

SILVA, Rita de Cássia; NUNES, Maria Alzira de Araújo. "Módulo ADAMS/Car aplicado ao desenvolvimento de uma suspensão automotiva do tipo Macpherson", p.229-350. In: Maria Alzira de Araújo Nunes, Rita de Cássia Silva. *MSC ADAMS: Guia prático de Utilização*, São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2014.
<http://dx.doi.org/10.5151/BlucherOA-MSCAdams-04>

4

CAPÍTULO

Módulo ADAMS/Car aplicado ao desenvolvimento de uma suspensão automotiva do tipo *Macpherson*

A notar: Em meados dos anos 1930, o engenheiro automotivo norte-americano Earle Steele MacPherson desenvolveu um inovador sistema de suspensão que une um amortecedor em formato de torre a uma mola do tipo helicoidal, formando assim uma estrutura resistente, leve e compacta, atendendo perfeitamente as necessidades dos veículos de pequeno e médio porte, de tração dianteira ou traseira. A utilização da mola do tipo helicoidal não é uma regra, pois a estrutura poderá ser equipada também com molas do tipo pneumáticas ou hidropneumáticas. Uma de suas vantagens é a independência entre uma roda e outra, que resulta em superior nível de conforto, quando comparada a uma suspensão com eixos interligados e dependentes. Já uma desvantagem do sistema é a limitação quanto ao porte e peso do veículo que a utiliza.

A construção da suspensão MacPherson pode ser considerada como uma das opções mais compactas, simples e baratas disponíveis. Projetar um sistema de suspensão é um grande desafio, pois além de oferecer robustez, níveis aceitáveis de conforto, facilidade

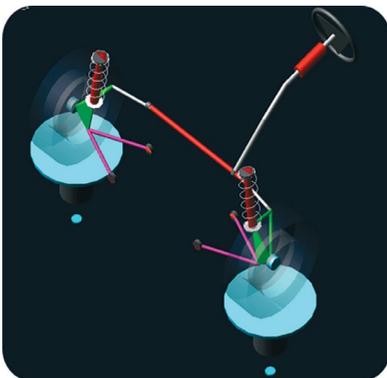
de manutenção, dimensões compactas e custo economicamente viável para produção em larga escala, o projeto escolhido deve também ser indiscutivelmente seguro. Neste capítulo será construída uma suspensão dianteira do tipo Macpherson.



Suspensão Macpherson.

Fonte: Subaru Portugal. Disponível em: <http://www.subaru.pt/novo/10impreza_drivability.html>. Acesso em: 22/04/2013)

Ao fim deste capítulo o leitor estará apto a criar um modelo virtual multicorpos de um subsistema suspensão do tipo Macpherson. *Simulações* utilizando uma plataforma de testes virtual serão realizadas e os resultados analisados. O subsistema de direção, proveniente da biblioteca do software, será adicionado ao modelo criado com o intuito de realizar simulações e análises adicionais. O modelo final a ser obtido está apresentado na figura a seguir:



Subsistemas suspensão Macpherson e direção sob

Obtenha o arquivo da suspensão Macpherson no seguinte link: http://www.blucher.com.br/materiaisdeapoio/mscadams/tutorial_macpherson.cdb.zip

Etapa 1 – Inicializando o Módulo ADAMS/Car

Ao inicializar o módulo ADAMS/Car, as seguintes opções estarão disponíveis na janela de abertura: *Standard Interface* e *Template Builder* (item 1.2.1),



Figura 4.1 – Tela de inicialização do Módulo ADAMS/Car.

conforme mostra a Figura 4.1. O usuário deverá marcar a opção *Template Builder* uma vez que um novo projeto será criado, depois clicar na opção *OK*.

Etapa 2 – Criando o *Template*

- Abra o menu *File* e clique na opção *New*.
- Na caixa de diálogo aberta, digite o nome do projeto na caixa *Template Name*.
- Especifique o tipo de *Subsystem* a ser construído na opção *Major Role*, conforme ilustrado na Figura 4.2.

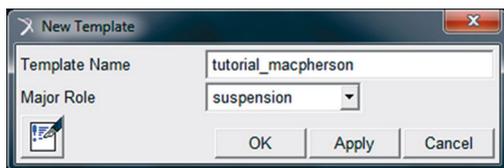


Figura 4.2 – Definição do *New Template*.

Etapa 3 – Definição do Diretório de Trabalho

- Abra o menu *Tools* e clique na opção *Database Management*.
- Em seguida, clique em *Create Database*. A Figura 4.3 ilustra a Etapa 3.

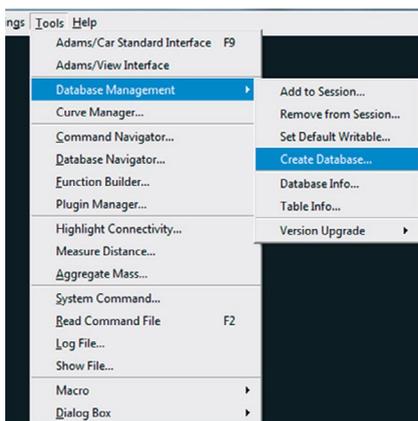


Figura 4.3 – Etapa 3.

- Na caixa de diálogo *Create New Database*, preencha o campo *Database Alias* com o nome do diretório de trabalho, e, no campo *Database Path*, informe o caminho desse diretório (Figura 4.4).

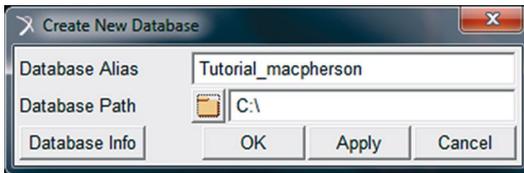


Figura 4.4 – Criação do diretório de trabalho.

- Clique em *OK*.

Uma nova janela será aberta para que o usuário aceite a criação do diretório de trabalho definido nas etapas anteriores, conforme ilustra a Figura 4.5.

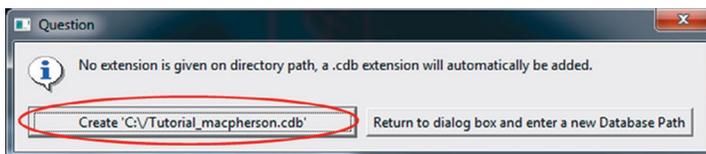


Figura 4.5 – Confirmação da criação do diretório de trabalho.

- Uma mensagem de confirmação da criação do diretório será aberta apenas para verificação por parte do usuário (Figura 4.6). Caso a tarefa tenha sido executada com sucesso, clique em *Close*.

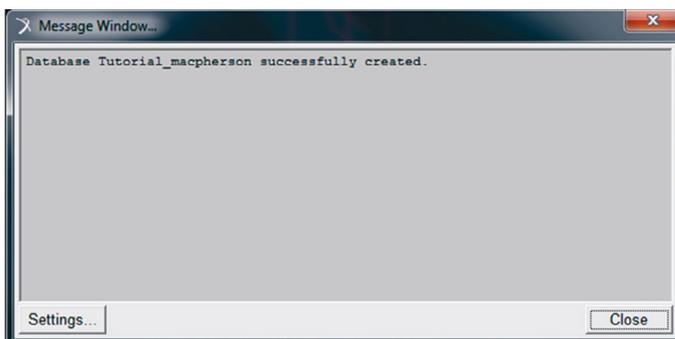


Figura 4.6 – Mensagem de alerta referente à criação do diretório de trabalho

Para obter informações sobre o diretório de trabalho criado, abra o menu *Tools*, clique em *Database Management* e, em seguida, clique em *Database Info* (Figura 4.7).

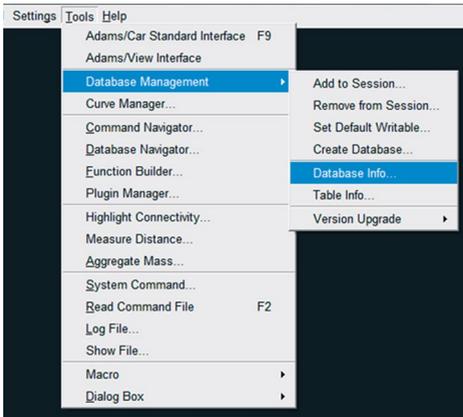


Figura 4.7 – Obtendo informações sobre o diretório de trabalho.

- A próxima etapa é definir o diretório de trabalho criado como sendo o diretório padrão onde os arquivos referentes ao projeto executado serão salvos. Para isso, abra o menu *Tools*, clique em *Database Management* e, em seguida, clique em *Set Default Writable* (Figura 4.8).

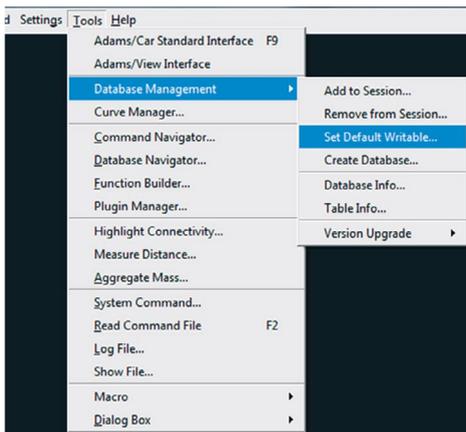


Figura 4.8 – Definindo o diretório padrão.

- Uma caixa de diálogo será aberta (*Set Default Writable Database*). No campo *Database Name*, selecione o diretório de trabalho criado anteriormente.

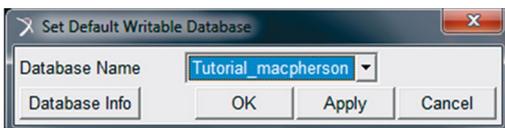


Figura 4.9 – Definindo o diretório padrão.

Etapa 4 – Parametrização da Geometria da Suspensão

A notar: Para alterar/verificar unidades de medidas no ADAMS/Car, acesse o menu *Settings* → *Units*.

O primeiro passo para a construção da geometria da suspensão é a criação dos *Hardpoints*. Dessa maneira, o modelo se torna parametrizado, facilitando, portanto, a realização de alterações geométricas, evitando assim o desenvolvimento de um novo projeto. Na Figura 4.10 é mostrado um esquema dos *Hardpoints* a serem definidos e sua respectiva representação em uma suspensão *Macpherson*.

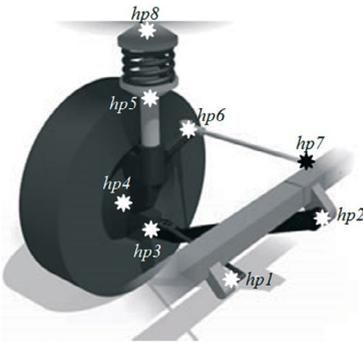


Figura 4.10 – Esquema dos *Hardpoints* a serem construídos.

- Para criação dos *Hardpoints* ilustrados na Figura 4.10 acesse o menu *Build*, clique em *Hardpoints* e, em seguida, clique em *New* (Figura 4.11).

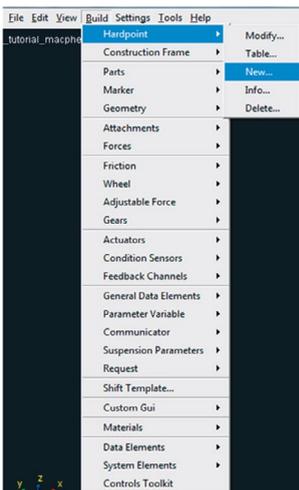


Figura 4.11 – Criação de *Hardpoints*.

- Na caixa de diálogo *Create Hardpoint*, defina o nome (*Hardpoint Name*) e selecione o tipo (*Type*): simetria à esquerda – *left* –, à direita – *right* – ou, caso não haja simetria, defina como *single*. A localização dos *Hardpoints* com relação às coordenadas globais (*x*, *y* e *z*) do sistema deverá ser inserida no campo *Location* (Figura 4.12). Caso haja algum erro nos campos preenchidos, esse erro se destacará na cor amarela, para alertar o usuário. Após o preenchimento dos campos, clique em *Apply* para inserir os demais *Hardpoints* (Tabela 4.1) ou, para finalizar, clique em *OK*.

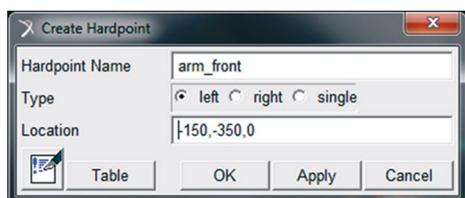


Figura 4.12 – Definindo o *Hardpoint*.

Tabela 4.1 – Nomes e coordenadas dos *Hardpoints*

	Nome	Coordenadas (x,y,z)
1	<i>arm front</i>	(-150,-350,0)
2	<i>arm rear</i>	(150,-350,0)
3	<i>LBJ</i>	(0,-700,0)
4	<i>Wheel_Center</i>	(0,-800,100)
5	<i>Strut_Lower</i>	(0,-650,250)
6	<i>Tierod_Outer</i>	(150,-650,250)
7	<i>Tierod_Inner</i>	(200,-350,250)
8	<i>Strut_Upper</i>	(0,-600,600)

- Após criar os oito *Hardpoints*, poderão ser feitas alterações em suas coordenadas acessando-se o menu *Build*, clicando em *Hardpoint* e, em seguida, em *Table*. Uma tabela com o nome do *Hardpoint* e as respectivas localizações *x*, *y* e *z* abrirá na tela principal, possibilitando sua edição (Figura 4.13).

A notar: O termo *hpl* ou *hpr* é inserido automaticamente no nome do *Hardpoint* pelo próprio software, de modo a indicar sua simetria.

	loc_x	loc_y	loc_z
hpl_arm_front	-150.0	-350.0	0.0
hpl_arm_rear	150.0	-350.0	0.0
hpl_LBJ	0.0	-700.0	0.0
hpl_strut_lower	0.0	-650.0	250.0
hpl_strut_upper	0.0	-600.0	600.0
hpl_tierod_inner	200.0	-350.0	250.0
hpl_tierod_outer	150.0	-650.0	250.0
hpl_wheel_center	0.0	-800.0	100.0

Display: Single and Left Right Both Filter: * Apply Close

Figura 4.13 – Tabela de modificação da coordenada do *Hardpoint*.

A Figura 4.14 ilustra a tela do software após criação dos *Hardpoints*.
 Etapa 5 – Criação da bandeja da suspensão (*Control Arm*)

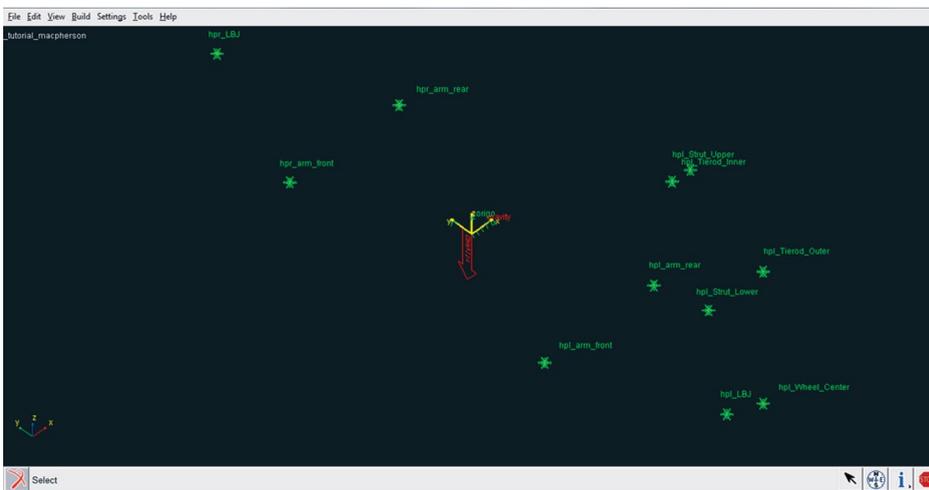


Figura 4.14 – *Hardpoints* definidos.

A notar: A bandeja ou braço de suspensão oscilante é um subconjunto do sistema de suspensão. Em condições ideais, ela trabalha em harmonia com os demais componentes da suspensão, ligando a roda ao chassi do veículo, e participa na estabilidade, do conforto e da segurança do sistema. Sua construção é formada por sua estrutura estampada, forjada ou fundida, buchas e pivô. A bandeja, por ser o componente de suspensão mais próximo do solo, é a primeira a receber o choque de um impacto sofrido pela suspensão, a qual está intimamente ligada à segurança do veículo e de seus ocupantes.



Bandeja da suspensão.
 Fonte: ADAMS View help.
 Subaru Portugal. Disponível em: <http://www.subaru.pt/novo/10impreza_drivability.html>. Acesso em: 22/04/2013)

A bandeja da suspensão é definida por três *Hardpoints*: *arm_front*; *arm_rear* e *LBJ*, sendo esta uma bandeja triangular.

Para criação da bandeja, será necessário criar um *General Part* (item 1.2.5.2.1), o qual, no ADAMS/Car, é indicado pela abreviação *gel* (*general part left*) ou *ger* (*general part right*).

Para criação do *General Part* é possível utilizar-se de dois tipos de construtores: *New* (criação do corpo rígido sem atribuir uma geometria a ele) ou *Wizard* (criação do corpo rígido e da geometria simultaneamente). Ambos serão mostrados neste capítulo.

- Para criação do *General Part* acesse o menu *Build* → *Parts* → *General Part* → *New* (Figura 4.15).

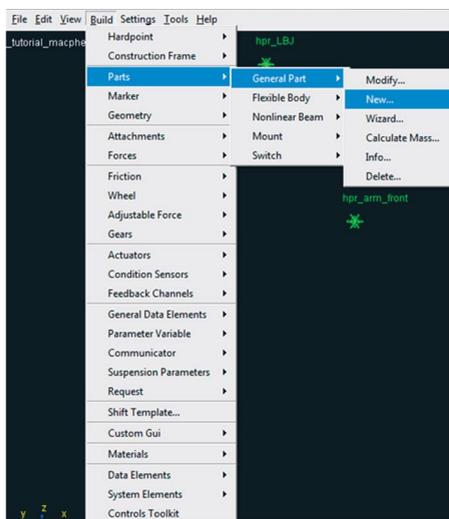


Figura 4.15 – Construção de um *General Part*.

- A janela mostrada na Figura 4.16 será aberta e deverá ser preenchida conforme mostrado. O preenchimento dos campos pode ser manual ou pode-se clicar com o botão direito do mouse no campo de interesse e optar por umas das opções disponíveis, sendo essa segunda opção um atalho.

Os dados relativos à geometria deste *General Part*, como massa, e momentos de inércia, inclusive o centro de massa, foram definidos, a priori, por um valor aleatório (como pode ser observado na Figura 4.16). Após inclusão da geometria (próxima etapa), esses dados serão recalculados. Caso o usuário já possua os valores corretos, estes já podem ser inseridos sem a necessidade de recalculá-los posteriormente.

Etapa 6 – Criação da geometria relacionada ao *General Part* “Control Arm”

A bandeja da suspensão “Control Arm” a qual está relacionada ao *General Part* criado na etapa anterior será composta por duas geometrias cilíndricas do tipo *Link* e três esféricas do tipo *Ellipsoid* localizadas nas extremidades dos *Links*.

A notar: Para definir a geometria *Link* é necessário dois *Hardpoints* localizados em ambas as extremidades e um raio, em virtude de sua forma cilíndrica.

- Para construção do primeiro *Link*, o qual será formado pelos *Hardpoints* *hpl_arm_front* e *hpl_LBJ*, acesse o menu *Build Geometry Link New* como mostrado na Figura 4.18.

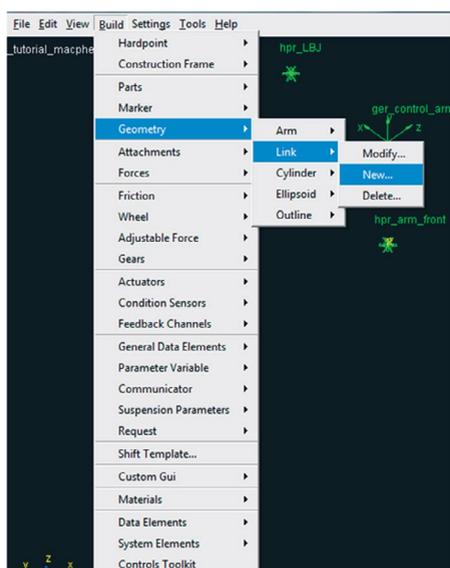


Figura 4.18 – Criação do primeiro *Link* da bandeja da suspensão.

- A janela *Create Link Geometry* será aberta e deverá ser preenchida conforme ilustrado na Figura 4.19. Observe que o item para recalcular as propriedades de massa do *General Part* deve estar ativado caso o usuário deseje atualizar os dados de propriedades de massa inseridos na Etapa 5.
- Clique em *Apply*.

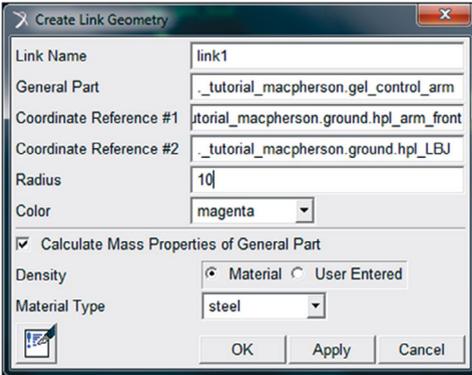


Figura 4.19 – Criação do *Link 1*.

O *Link* construído está ilustrado na Figura 4.20.

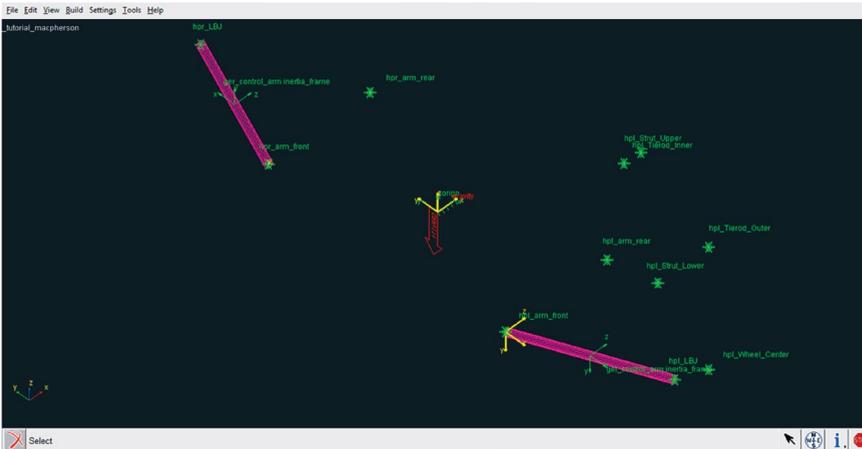


Figura 4.20 – *Link 1* construído.

- Repetir o mesmo procedimento relatado anteriormente para construção do *Link 2*, o qual terá em suas extremidades os *Hardpoints* *hpl_arm_rear* e *hpl_LBJ*. A Figura 4.21 ilustra os campos da janela *Create Link Geometry* preenchidos para construção do *Link 2*.
- Clique em *OK*.

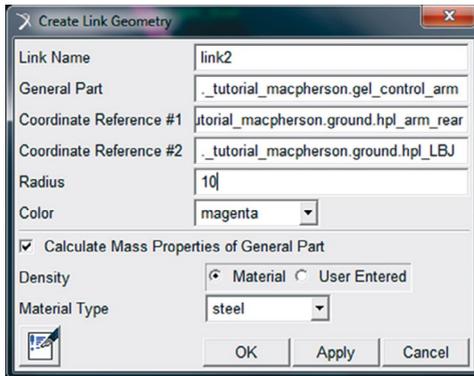


Figura 4.21 – Criação do *Link 2*.

Nas extremidades dos *Links* serão construídos volumes esféricos (denominados *Ellipsoid*) para complementação da geometria da bandeja da suspensão. Para isso acesse o menu *Build* → *Geometry* → *Ellipsoid* → *New* (Figura 4.22).

A notar: A geometria Ellipsoid pode ser utilizada para gerar geometrias esféricas desde que os raios definidos em cada coordenada (x, y e z) sejam iguais.

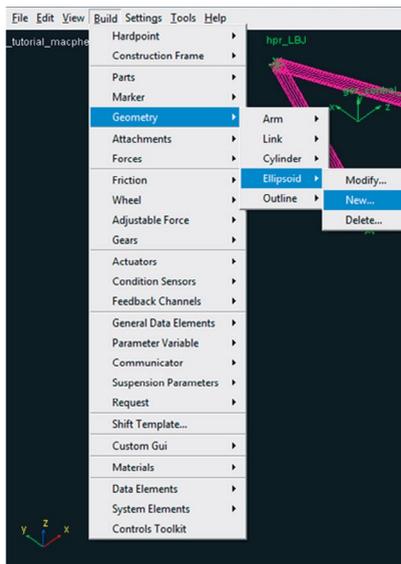
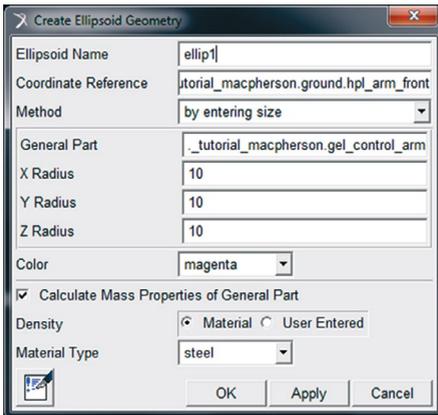
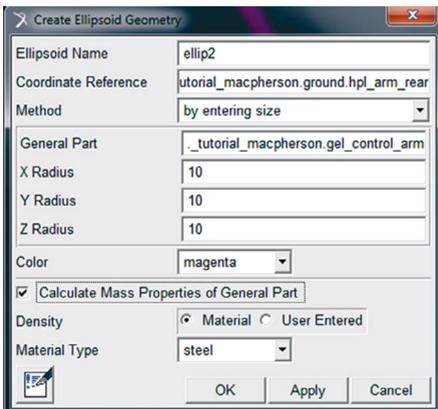


Figura 3.60(a) - Modificando o cilindro 2.

- A janela *Create Ellipsoid Geometry* será aberta. Os campos deverão ser preenchidos conforme ilustrado na Figura 4.23. Observe que essa primeira esfera terá como referência o *Hardpoint hpl_arm_front*, e pertencerá ao *General Part gel_control_arm*. Lembre-se que o campo *Calculate Mass Properties of General Part* deverá estar selecionado para atualização das propriedades de massa do *General Part control_arm*.
- Clique em *Apply*.

Figura 4.23 – Construção do *Ellipsoid 1*.

- O procedimento do item anterior deverá ser seguido para construção do *Ellipsoid 2*. A segunda esfera será localizada no *Hardpoint arm_rear*. O preenchimento da janela *Create Ellipsoid Geometry* para essa geometria está ilustrado na Figura 4.24.

Figura 4.24 – Construção do *Ellipsoid 2*.

- A terceira esfera será construída na intersecção dos dois *Links* (1 e 2). A Figura 4.25 ilustra o preenchimento da janela *Create Ellipsoid Geometry* para construção dessa geometria.
- Clique em OK.

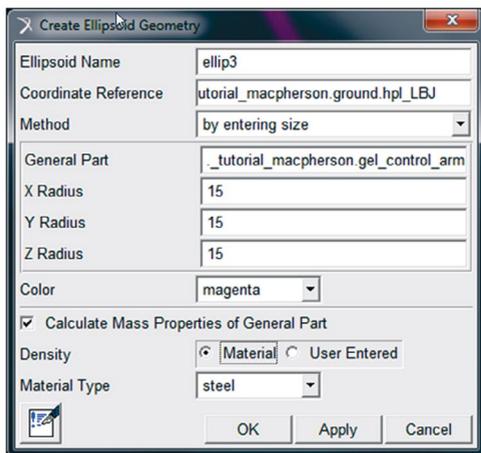


Figura 4.24 – Construção do *Ellipsoid 3*.

Após construção das geometrias que compõem o braço da suspensão, o *General Part control_arm* será atualizado com relação às suas propriedades de massa.

- Na tela principal do software, clique com o botão direito do mouse sobre o *General Part gel_control_arm*. Em seguida, clique em *Modify* (Figura 4.26).



Figura 4.26 – Modificando o *General Part control_arm*.

- A janela *Modify General Part* será aberta. Para atualização das propriedades de massa, clique no ícone da calculadora, como destacado na Figura 4.27. Após essa ação os dados serão automaticamente recalculados.
- Clique em *OK*.

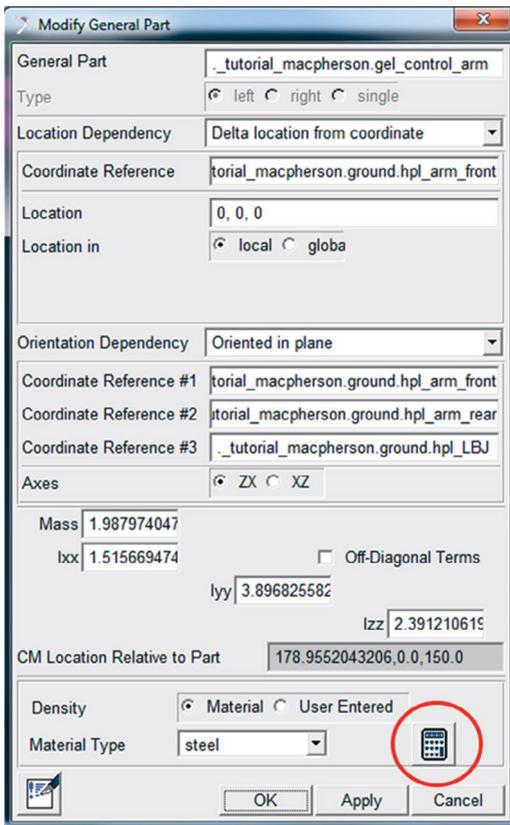


Figura 4.27 – Atualização das propriedades de massa do *General Part* “gel_control_arm”.

Etapa 7 – Criação da manga de eixo (*Wheel Carrier*)

Nesta etapa, será utilizada uma ferramenta a qual criará o *General Part* “wheel Carrier” juntamente com a geometria relacionada a este, ao contrário do que foi executado na Etapa 6, na qual, primeiramente, criou-se somente o corpo rígido (*General Part*) e, posteriormente, a geometria associada a ele. Ambos os procedimentos fornecem o mesmo resultado.

- Primeiramente acesse o menu *Build*, clique em *Parts* → *General Part* → *Wizard*, conforme ilustra a Figura 4.28.

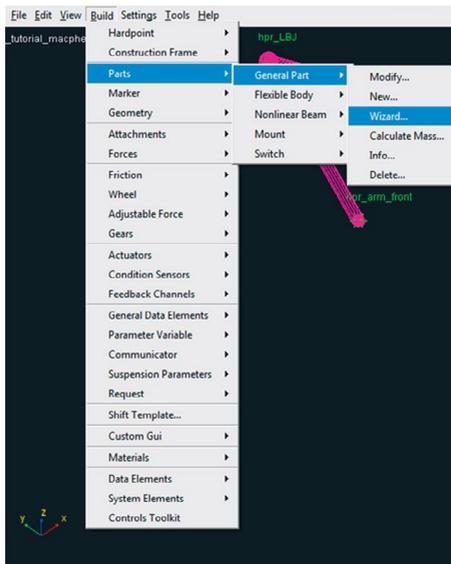


Figura 4.28 – Construção do *General Part* “Wheel Carrier”.

A janela *General Part Wizard* será aberta e seu conteúdo deverá estar de acordo com a Figura 4.29.

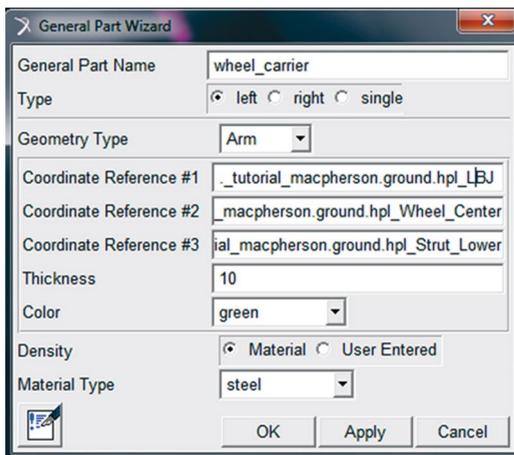


Figura 4.29 – Construção do *General Part* “Wheel Carrier” e geometria associada.

O resultado está ilustrado na Figura 4.30. Observa-se a criação do *General Part* e de parte da geometria do *Wheel Carrier* (superfície plana triangular).

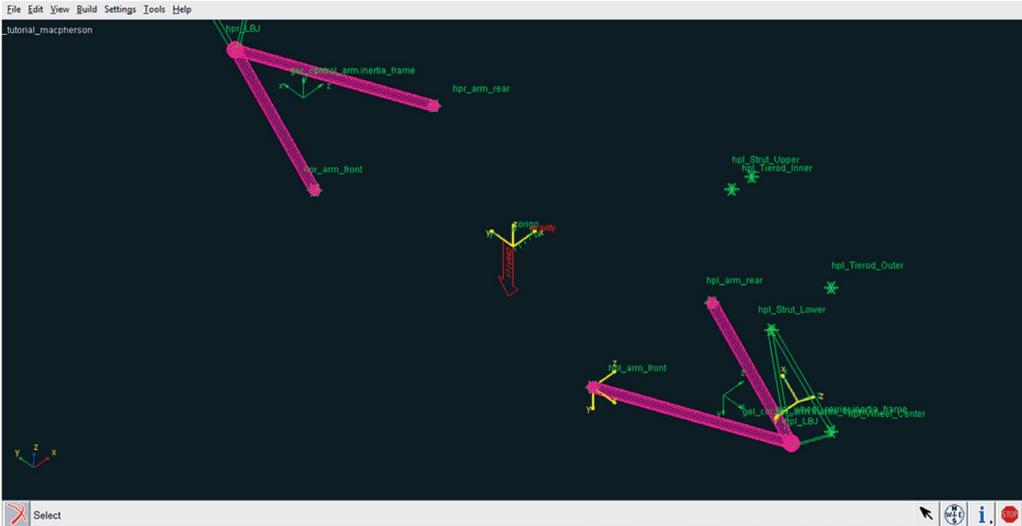


Figura 4.30 – *General Part* “*Wheel Carrier*” construído.

Nas próximas etapas, serão construídas as geometrias complementares do *General Part* “*Wheel Carrier*”, as quais correspondem a dois *Links*.

- Acesse o menu *Build* → *Geometry* → *Link* → *New* (Figura 4.31) para construir o *Link* formado pelos *Hardpoints* *Strut_Lower* e *Tierod_Outer*.

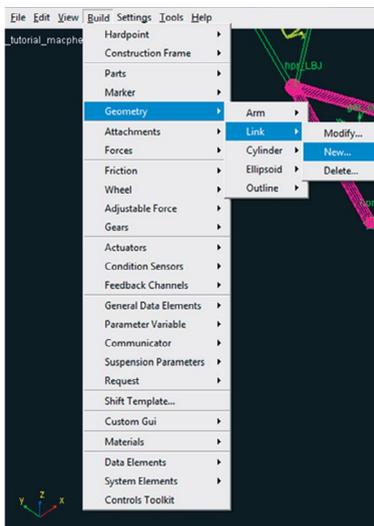


Figura 4.31 – Construção do *Link* do *General Part* “*Wheel Carrier*”.

A janela *Create Link Geometry* será aberta e a Figura 4.32 ilustra seu preenchimento.

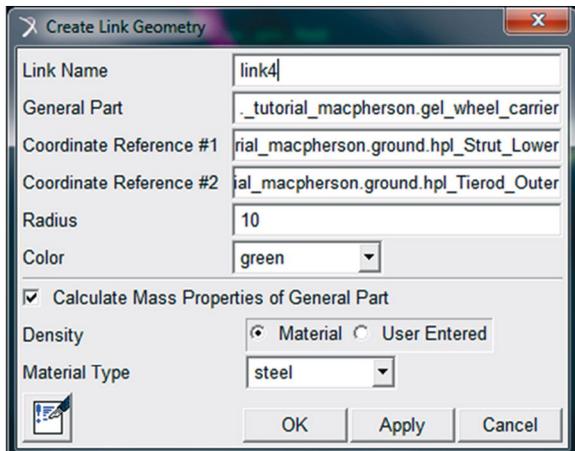


Figura 4.32 – Criação do primeiro Link pertencente ao *General Part* “Wheel Carrier”.

O mesmo procedimento do item anterior deve ser seguido para construção do segundo *Link*, o qual é formado pelos *Hardpoints* *hpl_wheel_carrier* e *hpl_tierod_outer*, conforme ilustrado na Figura 4.33.

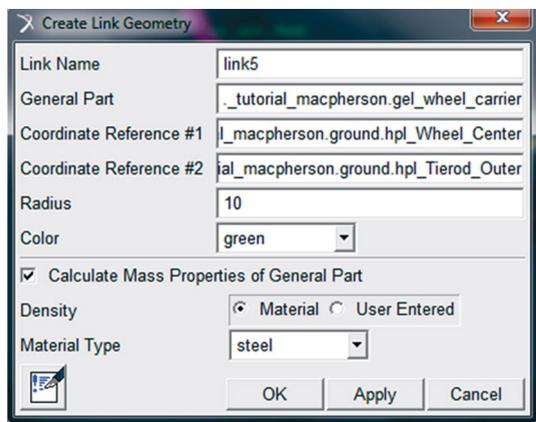


Figura 4.33 – Criação do primeiro Link pertencente ao *General Part* “Wheel Carrier”.

A Figura 4.34 mostra a geometria resultante para o *General Part* “Wheel Carrier”.

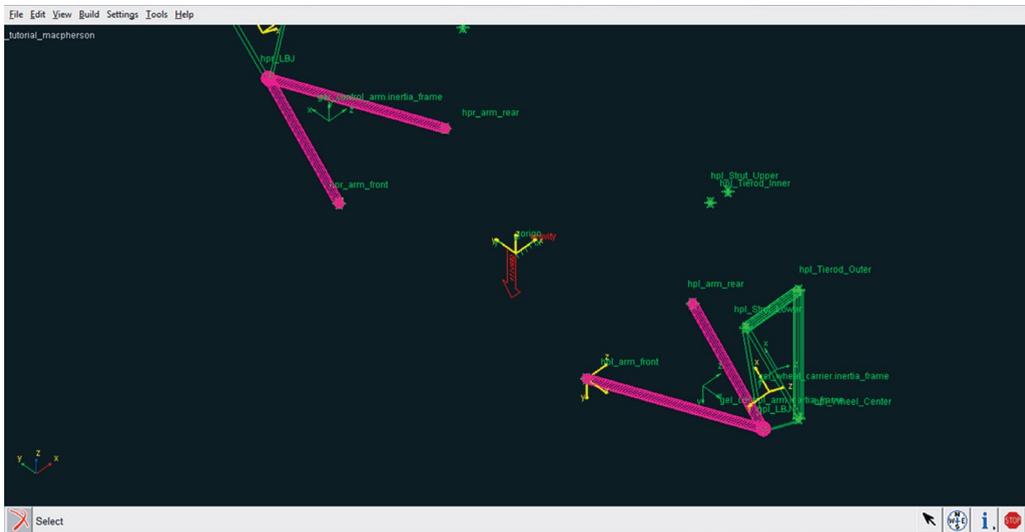


Figura 4.34 – Geometria completa do *General Part* “Wheel Carrier” e “Control Arm”.

Etapa 8 – Criação do corpo rígido para ancoragem no chassi

Nesta etapa, será construído o corpo rígido para ancoragem no chassi. É nesse mesmo corpo rígido que definiremos a mola e o amortecedor da suspensão.

- Antes de criar o “*General Part*” de interesse e suas geometrias, será criado um *Construction Frame* para definir a orientação da estrutura a ser criada. Para isso, acesse o menu *Build* → *Construction Frame* → *New* (Figura 4.35).

A notar: O *Construction Frame* é parametrizável, e acompanha as alterações realizadas nos *Hardpoints* relacionados a ele.

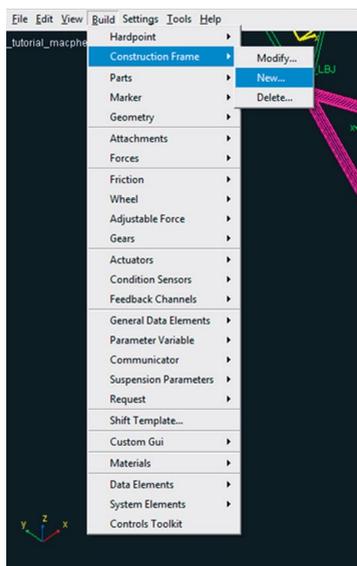


Figura 4.35 – Criação de um *Construction Frame*.

A janela *Create Construction Frame* será aberta e os campos deverão ser preenchidos, conforme ilustrado na Figura 4.36. Note que esse *Construction Frame* será construído entre os seguintes *Hardpoints*: *hpl_strut_lower* e *hpl_strut_upper*, e terá seu eixo Z definido na direção desses *Hardpoints*.

- Clique em OK.

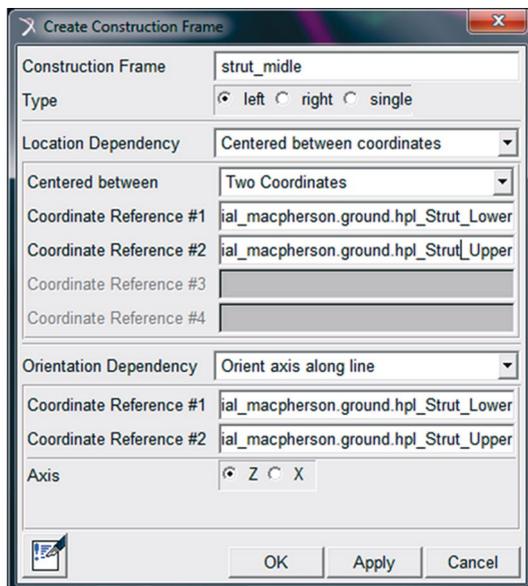


Figura 4.36 – Construção do *Construction Frame* “*Strut_midle*”.

A Figura 4.37 ilustra o *Construction Frame* construído.

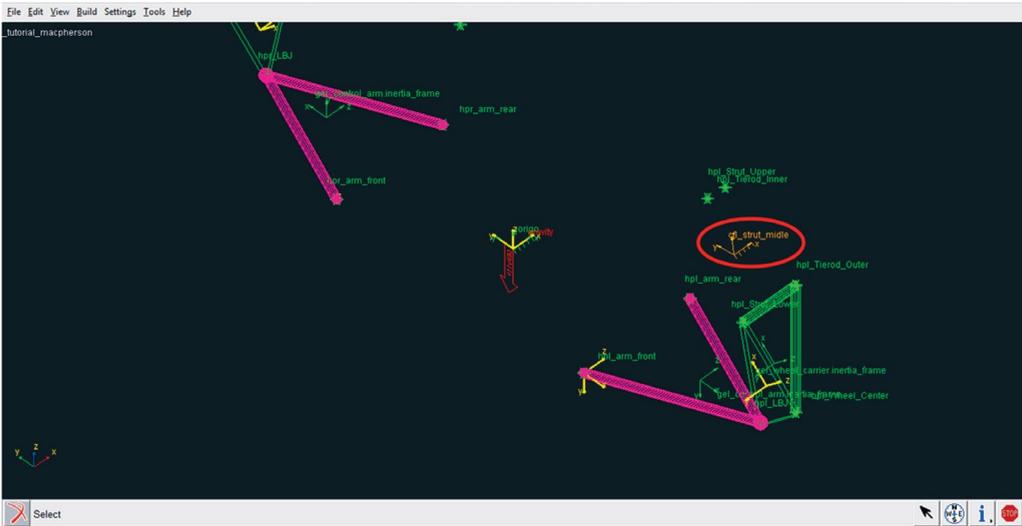


Figura 4.37 – *Construction Frame* “Strut_midle”.

- Após a construção do *Construction Frame*, a próxima etapa é a criação do corpo rígido ou *General Part* “Strut”. Neste *General Part* serão definidos os parâmetros da mola e do amortecedor da suspensão. Acesse o menu *Build Parts* → *General Part* → *Wizard*, conforme ilustrado na Figura 4.38.

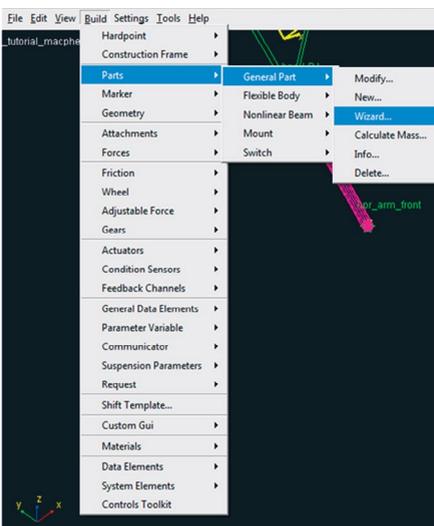


Figura 4.38 – Construção de um *General Part* com opção *Wizard*.

A janela *General Part Wizard* será aberta e seus campos deverão ser preenchidos, conforme mostrado na Figura 4.39. Note que, nessa etapa, está sendo construído um *General Part* de nome *Strut* e também uma geometria associada a ele, correspondendo a um *Link* definido pelo *Hardpoint* “*hpl_strut_upper*” e pelo *Construction Frame* “*strut_middle*”.

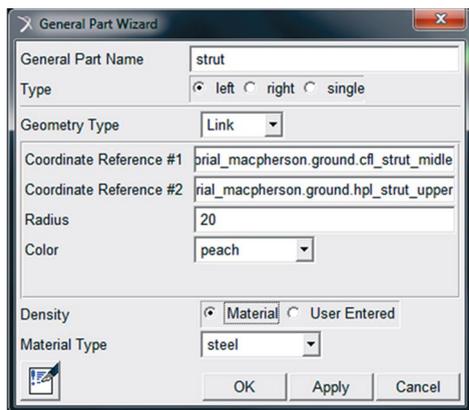


Figura 4.39 – Construção do *General Part* “*Strut*”.

Ainda nesta etapa, será construída uma geometria pertencente ao *General Part* “*Wheel_Carrier*”, a qual necessita do *Construction Frame* “*strut_middle*” para definir sua orientação.

- Acesse o menu *Build* → *Geometry* → *Link* → *New* (Figura 4.40).

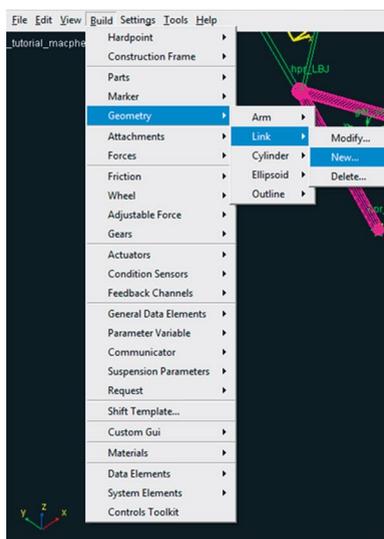


Figura 4.40 – Criando uma nova geometria do tipo *Link*.

A janela *Create Link Geometry* será aberta e seus campos deverão ser preenchidos conforme mostrado na Figura 4.41. Note que esse *Link* é formado pelo *Hardpoint* “*hpl_Strut_Lower*” e o *Construction Frame* “*cfl_strut_midle*”.

- Clique em OK.

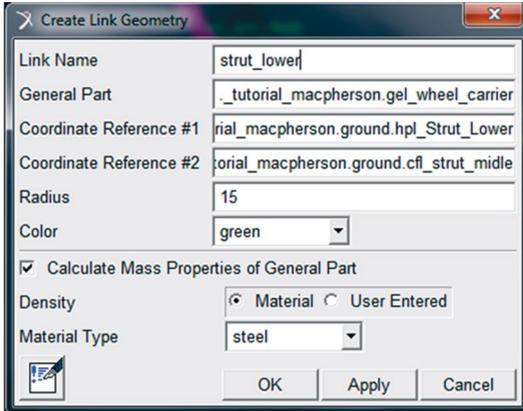


Figura 4.41 – Construção do Link pertencente ao *General Part* “*Wheel_Carrier*”.

A Figura 4.42 ilustra a geometria construída.

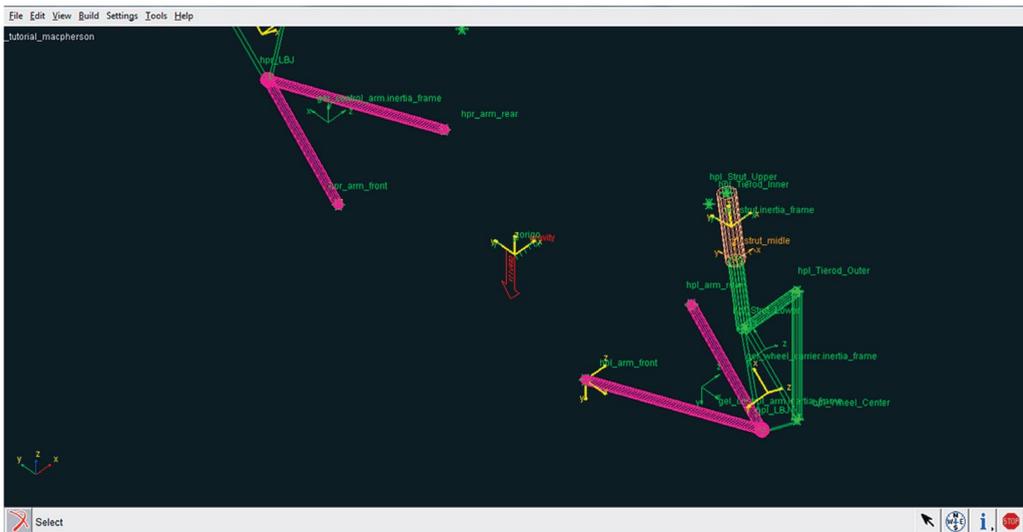
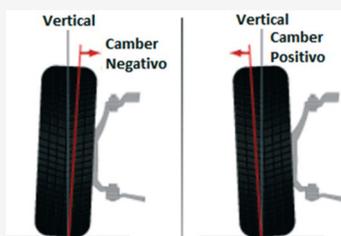


Figura 4.42 – Ilustração da geometria da suspensão parcialmente construída.

Etapa 9 – Definindo parâmetros da suspensão

Nest a etapa, serão definidos os parâmetros de *Camber* e *Toe* (convergência) da suspensão.

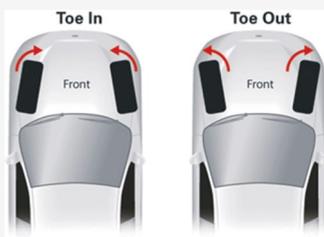
A notar: Na vista frontal do veículo, o *câamber* é o ângulo de inclinação vertical de uma roda e é medida em graus entre a linha de centro vertical no referencial da roda e a linha vertical no referencial do solo. Quando a parte superior da roda está para fora em relação à linha vertical do referencial do solo, o *câamber* é positivo. O inverso resulta em *câamber* negativo. De uma forma geral, deseja-se que o *câamber* do veículo esteja, na maior parte do tempo, o mais próximo possível de zero grau, quando o veículo estiver percorrendo trajetórias retas, de forma a reduzir o desgaste do pneu e aumentar a aderência entre os pneus e o solo, garantindo assim o melhor desempenho possível nas frenagens e acelerações do veículo. O fundamento da utilização do *câamber* é manter a maior área possível da banda de rodagem do pneu em contato com o solo, de modo que o desgaste dessa banda de rodagem ocorra de forma uniforme. Se o *câamber* estiver muito acentuado poderá ocorrer desgaste prematuro do pneu.



Camber.

Fonte: DISCOUNT. Disponível em: <http://www.discounttiredirect.com/direct/brochure/info/tmpInfoAlignment.jsp>. Acesso em: 22/04/2013

Na vista de topo do veículo define-se como convergência (*toe setting*) a abertura horizontal entre duas rodas de um mesmo eixo. Se estiverem mais afastadas na frente, a direção é definida como divergente (*toe out*) e; se mais abertas atrás, convergente (*toe in*). Geralmente os carros de tração traseira utilizam rodas dianteiras convergentes e traseiras divergentes. Da mesma forma, os de tração dianteira possuem rodas dianteiras divergentes e traseiras convergentes. Essas implementações aos sistemas de suspensão do veículo são utilizadas, pois o torque que as rodas causam ao tracionar o veículo ocasionam a geração de força nos braços da suspensão, para frente, no caso de tração no eixo, e para trás, no caso de frenagem.



Toe.

Fonte: Reglajes del Mugen Seiki MTX – 3 1. Disponível em: <http://usuarios.multimania.es/koldolo/reglajes-mtx3/Reglajes.htm>. Acesso em: 22/04/2013

- Acesse o menu *Build* → *Suspension Parameters* → *Toe/Camber Values* → *Set* (Figura 4.43).

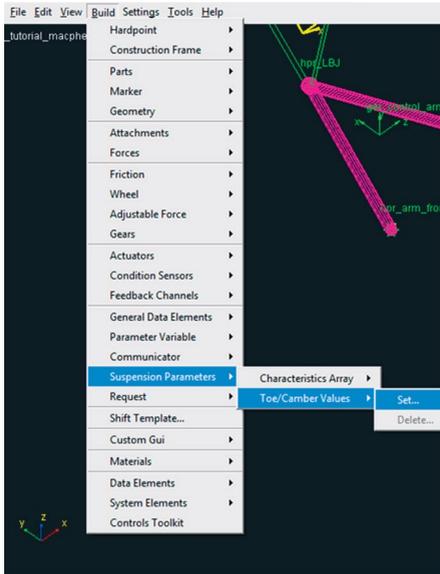


Figura 4.43 – Definindo parâmetros de *Toe* e *Camber* da suspensão.

A janela *Set Toe & Camber Values* será aberta e os valores desses parâmetros deverão ser inseridos nos campos disponíveis, de acordo com o projeto. Note que os valores requeridos se referem a ambos os lados: esquerdo (*Left*) e direito (*Right*) (Figura 4.44).

- Clique em *OK*.

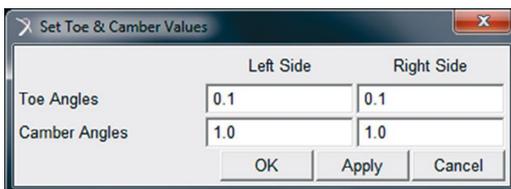
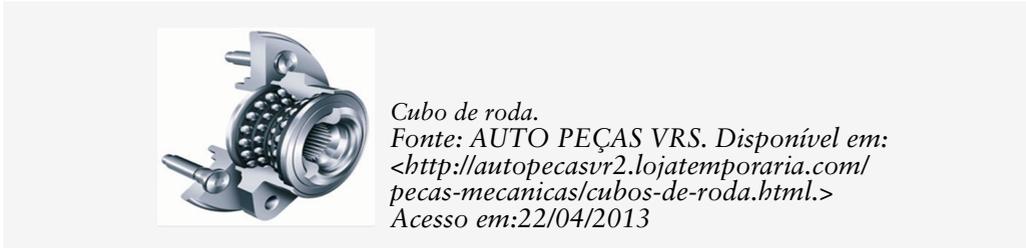


Figura 4.44 – Definição dos valores de *Toe* e *Camber*.

Etapa 10 – Construção do cubo de roda (*Hub Bearing*)

A notar: Os cubos de roda são o suporte do disco de freio ou do tambor de freio. Nele, estão fixados os parafusos de roda e o rolamento de roda. O cubo também serve para transmitir o torque da junta homocinética para as rodas do veículo, dando movimento a ele.



Para construção do corpo rígido denominado Cubo de Roda (*General Part “Hub Bearing”*) é necessário primeiramente criar um novo *Construction Frame*, o qual irá fornecer a orientação definida pelas variáveis *Toe* e *Camber* para o *General Part* a ser criado.

- Acesse o menu *Build* → *Construction Frame* → *New* (Figura 4.45).

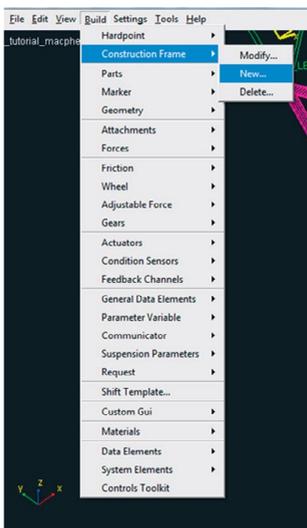


Figura 4.45 – Construção de um novo *Construction Frame*.

A janela *Create Construction Frame* será aberta e os campos deverão ser preenchidos, conforme mostrado na Figura 4.46. Observe que o *Construction Frame* estará localizado no *hpl_Wheel_Center* e terá sua orientação definida pelas variáveis *Toe* e *Camber* declaradas anteriormente.

- Clique em *OK*.

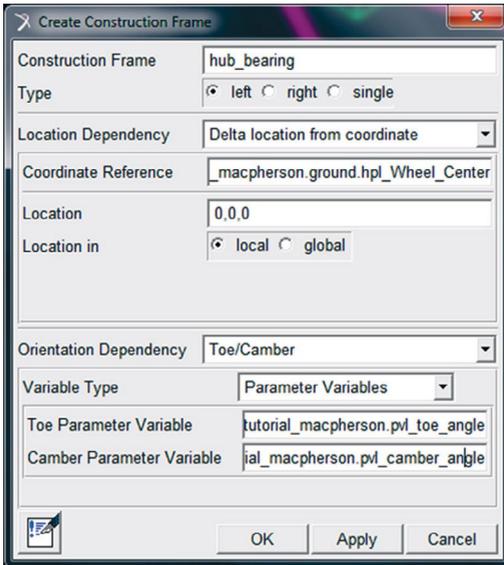


Figura 4.46 – Definindo a posição da *Construction Frame*.

A Figura 4.47 ilustra o *Construction Frame* “*hub_bearing*” construído.

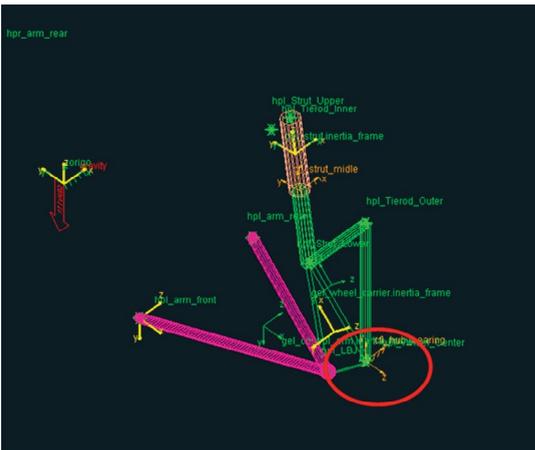


Figura 4.47 – *Construction Frame* “*hub_bearing*” construído.

Após construção do *Construction Frame*, a próxima etapa será criar o corpo rígido que representará o Cubo de Roda.

- Menu *Build* → *Parts* → *General Part* → *New* (Figura 4.48).

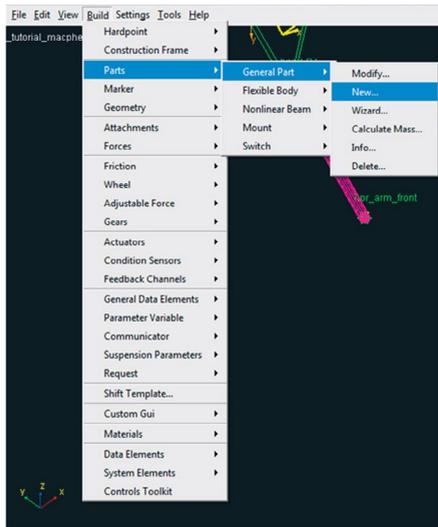


Figura 4.48 – *Construction Frame* “*hub_bearing*” construído.

- Os campos da janela *Create General Part* deverão ser preenchidos, conforme ilustrado na Figura 4.49. Note que a orientação deste *General Part* é dada pelo *Construction Frame* “*hub_bearing*” criado anteriormente. As propriedades de massa são inseridas, a priori, com valores fictícios para que, após a construção da geometria, esses dados sejam recalculados e atualizados.
- Clique em OK.

- Para construção da geometria associada ao *General Part* “*hub_bearing*” acesse o menu *Build Geometry* → *Cylinder* → *New* (Figura 4.51).

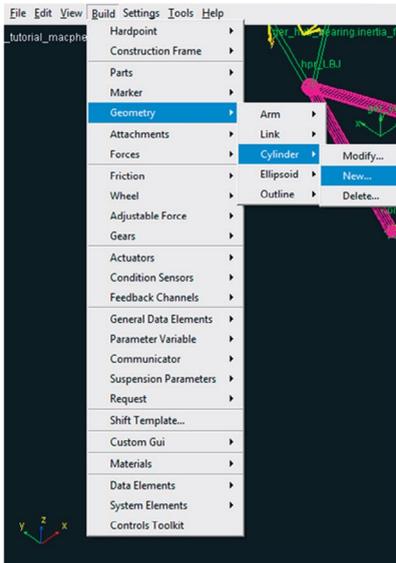


Figura 4.51 – Criação de uma geometria do tipo *Cylinder*.

A notar: A diferença entre as geometrias Link e Cylinder são sutis visualmente, diferenciando apenas no modo de construção das mesmas. Enquanto o Link necessita da definição de dois Hardpoints e do raio, o Cylinder requer a definição de um Construction Frame. O eixo z do Construction Frame define o eixo longitudinal do Cylinder, e seu comprimento é fornecido tanto no sentido positivo quanto negativo do eixo z. O raio do Cylinder também é um parâmetro requisitado.

A janela *Create Cylinder Geometry* será aberta e os campos a serem preenchidos estão ilustrados na Figura 4.52. Note que, para construção de uma geometria cilíndrica, é necessário definir um *Construction Frame* (3º campo) o qual já foi criado anteriormente nesta mesma etapa.

- Clique em *OK*.

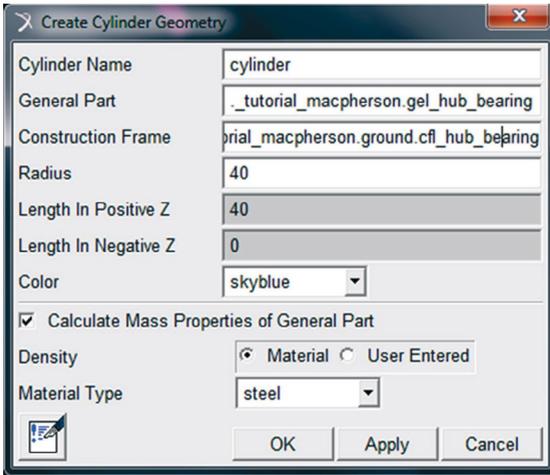


Figura 4.52 – Construção da geometria *Cylinder* pertencente ao *General Part* “*hub_bearing*”.

A Figura 4.53 ilustra o *General Part* “*hub_bearing*” construído.

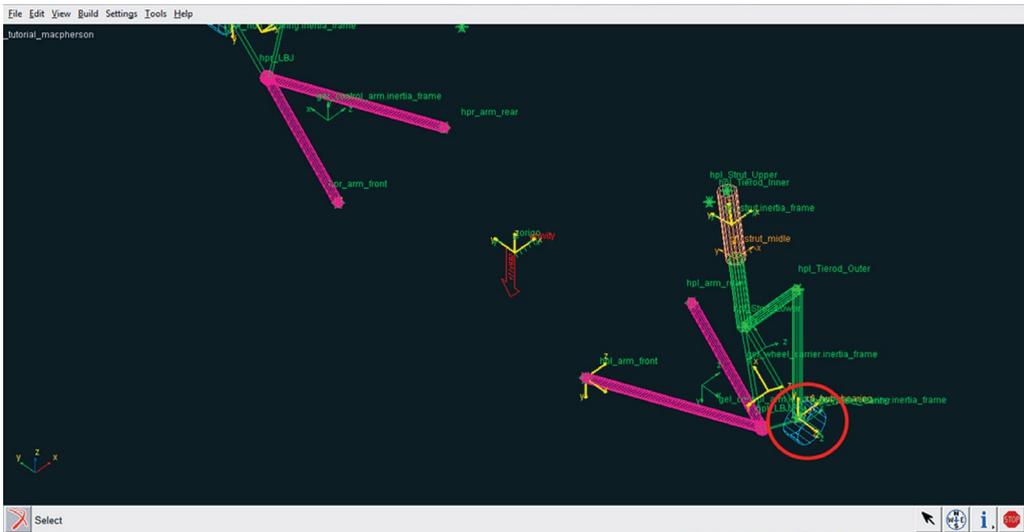


Figura 4.53 – *General Part* “*hub_bearing*” construído.

Etapa 11 – Construção da barra de direção (*Tie rod*)

A notar: A barra de direção transfere o movimento de direção aplicado à caixa de direção para as rodas.



Barra de direção lateral Scania f-94 (padrão cdm c/ reg. Dupla) 660.

Fonte: <Disponível em: <http://www.cdmbarras.com.br/catalogov.php>>. Acesso em: 22/04/2013

Nesta etapa, será construída a barra de direção, o qual será um *General Part* denominado por “Tierod”.

- Acesse o menu *Build* → *Parts* → *General Part* → *Wizard* (Figura 4.54).

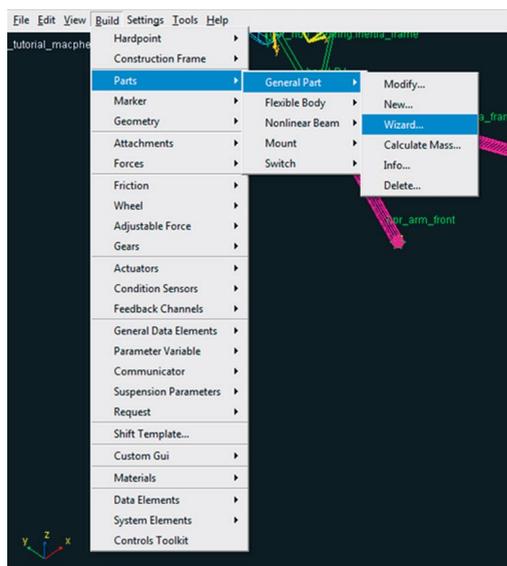


Figura 4.54 – Criação de um novo *General Part*.

- Preencha os campos da janela *General Part Wizard*, conforme ilustrado na Figura 4.55. Note que a geometria associada a esse *General Part* é do tipo *Link* sendo este último definido pelos Hardpoints *hpl_Tierod_Inner* e *hpl_Tierod_Outer*.
- Clique em *OK*.

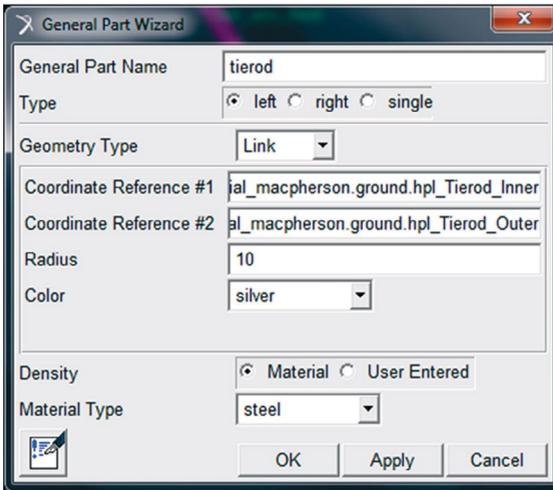


Figura 4.55 – Construção do *General Part* “tierod”

A Figura 4.56 ilustra o *General Part* “tierod” construído.



Figura 4.56 – *General Part* “tierod” construído.

Etapa 12 – Criação das juntas da suspensão

Nesta etapa, serão inseridas quatro juntas no modelo multicorpos. Essas juntas definem o tipo de movimento (graus de liberdade) entre os *General Parts*. A Tabela 4.2 relaciona as juntas a serem criadas.

Tabela 4.2 – Juntas do modelo multicorpos da suspensão

Junta	Tipo	General Parts
1	Esférica	control_arm e wheel_carrier
2	Esférica	wheel_carrier e tierod
3	Cilíndrica	strut e wheel_carrier
4	Revoluta	wheel_carrier e hub_bearing

- Para inserção das juntas da suspensão, acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Joints* → *New* (Figura 4.57).

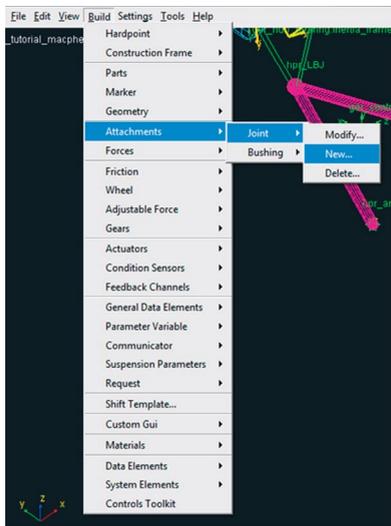


Figura 4.57 – Criando uma junta (*Joint*).

- Os campos da janela *Create Joint Attachment* deverão ser preenchidos, conforme ilustrado na Figura 4.58, e de acordo com a Tabela 4.2.
- Clique em *Apply*, para definir a segunda junta.

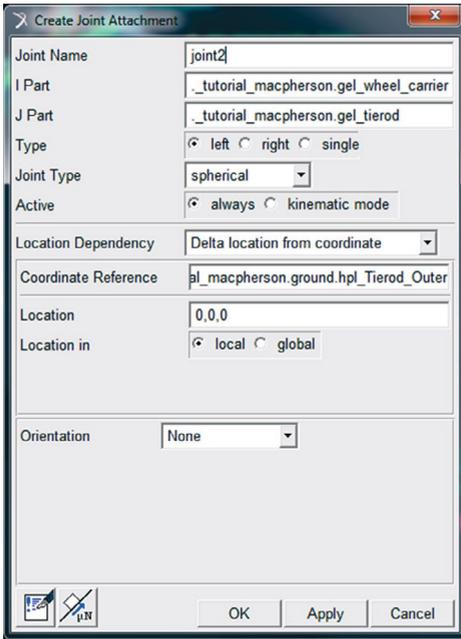


Figura 4.58 – Criação da Junta 1.

A Figura 4.59 ilustra a junta 1 construída.

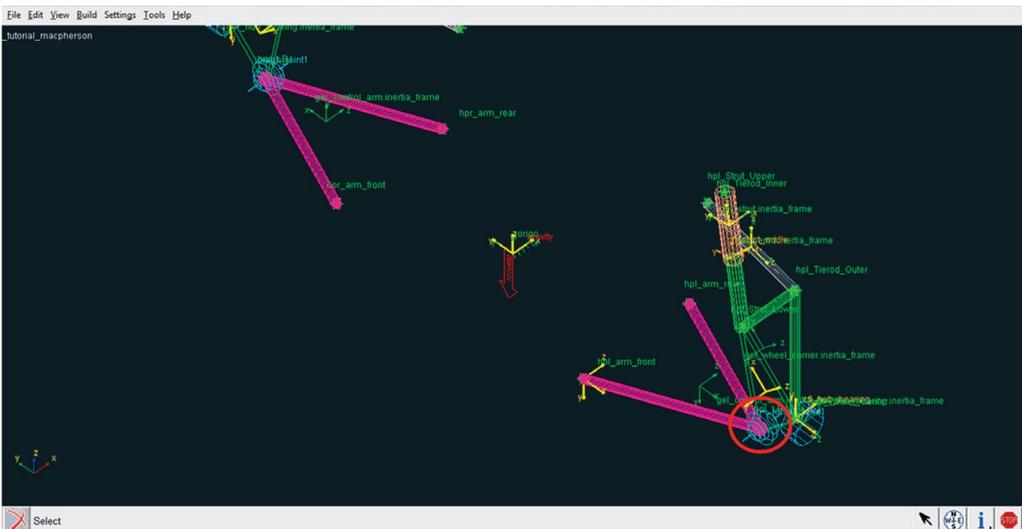


Figura 4.59 – Junta 1 construída.

- Para construção da junta 2, preencha os campos da janela *Create Joint Attachment*, conforme mostrado na Figura 4.60.

- Clique em *Apply*.

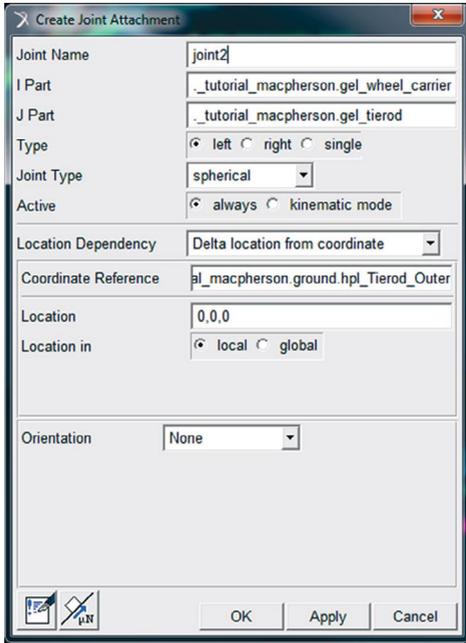


Figura 4.60 – Criação da Junta 2.

A Figura 4.61 ilustra a junta 2 construída.

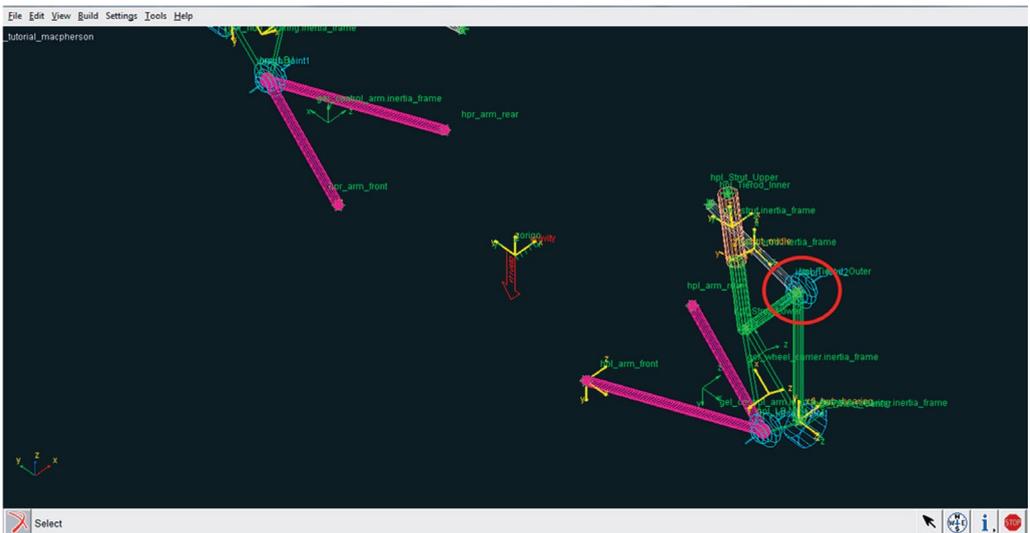


Figura 4.61 – Junta 2 construída.

- Para construção da junta 3 preencha os campos da janela *Create Joint Attachment* conforme ilustrado na Figura 4.62.
- Clique em *Apply*.

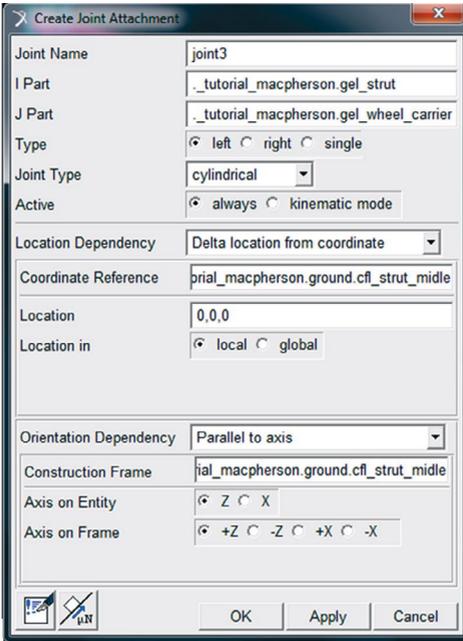


Figura 4.62 – Criação da Junta 3.

A Figura 4.63 ilustra a junta 3 construída.



Figura 4.63 – Junta 3 construída.

- Para construção da junta 4, preencha os campos da janela *Create Joint Attachment* conforme a Figura 4.64.
- Clique em *OK*.

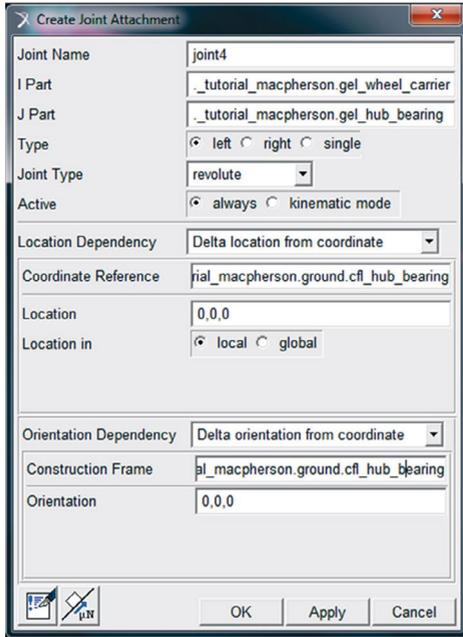


Figura 4.64 – Criação da Junta 4.

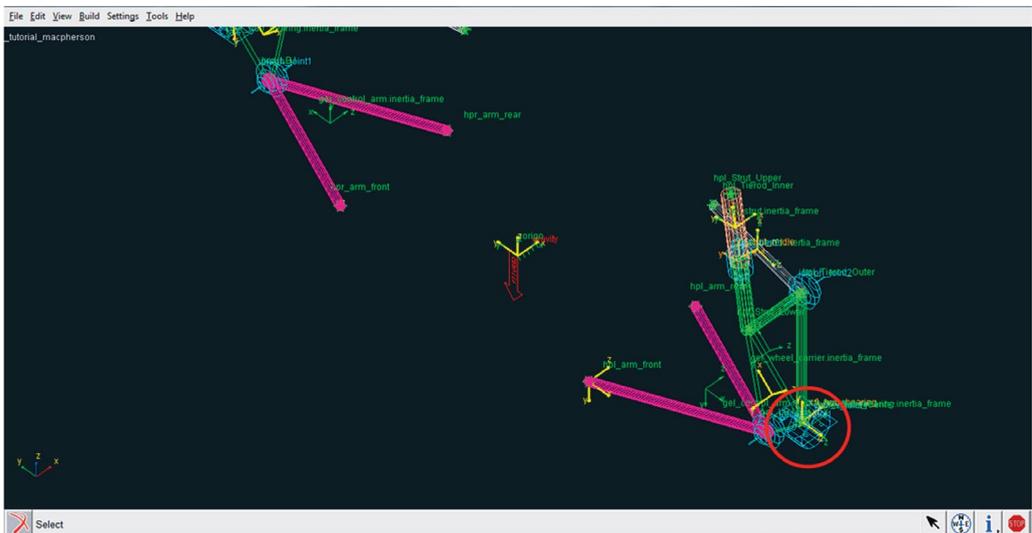


Figura 4.64 (a) – Junta 4 construída.

Etapa 13 – Construção da mola (*Spring*)

A notar: As molas são o principal elemento elástico da suspensão e, a partir do momento de sua instalação, já estão em trabalho, permanecendo acionadas pelo peso da carroceria do veículo mais as cargas que ele estiver carregando (Pré-carga). Elas absorvem as irregularidades do terreno, controlam a altura do veículo e atuam sobre o alinhamento e o equilíbrio da suspensão. Os efeitos das molas fadigadas são verificados por impactos constantes na suspensão, desgaste acentuado dos pneus, amortecedores e batentes. Com o veículo em movimento, todas as oscilações de pista são absorvidas pela mola. Sendo assim, uma lombada causa o fechamento da mola, enquanto um buraco provoca sua abertura. Tanto na abertura quanto no fechamento, a mola irá absorver energia, que, ao ser liberada, será controlada pelo amortecedor, suavizando assim os movimentos de retorno da mola para a posição original. Portanto, a mola é quem absorve grande parte dos movimentos recebidos pela suspensão. Dessa forma, se as molas não estiverem boas, as condições de conforto, estabilidade e segurança ficam seriamente comprometidas.



*Molas helicoidais.
Fonte: Seat Edition . Disponível em: <<http://seatedition.livreforum.com/>>. Acesso em 22/04/2013:*

Nesta etapa, será definida a mola da suspensão. Ressalta-se que a mola não é considerada um corpo rígido, portanto sua criação não se dará por meio da criação de um *General Part*. No ADAMS, a mola é definida por meio da criação de uma força.

- Acesse o menu *Build* → *Forces* → *Spring* → *New* (Figura 4.65).

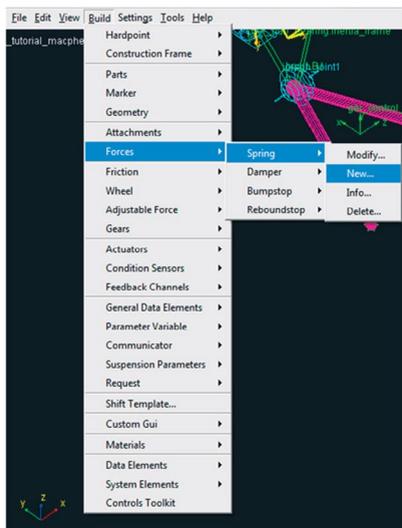


Figura 4.65 – Criando uma mola.

- Preencha os campos da janela *Create Spring* conforme mostrado na Figura 4.66. Note que a mola é definida entre os corpos rígidos *strut* e *wheel_carrier*. Atente para o preenchimento do valor de pré-carga (*Preload*) a ser definido para a mola, como destacado na Figura 4.66. A curva característica da mola pode ser editada manualmente pelo usuário e salva em arquivo externo ou o usuário poderá utilizar informações da própria biblioteca do software (campo *Property File*), como é o caso deste modelo.
- Clique em *OK*.

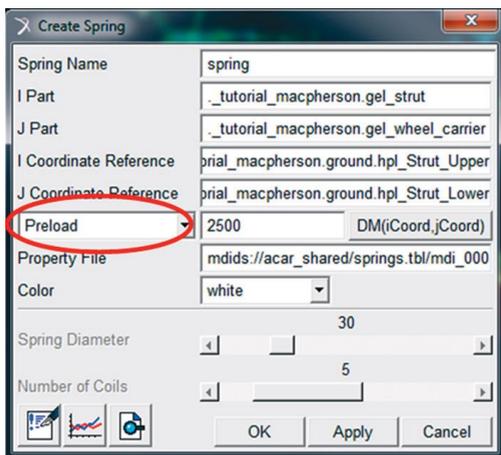


Figura 4.66 – Definição da mola da suspensão.

A Figura 4.67 ilustra a mola construída.

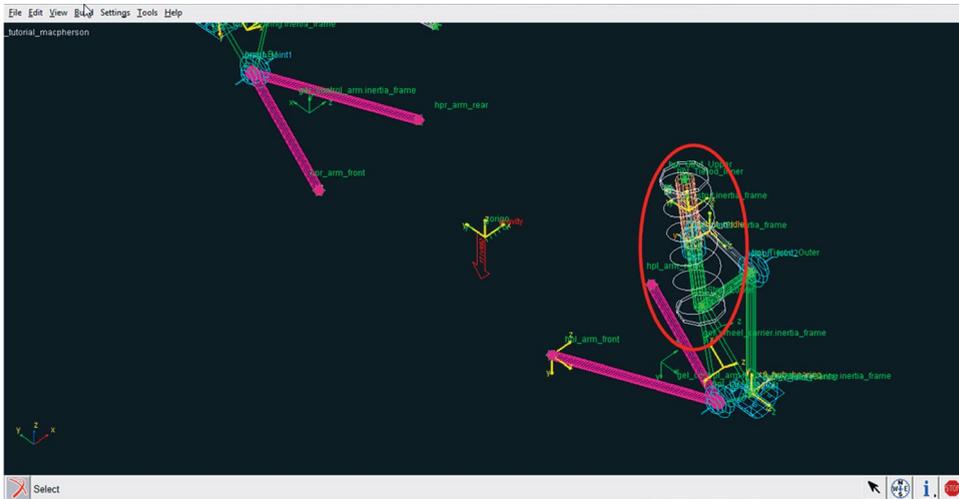


Figura 4.67 – Mola construída.

Etapa 14 – Construção do amortecedor (*Damper*)

A notar: O amortecedor é um elemento de ligação entre a suspensão e a carroceria, capaz de controlar os movimentos das molas, fazendo com que o veículo mantenha a aderência ao solo. A estabilidade, o conforto e a segurança ficam diretamente comprometidos, se os amortecedores não estiverem atuando corretamente. O amortecedor possui, em seu interior, um fluido denominado óleo hidráulico, de características especiais para suportar baixas e altas temperaturas, funcionando segundo princípios hidráulicos.



Amortecedor.
 Fonte: WOLLOKO. Disponível em: <<http://www.wollokoclube.com.br/index.php/qual-a-vida-util-de-um-amortecedor/>>. Acesso em: 22/04/2013

Da mesma maneira que a mola, o amortecedor também é criado por meio da definição de uma força.

- Acesse o menu *Build* → *Forces* → *Damper* → *New* (Figura 4.68).

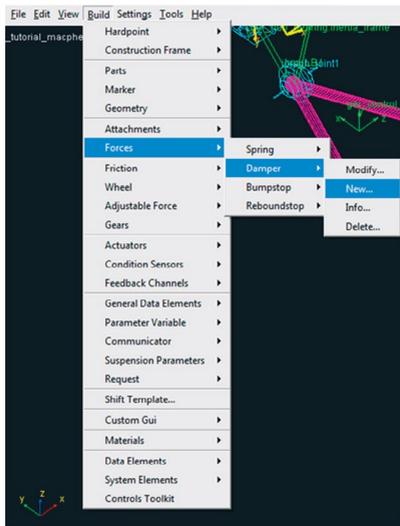


Figura 4.68 – Definição do amortecedor da suspensão.

- O preenchimento dos campos da janela *Create Damper* é muito semelhante ao da Etapa 13, conforme mostrado na Figura 4.69. O amortecedor também é definido entre os corpos rígidos *strut* e *wheel_carrier* e sua curva característica pode ser inserida do próprio software ou editada manualmente pelo usuário e utilizada no modelo. Como se pode observar na Figura 4.69, no campo *Property File*, as propriedades do amortecedor são definidas no arquivo especificado na biblioteca do software.

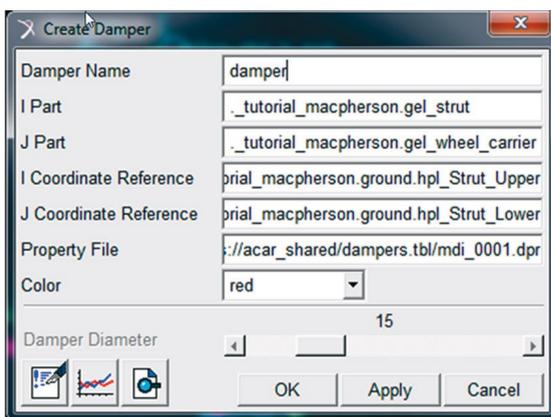


Figura 4.69 – Definição do amortecedor da suspensão.

A Figura 4.70 ilustra o amortecedor construído.

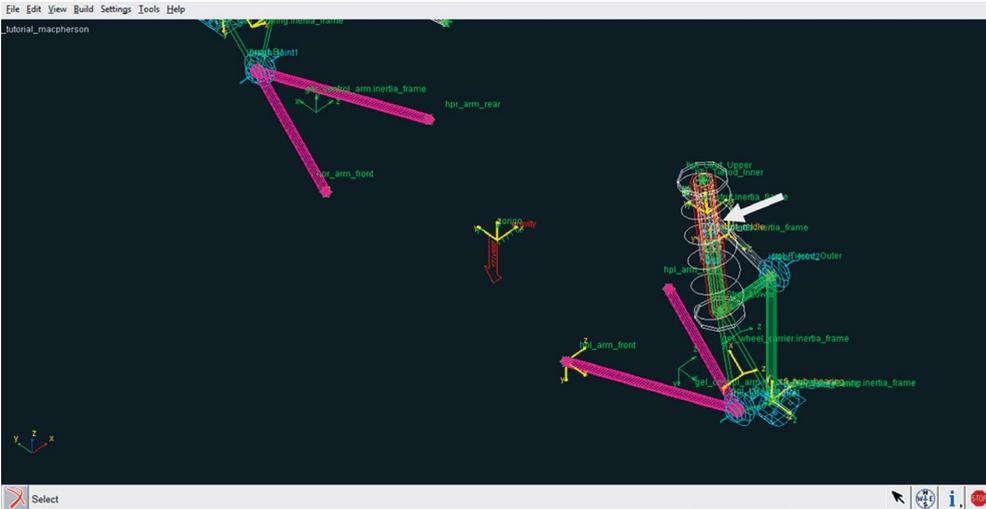


Figura 4.70 – Amortecedor construído.

Etapa 15 – Definindo parâmetros da suspensão

Ao finalizar esta etapa, o software terá informações suficientes para determinar o ângulo de esterçamento e *Caster* da suspensão em construção.

- Acesse o menu *Build* → *Suspension Parameter* → *Characteristics Array* → *Set* (Figura 4.71).

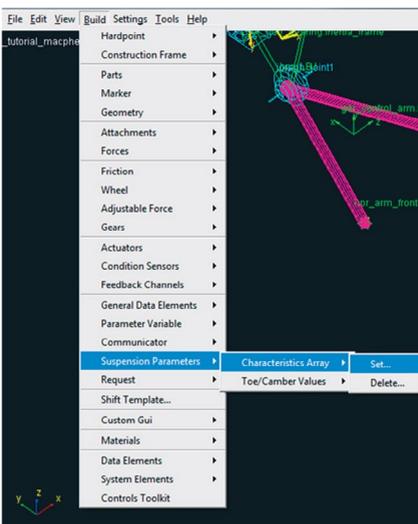


Figura 4.71 – Determinando os parâmetros da suspensão.

- A janela *Suspension Parameters Array* deverá ser preenchida conforme ilustrado na Figura 4.72. Note que a suspensão foi definida como do tipo Independente, tendo o *Steer Axis* na direção definida pelos *Hardpoints* *hpl_Strut_Lower* e *hpl_LBJ*.
- Clique em OK.

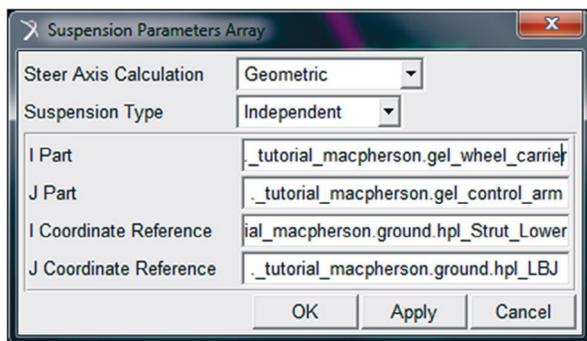


Figura 4.72 – Definição dos parâmetros da suspensão.

Etapa 16 – Criação do *Mount* “*subframe_to_body*”

Nesta etapa, será criado o *Mount* denominado *subframe_to_body*, o qual tem como função estabelecer a conexão do subsistema suspensão ao subsistema chassi (*body*). Durante a simulação, a transferência de dados de um subsistema para o outro é feita por meio dessa comunicação (*Mount*).

- Para criar um novo *Mount*, acesse o menu *Build* → *Parts* → *Mount* → *New* (Figura 4.73).

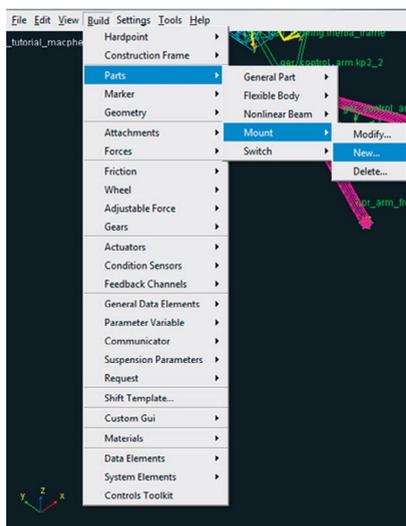


Figura 4.73 – Criando um novo *Mount*.

- A janela *Create Mount Part* deverá ter seus campos preenchidos, conforme mostrado na Figura 4.74. Note que o nome do *Mount* deve ser exatamente o mesmo definido no outro subsistema, nesse caso, o chassi. Ainda com relação à Figura 4.74, a coordenada de referência utilizada é o *Hardpoint* “*hpl_arm_front*” e definiu-se a suspensão como dianteira (*front*).
- Clique em *OK*.

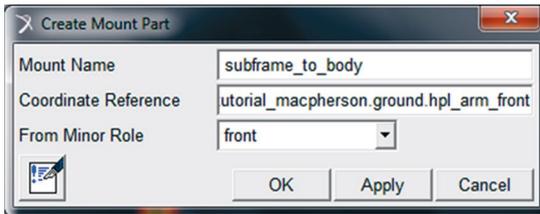


Figura 4.74 – Criação do Mount “*subframe_to_body*”.

Na Figura 4.75 o Mount “*subframe_to_body*” está destacado.



Figura 4.75 – Mount “*subframe_to_body*” definido no modelo da suspensão.

Após criação do Mount “*mtl_subframe_to_body*” uma nova junta será construída, a qual restringe os movimentos de ligação do braço da suspensão com o chassi.

- Acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Joint* → *New* (Figura 4.76).

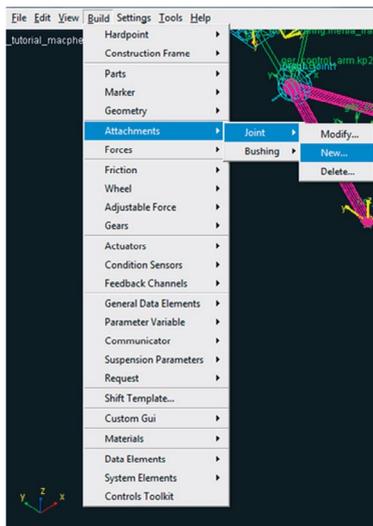


Figura 4.76 – Criando uma nova junta.

- Na janela *Create Joint Attachment*, preencha os campos, conforme mostrado na Figura 4.77. Note que essa junta é do tipo revolvente e é construída entre o *General Part* “gel_control_arm” e o *Mount* “mtl_subframe_to_body”.
- Clique em *OK*.

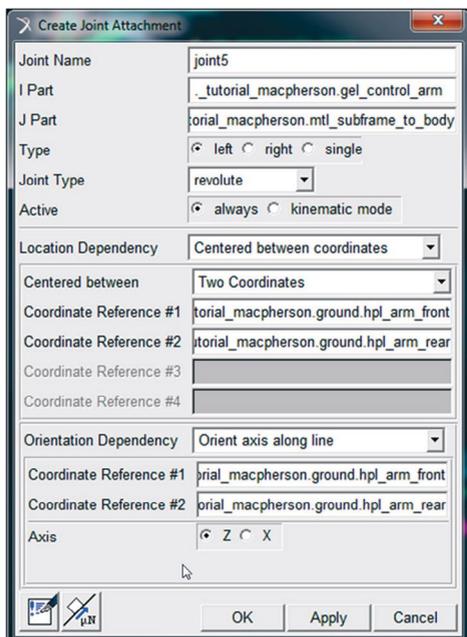


Figura 4.77 – Criação da junta 5.

A Figura 4.78 ilustra a junta construída.



Figura 4.78 – Junta 5 construída.

Etapa 17 – Criação de *Communicators*

Nesta etapa, serão criados *communicators* do tipo *output*, os quais estabelecerão a comunicação do subsistema suspensão com os diversos subsistemas que se acoplará a esse subsistema de suspensão (roda e sistema de direção, entre outros). Ressalta-se novamente que os nomes designados aos *communicators* devem ser iguais aos dos *communicators* dos subsistemas de interesse.

- Para criação do primeiro *Communicator* do tipo *output*, acesse o menu *Build* → *Communicator* → *Output* → *New* (Figura 4.79). Esse *communicator* fará a comunicação entre o *General Part* “*hub_bearing*” (cubo de roda) e o subsistema Roda.
- A janela *Create Output Communicator* deverá ser preenchida conforme ilustrado na Figura 4.80.
- Clique em *Apply*.

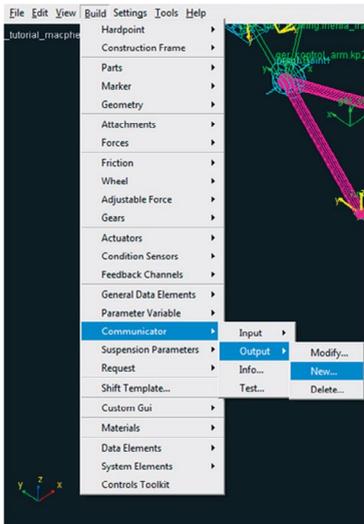


Figura 4.79 – Criando um *Communicator* do tipo *Output*.

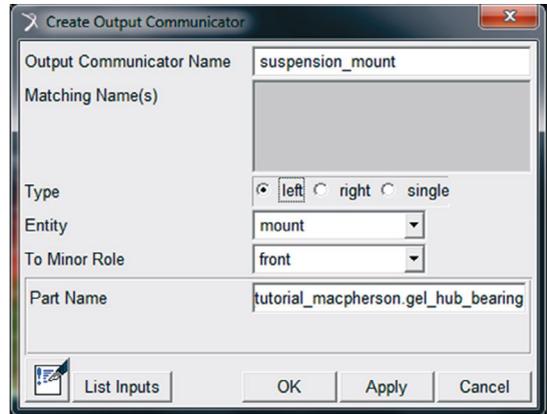


Figura 4.80 – Criação do *Communicator* “*suspension_mount*”.

- Para criação do *communicator* “*suspension_upright*”, preencha os campos da janela *Create Output Communicator*, conforme mostrado na Figura 4.81.
- Clique em *Apply*.

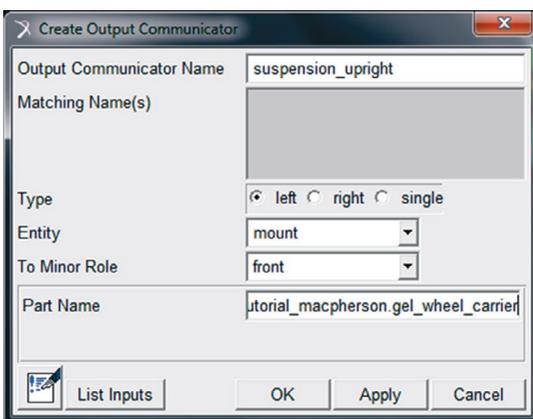


Figura 4.81 – Criação do *Communicator* “*suspension_upright*”.

A Figura 4.82 ilustra a criação do *communicator* “wheel_center”.
Clique em OK.

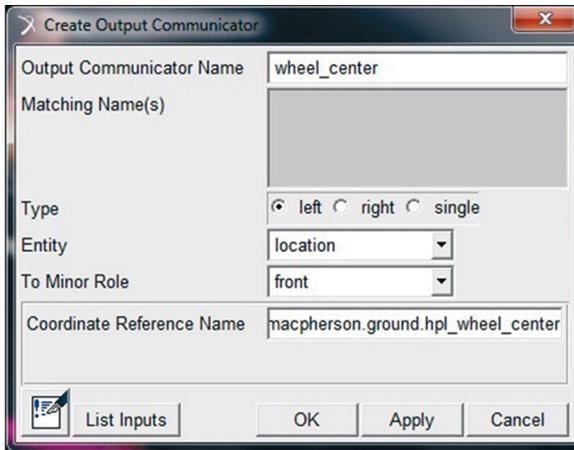


Figura 4.82 – Criação do *Communicator* “wheel_center”.

Etapa 18 – Criação da junta Universal (Hooke)u

A notar: A junta universal (junta de Cardan, ou ainda junta de Hooke) permite a transmissão de um conjugado motor, assegurando, ao mesmo tempo, um deslocamento angular entre o eixo motriz e o eixo receptor. Em suma, ela transfere o movimento de um eixo a outro com direção diferente, porém sem modificar o sentido de giro. Sua função nos automóveis é transmitir às rodas (quando forem ao mesmo tempo motrizes e diretrizes) um movimento de rotação. A extremidade de cada um dos dois eixos é terminada por um garfo; os dois garfos são ligados entre si por uma cruzeta central.



Junta universal.

Fonte: Aguamarket. Disponível em: < <http://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=7441&termino=Cardan> >.
Acesso em: 22/04/2013

Nesta etapa, será construída a junta universal ou Hooke a qual tem como coordenada de referência o *Hardpoint* “hpl_Strut_Upper”.

- Acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Joint* → *New* (Figura 4.83).

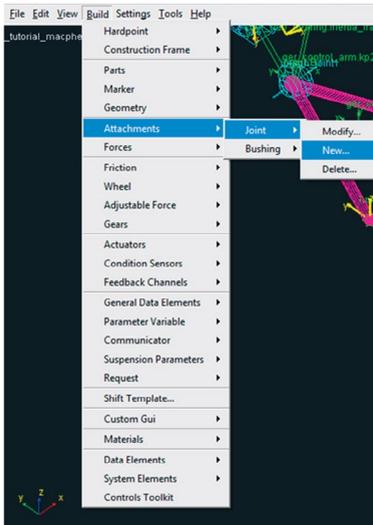


Figura 4.83 – Criando uma nova junta.

O preenchimento dos campos da janela *Create Joint Attachment* deve estar de acordo com a Figura 4.84. Note que essa junta está sendo criada entre o *General Part* “gel_strut” e o *Mount* “mtl_subframe_to_body”.

- Clique em OK.

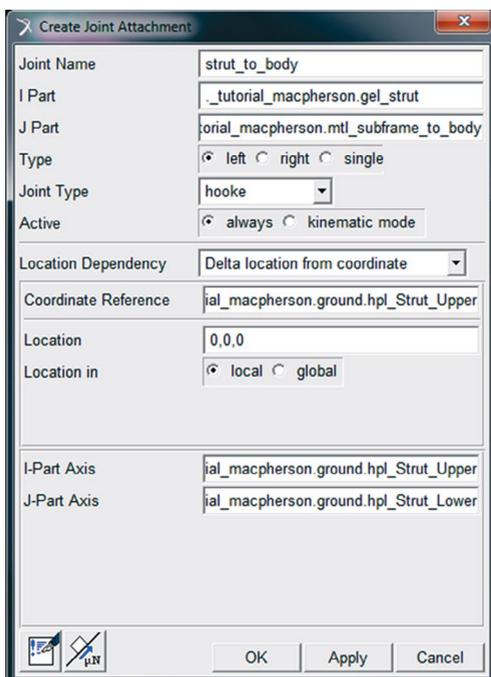


Figura 4.84 – Criação da junta *Hooke*.

A Figura 4.85 ilustra a junta *Hooke* construída.



Figura 4.85 – Junta *Hooke* construída.

Etapa 19 – Criação da junta no eixo de direção (*Convel Joint*)

Nesta etapa, será criada uma junta do tipo *convel* no eixo de direção (*Tie rod*), a qual restringirá os movimentos desse eixo para o subsistema “Sistema de Direção”.

Primeiramente, crie um *Mount* denominado *tierod_to_steering*. Acesse o menu *Build* → *Parts* → *Mount* → *New* (Figura 4.86).

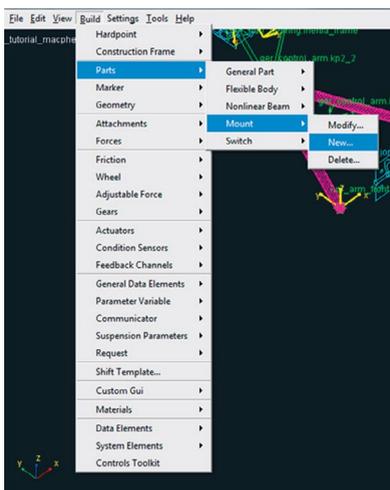


Figura 4.86 – Criando um novo *Mount*.

- Preencha os campos da janela *Create Mount Part*, conforme ilustrado na Figura 4.87. Note que ele está localizado nas coordenadas do *Hard-point hpl_Tierod_Inner*.
- Clique em OK.

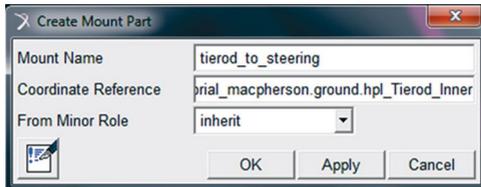


Figura 4.87 – Criação do *Mount* “*tierod_to_steering*”.

A Figura 4.88 destaca o *Mount* criado.

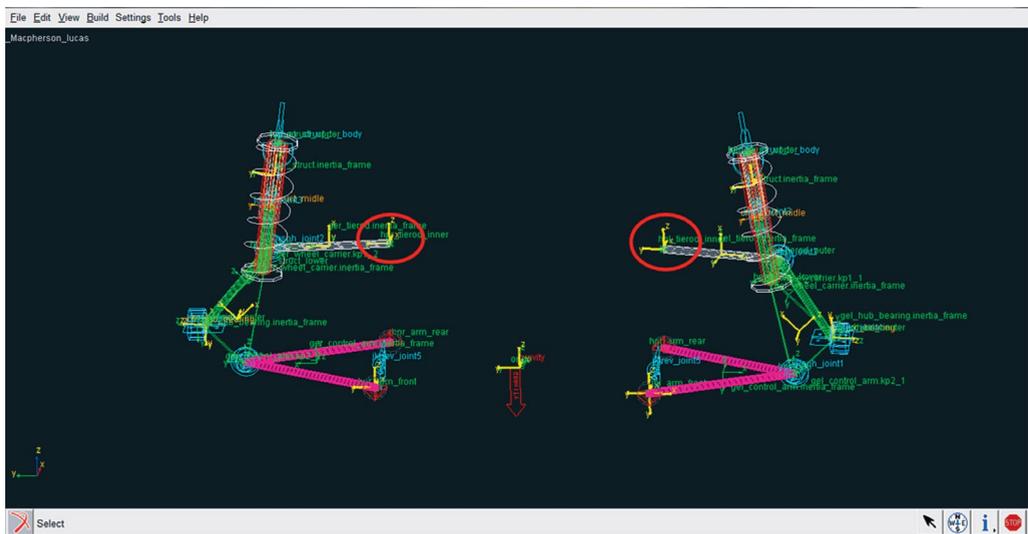


Figura 4.88 – Criação do *Mount* “*tierod_to_steering*”.

Para criar a junta no eixo de direção, acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Joint* → *New* (Figura 4.89).

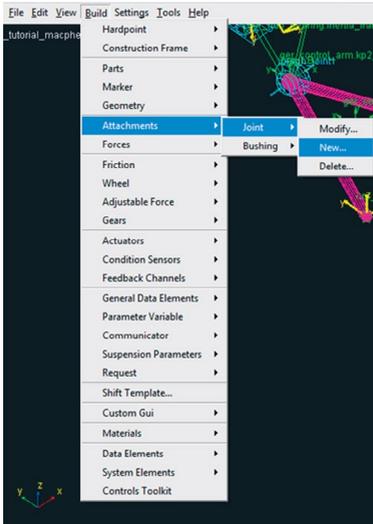


Figura 4.89 – Criando uma nova junta.

Crie a junta do tipo *convel*, conforme ilustrado na Figura 4.90. Note que essa junta é definida pelo *General Part* “*gel_tierod*” e o *Mount* “*mtl_tierod_to_steering*”. Atente para o *Hardpoint* destacado na Figura 4.90.

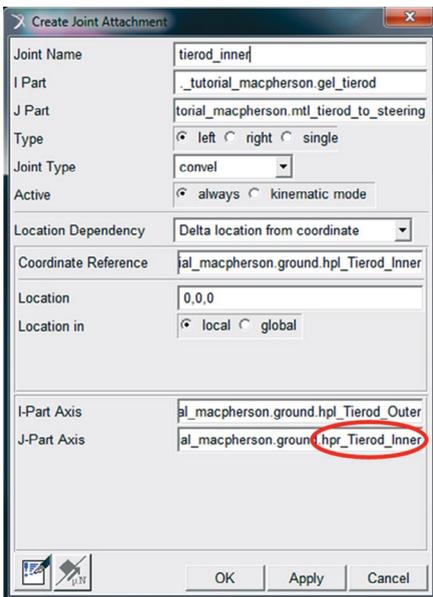


Figura 4.90 – Criando uma nova junta.

A Figura 4.91 ilustra a junta do eixo de direção construída.

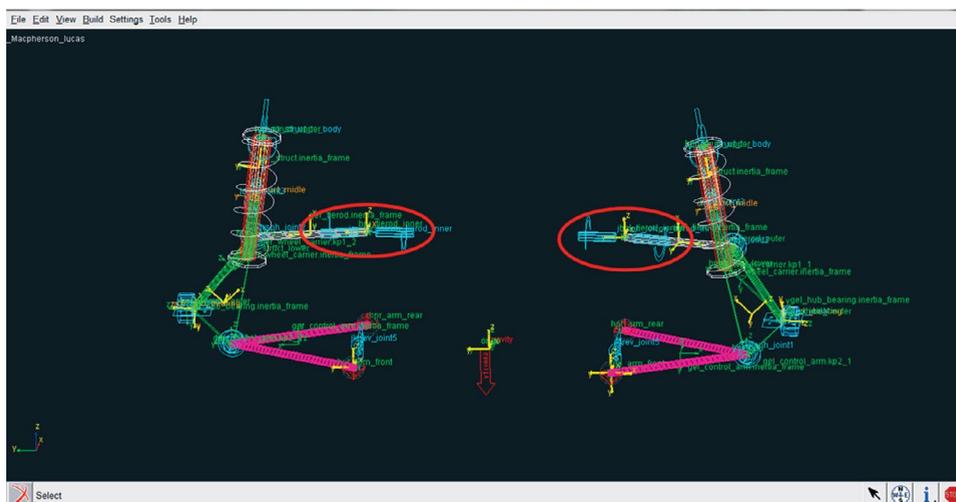


Figura 4.91 – Junta do eixo de direção construída.

Etapa 20 – Realizando teste de compatibilidade entre *communicators*

Nesta etapa serão obtidas informações sobre os *communicators* criados, e ainda será feito um teste de compatibilidade entre estes e os *communicators* do subsistema de interesse (nesse caso, o subsistema *MDI_Suspension_Testrig*, o qual corresponde ao subsistema de teste da suspensão).

Para se obter informações sobre os *Communicators* criados, acesse o menu *Build* → *Communicator* → *Info* (Figura 4.92).

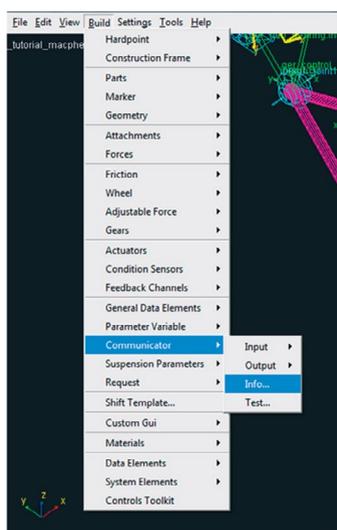


Figura 4.92 – Obtendo informações sobre os *communicators*.

A janela *Communicators Info* será aberta.

- No campo *Type*, selecione o item *All*.
- No campo *Entity* selecione o item *All*.
- Clique em *OK*.

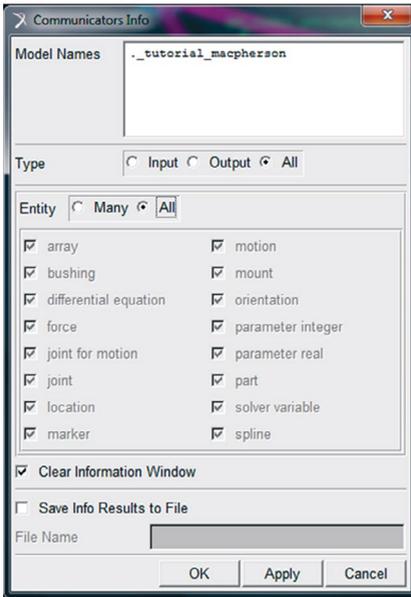


Figura 4.93 – Selecionando os tipos de *Communicators*.

A janela *Information* será aberta e, nela, constam as informações requeridas.

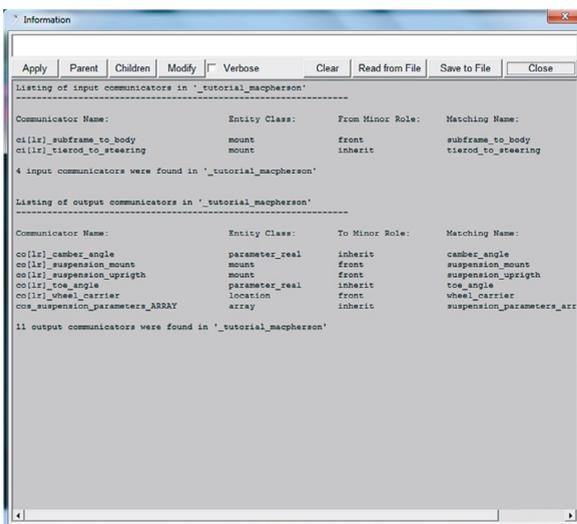


Figura 4.94 – Informações sobre os *Communicators*.

- Após análise das informações clique em *Close* nesta mesma janela.
- Para teste de compatibilidade dos *communicators* com o subsistema *MDI_Suspension_Testrig*, acesse o menu *Build*→*Communicator*→*Test* (Figura 4.95).

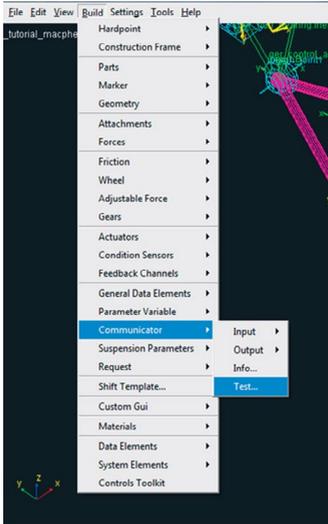


Figura 4.95 – Realizando teste de compatibilidade dos *communicators*.

- Na janela *Test Communicators*, verifique os subsistemas a serem testados. Nesse caso, observa-se na Figura 4.96 que o teste será feito entre o subsistema da suspensão em construção e do subsistema correspondente a uma plataforma de teste denominado *MDI_Suspension_Testrig*.
- Clique em *OK*.

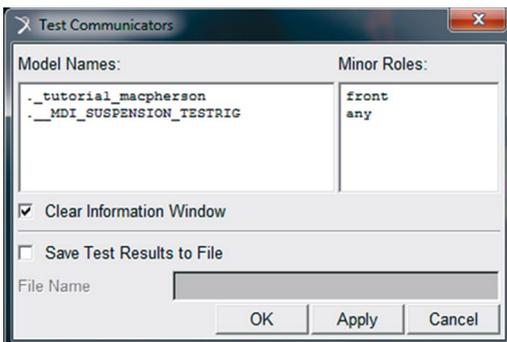


Figura 4.96 – Subsistemas a serem submetidos a teste de compatibilidade de *Communicators*.

A janela *Information* será aberta e nela é possível verificar se há algum erro de comunicação entre *communicators*, para que possam ser realizadas as correções necessárias.

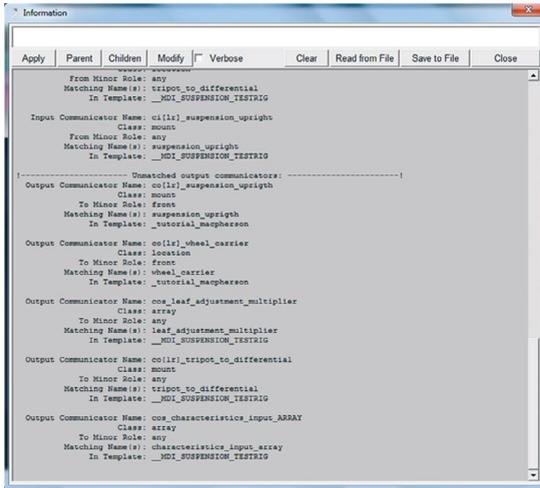


Figura 4.97 – Informação de compatibilidade dos *communicators*.

Etapa 21 – Construção das buchas (*Bushing*)

Nesta etapa, serão criadas as buchas da suspensão, totalizando três buchas. A construção da suspensão (projeto) será finalizada ao fim desta etapa.

- Para criar a primeira bucha, a qual estará localizada na mesma coordenada que o *Hardpoint* “*hpl_arm_front*”, acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Bushing* → *New* (Figura 4.98).

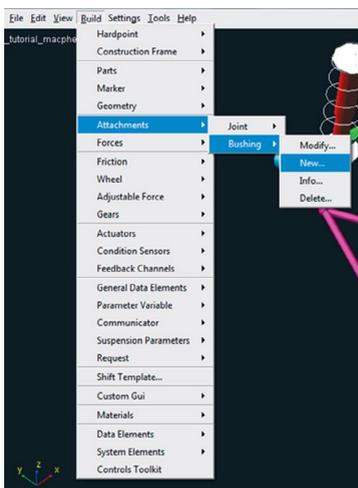


Figura 4.98 – Criando uma bucha.

- Os campos da janela *Create Bushing Attachment* deverão ser preenchidos conforme ilustrado na Figura 4.99. Note que essa bucha é criada entre o *General Part* “gel_control_arm” e o *Mount* “mtl_subframe_to_body”. Um arquivo com as propriedades da bucha deve ser selecionado (no campo *Property File*), podendo este ser da biblioteca do software ou editado pelo usuário.
- Clique em OK.

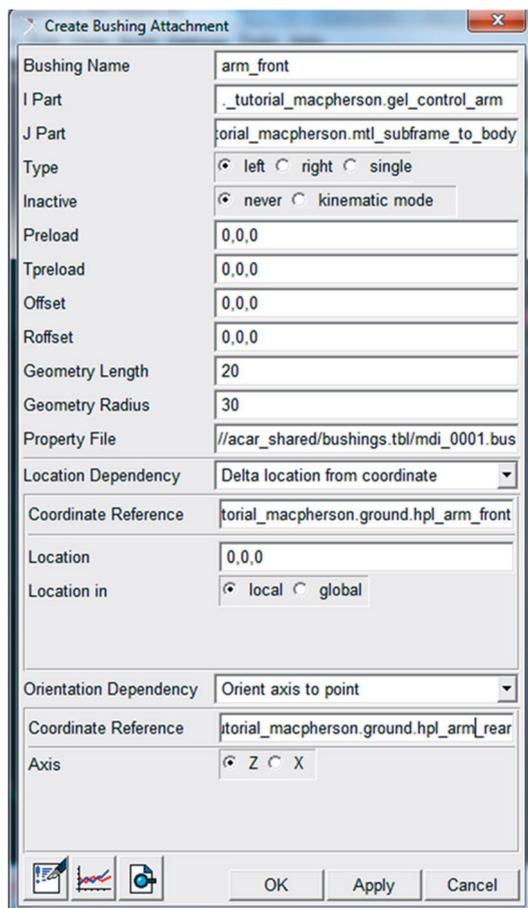


Figura 4.99 – Criação da primeira bucha.

A Figura 4.100 ilustra a bucha criada no passo anterior.



Figura 4.100 – Primeira bucha construída e inserida no modelo.

- Para construção da segunda bucha, a qual estará localizada no *Hardpoint* *hpl_arm_rear*, acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Bushing* → *New* (Figura 4.101).

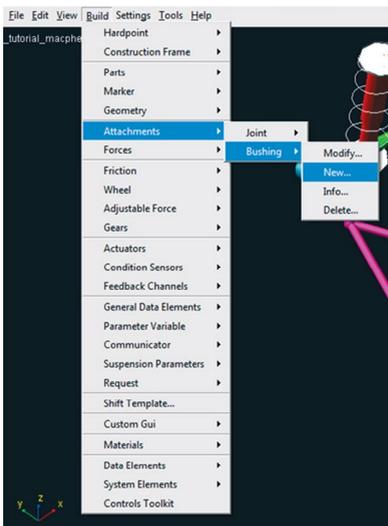


Figura 4.101 – Criando a segunda bucha.

- Preencha os campos da janela *Create Bushing Attachment*, como ilustrado na Figura 4.102. Note que essa bucha também é construída entre o *General Part* “gel_control_arm” e o *Mount* “mtl_subframe_to_body”.

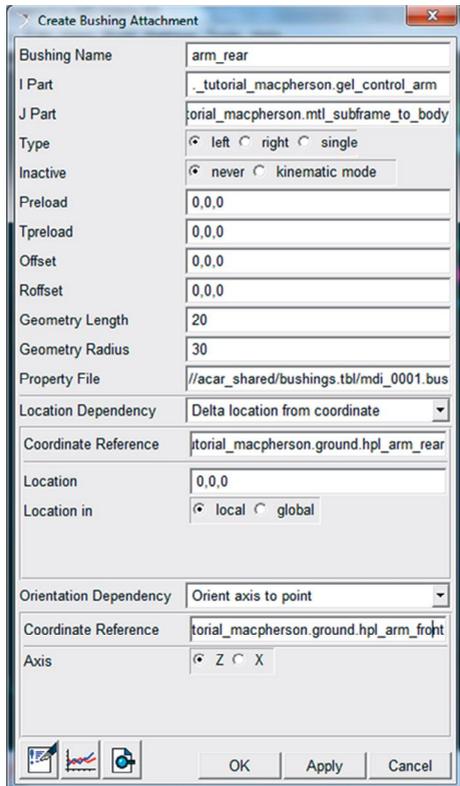


Figura 4.102 – Criação da primeira bucha.

A Figura 4.103 ilustra a segunda bucha construída.

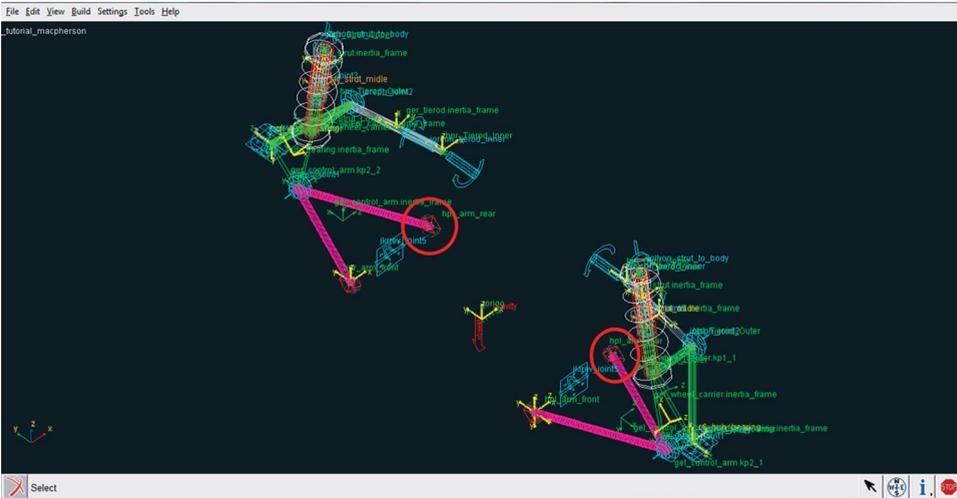


Figura 4.103 – Segunda bucha construída e inserida no modelo.

- Com a inserção dessas duas primeiras buchas, a junta revoluta *joint5* deverá ser modificada. Para isso, selecione essa junta na tela principal do software, com o botão direito do mouse (sobre a junta). Selecione a opção *Modify* (Figura 4.104).

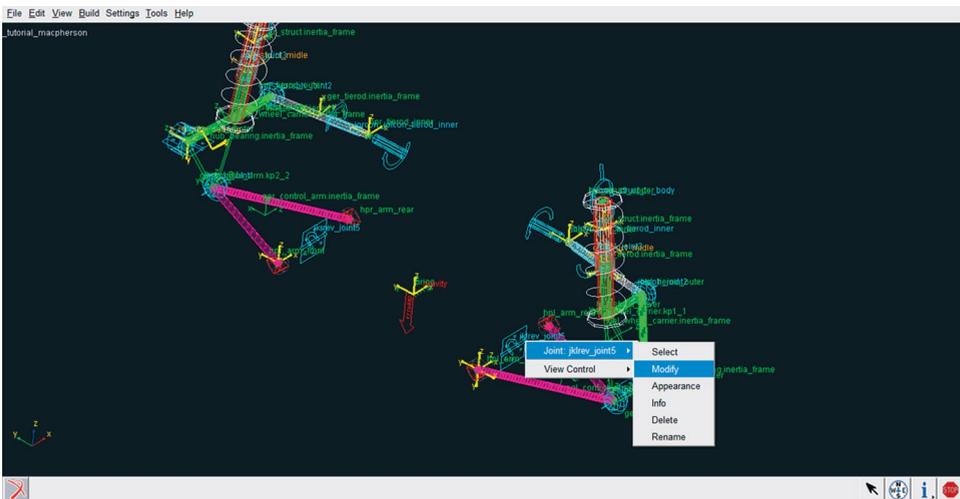


Figura 4.104 – Modificando a Junta *joint5*.

- Na janela *Modify Joint Attachment*, selecione o item *Kinematic mode* (Figura 4.105).
- Clique em *OK*.

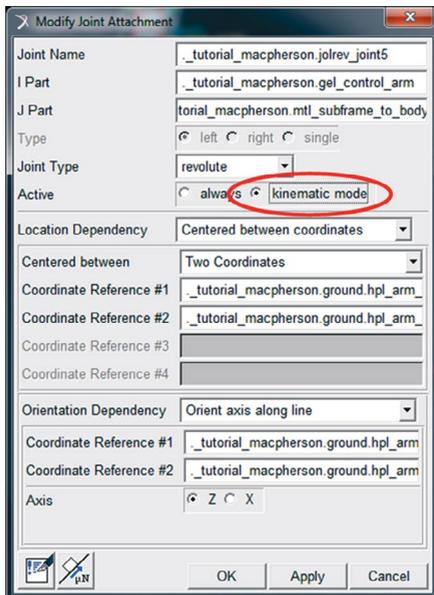


Figura 4.105 – Modificação realizada na junta *joint5*.

- Para construção da terceira bucha, acesse o menu *Build* → *Attachments* → *Bushing* → *New* (Figura 4.106).

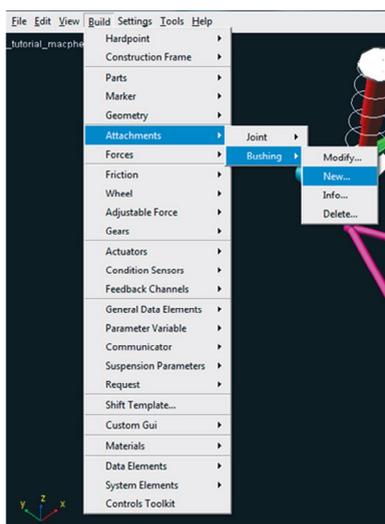


Figura 4.106 – Criando a terceira bucha.

- Preencha os campos da janela *Create Bushing Attachment*, conforme mostrado na Figura 4.107. Note que essa bucha está localizada entre a suspensão e o chassi, uma vez que envolve o *General Part* “gel_strut” e o *Mount* “mtl_subframe_to_body”.
- Clique em OK.

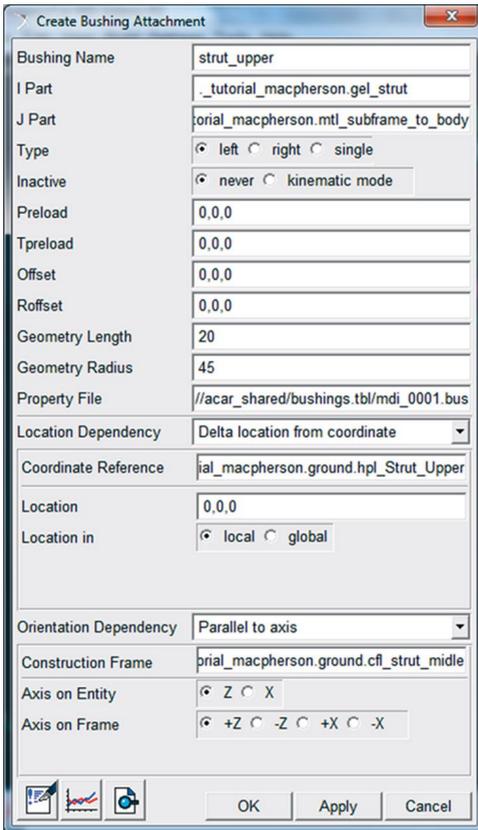


Figura 4.107 – Criação da terceira bucha.



Figura 4.108 – Terceira bucha construída e inserida no modelo.

O *Template* da suspensão agora está finalizado. Aconselha-se salvar esse projeto.

Em função do usuário, o projeto pode ser salvo e aberto posteriormente, podendo ter continuidade. No entanto, quando o *Template* é aberto a partir de um arquivo salvo, comumente, o modelo aparece na tela principal sem todos os detalhes construídos, comumente vistos pelo usuário durante a construção do modelo, tais como buchas, juntas etc.

- Para que todos os detalhes construtivos estejam visíveis no modelo, clique com o botão direito do mouse em qualquer região da tela principal.
- Na janela que se abriu, clique em *Toogle Icon Visibility* (Figura 4.109).

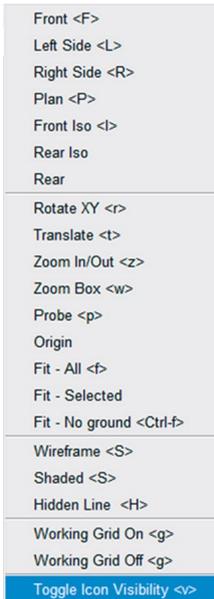


Figura 4.109 – Ativando para visualização os detalhes construtivos do modelo.

Etapa 22 – Criação do subsistema (*Subsystem*)

Uma vez concluído o projeto da suspensão (*Template*), se faz necessária a criação do subsistema da suspensão (*Subsystem*) para que possam ser realizadas simulações no modelo criado.

- Ainda na tela principal do *Template*, salve-o e pressione a tecla *F9* do teclado. Essa ação resulta na transferência para o ambiente *standard* do ADAMS/Car (destacado na Figura 4.110). A Figura 4.110 ilustra a interface resultante.

A notar: Para alternar do modo *Template* para o *Standard* ou vice versa, clique no menu *Tools* e em seguida em *ADAMS/Car Template Builder* (caso necessite ir para o *Template*) ou selecione *Adams Standard Car Interface* (caso necessite ir para o *Standard*). Uma forma mais rápida (atalho) é utilizar a tecla “*F9*” para alternar entre as interfaces.

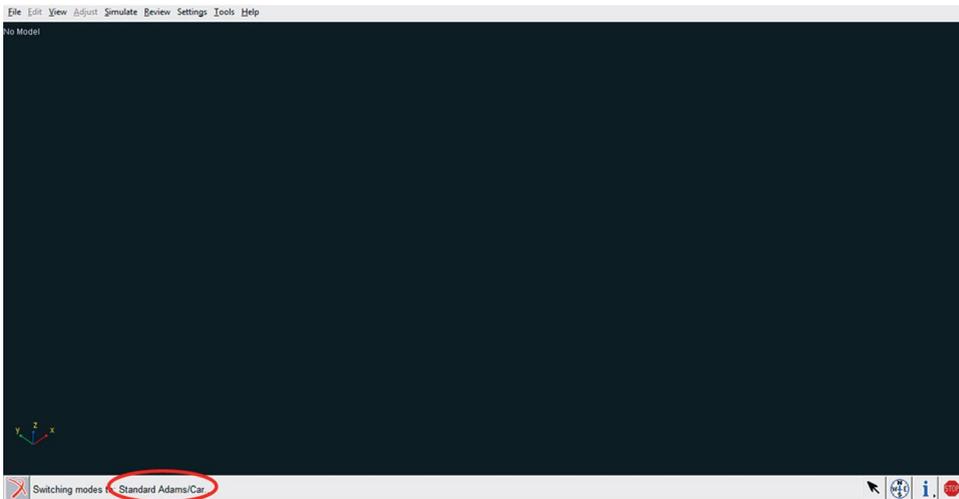


Figura 4.110 – Interface do modo Standard.

- Para criar o *subsystem*, acesse o menu *File* → *New* → *Subsystem* (Figura 4.111).

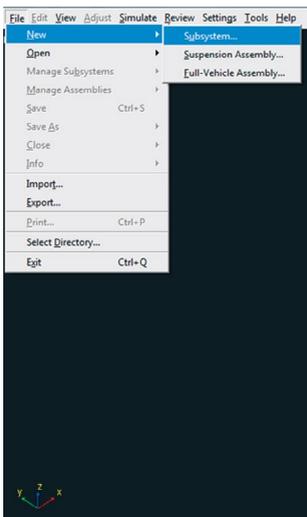


Figura 4.111 – Criando o *Subsystem*.

- Preencher os campos da janela *New Subsystem*, conforme ilustrado na Figura 4.112. Note que, como o projeto se trata de uma suspensão dianteira o campo *Minor Role*, deverá estar selecionado com a opção *front*. O nome de *subsystem* pode ser o mesmo já designado no *template*.

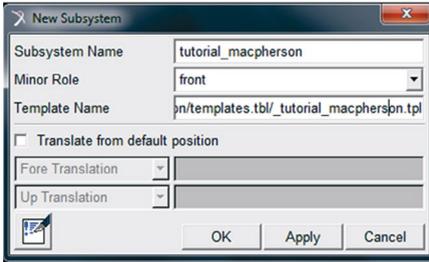


Figura 4.112 – Criação do subsistema.

Caso o *Template* esteja aberto, a janela ilustrada na Figura 4.113 será aberta. Para confirmar, clique em *Yes*.

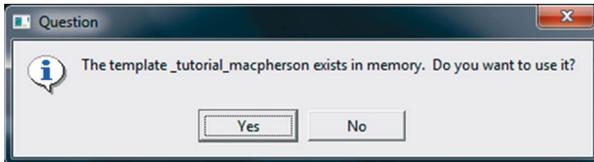


Figura 4.113 – Confirmação de utilização do *Template* em execução.

A Figura 4.114 ilustra o *Subsystem* criado.

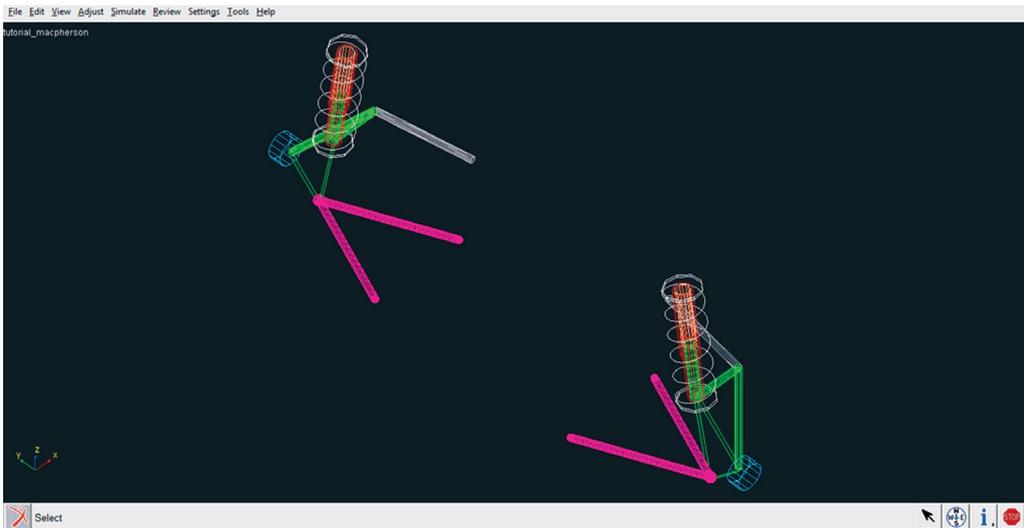


Figura 4.114 – Subsistema da suspensão.

Salve o subsistema, conforme ilustrado na Figura 4.115.

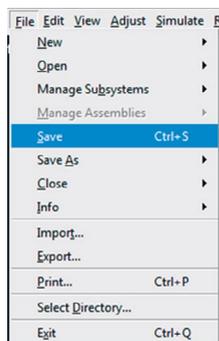


Figura 4.115 – Salvando o subsistema suspensão.

Etapa 23 – Criação do *Assembly*

Nesta etapa, será criado o *Assembly*, o qual é uma hierarquia definida após o subsistema. O *Assembly* representa uma montagem entre subsistemas e, no ADAMS/Car, pode ser escolhido entre as seguintes opções: *Suspension Assembly* ou *Full-Vehicle Assembly*. Como, neste caso, a simulação será realizada apenas com o subsistema suspensão e uma plataforma de testes, a primeira opção será escolhida.

- Ainda na tela onde foi criado o subsistema da suspensão, acesse o menu *File* → *New* → *Suspension Assembly* (Figura 4.116).

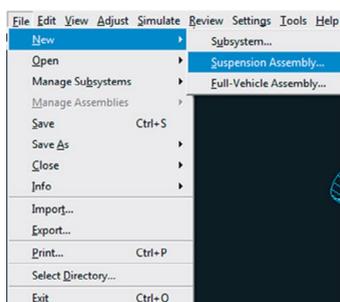


Figura 4.116 – Criando um *Assembly*.

- A Figura 4.117 ilustra o preenchimento da janela *New Suspension Assembly*. Atribua um nome ao *Assembly*, no primeiro campo, este deve ser diferente do nome atribuído ao *Subsystem*. Selecione o subsistema de interesse (segundo campo). No campo *Suspension Test Rig*, a opção *_MDI_SUSPENSION_TESTRIG* deve estar selecionada, a qual corresponde à plataforma de teste a ser utilizada nas simulações. Caso deseje incluir outros subsistemas na simulação, selecione o item *Other Subsystems*.

- Clique em OK.

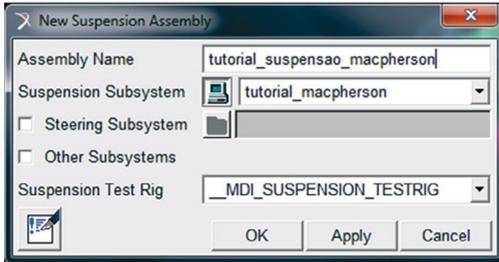


Figura 4.117 – Criação do *Assembly*.

- A janela ilustrada na Figura 4.118 será aberta, confirmando a criação do *Assembly*. Essa mesma janela poderá fornecer informação de algum erro durante a criação deste para possíveis correções no modelo.

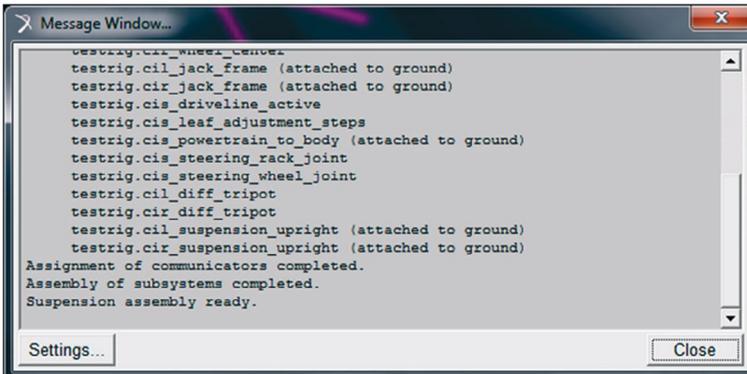


Figura 4.118 – Confirmação de criação do *Assembly*.

A Figura 4.119 ilustra o *Assembly* construído.

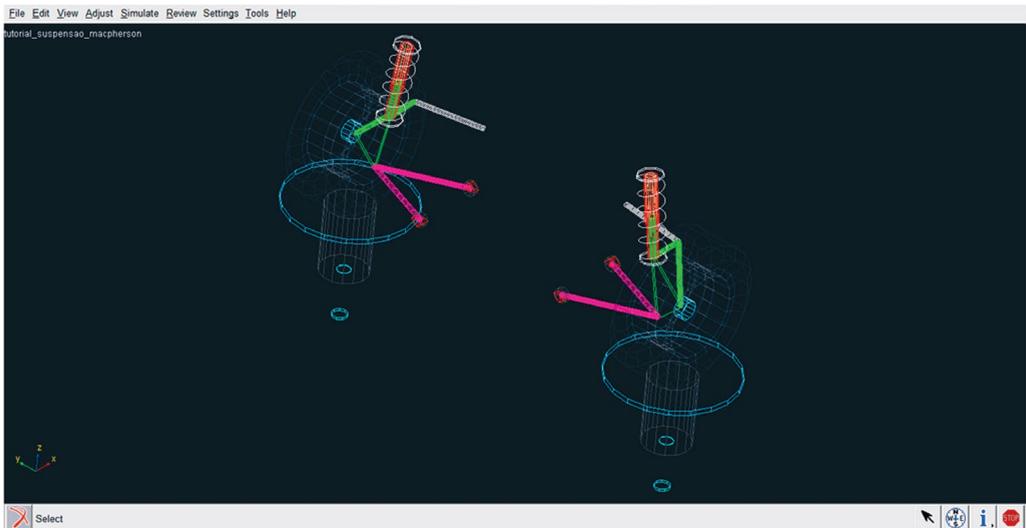


Figura 4.119 – *Assembly* construído.

Etapa 24 – Simulação

Nesta etapa, será realizada a simulação do *Assembly*.

- Primeiramente, defina o diretório para armazenar os resultados gerados na simulação. Acesse o menu *File* → *Select directory* (Figura 4.120).



Figura 4.120 – Selecionando diretório para simulações.

- Selecione o diretório de interesse (Figura 4.121).
- Clique em *OK*.

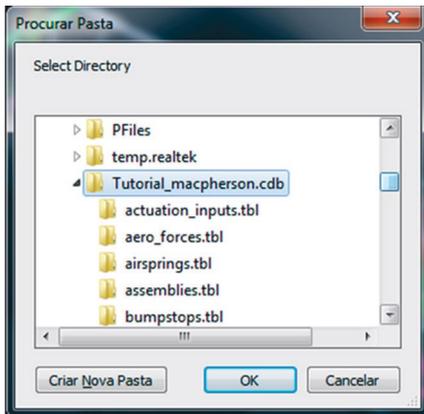


Figura 4.121 – Diretório selecionado para as simulações.

- A simulação aqui proposta corresponde a uma solicitação vertical e paralela na suspensão (*left e right*). Ela permite analisar as características da suspensão durante todo seu curso vertical. Para isso, acesse o menu *Simulate* → *Suspension Analysis* → *Parallel Wheel Travel* (Figura 4.122).

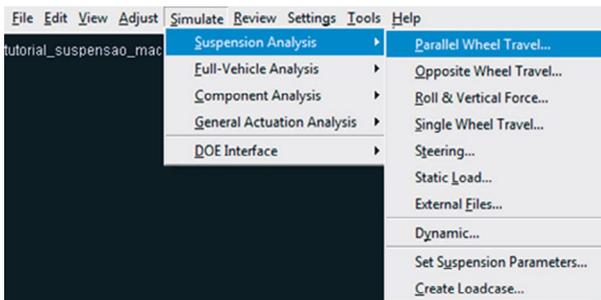


Figura 4.122 – Selecionando o tipo de simulação.

- Os parâmetros de simulação devem ser definidos na janela *Suspension Analysis: Parallel Travel*, conforme ilustrado na Figura 4.123. Note que, na simulação proposta, o percurso total corresponde a 100 mm (50 mm no sentido positivo, ou *Bump* e 50 mm no sentido negativo, *Rebound*).
- Clique em *OK*.

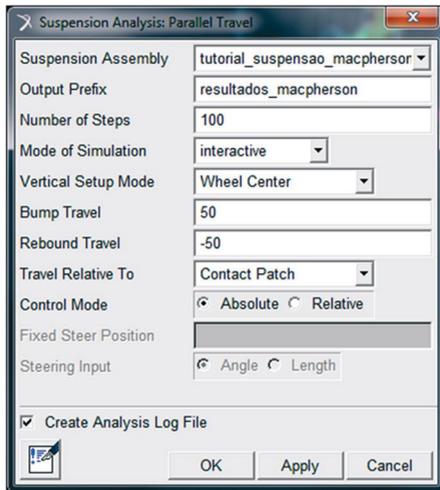


Figura 4.123 – Definindo os parâmetros de simulação.

A Figura 4.124 ilustra que a simulação foi executada.

- Clique em *Close*.

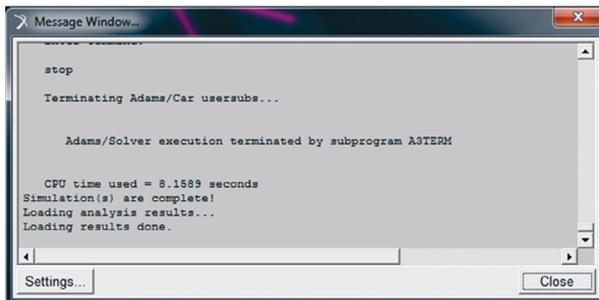


Figura 4.124 – Caixa de diálogo informando que a simulação foi executada.

Etapa 25 – Animação dos resultados

Nesta etapa, o modelo da suspensão será animado, conforme a simulação proposta.

- Acesse o menu *Review* → *Animation Controls* (Figura 4.125).

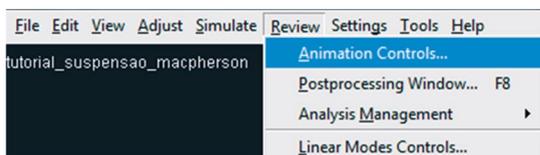


Figura 4.125 – Animando o modelo da suspensão.

- Na janela *Animation Controls*, preencha os campos, conforme ilustrado na Figura 4.126. O usuário pode definir os parâmetros de animação de acordo com sua preferência, ou seja, permitindo uma animação lenta ou rápida. Segue, como sugestão, os parâmetros descritos na Figura 4.126.
- Para inicializar a animação clique em .

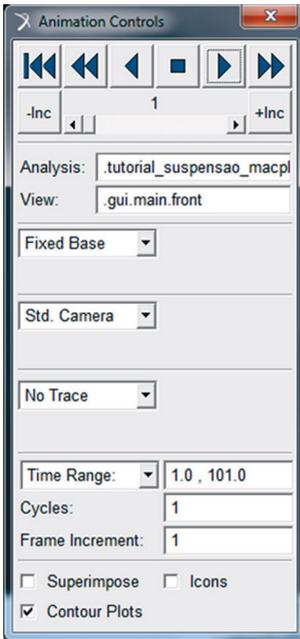


Figura 4.126 – Definição dos parâmetros de animação.

Para melhor visualização do modelo da suspensão durante a animação, o usuário pode optar pelo modo *Shaded*. Para isto, ao terminar a animação, clique com o botão direito do mouse na área de trabalho principal e selecione *Shaded <S>* (Figura 4.127).

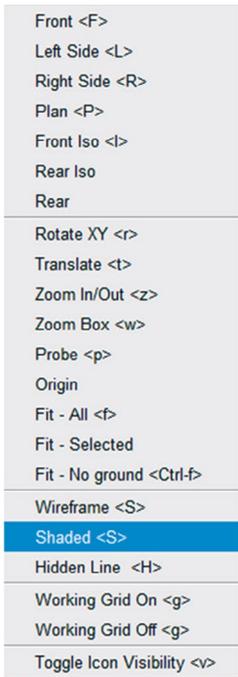


Figura 4.127 – Modo de visualização *Shaded*.

A Figura 4.128 ilustra como o modelo será apresentado na tela principal. A animação pode ser recomeçada selecionando-se o item .

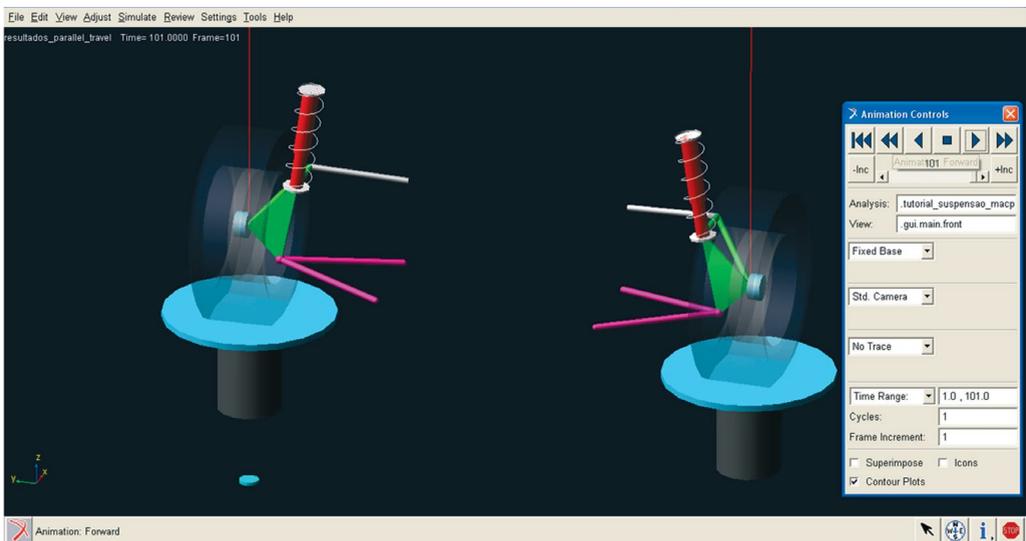


Figura 4.128 – Animação sendo executada.

Etapa 26 – Definindo sensores virtuais (*Requests*)

Nesta etapa, será possível definir a nível de exemplo sensores virtuais de medições no modelo proposto. Estes podem ser definidos na posição de interesse do usuário. No entanto, para criar esses *Requests* é necessário que o usuário retorne para o modo *Expert*.

Fica a critério do usuário explorar a ferramenta *Requests* e analisar os resultados gerados. A proposta desta etapa é apenas auxiliá-lo na utilização da ferramenta e mostrar suas potencialidades.

- Selecione a tecla F9. Isso o fará retornar à interface *Expert*.
- Acesse o menu *Build* → *Request* → *New* (Figura 4.129).

A notar: Note que, para definir os *Requests*, é necessário ter, no modelo, os *Markers* já definidos, os quais são pontos criados estrategicamente para definir o *Request*. Para definir um *Marker* o usuário de acessar o menu *Build* → *Marker* → *New*. Ex.: Cria-se dois *Markers* em pontos específicos da suspensão. Ao criar o *Request* que fornecerá deslocamento, o software solicitará a informação entre quais *Markers* o software calculará este deslocamento, e isto será delimitado pelos *Markers* existentes.

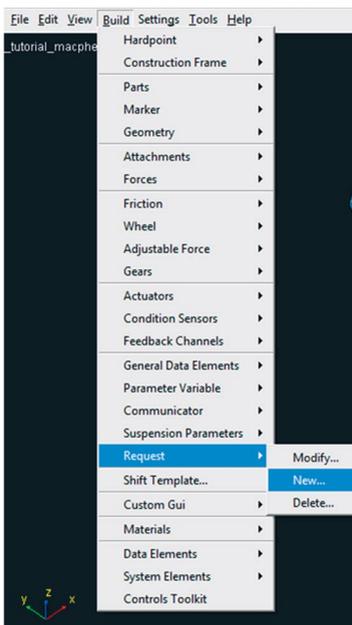


Figura 4.129 – Criando um novo *Request*.

- A janela *Create Request* será aberta, conforme ilustra a Figura 4.130. O nome do *Request* deve ser definido no primeiro campo. Para especificar o tipo de sensor (deslocamento, velocidade e aceleração, entre outros), clique no ícone , no campo disponível em branco. No caso da Figura 4.130 esse campo corresponde ao indicado por F2.

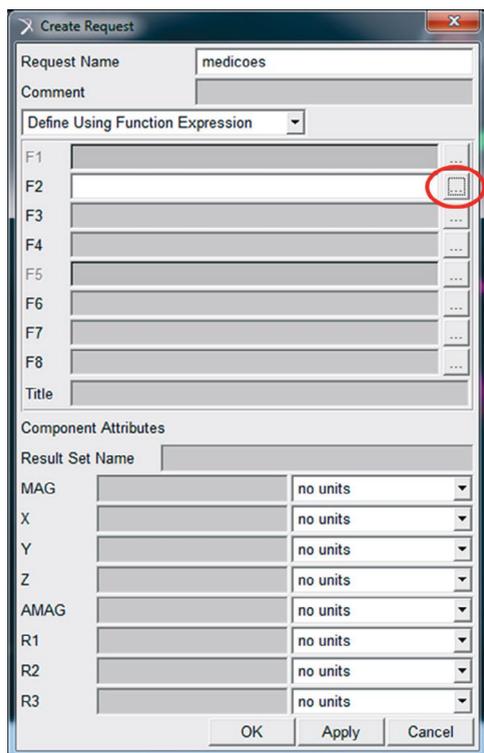


Figura 4.130 – Definindo propriedades do Request.

- A janela *Function Builder* será aberta, conforme ilustrado na Figura 4.131.
- Selecione o tipo de parâmetro a ser medido, selecionando o item desejado no campo 1, como destacado na Figura 4.131.
- Selecione o item de interesse como ilustrado no campo 2 (Figura 4.131). A seleção do item *Distance Magnitude* no campo 2 resultará na abertura da caixa de diálogo *Distance Magnitude*, na qual se define os *Markers* (Figura 4.131).
- Para inserir detalhes do *Request* especificado clique no campo 3 (Figura 4.131).

Clique em *OK*.

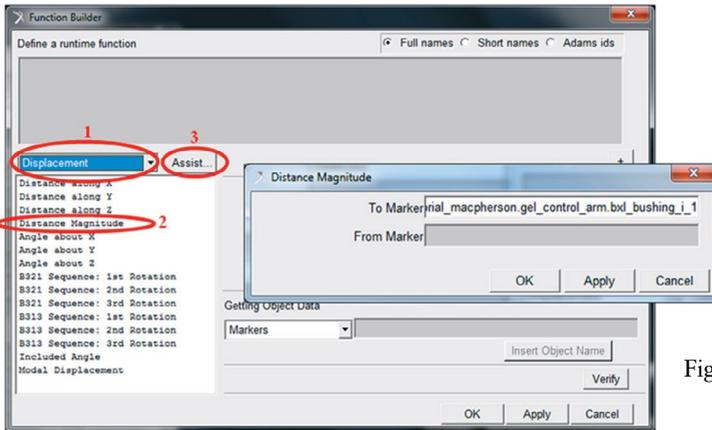


Figura 4.131 – Especificando o Request.

- Ao retornar à janela *Create Request*, informações complementares devem ser preenchidas nos campo *Component Attributes*, conforme destacado na Figura 4.132.
- Clique em *OK*.

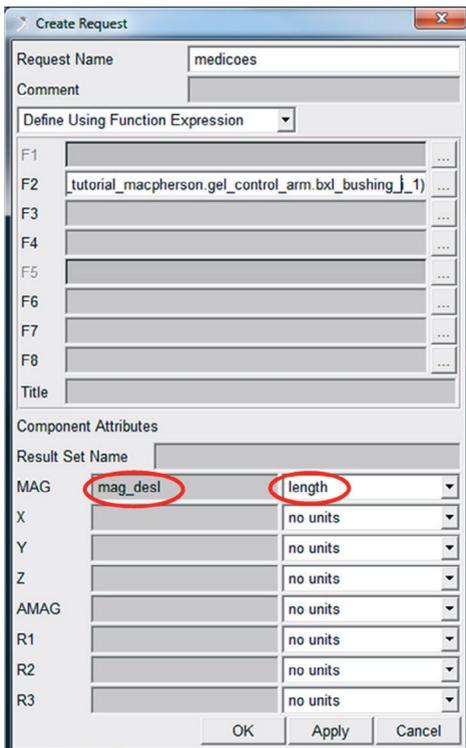


Figura 4.132 – Criação do Request.

Na próxima etapa a suspensão modelada será acoplada ao subsistema direção para que possam ser realizadas simulações.

Etapa 27 – Construção do *Assembly*: Suspensão *Macpherson*/Sistema de Direção

Esta etapa parte da premissa que o usuário possui o *Template* da suspensão (desenvolvido anteriormente) armazenado em seu banco de dados e este já se encontra aberto no software ADAMS/Car.

A partir do *Template* da suspensão criada anteriormente define-se o subsistema (*Subsystem*) “suspensão”. O *Assembly* será criado acoplando este último ao subsistema “sistema de direção” (disponível na própria biblioteca do ADAMS/Car). A Figura 4.133 ilustra a *Assembly* a ser criado a partir desta etapa.

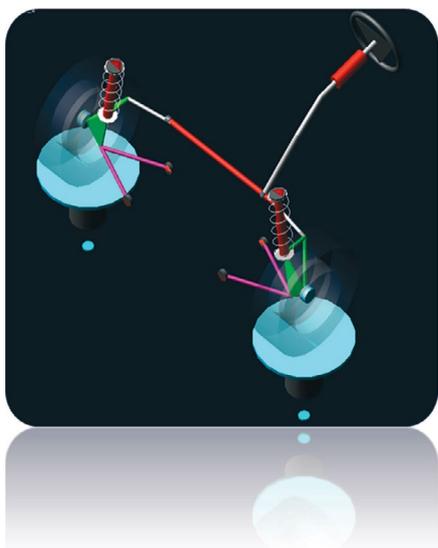


Figura 4.133 – Assembly Suspensão–Sistema de Direção.

- Para criar o *Subsystem* da suspensão verifique se o ADAMS/Car encontra-se na interface *Standard*.
- Acesse o menu *File* → *New* → *Subsystem*.
- A Figura 4.134 ilustra o preenchimento dos campos da caixa de diálogo que será aberta. No campo *Minor Role*, selecione *front*, caracterizando, portanto, uma suspensão dianteira. No campo *Template Name*, selecione o arquivo (extensão *.tpl*) correspondente à suspensão *Macpherson*, criada nos passos anteriores (finalizado na Etapa 21). Certifique-se que

a opção *Translate from default position* está selecionada. No campo *Up translation*, informe que será necessário uma translação de 50 mm para que esse *Subsystem* acople corretamente no sistema de direção.

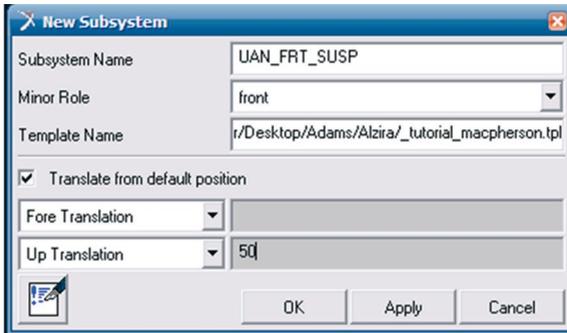


Figura 4.134 – Criando o Subsystem da suspensão.

- Para adicionar comentários sobre o subsistema a ser criado, selecione o ícone . A caixa de diálogo *Modify Comment* será aberta, conforme ilustrado na Figura 4.135, e o texto deverá ser inserido no campo *Comment Text*.

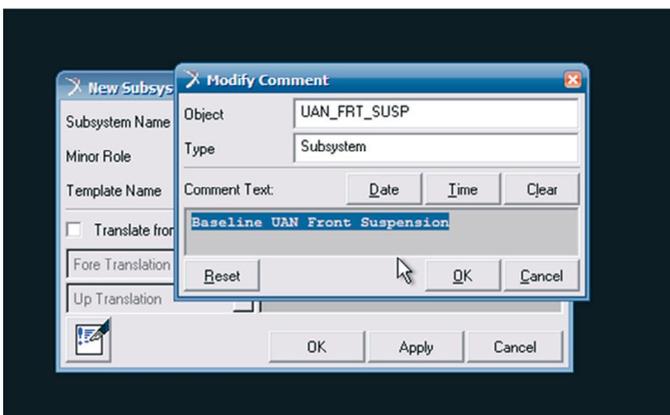


Figura 4.135 – Inserindo comentário no subsistema da suspensão.

- Selecione a opção *OK* para confirmar as informações em ambas as janelas.

A Figura 4.136 mostra o subsistema referente à suspensão Macpherson.

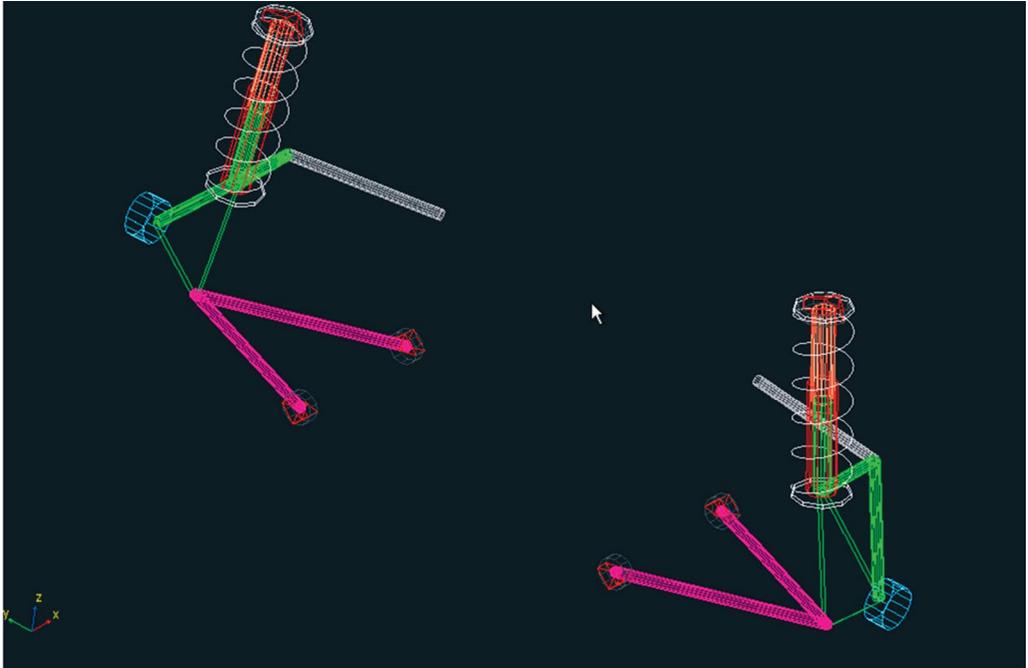


Figura 4.136 – Subsystem criado utilizando o Template da suspensão MacPherson.

- Salve o *subsystem* criado em *File* → *Save*.
- Para construção do *Assembly*, acesse o menu *File* → *New* → *Suspension Assembly*.
- Preencha os campos da caixa de diálogo *New Suspension Assembly* conforme ilustrado na Figura 4.137. No campo *Suspension Subsystem*, selecione o subsistema correspondente à suspensão *Macpherson* definido nos passos anteriores. Selecione o item *Steering Subsystem*, e então defina o arquivo *.tbl* (extensão utilizada para o *subsystem*) de interesse. Como será utilizado um *subsystem* da biblioteca da ADAMS/Car, para selecioná-lo, clique com o botão direito do mouse no campo em amarelo, selecione a opção *Search* e então selecione *<acar_shared>/subsystems.tbl*. Selecione o subsistema denominado *MDI_FRONT_STEERING.sub*.

A Figura 4.138 ilustra a aparência final da caixa de diálogo *New Suspension Assembly* para criação do *Assembly*.

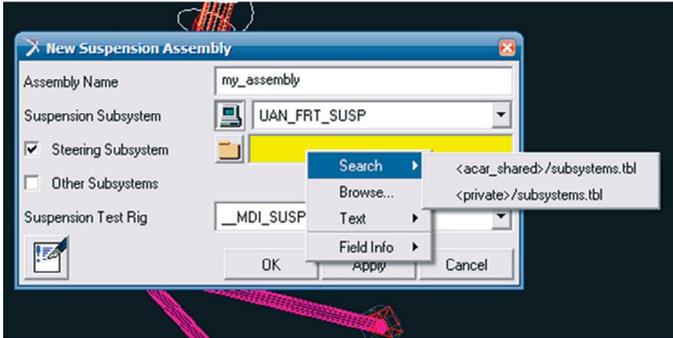


Figura 4.137 – Definindo o *Assembly*.

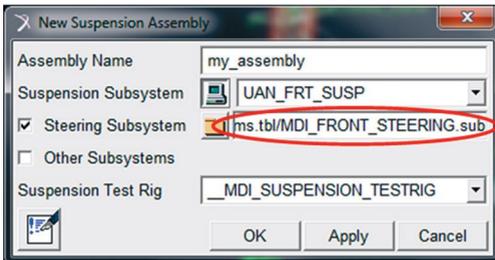


Figura 4.138 – Definição do *Assembly*.

- Clique em *OK*.

A Figura 4.139 ilustra a construção do *Assembly*.

- Clique em *Close* após verificar que o *Assembly* foi gerado com sucesso. Salve o *Assembly* criado.

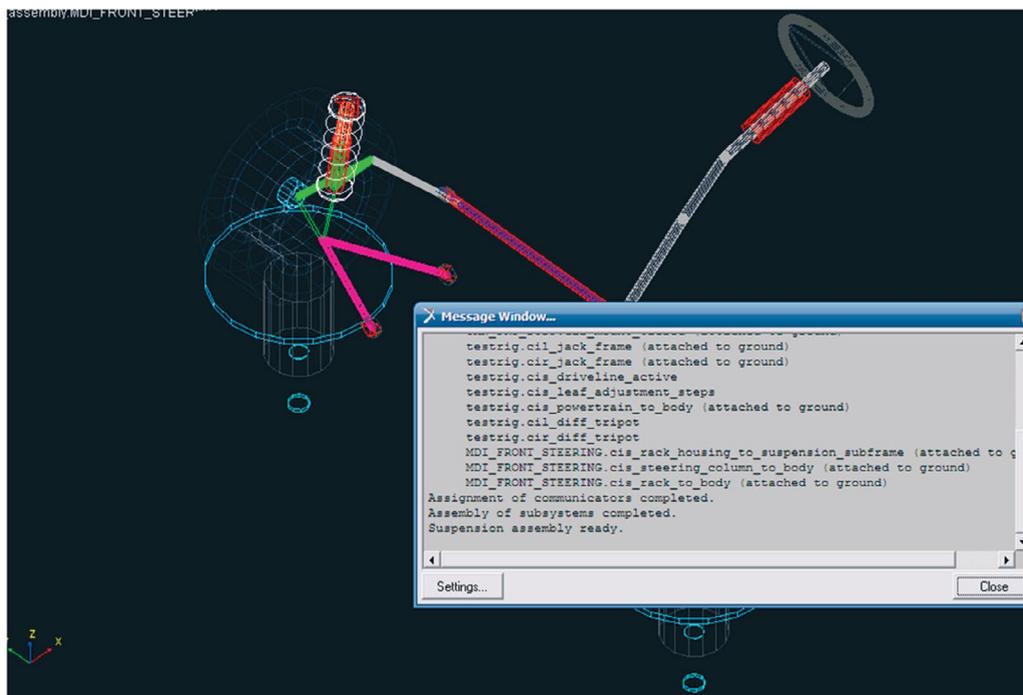


Figura 4.139 – Geração do *Assembly* na interface principal do software.

Etapa 28 – Simulação do *Assembly*: suspensão *Macpherson*/sistema de direção

Nesta etapa será realizada uma análise do tipo *Parallel Wheel Travel* (curso paralelo das rodas) no *Assembly* gerado na Etapa 27. Para gerar a simulação são necessárias informações sobre o veículo no qual serão utilizados os subsistemas suspensão e sistema de direção.

- Para definir os parâmetros do veículo, os quais são necessários para a simulação, acesse o menu *Simulate* → *Suspension Analyses* → *Set Suspension Parameters*. A janela *Suspension Analysis: Setup Parameters* será aberta e deverá ter seus campos preenchidos conforme ilustrado na Figura 4.140.

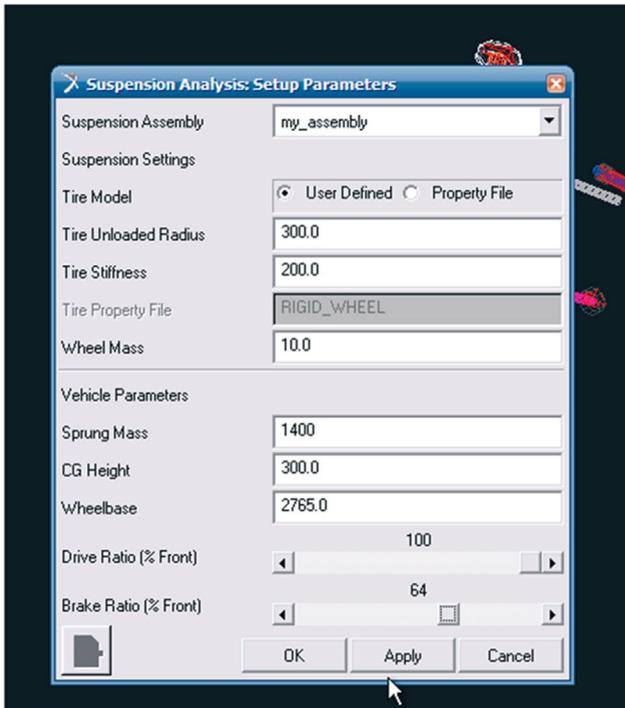


Figura 4.140 – Definindo os parâmetros da suspensão para simulação.

Observa-se na Figura 4.140 que o campo *Drive Ratio* possui valor igual a 100, ou seja, toda a força motriz está aplicada nas rodas dianteiras. Já o campo *Brake Ratio* indica a força de frenagem aplicada nos freios dianteiros.

- Clique em OK.
- Para definir os parâmetros da simulação, acesse o menu *Simulate* → *Suspension Analyses* → *Parallel Wheel Travel* (Figura 4.141). Nessa simulação, o centro das rodas se irão se movimentar de -100 mm a $+100$ mm em relação à sua posição inicial, mantendo, portanto, o volante fixo.

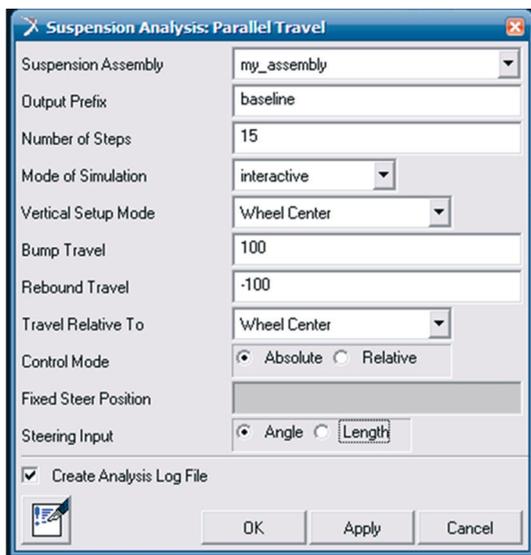


Figura 4.141 – Definindo os parâmetros da simulação.

- Selecione o ícone  para adicionar comentários.
- No campo *Comment Text*, insira o texto: *Baseline Parallel Wheel Travel Analysis*, o qual indica que o teste está sendo realizada com a suspensão padrão (*Baseline*), conforme ilustra a Figura 4.142.

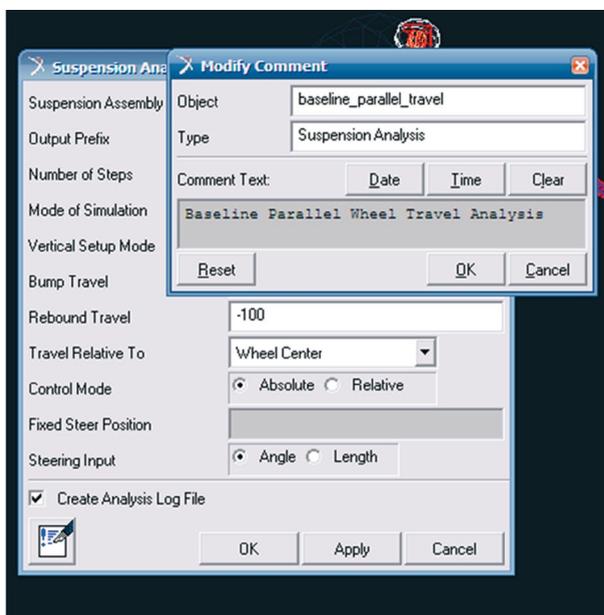


Figura 4.142 – Adicionando comentário à simulação.

- Clique em OK em ambas as janelas.
- A Figura 4.143 ilustra a condição da simulação realizada.

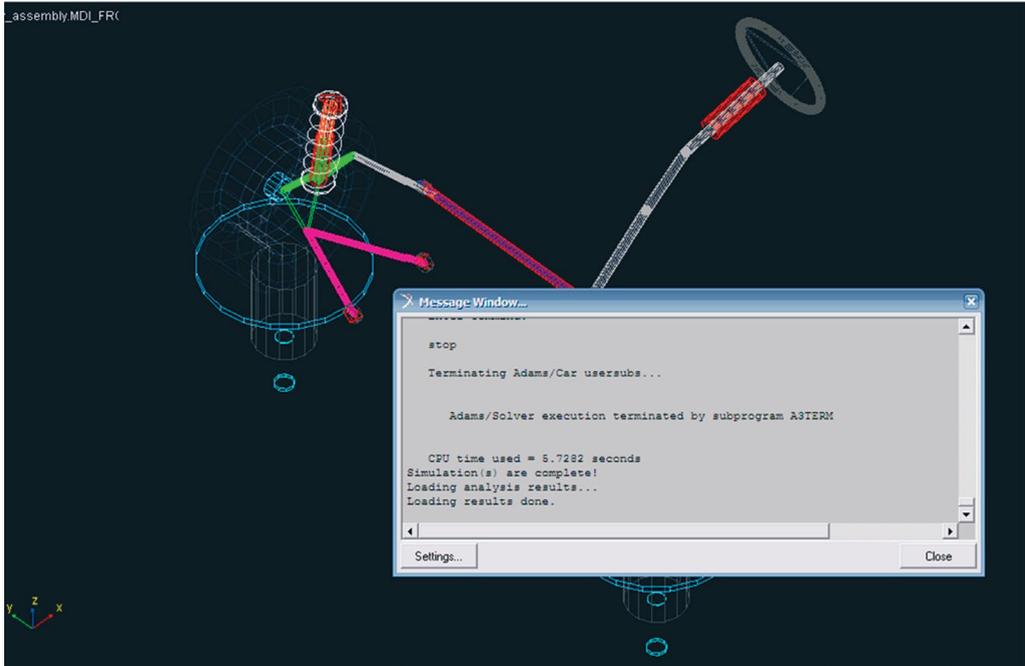


Figura 4.143 – Simulação realizada.

Caso a simulação tenha sido executada sem erros, clique na opção *Close*.

Etapa 29 – Animação dos resultados – *Assembly* suspensão *Macpherson*/ sistema de direção

Nesta etapa, os resultados obtidos na etapa 28 serão animados, facilitando sua compreensão.

- Acesse o menu *Review* → *Animations Controls*.
- Preencha os campos da janela *Animation Controls*, conforme ilustrado na Figura 4.144.
- Selecione o ícone *Play* .
- Após a animação completa, feche a caixa de diálogo.

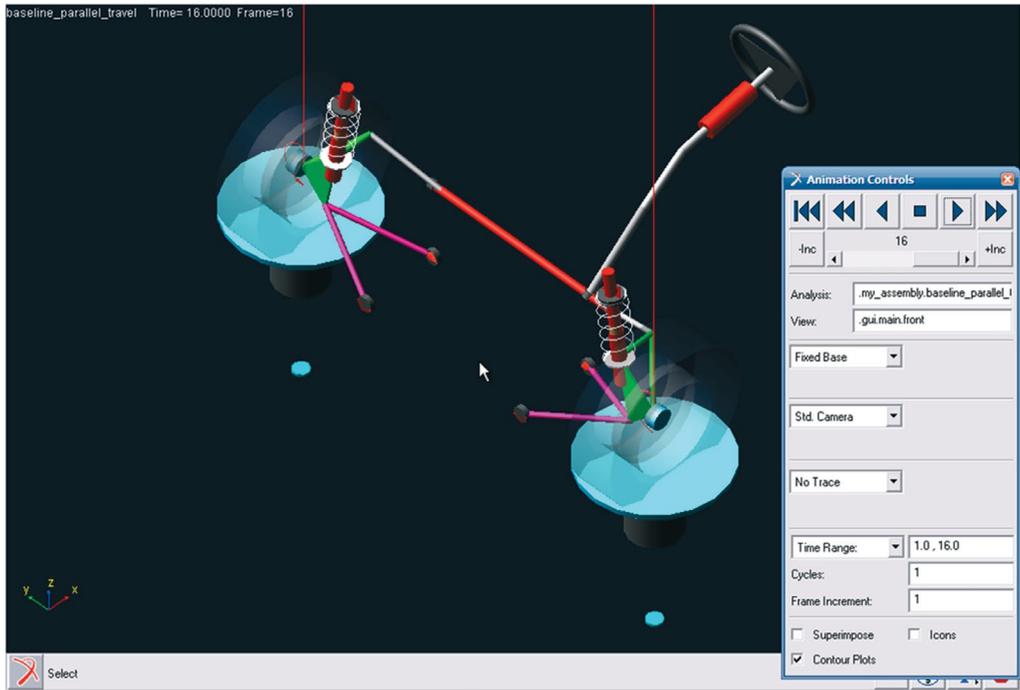


Figura 4.144 – Painel de controle das animações.

Etapa 30 – Verificando os resultados (*Plotting*)

Nesta etapa, os resultados serão gerados em forma de gráficos, facilitando assim sua análise.

- Menu *Review* → *Postprocessing Window*. Caso deseje, o usuário poderá utilizar o atalho correspondente à tecla F8 do teclado. A Figura 4.145 ilustra a interface *PostProcessing*.

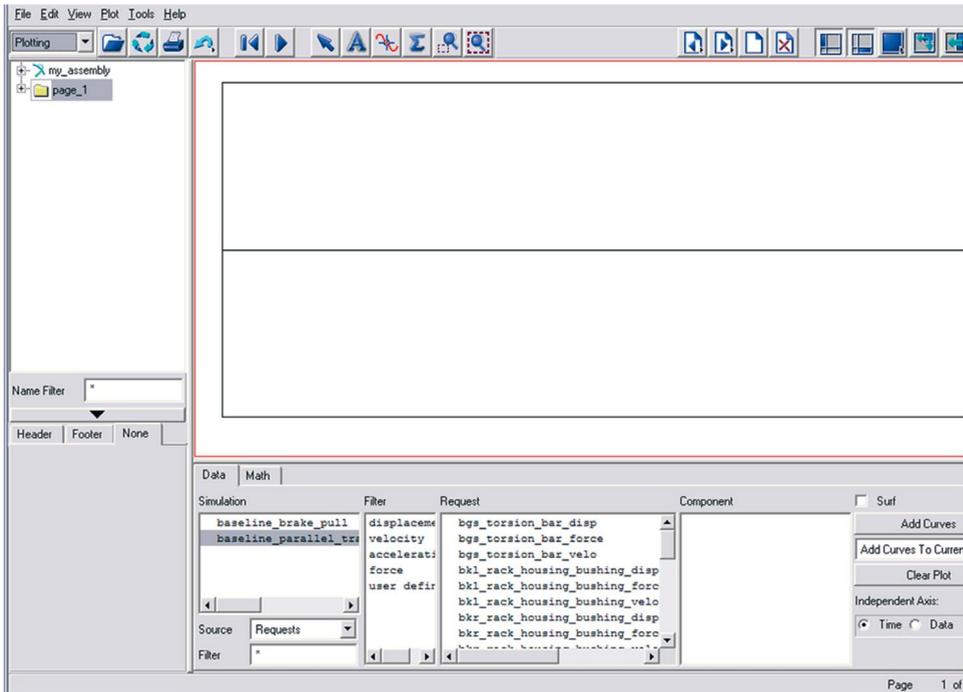


Figura 4.145 – Interface *PostProcessing*.

Para criar os gráficos, acesse o menu *Plot* → *Create Plot* (Figura 4.146).

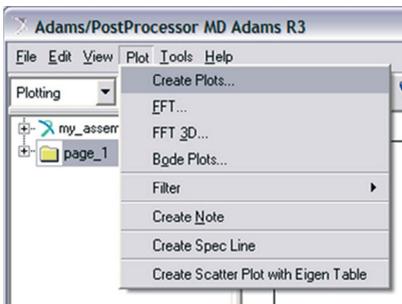


Figura 4.146 – Gerando gráficos.

A janela *File Import* será aberta.

- Selecione o tipo de arquivo: *Plot Configuration (*.plt)*.
- O arquivo com a configuração desejada dos resultados deve ser selecionado no campo *Plot Configuration File*. Para isto, clique com o botão direito do mouse sobre esse campo, e selecione a opção mostrada na Figura 4.147.

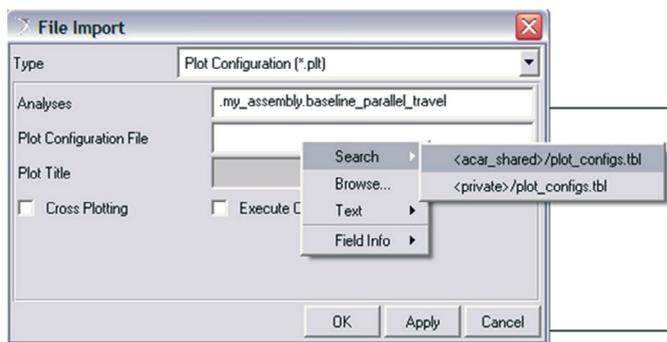


Figura 4.147 – Importando arquivos de configuração dos gráficos.

- Na biblioteca do ADAMS/Car já existem diversas opções disponíveis de configurações de gráficos. Nesse caso, como estamos interessados nos resultados do *Assembly* suspensão/sistema de direção, ou seja, de uma suspensão com esterçamento, selecione a opção *mdi_suspension_short.plt* (Figura 4.148).

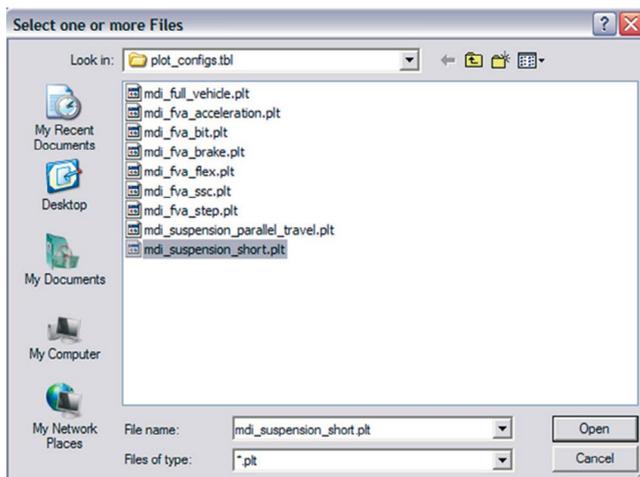


Figura 4.148 – Definindo o arquivo de configuração dos gráficos.

O arquivo *mdi_suspension_short.plt* gera, automaticamente, nove gráficos, sendo eles: *anti dive*, *camber angle*, *caster moment arm*, *roll camber coefficient*, *roll center height*, *roll steer*, *scrub radius*, *toe angle* e *wheel rate*.

A Figura 4.149 ilustra a janela *File Import*, após preenchimento dos campos necessários.

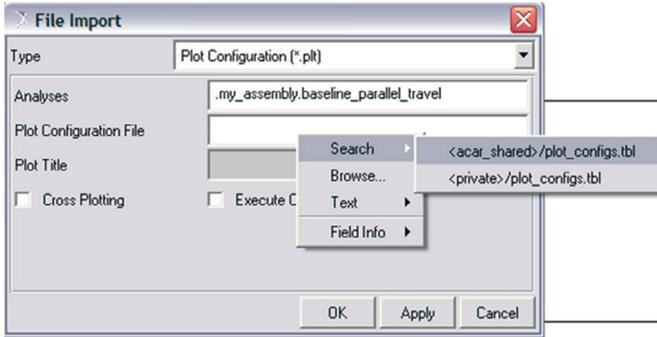


Figura 4.149 – Configuração dos gráficos definidos.

- Clique em OK.
- Para alternar entre os gráficos obtidos, selecione os ícones .

Como exemplo, o sétimo gráfico gerado corresponde ao parâmetro *Scrub Radius* (eixo vertical) em função do curso da roda (eixo horizontal), como pode ser observado na Figura 4.150.

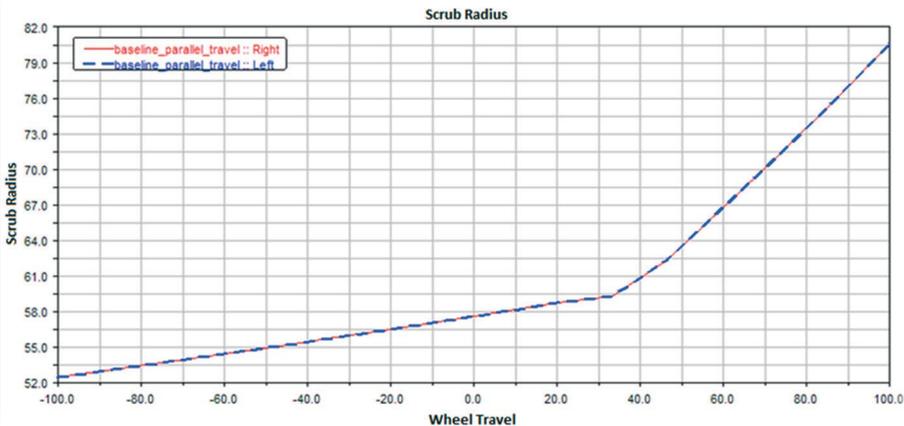
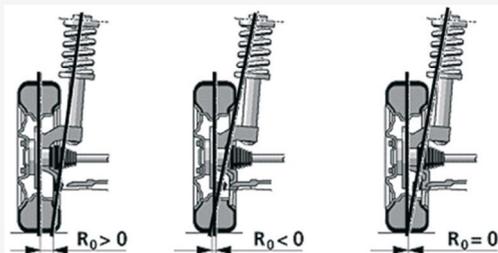


Figura 4.150 – Gráfico *Scrub Radius* x *Wheel Travel*.

A notar: O raio de deslizamento do pneu, ou *Scrub Radius* (R_0), é a distância, medida no plano frontal do veículo, entre o eixo king pin e a linha de contato do pneu com o solo.



Scrub Radius.

Fonte: BEISSBARTH. Disponível em: <<http://www.beissbarth.com/tryit/index.php?ID=6&SUB1=13&SUB2=29&LG=E&CS=3>>. Acesso em: 22/04/2013

Nas suspensões mais antigas, era usado o raio positivo, pois os sistemas de direção não eram assistidos hidráulicamente e o esforço em manobras com o veículo parado era menor com essa configuração, pois exigia que o pneu, ao ser esterçado, rodasse em seu próprio eixo. Assim, a roda de fora da curva se movimenta para frente e a de dentro, se movimenta para trás. Nessa configuração, as rodas podem apresentar shimmying com maior frequência. Se o raio for pequeno, o esforço nas manobras com veículo parado será maior. Por outro lado, o motorista sentirá menos as reações das frenagens em linha reta. A utilização desse raio nulo tende a deixar o veículo instável com o veículo em movimento executando curvas. Na prática, costumam-se utilizar valores negativos para veículos de tração na dianteira ou nos dois eixos e valores positivos quando a tração do veículo é traseira.

Caso deseje apagar algum gráfico(s), selecione-o na árvore de diretórios – *treeview* (à esquerda da tela), conforme ilustrado na Figura 4.151. Recomenda-se apagar individualmente cada gráfico. O atalho *Ctrl+X* também pode ser usado para executar a ação de excluir o gráfico.

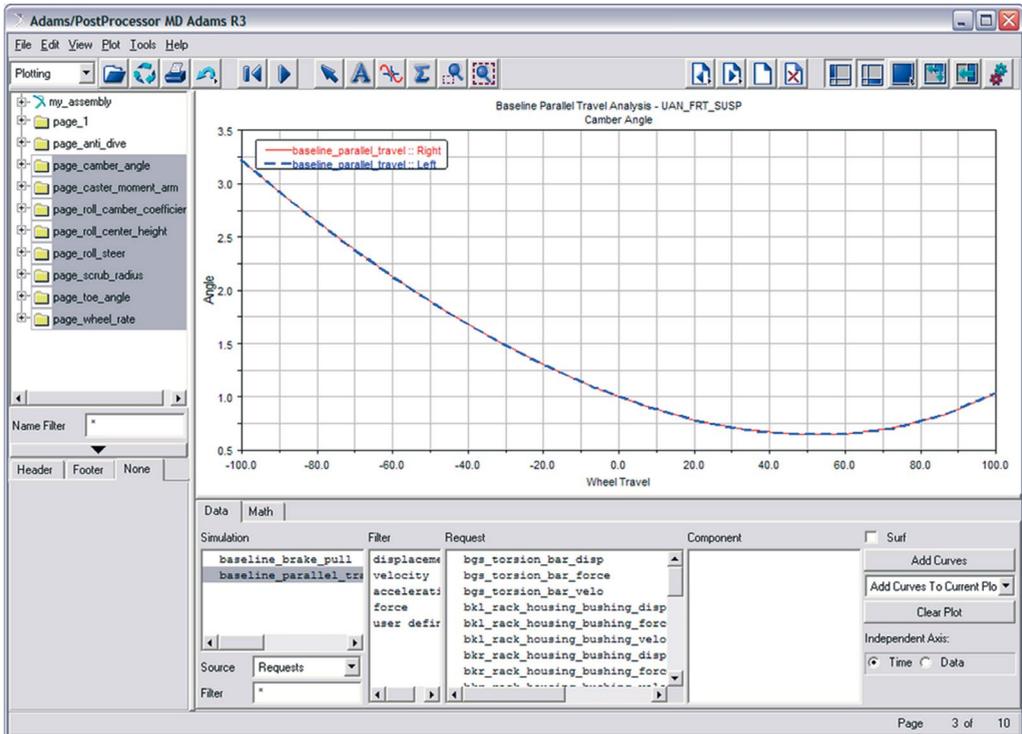


Figura 4.151 – Selecionando gráficos para serem apagados.

- Acesse o menu *Edit* → *Delete* (Figura 4.152).

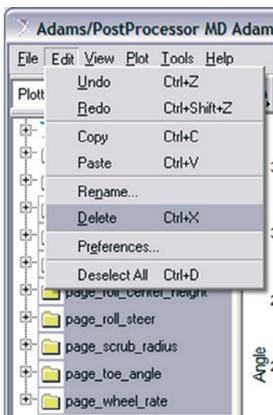


Figura 4.152 – Excluindo gráficos.

- Para sair da interface *PostProcessing*, pressione a tecla F8 ou acesse o menu *File* → *Close Plot Window*.

Etapa 31 – Executando uma Análise do tipo *Pull*

A simulação do tipo *Pull* possibilita analisar o comportamento da suspensão quando se gira o volante (*steering wheel*) do sistema em estudo.

Da análise realizada na etapa anterior, tem-se informação suficiente para calcular o torque aproximado no eixo de direção, utilizando-se, portanto, a diferença das forças de frenagem (direita e esquerda) e o raio de deslizamento (*Scrub Radius*).

Utilizando esses resultados e ainda tendo disponível a geometria do sistema de direção, pode-se calcular o torque necessário aplicado ao volante para que as rodas se mantenham alinhadas (sigam um percurso reto).

Esses cálculos serão realizados a partir desta etapa. Para isso se utilizará uma análise do tipo *Pull* e, para tanto, é necessário primeiramente definir um *Loadcase File* no qual serão definidos os parâmetros da simulação.

- Acesse o menu *Simulate* → *Suspension Analysis* → *Create Loadcase* (Figura 4.153).

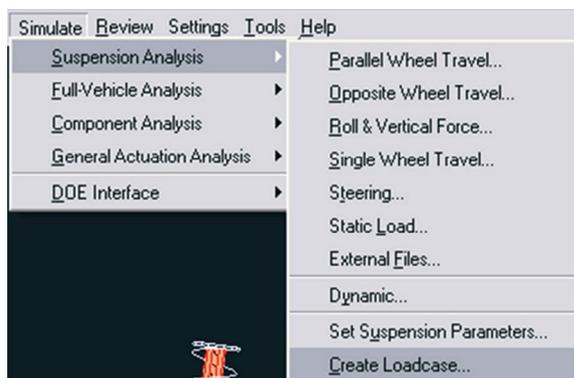


Figura 4.153 – Criando o arquivo *Loadcase*.

A Figura 4.154 ilustra o preenchimento dos campos da janela *Generate Loadcase File*. Primeiramente, defina o tipo de *Loadcase*, nesse caso, *Static Load*.

Note que os campos preenchidos nesse arquivo correspondem a informações de frenagem (*Braking Force*) e o ângulo de esterçamento do volante (*Steer Lower Limit*).

A força de frenagem será considerada desigual para ambas as rodas, simulando, portanto, superfícies de rodagem com diferentes coeficientes de atrito.

A notar: Esse tipo de superfície de rodagem recebe a denominação split- μ .



Superfície split- μ .

Fonte: dSPACE. Disponível em:

<<http://www.dspaceinc.com/en/incl/home/products/sw/expsoft/modesk.cfm>>. Acesso em:22/04/2013

Para calcular as forças de frenagem assume-se que o veículo está freando a uma taxa de 0,5 g's de desaceleração, considerando uma razão de frenagem de 64% na dianteira e 36% na traseira. Considere a massa do veículo igual a 1400 kg. A força de frenagem dianteira se divide em 55% para o lado esquerdo e 45% para o lado direito. Dessa maneira a força total de frenagem dianteira (F_{br}) é calculada da seguinte forma:

$$F_{br} = 1400 \text{ kg} \cdot 0,5 \text{ g} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,64 = 4395 \text{ N}$$

Ainda para a força de frenagem dianteira, tem-se:

Força de frenagem dianteira esquerda: $0,55 \times 4395 \text{ N} = 2417 \text{ N}$

Força de frenagem dianteira direita: $4395 \text{ N} - 2417 \text{ N} = 1978 \text{ N}$

Observe que o ângulo de esterçamento do volante varia entre -180° e 180° (Figura 4.154). Define-se o número de *steps* igual a 15 e o nome do arquivo como *brake_pull* (Figura 4.154).

Dessa maneira, o ADAMS/Car irá gerar os parâmetros de simulação no intervalo de -180° a $+180^\circ$ (em 15 intervalos igualmente espaçados) e mantendo a força de frenagem constante (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Arquivo *Loadcase* da análise do tipo *Pull*

Ângulo de esterçamento do volante	Força de frenagem esquerda	Força de frenagem direita
-180	2417	1978
-156	2417	1978
-132	2417	1978
-108	2417	1978
-84	2417	1978
-60	2417	1978
-36	2417	1978

Ângulo de esterçamento do volante	Força de frenagem esquerda	Força de frenagem direita
-12	2417	1978
12	2417	1978
36	2417	1978
60	2417	1978
84	2417	1978
108	2417	1978
132	2417	1978
156	2417	1978
180	2417	1978

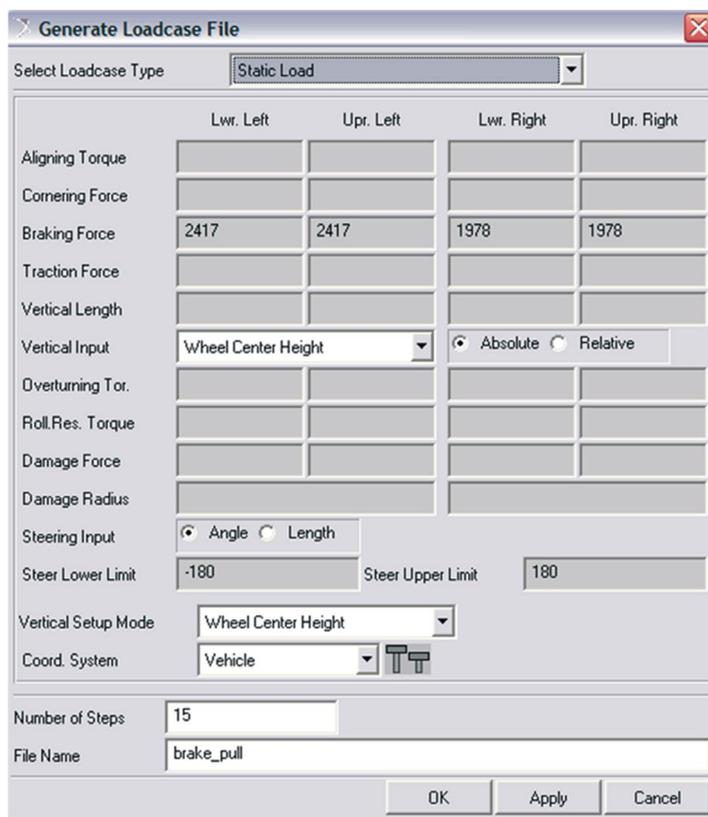


Figura 4.154 – Definição dos parâmetros do *Loadcase File*.

- Clique em *OK*.

Uma vez definido o *Loadcase File*, o próximo passo corresponde a executar a simulação.

- Acesse o menu *Simulate* → *Suspension Analysis* → *External Files* (Figura 4.155).

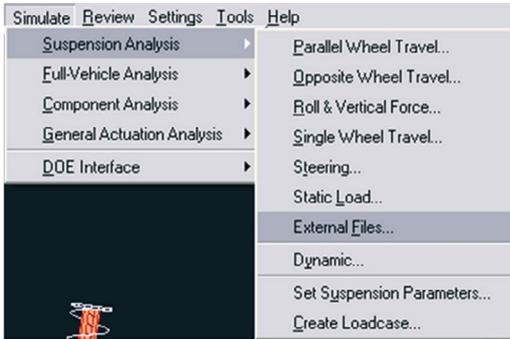


Figura 4.155 – Definindo a análise.

- A Figura 4.156 ilustra o preenchimento dos campos da janela *Suspension Analysis: External Files*. Para selecionar o arquivo *Loadcase* criado anteriormente, clique com o botão direito do mouse no campo em branco (conforme indicado na Figura 4.156).

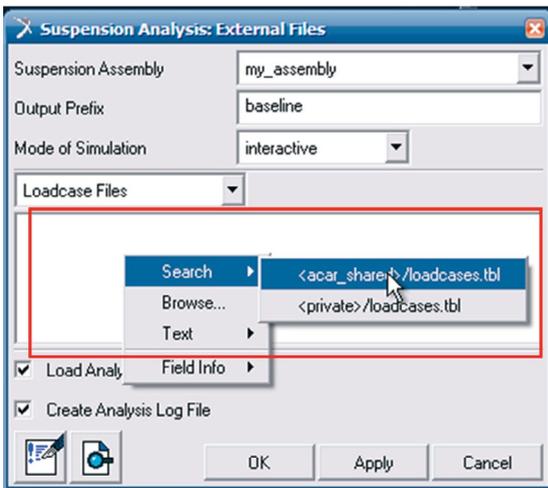


Figura 4.156 – Definindo os parâmetros da análise.

No diretório *<acar_shared>* selecione o arquivo *brake_pull* (Figura 4.157).

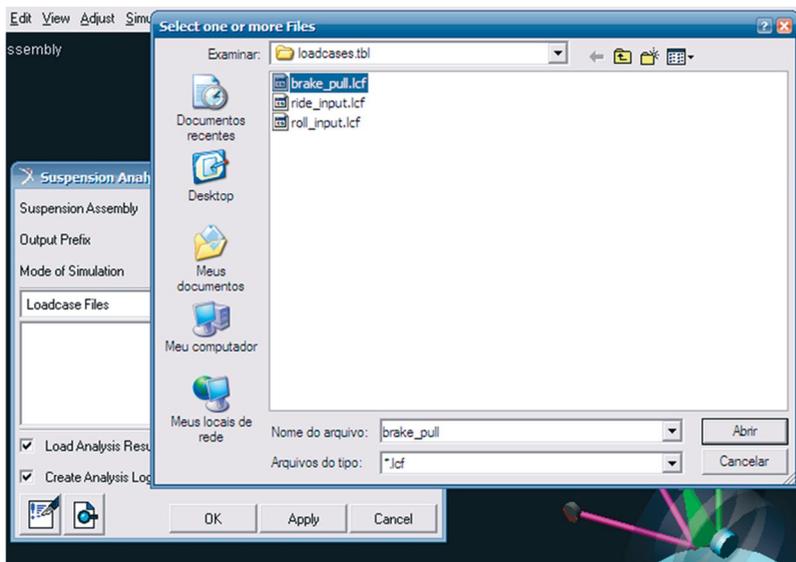


Figura 4.157 – Selecionando o *Loadcase File*.

Após selecionar o *Loadcase File* atente-se para selecionar os campos indicados na Figura 4.158.

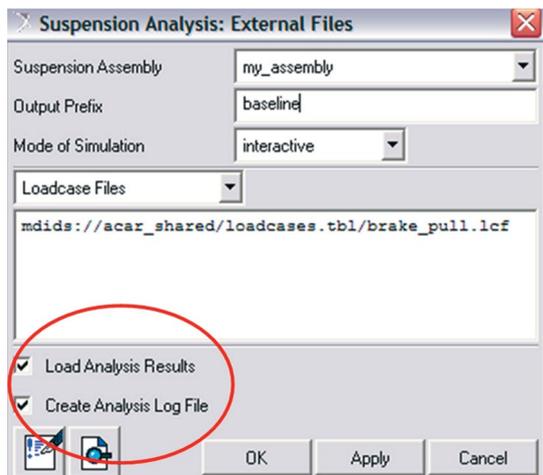


Figura 4.158 – Finalizando definição dos parâmetros da simulação.

- Clique em OK.

A caixa de diálogo mostrada na Figura 4.159 será exibida caso a simulação tenha sido executada corretamente.

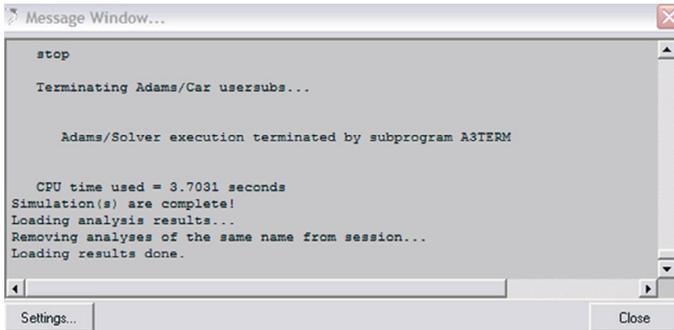


Figura 4.159 – Simulação executada corretamente.

- Clique em *Close*.

Etapa 32 – Animando os resultados da Análise tipo *Pull*

Nesta etapa os resultados obtidos na análise tipo *Pull* serão animados.

- Acesse o menu *Review* → *Animations Controls* (Figura 4.160).

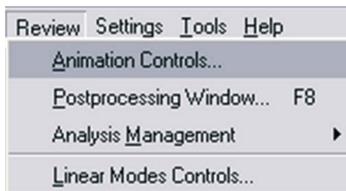


Figura 4.160 – Animando os resultados.

- Na janela *Animation Controls* (Figura 4.161), selecione o ícone *Play* para iniciar a animação.

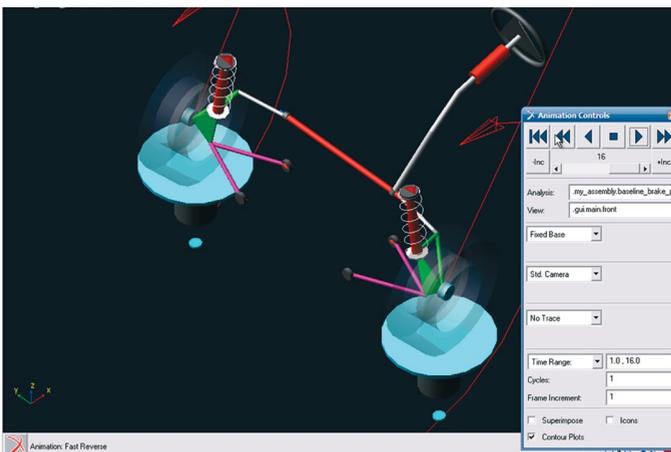


Figura 4.161 – Tela principal da animação.

Observe, na animação, que as rodas se movem de acordo com a movimentação (giro) do volante. Perceba que não há movimento na direção vertical.

Etapa 33 – Gerando os resultados da Análise tipo Pull

Nesta etapa serão gerados os gráficos para análise dos resultados.

Para este tipo de análise as configurações gráficas não estão predefinidas conforme análise da etapa 30. Portanto, essas configurações precisarão ser definidas manualmente.

O primeiro gráfico a ser construído é: *Steering Wheel Torque x Steering Wheel Angle*.

- Primeiramente, alterne para a interface do ADAMS/PostProcessor. Para isso, acesse o menu *Review* → *Postprocessing Window*, ou pelo atalho, utilizando a tecla F8.
- Com o mouse, dê um duplo clique em *Page_1* (lado esquerdo da tela, conforme indicado na Figura 4.162).
- Selecione o item *plot_1*.
- Certifique-se de que as opções *Auto Title* e *Auto Subtitle* estão desmarcadas. (conforme indicado na Figura 4.162).
- No campo *Title*, preencha com: *Brake Pull Analysis*.
- No campo *Subtitle*, preencha com: *Steering Wheel Torque vs Steering Wheel Angle*.

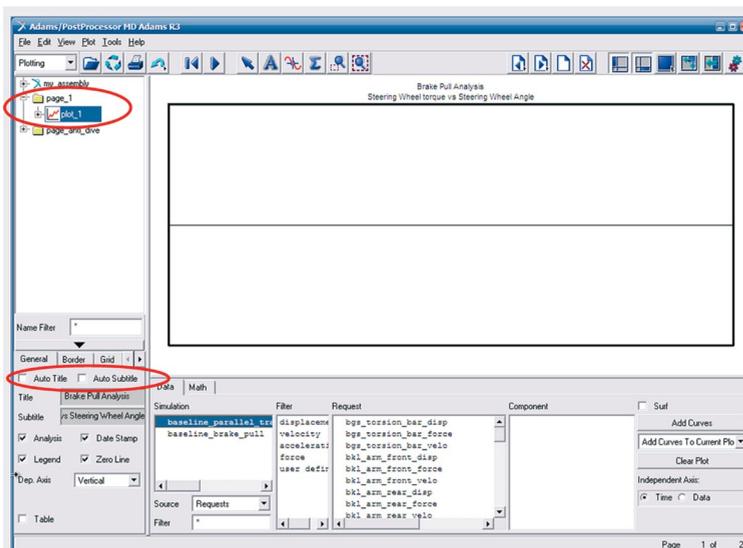


Figura 4.162 – Definindo a área gráfica.

- Clique com o botão direito do mouse, na área denominada *Treeview*. Selecione *Type Filter* → *Plotting* → *Axes* (Figura 4.163).

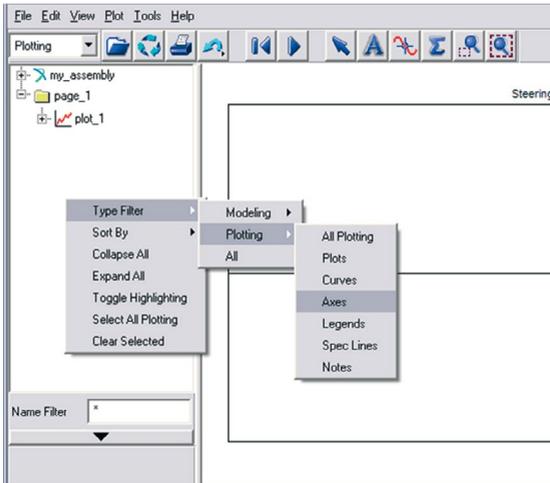


Figura 4.163 – Definindo os eixos do gráfico.

- Na área *Treeview*, selecione o item *plot_1* com um duplo clique do mouse. Selecione o item *haxis*, conforme indicado na Figura 4.164.



Figura 4.164 – Selecionando o eixo haxis.

- Para configurar o eixo horizontal do gráfico, selecione a aba *Labels*, conforme ilustra a Figura 4.165. No campo denominado *Label*, insira o texto: *Steering Wheel Angle [degrees]*.

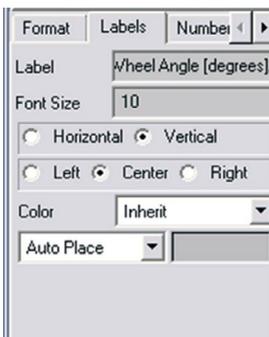


Figura 4.165 – Personalizando o eixo vertical.

- Retornando à área *Treeview*, selecione o item *vaxis* para configurar o eixo vertical do gráfico (Figura 4.166).



Figura 4.166 – Selecionando o eixo *vaxis*.

- Selecione a aba *Labels*, e insira o texto “*Steering Wheel Torque [Nmm]*” no campo *Label* (Figura 4.167).



Figura 4.167 – Personalizando o eixo vertical.

- Após editar os eixos do gráfico, verifique se a opção *Requests* no campo *Source* está selecionada (Figura 4.168). O ADAMS/Car automaticamente disponibiliza os dados disponíveis no campo *Request*.

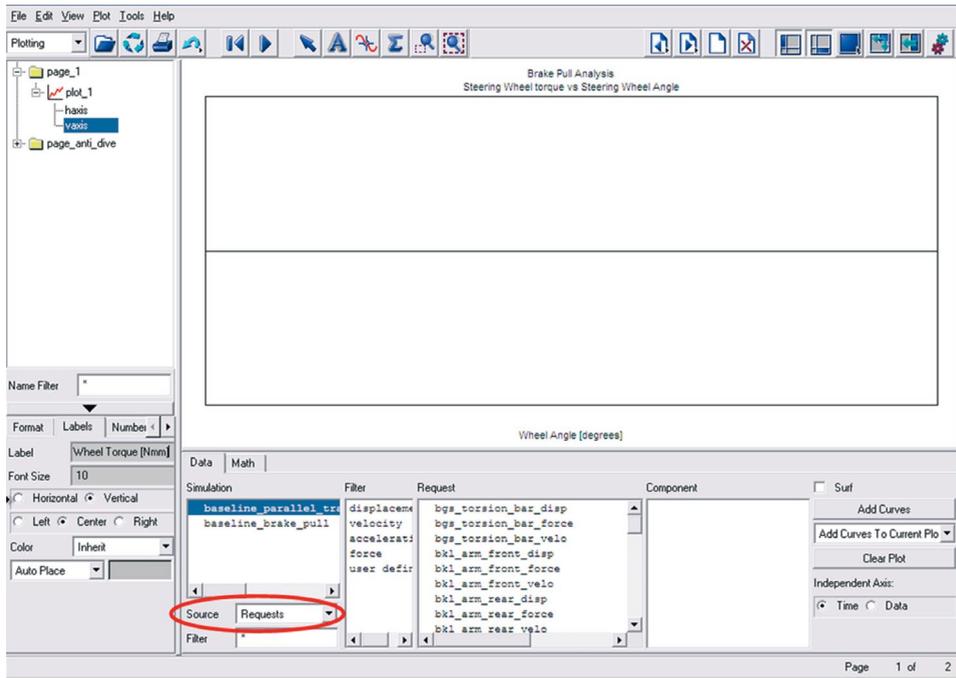


Figura 4.168 – Dados disponíveis para construção do gráfico.

- Selecione a simulação de interesse no campo *Simulation* (neste caso, *brake_pull*), conforme ilustra a Figura 4.169.
- No campo *Independent Axis*, selecione a opção *Data* (Figura 4.169).

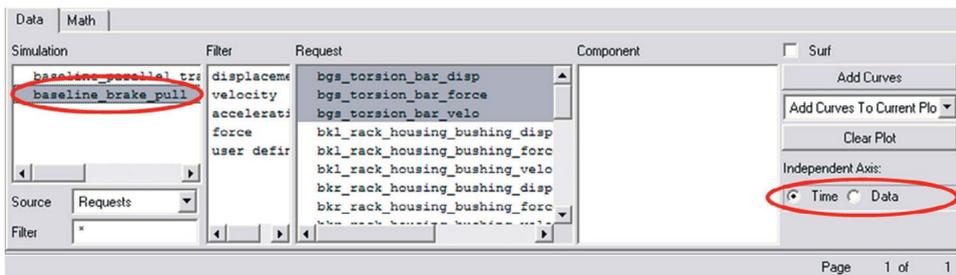


Figura 4.169 – Selecionando a simulação e definindo o eixo horizontal.

- Uma caixa de diálogos será aberta. O seguinte procedimento deverá ser seguido: no campo *Filter*, selecione a opção *user defined*; no campo *Request*, selecione *steering_displacements* (selecione a barra de rolagem

à direita para ver essa opção); no campo *Component*, selecione *angle_front*. Clique em OK. A Figura 4.170 ilustra o procedimento descrito.

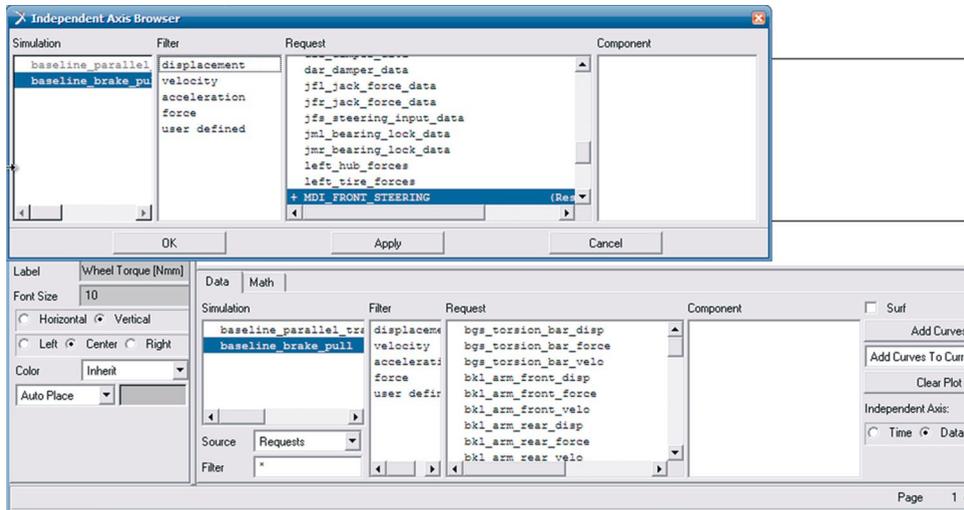


Figura 4.170 – Caixa de diálogo do eixo vertical.

- Uma vez definido o parâmetro (variável) do eixo horizontal (ou eixo independente), também será necessário atribuir uma variável ao eixo vertical. Para isso, no campo *Filter*, selecione a opção *user defined*; no campo *Request*, selecione a opção *steering_wheel_input*; no campo *Component*, selecione a opção *steering_wheel_input_torque* (Figura 4.171).
- Selecione a opção *Add Curves* (Figura 4.171).

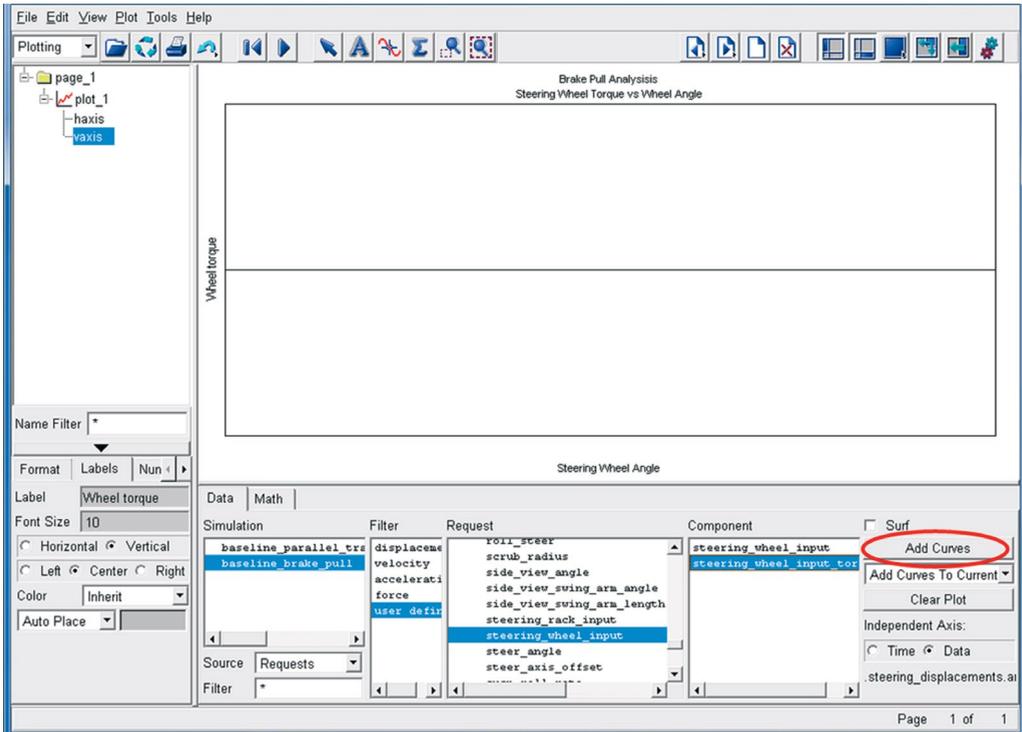


Figura 4.171 – Caixa de diálogo do eixo vertical.

A Figura 4.172 mostra o gráfico construído. Este gráfico ilustra o torque aplicado ao volante para manter as rodas na posição retilínea. O torque negativo indica que este é aplicado no sentido horário, de modo a contrabalancear com a força de frenagem desigual, a qual puxa as rodas no sentido anti-horário como se o carro estivesse fazendo uma curva à esquerda.

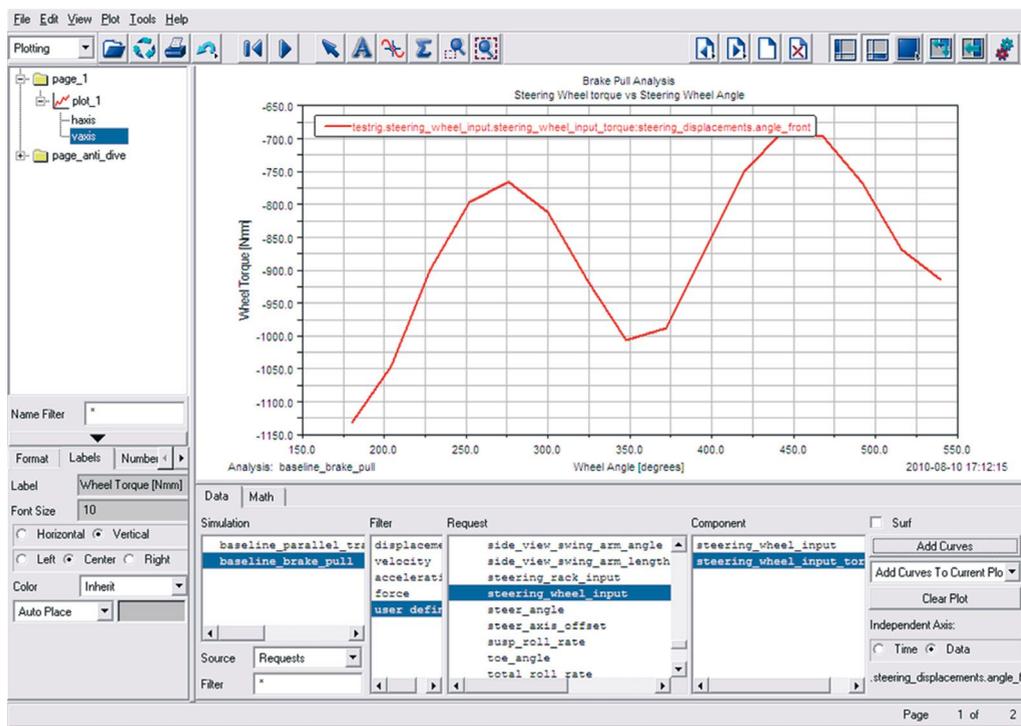


Figura 4.172 – Caixa de diálogo do eixo vertical.

O segundo gráfico a ser construído é: *Scrub Radius x Steering Wheel Angle*.

- Na barra de ferramenta principal, selecione *New Page* (conforme ilustrado na Figura 4.173).

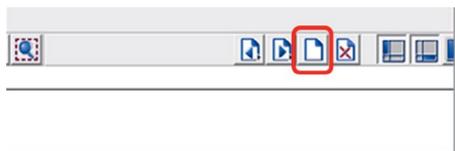


Figura 4.173 – Novo gráfico.

- No campo *treeview*, dê um duplo clique em *Page_2*.
- Selecione *plot_2*.
- Certifique-se que a opção *Auto Title* e *Auto Subtitle* não estão selecionados (Figura 4.174).

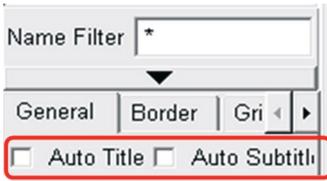


Figura 4.174 – Criando um novo gráfico.

- Na caixa de texto *Title*, digite “*Brake Pull Analysis*” (Figura 4.175).
- Na caixa de texto *Subtitle*, digite “*Scrub Radius vs Steering Angle*” (Figura 4.175).

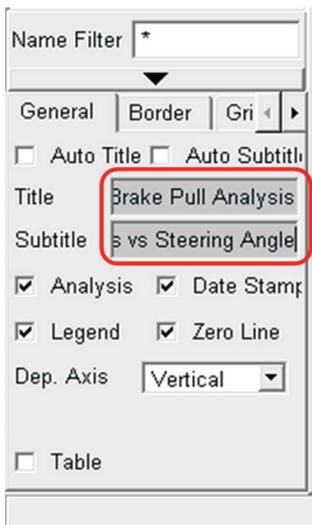


Figura 4.175 – Título e Subtítulo do novo gráfico.

Clique, com o botão direito do mouse, no campo *treeview*, selecione *Type Filter* e, em seguida, clique na opção *Plotting* e, posteriormente, selecione o item *Axes*.

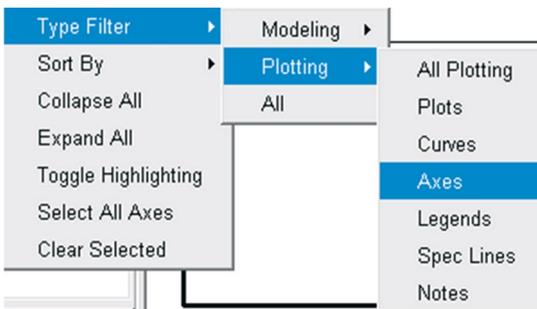


Figura 4.176 – Selecionando os eixos do gráfico.

- Clique duas vezes em *plot_2* para que as opções disponíveis se tornem visíveis. Selecione o item *haxis* (Figura 4.177).

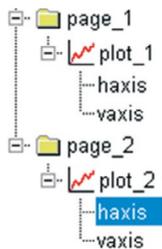


Figura 4.177 – Selecionando eixo *haxis*.

- No editor de propriedades, selecione o campo *Labels* (Figura 4.178).

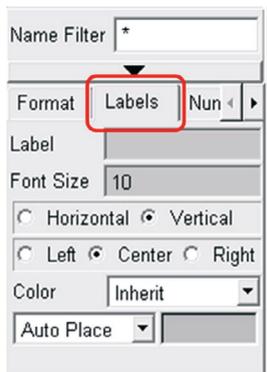


Figura 4.178 – Editando o eixo *haxis*.

- Na caixa de texto *Label* insira o texto “*Steering Wheel Angle [degrees]*” (Figura 4.179).



Figura 4.179 – Editando rótulo do eixo *haxis*.

- Novamente, no campo *treeview*, selecione *vaxis* (Figura 4.180).

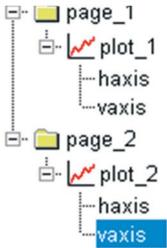


Figura 4.180 – Selecionando eixo *vaxis*.

- Na caixa de texto *Label*, insira o texto “*Scrub Radius [mm]*” (Figura 4.181).

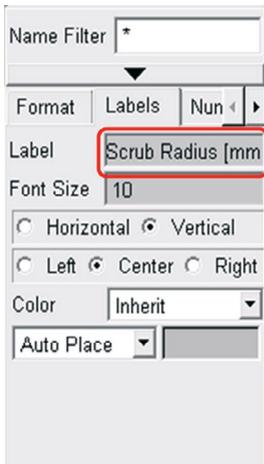


Figura 4.181 – Editando rótulo do eixo *vaxis*.

- No campo *Source*, verifique se está selecionada a opção *Requests* (Figura 4.182).

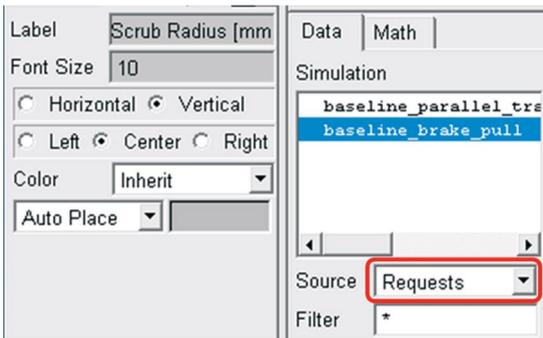


Figura 4.182 – Selecionando os parâmetros do gráfico.

- No campo *Simulation*, selecione *baseline_brake_pull*; no campo *Filter*, selecione *user defined*; no campo *Request*, selecione *scrub_radius*; no campo *Component*, selecione *left*; e, por último, selecione *Add curves*.

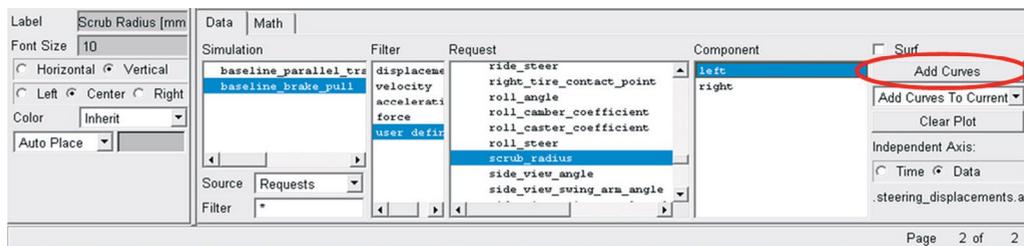


Figura 4.183 – Definindo parâmetro do eixo vertical.

A Figura 4.184 ilustra o gráfico obtido.

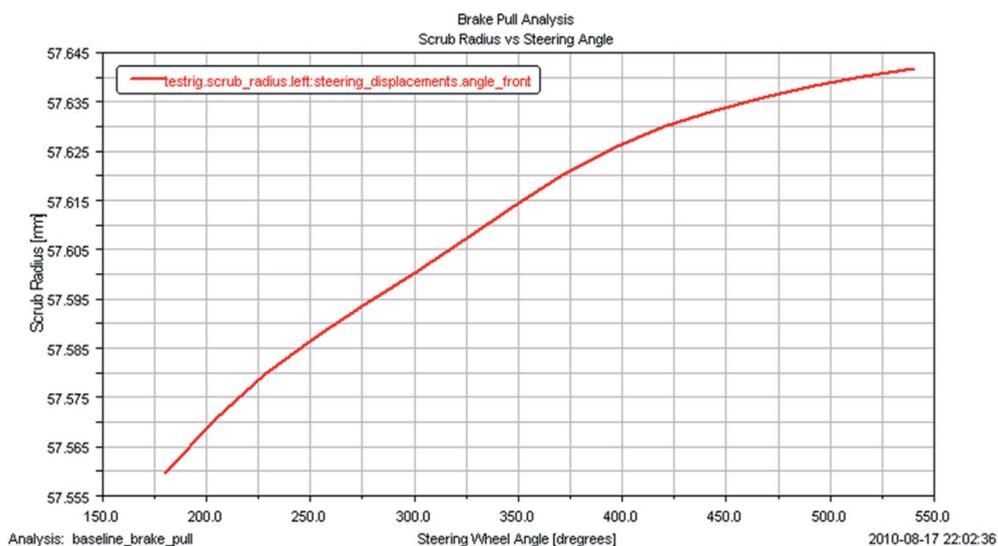


Figura 4.184 – Gráfico *Scrub Radius vs Steering Angle*.

Observe, na Figura 4.184, que o *Scrub Radius* parece variar muito em relação ao ângulo de esterçamento do volante. No entanto, essa variação no eixo vertical é de apenas 0,08 mm. Para verificar visualmente essa pequena variação, o eixo vertical pode ser alterado, como mostrado a seguir.

- Selecione o eixo vertical *vaxis*, na área *treeview* (Figura 4.185).



Figura 4.185 – Seleccionando o eixo *vaxis*.

- No editor de propriedades do eixo *vaxis*, selecione a guia *Format*. Desmarque a opção *Auto Scale* (Figura 4.186).

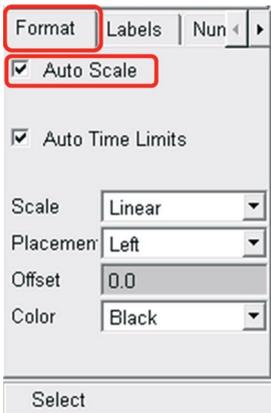


Figura 4.186 – Editor de propriedades do eixo *vaxis*.

- Na caixa de texto *Limits*, estabeleça os limites entre 0 e 100 (Figura 4.187).

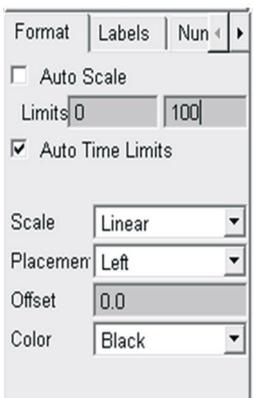


Figura 4.187 – Limites do eixo *vaxis*,

Na Figura 4.188, observe que a variação do *Scrub Radius* em relação ao *Steering Wheel Angle* agora parece ser bem menor.

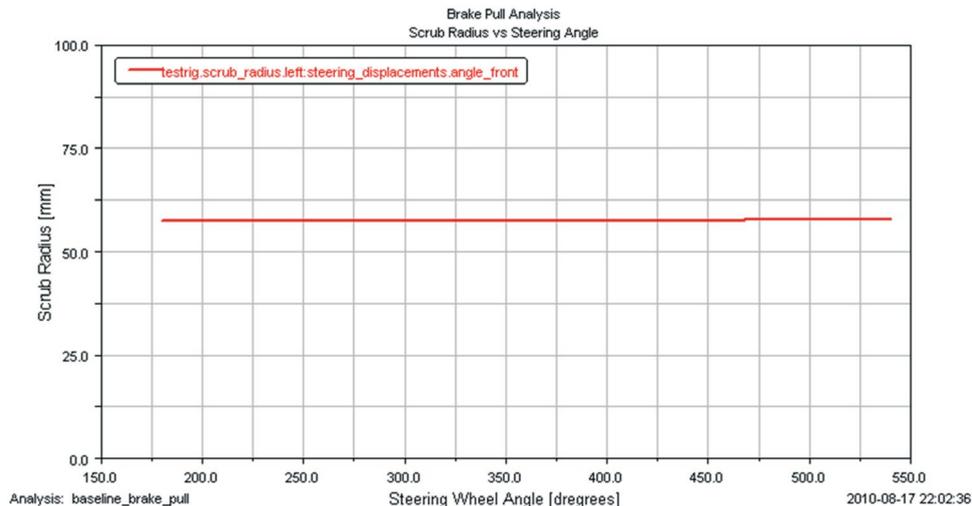


Figura 4.188 – Limite do eixo vertical definido entre 0 e 100 mm.

Etapa 34 – Salvando as configurações gráficas

Para salvar as modificações nos gráficos gerados anteriormente o usuário deve seguir os passos descritos nesta etapa.

- No menu *File*, selecione *Export* e, em seguida, selecione *Plot Configuration File* (Figura 4.189).

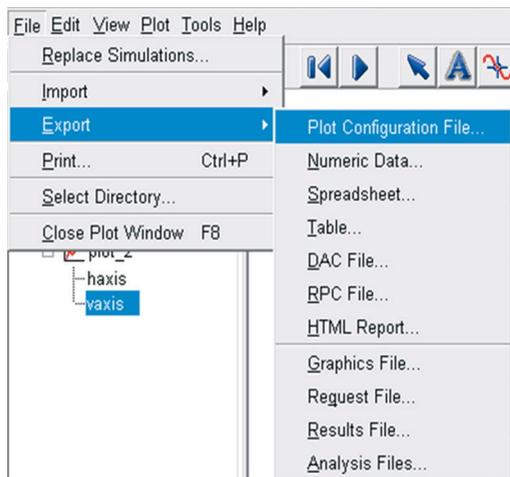


Figura 4.189 – Exportando arquivos gráficos.

- A janela *Save Plot Configuration File* será aberta. No campo *Configuration File Name*, digite *brake_pull*. Selecione a opção *All Plots* (Figura 4.189).

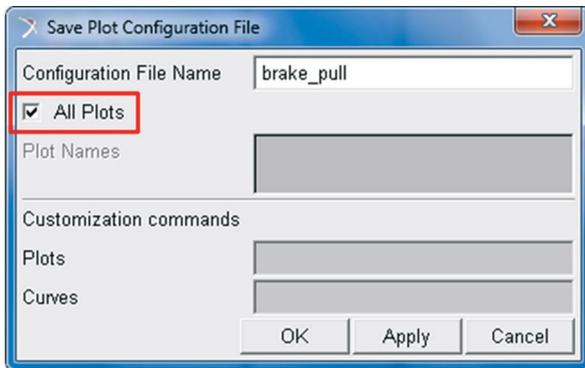


Figura 4.190 – Definindo o arquivo de exportação.

- Clique em *OK*.
- No menu *File*, selecione *Close Plot Window* ou pressione F8 para que o ADAMS/Car retorne para a janela principal.

Etapa 35 – Modificando a localização de *Hardpoints* da suspensão

Nesta etapa, dois *Hardpoints* da suspensão serão modificados de modo a alterar o parâmetro *Scrub Radius* da suspensão modelada. O objetivo é diminuir o raio de deslizamento (*Scrub Radius*) e comparar os resultados com os obtidos na Etapa 33.

Os *Hardpoints* que terão suas localizações alteradas serão:

- *hpl_LBJ*
- *hpl_struct_upper*

Ambos *Hardpoints* definem o eixo *Kingpin* da suspensão. Uma vez que este eixo seja deslocado para fora da suspensão, visto que o restante do subsistema se manterá inalterado, o parâmetro *Scrub Radius* será modificado.

Para realizar essas alterações, siga os passos a seguir.

- Na área de trabalho *Standard* do ADAMS/Car selecione o menu *View* → *Subsystem* (Figura 4.191).

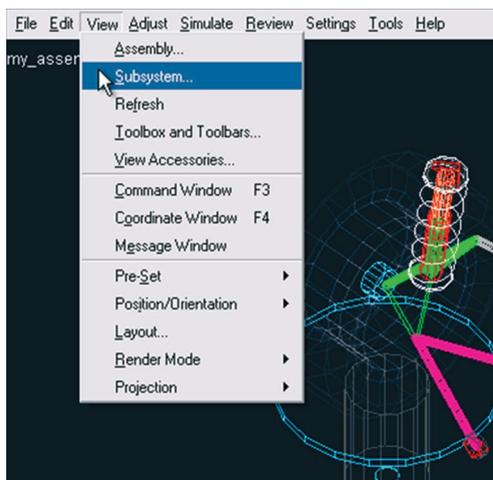


Figura 4.191 – Visualizando o subsistema suspensão.

- A caixa de diálogo *Display Subsystem* será aberta. Selecione o subsistema de interesse (Figura 4.192).

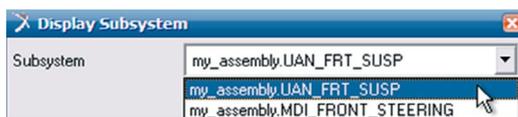


Figura 4.192 – Selecionando o subsistema de interesse.

- Acesse o menu *Adjust* → *Hardpoint* → *Table* (Figura 4.193).

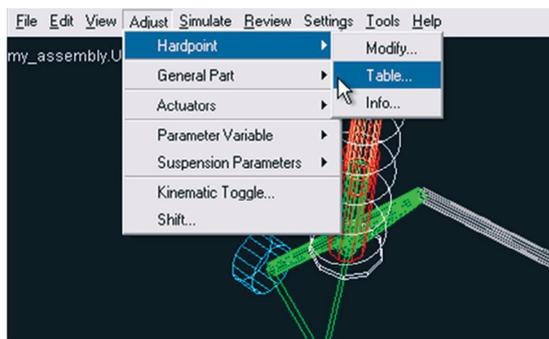


Figura 4.193 – Selecionando a tabela de *Hardpoints* .

- Na tabela de *Hardpoints* (Figura 4.194), clique na célula correspondente à coordenada *y* (*loc_y*) do *Hardpoint hpl_LBJ*. Altere o valor para –725, ou seja, este *Hardpoint* será deslocado de 25mm.



Figura 4.194 – Modificação da coordenada y do *Hardpoint* *hpl_LBJ*.

- Clique em *Apply* (Figura 4.195).

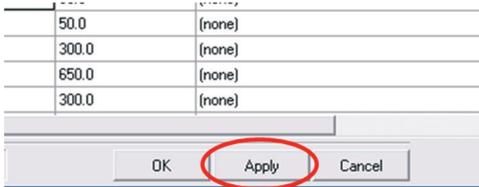


Figura 4.195 – Conferindo alteração da coordenada do *Hardpoint* *hpl_LBJ*.

A notar: A partir da tabela mostrada na Figura 4.194 é possível alterar as coordenadas de todos os *Hardpoints* do subsistema. Os *Hardpoints* com simetria esquerda–direita (left–right) se diferem apenas na coordenada y, ou seja, eles são simétricos em relação ao plano X-Z. Para alterar as coordenadas de *Hardpoints* com simetria, basta modificar a coordenada de interesse de apenas um deles (left ou right), que o programa se encarrega de alterar a coordenada do *Hardpoint* correspondente simetricamente. No entanto, caso o usuário deseje, essa simetria poderá ser removida, modificando apenas um dos *Hardpoints* do par simétrico.

- Ainda na tabela mostrada na Figura 4.194, selecione a célula correspondente à coordenada y (*loc_y*) do *Hardpoint* *hpl_struct_upper*. Altere o valor para - 625, ou seja, este *Hardpoint* também será deslocado de 25 mm (Figura 4.196).
- Clique em *OK*.

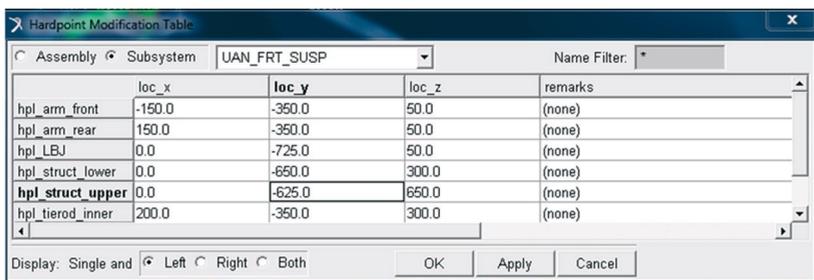


Figura 4.196 – Alteração da coordenada y do *Hardpoint* *hpl_struct_upper*.

Etapa 36 – Salvando as modificações na suspensão

- Após ter modificado os *Hardpoints*, salve o subsistema alterado. Acesse o menu *File* → *Save*. Nesse momento, uma caixa de diálogo *Warning* será aberta. O programa perguntará se deseja criar uma cópia de backup do arquivo em questão. Caso contrário, o arquivo original será substituído pelo arquivo modificado. Essa escolha fica a seu critério.
- Nesse caso, selecione *No* na caixa de diálogo (Figura 4.197). O arquivo do subsistema será substituído pelo arquivo modificado no diretório padrão (*default writable database*).

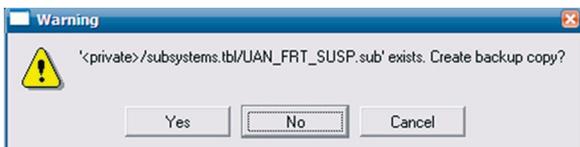


Figura 4.197 – Alteração da coordenada.

Etapa 37 – Simulação da suspensão modificada

Nesta etapa, será realizada a mesma simulação descrita na etapa 31, utilizando-se, portanto, o mesmo arquivo *Loadcase*.

Acesse o menu *Simulate* → *Suspension Analysis* → *External Files* (Figura 4.198).

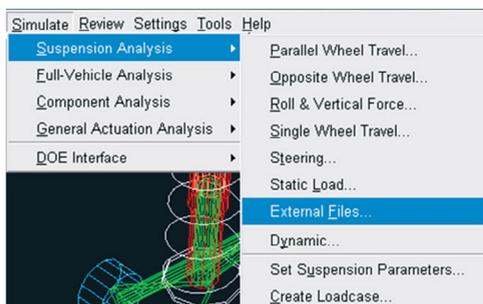


Figura 4.198 – Selecionando a simulação.

- A janela *Suspension Analysis: External Files* será aberta. No campo *Output Prefix* escreva *Modified* (Figura 4.199).

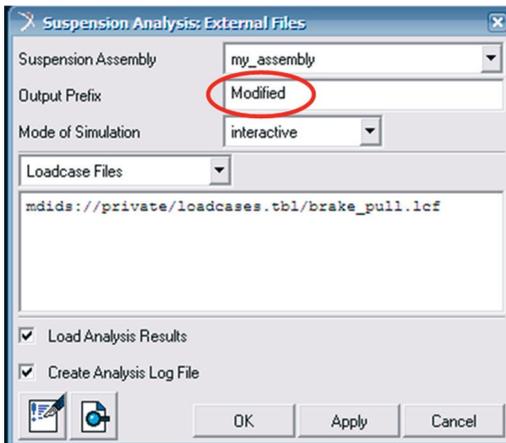


Figura 4.199 – Alterando o nome do arquivo de saída da simulação.

- Selecione o ícone  e, na caixa de comentários, escreva: *Steering axis moved 25mm outboard*.
 - Selecione *OK* em ambas as caixas de diálogo.
- O ADAMS/Car fará a simulação do *assembly* suspensão/sistema de direção.

Etapa 38 – Comparando os resultados

Nesta etapa serão gerados os resultados gráficos do *assembly* suspensão/sistema de direção, tanto do sistema original quanto do sistema modificado para fins de comparação. Serão os mesmo gráficos gerados na etapa 33.

- Inicie o ADAMS/PostProcessor. Acesse o menu *Review* → *Postprocessing Window*, ou pela tecla F8 (Figura 4.200).

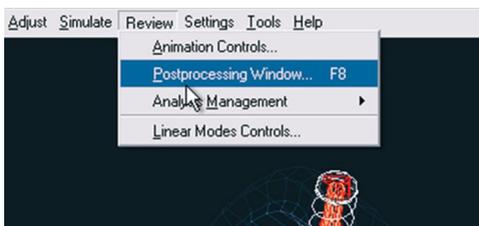


Figura 4.200 – Alternando para o ambiente de trabalho *Postprocessing*.

- No menu *Plot*, selecione *Create Plots*.

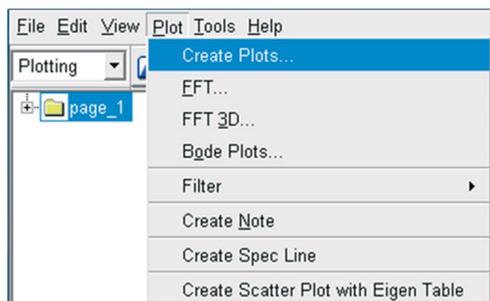


Figura 4.201 – Gerando gráficos.

- A janela *File Import* será aberta. No campo *Plot Configuration File*, digite: `mdids://private/plot_configs.tbl/brake_pull.plt` (Figura 4.201), ou clique com o botão direito do mouse nesse campo e o selecione no diretório de destino.
- Na caixa de texto *Plot title* digite: *Brake Pull Analysis – UAN_FRT_SUSP* (Figura 4.202).

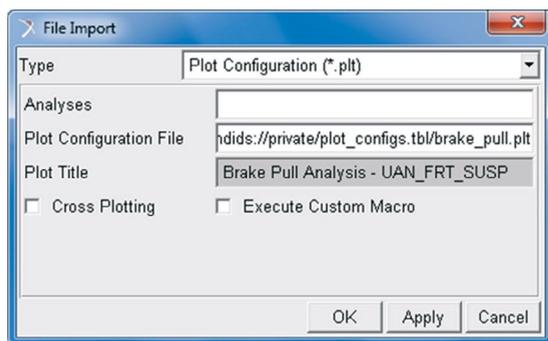


Figura 4.202 – Selecionando o arquivo de simulação.

- Para que o programa disponibilize as duas curvas no mesmo gráfico, selecione o ícone *Cross Plotting* (Figura 4.203).

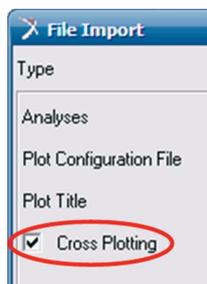


Figura 4.203 – Plotando mais de uma curva no mesmo gráfico.

- Clique em OK.

As ferramentas da área de trabalho *PostProcessor*,  , poderão ser utilizadas acessar todos os gráficos gerados.

A Figura 4.204 ilustra as curvas obtidas. A curva com linha contínua se refere ao resultado do *assembly* original, já a linha pontilhada se refere ao resultado do *assembly* modificado. Como já era esperado, observe que o torque é menor para o *assembly* modificado quando comparado com o *assembly* original em toda a faixa de análise.

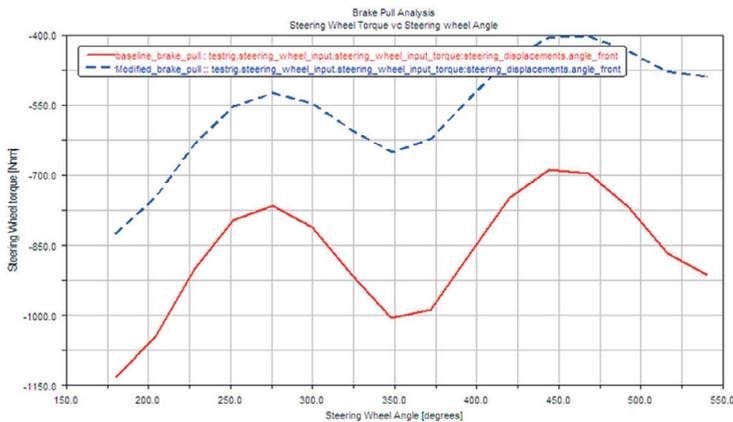


Figura 4.204 – Curvas obtidas com o *assembly* original e o modificado.

- Utilize a ferramenta   para visualizar o gráfico *Scrub Radius vs Steering Wheel Angle*.

Observe na Figura 4.205 que o *Scrub Radius* diminuiu de 34 mm para 8 mm em virtude das modificações realizadas nos *Hardpoints* da suspensão.

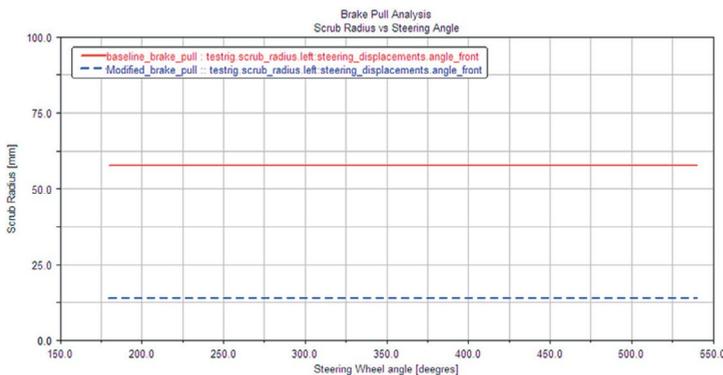


Figura 4.205 – Gráfico comparativo *Scrub Radius vs Steering Wheel Angle*.

Etapa 39 – Finalizando

Esta etapa finalizará as tarefas executadas neste capítulo. Os gráficos e as simulações geradas serão excluídos, e os subsistemas criados e modificados serão encerrados.

- Para excluir os gráficos gerados, no ambiente de trabalho *Postprocessing*, clique com o botão direito do mouse na área *treeview*. Selecione *Type Filter* → *Modeling* → *Analyses* (Figura 4.206).

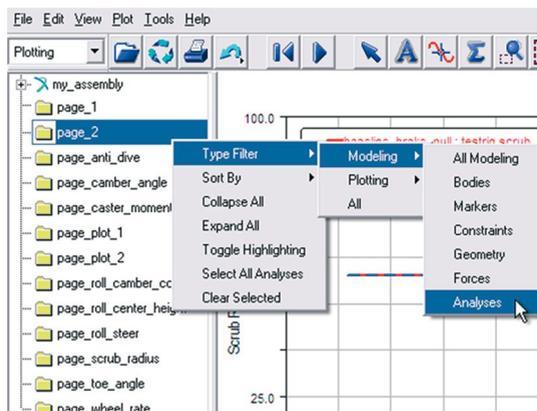


Figura 4.206 – Selecionando as análise corrente.

- Clique duplo em *my_assembly* para atualizar os resultados gerados pelas simulações.
- Selecione as simulações a serem excluídas (Figura 4.207).

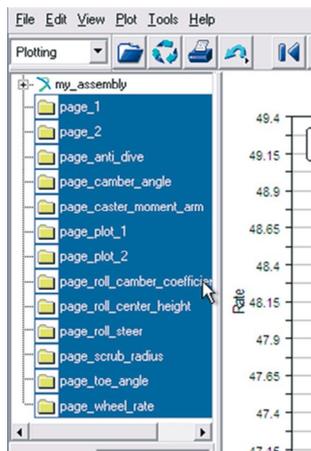


Figura 4.207 – Selecionando as simulações a serem excluídas.

- No menu *Edit*, selecione a opção *Delete* (Figura 4.208).

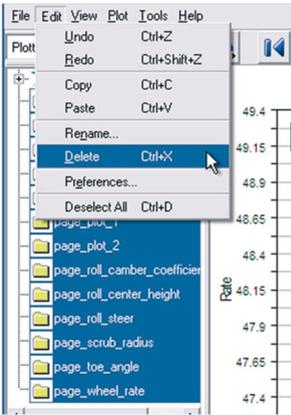


Figura 4.208 – Excluindo gráficos.

- No menu *File*, selecione a opção *Close Plot Window* (ou a tecla F8). O ADAMS/Car retornará para o ambiente de trabalho *Standard*. Para encerrar o *Assembly* siga os próximos passos.
- Acesse o menu *File* → *Close* → *Assembly* (Figura 4.209).

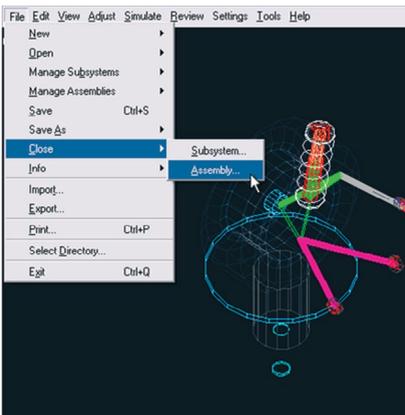


Figura 4.209 – Encerrando o *Assembly*.

- A caixa de diálogo *Close Assembly* será aberta. Selecione o *Assembly* a ser encerrado e clique em *OK* (Figura 4.210).

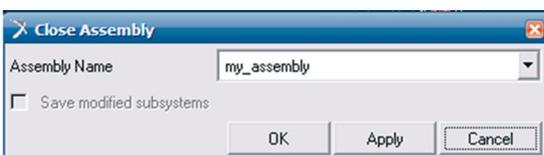


Figura 4.210 – Selecionando o *Assembly* a ser encerrado.

- Clique em *OK*.

Dessa maneira, todas as simulações foram excluídas, bem como encerrados os *Assemblies* em execução. O software, agora, pode ser utilizado para novas modelagens de sistemas multicorpos.

