permitindo uma ancoragem adequada na estrutura do veículo.

4. CARACTERÍSTICAS DOS PAINEIS BASCULANTES

O mecanismo de movimentação de um painel basculante é desenhado para girar em torno do eixo da dobradiça. É comum o uso de duas dobradiças, com o eixo imaginário formado por estes dois mancais sendo o eixo de giro do painel que será movimentado.

Figura 7: Toyota Yaris - Eixo imaginário das dobradiças do capô

Fonte: (Autovision, 2006)

Figura 8: Chevrolet Lacetti - Eixo imaginário das

dobradiças da tampa do porta-malas

Fonte: (Autovision, 2006)

Figura 9: Chevrolet Lacetti - Eixo imaginário das dobradiças da porta lateral

Fonte: (Autovision, 2006)

O modelo algébrico e geométrico servirá para obtermos o valor aproximado da relação peso versus posição angular do painel, a velocidade e a aceleração deste painel e desta maneira optar pela melhor posição no veículo para ancorar este mecanismo de dobradiça. É importante determinar a cinemática de movimentação do mecanismo no inicio do desenvolvimento para evitar um comportamento indesejado. Alterar a posição de ancoragem da dobradiça na carroceria em fases mais adiantadas do projeto pode afetar a estrutura do veículo, que deverá ser reavaliada após a alteração. Esta alteração afeta também peças que, devido à complexidade da ferramenta de estampagem, tem um tempo longo de execução. Estas ferramentas são as primeiras a serem iniciadas em um projeto. Alterações neste tipo de peças demandam um retrabalho das ferramentas e envolvem custos adicionais.

Figura 10 : Chevrolet Lacetti - Pontos de ancoragem

da dobradiça do capô na carroceria

Fonte: (Autovision, 2006)

Além das características do painel basculante algumas restrições serão impostas ao modelo para respeitar requisitos de ergonomia e legais como descritos nos capítulos anteriores.

5. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE ANÁLISE

O processo de análise tem inicio com as definições dos parâmetros básicos necessários, peso, centro de gravidade (CG), dimensões do painel etc. e pode ser esquematizado de acordo com a figura 11.

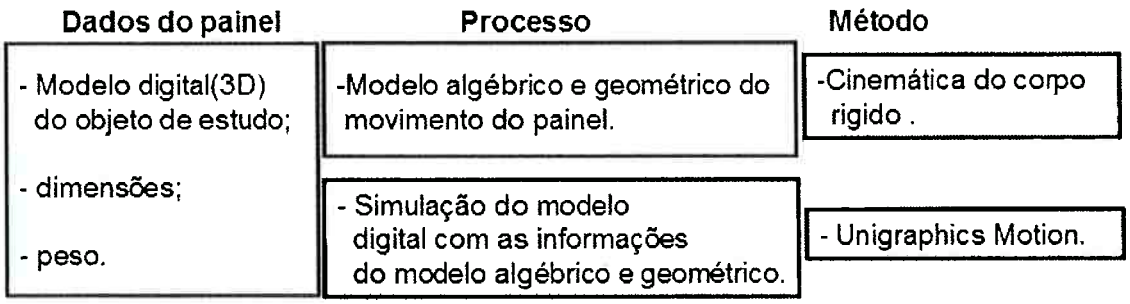


Figura 11: Esquema do processo de análise

5.1. DADOS DO PAINEL

O modelo que o estúdio envia para a engenharia de produto no inicio de um programa é uma representação digital grosseira proveniente da proposta do artista como tema para o veículo. Nas figuras 12 e 13 podemos ver duas propostas diferentes do DE para o mesmo veículo em desenvolvimento. Este modelo é como uma jóia a ser lapidada, ou seja, suas linhas e superfícies serão gradativamente suavizadas e harmonizadas, porém deste modelo já é possível extrair as dimensões do veiculo e nele podemos também determinar as linhas de divisão entre os painéis.

Figura 12: Informação preliminar do Estúdio, proposta 1.

Figura 13: Informação preliminar do Estúdio, proposta 2.

Com estas informações podemos estimar o peso do painel, buscando referência em produtos já em produção e o peso dos componentes associados a este painel, como fechadura, acabamento interno e outros.

A importância de ter uma ferramenta de simulação para este momento do projeto é possibilitar a avaliação dos diversos temas proposto em um curto intervalo de tempo, garantindo que a proposta aprovada seja realizável.

5.2. MODELO ALGÉBRICO E GEOMÉTRICO

Neste movimento, os pontos materiais que formam o corpo rígido se deslocam em movimento plano, em planos paralelos ao longo de circunferências, cujos centros estão sobre uma mesma reta fixa.. Todos os pontos materiais descrevem circunferências concêntricas. Como essa reta, chamada de eixo de rotação, intercepta o corpo rígido, os pontos materiais situados sobre ela possuem velocidade e aceleração nulas segundo Beer e Johnston (1991).

O modelo geométrico deve ser avaliado no mínimo em três secções perpendiculares ao eixo de giro do PBA. Uma secção central, uma secção na região aproximada onde será ancorada a dobradiça e uma secção no ponto mais extremo do PBA.

Com o estudo destas secções será possível determinar o centro de giro que permite ao PBA girar sem interferir com as superfícies ao seu redor. A partir deste centro e com os valores de massa estimados será possível movimentar o PBA e obter o centro de gravidade nas duas posições em que o usuário exercerá esforço para movimentar o PBA. Isto ocorre quando ele movimenta o PBA desde a posição fechado até a posição angular onde o sistema de amortecimento começa a atuar e a posição em que o PBA se encontra totalmente aberto e é necessário iniciar o movimento de fechamento. Na figura 14 é possível verificar esta situação no capô de um veículo e na figura 15 a mesma situação, porém na tampa de um porta-malas.

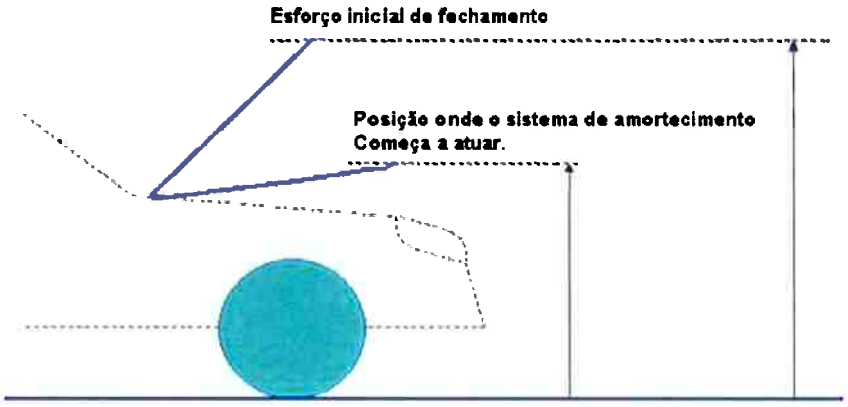


Figura 14: Posições de abertura do capô.

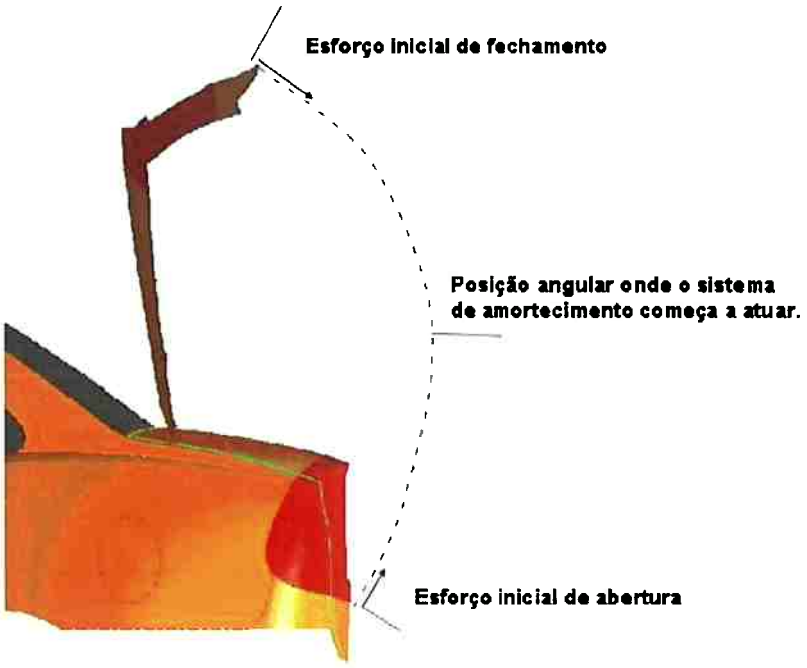


Figura 15: Posições de abertura da tampa do porta-malas.

Com as posições angulares, posições dos centros de gravidades (CG) e a massa da peça definidos é possível calcular a força necessária para equilibrar e movimentar o sistema até estas posições. A figura 16 ilustra as grandezas envolvidas neste cálculo.

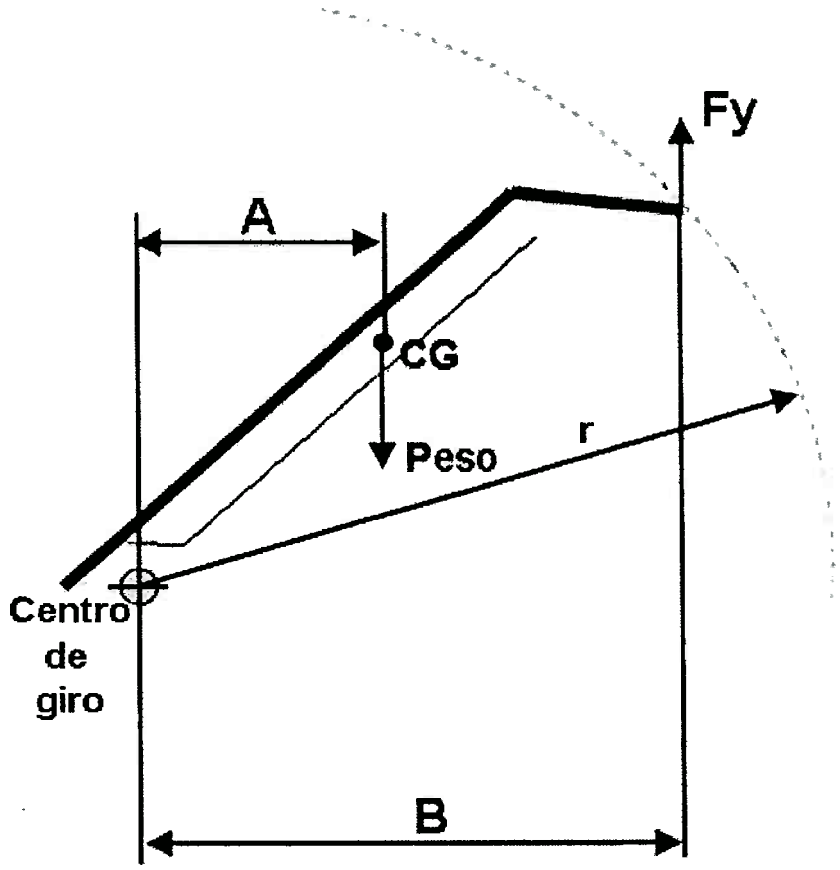


Figura 16: Grandezas envolvidas.

Para que a tampa permaneça na posição aberta o momento aplicado pela força Fy multiplicada pela distância de onde a mesma é aplicada até o centro de giro deve ser no mínimo igual ao momento exercido pelo peso da tampa desde seu centro de gravidade até o centro de giro eq.(1).

$$F_y \times B = P \times A \qquad (1)$$

Porém, para determinar a aceleração angular e realizar o estudo de cinemática desta tampa será necessário decompor a F_y de acordo com a posição angular que se deseja estudar (θ) e assim determinar a aceleração tangencial aplicando a 2ª lei de Newton, eq. (2).

$$F_y \times sen\theta = m \times at \qquad (2)$$

De posse destas informações é possível realizar o estudo da cinemática do corpo rígido.

A rotação de um corpo rígido em torno de um eixo fixo pode ser definida pelo movimento de uma placa em um plano de referência perpendicular ao seu eixo de rotação. Escolhamos o plano xy como o plano de referência e suponhamos que coincida com o plano da figura, com o eixo z saindo do papel, conforme a figura 17.

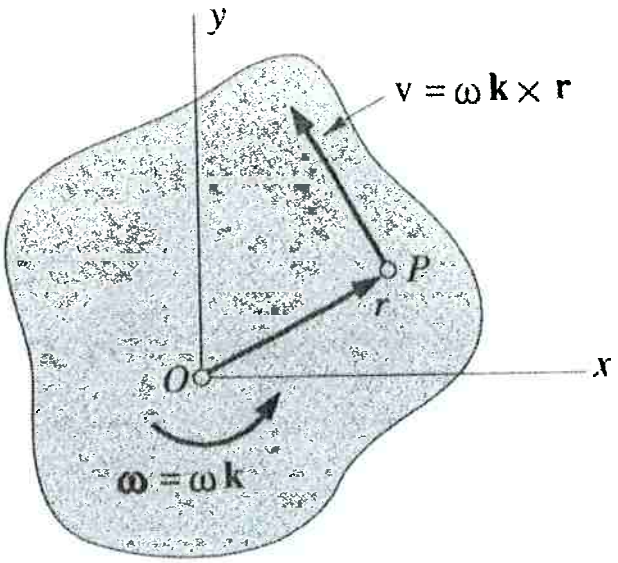


Figura 17: Rotação de um corpo rígido.

Fonte: (Beer, 1991)

Como os vetores k e r são perpendiculares entre si, o valor algébrico da velocidade é

$$v = r\omega \qquad (3)$$

Escrevemos a aceleração do ponto P como mostrado na figura 18.

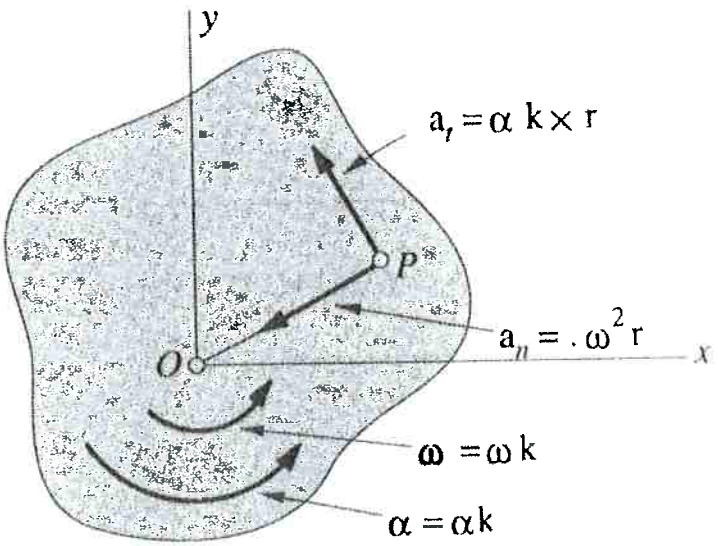


Figura 18: Aceleração do ponto P.
Fonte: (Beer, 1991)

Decompondo a aceleração nas direções tangencial e normal, escrevemos.

$$a_t = r\alpha \qquad (4)$$

$$a_n = r\omega^2 \qquad (5)$$

Neste caso o movimento é de rotação e uniformemente acelerado. Nele a aceleração angular é constante eq. (6).

$$\frac{d\omega}{dt} = \alpha = cte \qquad (6)$$

A velocidade angular ω do ponto material é obtida pela integração da eq. (7).

$$\int_{\omega_0}^{\omega} d\omega = \alpha \int_{t_0}^{t} dt \qquad (7)$$

$$\omega - \omega_0 = \alpha t \qquad (8)$$

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \qquad (9)$$

Como

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \qquad (10)$$

Podemos escrever então

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_0 + \alpha t \qquad (11)$$

Chamando-se de θ_0 o valor inicial de θ e integrando, temos:

$$\int_{\theta_0}^{\theta} d\theta = \int_0^t (\omega_0 + \alpha t) dt \qquad (12)$$

$$\theta - \theta_0 = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \qquad (13)$$

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \qquad (14)$$

Utilizando a regra de derivação em cadeia, pois

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \qquad (15)$$

temos

$$\alpha = \frac{d\omega}{d\theta} = \frac{d\omega}{d\theta}\frac{d\theta}{dt} = \omega\frac{d\omega}{d\theta} \qquad (16)$$

então

$$\omega d\omega = \alpha d\theta \qquad (17)$$

Integrando-se ambos os membros da eq.(18).

$$\int_{\omega_0}^{\omega} \omega d\omega = \alpha \int_{\theta_0}^{\theta} d\theta \qquad (18)$$

$$\frac{1}{2}(\omega^2 - \omega_0{}^2) = \alpha(\theta - \theta_0) \qquad (19)$$

$$\omega^2 = \omega_0{}^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0) \qquad (20)$$

As eq. (9), (14) e (20), relacionam velocidade angular, coordenada angular e tempo.

5.3. MODELO DE SIMULAÇÃO

A simulação de movimento dos painéis será feita com o software Unigraphics-Motion. Nele, um mecanismo é uma entidade virtual separada que pode ser descrita como um conjunto de objetos que compõe o chamado "*Scenario for Motion*" (SM), aplicativo CAE usado para modelar e analisar o movimento de peças dentro de um mecanismo. O *solver* ADAMS é um produto agregado ao "*Scenario for Motion", sendo o* processador para a solução dos movimentos gerados no SM (Unigraphics, 2005).

O SM é gerado em três passos:

Passo 1 - Criar acoplamento

Todas as peças em movimento devem ser associadas a apenas uma conexão, que neste estudo é o eixo de giro determinado no modelo algébrico. Será necessário associar uma massa ao acoplamento quando reações de forças forem de interesse no estudo.

Passo 2 - Criar Juntas

A junta é quem define como o mecanismo irá se mover. Antes de sua criação os acoplamentos dentro do mecanismo não estão vinculados, flutuando no espaço com seis graus de liberdade; translação e rotação nos três eixos coordenados. O software oferece quatorze tipos diferentes de juntas divididas em duas categorias: comuns, de revolução, deslizamento e universal e juntas especiais, envolvendo dois deslizamentos; engrenamento com rotações diferentes entre as engrenagens e outros.

Passo 3 - Definir a Energia a ser aplicada ao movimento

Articulation é a forma de movimento baseada em deslocamentos onde deve ser especificado o tamanho do passo (rotação) e o número de passos a serem dados e é o recurso a ser usado para a simulação aqui desejada.

Após cumprir os três passos, o EP terá à sua disposição o recurso visual que lhe permitirá verificar o comportamento do painel em estudo. Pode-se assim verificar a abertura máxima do painel e sua eventual interferência com a carroceria, respeitadas as folgas ideais de projeto, e desta maneira, verificar se as linhas de contorno dos painéis necessitam ser alteradas para melhor atender ao movimento desejado.

Além do recurso visual disponível para análise, um recurso importante é a função *spreadsheet*. Cada vez que um mecanismo é articulado uma tabela de dados é gerada pelo *software* e armazenada para análise posterior. Além de informativa, a planilha interage com o modelo podendo mudar a posição do mecanismo ao ser editado. Este recurso permite ao engenheiro estudar melhorias no posicionamento do eixo de giro do mecanismo de maneira interativa e ágil.

6. ESTUDO OPERACIONAL – MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO

O estudo operacional consiste basicamente na elaboração de um modelo do sistema real existente como forma de análise e compreensão do seu comportamento. Com este modelo várias propostas podem ser estudadas e dentre as propostas que surgirem possa ser escolhida a que oferece mais vantagens.

Segundo Fritz (1993), a estrutura de um modelo para tomada de decisão foi formalizada por Simon em 1960 e consiste em três fases:

1.Inteligência - identificar um assunto que demanda um modelo de decisão.

2. Escopo - modelar as possíveis soluções para o assunto em questão.

3. Escolha - Analisar as soluções modeladas e decidir por uma delas.

O modelo de Simon implica em que a tomada de decisão é um ato racional, onde as escolhas são feitas baseadas nas considerações das consequências e com base nas informações apuradas.

A decisão prematura por uma proposta sem confrontá-la com outras opções limita o que o sistema em estudo possa oferecer de melhor, seja em desempenho ou custo ou até em oportunidade de inovações para o sistema.

Analisando o problema segundo a proposta de Simon, deve-se definir um modelo de decisão, pois os sistemas de painéis basculantes apresentam várias possibilidades de posições para serem ancorados na carroceria. Seguindo o processo de análise descrito no capítulo 4.1 é possível determinar mais de uma solução para ancorar um painel basculante e posicionar o eixo de giro do mecanismo. Ao modelar as possíveis posições têm-se em mãos informações apuradas que propiciam uma tomada de decisão baseada nas considerações das consequências do movimento de uma tampa. A mais importante delas é o esforço que o usuário terá de exercer ao manipular esta tampa.

O recurso visual disponível no software Unigraphics-Motion auxilia na análise, como pode ser visto na figura 19. Nela está apresentada a força que resulta no centro de gravidade de uma tampa em função de seu ângulo de abertura.

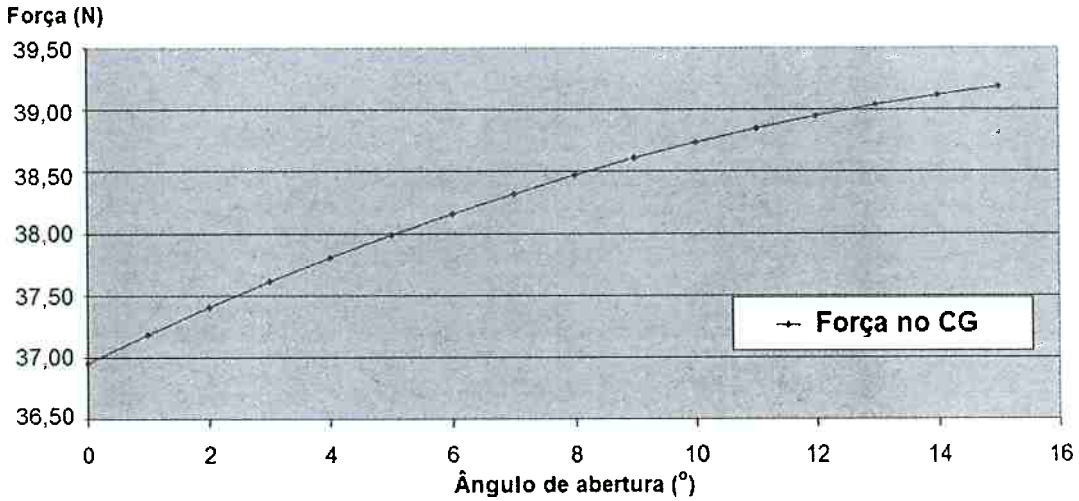


Figura 19: Recurso visual - gráfico

Este gráfico pode ser gerado para as diferentes propostas encontradas e para cada uma delas salientar os prós e contras do posicionamento do eixo de giro do mecanismo e dos pontos de ancoragem na carroceria. Estas informações permitem a análise das alternativas de maneira quantitativa, o que auxilia na decisão por uma delas.

7. ESTUDO DE CASO – AUTOMÓVEL MODELO SEDAN

O estudo descrito a seguir se baseia na verificação efetuada em um arquivo de superfícies em CAD de uma tampa de porta malas de um veículo modelo sedan recebido do DE. Assim que a informação é recebida pelo PE ele deve avaliar a superfície para verificar se atende ao requerido para que o sistema cumpra a sua função.

7.1. APLICAÇÃO DO MODELO GEOMÉTRICO

A primeira verificação feita é a de visibilidade traseira, mostrada na figura 20.

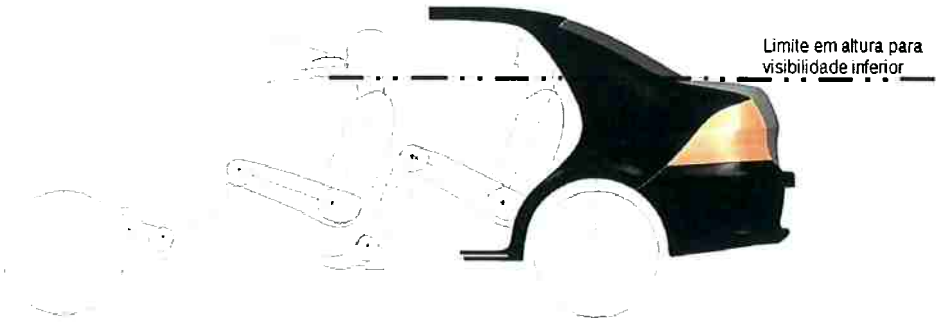


Figura 20: Verificação de visibilidade traseira inferior.

Este é um item legal exigido pelo CONTRAN, porém os espelhos laterais externos eliminam a necessidade de se atender a esta altura mínima. Por outro lado, a obstrução da visibilidade na região traseira é um item que causa insatisfação ao cliente e por isso ela é considerada como um item crítico se violado pela superfície em estudo.

Com este requisito atendido é possível dar continuidade ao estudo. Agora será possível verificar a melhor posição para o centro de giro da tampa, visto que a posição máxima em altura para ancoragem deste mecanismo já está definida quando determinamos o limite em altura para visibilidade inferior.

Conforme mencionando anteriormente, serão necessárias três secções para investigar a melhor posição para o centro de giro. Na figura 21 é possível visualizar a localização destas três secções.

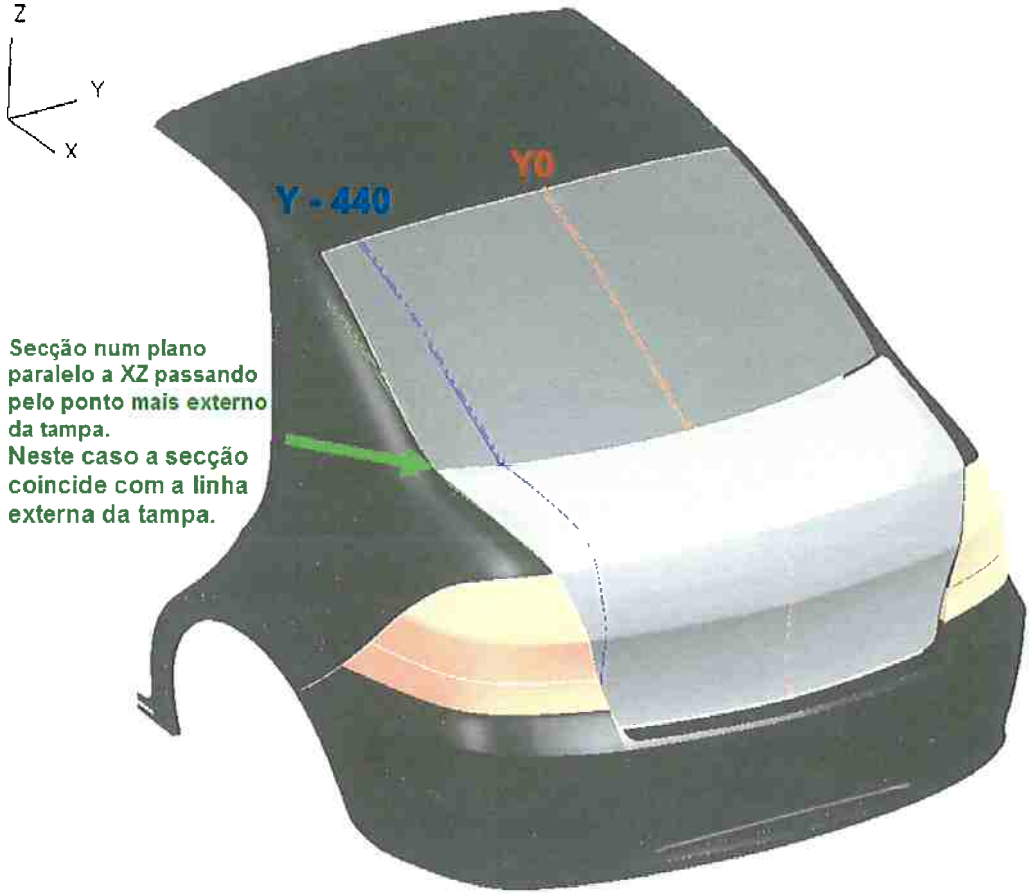


Figura 21: Secções necessárias.

A tampa de um porta-malas quando manufaturada em aço é composta por duas peças, o painel interno, que estrutura a peça e permite a ancoragem de outros itens que são fixados na tampa e o painel externo, que é basicamente a superfície recebida do DE. A secção no plano paralelo ao plano XZ passando pela coordenada Y- 440 foram estipulados de acordo com a curvatura do painel externo, em uma região onde será possível construir uma forma no painel interno que permita ancorar o braço da dobradiça. Devido à simetria longitudinal, é possível definir a geometria da tampa com apenas um dos lados do veículo. Neste caso estamos optando pelo lado esquerdo, que de acordo com o sistema de coordenadas XYZ está localizado na posição –Y.

De posse destas três secções devem se desenhar em cada uma delas uma linha paralela à do vidro a 10 mm de distância e que deverá se estender até cruzar a superfície do painel externo da tampa. Por estes três pontos passa a curva que determina o contorno do painel externo nesta região. Uma outra linha paralela à do vidro deve ser desenhada, porém a 20 mm de distância. Esta linha será o limite máximo de proximidade da tampa ao vidro, quando a tampa estiver totalmente aberta.

Dos três pontos definidos anteriormente, aquele que está na secção que passa no ponto mais externo da tampa, que aqui chamaremos de ponto 3, é o que determina o limite em X para a posição do centro de giro. Pelo ponto 3 passará uma linha paralela à linha limite em altura para visibilidade inferior, que chamaremos de linha 4. Na figura 22 é possível ver esta construção.

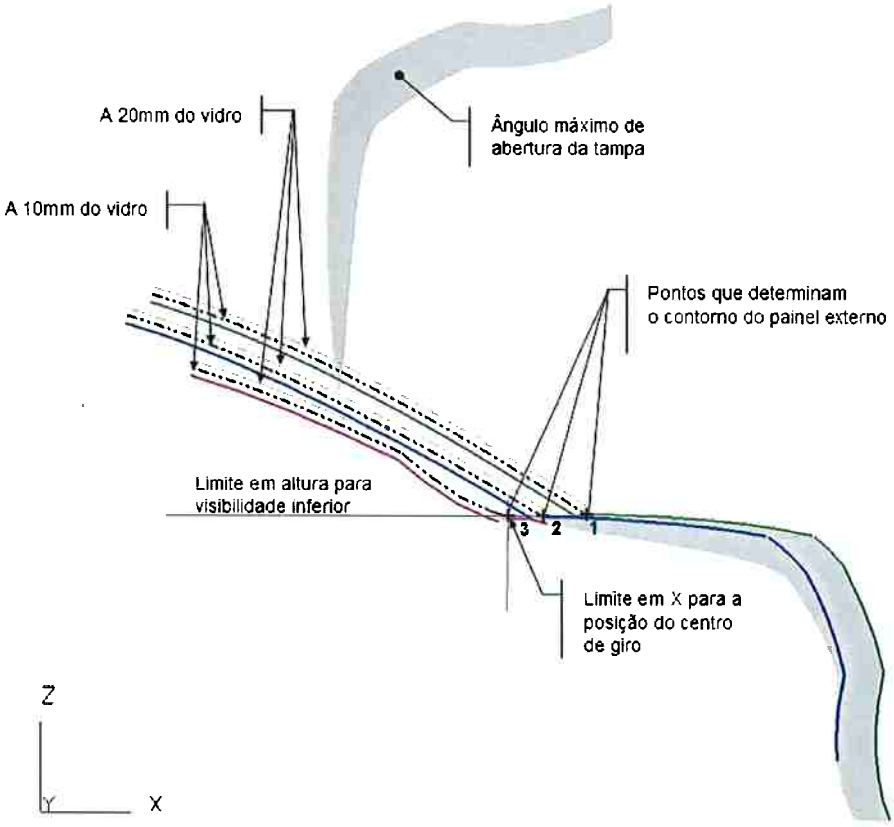


Figura 22: Geometria e abertura da Tampa de um veículo modelo Sedan.

Ao girar a tampa, duas análises devem ser feitas. A primeira, já mencionada anteriormente, diz respeito à distância que deve ser guardada do vidro e que neste estudo é indicada como 20 mm. A segunda se relaciona à posição em que a tampa permanece totalmente aberta. Ela deve estar em uma posição que permita ao manequim SAE 5% alcançar a tampa e que não obstrua a passagem do manequim SAE 95% quando este se curvar em direção ao compartimento de carga. Esta região é mostrada na figura 23.

Figura 23: Alcance e acesso ao porta-malas.

Neste estudo serão simuladas três posições para o centro de giro, como pode ser observado na figura 24.

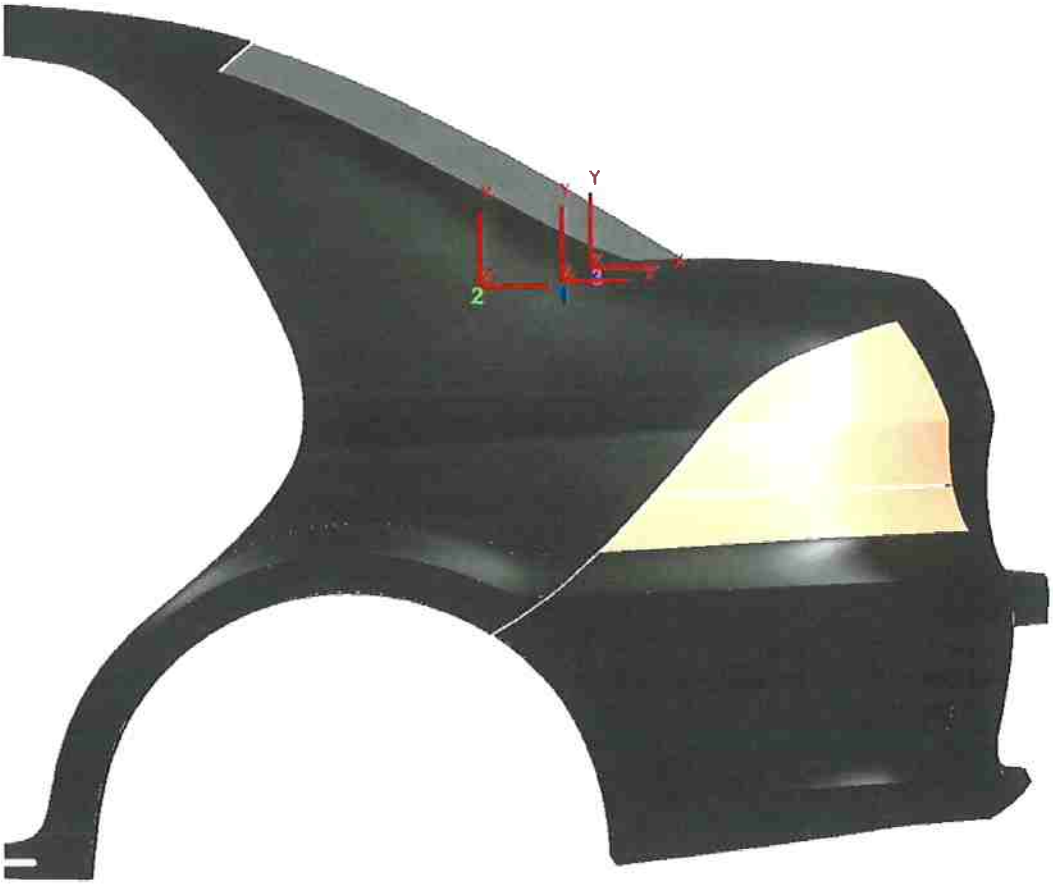


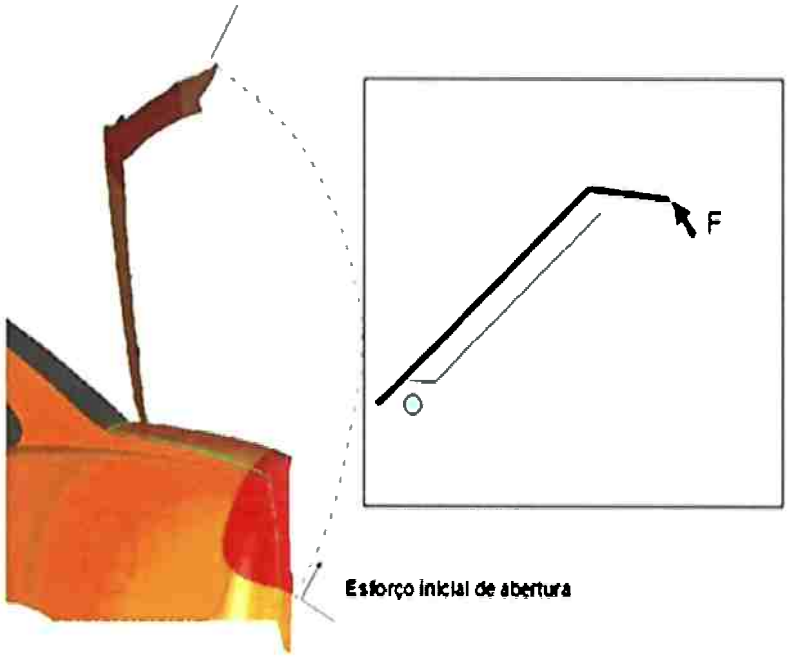
Figura 24: 3 Posições do centro de giro.

A posição número 1 é o centro de giro que hoje está no veículo já em produção, que será chamado de modelo real. O estudo do modelo real servirá para aferir o modelo de CAE para simulação. Os valores medidos no veículo serão comparados com os valores calculados usando o modelo algébrico e com o modelo simulado no software Unigraphics-Motion.

Na tabela 1 estão indicados os valores da força aplicada para início de abertura da porta malas, medidos no veículo ora em produção.

Tabela 1 - Valores medidos no veículo na posição 15°.

medida	F(N)	medida	F(N)	medida	F(N)
1	68,60	4	68,00	7	69,90
2	68,10	5	65,90	8	66,30
3	64,90	6	65,53	9	69,60



Valor médio de F = 67.42 N

Para efetuar as medições foram removidas as molas helicoidais que servem para amortecer o movimento e foi utilizado um dinamômetro medindo a força em um vetor tangencial ao movimento circular que a tampa executa. Os valores foram medidos na unidade kilograma-força (Kgf), e convertidos para Newton(N).

É comum que a movimentação da tampa da porta malas de um automóvel seja amortecida com mola helicoidal a partir dos 15° de abertura, como mostrado na figura 25, com amortecedor a gás, como mostrado na figura 26 ou com barras de torção, como mostrado na figura 27. Por isso é importante buscar manter o valor de esforço a ser realizado pelo usuário num máximo de até 50N até a posição angular de 15°, pois apenas a partir desta posição o usuário passará a ter o auxilio do sistema de amortecimento.

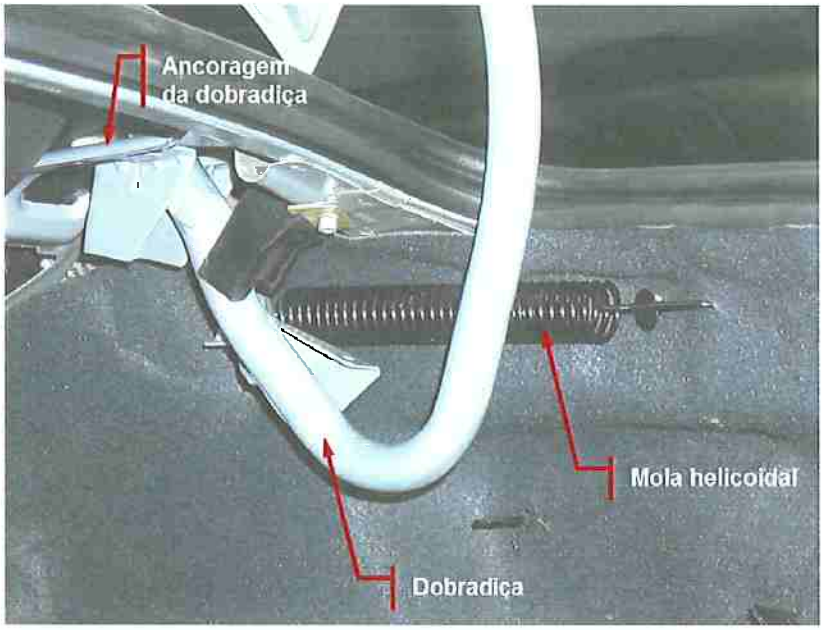


Figura 25: Palio - mola helicoidal.
Fonte: (Autovision, 2006)

Figura 26: Omega - Amortecedor à gás.

Fonte: (Autovision, 2006)

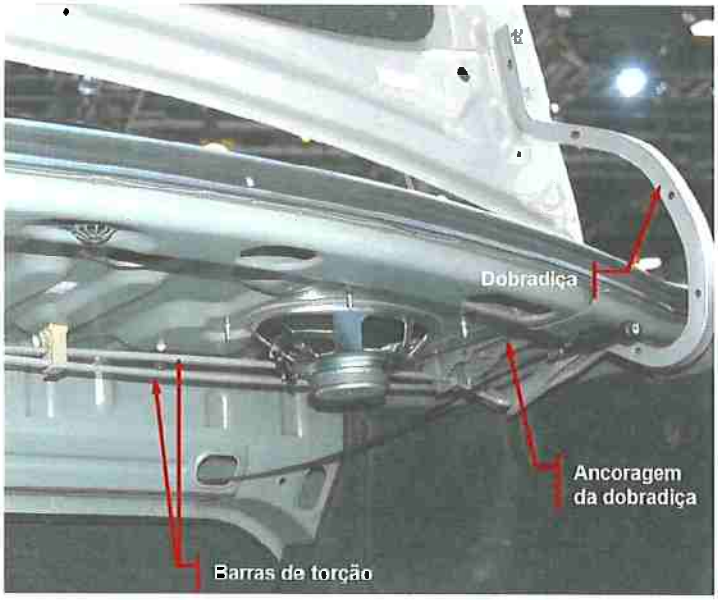


Figura 27: Corolla – barras de torção.

Fonte: (Autovision, 2006)

No modelo de simulação foram utilizadas as informações de CAD das peças que compõe o sistema desta tampa. As peças feitas apenas em aço, como os painéis interno, externo e o tubo da dobradiça, têm a sua massa real calculadas pelo software, a partir da informação da densidade do material. Peças como fechadura e cilindro foram simuladas por sólidos com volumes equivalentes e com densidades calculadas para resultar na massa real das peças. A massa total do sistema é de 11,5 Kg. As peças e suas respectivas massas estão mostradas na figura 28.

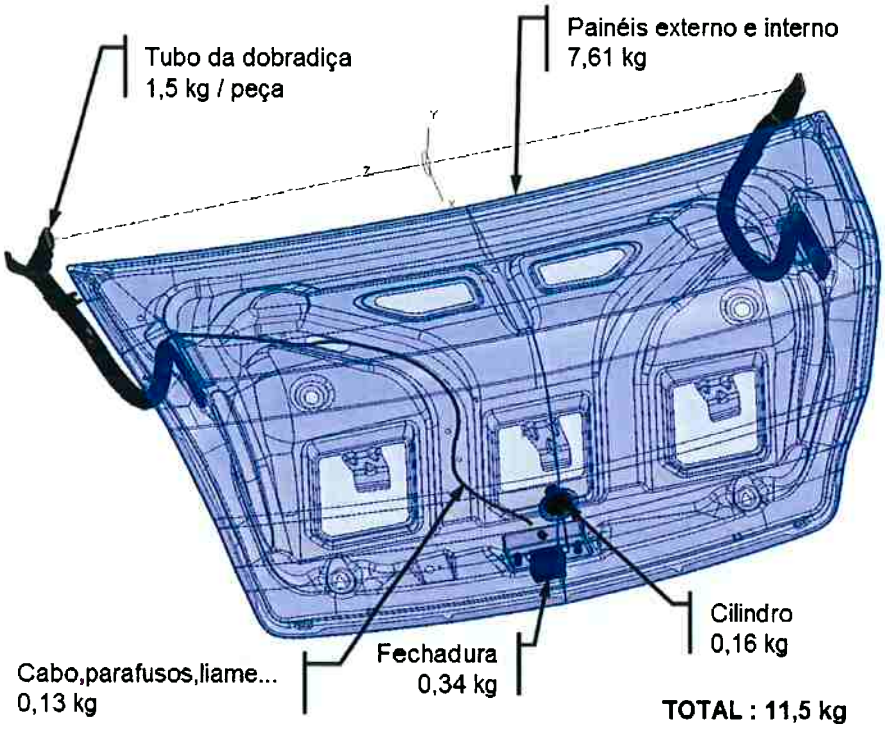


Figura 28: Massas do modelo real.

Deste modelo podemos extrair as dimensões necessárias para fazer o cálculo usando o modelo algébrico. Ao girar a tampa na posição de 15° obtemos o centro de gravidade (CG) da tampa e dos componentes nesta posição. Estes valores são calculados pelo software. Então é possível determinar a distância do CG ao centro de giro e a distância do centro de giro ao local onde será aplicada a força para equilibrar a tampa aberta.

Na figura 29 estão ilustradas as dimensões, em milímetros, para calcular a força necessária para equilibrar a tampa na posição angular de 15°.

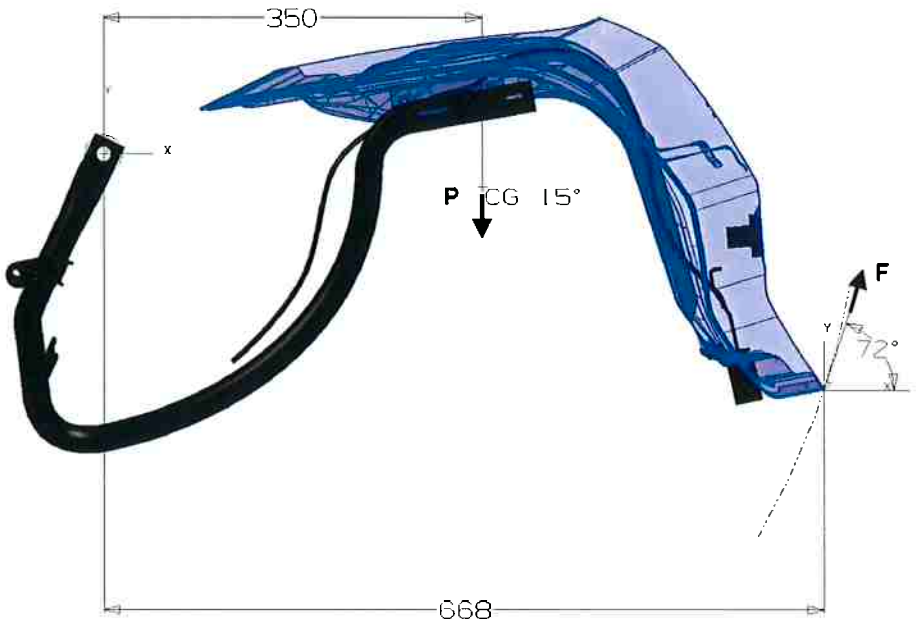


Figura 29: Dimensões do modelo real.

As outras duas posições de centro de giro que serão estudadas são mostradas nas figuras 30 e 31.

Para estes dois outros estudos serão utilizadas as superfícies externas do veículo fornecidas pelo DE e a massa de 11,5 kg igual à do modelo real. A superfície terá uma espessura tal que represente um volume que resulte no peso conforme o modelo real, como se o painel externo e interno fossem uma peça única maciça. Isto é possível porque o valor da massa da tampa está distribuído regularmente na sua geometria, não se alterando significativamente a posição do CG.

As peças como fechadura, cilindro, os tubos da dobradiça, parafusos e outros serão representados pelos mesmos modelos usados no modelo real.

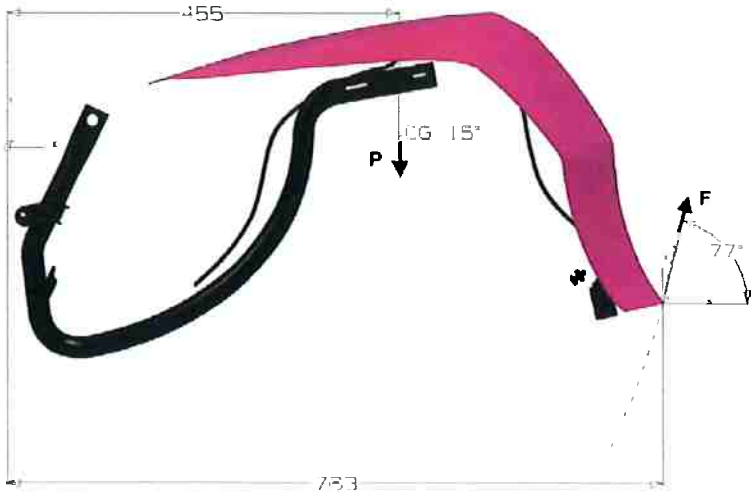


Figura 30: Dimensões do modelo 2.

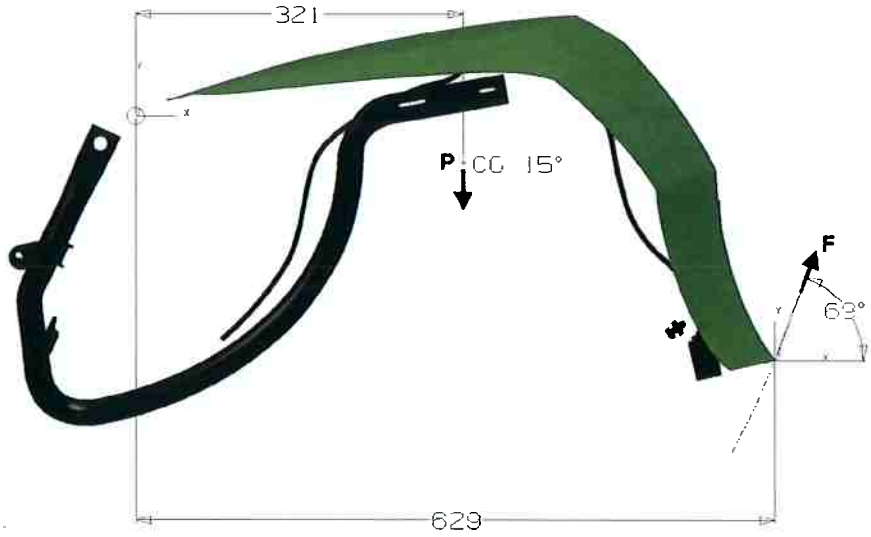


Figura 31: Dimensões do modelo 3.

Há diversas posições que podem ser estudadas como centro de giro da tampa, porém não podemos nos esquecer que a geometria de giro deve atender alguns parâmetros para poder ser considerado como viável.

Na figura 32 podemos ver o ângulo da abertura da tampa e o critério de ergonomia de acesso ao porta-malas para as três posições simuladas.

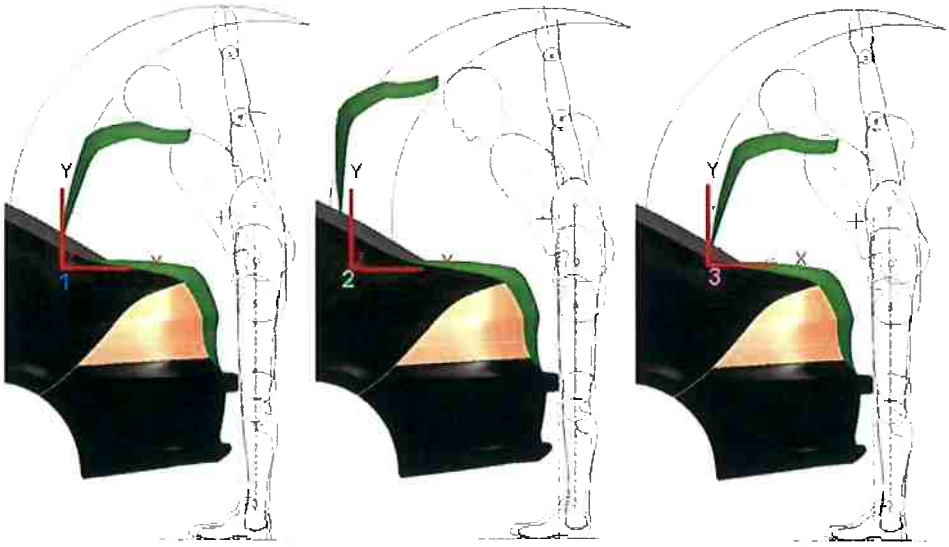


Figura 32: Angulo de abertura das propostas estudadas.

Das três posições de giro que serão simuladas apenas a posição 2 atende ao critério de ergonomia de acesso ao porta-malas e alcance da tampa. A posição 1 e 2 não o atendem, porém a posição 1 faz parte deste estudo por ser o modelo real, já em produção, que servirá para aferir o modelo de simulação. E a posição 3 servirá para estabelecer uma comparação entre as propostas estudadas.

Cada posição de giro resulta em um ângulo total de abertura da tampa diferente, sendo eles: 80° para a posição 1, 95° para a posição 2 e 80° para a posição 3. As três posições atendem o requisito legal de visibilidade traseira.

Apenas a posição 2 atende ao critério de folga mínima de 20mm com o vidro, a posição 1 tem 15mm de folga e a posição 3 apenas 9mm.

Feitas estas análises, e de posse dos valores necessários para calcular a força mínima para equilibrar o peso da tampa, podemos aplicar o modelo algébrico para fazer a primeira verificação do valor de esforço de abertura, que é também um critério de ergonomia.

Os valores neste estudo serão calculados algebricamente apenas para confrontar com os valores da simulação. Uma vez validado o modelo de simulação fazendo uso do Unigraphics-Motion, a opção de cálculo algébrico é substituída pela análise dos resultados da simulação, pois a resposta oferecida por este recurso é mais rápida. Isto permite averiguar várias, ou todas, as superfícies recebidas do DE e calcular um maior número de posições de giro do painel.

7.2. APLICAÇÃO DO MODELO ALGÉBRICO

Com as informações obtidas no capitulo anterior e fazendo uso da equação (1) apresentada no capitulo 5, é possível calcular os valores mostrados na tabela 2.

Tabela 2 - Valores de F calculados algebricamente.

Posição 15°

	P(N) valor extraido do modelo CAD	Fy(N)	F(N)
Modelo Real posição de centro de giro 1 figura 28	39,44	59,04	62,07
Modelo 2 posição de centro de giro 2 figura 29	50,02	65,56	67,28
Modelo 3 posição de centro de giro 3 figura 30	35,29	56,10	60,09

Nesta tabela podemos ler os valores de F calculados necessários para equilibrar a força P que atua no CG da tampa.

O valor do modelo real é 9% menor que o valor medido no veículo. Esta diferença pode ser atribuída à força de atrito no mancal de apoio do centro de giro da tampa, que aumenta o esforço realizado ao abrir a tampa.

O valor resultado do cálculo algébrico é usado de base de comparação para os valores encontrados na simulação. Nela não será introduzida nenhuma restrição que represente o valor da força de atrito no mancal, apesar do software permitir fazer este tipo de estudo. Como nosso objetivo é desenvolver uma metodologia que aperfeiçoe a verificação de esforço de abertura da tampa, comparando várias posições de centro de giro, de várias informações de superfícies recebidas do DE no menor tempo possível, adotaremos o valor de 9% de acréscimo no valor encontrado como o coeficiente de aproximação do valor real.

7.3. APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Todas as peças em movimento foram associadas ao seu eixo de giro, criando assim o acoplamento necessário para fazer a simulação, conforme figura 33.

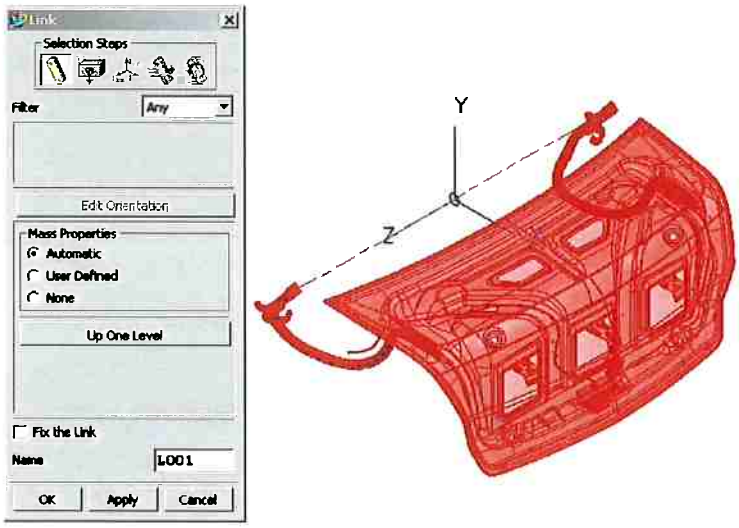


Figura 33: Acoplamento.

A junta de revolução foi definida para mover as peça com o passo de 1° e curso total de 15°, conforme figuras 34 e 35.

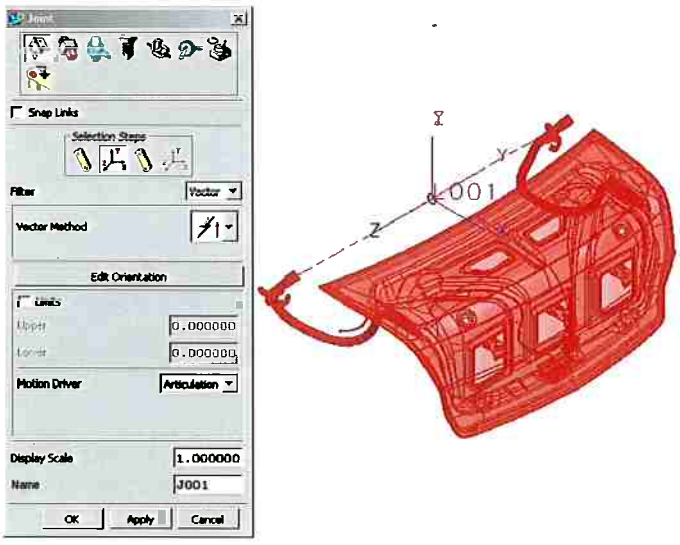


Figura 34: Junta de revolução.

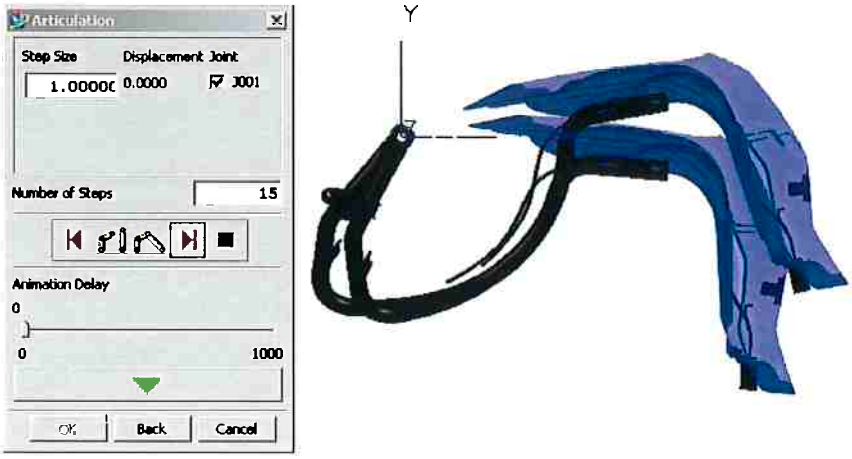


Figura 35: Movimentação

Após simular a movimentação é possível gerar o gráfico desejado, onde a opção escolhida para este estudo é a força em função da posição angular da tampa, conforme a figura 36.

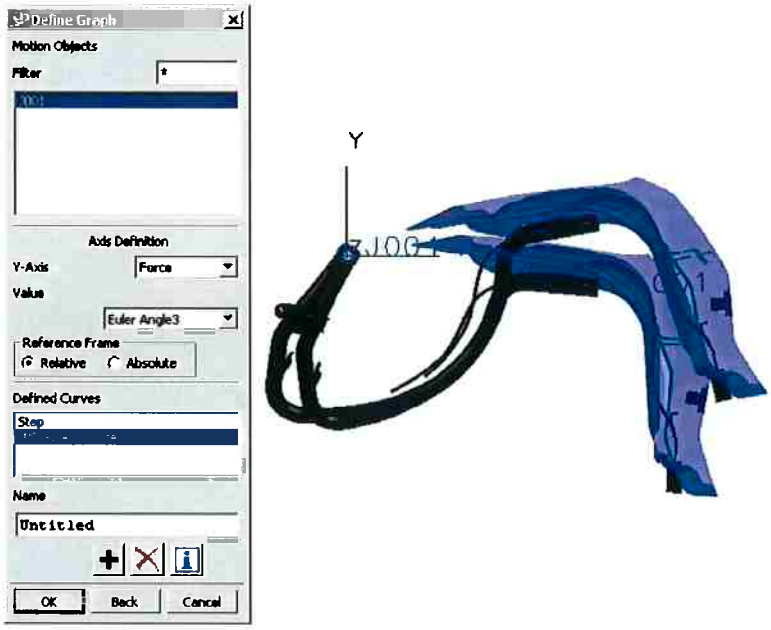


Figura 36: Gerar gráfico

O vetor de força gravitacional foi orientado em –Z para que o esforço necessário para abrir a tampa fosse afetado pela força gravitacional.

Para três modelos estudados após simular a movimentação no Unigraphics – Motion, encontramos os gráficos mostrados na figura 37.

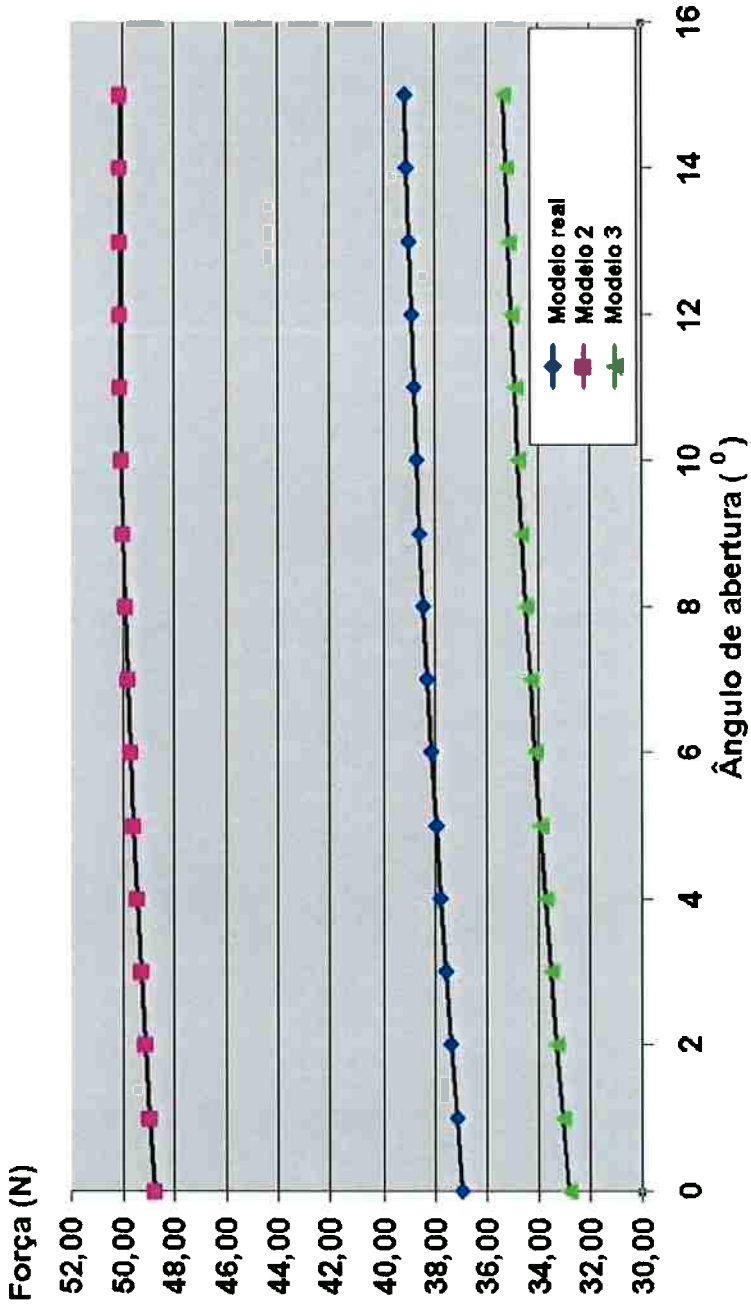


Figura 37: Gráfico das 3 simulações.

Neste gráfico temos as três curvas que representam o valor da força peso atuando no CG da tampa de acordo com a posição angular da tampa e para cada uma das posições de centro de giro estudada.

Tabela 3 - Valores de F calculados à partir do gráfico.

Posição 15°

	P(N) valor extraido do gráfico	Fy(N)	F(N)
Modelo Real posição de centro de giro 1 figura 28	39,18	58,65	61,67
Modelo 2 posição de centro de giro 2 figura 29	50,74	66,50	68,25
Modelo 3 posição de centro de giro 3 figura 30	35,34	56,18	60,18

7.4. MODELO PARA TOMADA DE DECISÃO

O que podemos ver na figura 38 é o modelo utilizado para a tomada de decisão. Nele estão descritas as três simulações realizadas neste estudo e as considerações feitas a partir da análise dos resultados.

PRINCIPAIS ITENS	ASPECTOS IMPORTANTES	SELEÇÃO DA MELHOR SOLUÇÃO		
		SIMULAÇÃO 1 (modelo real)	SIMULAÇÃO 2	SIMULAÇÃO 3
ERGONOMIA	ESFORÇO DE ABERTURA	61,67 N	58,25 N	60,18
	ACESSO AO PORTA-MALS E ALCANCE DA TAMPA	não atende	atende	não atende
ABERTURA DA TAMPA x CARROCERIA	ÂNGULO MÁX. DE ABERTURA	60°	95°	60°
	FOLGA MÍN. DE 20mm COM O VIDRO/CARROCERIA	não atende	atende	não atende
	VISIBILIDADE TRASEIRA	atende	atende	atende
ALTERAÇÕES REQUERIDAS	ESTILO	não são mais viáveis economicamente pois o veículo já está em produção	alterar significativamente a região de apoio para abertura da tampa, aumentando o braço de aplicação da força para abri-la	alterar sem grande impacto a região de apoio para abertura da tampa, aumentando o braço de aplicação da força para abri-la
	INCLUSÃO DE PEÇAS	não são mais viáveis economicamente pois o veículo já está em produção	inclusão de maçaneta	não são necessárias peças adicionais
IMPACTO NO DESENVOLVIMENTO DO VEÍCULO	CUSTO	não, requer ferramaria para fabricação de peça em produção	custo de uma nova peça no veículo, neste caso a maçaneta	sem custo
	MASSA	———	aumento aproximado de 0,100 kg no veículo devido a peça adicional	sem acréscimo de massa
	TEMPO	———	nesta fase do projeto há tempo para desenvolvimento de novas peças	nesta fase do projeto há tempo para desenvolvimento de novas peças

Figura 38: Modelo para tomada de decisão.

Apresentado o modelo encontrado na figura 38 durante as reuniões de definição de modelo, pode-se decidir pela alteração ou manutenção da proposta na fase inicial de desenvolvimento do produto, minimizando problemas que possam ser gerados em fases posteriores, quando o veículo estiver em fase final de projeto ou mesmo em produção.

8. CONCLUSÃO

A simulação da geometria de movimentação com o modelo real em comparação com o cálculo algébrico e com os valores medidos no veículo demonstrou que a ferramenta de simulação utilizando um recurso computacional nos possibilita tomar decisões baseados nos resultados encontrados, pois eles representam uma leitura virtual do que será construído em uma fase posterior do projeto.

Com o recurso da simulação da geometria de movimentação é possível fazer verificações sucessivas até que a melhor solução seja encontrada, melhorando a qualidade do produto por propiciar informações importantes em uma fase inicial de desenvolvimento e motivado este uso principalmente pela redução de tempo com que estas propostas podem ser analisadas.

Com estas informações disponíveis é possível elaborar um modelo para tomada de decisão apresentando valores que justifiquem alterações no Estilo do veículo em caso de nenhuma das alternativas estudadas possibilitarem atender as necessidades de projeto.

Apesar de aplicado à tampa do porta-malas, o método aqui implementado pode ser aplicado a todos os demais painéis móveis de um veículo como capô, portas laterais, tampa de combustível, porta do porta-luvas entre outros.

Importante ressaltar que o método aqui desenvolvido e apresentado está pronto para aplicação no projeto de veículos e passa a fazer parte dos recursos de projeto da Engenharia do Produto da GM do Brasil.

9. TRABALHOS FUTUROS

A partir deste estudo é possível criar modelos similares para os outros painéis basculantes do automóvel, como capô e portas. Usando do artifício de aferir o modelo com os veículos já em produção para que quando a ferramenta for aplicada em um novo projeto ela tenha uma reduzida margem de erro.

Os recursos de um software de movimentação podem nos auxiliar a analisar mais do que apenas a simulação de movimentação do painel do ponto de vista geométrico. É importante explorar a movimentação considerando velocidade e aceleração, que não foram exploradas neste estudo. Estas informações são de grande importância para determinar esforços resultantes da movimentação que atuarão no sistema de fechadura e pino trava.

Uma outra aplicação da ferramenta seria explorar uma análise antecipada das reações nos mancais de apoio da ancoragem do sistema de dobradiça do painel basculante. Esta análise pode auxiliar na estimativa de quanto será necessário enrijecer uma região para ancorar o PBA.

REFERÊNCIAS

Kaminski; Paulo Carlos. Desenvolvendo produtos com planejamento criatividade e qualidade. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000. p. 1-7.

Xu, X. William e Galloway, Ross. *Using behavioral modeling technology to capture designer's intent.* Elsevier, 2004.

Becker, Marcus C., Salvatore, Pasquale e Zirpoli, Francesco. *The impact of virtual simulation tools on problem-solving and new product development organization.* Elsevier, 2005.

Fritz, Jane M. *Cross-Application Hypertext Qualitative Decision Making.* YCS-93-219. pdf. York: University of York, 1993. Acesso em: >. 10 jul. 2005, 21:04:00.

Xu, Hong. *Concept and Concurrent Analysis and Optimization in a Product Design and Development Process.* In: International Truck & Bus Meeting & Exposition, 1998, Indianapolis, Indiana. SAE Technical Paper Series nº 982808.

Fischler, Emerson. A aplicação de simulação no processo de desenvolvimento de produtos na indústria automobilística. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. 75p.

Chien-Fu, Kuo e Chih-Hsing, Chu. *An on line ergonomic evaluator for 3D product design.* Elsevier, 2005.

Griffin, Michael J. *The Ergonomics of Vehicle Comfort.* In: Vehicle Comfort and Ergonomics, 1995, Bologna, Italy. Technical Papers 95ª1026. Torino, Italy Associazione Tecnica dell' Automobile, 1995. 213p.

Ko, Oul Seog. *The opening mechanism analysis on hood, tail gate, and trunk lid by mathematical modeling* . In: SAE International Congress and Exposition, 1995, Detroit, Michigan. SAE Technical Paper Series nº 950827.

Skarski, Boleslaw. Análise Cinemática dos Mecanismos. Campinas: Universidade Estadual de campinas – Centro de Tecnologia, 1980. 114p.

Unigraphics. Scenario for motion - Student guide - 2005.

Lida, Itiro. Ergonomia projeto e produção. 3ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 1990. 630p.

Beer, Ferdinand P. e Johnston, E. Russel. Mecânica Vetorial para Engenheiros. São Paulo: Makron McGraw-Hill, 1991. 982p.

Autovision. Disponível na internet em http://www.a2mac1.com/Autoshows/Autovision.asp?Menu=1&Service=1. Acesso em :> .26 Nov.2006, 21:00:00.

GENERAL MOTORS CORPORATION. *Global Vehicle Development Process.* Disponível na intranet em_http://vdp.gm.com/gvdp Acesso em: >. 05 oct 2006.