

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA

**ESTUDO DAS MELHORES PRÁTICAS SOBRE A VANTAGEM TECNOLÓGIA DA
TRANSMISSÃO AUTOMÁTICA DE VEÍCULOS DE PASSEIO COM RELAÇÃO AO
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL**

São Caetano do Sul

2012

JÚLIO CEZAR SARTORELI CARDOSO

**ESTUDO DAS MELHORES PRÁTICAS SOBRE A VANTAGEM TECNOLÓGIA DA
TRANSMISSÃO AUTOMÁTICA DE VEÍCULOS DE PASSEIO COM RELAÇÃO AO
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL**

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, da Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Mauro Andreassa

São Caetano do Sul

2012

Cardoso, Júlio Cesar Sartoreli

Estudo para verificar a influência das Transmissões Automáticas modernas de veículos de passeio no consumo de combustível. Júlio Cesar Sartoreli Cardoso – São Caetano do Sul, SP: CEUN-EEM, 2012

62 p.

Monografia – Especialização em Engenharia Automotiva. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2012.

Orientador: Prof. Mauro Andreassa

1. Transmissão Automática. 2. Transmissão de Embreagem Dupla. 3. Consumo de Combustível

DEDICATÓRIA

Dedico este estudo a minha esposa Juliana e ao meu filho Henrique, que sempre me apoiaram apesar da minha ausência, sabendo que era para a concretização deste.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao amigo João Bosco Diniz, que sem o material bibliográfico que ele tão prontamente cedeu, este estudo não seria possível.

Aos amigos da Ford Motor Company do Brasil, que contribuíram para a realização deste estudo: Alberto Bernardino, Fernando Sarracini, Adilson Oliveira, Flávio Fernandes, Marcelo Pinto e Felipe Aguiar.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar as tecnologias mais recentes em transmissões automáticas para veículos automotores de passageiros, bem como mostrar o ganho significativo de consumo de combustível que estas transmissões tem apresentados em virtude das novas tecnologias atualmente disponíveis, que possibilitam por em prática conceitos antigos, mas não ultrapassados, que somente não foram colocados em prática antes pois o avanço tecnológico não o permitiu. Desta forma, será possível neste trabalho verificar os principais tipos de transmissões automotivas existentes, desde a simples transmissão manual até as mais complexas existentes no momento, o seu funcionamento, a calibração da transmissão, como são realizadas as medições de consumo de combustível e finalmente comparativos entre transmissões automáticas nos quais é possível constatar como a evolução tecnológica influenciou o consumo de combustível. Como na sociedade em que vivemos, tanto em países mais abastados como em países mais desprovidos de riquezas, o alto consumo de combustível dos veículos passou a ser considerado sinônimo de ineficiência, pois sabe-se que com tecnologia é possível obter mais por menos, fazendo com que os veículos tenham bastante conforto sem comprometer o meio-ambiente com emissões nocivas ou o esgotamento dos recursos naturais, cada vez mais escassos. Desta forma não somente os motores, mas as transmissões também são capazes de contribuir para o aumento da eficiência do veículo, proporcionando a redução do consumo de combustível e poluentes.

Palavras-chave: Transmissões automáticas. Transmissões de embreagem dupla. Consumo de combustível.

ABSTRACT

This study aims to present the latest technology in automatic transmissions for passenger vehicles, as well as show the significant gain in fuel consumption has shown that these transmissions because of new technologies currently available that allow for practice on old concepts, but not exceeded, they were not only put in place since before the technological advancement not allowed. This way, you can check this work the main types of existing automotive transmissions, manual transmission from simple to the most complex existing at the time, its operation, the calibration of the transmission, how the measurements are performed in fuel consumption and finally comparsion among automatic transmissions in which it can be seen as technological developments influenced the fuel consumption. As the society we live in both countries and in more affluent countries less devoid of wealth, the high fuel consumption of vehicles has been considered synonymous with inefficiency, since it is known that with technology you can get more for less, making that the vehicles have enough comfort without compromising the environment with harmful emissions or depletion of natural resources, increasingly scarce. Thus not only the engine but the transmissions are also able to contribute to increase vehicle efficiency, providing a reduction in fuel consumption and pollutants..

Keywords: Automatic Transmissions. Dual Clutch Transmissions. Fuel Economy.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AT	“Automatic Transmission” ou Transmissão Automática
AMT	“Automated Manual Transmission” ou Transmissão Manual Automatizada
C1	“Clutch 1” ou Embreagem 1
C2	“Clutch 2” ou Embreagem 2
CVT	“Continuously Variable Transmission” ou Transmissão Continuamente Variável
DCT	“Dual Clutch Transmission” ou Transmissão de Embreagem Dupla
ECE	“Economic Comission for Europe”. Neste caso refere-se ao ciclo Europeu padrão ECE-15 para medições de emissões de gases veiculares
FWD	“Front Wheel Drive” ou Tração Dianteira
GDI	“Gasoline Direct Injection” ou Injeção Direta de Gasolina
JAMA	“Japan Automobile Manufacturers Association” ou Associação dos Fabricantes de Automóveis do Japão
KAMA	“Korea Automobile Manufacturers Association” ou Associação dos Fabricantes de Automóveis da Coréia
MT	“Manual Transmission” ou Transmissão Manual
NBR	Norma brasileira
RWD	“Rear Wheel Drive” ou Tração Traseira
TCCT	“Torque Converter Clutch Transmission” ou Transmissão com Embreagem e Conversor de Torque
TCM	“Transmission Control Module” ou Módulo de Controle de Transmissão
TCU	“Transmission Control Unit” ou Unidade de Controle da Transmissão
TDI	“Turbo Diesel Injection”

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 INTRODUÇÃO TEÓRICA DE TRANSMISSÕES	11
2.1 CONFIGURAÇÕES DAS TRANSMISSÕES	12
2.2 TIPOS DE TRANSMISSÕES:.....	14
2.2.1 Transmissões manuais (MT).....	15
2.2.2 Transmissões automatizadas (AMT).....	19
2.2.3 Transmissões mecânicas continuamente variáveis (CVT)	22
2.2.4 Transmissões automáticas com várias relações de marcha.....	25
2.2.5 Controle eletrônico de transmissões	37
2.2.6 Calibração das transmissões	39
3 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL.....	41
3.1 REALIZANDO A MEDIÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	41
4 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS COM TRANSMISSÃO AUTOMÁTICA..	45
4.1 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL NAS TRANSMISSÕES AUTOMÁTICAS CONVENCIONAIS.....	45
4.2 COMPARATIVO DE CONSUMO ENTRE TRANSMISSÕES AUTOMÁTICAS.....	49
4.2.1 Transmissão automática TR-60SN AISIN RWD.....	49
4.2.2 Transmissão automática Ford 6R140	51
4.2.3 Transmissão automática AISIN TF-80SC de 6 marchas	52
4.3 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL NAS TRANSMISSÕES AUTOMÁTICAS DE DUPLA EMBREAGEM	54
5 O FUTURO DAS TRANSMISSÕES AUTOMÁTICAS	60
6 CONCLUSÃO.....	65
7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	67

1 INTRODUÇÃO

Este estudo tem por objetivo realizar um comparativo das transmissões automáticas existentes para veículos de passeio, sendo que o consumo de combustível será o atributo utilizado como fator de comparação entre elas.

Sempre que ocorre o desenvolvimento de um veículo, são verificados e estabelecidos os pontos de excelência (“targets”) que são utilizados como referência (“benchmarking”) para atributos como ruído interno do veículo, desempenho, consumo de combustível, etc,... Neste caso, o principal atributo a ser considerado será o consumo de combustível, e será citada também para cada transmissão a principal vantagem tecnológica que proporciona esta redução ou ganho no consumo de combustível.

Vivemos hoje numa sociedade que está ciente da crise energética em que vive, da escassez dos recursos naturais e principalmente das limitações das fontes de energia não renováveis, como o petróleo, por exemplo.

Assim sendo, o consumo de combustível é um atributo de grande importância, senão o mais importante, que o consumidor analisa quando pretende adquirir um veículo. Desta forma, veículos mais eficientes, ou seja, mais econômicos dos ponto de vista de consumo de combustível, são cada vez mais apreciados pelos consumidores de maneira geral. Vale ressaltar que veículos com baixo consumo de combustível eram apreciados em países em desenvolvimento ou com economia em crise. No entanto hoje em dia este atributo é altamente apreciado inclusive nos países considerados desenvolvidos, pois baixo consumo de combustível indica, conforme citado acima, que são veículos eficientes e ecologicamente corretos por produzirem menos emissões de gases poluentes.

E como as transmissões automáticas de maneira geral demandam maior consumo de combustível, consumidores que dão muita importância a este atributo muita vezes preferem veículos com transmissão mecânica, optando por um consumo de combustível menor em detrimento ao maior conforto.

No entanto, devido ao grande avanço tecnológico que temos vivido nos últimos anos, existe a possibilidade que a demanda reprimida por este tipo de transmissão seja atendida através de uma redução de consumo de combustível, tendo em vista que ocorrerá uma migração natural do consumidor estimulado pelo maior conforto e comodidade proporcionados pela transmissão automática, mas consciente que não está emitindo mais poluentes ou gastando muito mais para obter este conforto.

2 INTRODUÇÃO TEÓRICA DE TRANSMISSÕES

Todos os veículos, aéreos e aquáticos inclusive, necessitam de um sistema de transmissão para converter o torque e rotação dos motores em movimento. As transmissões são selecionadas de acordo com a sua função e propósito, como por exemplo: caixas de câmbio, caixas de direção e tomadas de forças (para veículos comerciais como compactadores de lixo ou betoneiras, por exemplo).

Num automóvel, a transmissão tem como principal função converter, de forma o mais ideal possível, o torque fornecido pelo motor em força trativa nas rodas, de forma a movimentar o veículo em diferentes velocidades. Em suma: as transmissões conectam o motor com as rodas trativas do veículo.

Hoje em dia, quase todos os automóveis utilizam motores de combustão interna, seja este ciclo Otto (ignição por centelha), ou ciclo Diesel (ignição por compressão). Desta forma, os veículos precisam de transmissões devido basicamente a:

- Ao contrário de motores a vapor e motores elétricos, motores a combustão interna são incapazes de produzir torque diretamente do repouso (zero rpm);
- Um motor de combustão interna produz máximo torque e potência somente a uma determinada rotação,
- O consumo de combustível é alto dependendo do ponto de operação dentro do mapa de performance do motor.

Para uma transmissão funcionar adequadamente como conexão entre as rodas trativas e o motor, existem requisitos básicas que uma transmissão deve cumprir:

- Permitir que o veículo entre em movimento a partir do repouso;
- Adaptar-se ao fluxo de potência (convertendo o torque e rotação de saída do motor; e permitir reversão de marcha);
- Permitir transmissão de torque e potência constantes,
- Controlar a potência demandada.

Em adição a estes requisitos básicos que uma transmissão deve cumprir, existem os seguintes requisitos desejáveis, que são conhecidos como requerimentos operacionais, e que afetam substancialmente a competitividade:

- Confiabilidade operacional;
- Custo;
- Facilidade de reparo;
- Facilidade de manutenção;
- Eficiência;
- Dimensões e peso;
- Facilidade para customização e
- Emissões (ruído, lubrificante, etc)

Desta forma, para que uma transmissão cumprir a função de transmitir o torque do motor para as rodas, é fundamental que os requisitos básicos acima sejam atendidos. Mas para que seja um produto de sucesso é importante que os requisitos desejáveis sejam os melhores possíveis dentro da categoria de veículo a que esta se destina.

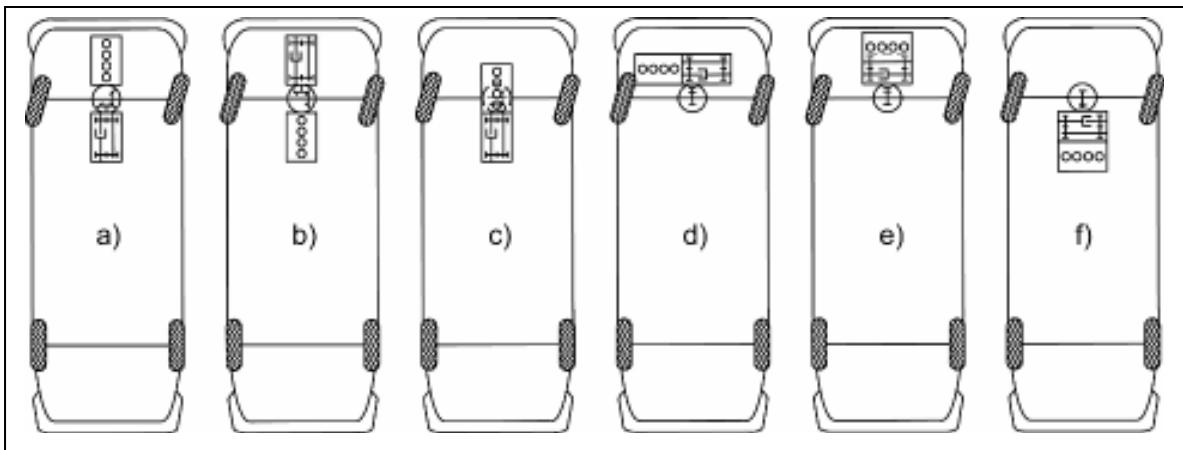
2.1 CONFIGURAÇÕES DAS TRANSMISSÕES

A tecnologia dominante para carros de passeio é tração dianteira. Tração traseira era comum, mas atualmente é utilizado somente em alguns carros esporte. Tração integral (dianteira e traseira) está sendo muito difundido em novos projetos, sendo que a muitos modelos de veículos trazem ao menos catálogo com tração integral disponível.

As possíveis combinações de montagem de motor e transmissão em veículos de passeio podem ser observadas nas figuras a seguir.

Primeiramente podemos observar as combinações de veículos com motor e tração dianteira:

Figura 2: Combinações motor e tração dianteiros

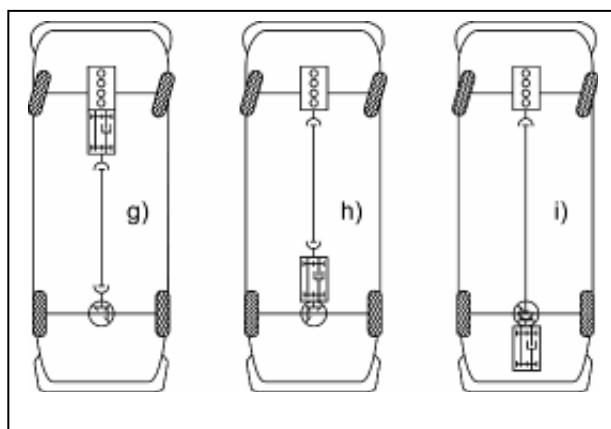


FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

- a) Motor e transmissão longitudinais;
- b) Motor (atrás do eixo) e transmissão longitudinais;
- c) Motor (sobre o eixo) e transmissão longitudinais;
- d) Motor e transmissão lado a lado transversais;
- e) Motor transversal sobre a transmissão,
- f) Motor transversal atrás da transmissão.

Abaixo podemos observar as combinações com motor dianteiro e tração traseira:

Figura 2: Combinações motor e tração traseiros



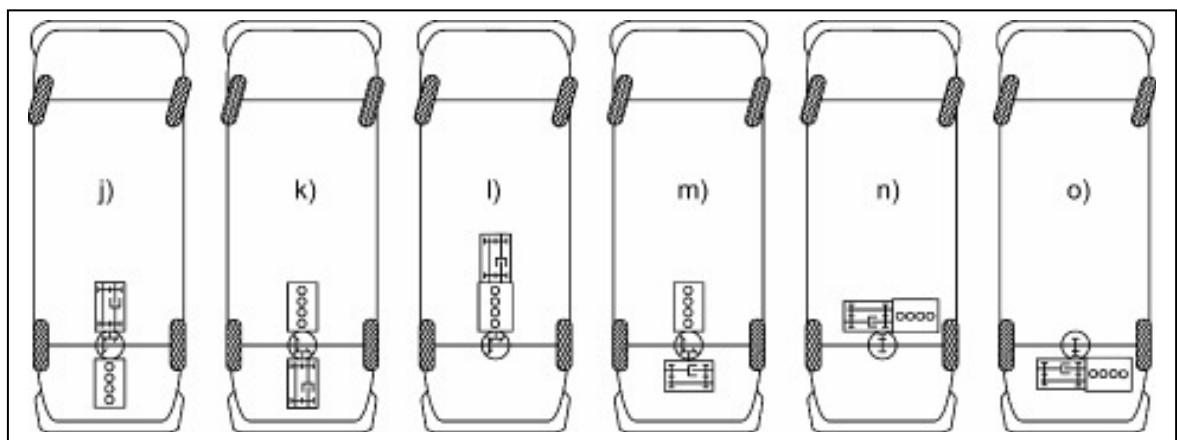
FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

- g) Motor dianteiro acima do eixo dianteiro e transmissão longitudinais;

- h) Motor dianteiro acima do eixo dianteiro e transmissão longitudinais, com transmissão montada na frente do eixo traseiro,
- i) Motor dianteiro acima do eixo dianteiro e transmissão longitudinais, com transmissão montada na trás do eixo traseiro,

Finalmente podemos observar as combinações com motor e tração traseiros:

Figura 3: **Combinações motor e tração traseiros**



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

- j) Motor longitudinal atrás do eixo traseiro;
- k) Motor longitudinal na frente do eixo traseiro;
- l) Motor e transmissão na frente do eixo traseiro;
- m) Motor longitudinal na frente do eixo traseiro e transmissão transversal atrás do eixo;
- n) Motor e transmissão transversais na frente do eixo traseiro;
- o) Motor e transmissão transversais na trás do eixo traseiro;

2.2 TIPOS DE TRANSMISSÕES:

As transmissões de veículos de passeio são classificadas nos principais grupos a seguir:

- Transmissões manuais (MT);

- Transmissões automatizadas (AMT);
- Transmissões mecânicas continuamente variáveis (CVT);
- Transmissões automáticas com várias relações de marcha:
 - Transmissões de embreagem dupla (DCT);
 - Transmissões automáticas convencionais (AT), que consistem num conversor de torque hidrodinâmico e uma transmissão de planetárias;

2.2.1 Transmissões manuais (MT)

Transmissões manuais para veículos de passeio são aquelas em ambos os processos de trocas de marchas e acionamento da embreagem são realizados manualmente pelo motorista.

Numa transmissão manual a mudança de marchas ocorre quando a transmissão está sem carga, ou seja, há interrupção de torque entre o motor e as rodas durante a operação de troca de marchas. Durante este breve momento, o veículo desliza em neutro sob influência do momento de inércia, podendo implicar na perda de velocidade dependendo da dificuldade do terreno, resistência do veículo ao rolamento, etc,

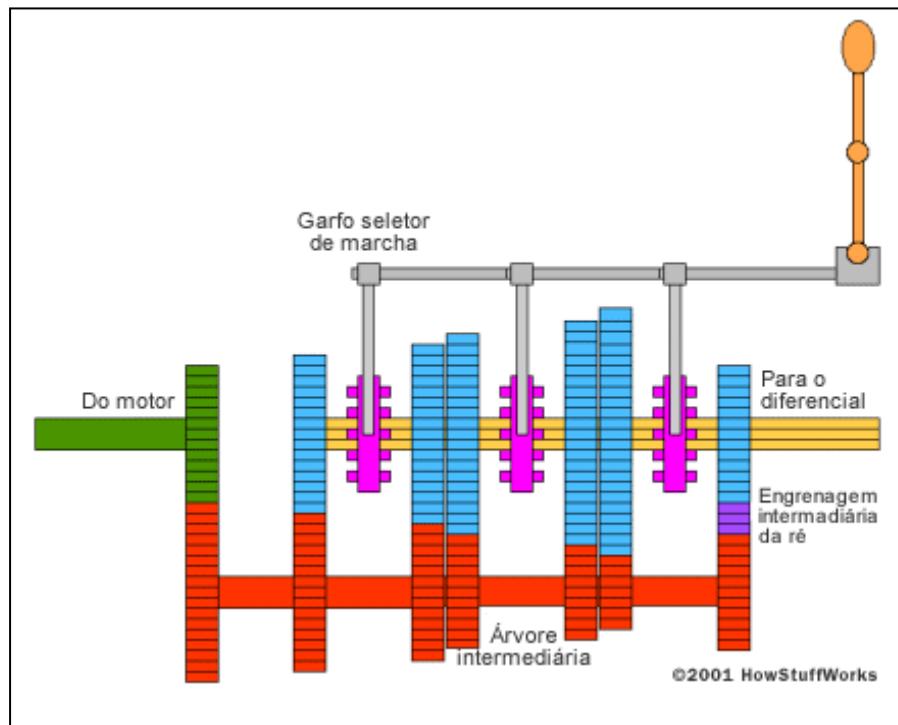
De forma a limitar esta perda de velocidade (e potência), a troca de marchas deve ser feita o mais rápido possível: em geral toda operação não deve durar mais que um segundo. Para um transmissão manual multi-range (velocidades múltiplas, utilizadas em veículos comerciais), a troca de marchas deve ser entre 0,2 e 0,3 segundos (geralmente estas transmissões têm auxílio pneumático).

Transmissões com interrupção de torque podem ser utilizadas em várias aplicações, desde que a velocidade do veículo não decresça (ou no caso de descidas, aumente) significativamente durante o processo de troca de marchas. Se as forças de aceleração são baixas, a massa do veículo é alta e qualidade de direção não são prioridades, transmissões manuais podem ser aplicadas.

As transmissões manuais utilizadas em veículos de passeio normalmente são de árvores contrapostas, sendo que neste tipo de transmissão, as relações de transmissão entre as árvores motora e movida são estabelecidas através de pares de engrenagens contrapostas incorporadas ao fluxo de potência de forma manual ou servo-assistida. As duas principais formas construtivas deste tipo de caixa de transmissão são as de 2 e 3 árvores.

As transmissões com 2 árvores em geral são utilizadas em veículos de passeio, enquanto que em utilitários são utilizadas as de 3 árvores por propiciarem valores relativamente maiores de multiplicação de toque em relação as dimensões da caixa. A figura 4 mostra o diagrama de uma transmissão de 2 árvores.

Figura 4: Transmissão de 2 árvores

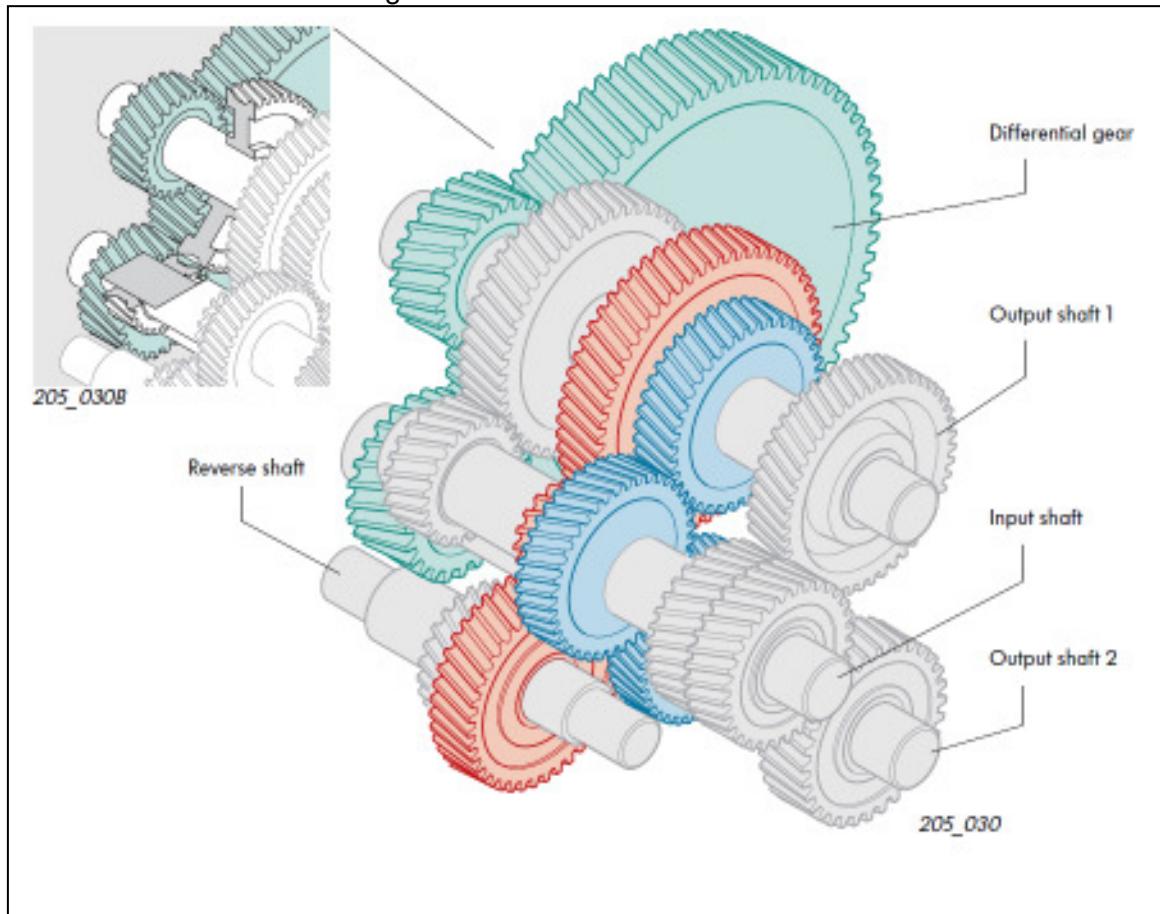


FONTE: VW Service Self-Study Program

O diagrama anterior mostra uma transmissão com cinco marchas para frente uma para trás.

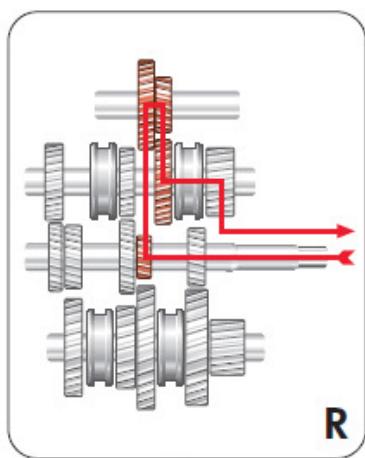
A seguir vemos um diagrama de uma transmissão manual de 3 árvores, e também os diagramas e fluxos de força mostrados individualmente para cada marcha.

Figura 5: Transmissão de 3 árvores



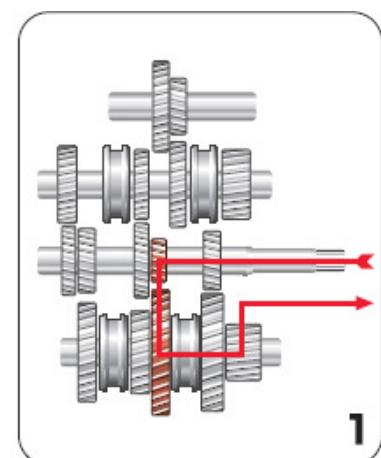
FONTE: VW Service Self-Study Program

Figura 6: Fluxo de Marcha a ré



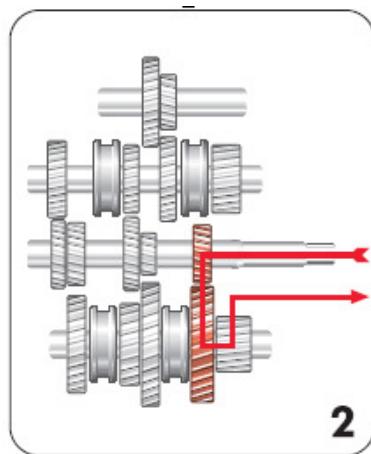
FONTE: VW Service Self-Study Program

Figura 7: Fluxo de 1ª. Marcha



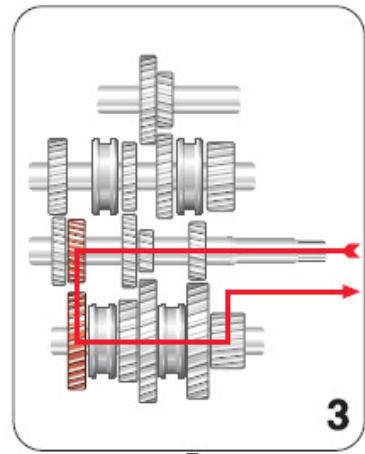
FONTE: VW Service Self-Study Program

Figura 8: Fluxo de 2^a. Marcha



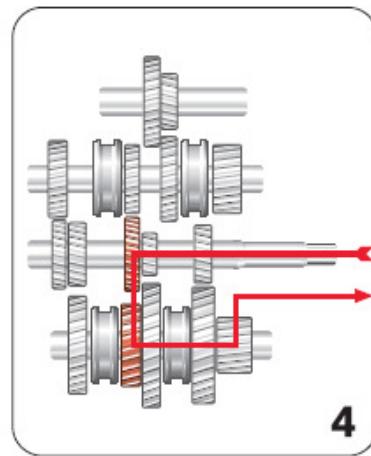
FONTE: VW Service Self-Study Program

Figura 9: Fluxo de 3^a. Marcha



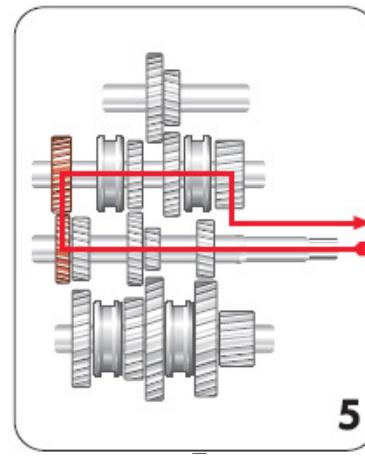
FONTE: VW Service Self-Study Program

Figura 10: Fluxo de 4^a. Marcha



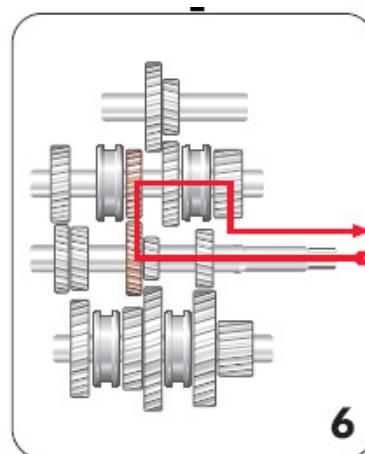
FONTE: VW Service Self-Study Program

Figura 11: Fluxo de 5^a. Marcha



FONTE: VW Service Self-Study Program

Figura 12: Fluxo de 6^a. Marcha



FONTE: VW Service Self-Study Program

As transmissões manuais com 2 árvores apresentam as seguintes vantagens:

- Menor massa (apenas 1 árvore secundária);
- Menor custo de fabricação;
- Melhor acústica;
- Melhor escalonamento de marchas;

E como principal desvantagem, destaca-se o comprimento, visto que toda as marchas estão montadas em apenas um eixo.

Já as transmissões com 3 árvores apresentam a seguinte vantagem:

- Arquitetura compacta e melhor distribuição de massa;

E as principais desvantagens são:

- Maior custo de fabricação;
- Maior massa;
- Pior acústica;
- Proximidade dos sincronizadores sobre a linha secundária;
- Escalonamento mais difícil.

2.2.2 Transmissões automatizadas (AMT)

Quando as transmissões para veículos de passageiros começaram a ser automatizadas, o termo “Transmissão Semi-Automática” era utilizado. O termo refere-se a duas operações: Atuação/Liberação da embreagem e Mudança de Marchas. Uma destas duas operações foi automatizadas nas transmissões semi-automáticas. No entanto, neste tipo de transmissão ainda ocorre a interrupção do fluxo de torque durante a troca de marchas, de uma forma mais eficiente que numa transmissão manual, mas ainda ocorre. Basicamente ainda neste tipo de transmissão ainda existe uma embreagem tradicional e uma transmissão manual tradicional. No entanto o sistema de acionamento dos sistemas que tornou-se automatizado, como poderemos ver a seguir.

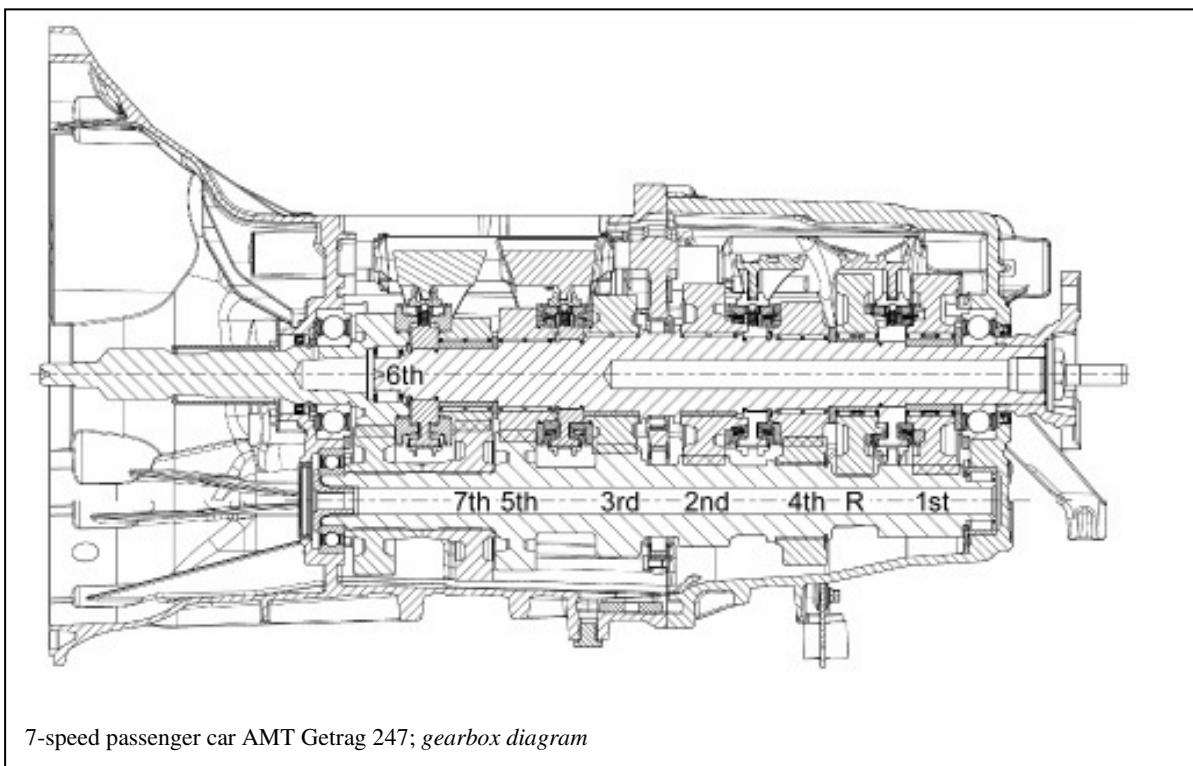
Um típico exemplo dos primeiros modelos destas transmissões para veículos de passageiros foi a do VW “Torque Converter Clutch Transmission” (TCCT) de 1967. Neste

modelo há uma embreagem montada atrás de um conversor de torque hidrodinâmico. O processo de atuação/liberação da embreagem é automático e, no entanto, a mudança de marchas é manual.

Transmissões Semi-Automáticas para veículos de passeio nunca foram amplamente utilizadas. No entanto transmissões manuais totalmente automatizadas (AMT) vem sendo amplamente utilizadas em veículos de passageiros desde o fim dos anos 90. Nas AMTs ambos processos de atuação da embreagem como a mudança de marchas é realizada por atuadores que recebem o sinal via atuadores que podem estar no volante (“borboletas”), na alavanca de mudanças ou ainda quando é uma operação totalmente automatizada, o sinal é enviado diretamente pela TCU (Transmission Control Unit).

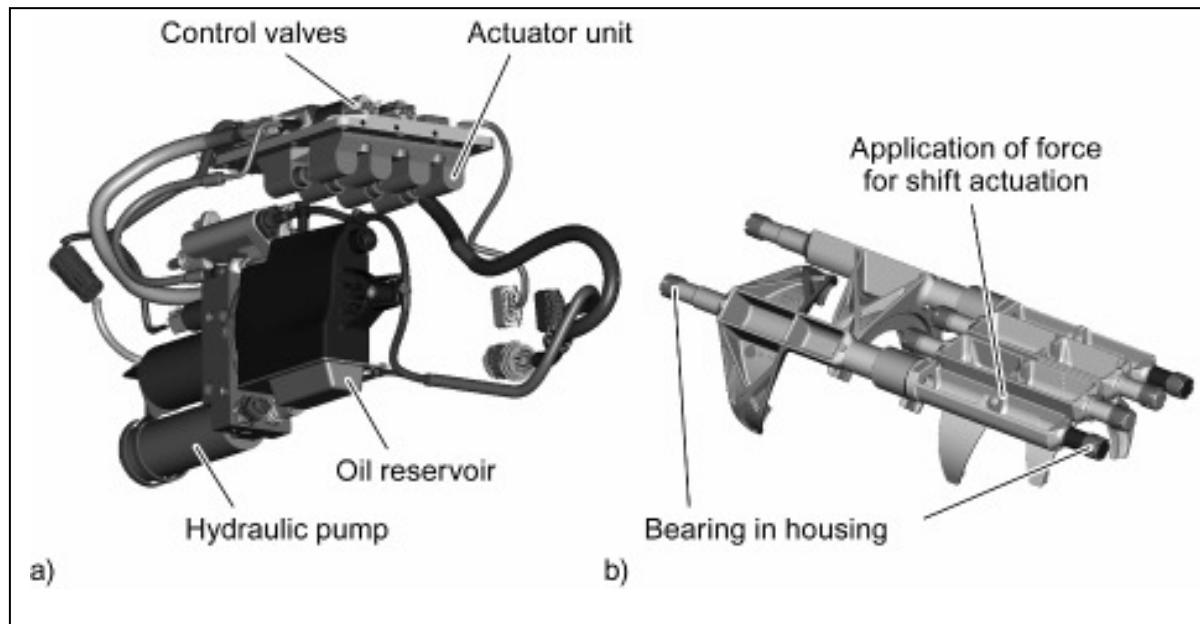
Transmissões automatizadas (AMT) combinam a alta eficiência da transmissão mecânica com a facilidade de operação das transmissões automáticas (AT). A grande diferença entre as duas é a falta de suavidade na troca de marchas causado pela interrupção de torque que ocorre nas transmissões automatizadas (AMT) durante a operação de acoplamento/desacoplamento da embreagem comandada pela Unidade de Controle da Transmissão (TCU) ou atuadores no volante, quando comparadas com transmissões automáticas (AT) ou mesmo manuais (MT).

Figura 14: Transmissão AMT Getrag de 7 marchas



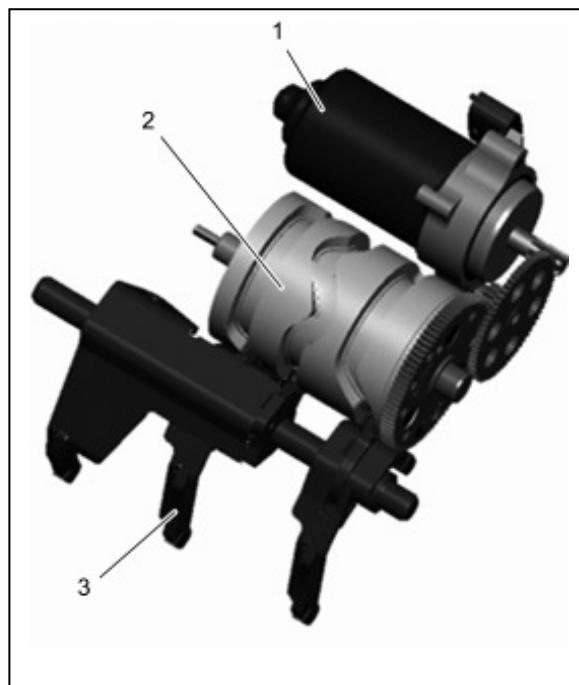
FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

Figura 15: Conjunto hidráulico transmissão AMT



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

Figura 16: Sistema de engate de marchas



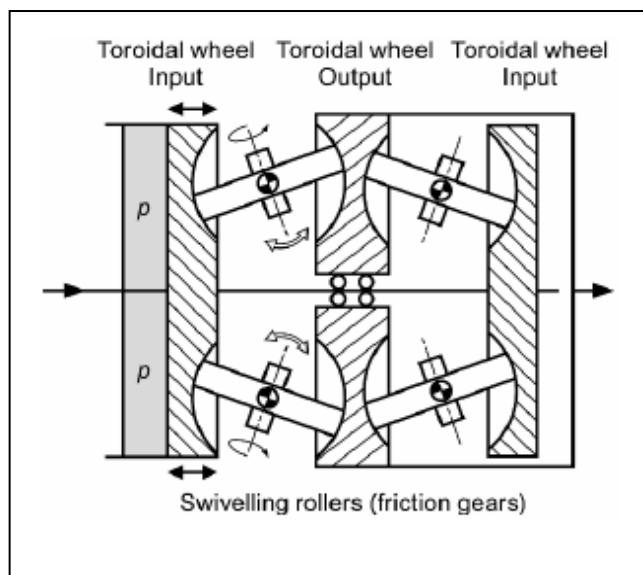
FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

Na figura 14 observa-se uma transmissão AMT Getrag 247, de 7 marchas para carros de passageiros. Já na figura 15 observa-se o conjunto hidráulico, que é composto de: bomba de óleo, reservatório de óleo, válvulas de controle e unidades atuadoras. Na figura 16 é mostrado um sistema alternativo de controle de engate de marchas, que é composto de: 1- Atuador elétrico (motor de passo), 2- Tambor de seleção e engate e 3- Garfos de engate. A operação deste sistema é relativamente simples, pois como é mostrado na figura 16, o atuador (1) gira o tambor de seleção e engate (2) e este, através dos canais ou guias que estão usinados no corpo, fazem a seleção e engate das marchas através dos garfos (3) que estão neles acoplados.

2.2.3 Transmissões mecânicas continuamente variáveis (CVT)

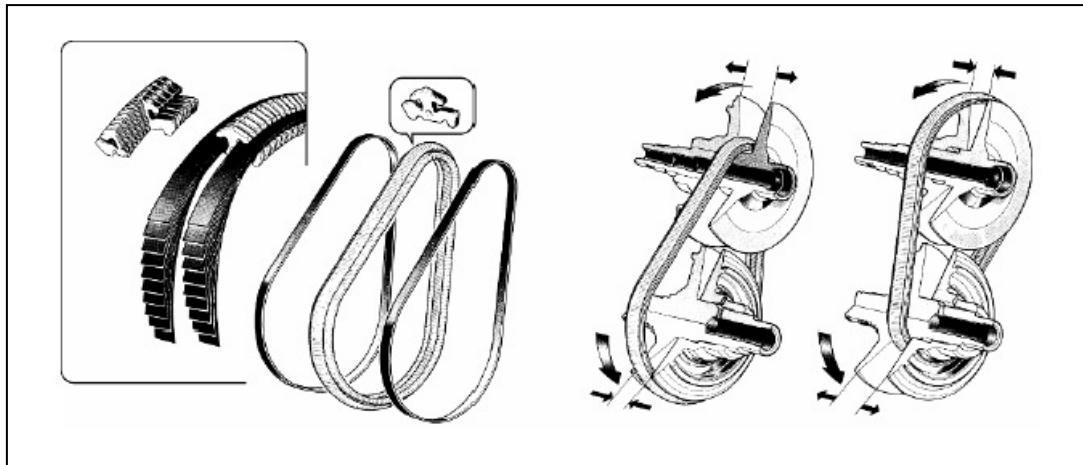
A potência disponível num motor de combustão interna não pode ser totalmente explorada por um finito número de engrenagens ou reduções de uma transmissão tradicional. Com o “Continuously Variable Transmission” ou Transmissão Continuamente Variável (CVT), o motor pode sempre operar no ponto ideal para economia ou performance, como desejado, sem que haja a interrupção do fluxo de torque durante as trocas de marcha. Existem dois tipos de transmissões CVT atualmente hoje no mercado: com o sistema toroidal, conforme mostrado na figura 17, e o sistema de polias, mostrado na figura 18, que é utilizado quase que na sua totalidade pela indústria automotiva atualmente.

Figura 17: Sistema CVT toroidal



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

Figura 18: **Sistema CVT de polias**



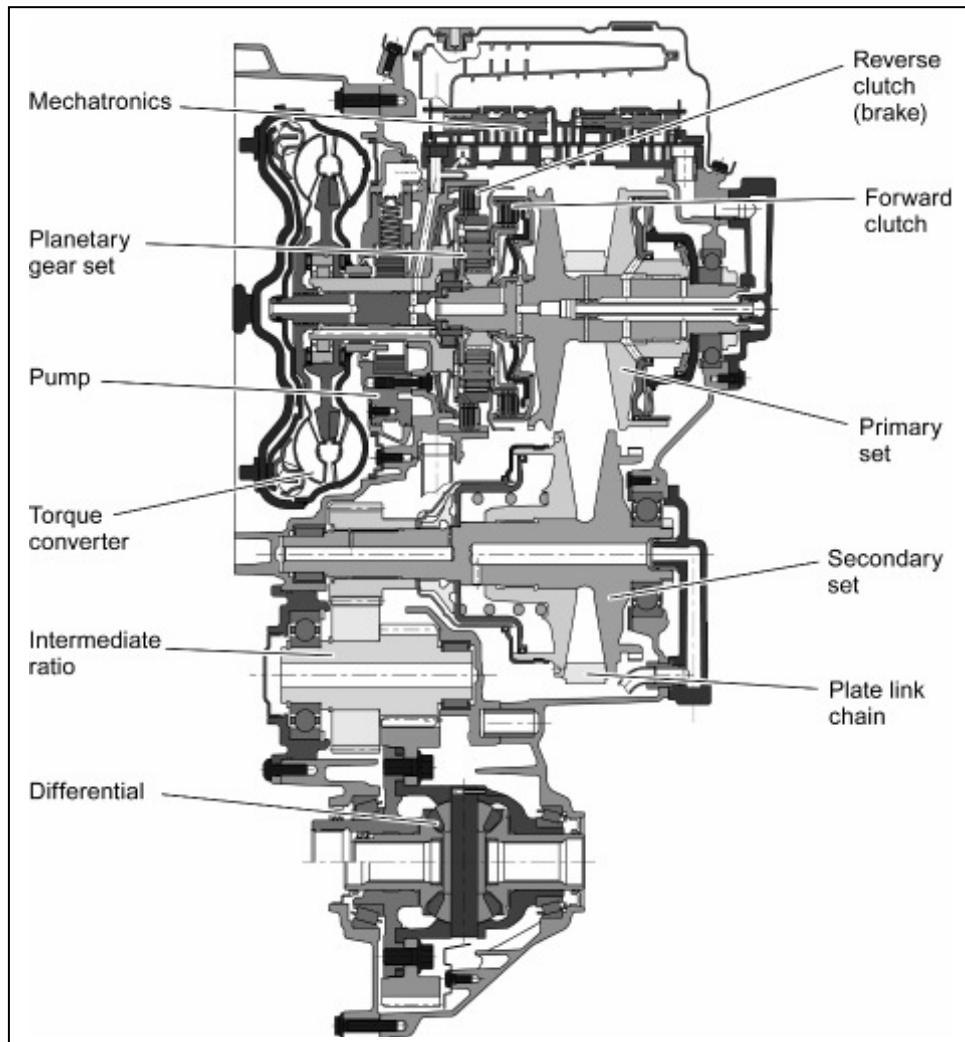
FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

O sistema toroidal mostrado na figura 17 tem alto capacidade de transmissão de torque se comparado ao sistema de polias e prestam-se especialmente para powertrains coaxiais.

Já os sistema de polias tem como principal componente o variador, que consiste basicamente num par de cones e corrente (ou correia). A potência é transmitida através da correia que gira entre dois cones ajustáveis. Através de ajustes axiais dos cones conforme mostrado na figura 18, a correia gira em diâmetros variáveis, variando infinitamente a redução de marchas. O torque aplicado na correia deve ser observado, uma vez que excessiva pressão no sistema causa perda de eficiência aumenta o consumo de potência do motor e toda fadiga da transmissão. É também essencial prevenir o deslizamento da correia, uma vez que isto invariavelmente levaria a destruição da transmissão.

As principais razões para adoção de CVT em veículos de linha de transmissão transversal dianteira em conjunto com motores de 4 e 6 cilindros com capacidade volumétrica de 1.8 l a 2.8 l, é a grande capacidade de economia de combustível, a redução do nível de emissões de gases poluentes, assim como, preencher a expectativa dos consumidores por veículos com transmissões automáticas confortáveis (AMENDOLA, 2005).

Figura 19: **CVT ZF Ecotronic CFT30**



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

Na figura 19 é mostrada uma transmissão CVT ZF Ecotronic CFT 30. Esta transmissão tem uma capacidade de torque máximo de 310 Nm e potência máxima de 172kW. Um conversor de torque é localizado para desacoplar a transmissão do motor e foi desenvolvido especificamente para acoplar a transmissão CVT ao motor do veículo. Nesta figura podemos ainda identificar as seguintes partes da transmissão:

- Embreagem Reversa (brake clutch – que permite marcha a ré);
- Embreagem para frente;
- Conjunto do cone primário (acoplado ao motor);
- Conjunto de cone secundário (acoplado ao diferencial);

- Corrente ou correia (que interliga os cones primário e secundário);
- Diferencial;
- Redução intermediária;
- Conversor de torque;
- Bomba de óleo;
- Conjunto de planetárias;
- Módulo TCM (Transmission Control Module – responsável por controlar a transmissão através dos processamento dos sinais recebidos dos sensores e atuando através dos atuadores eletro-eletrônicos e hidráulicos).

2.2.4 Transmissões automáticas com várias relações de marcha

No entanto, se pelo projeto ou aplicação do veículo, ao contrário do que foi visto nos sistemas de transmissão manual (AT) e automatizado (AMT), há interesse que não haja interrupção de torque durante a troca de marchas, podem ser utilizadas transmissões cuja mudança de marchas (de uma redução para outra) ocorra sem interrupção do torque. As relações são engrenadas sob carga através de freios ou embreagens dentro da própria transmissão. Desta forma uma nova marcha é engrenada sem a ocorrência de perda de velocidade ou potência do veículo.

Exemplos destes tipos de transmissão são transmissões automáticas com várias relações de marcha, como transmissões automáticas convencionais (AT) e transmissões de embreagem dupla (DCT).

2.2.4.1 Transmissões com embreagem dupla (DCT)

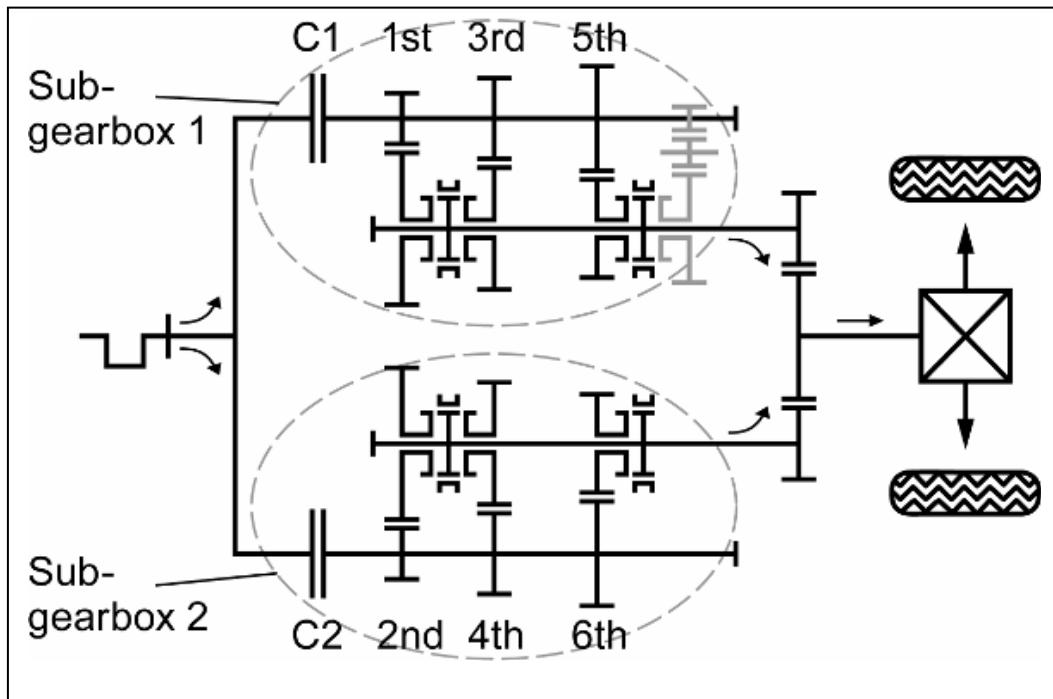
Sistemas de transmissão com embreagem dupla (“Dual Clutch Transmission”) começaram a ser desenvolvidos no início dos anos 1940 para veículos pesados, com o objetivo de transmitir o torque sem interrupção durante a troca de marchas. No entanto devido a limitações tecnológicas, a produção em série não foi alcançada. Porsche e Audi retomaram este conceito novamente no início dos anos 1980 e desenvolveram transmissões com dupla embreagem para carros de corrida. Mas novamente a produção em série não foi realizada devido a limitações no controle de qualidade, que não era suficientemente confiável naqueles tempos.

O primeiro veículo de passageiro (de série) equipado com DCT foi em 2003. O objetivo deste modelo era combinar as vantagens da transmissão manual com as vantagens da transmissão automática. Atributos da transmissão manual são alto nível de eficiência, uma gama de redução de marchas que pode ser selecionado livremente de várias maneiras, como condução esportiva, condução econômica ou ainda uma condução ajustada exatamente ao prazer do motorista.

Já transmissões automáticas convencionais são caracterizadas pelo fácil manuseio, principalmente para colocação do veículo em movimento e durante a troca de marchas, que devemos agradecer ao conversor de toque que permite a troca de marchas sem a interrupção do torque.

O princípio da Transmissão DCT é baseado na idéia de duas sub-transmissões independentes conectadas ao motor via uma única embreagem (dupla), conforme a figura 20 mostra as seguir.

Figura 20: **Princípio da Transmissão DCT**



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

Uma das sub-transmissões (Sub-gearbox 1) contém as marchas ímpares (1^a, 3^a, 5^a) e a outra (Sub-gearbox 2) contém as marchas pares (2^a, 4^a, 6^a). Pela divisão de marchas através da embreagem dupla, a DCT tornou-se uma única transmissão capaz de ser controlada por apenas um controle. No entanto a embreagem dupla não foi implementada apenas para possibilitar a mudança de marchas: ela também é fundamental para colocar o veículo em movimento.

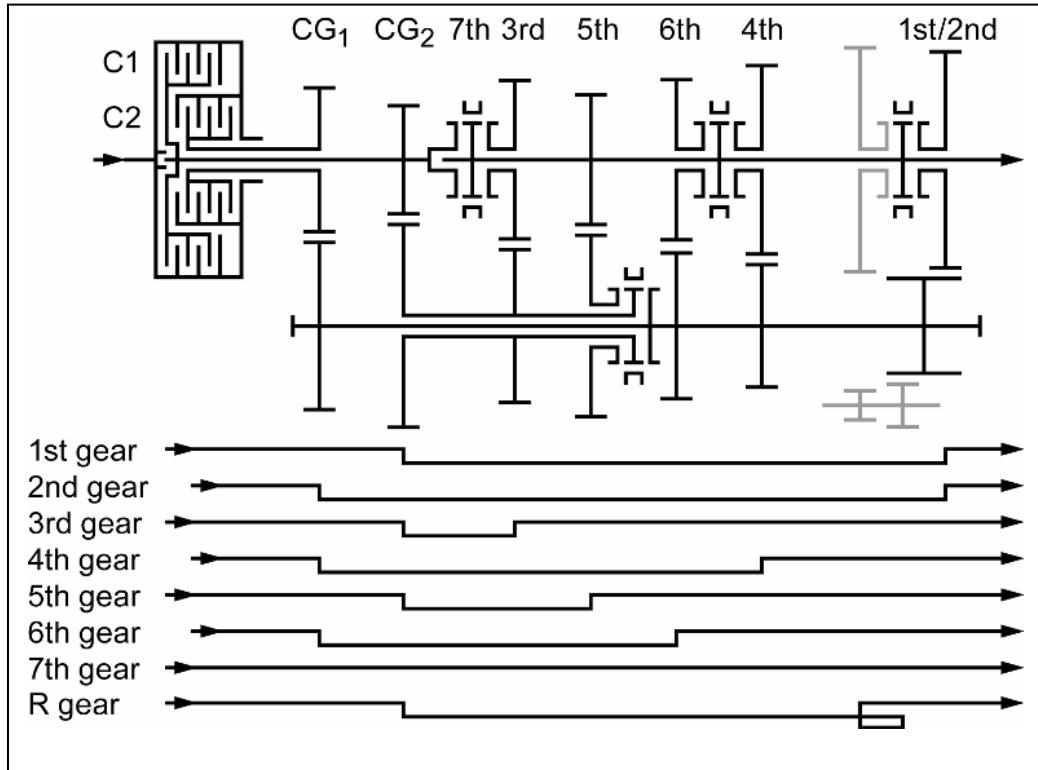
Nos desenhos atuais, as duas sub-transmissões não são posicionadas lado a lado como na figura 20, mas sim são montadas em conjunto de forma a economizar espaço e otimizar processos de fabricação e controle da transmissão. Um dos eixos de entrada da transmissão normalmente é oco, permitindo que o outro eixo de entrada passe por dentro dele.

O funcionamento básico da DCT será explicado a seguir mudando-se de 2^a para 3^a marchas. Quando a situação surge durante a operação do veículo e requer a subida de marcha de 2^a (Sub-gearbox 2) para 3^a marcha, a 3^a marcha já está engatada na Sub-gearbox 1 que está livre (desacoplada). O processo de sincronização para a correspondente engrenagem (3^a marcha) não é notado pelo motorista. Em virtude da sobreposição do fechamento da embreagem C1 e da abertura da embreagem C2, o fluxo de torque não é interrompido. Uma vez que a embreagem C1 assumiu a transmissão de torque, a 2^a marcha é desengatada na Sub-gearbox 2 (que no momento está livre pois a embreagem C2 está desacoplada), permitindo que outra marcha seja selecionada, se necessário (4^a ou 6^a marchas). O processo é o mesmo para mudança de todas as marchas, tanto para aumentar como para reduzir as marchas.

A figura 21 mostra uma transmissão DCT de 7 marchas. Devido a dados obtidos em teste, observou-se que a embreagem externa (C1) apresenta melhor performance para colocar o veículo em movimento. Em princípio, no entanto, a colocação do veículo em movimento pode ser realizada com também com a embreagem interna (C2).

Uma observação interessante no desenho desta transmissão é quanto ao posicionamento das engrenagens de 1^a e 2^a marchas. Estes estão montados na posição traseira, em último de lugar, de forma que para mudar de 1^a para 2^a, basta fechar a embreagem C2 e abrir a embreagem C1. Desta forma nenhum engrenamento ou sincronização é necessário para esta mudança de marchas.

Figura 21: Princípio Transmissão DCT de 7 marchas



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

O principal componente utilizado nesta transmissão é a dupla embreagem, que pode ser:

- Embreagem dupla seca,
- Embreagem a banho de óleo

Estas embreagens podem ser designadas por uma placa única, ou por placas múltiplas, onde a embreagem com placa única normalmente é utilizada em embreagens duplas secas enquanto que as de placas múltiplas são utilizadas em embreagens com banho de óleo.

Embreagens duplas secas, devido a sua inferior capacidade de transmissão de torque, são mais utilizadas em veículos compactos ou pequenos, enquanto que as embreagens duplas com banho de óleo normalmente são utilizadas em veículos com alto torque.

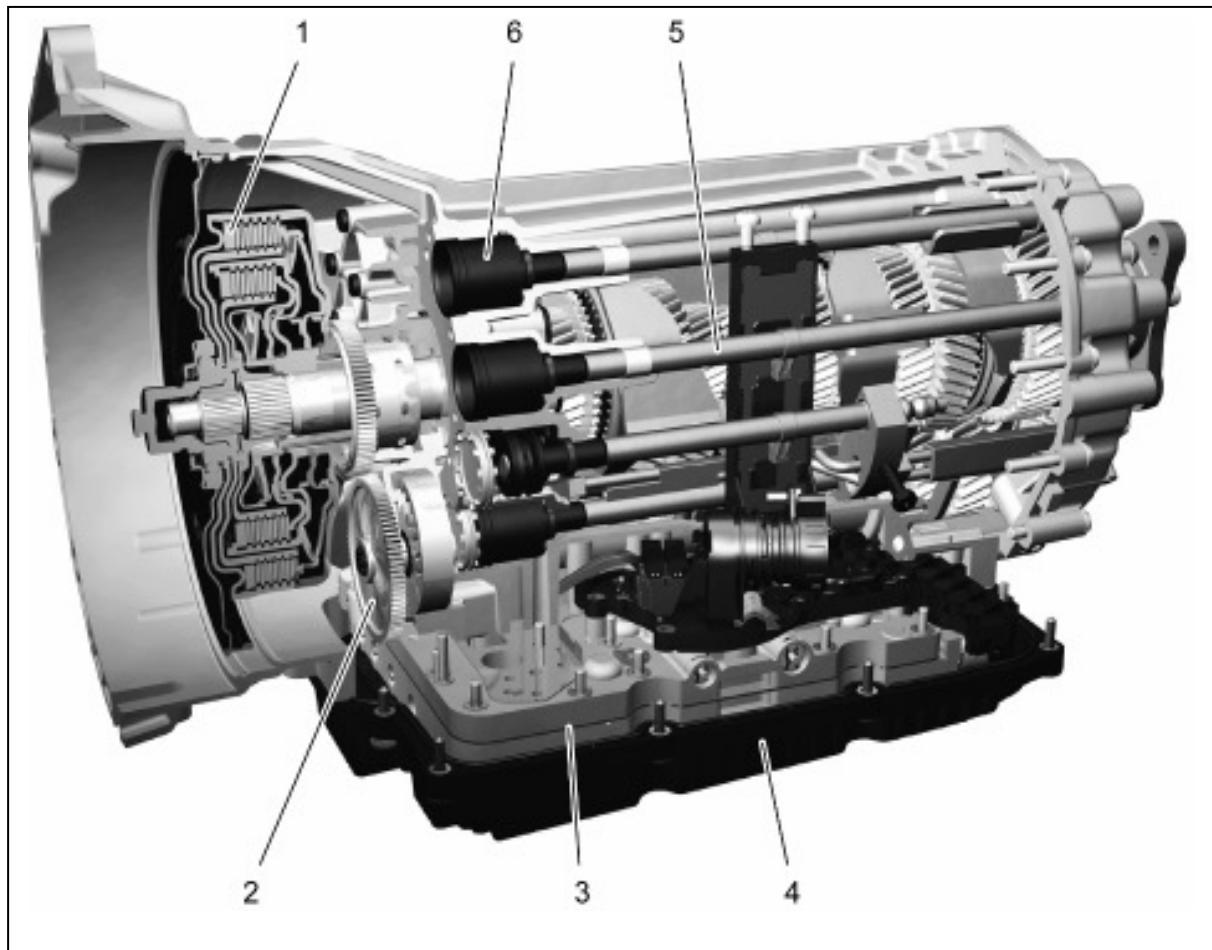
Como nos sistemas de transmissões automáticas convencionais, sistemas de embreagem com banho de óleo requerem um fornecimento de óleo para ativar e refrigerar a embreagem.

A grande vantagem e, simultaneamente, a grande desvantagem do sistema DCT com dupla embreagem seca é que não há óleo lubrificante na área da embreagem. A vantagem é que é necessário um pequeno torque de arrasto para desacoplar a embreagem. A desvantagem

é que o calor gerado durante a fricção quando o veículo é colocado em movimento ou durante as trocas de marcha, não pode ser retirado pelo óleo lubrificante, como ocorre nas embreagens com banho de óleo. O limite entre as embreagens duplas quanto secas e a banho de óleo, em relação a capacidade de torque, é de aproximadamente 300 Nm. Com motores de baixo torque, o mercado tende a utilizar embreagens duplas secas e, com motores de alta capacidade de torque, o mercado utilizada DCT com embreagens a banho de óleo.

A figura 22 a seguir mostra a mesma transmissão mostrada no diagrama da figura 21 (anterior).

Figura 22: Transmissão DCT de 7 marchas



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

É possível identificarmos os seguintes elementos na figura acima:

- 1- Embreagem dupla seca
- 2- Bomba de óleo
- 3- Módulo mecatrônico hidráulico
- 4- Carter de óleo lubrificante
- 5- Barras seletoras de marchas
- 6- Cilindro de dupla-ação para mudança de marchas

De acordo com o princípio do desenho, DCTs oferecem uma alta possibilidade quanto a possibilidade de combinações de relações de marchas. No entanto, as engrenagens são arranjadas de maneira diferente de uma transmissão manual (MT). Isto significa que não é possível mudar de marchas uma transmissão DCT manualmente. Embora a redução de marchas da DTC e de uma MT possam ser iguais, as relações de marchas nos seus respectivos sistemas diferem na configuração dos seus pares de engrenagens, mais especificamente em termos de design dos eixos, conexão dos sincronizadores e correção do engrenamento.

Existem abordagens para dissociar cinematicamente a alavanca de mudanças do sistema interno de mudança de marchas (trambulador), facilitando desta forma a flexibilização do arranjo do plano de engrenagens independente do usual padrão “H” de alavanca de mudanças.

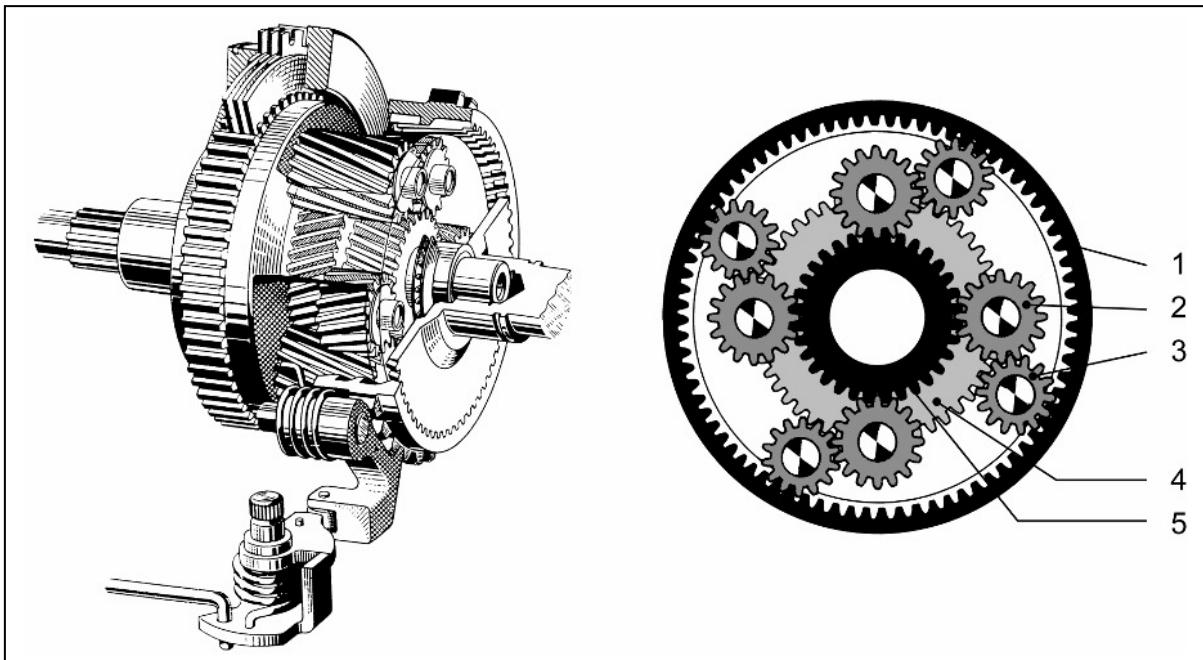
2.2.4.2 Transmissões automáticas (AT)

Transmissões automáticas com várias combinações de redução de marchas consistem em um conversor de torque com uma planetária montada atrás dele. Essas transmissões são conhecidas como Transmissões Automáticas Convencionais, ou simplesmente Transmissões Automáticas (AT).

Mesmo um simples conjunto de planetárias é capaz de produzir uma grande gama de estados de movimento possíveis por combinação. As transmissões automáticas para veículos de passeios empregam vários conjuntos de planetárias acoplados juntos.

O desenho frequentemente utilizado em ATs é a planetária Ravigneaux. A planetária Ravigneaux é também chamada planetária reduzida.

Figura 24: **Planetárias**



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

Na figura 24 podemos ver em detalhes uma planetária, bem como as partes que a compõe, que são:

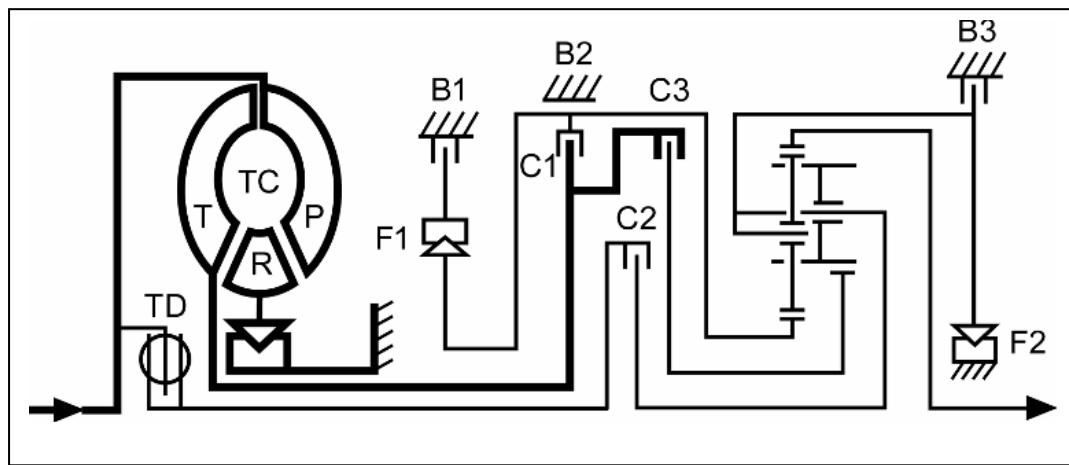
- 1- Coroa
- 2- Planetárias primárias
- 3- Planetárias secundárias
- 4- Pinhão central secundário
- 5- Pinhão central primário

Esta planetária apresenta uma construção “reduzida”, desde que peças de uma individual simples planetária são agrupados juntos. Com este desenho é possível obter praticamente quatro marchas para frente e uma para trás.

Cada conjunto de planetárias é montado em fila como discos. Mais conjuntos de planetárias também sempre significam um maior comprimento na transmissão. Vale lembrar que muito do espaço ocupado numa AT é utilizado por freios e embreagens necessários para realizar a mudança de marchas.

Uma importante, se não a mais importante, peça montada numa transmissão AT é a unidade de controle. Ela é responsável pelo acionamento dos freios e das embreagens na transmissão. O controle dela tem influência direta na qualidade de mudança de marchas (“shift quality”) da transmissão que é notado pelo motorista. Unidades de controle eletrônicos tornaram-se padrão desde meados dos anos 1990. Pura e simplesmente a eletrônica e o software tornaram-se responsáveis pela “inteligência” da transmissão, enquanto que o mecanismo hidráulico ficou responsável apenas pela força.

Figura 25: **Diagrama transmissão AT**



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

A figura 25 acima mostra o diagrama de uma transmissão AT com planetárias e sem controle eletrônico. Podemos identificar os componentes como segue:

TC: conversor de torque

P: Bomba de óleo

T: Turbina

R: Reator com roda livre

TD: Amortecedor torsional (damper)

F: Rodas-livres

B: Freios (brakes)

C: Embreagem (clutch)

A seguir na figura 26 temos o diagrama de engate de marcha desta mesma transmissão, como segue, sendo:

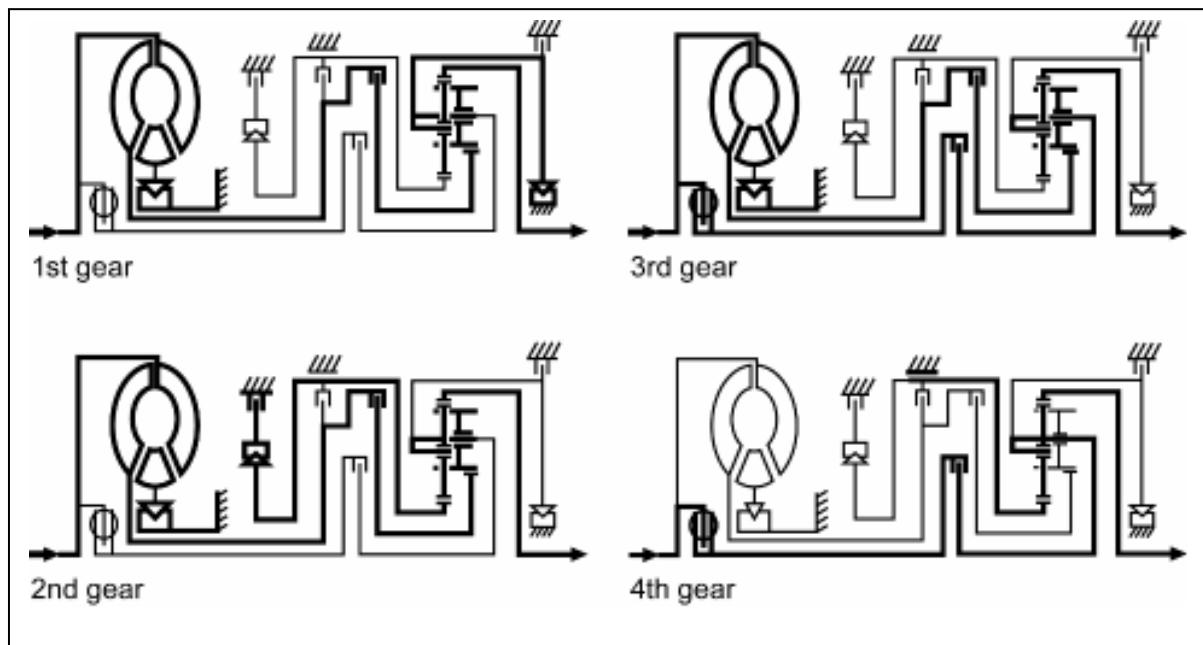
1st. Gear: 1^a marcha

2nd Gear: 2^a marcha

3rd. Gear: 3^a marcha

4rd. Gear: 4^a marcha

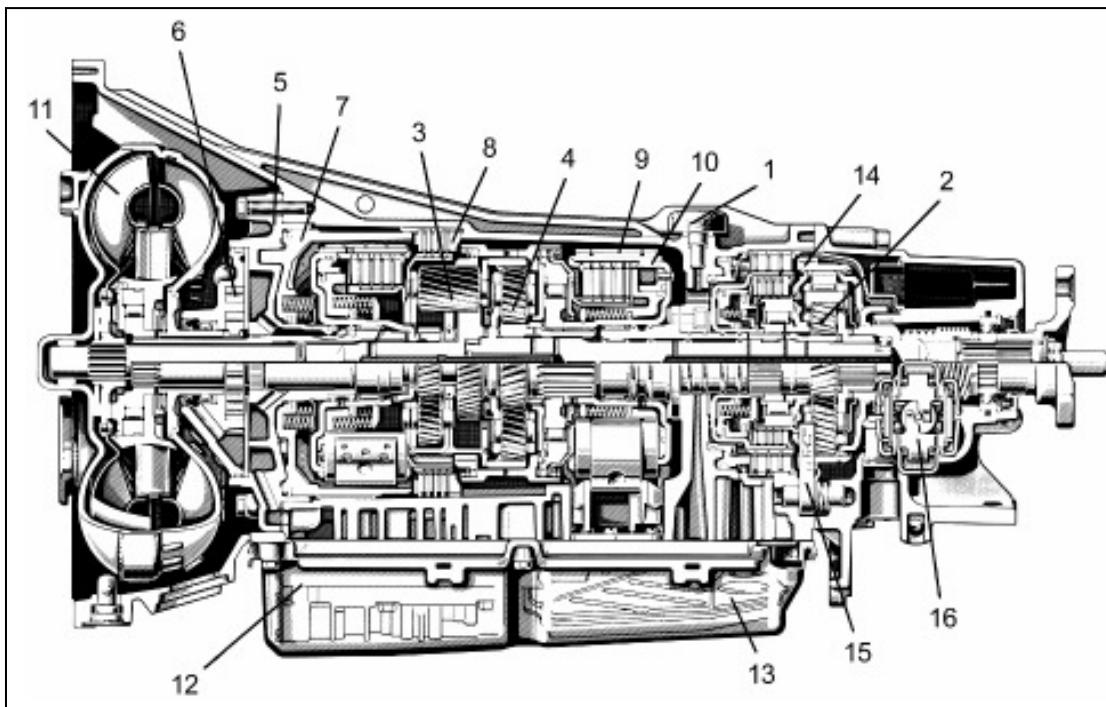
Figura 26: **Diagrama de engate de marchas - transmissão AT**



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

A transmissão a seguir mostrada na figura 27 é a mesma representada no diagrama anterior.

Figura 27: Transmissão AT de 4 marchas



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

As partes que compõe a transmissão são:

- 1- Respiro
- 2- Planetárias
- 3- Planetárias de Ravigneaux
- 4- Planetárias
- 5- Tampa
- 6- Bomba de óleo primária
- 7- Pistão atuador
- 8- Freio
- 9- Freio de cinta
- 10- Embreagem
- 11- Conversor de torque

12- Placa de controle

13- Carter

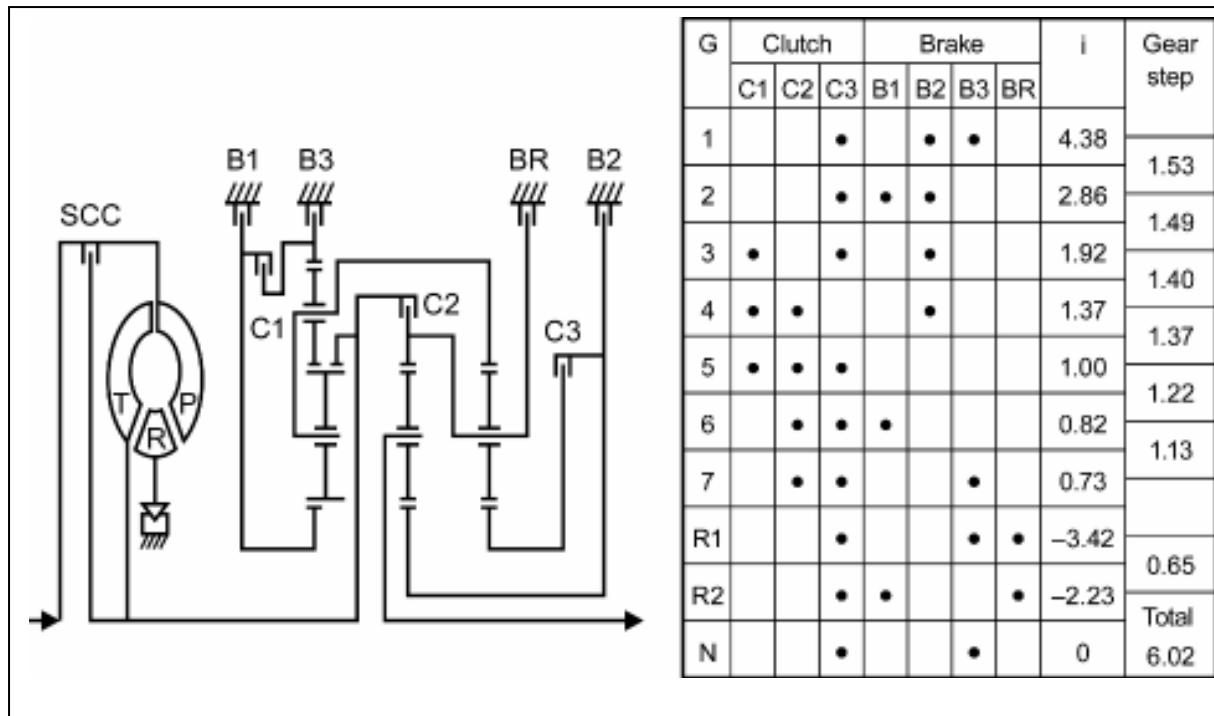
14- Sistema de freio de estacionamento

15- Lingueta do sistema de freio de estacionamento

16- Governador centrífugo

A seguir, na figura 28 podemos observar o diagrama de uma transmissão de 7 marchas, AT, de um veículo fabricado em 1995. Esta transmissão já conta com controle eletrônico

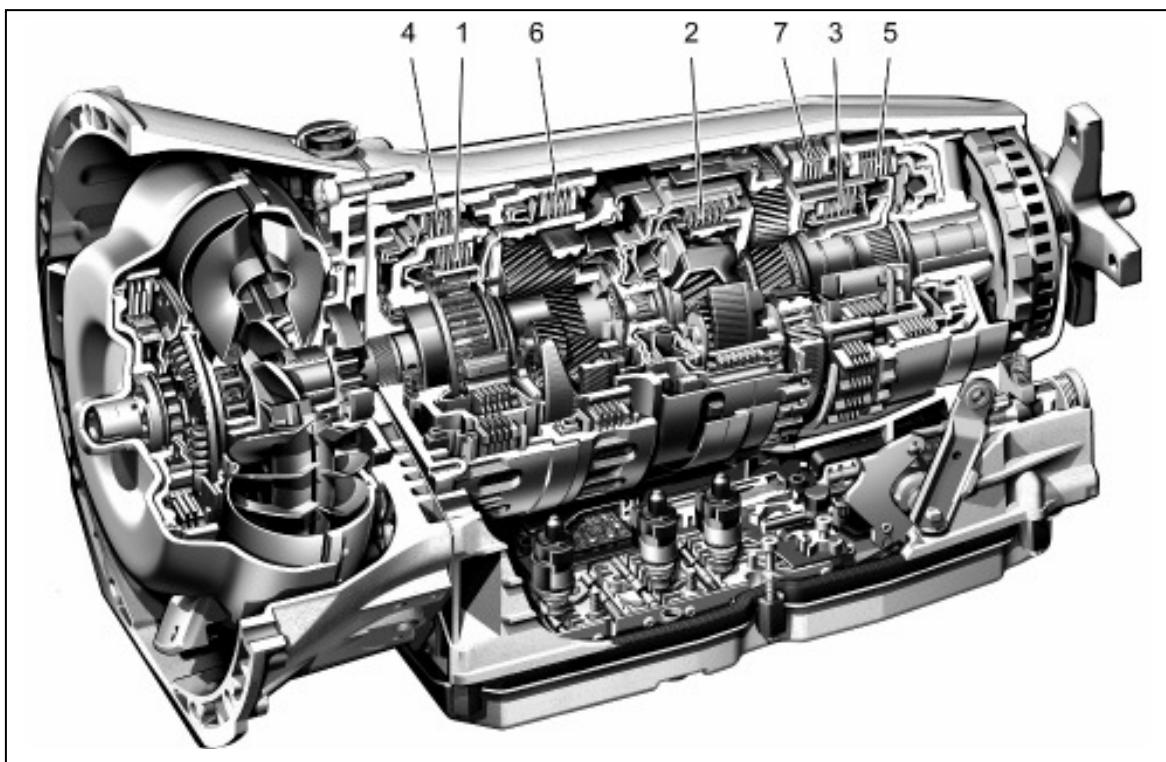
Figura 28: **Diagrama de engate de marchas - transmissão AT**



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

A transmissão a seguir mostrada na figura 29 é a mesma representada no diagrama anterior.

Figura 29: Transmissão automática de 7 marchas



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

As partes que compõe a transmissão são:

- 1- Embreagem C1
- 2- Embreagem C2
- 3- Embreagem C3
- 4- Freio B1
- 5- Freio B2
- 6- Freio B3
- 7- Freio BR

Destaca-se que nesta transmissão a unidade de controle eletro-hidráulica já está integrada na mesma, conectados diretamente com sensor de velocidade e oito válvulas magnéticas, por exemplo. Toda conexão elétrica com o restante do veículo é feita através de um conector de 5 pinos apenas.

2.2.5 Controle eletrônico de transmissões

As mais recentes inovações na área de transmissões foram feitas principalmente por meio da integração dos periféricos elétricos, eletrônicos, hidráulicos, atuadores e sensores. Uma grande quantidade de funcionalidades da transmissão é realizada via software. Eletrônica e software não só para completar a mecânica, mas também abrir novas possibilidades. O objetivo é criar funções no veículo por meio de informações de rede, interligando vários sistemas do veículo simultaneamente. Deste modo, as funções podem ser obtidas de uma forma que um sistema sozinho nunca poderia ser capaz.

Atualmente os sistemas em “bus” (rede CAN – Controlled Area Network) permitem uma rápida troca de sinais entre os sistemas interdependentes, promovendo a redução de sensores, redução de custo e aumento na confiabilidade do sistema.

O uso de redundâncias no sistema ajuda a aumentar a segurança e disponibilidade de sistemas nos veículos. Funções em rede podem ajudar a criar “funções virtuais”, que um sistema trabalhando sozinho não seria capaz, então chamados gerenciamento de funções como:

- Gerenciamento do trem de força (motor e transmissão);
- Gerenciamento dos controles dinâmicos do veículo (freios ABS, controle de tração, etc...)

Desta forma o comportamento do veículo como um todo é otimamente controlado e cada subsistema faz sua própria contribuição específica para este todo.

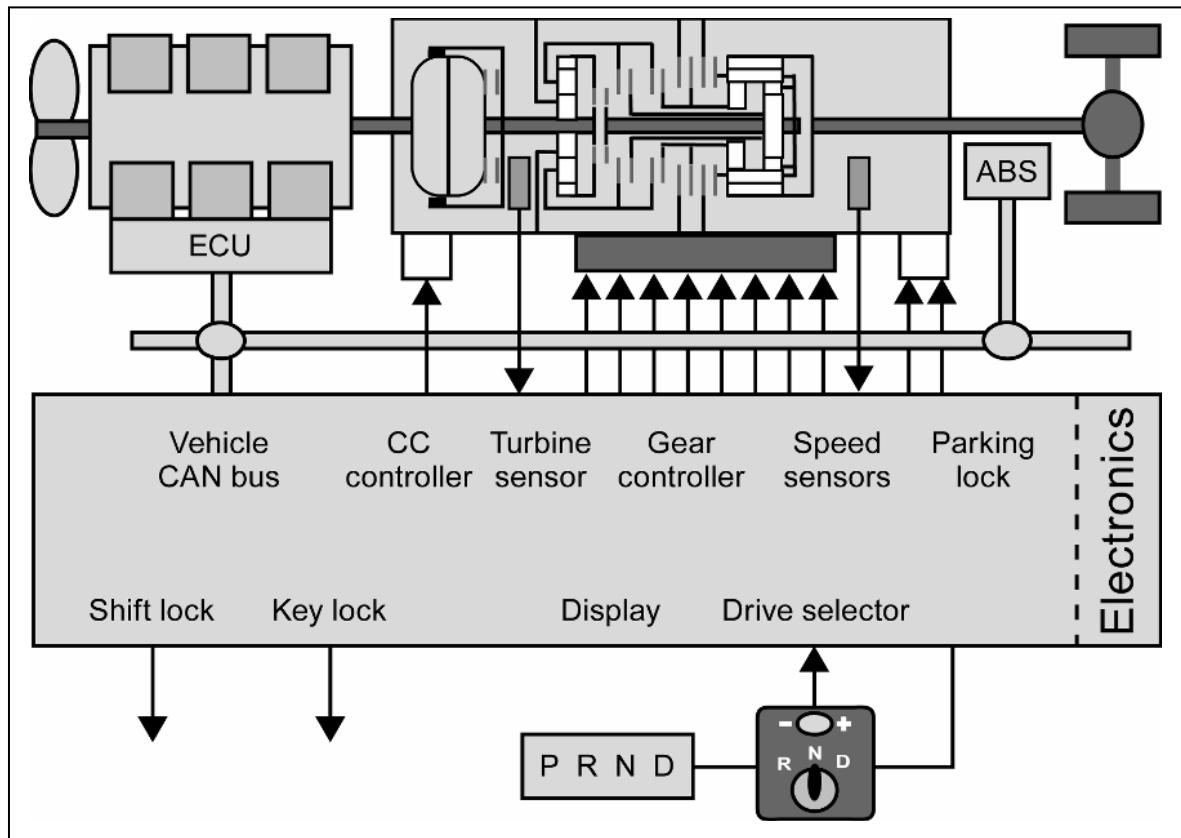
O responsável pelo gerenciamento da transmissão chama-se TCU (“Transmission Control Unit” – Unidade de Controle da Transmissão). Trata-se de uma unidade computadorizada que recebe os sinais elétricos de todos os sensores, como também os sinal de elétrico dos outros sistemas de controle, de forma a processá-los e fornecer para os atuadores e outros sistemas do veículo as informações de controle necessárias.

O TCU é composto basicamente de:

- Fonte de alimentação: Para proteger o sistema de variações de tensão ou inversão de polaridade;
- Processador de sinais de entrada: Responsável por receber todos os sinais elétricos enviados por todos os sensores;

- Processador e memória: É o processador responsável pelas análises das informações de todo o sistema. As memórias podem ser do tipo RAM ou E2-PROM, sendo que esta última possui como grande vantagem a velocidade do processamento de dados;
- Circuito de Segurança: Desde que o circuito de transmissão tem um grande relevância na segurança do veículo, o monitoramento dos componentes e desligamento dos circuito que apresentar falhas deve ser fornecido.
- Interface de Comunicação: São interfaces utilizadas para comunicação externa, como por exemplo, para inspeção, manutenção (sistema de diagnóstico externo) ou ainda comunicação com outros sistemas do veículo;
- Saídas de alta: São amplificadores e chaves de potência, pontes de circuito ou ainda específicos controles de corrente utilizados para controlar motores elétricos, válvulas de pressão e relês.

Figura 31: Diagrama de controle eletrônico – transmissão AT



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

O diagrama na figura 31 acima mostra sistema básico de controle de uma transmissão automática (AT). A interface entre o sistema eletrônico e a transmissão é determinada basicamente pelo número de válvulas eletro-hidráulicas (solenoides).

2.2.6 Calibração das transmissões

E para garantir que o funcionamento da transmissão seja conforme o projeto, adequando o software e ao hardware, é necessário realizar a calibração da transmissão.

A calibração da transmissão é definida como a adaptação das propriedades dinâmicas da própria transmissão com o comportamento do veículo como um todo através dos dados que são enviados para o software da transmissão.

Durante o processo de calibração os dados teóricos dos cálculos são aplicados e um dados de um cliente pré-definido são incorporados. No veículo, o sistema de mudança de marchas é então testado, validado e corrigido, se necessário. O processo de mudança de marchas e a estratégia de mudança de marchas são calibrados com respeito a:

- Conforto: Qualidade na mudança de marchas, vibrações e comportamento do veículo;
- Comportamento: Espontaneidade, consumo de combustível e emissões de gases;
- Segurança: confiabilidade funcional e durabilidade da transmissão

Estes objetivos devem ser observados ao longo de toda vida útil do veículo a despeito de variações de fabricação dos componentes da transmissão e do veículo e também das condições ambientais.

Para este fim, funções adaptativas (aprendizado) são colocados no software da transmissão, no qual estes dados são alimentados durante a calibração. O correto funcionamento das funções de aprendizado devem ser validados através de peças no limite de fabricação (conforme o desenho), vida útil, etc, que podem incluir:

- Folga de embreagens;
- Variação de força de molas (dentro da faixa de tolerância);
- Arraste dos anéis de vedação;
- Variação dos controladores de pressão (dentro da faixa de tolerância).

Normalmente durante o processo de calibração de uma transmissão são usados componentes controlados pelo fabricante dentro das seguintes faixas de tolerância:

- Nominal;
- Limite máximo;
- Limite mínimo,
- Aleatório (normalmente esses não são controlados. São peças normais de produção)

Com os limites bem definidos é possível alimentar o software com todas as variáveis possíveis, de modo que as funções de aprendizado possam realmente realizar sua função a medida que as peças e/ou o veículo vão sofrendo desgaste. E, caso venha surgir alguma falha, o software responda de maneira apropriada mostrando o código de falha correto e, se necessário for, acionando algum modo de proteção ou parâmetro pré-determinado de forma que a falha não seja agravada e que o motorista possa se dirigir com o próprio veículo rodando até o posto de serviço ou oficina mais próximo.

3 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

O consumo de combustível não é somente um dos principais fatores para determinar a eficiência de um veículo com motor a combustão, mas também responsável pela utilização dos recursos naturais disponíveis e também a redução dos poluentes, que estão se tornando fatores cada vez mais importantes na escolha de um automóvel.

O consumo de combustível de um veículo pode ser expressado em:

- Consumo por distância percorrida, que pode ser expressa nas seguintes unidades:

- quilômetros por litro (km/L)
- milhas por galão (MPG)
- litros a cada 100 km (L/100 km)

- Consumo por unidade de tempo:

- Litros por hora (L/h)
- G por hora (G/h)

O consumo pode ser determinado por cálculos ou por experimento (testes). No entanto, no mundo real o resultado pode divergir daqueles obtidos nos ciclos de testes padrão devido a fatores ambientais, estilo de condução, condições de estrada e trânsito. O motorista tem um impacto fundamental no consumo do veículo: as velocidades e as respectivas marchas selecionadas determinam o ponto operacional do motor, e assim o consumo de combustível.

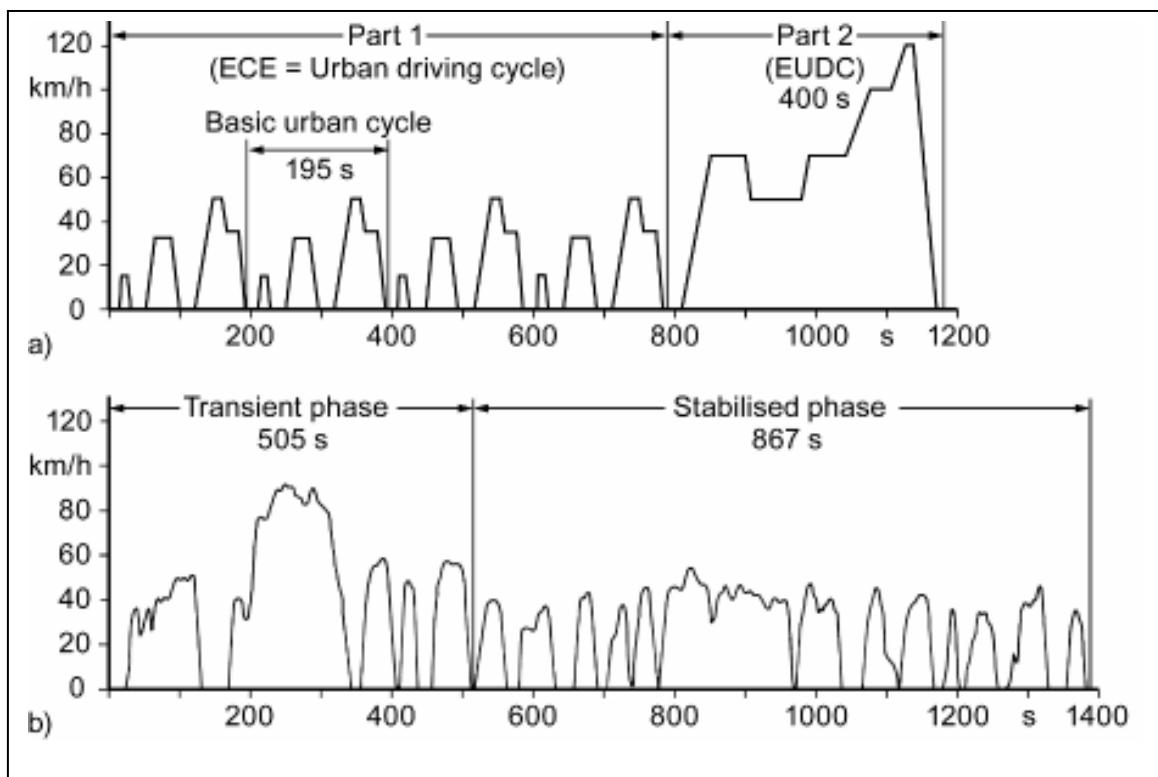
3.1 REALIZANDO A MEDIÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

O consumo de combustível pode ser medido num dinamômetro de rolos ou até mesmo utilizando-se pistas de testes ou estradas públicas. Três métodos podem ser utilizados:

- Método volumétrico: pela medição direta do volume de combustível consumido durante o ciclo de condução;
- Método gravimétrico: pela medição direta da massa de combustível consumida durante do ciclo de condução,
- Método por balanço de carbono: é obtido a partir das massas de HC, CO e CO₂ emitidas pelo veículo durante o ciclo de condução.

Ciclos de medição padrão são normalmente utilizados para medição de emissões e consumo de combustível dos veículos. Neste ciclos, a variável mais importante é o perfil de velocidade da estrada com todos os períodos estacionários traçados ao longo do tempo, como pode ser observado na figura 32 a seguir:

Figura 32: **Ciclos padrão de medição de consumo de combustível**



FONTE: Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Ryborz, J.; Novak, W.

A figura 32 (a) mostra o perfil de velocidade da norma europeia NEDC2000 (“New European Driving Cycle 2000) do ano 2000. Este ciclo de direção consiste em 4 ciclos urbanos consecutivos de 195 s de duração cada um deles (o ciclo ECE urbano) e ainda um ciclo de urbano de 400 s (EUDC – Extra Urban Driving Cycle).

Na figura 32 (b) o perfil mostrado de velocidade é o da norma Americana FTP75 (“Federal Test Procedure”). Este programa de teste consiste em duas fases UDDS (“Urban Dynamometer Driving Schedule”) de ciclo urbano, nas quais o primeiro ciclo é completado (transição e fase fria para fase estabilizada), e a primeira fase (0-505 s) é repetida como um teste quente após 10 minutos de período estacionário.

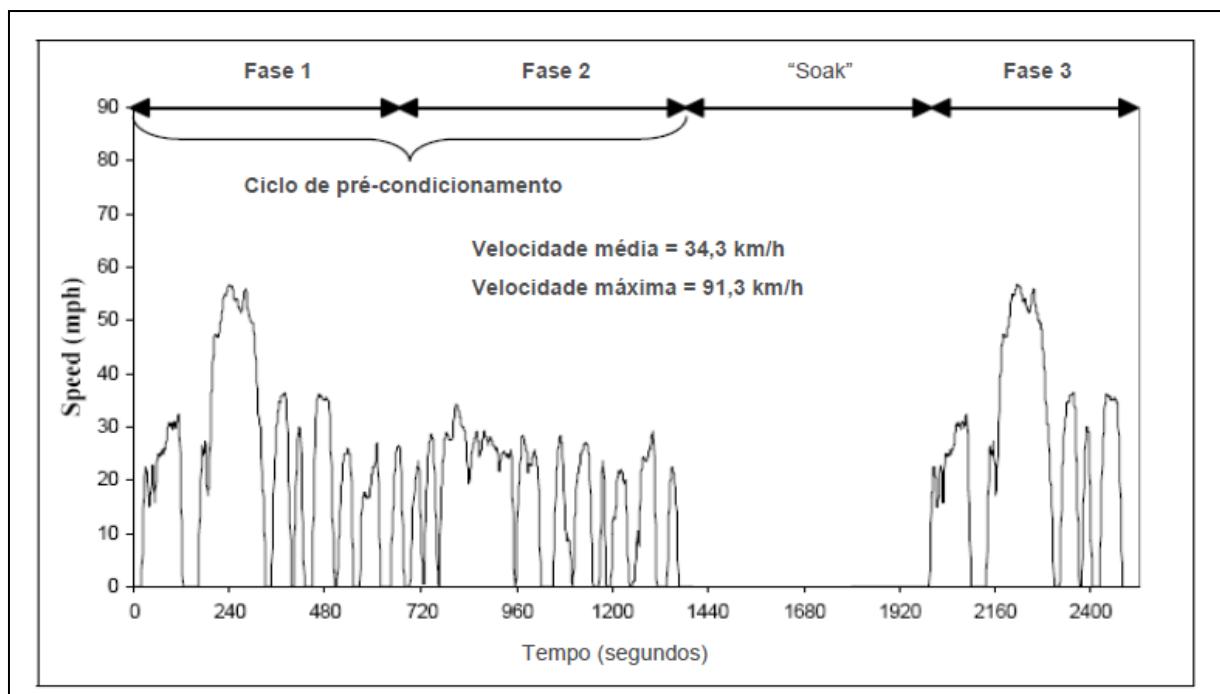
Nos Estados Unidos o consumo de combustível dos chamados “veículos de frota” de todos os fabricantes de veículos é regulado por força de lei. Até o momento não existe na Europa

nenhum requerimento legal com este mesmo fim ainda. No entanto, existe um acordo voluntário entre a ACEA (“European Automobile Manufacturers Association”) e o Governo Comum Europeu, para baixar a média de emissões de CO₂ nos veículos novos para 140 g/km. A organização Japonesa JAMA e a organização Coreana KAMA têm feito acordos similares com seus respectivos governos.

No Brasil o ciclo de medições e padrões são determinados por resoluções do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), mais especificamente lei no. 6.938 de 31 de agosto de 1981, regulado pelo decreto no. 99.274 de 6 de junho de 1990 e anexo administrativo no. 326 de 15 de Dezembro de 1994.

O ciclo de medições brasileiro é normatizado pelas normas ABNT NBR 6601 e NBR 7024, que são baseadas na FTP-75. A norma NBR 6601 fornece basicamente o ciclo para a realização das medições, de emissões e consequentemente consumo de combustível. No entanto, especificamente para consumo de combustível, deve ser utilizada a norma NBR 7024 (em conjunto com a NBR 6601), pois esta fornece o método e cálculos necessários para determinar o consumo de combustível. Abaixo podemos observar na figura 33 o ciclo da NBR 7024, para medição de consumo de combustível em cidade (ou circuito urbano).

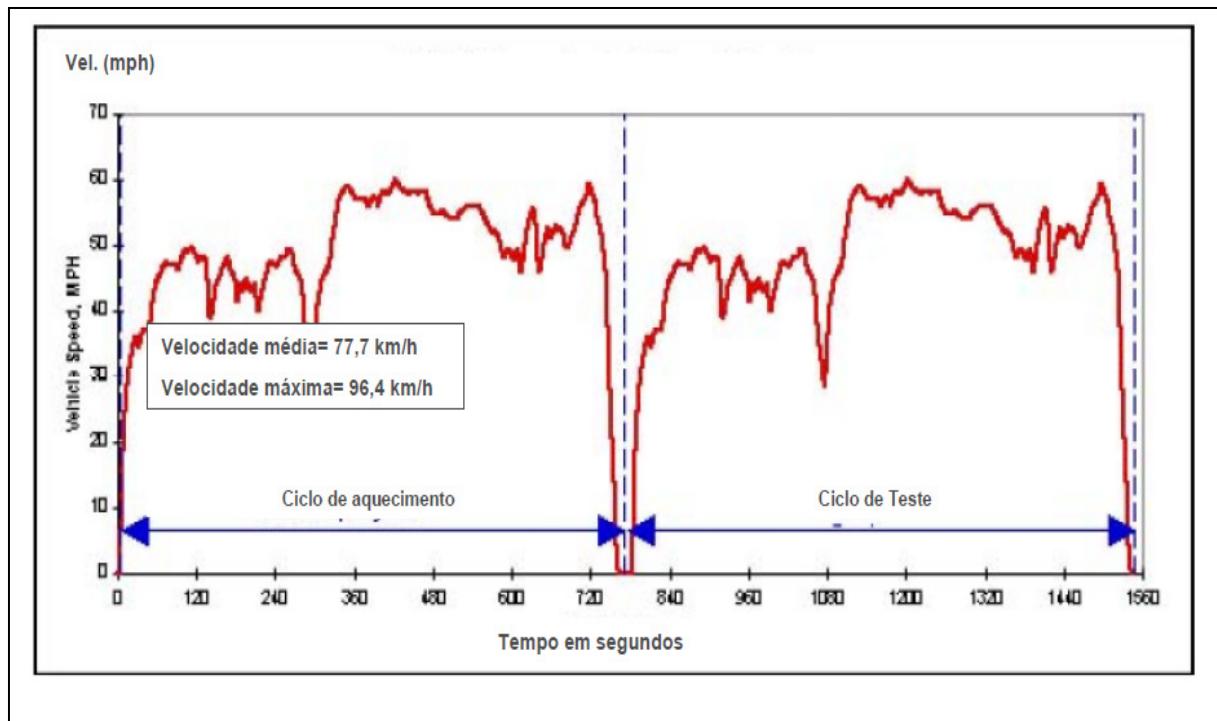
Figura 33: Ciclo urbano de medição de consumo de combustível – NBR7024



FONTE: Silva, Astor Vieira Fº.

Para medições de consumo de combustível em estrada (ou rodoviário), também é utilizada a medição conforme norma NBR 7024 (em conjunto com NBR 6601), cujo ciclo é representado na figura 34 a seguir:

Figura 34: Ciclo rodoviário de medição de consumo de combustível – NBR7024



FONTE: Silva, Astor Vieira Fº.

4 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM VEÍCULOS COM TRANSMISSÃO AUTOMÁTICA

A transmissão basicamente afeta o consumo de combustível de duas maneiras:

- 1- Perdas de eficiência da própria transmissão;
- 2- Fornecendo relações de marcha para promover melhor utilização de potência do motor e proporcionar economia de combustível.

Transmissões transversais são agora tão eficientes que praticamente não oferecem nenhuma perspectiva de melhora. No entanto, a eficiência das transmissões de automóveis de passeio tiveram um grande salto com as transmissões continuamente variáveis (CVT).

Os principais fatores que ainda oferecem oportunidades para redução de consumo de combustível em transmissões são:

- Aumentar a eficiência das transmissões. Isto diz respeito principalmente a transmissões continuamente variáveis (CVT), ainda que incluam conversores de torque;
- Aperfeiçoar controles inteligentes de assistência ao motorista, que protegem o motorista de qualquer falha na condução que possa comprometer a segurança e/ou o consumo de combustível, tomando o controle novamente para condições normais ou eficientes de condução;
- Controle adaptativo para transmissões automáticas com várias relações de marchas para obter sempre a melhor para a determinada condição de uso do veículo no momento.

4.1 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL NAS TRANSMISSÕES AUTOMÁTICAS CONVENCIONAIS

Sobre as transmissões automáticas convencionais (com conversor de torque e planetárias), a técnica que mais tem sido buscada nos últimos anos, depois do controle eletrônico, é o aumento do “Overall Ratio Spread” da transmissão.

O “ratio spread” é a proporção entre as reduções de duas diferentes marchas, como 2^a e 3^a marchas. O “overall ratio spread” é obtido através da divisão da redução de marcha mais baixa pela redução da marcha mais alta, como por exemplo: 4,885 (1^a. Marcha) / 0,890 (5^a marcha) = 5,488.

O “overall ratio spread” ideal ou buscado deve ser o mais alto possível, de forma que o veículo possa ter uma alta aceleração na marcha baixa (1^a. Marcha) e manter altas

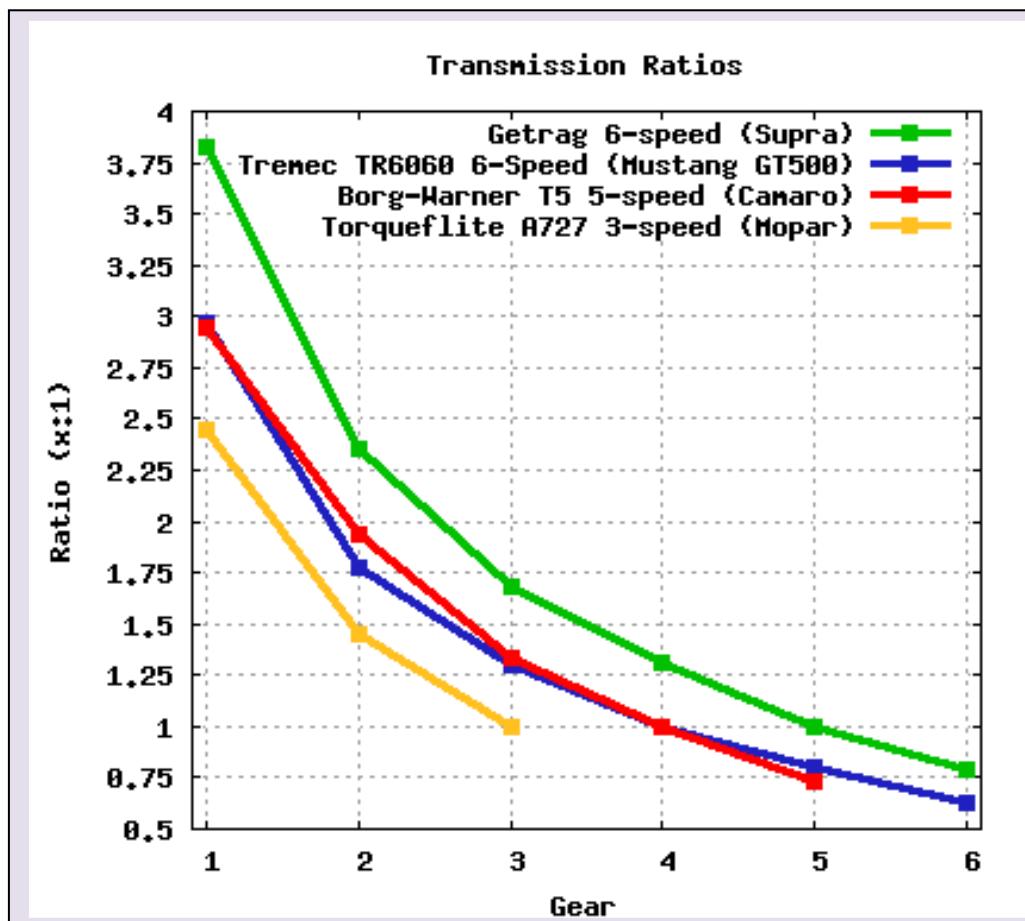
velocidades na marcha mais alta, de maneira que a rotação do motor permaneça baixa ou no ponto ideal para a economia de combustível.

No entanto, grandes diferenças de “ratio spread” entre as marchas devem ser evitadas, pois causam um grande “degrau” entre as marchas, que por sua vez causa perdas de aceleração do veículo e desconforto para o motorista.

Desta forma, a única maneira de conseguir um “overall ratio spread” elevado simultaneamente a baixos valores de “ratio spread”, é ter uma transmissão com muitas marchas, 6, 7 ou 8 marchas por exemplo, possíveis somente nas transmissões automáticas modernas.

O gráfico 1 abaixo mostra a evolução do “overall ratio spread” em transmissões com quantidade de marchas diferentes.

Gráfico 1: **Comparativo de redução de transmissões**



FONTE: Reyenga, Craig

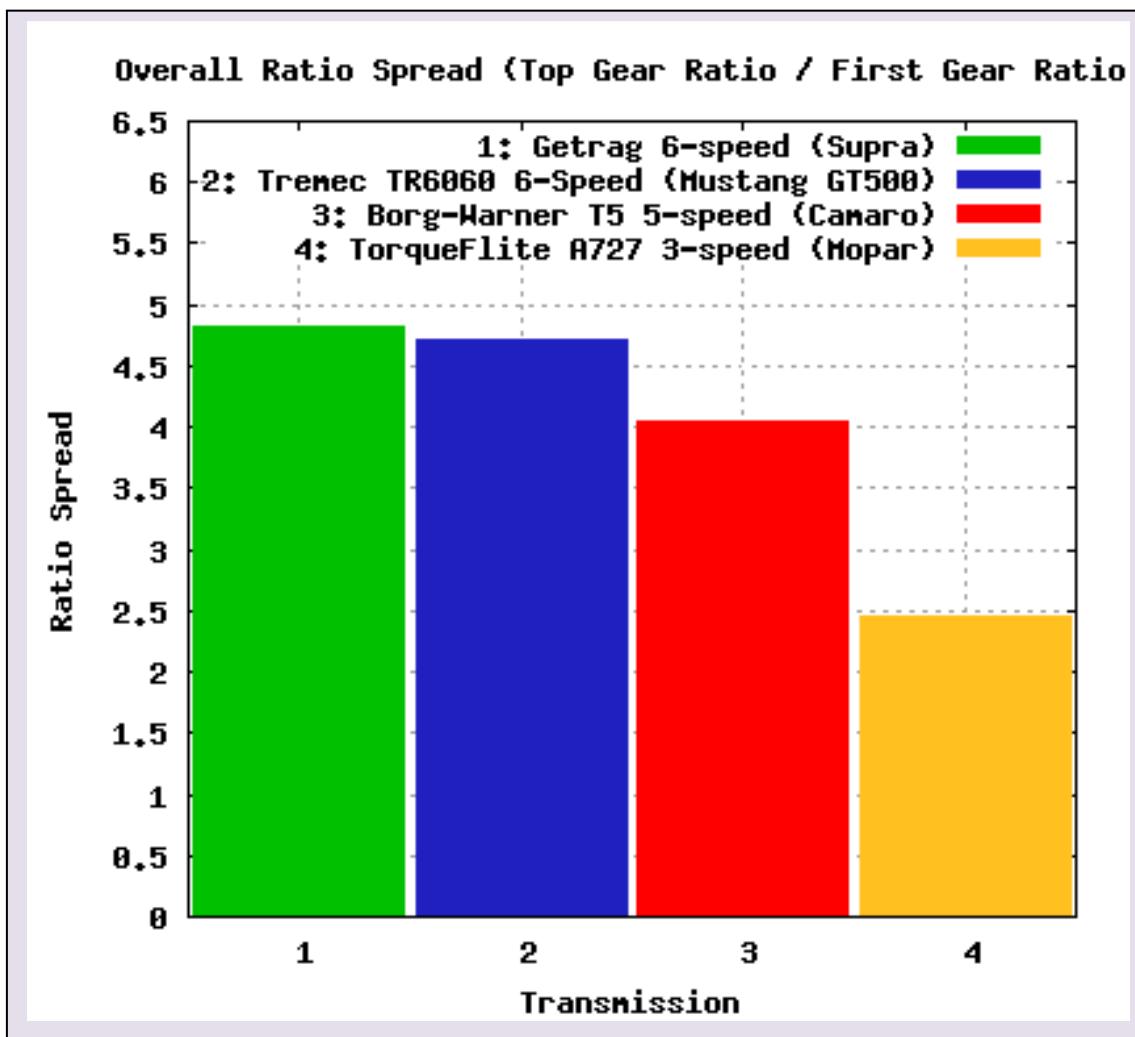
No Gráfico 01 acima podemos destacar que:

- Ratio: é a redução da marcha
- Gear: é a marcha, sendo possível observar até a quantidade máxima de marchas disponível em cada transmissão.

Analizando o Gráfico 1, destacamos a grande diferença na redução das últimas marchas das transmissões com 3 marchas “Mopar” com 1:1, e 6 marchas “Getrag”, com aproximadamente 0,6:1.

E podemos constatar esta grande variação de “overall ratio spread” no Gráfico 2 abaixo:

Gráfico 2: **Comparativo de “Overall ratio spread”**



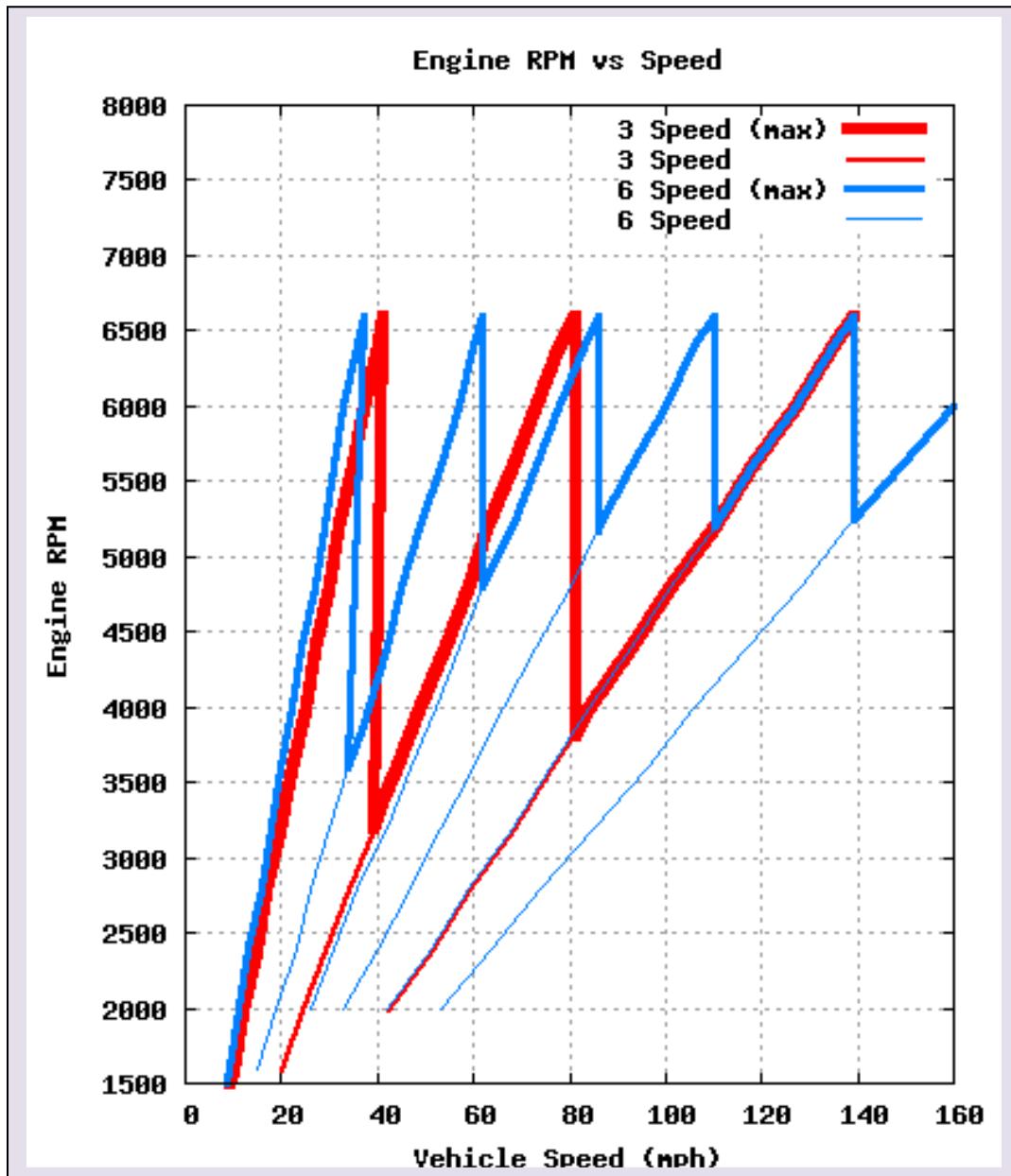
FONTE: Reyenga, Craig

Observe que a transmissão de 3 marchas tem um “overall ratio spread” significativamente mais baixo que o “overall ratio spread” da transmissão de 6 marchas “Getrag”.

Nota-se que a diferença a quantidade de marchas influência também “ratio spread” entre as marchas, que conforme mencionado anteriormente, grandes diferenças devem ser evitadas pois causam desconforto, perda de aceleração e consequente aumento do consumo de combustível do veículo.

O Gráfico 3 a seguir mostra um comparativo entre uma transmissão de 3 e outra transmissão de 6 marchas.

Gráfico 3: **Comparativo de rpm do motor versus transmissões de 3 e 6 marchas**



FONTE: Reyenga, Craig

No Gráfico 3 podemos destacar que:

- Engine rpm: rotação do motor
- Vehicle speed: velocidade do veículo em milhas por hora (mph)

Observamos as quedas na rotação dos motores quando ocorre a mudança das marchas. Destacamos as grandes quedas na rotação do motor que ocorrem na transmissão de 3 marchas devido ao grande “ratio spread” que existe entre as marchas, comprometendo a aceleração do veículo e o consumo de combustível.

4.2 COMPARATIVO DE CONSUMO ENTRE TRANSMISSÕES AUTOMÁTICAS

4.2.1 Transmissão automática TR-60SN AISIN RWD

Transmissões automáticas de 5 marchas têm se tornado padrão em veículos SUV no mundo todo e recentemente há uma forte demanda no mercado por transmissões automáticas com mais marchas (multi-marchas) buscando ganho no consumo de combustível, redução na emissão de poluentes e aumentando o desempenho.

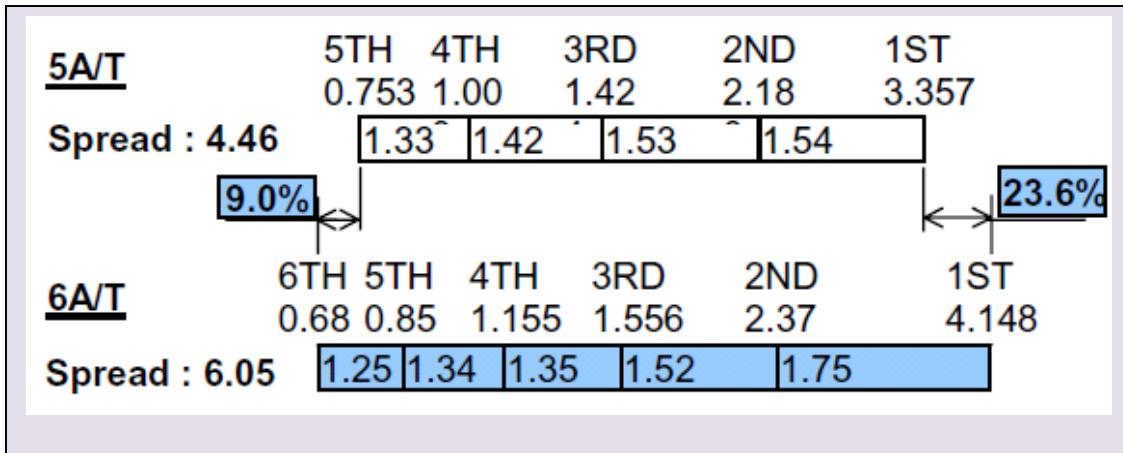
A transmissão automática de 6 marchas TR-60SN foi desenvolvida buscando principalmente a redução no consumo de combustível e aumento no “shift-quality”, enquanto minimiza o número de componentes e redução do atrito interno.

Transmissões automáticas convencionais tem sido desenvolvidas aumentando o número de planetárias e embreagens um por um de forma a aumentar o número de marchas de 3 ou 4, como foi o padrão até o final dos anos 1990, para 5, 6, 7 e até mesmo 8 marchas!

A transmissão TR-60SN reduziu o número de componentes em comparação com a transmissão de 5 marchas base através da adoção de um único trem de engrenagens.

A figura 35 mostra um comparativo entre as reduções das transmissões de 5 e 6 marchas, além do “overall ratio spread” das mesmas.

Figura 35: Comparativo de transmissões ATs de 5 e 6 marchas



FONTE: Uozumi, Shingo et al

Na figura 35 podemos destacar que:

- Spread: é o “overall ratio spread”

- 1ST: 1^a Marcha

- 2nd: 2^a Marcha

- 3rd: 3^a Marcha

- 4th: 4^a Marcha

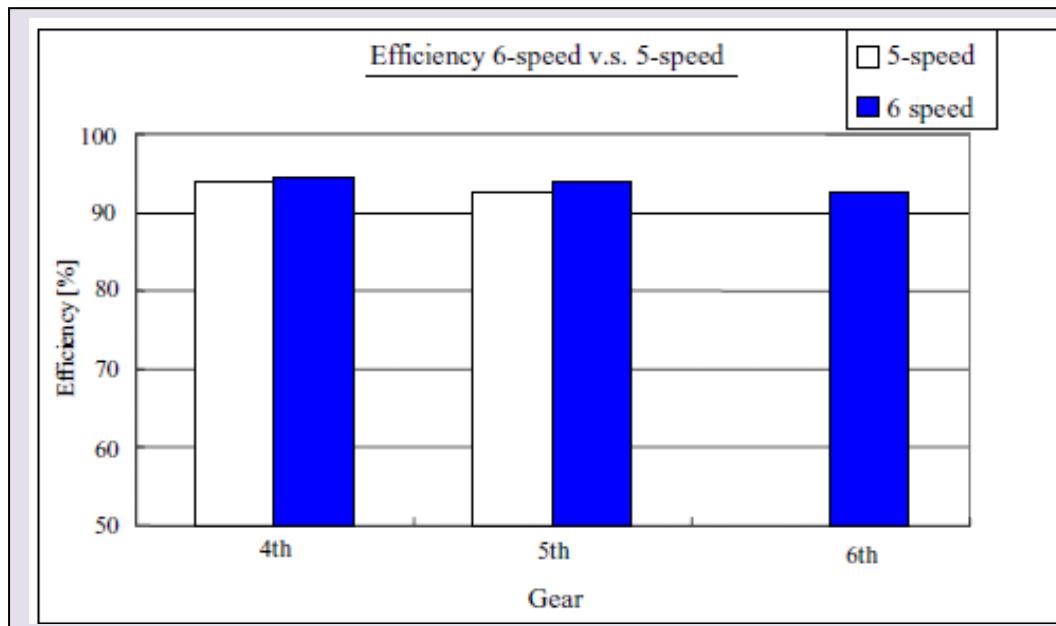
- 5th: 5^a Marcha

- 6th: 6^a Marcha

Nota-se um aumento de 27% no “overall ratio spread” da transmissão de 6 marchas em comparação com a transmissão de 5 marchas. Houve um aumento de 23.6% na redução da 1^a marcha e um aumento na multiplicação da última marcha (Overdrive). Desta forma, como vimos antes, houve uma melhora na aceleração durante a partida do veículo e, devido ao aumento da multiplicação da última marcha, o motor poderá trabalhar em rotações relativamente mais baixas, reduzindo o consumo de combustível.

O Gráfico 4 mostra o ganho efetivo de eficiência e consumo de combustível quando comparadas a nova transmissão automática de 6 marchas com sua antecessora de 5 marchas.

Gráfico 4: **Comparativo de eficiência entre transmissões ATs de 5 e 6 marchas**



FONTE: Uozumi, Shingo et al

4.2.2 Transmissão automática Ford 6R140

Com objetivo de aumentar a economia de combustível e a capacidade dos veículos F-250, a Ford Motor Company optou por substituir a transmissão automática de 5 marchas 5R10W pela nova 6R140, de 6 marchas. A figura 36 mostra um comparativo entre as reduções e o “overall ratio spread” das duas transmissões.

Na figura 36 podemos destacar:

- Gear: marcha
- Ratio: redução da marcha
- Step: “ratio spread”
- Span: “overall ratio spread”

Figura 36: Comparativo de redução de transmissões ATs de 5 e 6 marchas

5R110			6R140		
Gear	Ratio	Step	Gear	Ratio	Step
1	3.114		1	3.974	
2	2.202	1.414	2	2.318	1.714
3	1.545	1.425	3	1.516	1.529
4	1.000	1.545	4	1.149	1.319
5	0.707	1.414	5	0.858	1.339
R	-2.882		6	0.674	1.273
Span	4.34		R	-3.128	
			Span	5.89	

FONTE: Boerema, Richard S.; Bruck, Al.

Houve um aumento na aceleração do veículo no momento da arrancada com o aumento da redução da 1^a marcha de 3,114 para 3,974 e houve uma redução no consumo de combustível devido ao aumento do “overall ratio spread” de 4,34 para 5,89.

4.2.3 Transmissão automática AISIN TF-80SC de 6 marchas

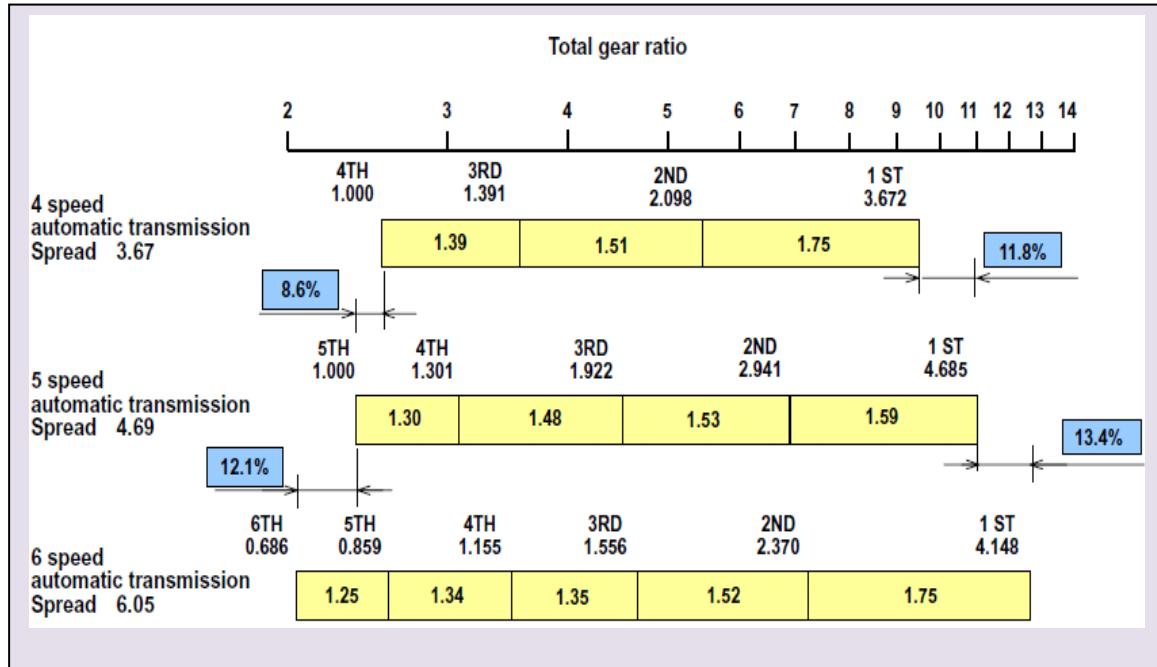
Esta transmissão é utilizada para motores de alto torque em veículos com tração dianteira e foi baseada na transmissão TF-60SN de 5 marchas, com objetivo de proporcionar ganho na redução de peso e no consumo de combustível.

Na figura 37 é possível observar um comparativo entre as reduções das marchas da nova transmissão de 6 marchas, como também as reduções das marchas das transmissões de 5 e 4 marchas. Estão mostrados também o “overall ratio spread” de cada transmissão.

O aumento do “spread ratio” na transmissão de 6 marchas proporcionou uma redução no consumo de combustível como pode ser observado no gráfico 5 a seguir.

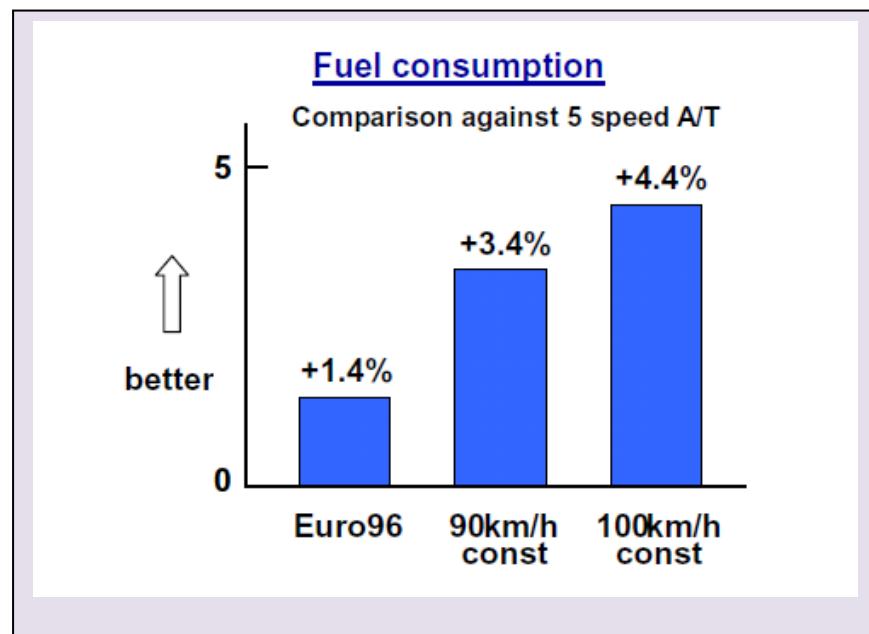
No gráfico pode-se observar um ganho no consumo de combustível quando comparado com a transmissão de 5 marchas automática. No ciclo Euro 96 o ganho foi de 1,4%. A 90 km/h constante o ganho foi de 3,4% e a 100 km/h constante o ganho foi de 4,4%.

Figura 37: Comparativo de redução de transmissões ATs de 5 e 6 marchas



FONTE: Kasuya, Satoru et al.

Gráfico 5: Comparativo de redução de transmissões ATs de 5 e 6 marchas



FONTE: Kasuya, Satoru et al.

4.3 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL NAS TRANSMISSÕES AUTOMÁTICAS DE DUPLA EMBREAGEM

Transmissões de dupla embreagem (DCTs) proporcionam o total conforto das transmissões automáticas tradicionais, mas oferecem um significante ganho em consumo de combustível e desempenho.

Com 15% de redução no consumo de combustível quando comparadas às transmissões automáticas tradicionais com conversor de torque e planetárias, as DCTs são as primeiras transmissões automáticas a fornecer valores melhores de consumo de combustível do que as transmissões manuais (MTs). Velocidade final superior e melhor aceleração são outras vantagens se comparadas às tradicionais automáticas com planetárias e com CVTs.

DCTs são também as primeiras transmissões automáticas bem adaptadas para motores Diesel, que possuem alto torque, e também às altas rotações dos motores a gasolina.

Primeiramente as leis regulatórias governamentais sobre emissões e consumo de combustível estão se tornando cada vez mais apertadas. As ferramentas para atingir estes objetivos regulatórios cada vez mais apertados têm sido, entre outras coisas, tem sido aumentar as transmissões de 4 para 5 e para 6 marchas com um maior “overall ratio spread” e aumento da eficiência interna das transmissões.

A indústria está trabalhando em soluções radicais para reduções de poluentes, como células de combustível, carros movidos a hidrogênio e ainda os híbridos. No entanto, durante os próximos anos, os motores de combustão e as transmissões terão que cobrir a parcela principal do ganho de eficiência de combustível.

As maiores tendências no momento são o “downsizing” dos motores, com implementação de motores Diesel e gasolina com injeção direta de combustível. Altas rotações dos motores a gasolina equipados com turbo compressores (todos TDI – Turbo Diesel Injection e o aumento constante dos motores GDI – Gasoline Direct Injection), para compensar a redução do deslocamento ou cilindrada do motor.

Nos Estados Unidos e Asia, a desativação de cilindros para motores de 6 e 8 cilindros resulta num redução de deslocamento virtual na maioria das condições de condução do veículo.

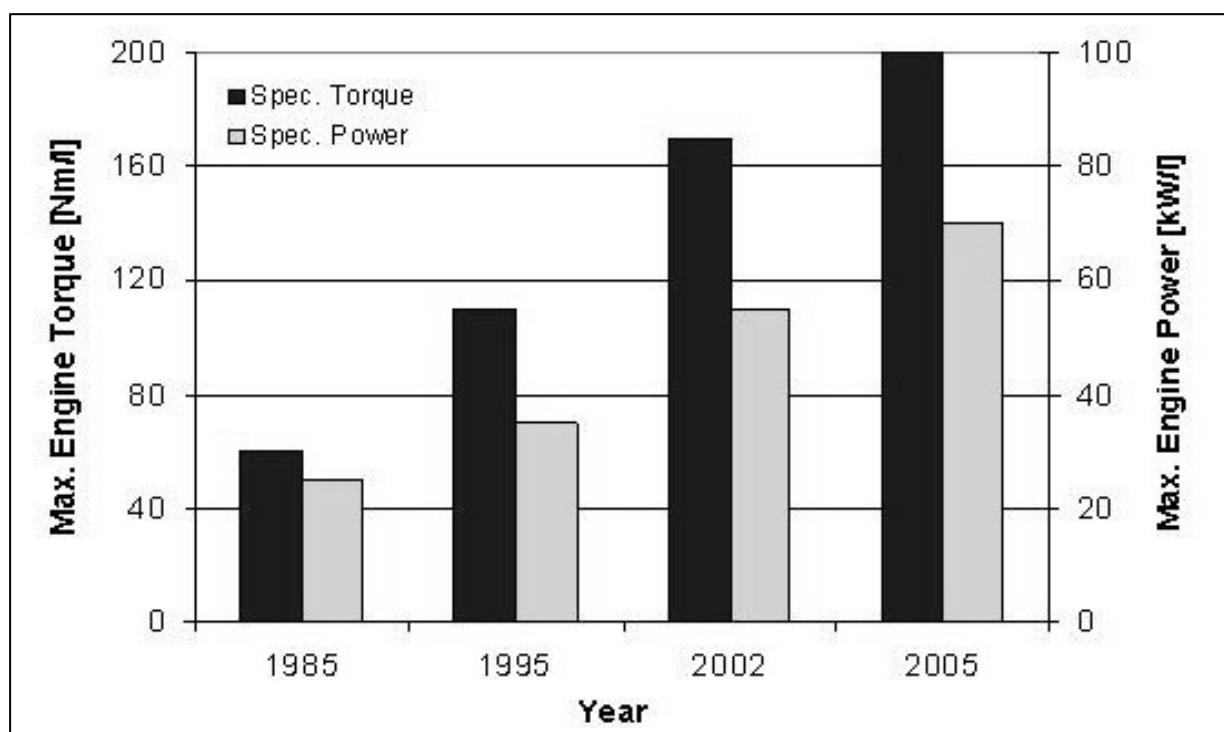
O gráfico 5 mostra o desenvolvimento de torque e potência dos motores ao longo dos últimos anos na Europa. O aumento significativo do torque, no entanto, vem a custa de uma menor faixa de rotação utilizável. Um típico motor TDI nos dias de hoje alcança seu torque

máximo a 1500 rpm, mas acima de 4000 rpm o torque cai imediatamente, resultando numa maior quantidade de marchas ou um maior “overall ratio spread” da transmissão.

Do lado dos motores a gasolina, a área de melhor eficiência tem crescido bastante ao longo dos últimos anos, uma tendência que permite o motor funcionar sempre com a máxima eficiência combinada a qualquer marcha da transmissão.

Finalmente o consumidor final aprecia o conforto de uma transmissão automática quando está dirigindo através de cidades ou estradas congestionadas, mas especialmente na Europa, ele também procura por uma condução esportiva e a sensação de conectividade como numa transmissão manual.

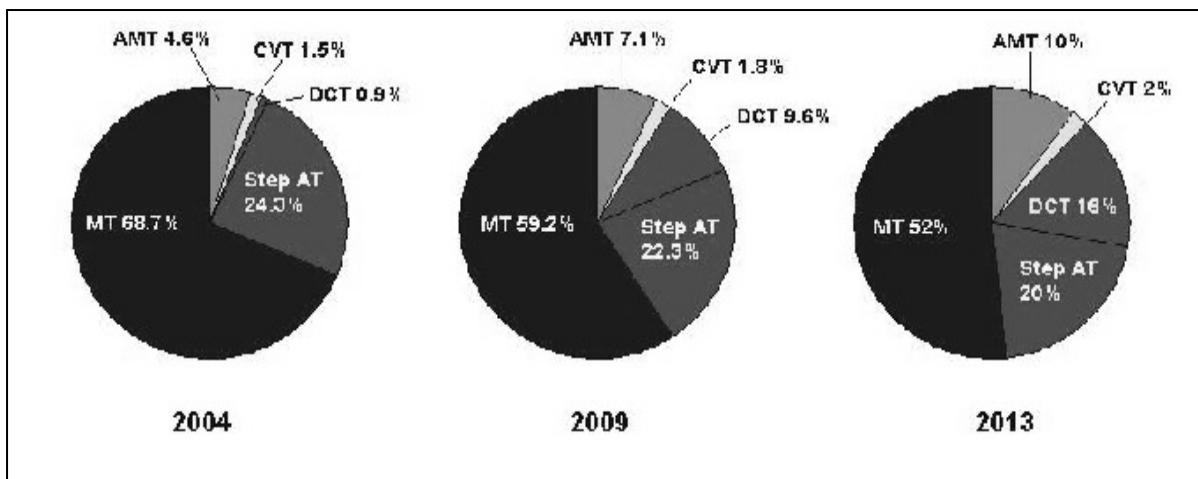
Gráfico 5: Aumento da potência e torque da frota europeia



FONTE: Mathes, Bernd

Como resultado deste interesse, o gráfico 6 mostra a evolução deste mercado, na Europa, para veículos de passageiros desde 2004 até 2013.

Gráfico 6: Evolução da frota quanto ao tipo de transmissões



FONTE: Mathes, Bernd

No gráfico 6 podemos destacar:

- MT: Transmissões manuais
- AMT: Transmissões automáticas
- CVT: Transmissões continuamente variáveis
- DCT: Transmissões de embreagem dupla
- Step AT: Transmissões automáticas (O sufixo “Step” é uma identificação comum na Europa, que significa que é um transmissão automática na qual é possível fazer mudanças de marcha manualmente)

Como pode ser observado no gráfico, ocorre um aumento expressivo nas transmissões DCTs, indicando a tendência no mercado dessa nova transmissão.

Mas o que exatamente está conduzindo esta mudança?

Conforme falamos acima, está ocorrendo um aumento expressivo na frota de veículos com motores TDI e GDI. Estes motores já estão cobrindo quase a metade do mercado europeu de veículos de passageiro, com uma expectativa de crescimento no futuro.

Sistemas de transmissão CVTs com correia ou corrente possuem limitações na capacidade de torque e tem sérias dificuldades com a vibração dos motores Diesel.

Adicionalmente as transmissões CVT possuem a bomba de alta pressão de óleo responsável por controlar a redução dinâmica da transmissão. Devido a aplicação de altos torques, a bomba pode começar a falhar causando a patinação da correia ou corrente e, consequentemente, a destruição da transmissão.

Transmissões automáticas tradicionais tem a desvantagem de perda de eficiência e desempenho devido ao conversor de torque e ao complexo sistema hidráulico.

Motores TDI alcançam seu toque máximo em baixas rotações, rotações estas em que os conversores de torque não são tão eficientes. Desta forma uma transmissão AT hoje apresenta de 15% a 25% aumento no consumo de combustível se comparado com uma transmissão manual.

Transmissões automatizadas AMTs utilizam apenas uma embreagem para controlar a saída do veículo e para realizar a mudança de marchas. Proporcionam um bom consumo de combustível e o melhor custo, mas não agradam o consumidor devido a interrupção de torque no momento das trocas de marcha, especialmente nas marchas mais baixas.

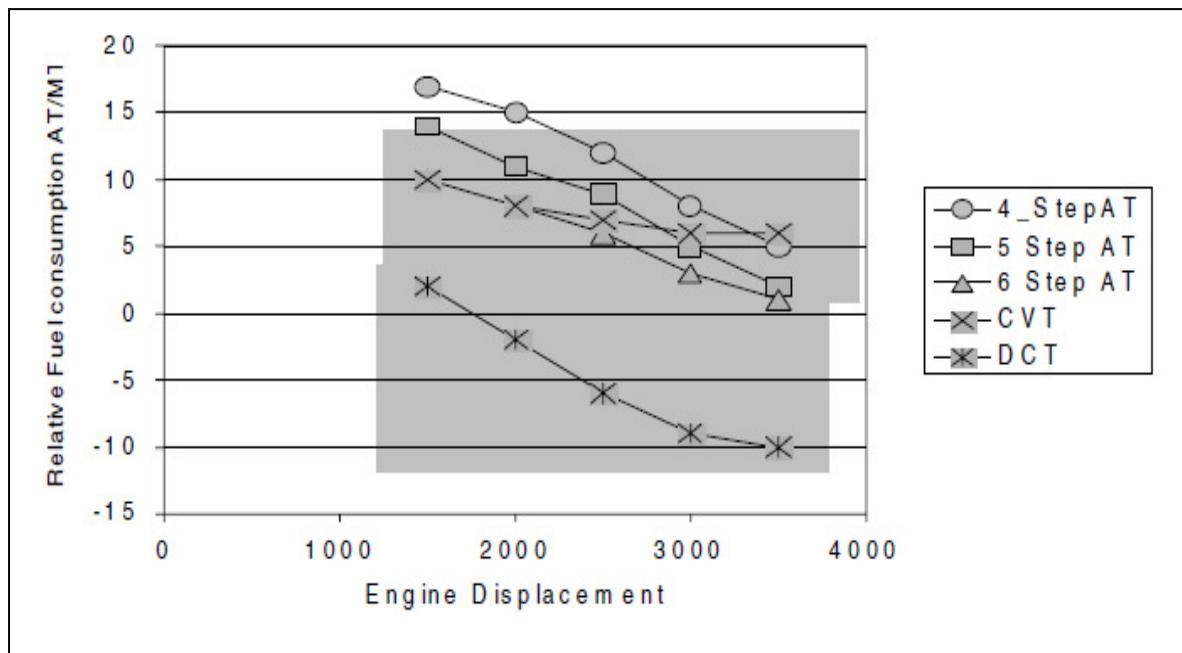
A única transmissão que não apresenta limitações de aplicação são as DCTs com embreagem a banho de óleo. Elas proporcionam um excelente consumo de combustível, excelente resposta e são tão confortáveis na partida do veículo e nas trocas de marchas como as tradicionais ATs. É a única transmissão capaz de suportar os altos torques dos motores Diesel TDI como também dos motores GDI.

O gráfico 7 a seguir mostra um comparativo de consumo de combustível em redução ao deslocamento volumétrico do motor.

Como poderá ser observado, a transmissão DCT é a que apresenta menor consumo de combustível, mesmo que em motores de maior deslocamento volumétrico.

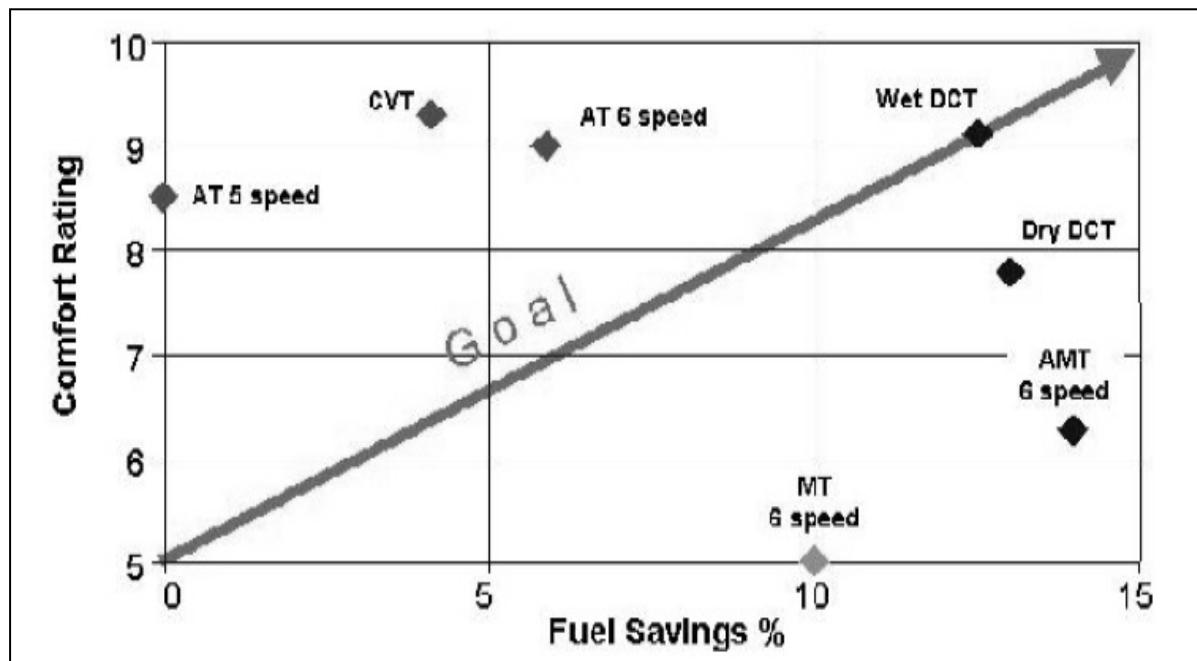
Já no gráfico 8 é possível observarmos outro comparativo em relação ao consumo de combustível das transmissões DCTs quando comparadas às outras transmissões, considerando-se o nível de conforto.

Gráfico 7: Comparativo do consumo de combustível quanto ao deslocamento do motor



FONTE: Mathes, Bernd

Gráfico 8: Comparativo do consumo de combustível quanto ao conforto

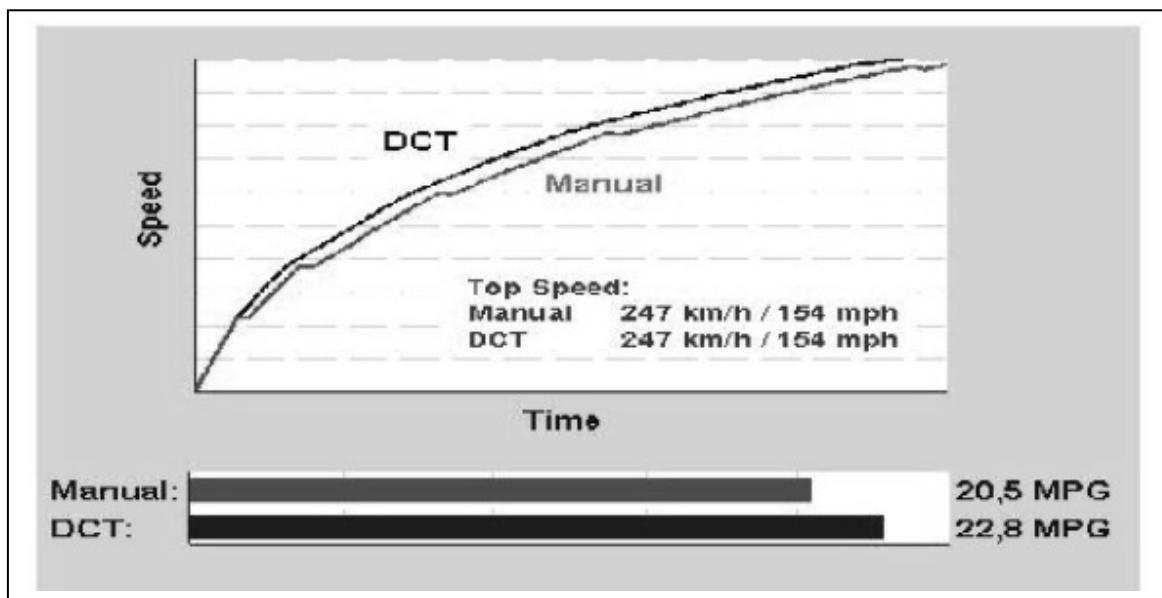


FONTE: Mathes, Bernd

Observa-se que consumo de combustível das transmissões DTCs é inferior somente às (AMTs), mas superior às transmissões ATs tradicionais, superando inclusive as transmissões MTs!

É importante acrescentar ainda que um veículo equipado com a transmissão DCT alcança a mesma velocidade máxima que o mesmo veículo equipado com transmissão manual MT. Adicionalmente o veículo equipado com a DCT acelera mais rápido que o veículo equipado com a MT, pois não ocorre a interrupção de torque durante a aceleração, conforme mostra o gráfico 9 a seguir.

Gráfico 9: **Comparativo do consumo de combustível quanto ao conforto**



FONTE: Mathes, Bernd

E ainda proporciona uma redução no consumo de combustível de 10% homologado no Ciclo de Eficiência de Consumo de Combustível Europeu (MVEG), pois no caso do veículo equipado com a transmissão DCT, o motor sempre trabalha no regime de melhor eficiência.

5 O FUTURO DAS TRANSMISSÕES AUTOMÁTICAS

As transmissões AT de 4 marchas equipavam somente os carros de luxo nos anos 80, e passaram a equipar os carros compactos e econômicos somente nos anos 90. Vale lembrar que até então, a norma desde os anos 60 eram as transmissões automáticas com conversor de torque com no máximo 3 marchas, como a famosa “Hydra-Matic”, nome comercial dado a transmissão da General Motors. No Brasil conhecíamos como câmbios hidramáticos. Enfim, o ponto é que temos feito o nosso caminho nas transmissões automáticas a partir de 2 marchas, 3 marchas, 4 marchas, 5 marchas até a transmissão de 6 marchas, sendo este agora o padrão para as transmissões automáticas. Temos também transmissões automáticas com 7 marchas e conversor de torque e ainda transmissões automáticas de 7 ou 8 marchas sem conversor de torque, mas com uma embreagem dupla.

Existem também transmissões CVT, que são basicamente uma corrente entre duas polias que mudam as reduções.

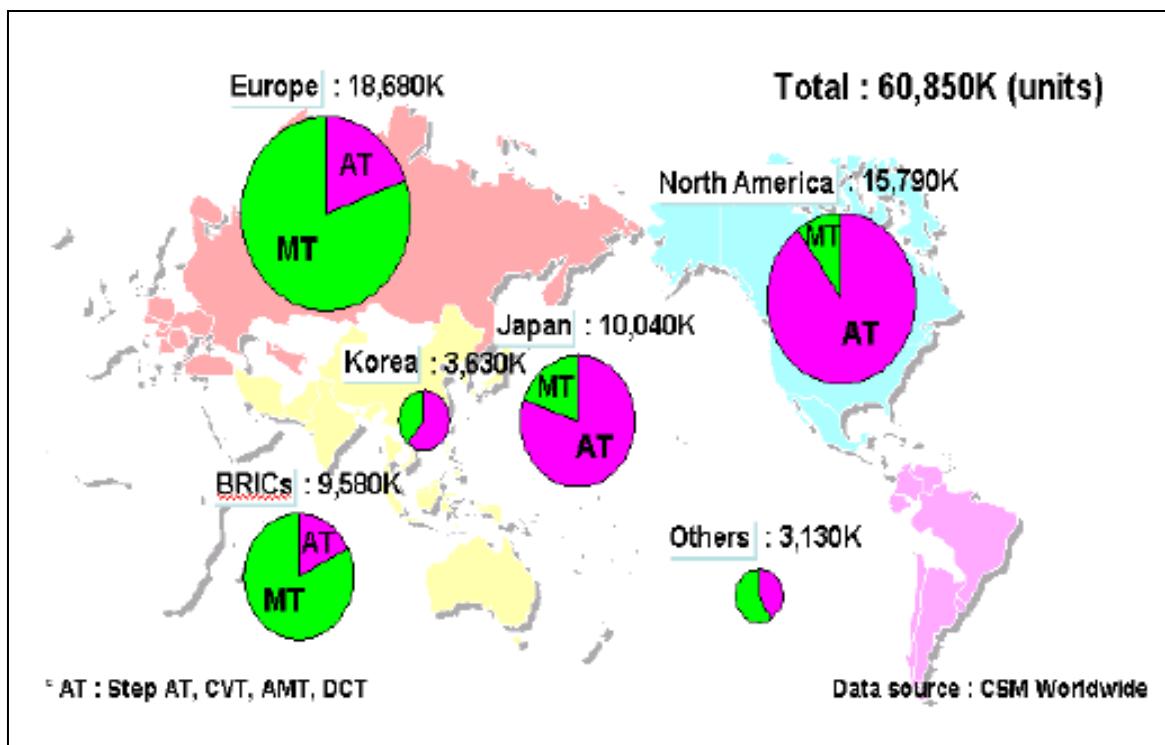
Temos também as transmissões MT. Existe o argumento que as transmissões manuais geralmente oferecem economia de combustível melhor que as transmissões automáticas devido a eficiência que estas oferecem (em geram 93% das manuais contra 85% das automáticas hidráulicas).

No entanto, hoje as transmissões automáticas hidráulicas podem chegar até a 9 velocidades, permitindo o aumento no “overall ratio spread”, que proporciona redução no consumo de combustível, como vimos anteriormente.

Mas é importante destacar as transmissões automáticas DCT. Estas transmissões conseguem unir a eficiência a transmissão MT com o conforto da transmissão AT, e ainda com um grande número de marchas de forma a aumentar o “overall ratio spread”, proporcionando assim a economia de combustível.

No gráfico 10 podemos observar a distribuição global das transmissões no ano de 2005:

Gráfico 10: Distribuição Mundial de Transmissões



FONTE: Kurosawa, M.; Okahara, H.

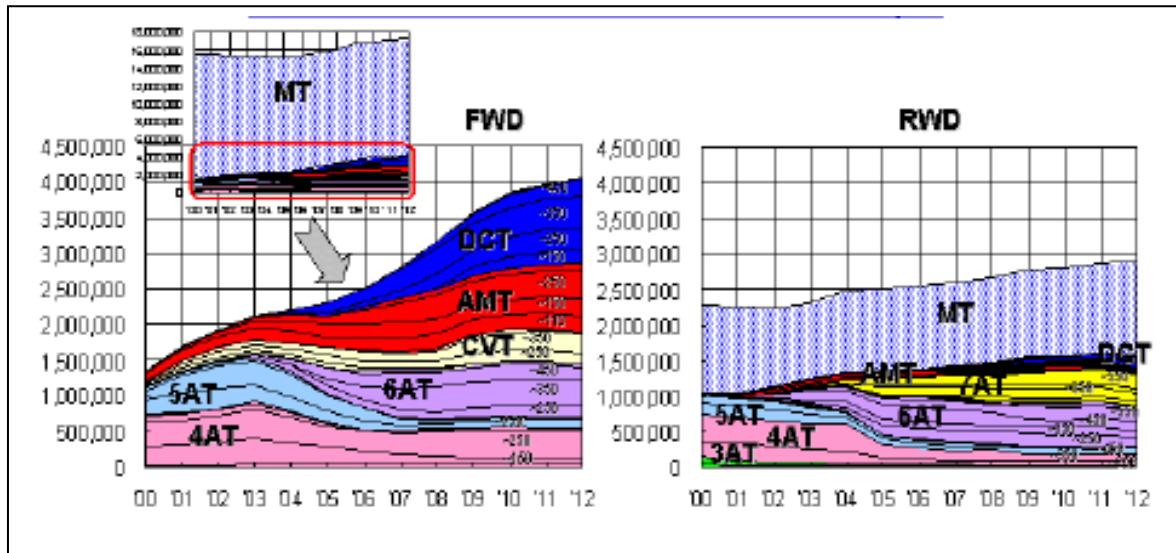
O maior mercado mundial de transmissões MT é a Europa, enquanto que o maior mercado de transmissões AT é os Estados Unidos da América, seguido de perto pelo Japão.

Nos países em desenvolvimento (BRIC – Brasil, Rússia, Índia e China), o número de transmissões AT ainda é bem inferior se comparado ao das transmissões MT. No entanto este mercado está mudando rapidamente e com uma tendência de se aproximar rapidamente do Japão e EUA.

Basicamente a tendência para estes mercados é a seguinte:

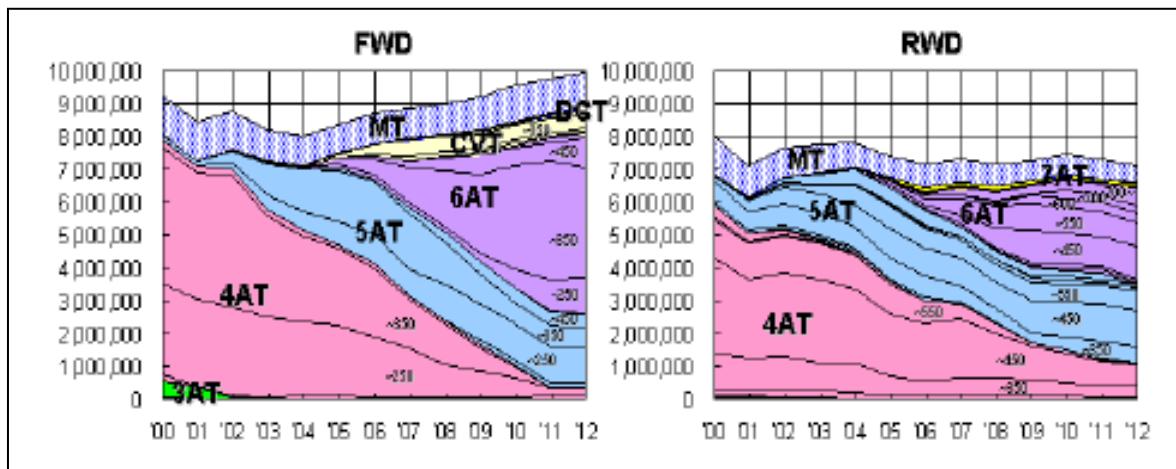
- Europa: Transmissões AMT e DCT estão em franca expansão, apesar das transmissões MT já possuírem uma cobertura maior e consolidada, especialmente para as aplicações RWD, conforme pode ser observado no gráfico 11.
- EUA: Transmissões AT de multimarchas são a maioria absoluta. No entanto a participação das transmissões CVT e DCT já está começando a se fazer notar, como pode ser observado no gráfico 12.

Gráfico 11: Tendência do Volume de Transmissões - Europa



FONTE: Kurosawa, M.; Okahara, H.

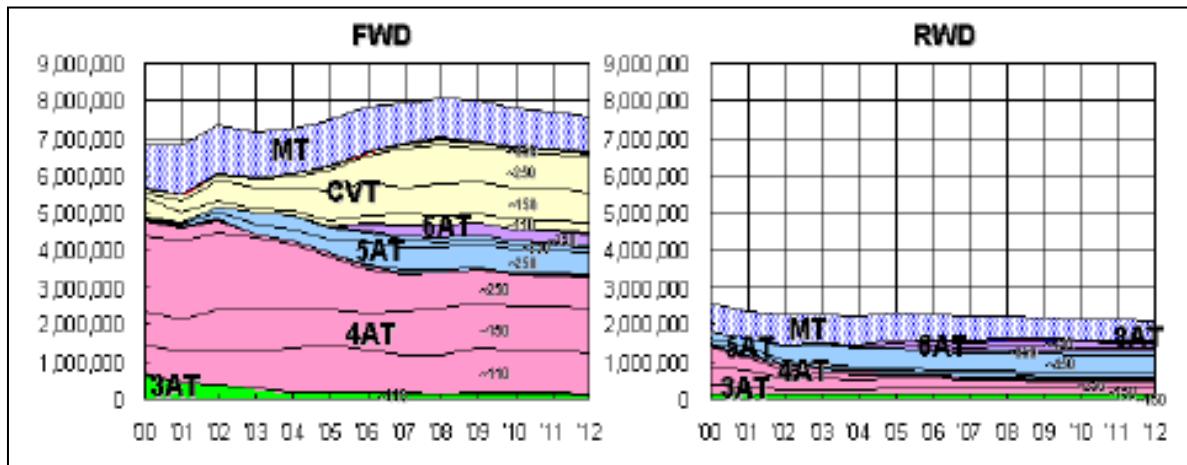
Gráfico 12: Tendência do Volume de Transmissões - USA



FONTE: Kurosawa, M.; Okahara, H.

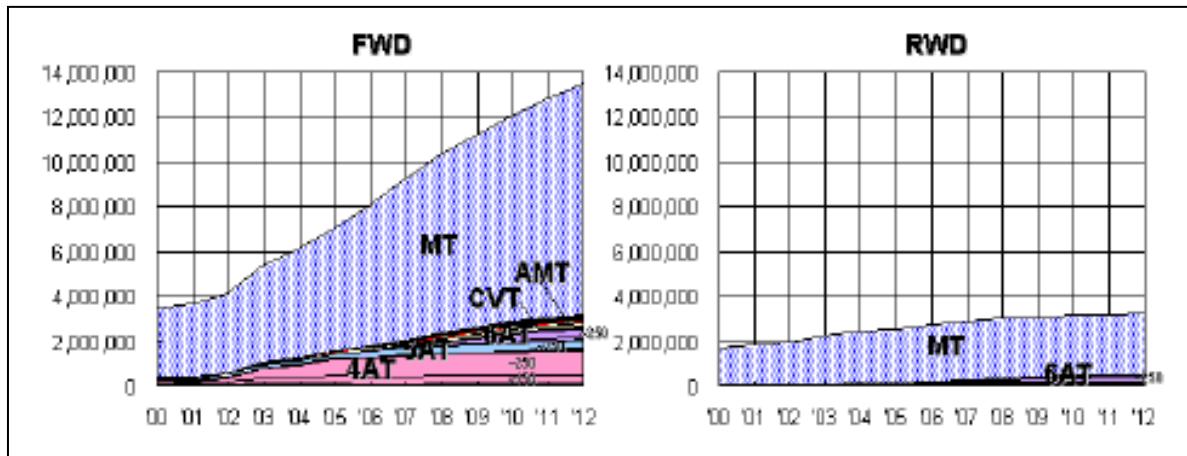
- Japão: As transmissões CVT são a maioria. Transmissões AT de multimarchas e transmissões CVT irão coexistir. É importante notar que as transmissões DCT nem mesmo são mencionadas no gráfico 13.
- BRIC: As transmissões MT são em maior número absoluto. No entanto, há espaço para transmissões AMT e CVT com comando manual, conforme pode ser observado no gráfico 14.

Gráfico 13: Tendência do Volume de Transmissões - Japão



FONTE: Kurosawa, M.; Okahara, H.

Gráfico 14: Tendência do Volume de Transmissões - BRICs



FONTE: Kurosawa, M.; Okahara, H.

Todos os mercados têm suas peculiaridades. Haja visto, por exemplo, que as transmissões CVT vão muito bem no Japão, provavelmente devido ao tamanho dos carros nos quais estas são aplicadas, que são pequenos na sua maioria, e também a peculiaridade do consumidor que não se importa com os ruídos característicos desta transmissão, que na sua maioria são de altas frequências. Por outro lado, o mercado japonês rejeita as transmissões DCT justamente por problemas de ruído durante o engate das marchas e aceleração do veículo. No entanto, todos os mercados tem dois pontos comum:

- A redução de poluentes e o trânsito cada vez mais complicado nas grandes cidades.

Para a redução das emissões, a introdução de marchas nas transmissões AT tem se tornado uma prática comum, haja visto que as transmissões de 6 marchas se tornaram padrão em praticamente todos os veículos médios, pois reduz-se a velocidade (rpm) do motor, reduzindo com isso as emissões e o consumo de combustível dos veículos. E ainda, devido a complicação do trânsito nas grandes cidades, o futuro das transmissões automáticas torna-se cada vez mais promissor, uma vez que o manuseio de veículos com transmissões manuais é muito exaustivo no trânsito pesado do dia-a-dia das grandes metrópoles. As transmissões manuais acabarão sendo destinadas aos carros esporte, cujo uso não é diário, ou então para o consumidor que não abre mão de controlar os engates das marchas ele mesmo, mantendo o controle absoluto sobre o veículo. Mas convenhamos que este tipo de consumidor está cada vez mais raro nos dias de hoje.

Mas o futuro pertence mesmo as transmissões automáticas de dupla embreagem, sendo que a dupla embreagem pode ser seca ou a banho de óleo, conforme o torque do motor, também é multimarchas, possuindo 6, 7 ou 8 marchas, não possui as limitações de transmissão de torque impostas pelo conversor de torque, principalmente em baixas rotações e possui a vantagens da eficiência da transmissão manual (em torno de 93%).

Desta forma, resta apenas ocorrer uma evolução natural na indústria para que as transmissões automáticas tradicionais (hidráulicas com conversores de torques), passem a ser substituídas gradativamente pelas automáticas DCTs. Devido a regulamentações de emissões e exigência dos consumidores para veículos mais eficientes e menos poluentes, acreditamos que em breve esta evolução deva ocorrer e as transmissões DCTs se tornarão comuns nos veículos de maneira geral.

6 CONCLUSÃO

Devido a uma conscientização global para a otimização dos recursos naturais, redução de emissões e aumento da eficiência energética, as montadoras e fabricantes de transmissões estão buscando formas de mostrar que estão engajadas, principalmente no que concerne a redução de emissões e consumo de combustível.

Em decorrência ao avanço tecnológico a transmissão automática hidráulica, como as antigas C4 de 3 marchas que equipavam os Ford Galaxie são coisa do passado. Os saudosistas que se acalmem: eram transmissões, resistentes e confiáveis. Tão confiáveis e resistentes que até hoje há quem as procure para colocá-las em veículos especialmente preparados utilizados em provas de arrancada.

No entanto, como vimos a tecnologia nos brinda com novos tipos de transmissões: CVTs, automáticas multimarchas com controle eletrônico e DCTs. Desta forma tem sido possível aumentar a quantidade de marchas nas transmissões automáticas, aumentando assim a eficiência das transmissões e como consequência, reduzindo o consumo de combustível.

Além do mais, com a tecnologia foi possível transformar conceitos em realidade, que é exatamente o caso da transmissão DCT. Tratava-se apenas de um conceito impossível de ser praticado quando desenvolvido nos idos de 1940. No entanto hoje é uma realidade. E quem diria, conseguimos uma consumo de combustível menor numa transmissão DCT que numa MT.

Acredita-se que o futuro será das DCTs, pois esta apresenta as seguintes vantagens:

- Alta capacidade de torque de entrada, mesmo em baixas rotações, que é excelente para motores Diesel e DI, pois em breve além dos motores com injeção direta a gasolina, poderemos ter também motores a etanol com injeção direta;
- Consumo de combustível inferior ao das demais modelos de transmissões;
- Tamanho compacto e baixa massa que significa baixa inércia, proporcionando melhor desempenho e resposta;
- Tempo de vida útil da transmissão sem desgaste significativo, pois não existem peças complexas para apresentar desgaste como numa transmissão AT tradicional;
- Tempo reduzido de engate de marchas, igual ou inferior ao de uma transmissão AT tradicional.

As transmissões DCTs fornecem ao consumidor final o conforto da troca de marchas sem interrupção de torque, a esportividade e robustez que ele procura, oferecendo adicionalmente a conveniência do ganho no consumo de combustível também tão procurada nos dias de hoje.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NAUNHEIMER, Harald; BERTSCHE, Bernd; RYBORZ, Joachim; NOVAK, Wolfgang. **Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application.** 2 ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 715 p.

SILVA, Astor Vieira Fº. **Fórum de discussão dos resultados do ensaio de proficiência em Emissões Veiculares: O ensaio de emissão veicular.** Ford Motor Company do Brasil, 28 ago 2006. 28 p.

AMENDOLA, Cesar H. Ferreira. **Análise das estratégias de trocas de marchas da transmissão automática convencional em comparação com a transmissão de dupla embreagem.** 2005. 134 p. Monografia (Mestrado Profissionalizante) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica.

Volkswagen Service Self-Study Program: 6-speed manual gearbox 02M. 1998. 28 p.

REYENGA, Craig. **Craig's Website: Transmissions.** Disponível em <<http://craig.backfire.ca/pages/autos/transmissions>>. Acesso em 19 maio 2012.

MATHES, Bernd. **Dual Clutch Transmissions – Lessons Learned and Future Potential.** 2005. Paper SAE. 14 p. 2005 SAE World Crongress, Detroit MI.

KASUYA, Satoru et al. **AISIN AW New High Torque Capacity Six Speed Automatic Transmission for FWD vehicles.** 2005. Paper SAE. 11 p. 2005 SAE World Crongress, Detroit MI.

BOEREMA, Richard S.; BRUCK, Al. **Ford Motor Company's new Torqshift 6 Automatic Transmission for Super Duty F250-F550 Truck.** 2010. Paper SAE. 10 p. SAE World Crongress, Detroit MI.

UOZUMI, Shingo et al. **AISIN AW New Six-Speed Automatic Transmission for RWD Vehicles.** 2004. Paper SAE. 9 p. SAE World Crongress, Detroit MI.

CHOLLET, H.M.. **O Livro do Mecânico de Automóveis, Vol. 3.** Hemus-Livraria Editora Ltda., 1981, 216 p.

KUROSAWA, Minoru; OKAHARA, Hirofumi. **Future Inovations on Transmissions.** JACTO Ltda. 6 p.

BESOUW, Martin van; HUIJBERS, Stijn. **Future of Automotive Powertrains,** Automotive Technology Centre, 15 p.