

## ■ Introdução

A transmissão CVT (do inglês “**C**ontinuously **V**ariable **T**ransmission” ou transmissão continuamente variável) é um tipo de transmissão que tem por principal característica a de oferecer uma variação contínua, sem escalonamento, de relações de transmissão (número infinito de marchas) entre valores típicos de 2,5:1 (redução) a 0,5:1 (sobre-marcha).

A transmissão CVT permite obter um ganho de economia em função de que o motor funciona constantemente, na faixa de rotação de maior eficiência. Atualmente é aplicada tanto em veículos híbridos como em não-híbridos.

Os tipos utilizados atualmente, todos de controle eletrônico, são:

- ▶ **Transmissão CVT mecânica.** O componente principal é o “*variador mecânico contínuo*” que pode ser de polias expansíveis ou toroidal.
- ▶ **Transmissão CVT eletromecânica ou e-CVT.** É utilizada em veículos híbridos e o componente principal é o “*variador eletromecânico contínuo*” constituído por um ou mais trens epicicloidais associados, na maior parte dos casos, a dois motores/geradores elétricos.  
Este tipo é abordado no Capítulo 13 “*Transmissão Automática - e-CVT*”

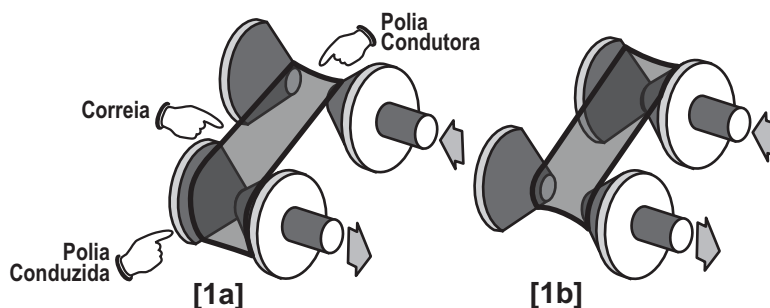
Uma característica relevante da transmissão continuamente variável é que a potência gerada pelo motor de combustão e pelos motores/geradores elétricos (no caso da e-CVT) se transmite às rodas sem interrupção de torque e sem mudança escalonada da relação de transmissão.

## CVT COM VARIADOR DE POLIAS EXPANSÍVEIS

O tipo de variador mais utilizado atualmente é o de **polias expansíveis** ou de **diâmetro variável** com dois elementos cônicos de 20° cada uma (fig.[1]).

São seus componentes:

- ▶ **Polia condutora** (polia expansível) de diâmetro variável. Entrada do motor.
- ▶ **Polia conduzida** (polia expansível) de diâmetro variável. Saída às rodas.
- ▶ **Correia metálica**, corrente metálica ou correia de borracha de alta densidade, esta última não mais utilizada. Transmite o torque da polia condutora para a conduzida.



O diâmetro das polias pode ser ajustado aproximando ou afastando as metades (cones) de forma sincronizada, mantendo a correia ou corrente, na tensão apropriada às necessidades de transmissão do torque.

Com isto, verifica-se a mudança gradual das velocidades relativas das polias e conseqüentemente, da relação de transmissão.

Assim, a transmissão CVT permite ajustar a relação de transmissão para condicionar a rotação do motor à carga solicitada e à velocidade do veículo.

A troca de marchas se realiza de forma contínua e sem interrupção do torque transmitido, variando os diâmetros das polias. Isto, contrariamente às transmissões manuais nas quais há interrupção do fluxo de potência durante um curto período de tempo, no momento da mudança de relação de transmissão.

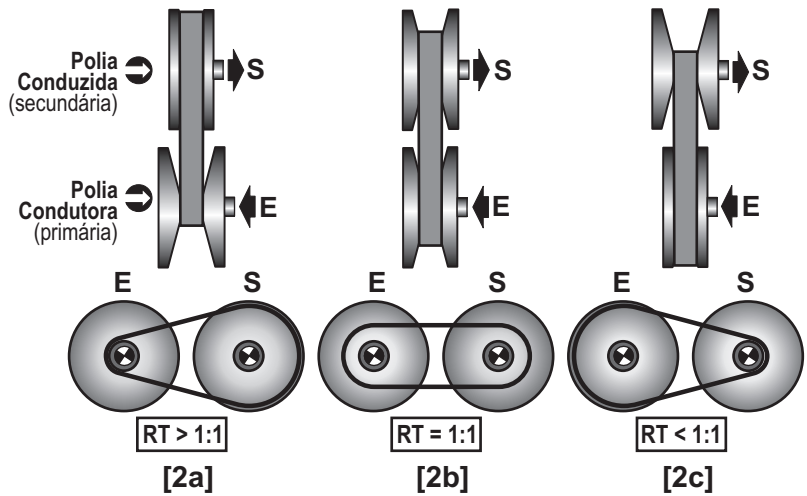
- ▶ A figura [1a] apresenta a condição de redução (maior torque) com as metades da polia condutora afastadas e a correia próxima do eixo o que corresponde ao mínimo diâmetro da polia. O inverso acontece com a polia conduzida.
- ▶ A figura [1b] apresenta a condição de sobre-marcha (menor torque) com as metades da polia condutora próximas e a correia afastada do eixo o que corresponde ao máximo diâmetro da polia. O inverso acontece com a polia conduzida.

A figura [2] complementa estes conceitos com a configuração que assumem as polias para 3 relações de transmissão.

► Figura [2a]. Canal da polia condutora de largura máxima (mínimo diâmetro) e o da conduzida, de largura mínima (diâmetro máximo). Como resultado, a velocidade de rotação da polia conduzida é menor que o da condutora. Com isto, a relação de velocidade  $RV < 1:1$ . Conseqüentemente, a relação de transmissão  $RT > 1:1$  (redução).

► Figura [2b]. Canal da polia condutora de largura igual ao da conduzida (diâmetros iguais). Como resultado, a velocidade de rotação da polia conduzida é igual ao da condutora. Com isto, a relação de velocidade  $RV = 1:1$ . Conseqüentemente, a relação de transmissão  $RT = 1:1$ .

► Figura [2c]. Canal da polia condutora de largura mínima (máximo diâmetro) e o da conduzida, de largura máxima (diâmetro mínimo). Como resultado, a velocidade de rotação da polia conduzida é maior que o da condutora pelo que a relação de velocidade  $RV > 1:1$ . Conseqüentemente, a relação de transmissão  $RT < 1:1$  (sobre-marcha).



Relações de transmissão intermediárias se conseguem ajustando convenientemente, a largura dos canais das polias. Como será visto a seguir, para obter a marcha à ré é utilizado um conjunto planetário simples com 2 embreagens úmidas multi-pratos.



Nas primeiras aplicações (anos 60), o acionamento e controle do variador eram totalmente hidráulicos. Atualmente, o acionamento é eletro-hidráulico e o controle, eletrônico. Ou seja, o sistema é monitorado eletronicamente e regulado de forma eletro-hidráulica através de uma unidade de comando dedicada.

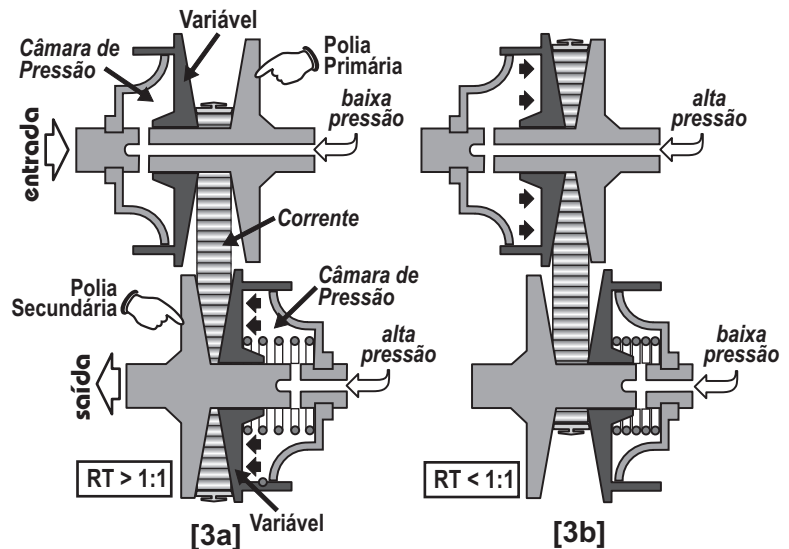
□ Funcionamento

A figura [3] apresenta o mecanismo utilizado para o ajuste da relação  $RT$ . Através de válvulas solenóide, o módulo de controle regula as pressões aplicadas às câmaras.

► A figura [3a] corresponde ao caso de máxima redução (relação de transmissão  $RT > 1:1$ ). Alta pressão é aplicada à câmara da polia secundária reduzindo ao mínimo a largura do canal desta que assume assim, o seu máximo diâmetro.

Simultaneamente, a pressão na câmara da polia primária é regulada de forma a aumentar a largura do canal e diminuir o diâmetro, mantendo a tensão da correia em níveis tais que permitam a transmissão do torque necessário.

► A figura [3b] corresponde ao caso de máxima sobre-marcha (relação de transmissão  $RT < 1:1$ ). Alta pressão é aplicada à câmara da polia primária reduzindo ao mínimo a largura do canal desta que assume assim, o seu máximo diâmetro. Simultaneamente, a pressão na câmara da polia secundária é regulada de forma a aumentar a largura do canal e diminuir o diâmetro, mantendo a tensão da correia em níveis tais que permitam a transmissão do torque necessário.



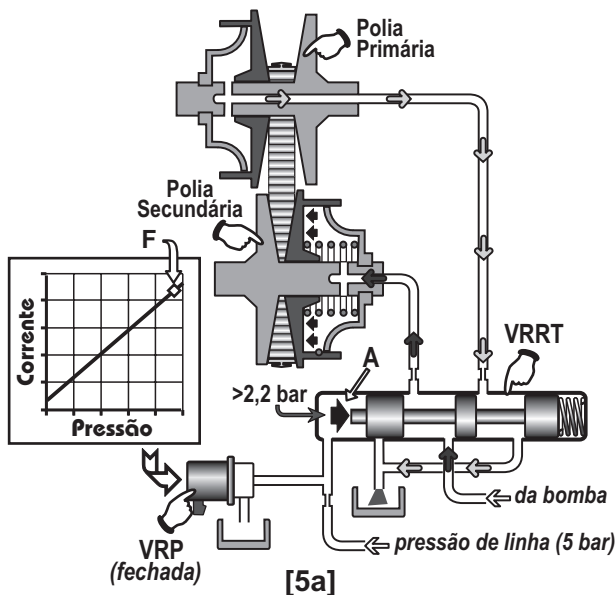
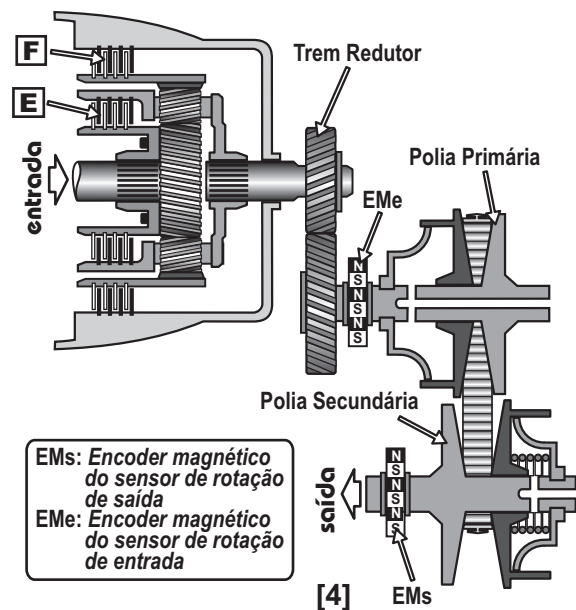
Na condição de sistema hidráulico despressurizado, a mola na câmara da polia secundária estabelece a pressão de contato necessária ao ajuste do variador na relação de transmissão inicial.

## CAPÍTULO 12 - Transmissão Automática - CVT

A figura [4] apresenta a transmissão CVT associada ao trem planetário utilizado para a movimentação em marcha à ré. A entrada (do motor) é pela solar e a saída pelo suporte. O conjunto incorpora ainda, a embreagem de partida **E**.

- ▶ **Marcha à ré:** O módulo de controle ativa o freio **F** que acopla a coroa à carcaça da transmissão. Com isto, o suporte gira em sentido reverso.
- ▶ **Marcha à frente:** O módulo de controle ativa a embreagem de partida **E** que acopla a solar ao suporte com o que o conjunto gira solidário com relação  $RT=1:1$ .

O conjunto planetário pode estar instalado antes (como na figura) ou após da CVT.



### ■ Controle Eletro-hidráulico

A figura [5] apresenta de forma simplificada, o circuito de controle da relação de transmissão da CVT Multitronic.

O ajuste da relação de transmissão se consegue modificando a largura dos canais das polias, direcionando o óleo sob pressão através da válvula reguladora da relação de transmissão (VRRT) convenientemente posicionada.

A posição da VRRT é determinada pela pressão aplicada na câmara **A**. Esta pressão, por sua vez, é regulada pela válvula solenóide reguladora de pressão (VRP).

A válvula VRP é controlada pelo módulo de controle da transmissão, com um sinal de ciclo de trabalho variável. Como mostrado nos gráficos das figuras [5], a VRP é do tipo proporcional sendo que, para ciclo de trabalho próximo de 0% (corrente mínima), a pressão é mínima e para ciclo de trabalho próximo de 100% (corrente máxima), a pressão é a de linha.

- ▶ Quando acionada com ciclo de trabalho 100% (ponto **F** da fig.[5a]), a válvula VRP fecha e a pressão aplicada à câmara **A** é a de linha. O carretel da VRRT fica na posição da figura [5a]. Como resultado, a pressão da bomba é aplicada na câmara de pressão da polia secundária o que provoca o estreitamento do seu canal e, conseqüentemente, o aumento do seu diâmetro.

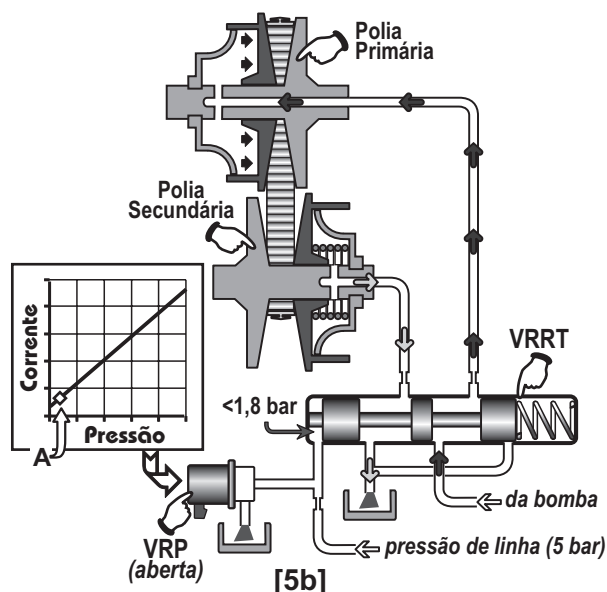
Simultaneamente, o óleo da câmara de pressão da polia primária é escoado para o reservatório o que permite o alargamento do seu canal e diminuição do seu diâmetro.

O conjunto tende para o aumento da relação de transmissão ( $RT > 1:1$ ; redução).

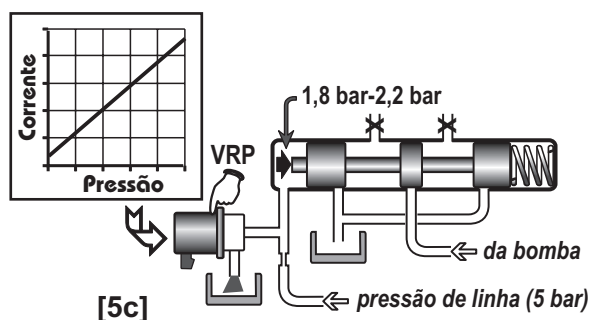
- ▶ Quando desenergizada (ciclo de trabalho 0%; ponto **A** da fig.[5b]), a válvula VRP abre, liberando a passagem do óleo para o reservatório. Com isto, a pressão aplicada à câmara **A** é mínima. O carretel da VRRT fica na posição da figura [5b].

Como resultado, a pressão da bomba é aplicada na câmara de pressão da polia primária o que provoca o estreitamento do seu canal e, conseqüentemente, o aumento do seu diâmetro.

Simultaneamente, o óleo da câmara de pressão da polia secundária é escoado para o reservatório o que permite o alargamento do seu canal e diminuição do seu diâmetro. O conjunto tende para a diminuição da relação de transmissão ( $RT < 1:1$ ; sobre-marcha).



- ▶ Para ciclos de trabalho intermediários, a **VRP** regula a pressão de forma linear como mostra a figura [5c] com o que o carretel da **VRRT** se movimenta entre as posições extremas.
- ▶ Com pressão superior a 2,2 bar, a pressão da bomba atua sobre câmara da polia secundária (fig.[5a]).
- ▶ Com pressão inferior a 1,8 bar, a pressão da bomba atua sobre a câmara da polia primária (fig.[5b]).
- ▶ Com pressão entre 1,8 e 2,2 bar, a válvula **VRRT** permanece numa posição intermediária (fig.[5c]) impedindo que a pressão da bomba atue sobre as câmaras de pressão das polias e que o óleo presente nelas escoe para o reservatório. Reparar que o carretel isola as câmaras de pressão das polias. Como resultado, a relação RT permanece estabilizada no valor determinado para aquelas condições de operação do veículo.



□ **Funcionamento**

- ▶ Com a transmissão em neutro e o sistema despressurizado, a mola da câmara de pressão da polia secundária mantém o variador na relação de transmissão correspondente ao torque de arranque.
- ▶ Em funcionamento normal e em função das velocidades de entrada e de saída do variador e do torque solicitado, o módulo de controle aciona a **VRP** com o ciclo de trabalho necessário ao ajuste da relação de transmissão calculada. Uma vez atingida esta condição, o módulo aciona a **VRP** com o ciclo de trabalho correspondente à condição de bloqueio das câmaras de pressão das polias. Como resultado, na condição de carga estabilizada a **VRP** regula a pressão de forma a manter a **VRRT** na posição da figura [5c].

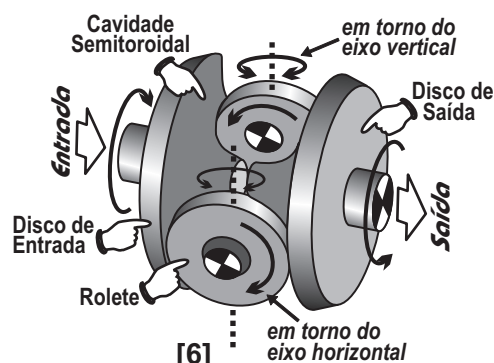
**CVT COM VARIADOR TOROIDAL E SEMI-TOROIDAL**

É constituída por 2 discos concêntricos com cavidade **toroidal** ou **semitoroidal**, um de frente para o outro e, em contato com eles, 2 rodas ou roletes de potência. Uma vantagem da CVT com variador toroidal com relação à CVT de polias expansíveis, é a de permitir a transferência de maior torque.

■ **CVT Semitoroidal**

A figura [6] apresenta a configuração semitoroidal utilizada na transmissão Extroid da Nissan. São seus componentes:

- ▶ **Disco de entrada**, com cavidade semitoroidal, conectado ao motor.
- ▶ **Disco de saída**, com cavidade semitoroidal, conectado ao eixo propulsor.
- ▶ **Roletes** (rodas ou rolamentos) **de potência**, localizados na cavidade semitoroidal e em contato com os discos.



Os discos giram em sentidos opostos devido à ação dos roletes.

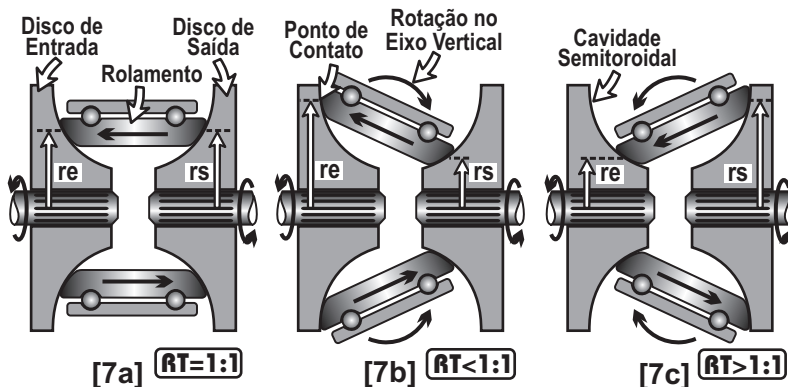
Por sua vez, os roletes podem girar em dois eixos: **1)** no eixo horizontal, transmitindo o torque do disco de entrada para o de saída e **2)** no eixo vertical, que permite variar o ponto de contato com os discos.

□ **Funcionamento**

A rotação no eixo vertical resulta na variação do ponto de contato dos roletes com os discos com relação ao eixo de rotação dos discos. Com isto, varia o diâmetro/raio da circunferência descrita pelo ponto de contato.

A figura [7] apresenta um corte da transmissão salientando os raios das circunferências descritas pelos pontos de contato, com:

**re**=raio de entrada e **rs**=raio de saída



A relação dos raios das circunferências se corresponde com a relação das velocidades de rotação dos discos de entrada e de saída a que por sua vez, se equivale com a **relação de transmissão:  $RT = rs/re$** . Assim, por exemplo, na situação em que o diâmetro da circunferência do disco de saída é maior que o diâmetro do de entrada, o de saída gira mais lentamente que o de entrada havendo nesse caso, relação de transmissão de redução.

## CAPÍTULO 12 - Transmissão Automática - CVT

Para exemplificar o mencionado acima, a figura [7] apresenta 3 situações relevantes.

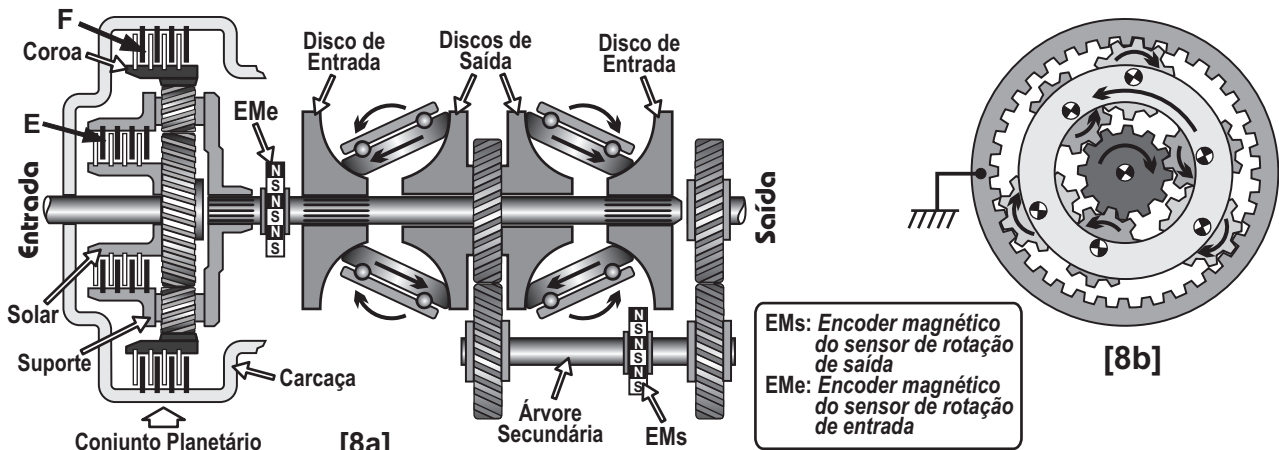
- ▶ Figura [7a]: Os raios das circunferências são iguais pelo que as velocidades dos discos também, são iguais. Como resultado a relação de transmissão  $RT = 1:1$ .
- ▶ Figura [7b]: O raio da circunferência do disco de entrada é maior que a do de saída ( $Re > Rs$ ). O resultado é uma relação de sobre-marcha, ou seja,  $RT < 1:1$ .
- ▶ Figura [7c]: O raio da circunferência do disco de entrada é menor que a do de saída ( $Re < Rs$ ). O resultado é uma relação de redução, ou seja,  $RT > 1:1$ .

Relações de transmissão intermediárias se conseguem ajustando convenientemente, o ângulo dos roletes com relação ao eixo vertical. Como será visto a seguir, para obter a marcha à ré é utilizado um conjunto planetário simples com 2 embreagens úmidas multi-pratos.

### ■ CVT Extroid

A figura [8a] apresenta o esquema simplificado da transmissão Extroid com os componentes mais relevantes. É composta por dois conjuntos semitoroidais em oposição com o que dobra o número de pontos de contato entre discos e roletes. Com isto, a força aplicada em cada ponto de contato é reduzida permitindo transferir níveis maiores de torque.

Os encoders magnéticos (geradores de impulsos) de entrada (EMe) e de saída (EMs) são discos magnetizados associados a sensores Hall de rotação. A informação destes sensores é utilizada pelo módulo eletrônico para a determinação da relação de transmissão.



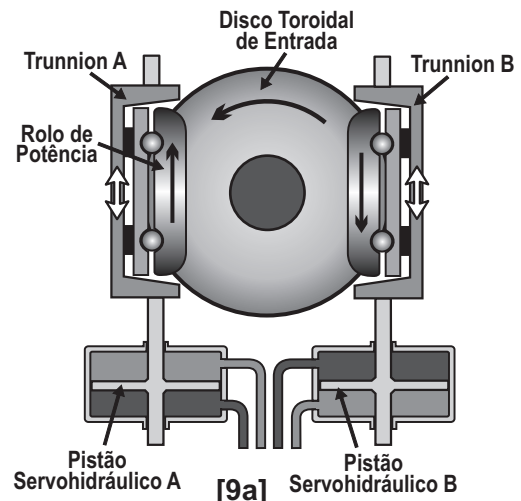
Na figura [8a], a transmissão Extroid está associada ao trem planetário utilizado para a movimentação em marcha à ré. A entrada (do motor) é pela solar e a saída pelo suporte. O conjunto incorpora ainda, a embreagem de partida E e pode estar instalada antes (como na figura) ou após da CVT.

- ▶ **Marcha à ré:** O módulo de controle ativa o freio F que acopla a coroa à carcaça da transmissão. Com isto, o suporte gira em sentido reverso.
- ▶ **Marcha à frente:** O módulo de controle ativa a embreagem de partida E que acopla a solar ao suporte com o que o conjunto planetário gira solidário com relação  $RT=1:1$ .

A figura [8b] apresenta um corte do trem epicicoidal com o sentido de giro dos componentes para a condição de freio F acoplado (marcha à ré). Reparar na utilização de 6 planetas - 3 deles engrenados com a engrenagem solar e os outros 3, com a coroa - em vez de 3 planetas como é o caso de um conjunto planetário simples. Sendo a coroa o elemento de reação na marcha à ré, esta configuração de planetas é se faz necessária para conseguir a inversão do sentido de rotação do braço.

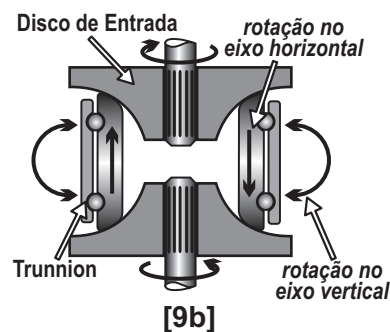
### □ Controle

Na transmissão Extroid, cada rolete é suportado por um elemento, denominado "trunnion" pelo fabricante, conectado a um servopistão hidráulico que o movimentam verticalmente (fig. [9a]). Este é controlado pelo módulo eletrônico que, através de válvula solenóide, regula a pressão aplicada às câmaras do pistão correspondente (A ou B), de forma sincronizada.

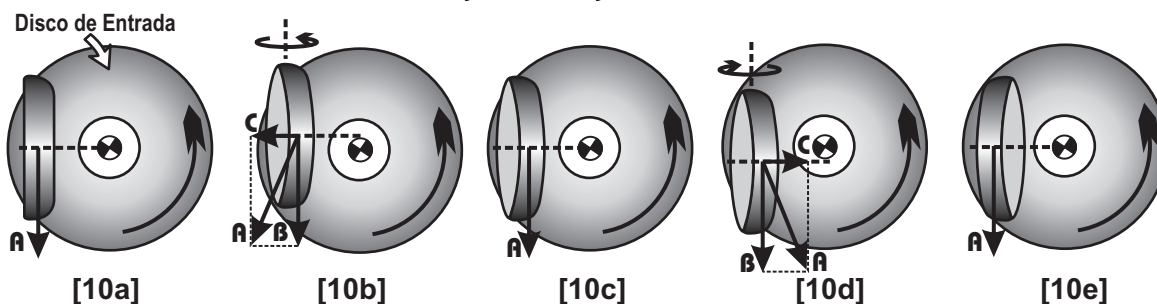


As mudanças da relação de transmissão são realizadas movimentando (inclinando) os roletes em torno do eixo vertical do "trunnion" correspondente, como mostra a figura [9b].

Este movimento é realizado sem aplicação direta de força, mas, pela força produzida pelo disco quando o rolete é movimentado verticalmente pelo "trunnion", a partir da posição de alinhamento do seu eixo horizontal de rotação com o centro do disco.



- ▶ A figura [10a] apresenta a condição em que o eixo horizontal de rotação do rolete coincide com o centro do disco. Nesta situação, no ponto de contato com o disco, só está presente a força **A** que provoca a rotação do rolete em torno do seu eixo horizontal e que transmite a potência do disco de entrada para o de saída. Não se verifica a existência de força que o faça girar em torno do eixo vertical. Nesse caso, a inclinação do rolete permanece inalterada e não há modificação da relação de transmissão.



- ▶ A figura [10b] apresenta a condição em que o rolete e conseqüentemente, seu eixo horizontal de rotação, é movimentado verticalmente para cima. Nesta situação, a força **A** transmitida pelo disco no ponto de contato, se decompõe na força **B**, que faz girar o rolete em torno do eixo horizontal, e na força **C** que tende a deslocá-lo para fora o que não é possível devido a que o "trunnion" só permite a rotação em torno do seu eixo vertical. Como resultado, a força **C** provoca a rotação do rolete e com isto, a mudança da relação de transmissão no sentido da sobre-marcha.
- ▶ A figura [10c] apresenta a condição em que o rolete retorna novamente, para a posição de alinhamento do seu eixo de horizontal de rotação com o centro do disco. Nesta situação, desaparece a força **C** que tendia a deslocá-lo pelo que o rolete mantém a inclinação que adotou no passo anterior.
- ▶ A figura [10d] apresenta a condição em que o eixo de horizontal rotação do rolete se movimenta verticalmente para baixo. Nesta situação, a força **A** transmitida pelo disco no ponto de contato, se decompõe na força **B**, que faz girar o rolete em torno do eixo horizontal, e na força **C** (agora de sentido oposto) que tende a deslocá-lo para dentro o que não é possível devido a que o "trunnion" só permite a rotação em torno do seu eixo vertical. Como resultado, a força **C** provoca a rotação do rolete em sentido oposto ao da figura [10b] e com isto, a mudança da relação de transmissão no sentido da marcha reduzida. A figura [10e] apresenta a condição com o rolete girado e seu eixo horizontal novamente alinhado com o centro do disco.
- ▶ O outro rolete do conjunto (não mostrado nas figuras) se comporta de forma inversa. Quando se movimenta para cima, gira para dentro do toroide e quando se movimenta para baixo, gira para fora.



As inclinações do rolete mostradas nas figuras são meramente ilustrativas. O ângulo de giro do rolete depende da força **C** gerada ao deslocá-lo para cima ou para baixo. Esta força, por sua vez, depende do grau de afastamento do eixo horizontal do rolete com relação ao centro do disco. Quanto maior o afastamento, maior a força **C** gerada e maior o ângulo girado. Como resultado maior será a modificação da relação de transmissão.

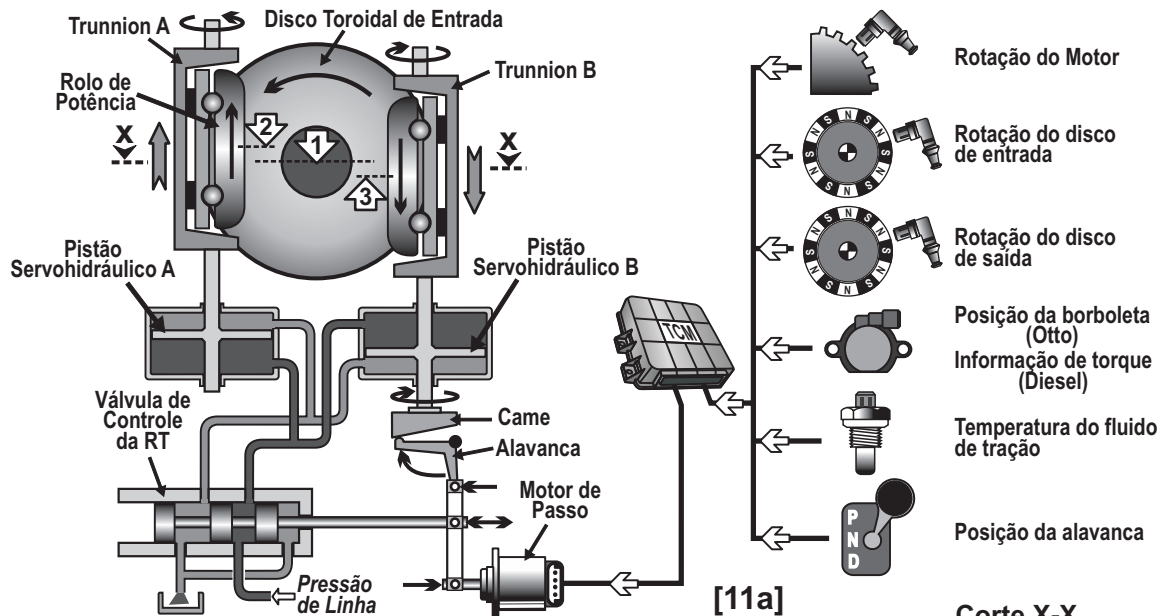
A figura [11a], na página seguinte, apresenta o esquema simplificado do sistema de controle eletro-hidráulico do variador semi-toroidal. Exemplifica o caso de uma mudança de relação no sentido da sobre-marcha.

Como mencionado, a modificação da relação de transmissão resulta da movimentação vertical dos roletes, em virtude da aplicação sincronizada, de pressão hidráulica às câmaras dos pistões.

Como mostrado na figura, a regulação das pressões é realizada através da válvula carretel (válvula de controle da RT), acionada pelo motor de passo e de um mecanismo de alavanca e came.

## CAPÍTULO 12 - Transmissão Automática - CVT

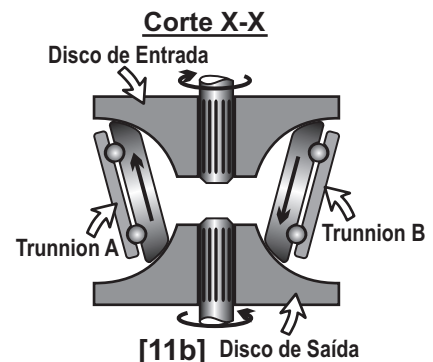
- a) Ao detectar alguma modificação nas condições de operação do veículo (solicitação do condutor ou mudança externa) que implique na mudança da relação de transmissão, o módulo de controle (**TCM**) determina a relação necessária e seleciona, a partir de mapas armazenados na memória, a posição do motor de passo. No caso do exemplo, aciona o motor de passo para a direita que, através da alavanca, movimenta a válvula de controle. Como resultado, o fluido com pressão de linha é direcionado para a câmara superior do pistão **B** e para a câmara inferior do pistão **A**. Ao mesmo tempo, estabelece a conexão para o reservatório, da câmara superior do pistão **A** e da câmara inferior do **B**.
- b) Como resultado, o “trunnion” **A** se movimenta para cima, com seu eixo de rotação horizontal em **2**, e o “trunnion” **B** se desloca para baixo, com seu eixo de rotação horizontal em **3**. O centro do disco é indicado pela posição **1**.



- c) Como mencionado, aparecem forças laterais que fazem girar os roletes de potência nos seus eixos verticais, como indicado na figura [11b].

O ponto de contato entre os roletes e o disco de entrada descreve uma circunferência de diâmetro maior que aquela descrita pelo ponto de contato no disco de saída. Como resultado, o disco de saída gira com rotação maior que o disco de entrada o que se corresponde com uma relação de transmissão  $RT < 1:1$  (sobre-marcha).

- d) Ao girar, o “trunnion” **B** movimenta o came no sentido indicado o que, por sua vez, permite que a alavanca, que foi posicionada pelo motor de passo no ponto correspondente à relação RT desejada, acione a válvula de controle para a esquerda, liberando a pressão de linha para a câmara inferior do pistão **B** e a superior do pistão **A**. Como resultado, o “trunnion” **A** desce e o **B** sobe. Com isto, os eixos de rotação horizontal dos roletes voltam a se alinhar com o centro do disco, mantendo a inclinação adotada no passo anterior (fig.[11b]).



- e) Uma vez atingido o alinhamento, o módulo **TCM** aciona o motor de passo de forma a levar o carretel à posição na qual bloqueia as câmaras de ambos os pistões com o que os eixos dos roletes permanecem alinhados com o centro do disco mantendo, assim, a relação de transmissão desejada.

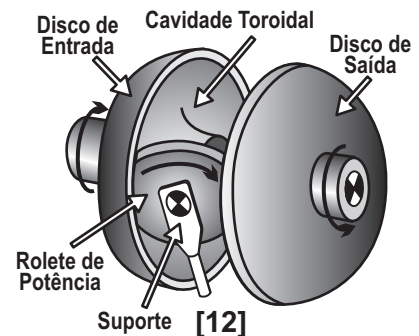
A figura [11a] apresenta ainda, as principais informações recebidas pelo módulo **TCM** para o cálculo da relação de transmissão a ser aplicada.

### ■ CVT Toroidal

O principal componente desta transmissão é o variador toroidal. Consiste num disco de entrada e um outro de saída como mostra a figura [12] de forma simplificada. O espaço entre os discos forma uma cavidade toroidal que contém dois ou três roletes ou rolos de potência ou tração.

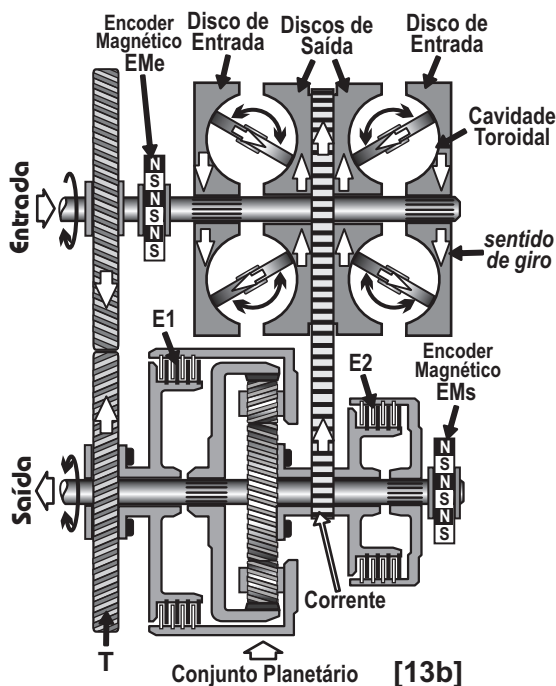
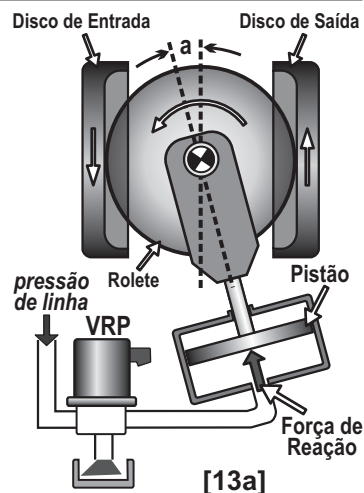
Da mesma forma que no variador semi-toroidal, os roletes transferem o torque gerado pelo disco de entrada ligado ao motor, para o de saída ligado às rodas.

Também, como no variador semi-toroidal, o ângulo dos roletes determina a relação de transmissão do conjunto. Portanto, a variação deste ângulo resulta na variação da relação.



A figura [13a] apresenta a configuração de controle do posicionamento de cada rolete. O ângulo é determinado pela força de reação aplicada pelo pistão através do suporte sobre o qual gira o rolete.

O pistão está montado com um ângulo de caster (ou castor) "a" com relação ao eixo do variador. A aplicação da força de reação com esse ângulo de castor leva o rolete a se posicionar automaticamente, com um novo ângulo de inclinação. Como resultado, o variador adota uma nova relação de transmissão. A força de reação é ajustada pelo módulo de controle eletrônico, através da válvula solenóide VRP, variando a pressão aplicada ao pistão.



### ■ IVT Torotrak

Como exemplo de aplicação do variador toroidal, a figura [13b] apresenta de forma simplificada, a configuração utilizada na transmissão Torotrak. Esta transmissão é considerada do tipo IVT (Infinitely Variable Transmission ou transmissão infinitamente variável). Sua principal característica é a de fornecer uma variação contínua de relações que abrangem desde a marcha à ré até a sobre-marcha, passando pelo neutro e dispensando o uso de uma embreagem de partida.

De forma similar à da transmissão Extroid, a Torotrak é composta por dois variadores. Neste caso, são toroidais completos em oposição. Como resultado, dobra o número de pontos de contato entre discos e roletes. Com isto, a força aplicada em cada ponto de contato é reduzida permitindo transferir níveis maiores de torque .

### □ Características

- ▶ O conjunto planetário funciona como dispositivo somador de fluxos de torque (potência) ou de velocidades de rotação relativas e seus componentes cumprem as seguintes funções:
  - A solar é acionada, através da corrente, pela saída do variador e, pela embreagem E2 se liga à coroa.
  - A coroa é a saída da transmissão.
  - A embreagem E1 conecta o suporte à entrada através do trem de engrenagens T.
- ▶ A entrada (do motor) aciona o variador e, através da E1, o suporte do trem epicicloidal.
- ▶ A saída da transmissão é: 1) a coroa do planetário ou 2) a saída do variador, através da corrente e da embreagem E2.
- ▶ A embreagem E1, quando engatada, permite que o trem epicicloidal funcione como somador de velocidades de rotação relativas entre aquela do motor (através do trem T) e a de saída do conjunto toroidal (através da corrente). Nesta condição a transmissão fornece: 1) a marcha à ré, 2) o neutro e 3) as relações curtas (redução). O sentido de giro da saída depende do regime de rotação relativa entre a do motor e a do variador.
- ▶ A embreagem E2, quando engatada, fornece as relações de transmissão longas e as de sobre-marcha.
- ▶ A inclinação dos roletes dentro da cavidade toroidal, determina a relação de transmissão entre a entrada (do motor) e a engrenagem solar e por consequência, a relação de velocidades entre esses elementos.
- ▶ A relação de transmissão RT (inversa da relação de velocidades) é calculada pela unidade de comando da transmissão, com base nas informações dos sensores de rotação de entrada (EMe) e de saída (EMs).

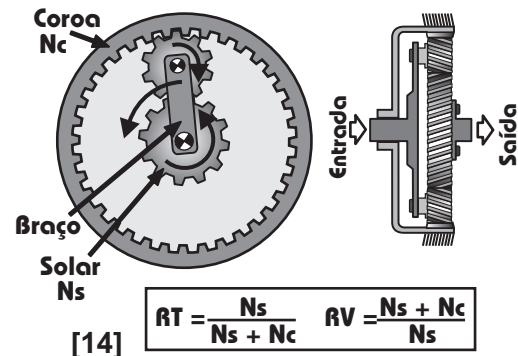
### □ Funcionamento

1. Embreagem E2 engatada e E1 desengatada com o que o conjunto planetário fica desativado. Como resultado, a relação de transmissão depende somente, daquela do variador toroidal.
2. Embreagem E1 engatada e E2 desengatada com o que o conjunto planetário opera como somador de velocidades de rotação do motor e do variador. A velocidade do variador depende da inclinação dos roletes e é determinada pelo módulo de controle da transmissão. A velocidade de rotação do motor depende da solicitação do condutor e é determinada pela unidade de comando do motor. Dependendo da relação de velocidade entre a solar e o suporte, a coroa (saída) girará em sentido direto ou reverso ou ficará estacionária em neutro.



A análise do funcionamento neste caso será feita com base na figura [14] onde a entrada é o suporte, a saída a solar e o elemento de reação é a coroa. A figura apresenta ainda as fórmulas da relação de transmissão **RT** e da relação de velocidade **RV**. Esta última é a relação entre a rotação de saída (solar) e a rotação de entrada (suporte) e resulta numa relação de sobre-marcha que depende do número de dentes da solar e da coroa como indicado pela fórmula. Aplicando esta constatação ao caso Torotrak pode-se concluir que:

- Quando a relação de velocidades entre a solar e o suporte for igual à **RV** do conjunto planetário, a coroa (saída) permanecerá estacionária, em neutro.
- Quando a relação de velocidades entre a solar e o suporte for superior à **RV** do conjunto, ou seja, quando a solar (variador) girar mais rápido que o suporte (motor), a coroa (saída) girará em sentido inverso (marcha à ré).
- Quando a relação de velocidades entre a solar e o suporte for inferior à **RV** do conjunto, ou seja, quando a solar (variador) girar mais lentamente que o suporte (motor), a coroa (saída) girará em sentido direto com relação de redução. Lembrar que o conjunto planetário não opera nas relações longas e sobre-marcha em que **E2** está acoplada e **E1**, desacoplada.



### ■ Fluido de Tração

O óleo utilizado nas transmissões toroidais tem uma formulação especial que lhe confere a característica de tornar-se momentaneamente, sob pressão, sólido vítreo no ponto de contato rolante do disco com o rolete apresentando assim, uma alta resistência ao cisalhamento. Nesse sentido se comporta como um sólido elástico. Esta característica lhe confere um coeficiente de tração muito mais alto que o de um óleo ATF convencional. O estado sólido dura apenas alguns microssegundos. Ao ser carregado para fora da área de contato, recupera imediatamente, sua característica de fluido. As funções básicas do fluido de tração são:

- ▶ Separar a circunferência do rolete de potência da superfície do disco evitando o contato metálico, eliminando assim, o desgaste desses componentes.
- ▶ Transmitir o torque do disco de entrada para o de saída. Como mencionado, nos pontos de contato, entre disco e rolete, o fluido comprimido assume um estado de alta viscosidade formando praticamente, uma fina película sólida (0,001mm) com alto coeficiente de atrito, resistente à tendência ao cisalhamento (escorregamento) o que permite a transmissão afetiva da potência.
- ▶ Lubrificar o conjunto.

### ■ Comparativo CVT x IVT

As **CVTs** proporcionam uma faixa de relações de transmissão de marcha à frente (relações positivas) entre um mínimo e um máximo. Portanto, devem possuir um trem de engrenagens inversor para marcha à ré e uma embreagem ou conversor para desacoplar o motor das rodas no neutro.

As **IVTs** por outro lado, proporcionam uma faixa de relações de transmissão que vão da marcha à ré (relação negativa), passando pelo neutro até as relações positivas. Com isto, o motor permanece sempre conectado ao eixo propulsor, não havendo, em princípio, necessidade de embreagem.

### ■ Dispositivos para Início de Movimentação - Embreagens

As transmissões CVT possuem um dispositivo de acoplamento entre as rodas e o motor para permitir o funcionamento deste último com o veículo parado e a transmissão engrenada. Os dispositivos utilizados são:

- ▶ Conversor de torque com embreagem de bloqueio
- ▶ Embreagem de disco seco
- ▶ Embreagem úmida multi-pratos
- ▶ Embreagem eletromagnética

No caso de utilizar embreagem (denominada “*embreagem de partida*”), a unidade de comando regula a taxa de deslizamento ou de patinação até o acoplamento total. A aplicação parcial da embreagem com patinação controlada, facilita as manobras de estacionamento (modo “*creep*” ou “*rolar a baixa velocidade*”) ou permite manter o veículo parado em pendentes leves de subida (5°, por exemplo).

Para o caso da embreagem estar instalada após a CVT, quando desengatada, desconecta a transmissão das rodas motrizes. Esta configuração evita danos internos à CVT quando o veículo é movimentado (rebocado) com as rodas motrizes em contato com o solo.