

Geometria de suspensão e tipos de construção

A) Conceitos básicos:

A.1) Conforto:

Basicamente, a função dos sistemas de suspensão de um veículo é absorverem impactos e irregularidades da superfície do solo, onde este trafega. Quando o veículo passa por estas irregularidades, as molas são comprimidas, armazenando energia e absorvendo os choques/impactos. A energia será rapidamente liberada quando as molas são distendidas. Os amortecedores são empregados para suavizar e absorver a energia liberada pela distensão das molas. Sem os amortecedores, as molas oscilariam severa e rapidamente até que toda energia seja dissipada, tornando o veículo desconfortável, além do fato de prejudicar extremamente sua manobrabilidade. Estudos mostram que as frequências de oscilação confortáveis para o ser humano, variam de 1 a 1,5 Hz . Se esta exceder 2 Hz , muitas pessoas se sentirão desconfortáveis . Por esta razão, um dos fatores de qualidade do sistema de suspensão está no controle da seleção de molas e amortecedores.

A.2) Estabilidade/dirigibilidade:

Em função do conforto, vários projetos de suspensões foram criados, que, porém permitiam que houvesse variação dos ângulos de geometria das rodas em relação à carroceria do veículo. Inevitavelmente, isto cria muitos problemas em termos de estabilidade. Quando um veículo faz uma curva rapidamente, a força centrífuga adernará a carroceria, que transferirá o peso para as rodas que estão no raio externo da curva. Com um sistema de suspensão inadequado, esta transferência de carga, alterará a geometria de suspensão e conseqüentemente os ângulos de cambagem das rodas, resultando em tendências do veículo de sobreesterçamento ou subesterçamento (dependendo do caso), que às vezes é indesejado. Se os freios forem aplicados nesta situação, o ângulo de cáster e os ângulos de convergência das rodas podem ser alterados, o que pode contribuir ainda mais para o efeito de sobre/subesterçamento, ou ainda, modificar as forças atuantes no sistema de direção do veículo.

A.3) Cambagem:

Como mostrado abaixo, se a linha de centro da roda não for perpendicular ao piso, esta possui ângulo de cambagem. Se a inclinação for em direção do centro do veículo, ela é negativa . O oposto é considerado positivo (figura 1).

Quando a roda possui cambagem positiva, devido a elasticidade dos pneus, sua linha de centro se tornará algo parecido com a base de um cone. Isto trará a tendência da roda girar em relação ao topo deste cone, o que faz com que ela assuma uma trajetória curvilínea. Se ambas as rodas possuem cambagem positiva, a tendência de esterçamento delas será cancelada e o veículo tenderá a manter uma linha reta em sua trajetória.

Quando o veículo faz uma curva, a adernação da carroceria transfere carga das rodas internas para as externas ao raio da trajetória, o que fará que estas tenham mais influência na trajetória do veículo. Com uma cambagem positiva, as rodas induzirão ao veículo ao subesterçamento. O contrário (cambagem negativa), o veículo será induzido ao sobre-esterçamento.

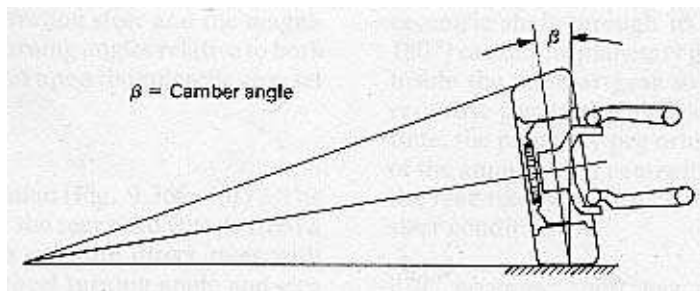


Figura 1

A.4) Em resumo, um bom conjunto de suspensão deve:

- 1) Garantir independência na absorção de choques, individualmente para cada roda. Isto significa que quando uma roda passa por uma irregularidade na pista, o choque não será transferido para as outras rodas.
- 2) Permitir à carroceria do veículo a adequada rolagem. A adernação excessiva transfere muita carga de um conjunto de rodas a outro, influenciando na resposta de esterçamento. Isto também, torna o veículo desconfortável. Por outro lado, restringir demais a adernação pode causar uma sensação de desconforto, pois o motorista passa a sentir mais integralmente os efeitos das forças laterais. Além disso, a rolagem da carroceria pode transmitir informações ao motorista a respeito dos limites de aderência do veículo, além do estado da curva. A limitação da rolagem da carroceria, usualmente conflita com o conforto do veículo, porque cada característica de rolagem requer escolhas específicas de molas e amortecedores. Entretanto o fator de escolha do tipo de geometria e tipo do sistema de suspensão corretos, pode decisivamente harmonizar o efeito de rolagem da carroceria com o conforto do veículo.
- 3) Dar sustentação e/ou compensar outros efeitos dinâmicos que atuam no veículo, além do fato, se desejado em projeto, manter os ângulos das rodas (camber e convergência) inalterados em qualquer situação, isto é, acelerações, frenagem, curvas, carregamento do veículo e irregularidades da pista.

Adiante, discutiremos os tipos mais populares de geometrias de suspensão.

B) Tipos de suspensão:

B.1) Suspensões não-independentes (eixo rígido) :

Até hoje, muitos automóveis usam este simples tipo de suspensão, especialmente no eixo traseiro (figura 2). Basicamente, esta é composta de um eixo rígido fixado entre as rodas esquerda e direita do veículo. Neste arranjo, a carroceria do veículo é suspensa por molas helicoidais ou molas semi-elípticas. Neste tipo de suspensão as rodas não são independentes. Quando uma roda passa por uma irregularidade do solo, o choque será transmitido para a outra roda, também.

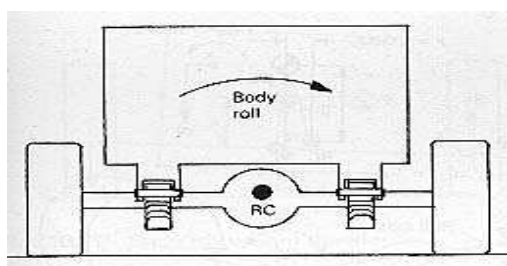


Figura 2

Neste caso, ambas as rodas sofrerão variação na sua cambagem, então como visto anteriormente, é inevitável um comportamento de esterçamento não-neutro. Todavia, a rolagem da carroceria não influencia na alteração de cambagem das rodas, o que pode ser citado como uma grande vantagem.

Se este eixo for também o eixo de direção, ele é formado pelo do conjunto final do sistema de direção, diferencial, semi-eixos e um pesado tubo ligando estes elementos. Portanto, a massa não suspensa, neste caso, é muito alta.

O que resulta uma alta massa não-suspensa, para o conjunto de suspensão?

Assumindo que o referido eixo quando encontra uma irregularidade do solo, este transfere a energia do choque para as molas. Porém, devido ao seu alto peso, ele também transfere uma maior quantidade de movimento (por que: $Q = m \times V$). Isto significa que mais energia deve ser “administrada” pelo conjunto molas/amortecedores. Naturalmente, a energia que molas não conseguem absorver, é transferida para a carroceria em forma de choque. Devido a este fato, este tipo de eixo normalmente não é muito bom em termos de conforto ao motorista e passageiros do veículo.

No caso de eixos que não possuam o sistema de direção incorporado, este tem uma massa não-suspensa bem menor (se comparado com o do primeiro caso), proporcionando melhor qualidade em termos de conforto. Por esta razão, com exceção dos veículos off-road 4X4, não faz sentido aplicar este tipo de suspensão no eixo que suportará o conjunto de direção. Há outros sistemas de baixo custo, que são bem mais eficientes que o tipo rígido.

Este sistema tem outro inconveniente: O controle da rolagem da carroceria não é eficaz porque, via de regra, as molas são o único elemento de controle da carroceria. Mais ainda, se molas helicoidais são utilizadas, as forças laterais que atuam no veículo quando este faz uma curva, tendem a alterar a perpendicularidade do eixo em relação à linha longitudinal de veículo, afetando ainda mais a resposta do veículo ao esterçamento. Para solucionar este inconveniente, equipam-se o sistema de suspensão com braços de controles adicionais. O sistema mais simples é a barra Panhard, que consiste em um braço ao qual um lado é fixado em um ponto do eixo rígido e o outro fixado na carroceria. Melhor solução, seria a adição de 4 barras paralelas em associação à barra Panhard (figura 3), ou ainda a adoção do sistema de controle com 4 barras com disposição triangular (figura 4).



Figura 3

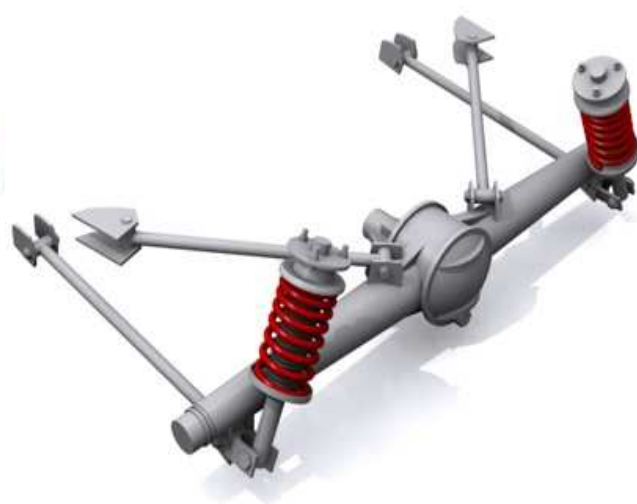


Figura 4

B.2) Eixo De Dion :

Embora as suspensões independentes tenham sido inventadas no início do século 20, as suspensões não independentes dominaram vários mercados até o início dos anos 70. A primeira razão é: Simplicidade e baixo custo de construção e manutenção. A segunda razão: Se bem projetadas, elas até oferecem uma razoável estabilidade ao veículo, a despeito do baixo conforto que proporcionam. Desde que as rodas sejam rigidamente fixadas no eixo, elas permanecem sempre perpendiculares ao solo, independentemente da rolagem da carroceria quando o veículo faz uma curva, tornando este estável. Em contraste, em muitos tipos de suspensões independentes, o ângulo de cambagem é alterado em função da rolagem da carroceria.

Todavia, como explicado anteriormente, a quantidade de massa não suspensa e a alteração dos ângulos de cambagem das rodas ao assimilar os impactos e/ou irregularidades do solo, trazem inconvenientes em termos de estabilidade e conforto do veículo equipado com suspensão não independente.

O sistema De Dion (fig.5 e 6) foi projetado a fim de se tentar sanar os problemas descritos com as suspensões de eixo rígido. Ela possui muito menos massa não suspensa, devido ao fato de o diferencial, semi-eixos e terminais do sistema de direção (quando for o caso), não estarem rigidamente fixados nas rodas. Como nas suspensões independentes, estes são partes integrantes da carroceria (massa suspensa) e unidas às rodas através de juntas universais.

As rodas são interconectadas por um tubo telescópico chamado tubo De Dion (fig.6), o qual tem uma luva de deslizamento para permitir algumas variações do curso das rodas, durante o movimento da suspensão. O tubo De Dion mantém ambas as rodas paralelas, sob qualquer condição e sempre perpendiculares ao solo, independente da rolagem da carroceria e variação de carga do veículo. A vantagem deste sistema está no seu baixo custo, em relação a outras suspensões independentes e a não influência da rolagem da carroceria nos ângulos de roda, além do fato de proporcionar melhor conforto aos ocupantes do veículo, se comparado com as suspensões de eixo rígido. Porém esta suspensão é um sistema não-independente, permitindo a alteração de cambagem das rodas quando esta é acionada pelas irregularidades do piso (assim, como em qualquer suspensão não-independente) e, em geral, ainda é menos confortável que as suspensões independentes.

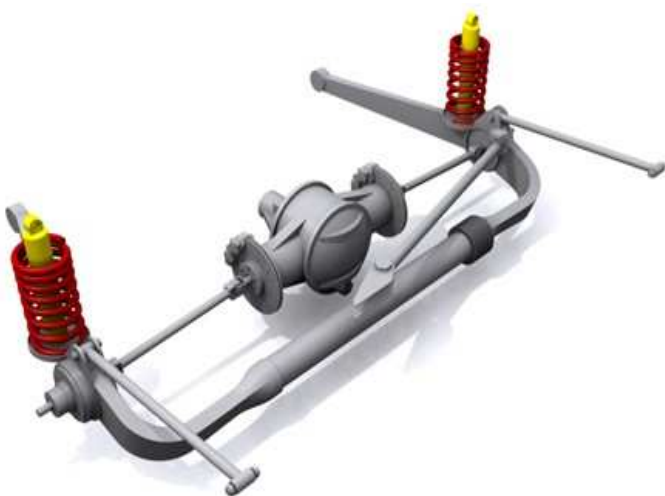


Fig.5

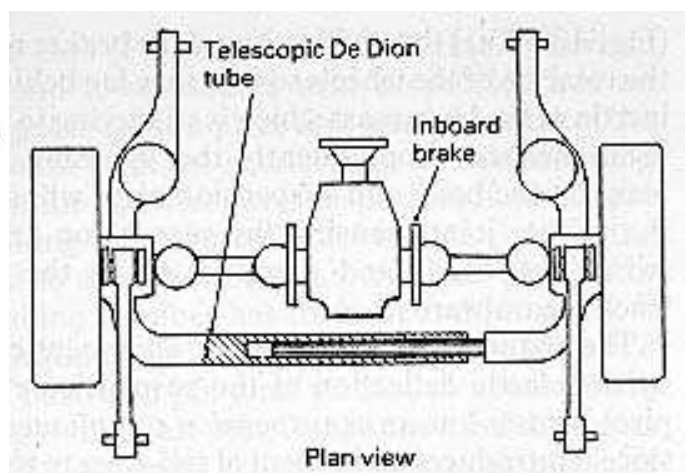
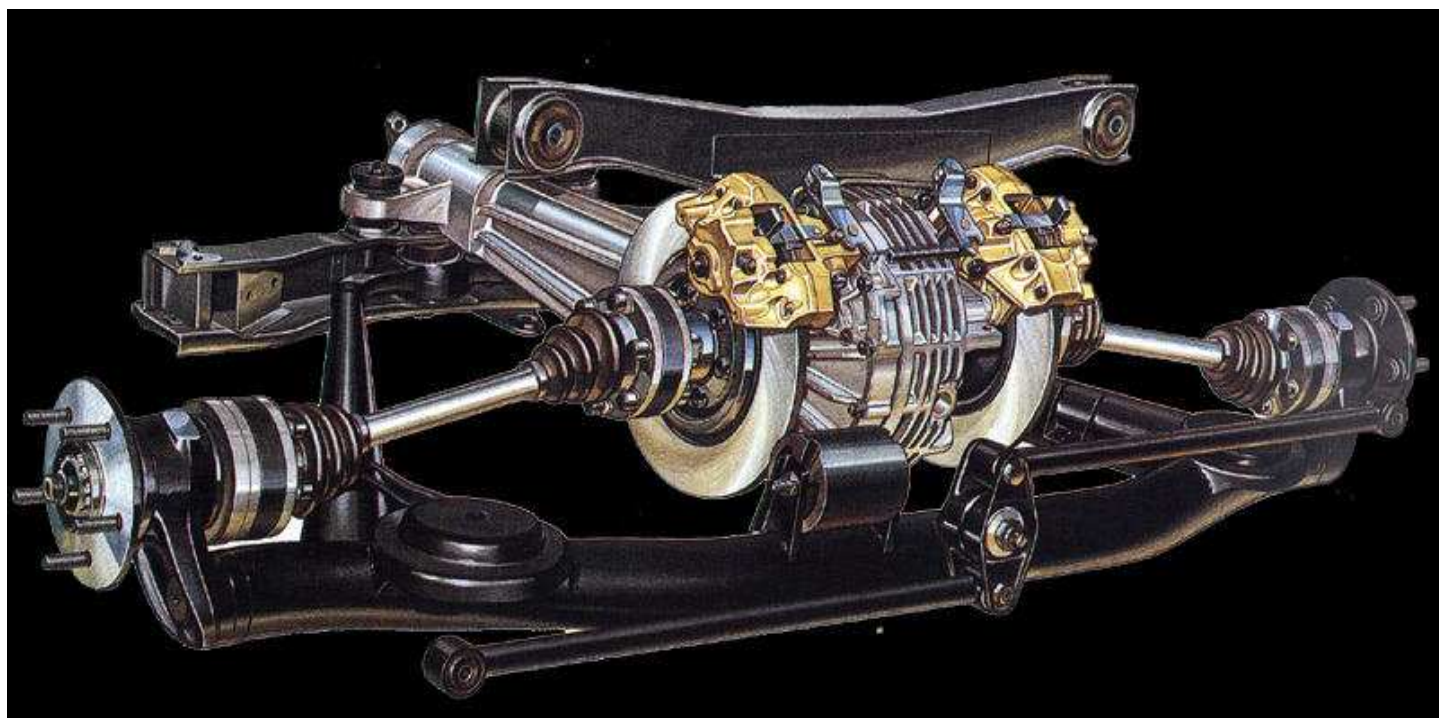


Fig.6

A suspensão De Dion pode ser montada com molas semi-elípticas ou molas helicoidais . Com molas helicoidais (como mostrado na figura 5), tornam-se necessários o uso de braços de controle extras, tais como, barra Panhard, braço Watt, “trailing arm”, “wishbones” etc... , o que acrescenta mais peso e complexidade ao conjunto.

O uso deste arranjo de suspensão, apesar de ter sido inventado no final do século 19, só começou a ser fortemente difundido nos anos 30, mais notadamente nos modelos Mercedes SSK de 1934 a 1939. Nos anos 50, 60 e 70 ela voltou a ser utilizada em alguns carros de corrida, carros esportes, coupés e sedans, tais como, o Alfa Romeo GTV6, Alfa Romeo 6 (no Brasil foi lançado como Alfa Romeo 2300), Lancia Aurelia e alguns modelos da Rover inglesa. As De Dion deste período, perderam o braço transversal telescópico característico, sendo este substituído por uma barra rígida, não-telescópica.

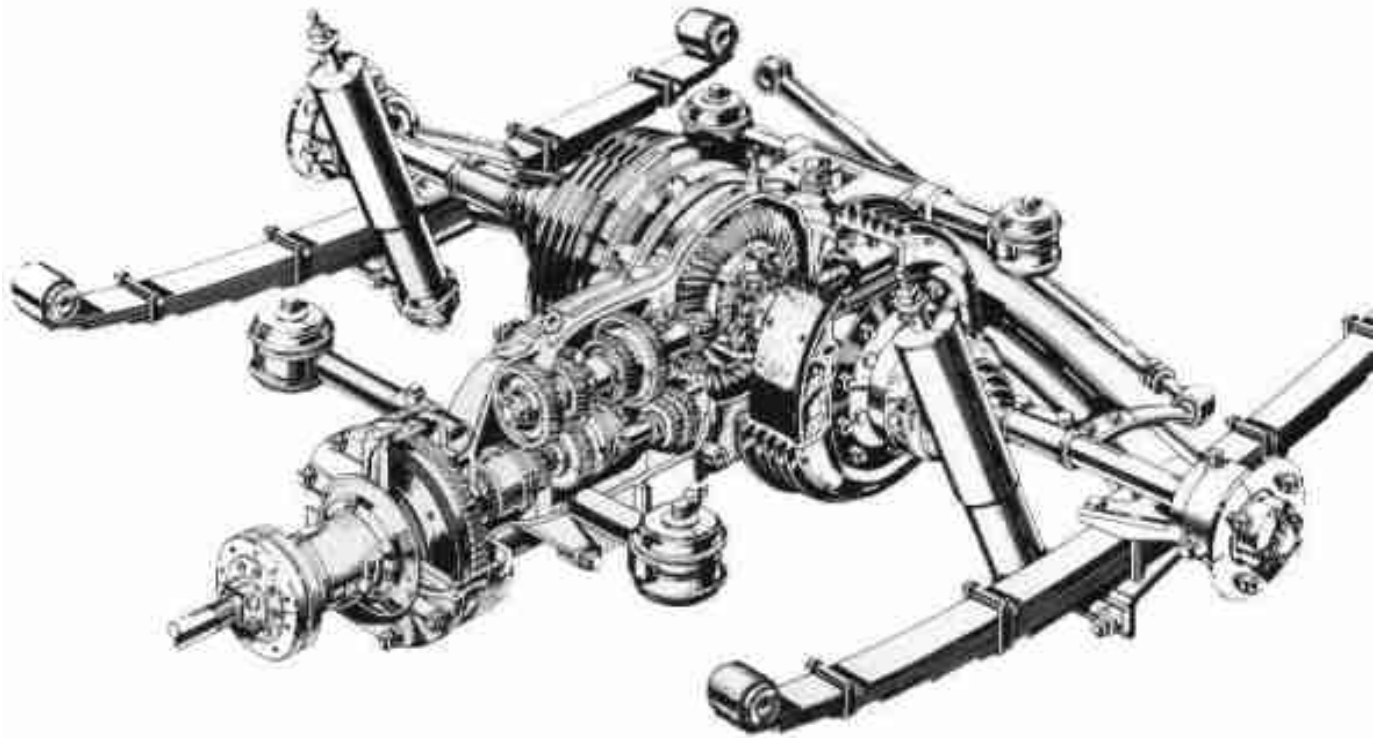


Conjunto traseiro do Alfa Romeo 2300. Notar o braço transversal não telescópico e a posição dos discos de freio, assim como as fixações através dos “trailing arms” e braço Watt.

Os arranjos De Dion destes períodos, ainda apresentavam um outro inconveniente: O conjunto de discos/tambores do sistema de freio eram montados fixos próximo a carcaça do diferencial, o que significava que era preciso desmontar praticamente quase todo o conjunto de suspensão, quando fosse necessário a substituição destes. Se bem que, esta configuração do sistema de freio apresenta a vantagem de diminuir ainda mais a massa não suspensa no eixo traseiro, pois os discos, pinças, pastilhas, tambores etc... passam a fazer parte da massa suspensa do veículo.

Nos projetos mais recentes, as De Dion foram modificadas, a fim de manter a posição dos discos/tambores do sistema de freio junto às rodas.

Atualmente o eixo De Dion é utilizado em alguns projetos de carros esportes, tais como, o Caterham, o Westfield e o Dax e, ainda, no compacto Smart.



Conjunto De Dion traseiro do Lancia Aurelia (1955), montado com molas semi-elípticas.

Abaixo : Eixo De Dion com discos de freio montados no cubos de rodas



B.3) Suspensão “swing axle” :

Inventada no início do século 20 por Edmund Rumpler e utilizada em suspensões traseiras em vários carros Europeus a partir da década de 30, entre eles o VW “Beetle” (o Fusca), o Porsche 356 e o Mercedes 300SL “asa de gaivota” de 1954. Após 2 décadas, entretanto, ela praticamente desapareceu nos novos modelos de automóveis, devido aos seus pontos fracos de funcionamento. Em verdade, sua única vantagem é absorver os choques e irregularidades do solo independentemente em cada roda.

Sob o ponto de vista da estabilidade do veículo este sistema é extremamente ruim, devido ao fato de os ângulos de cambagem das rodas se alterarem a todo o momento, seja pela compressão/distensão das molas, seja pela alteração de carga do veículo, seja pela rolagem da carroceria em curvas (terceiro caso na figura 7). Especialmente neste

último caso, a rolagem da carroceria faz com que ambas as rodas inclinem-se para o lado de dentro da curva, resultando em uma severa tendência de sobreesterçamento do veículo. Isto explica porque o Mercedes 300SL era extremamente difícil de dirigir.

A variação de cambagem pode ser reduzida consideravelmente, usando longos braços de controle oscilantes, porém esta solução requer um espaço considerável na traseira do veículo, reduzindo o disponível para os bancos traseiros. Outra solução é introduzir uma tendência ao subesterçamento, ajustando o ângulo de cambagem das rodas negativamente. Isto pode compensar o sobreesterçamento nas curvas, mas pode tornar o veículo instável em linha reta.

Para automóveis como o lento Fusca, este sistema se mostrou muito mais confortável se comparada com as suspensões não-independentes contemporâneas da “swing axle” e neste caso, o problema da estabilidade não é tão severo assim. Para o Porsche 356 e em menor parcela ainda, para as versões anteriores menos potentes, o problema, também não foi severo. Entretanto anos depois, com a construção de carros maiores e motores mais potentes, este fabricante decidiu não mais utilizar este tipo de suspensão, passando a adotar em 1963 no modelo 911, o tipo “trailing arm”.

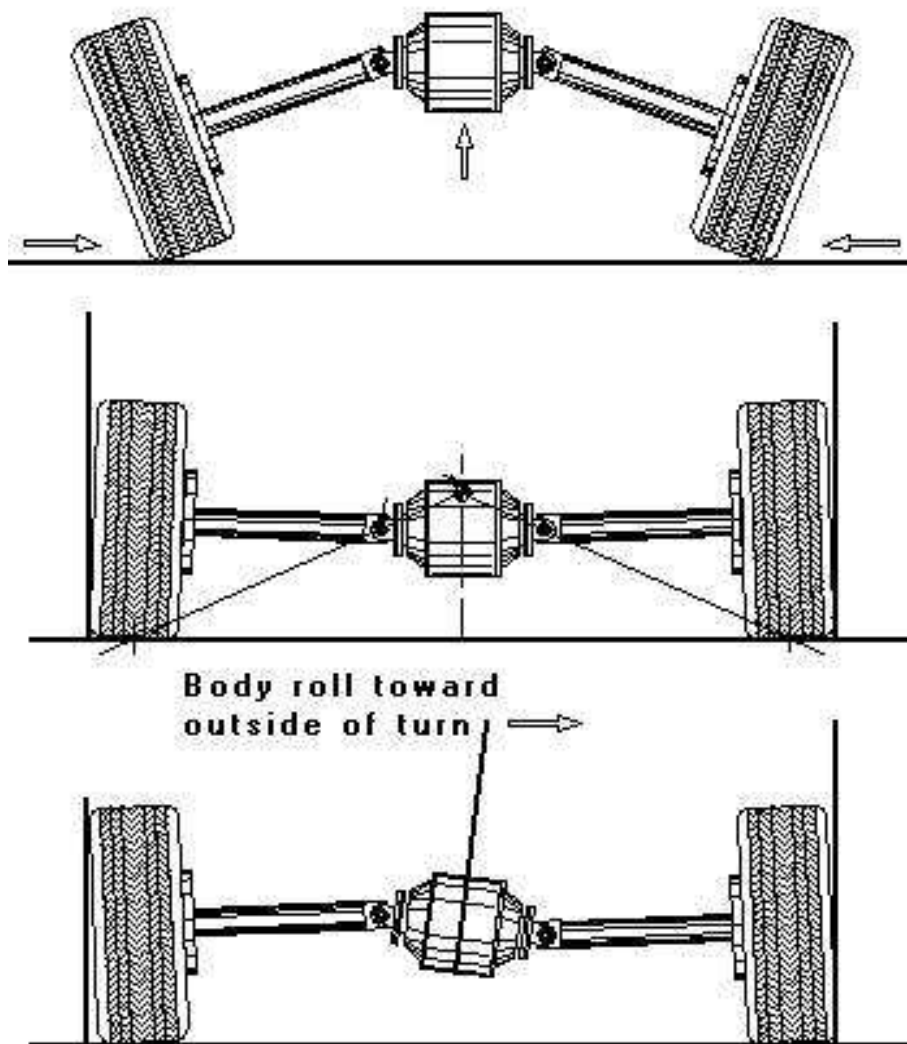


Fig. 7

B.4) Suspensões Tipo “semi-trailing arm”, “trailing arm” e sistema Weissach :

Trailing e semi-trailing arm ou respectivamente, suspensão de braço arrastado e semi-braço arrastado foram comumente usadas em muitos sedans de médio e alto preço antes das suspensões traseiras tipo multi-link, tornarem-se populares a partir de 1990. Da década de 60 até o início dos anos 90, estas suspensões foram aplicadas em modelos como por exemplo, nos BMW(s) séries-3, Mercedes 560 SEC, nos Corvettes de 1965 a 1982 e até no Porsche 911, dominando o cenário automotivo em quase metade do mundo (fig.8).

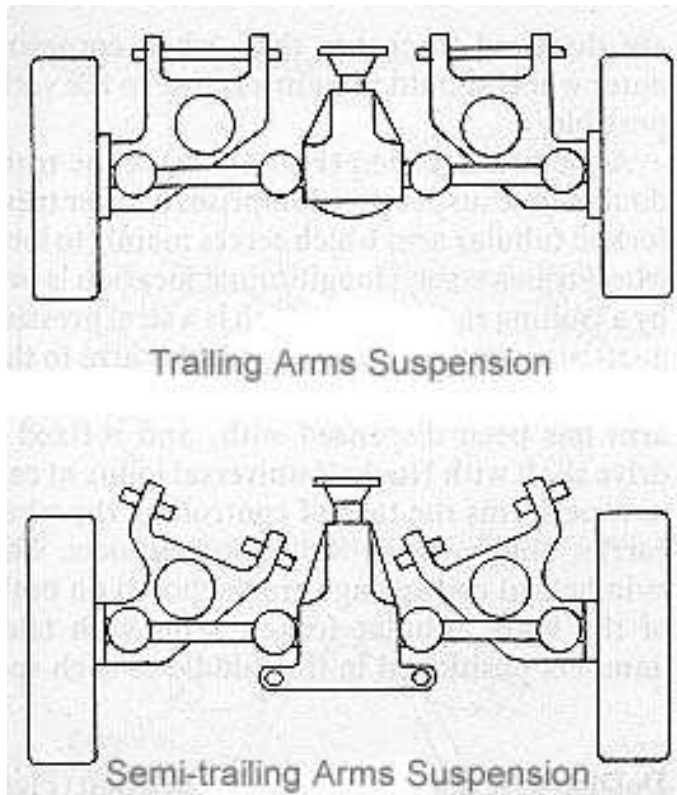
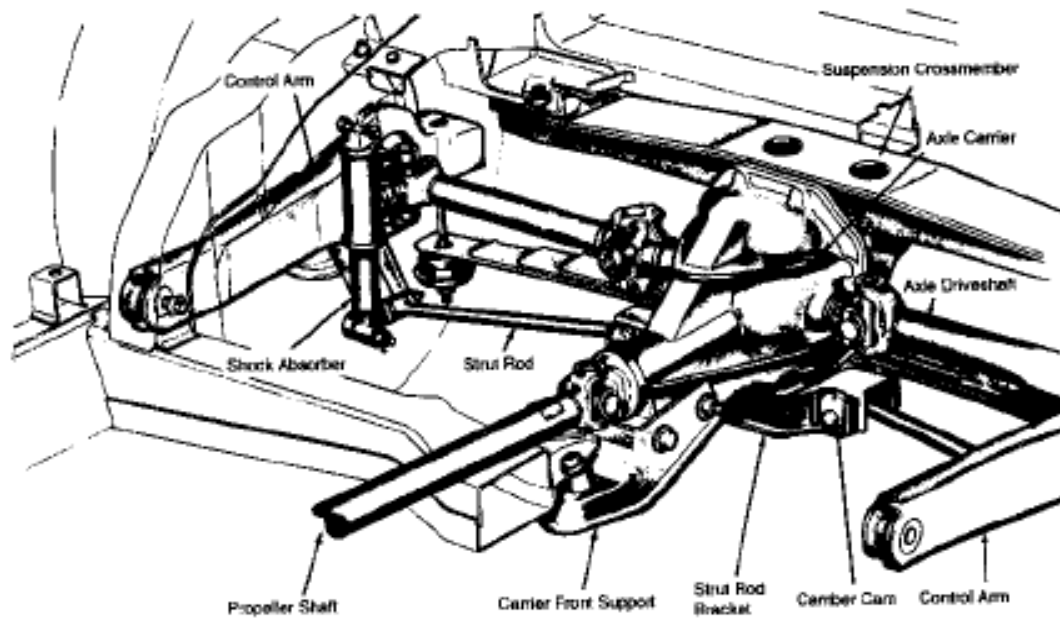


Fig.8

B.4.1) Suspensão “trailing arm” (braço arrastado) :

Emprega dois braços de arrasto o qual estão fixados de um lado na carroceria do veículo e na outra extremidade rigidamente fixados nos conjuntos dos cubos de roda. Em boa parte dos casos, este braço é relativamente largo se comparado com outras suspensões que possuem braço ou braços de controle, porque este além de ter a função de braço de controle, ele também oferece área de suporte para a mola helicoidal.

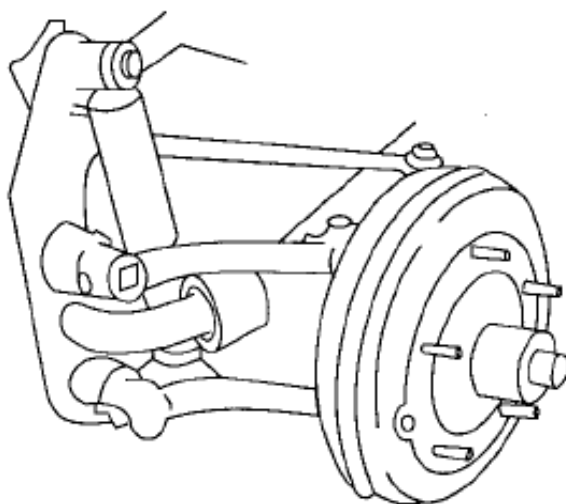
Quando a “trailing arm” é solicitada pelas irregularidades do solo, esta permite apenas que a roda suba e desça sem alteração de cambagem. Qualquer movimento lateral e variação de ângulo de cambagem (em relação à carroceria), não são permitidos. Todavia, quando a carroceria rola para um dos lados em uma curva, os braços de arrasto tendem a se posicionarem no mesmo ângulo que a carroceria, o que provoca uma alteração do ângulo de cambagem em relação à superfície do solo. Neste caso você poderá ver ambas as rodas inclinando-se para fora da carroceria (vista transversal), fazendo o veículo tender ao subesterçamento. Por esta razão as suspensões do tipo “trailing arm” foram aos poucos abandonadas pelos projetistas de automóveis. Em seu lugar, eles optaram pelo uso das suspensões do tipo “semi-trailing arm”.



Suspensão traseira “trailing arm” do Chevrolet Corvette (1965 a 1982).



Arranjo para suspensão dianteira tipo “trailing arm”.



Suspensão dianteira tipo “trailing arm” do VW “Beetle” (Fusca).

B.4.2) Suspensão “semi-trailing arm” (semi-braço arrastado) :

Essa suspensão tem os braços de arrasto fixados na carroceria com ângulo de inclinação de cerca de 50 a 80 ° em relação a vertical. Nas outras características construtivas elas são equivalentes às suspensões do tipo “trailing arm”.

Na prática, os semi-braços funcionam como braços meio transversais e meio longitudinais. Podemos analisá-los dividindo-os em dois, um em direção longitudinal ao veículo e outro na direção transversal. O componente longitudinal resultante induz o veículo ao sub-esterçamento, pois tende a alterar o ângulo de convergência da roda. Por outro lado, o componente transversal, faz a suspensão atuar de forma semelhante a do tipo “swing axle” (alterando o ângulo de cambagem), induzindo o veículo ao sobre-esterçamento, quando há a rolagem da carroceria, em curvas.

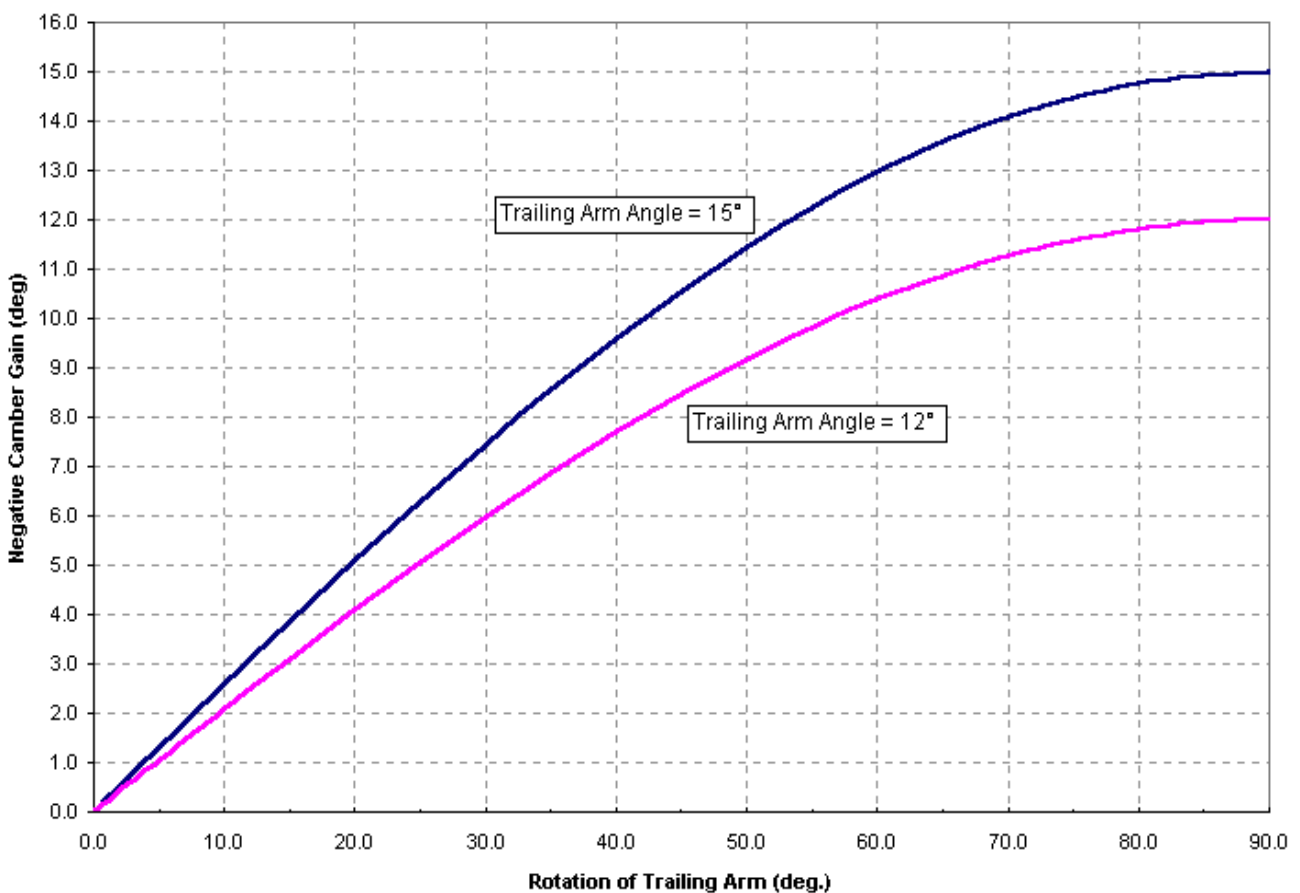
Na prática, podem-se trabalhar estes dois componentes de forma a fazer compensações dinâmicas do veículo quando requerido, ou ainda fazer com que estes dois componentes cancelem-se um ao outro, tendo como resultado alguma coisa próxima de uma resposta de esterçamento neutro. As equações para a cambagem e a convergência em um sistema “semi-trailing arm” traseiro são:

$$\text{Cambagem} = \text{sen}^{-1}(\text{sen } \theta \text{ sen } \alpha)$$

$$\text{Convergência} = \theta - \text{tan}^{-1}(\text{sen } \theta \text{ cos } \alpha / \text{cos } \theta)$$

Onde: α = ângulo do braço de arrasto, com a horizontal. θ = ângulo de giro (sweep angle) do braço de arrasto.

O ângulo θ das equações acima, é o que caracteriza o sistema “semi-trailing arm”. Para $\theta = 0^\circ$, a suspensão torna-se uma “trailing arm” pura. Abaixo, podemos ver a variação do ângulo de cambagem em função do ângulo θ e α :

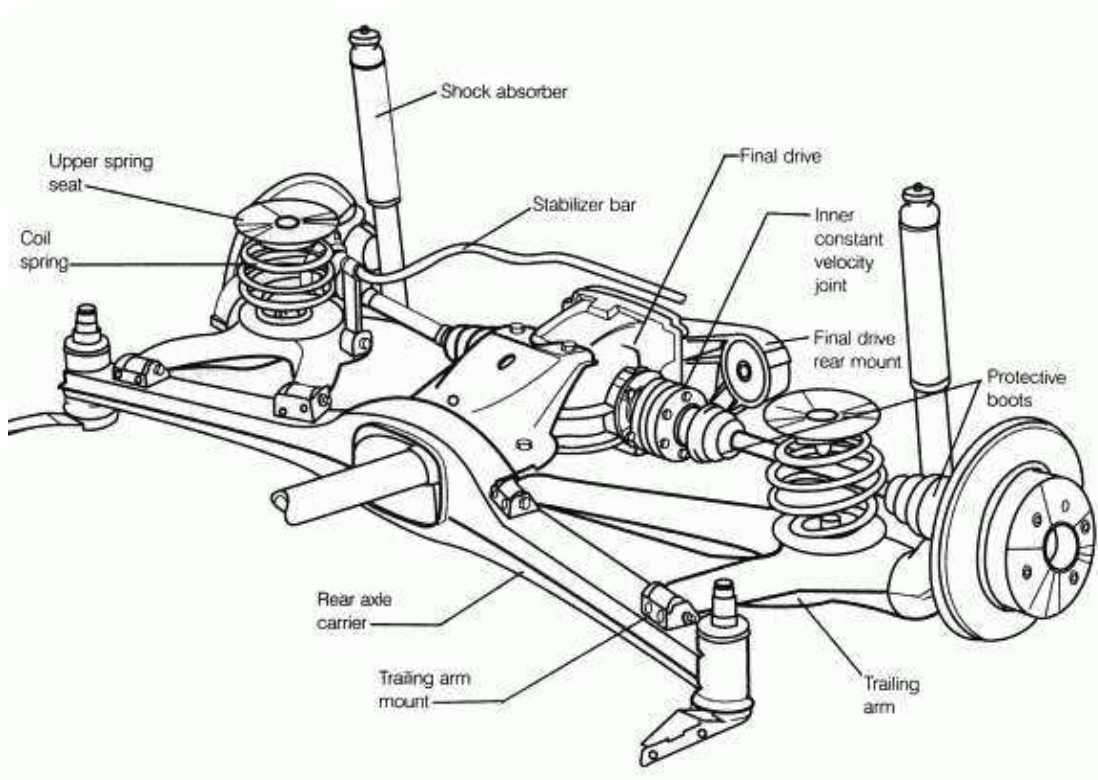


A suspensão “semi-trailing arm” tem algumas desvantagens: quando a roda move-se para cima e para baixo o ângulo de cambagem de qualquer forma muda. Além disso, como na “trailing arm”, os braços de controle são rigidamente fixados no cubo de roda, o que inevitavelmente faz com que mais choques e ruídos sejam transferidos para a carroceria do veículo. Também podemos citar que a grande quantidade de massas não suspensas desse tipo de suspensão torna-a inferior em termos de conforto quando comparadas com as do tipo “duplo-A” e “multi-link”.

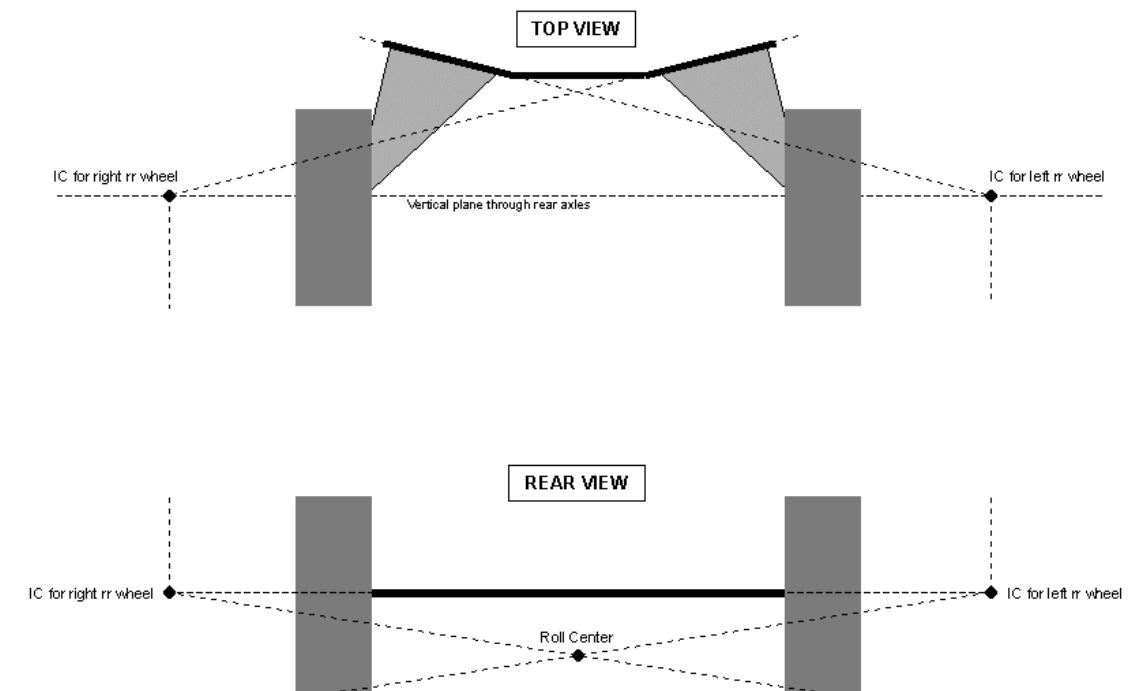
Na maioria das aplicações deste tipo de suspensão, os braços são fixados na carroceria do veículo com buchas de borracha para absorver ruídos e vibrações. Quando o veículo é submetido a esforços de frenagem, estas, multiplicadas pela distância do centro do disco/tambor traseiro ao ponto de fixação da suspensão geram um momento que tenta girar a roda no sentido da linha de convergência (figura 9). Associando este momento a sua geometria de fixação já discutida anteriormente e, devido à elasticidade das buchas de borracha de fixação, observa-se neste momento a alteração do ângulo de convergência da roda traseira, tornando-a divergente. Como resultado o veículo, nesta situação, tenderá a se tornar sobre-esterçante.



Ao lado: Braços da “semi-trailing arm” da BMW E30



Acima: Conjunto de suspensão traseiro “semi-trailing arm” da BMW E30 (1988).



Determinação do roll center da suspensão “semi-trailing arm”.

B.4.3) Sistema “Weissach” :

No início dos anos 70, a Porsche desenvolveu este tipo de suspensão traseira para equipar o seu modelo 928.

Esta nada mais é que uma “semi-trailing arm”, onde o tradicional braço é dividido em duas peças, com um pivô de fixação adicionado entre elas (fig. 9).

Estas modificações visavam eliminar o efeito de sobre-esterçamento (e até mesmo introduzir algum efeito de sub-esterçamento), provocado pelos esforços de frenagem nas tradicionais “semi-trailing arm”, como já discutido anteriormente. Algumas literaturas chamam esta suspensão de “esterçamento de roda traseira passivo”.

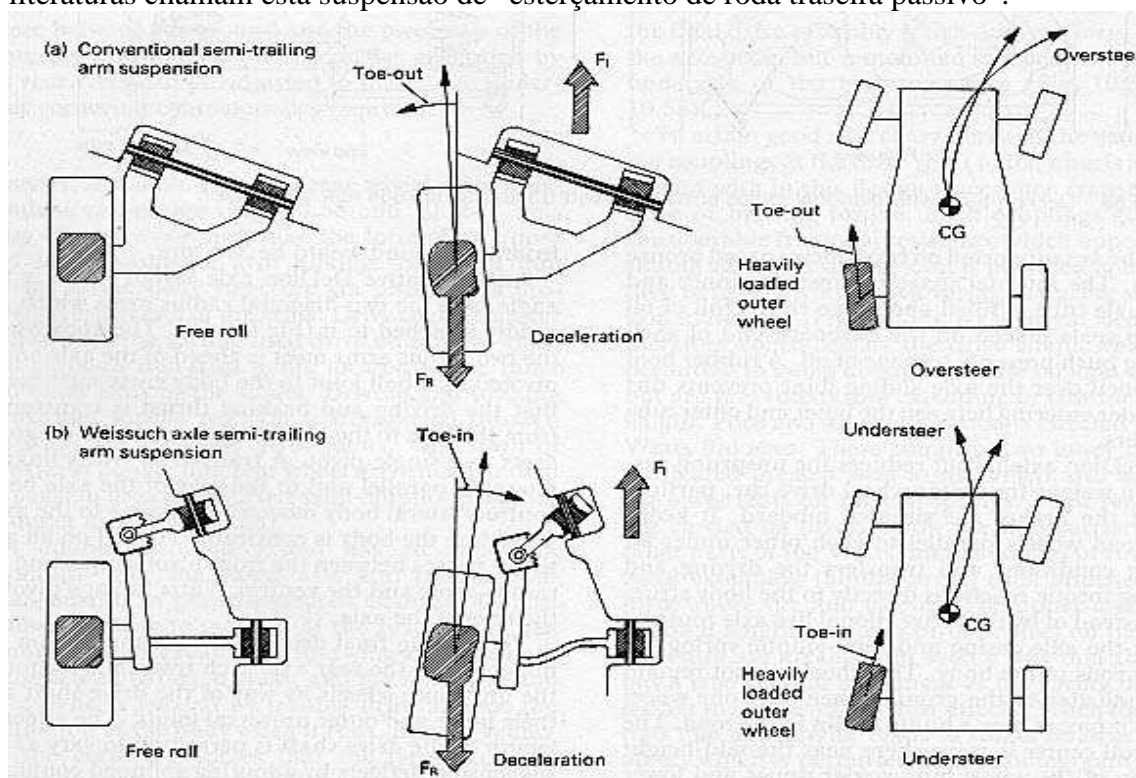


Figura 9

B.5) Suspensão “torsion beam” ou semi-independente com braço de torção:

Muitos modelos compactos dos segmentos A e B, de tração dianteira, usam este tipo de suspensão traseira, devido ao pouco espaço que esta utiliza possibilitando um maior espaço dentro do habitáculo do veículo, quando comparada com outros tipos de suspensão. Tem baixo custo de fabricação e baixa massa não suspensa.

Sob o ponto de vista da cinemática do veículo, esta suspensão apresenta muito pouca variação de cambagem das rodas em função da rolagem da carroceria e da alteração de carga do veículo.

Comparada com a suspensão MacPherson, seu amortecedor é mais curto e pode ser bem inclinado para longe da vertical.

De fato, este tipo de suspensão é a única realmente semi-independente; pois tem um braço de torção conectando os dois conjuntos de suspensão, limitando o grau de liberdade de cada lado quando este é solicitado (fig. 10). Este braço também pode atuar como barra estabilizadora e contribui para a ação de amortecimento das molas, devido à sua geometria e forma de fixação na carroceria.

Porém, este sistema de suspensão apresenta algumas desvantagens, tais como: transmissão de ruídos e vibrações para a carroceria provenientes das irregularidades do solo, tendência ao efeito de sobre-esterçamento em curvas, devido a alteração dos ângulos de convergência das rodas. Este último ocorre, devido a deformação dos braços oscilantes sob a ação da força lateral.

Outra desvantagem está na determinação limitada da posição da roda, devido a interdependência das rodas imposta pelo braço de torção.

Também, devido ao seu projeto, torna-se inviável a sua montagem no sistema do eixo propulsor do veículo e também no eixo do conjunto de direção, o que limita seu uso a certos tipos de projetos.

Normalmente, a “torsion Beam” só é aplicada em suspensões traseiras de veículos de tração dianteira, ao contrário das “MacPherson”, “Duplo-A”, “Multi-link”, “trailing arm” e eixo-rígido que podem ser aplicadas em praticamente todas as configurações de eixos.

Em termos de conforto e estabilidade do veículo, ela é bem inferior às do tipo “duplo-A” e “multi-link”, embora possua pontos positivos em relação a sua única competidora direta em termos de custo, a suspensão “MacPherson” (apenas para suspensões traseiras). Muitos carros europeus (fig.11) e brasileiros, que possuem razoável a boa dirigibilidade, utilizam este tipo de suspensão.



Fig.10



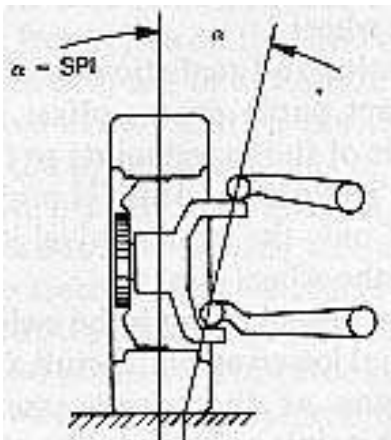
Fig.11 - Suspensão traseira, Fiat Punto.

B.6) Suspensão “double wishbones” ou “Duplo-A” :

Para muitos projetistas, a suspensão “Duplo-A” (também conhecida por Double Wishbones ou ainda SLA, abreviação de short-long arms) é o arranjo mais ideal. Ela pode ser utilizada como suspensão dianteira e traseira, é independente e o mais importante, é o mais próximo do perfeito controle dos ângulos de cambagem e convergência das rodas.

Por 40 anos e mesmo nos dias de hoje, esta é a primeira escolha para carros esportes, carros de corrida, e sedans com bons desempenhos, como por exemplo, muitas Ferraris e modelos da Honda.

Basicamente, a suspensão “Duplo-A” sempre mantém a roda perpendicular à superfície do solo, independente da atuação das molas, do carregamento do veículo e rolagem da carroceria em uma curva. Em outras palavras, ela garante um excelente desempenho em termos de estabilidade.

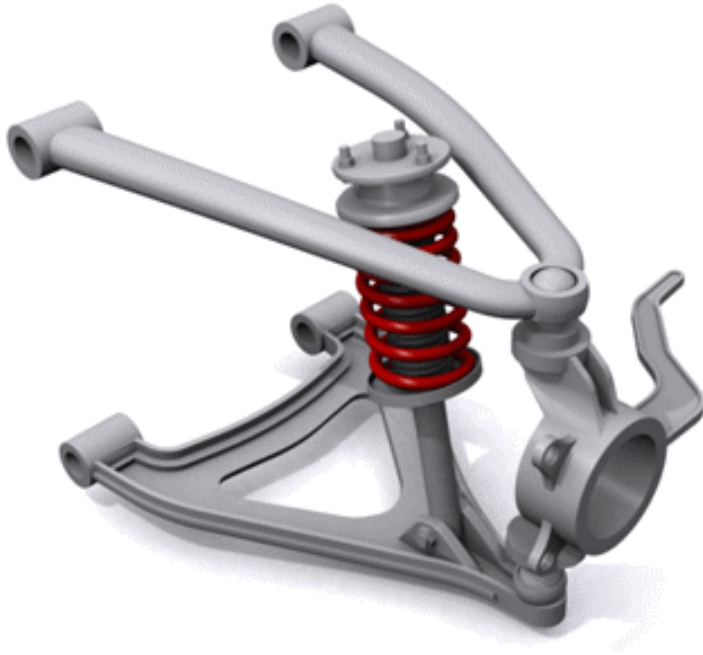


As primeiras “Duplo-A” consistiam em 2 braços trapezoidais, de igual comprimento, que tinham como inconveniente, o excessivo arrasto do pneu durante o seu funcionamento, devido ao grande curso que a roda tinha que executar, para voltar a sua posição neutra. Com o desenvolvimento de braços não paralelos e com comprimentos diferentes, este problema foi sanado com êxito.

Os únicos inconvenientes para o uso desta suspensão estão no seu custo elevado e o uso de um espaço relativamente grande (quando comparada com a MacPherson) do veículo, para sua instalação. Por este último motivo é que pouquíssimos compactos utilizam este tipo de sistema de suspensão.



Suspensão traseira “Duplo-A”, Porsche 993.



Representação esquemática de uma suspensão dianteira “Duplo-A”.

B.7) Suspensão “MacPherson” :

A suspensão MacPherson foi inventada em meados de 1940 por Earl S. MacPherson da Ford. Ela foi introduzida pela primeira vez no mercado em 1950, nos modelos da Ford Inglesa e desde então tem sido o sistema de suspensão mais utilizado no mundo, devido ao seu baixo custo e arranjo compacto.

Ao contrário de outros desenhos de suspensões, o amortecedor telescópico da MacPherson, também tem a função de ponto de fixação para o controle da posição da roda, eliminando o braço superior de controle, presente em outros projetos de suspensão (fig.12).

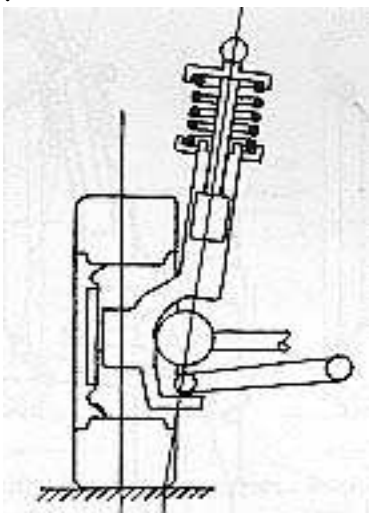


Fig.12-Conjunto MacPherson.

Isto também torna o conjunto de suspensão bem compacto o que se torna vantajoso aplicá-la em veículos de tração dianteira, principalmente se este tem o motor montado em disposição transversal, tornando o espaço útil para o alojamento do conjunto de suspensão, bastante limitado. Sem nenhuma dúvida, para estes casos a suspensão MacPherson é a mais apropriada.

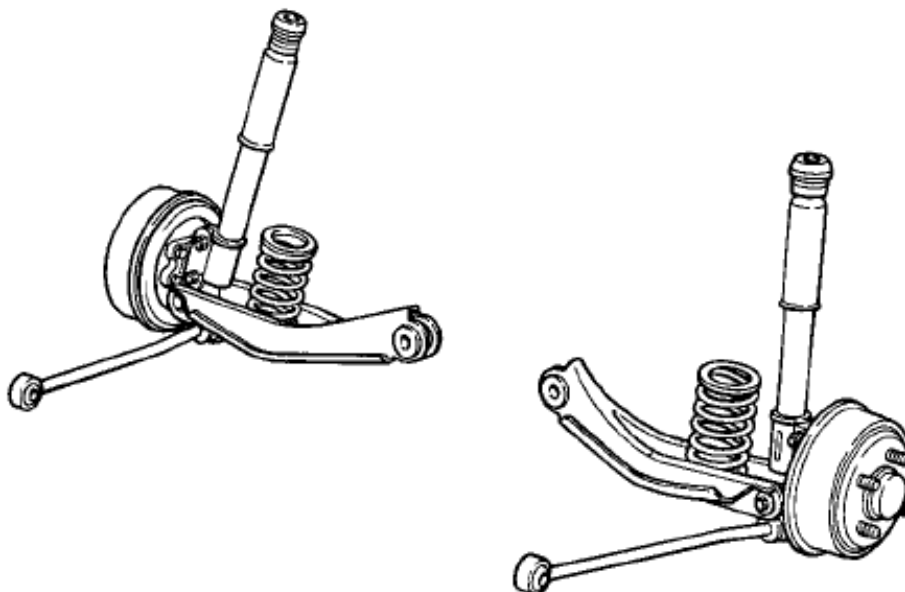
Contudo, a simplificação de seu desenho prejudica a estabilidade do veículo. Rolagem da carroceria e a movimentação da mola induzem a alteração dos ângulos de cambagem, embora estas variações não sejam tão severas como apresentadas em outros modelos, como por exemplo, o tipo “swing arm”. Do ponto de vista do design do veículo, a suspensão MacPherson necessita uma altura maior para a sua instalação, requerendo linhas mais altas de capô e pára-lamas, o que não é desejado por projetistas de carros esportivos.

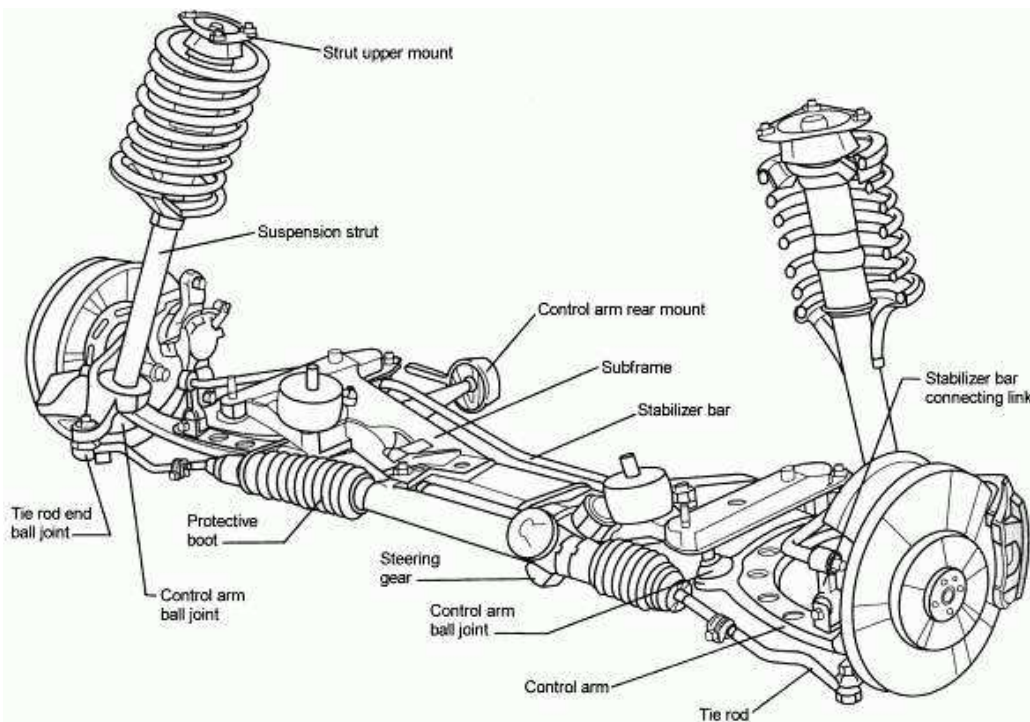


Suspensão MacPherson do Hyundai Atoz.

Como a suspensão “Duplo-A”, a MacPherson pode ser adaptada para atuar como suspensão dianteira e traseira. Vários veículos dos anos 80 utilizaram (e alguns ainda utilizam) a MacPherson nos conjuntos dianteiro e traseiro ao mesmo tempo, como exemplos: Fiat 4 , Tipo (somente versões italianas, aqui no Brasil eles utilizaram a “trailing arm” na traseira), Fiat Croma , Lancia thema , Saab 9000 , Tempra , Lancia Delta etc. ... Nenhum deles era famoso pela sua estabilidade. No caso dos Alfas Romeo GTV e Spider que eram construídos na plataforma do Tipo, houve a necessidade de substituir a suspensão MacPherson traseira por uma Multilink, devido ao desempenho insatisfatório durante os testes na fase de desenvolvimento destes veículos.

Abaixo: Exemplo de suspensão MacPherson traseira.





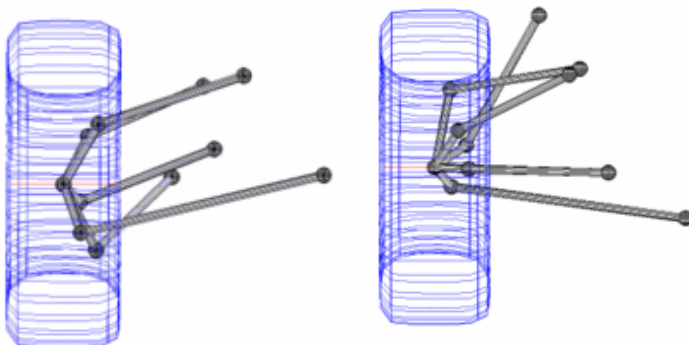
Suspensão dianteira MacPherson - BMW E30 (1988).

B.8) Suspensão “Multi-link” :

Desde o final dos anos 80, a suspensão traseira multi-link é cada vez mais usada nos modernos sedans e coupés. As primeiras aplicações que surgiram no mercado, foram Nissan 200SX, Mercedes da classe S e BMW da série 3.

É difícil descrever sua construção, porque ela não é um tipo estritamente definido. Em teoria, qualquer suspensão independente que tenha 3 braços de controle ou mais pode ser classificada de Multi-link. Diferentes projetos podem ter muitas diferentes geometrias e características, como por exemplo, o sistema Multi-link da BMW, semelhante à letra “Z” , daí o seu nome “Z-axle”. No Honda Accord o sistema Multi-link é essencialmente uma “Duplo-A”, com a adição de um quinto braço de controle. A suspensão “Four-link” do Audi A4, como o nome diz, é uma suspensão com 4 pontos de fixação. É bem semelhante ao ”Duplo-A”, mas sua concepção elimina o torque de esterçamento.

Em geral, elas requerem um espaço maior de alojamento, porém oferecem excelente estabilidade e conforto, porém é muito prematuro dizer que as suspensões Multi-link oferecem estabilidade no mesmo nível das “Duplo-A”.



Multi-link com 5 braços de controle.

Muitos carros esportes e todos os melhores carros de corrida ainda usam o sistema “Duplo-A”. Apenas os Porsche 993 e 996, Nissan Skyline GT-R e o Honda Acura NSX (figura 13), usam os sistema Multi-Link. Entretanto, parece que os sistemas “Multi-link” oferecem o melhor compromisso entre estabilidade e espaço requerido para sua instalação se comparado com a suspensão “Duplo-A”. Talvez seja por isso que muitos sedans, cada vez mais, sejam equipados com este tipo de suspensão. Prova disso é a Honda, que sempre foi fiel a aplicação da suspensão “Duplo-A “ nos seus modelos, mas que recentemente aplicou o sistema “Multi-link” no seu último modelo da linha Accord.

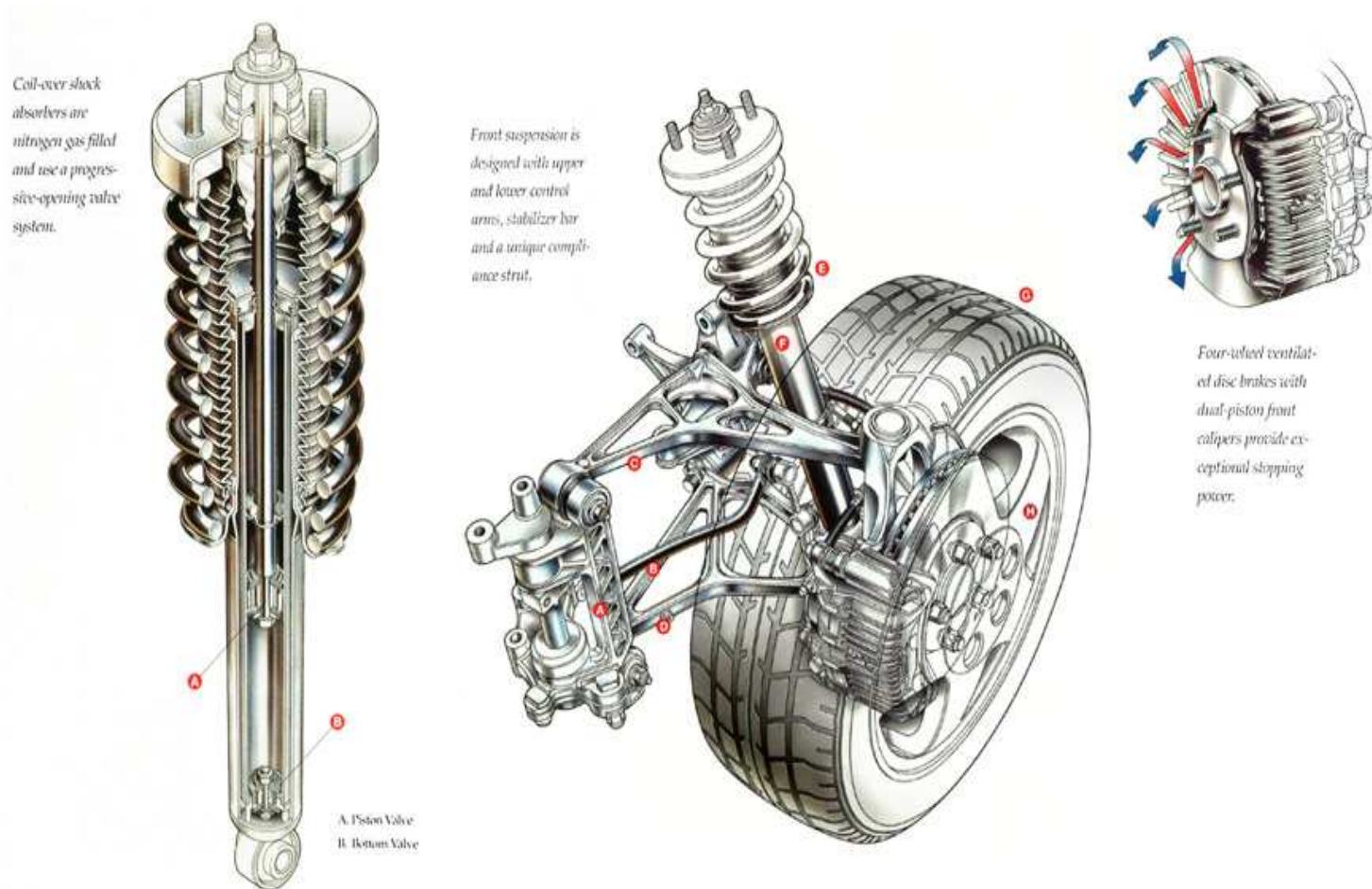


Suspensão traseira “Multi-link”.



Esquema de suspensão dianteira “Multi-link”.

Figura 13: abaixo, detalhes da suspensão “Multi-link” do Honda Acura NSX.



B.9) Suspensão “Twin I-Beam” :

A suspensão dianteira tipo “twin I-Beam” é usada exclusivamente em caminhonetes Ford 4X2 desde 1965 nos Estados Unidos e no Brasil, sendo aplicada em primeiro lugar nos modelos F100 e F250. Neste tipo de suspensão a mola é montada entre o chassi e um longo braço “I-Beam” que suporta o cubo de roda. Braços de arrasto longitudinais (fig. 14- pos. 10) auxiliam na manutenção da geometria da suspensão. Na outra extremidade, o braço “I-Beam” é fixado no chassi em uma articulação (fig.14-pos. 9).

Este projeto tem como característica, o baixo deslocamento angular dos braços principais, devido ao longo comprimento que estes possuem.

Para a época era um notável avanço, abandonando o arcaico eixo rígido com molas semi-elípticas, proporcionando mais conforto aos ocupantes do veículo, devido a sua menor massa não suspensa e evidentemente, pela capacidade de absorver as irregularidades do solo com independência entre as rodas.

Mas com o passar do tempo se evidenciaria seu maior problema: a acentuada variação de cambagem no curso normal da suspensão, provocando desgastes prematuros nos pneus dianteiros e gerando instabilidade no veículo, quando trafegava em pisos menos regulares.

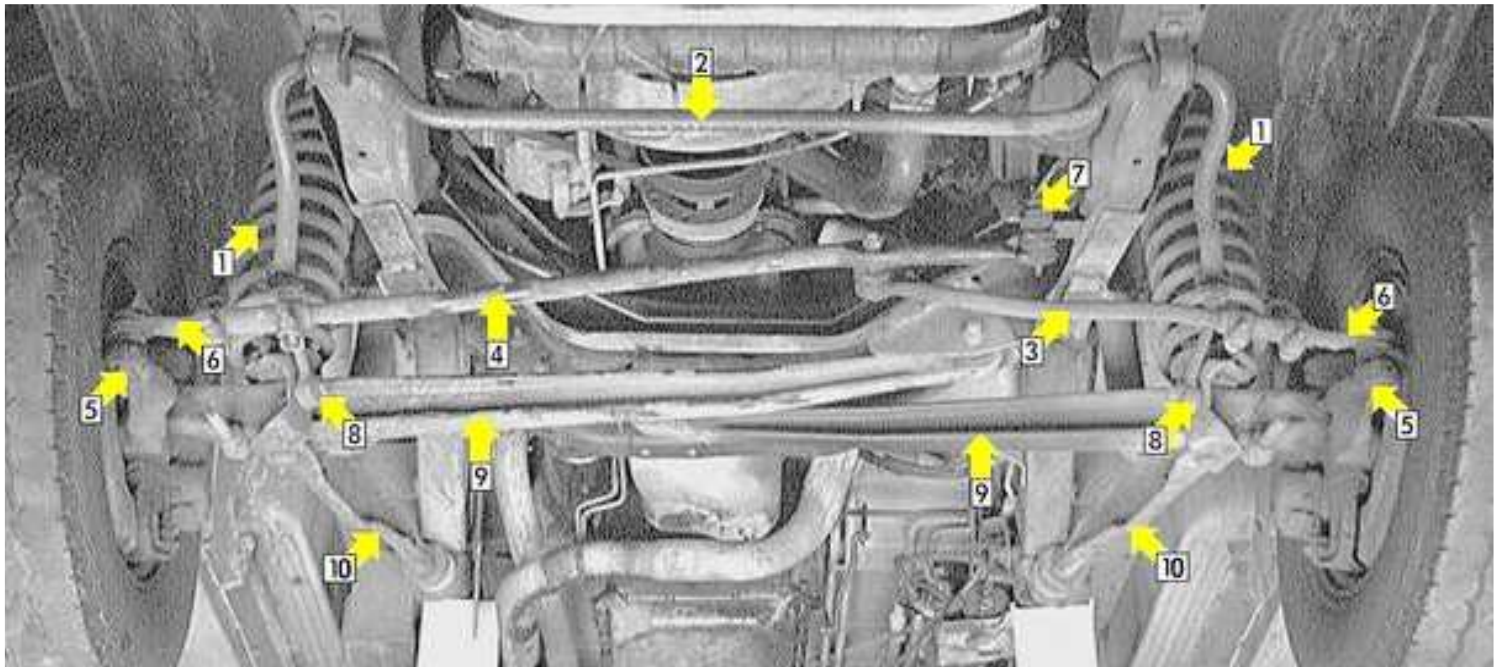


Figura 14: Detalhes da suspensão “Twin I-Beam”.

- 1- Molas e amortecedores
- 2- Barra estabilizadora
- 3- Suporte
- 4- Barra de direção
- 5- Terminal de direção
- 6- Pivô de direção
- 7- Braço Pitman
- 8- Bieleta
- 9- Braço “I-Beam”
- 10- Braço longitudinal de arrasto