

SENAI-SP editora

AUTOMOTIVA

Sistema de injeção eletrônica dos motores Ford



Motorcraft

Sistema de injeção eletrônica dos motores Ford

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

SENAI. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Sistema de injeção eletrônica dos motores Ford / SENAI. Serviço
Nacional de Aprendizagem Industrial. – São Paulo : SENAI-SP Editora, 2017.

264 p. : il., color. (Automotiva)

Inclui referências
ISBN 978-85-8393-874-3

1. Automóveis – Motores – Sistemas de injeção eletrônica de
combustível I. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial II. Título.

CDD 629.254

Índice para o catálogo sistemático:

1. Automóveis – Motores – Sistemas de injeção eletrônica de combustível 629.254

SENAI-SP Editora

Avenida Paulista, 1313, 4º andar, 01311 923, São Paulo – SP

F. 11 3146.7308 | editora@sesisenaisp.org.br | www.senaispeditora.com.br

AUTOMOTIVA

Sistema de injeção eletrônica dos motores Ford

SENAI-SP editora



**Departamento Regional
de São Paulo**

Presidente

Paulo Skaf

Diretor Regional

Walter Vicioni Gonçalves

Diretor Técnico

Ricardo Figueiredo Terra

Gerente de Educação

João Ricardo Santa Rosa

Estruturação e adaptação

Jonhnatas Gomes Paraguassu

Francisco Joaquim Pacheco Hevia

Informações tecnológicas (Ford)

Reinaldo Nascimbeni

Colaboradores das apostilas do SENAI-SP

utilizadas para a estruturação

Adilson Tabain Kole

Airton Almeida de Moraes

Alexandre Santos Muller

Antônio Hernandes Gonçalves

Aurélio Ribeiro

Célio Torrecilha

Daniel Divino Rodrigues da Silva

Demércio Claudinei Lopes

Equipe técnica da Escola “Conde José Vicente de Azevedo”, ano 2003

José Antonio Messas

Júlio César Caetano

Júlio Cesar Potigo

Luiz Carlos Emanuelli

Luiz Cláudio Vecchia

Mauro Alkmin da Costa

Moacir Ferreira de Souza Filho

Paulo Dirceu Bonami Briotto

Regina Célia Roland Novaes

Roberto Ferreira de Carvalho

Ulisses Miguel

Valdir de Jesus

Este livro foi elaborado a partir de conteúdos das seguintes apostilas do SENAI-SP:

Eletricidade do automóvel – Eletricidade e eletrônica automotiva – Básico

Eletricidade do automóvel – Eletricista do automóvel

Eletricista de manutenção – Eletricidade básica – Teoria

Eletricista de manutenção – Eletricidade geral – Teoria

Eletroeletrônica – Eletrônica básica

Eletrônica embarcada – Sistema de injeção eletrônica de combustível

Material didático utilizado nos cursos do SENAI-SP.

Apresentação

Com a permanente transformação dos processos produtivos e das formas de organização do trabalho, as demandas por educação profissional multiplicam-se e, sobretudo, diversificam-se.

Em sintonia com essa realidade, o SENAI-SP valoriza a educação profissional para o primeiro emprego, dirigida a jovens. Privilegia também a qualificação de adultos que buscam um diferencial de qualidade para progredir no mercado de trabalho. E incorpora firmemente o conceito de “educação ao longo de toda a vida”, oferecendo modalidades de formação continuada para profissionais já atuantes. Dessa forma, atende às prioridades estratégicas da Indústria e às prioridades sociais do mercado de trabalho.

A instituição trabalha com cursos de longa duração como os cursos de Aprendizagem Industrial, os cursos Técnicos e os cursos Superiores de Tecnologia. Oferece também cursos de Formação Inicial e Continuada, com duração variada nas modalidades de Iniciação Profissional, Qualificação Profissional, Especialização Profissional, Aperfeiçoamento Profissional e Pós-Graduação.

Com satisfação, apresentamos ao leitor esta publicação, que integra uma série da SENAI-SP Editora, especialmente criada para apoiar os alunos das diversas modalidades.

Walter Vicioni Gonçalves
Diretor Regional do SENAI-SP

Agradecimentos

Agradecemos a todos os profissionais da Ford Motor Company Brasil, que representam a marca Motorcraft e que atuaram na concepção deste livro e ajudaram na materialização deste projeto de extrema importância para a capacitação do setor de reparação.

Este nosso primeiro projeto editorial possui enfoque em um tema de crescente interesse no setor de reparação: os sistemas de injeção eletrônica. São apresentados, de maneira didática, os principais fundamentos, conceitos e aplicações sobre o assunto.

Agradecemos também aos professores Jonhnatas Paraguassu, Mauro Alves e Jefferson Feitosa pela atuação incansável e pelo excelente suporte proporcionado em todas as etapas deste processo.

Por fim, nosso muito obrigado ao diretor do SENAI Ipiranga-SP, professor Fabio Rocha da Silveira, que acreditou e incentivou essa ideia desde o princípio.

É com muito orgulho que apresentamos este livro. Temos a certeza de que estamos deixando um legado permanente para os profissionais da área automotiva.

Joaquim Arruda Pereira e equipe Ford

Sumário

Introdução	13
 Parte 1 – Elétrica básica	
 1. Introdução à eletricidade	17
Energia e trabalho	17
Conservação de energia	19
Unidades de medida de energia	19
Composição da matéria	20
Íons	23
Tipos de eletricidade	25
Associação de geradores	32
Geração de energia elétrica	34
 2. Grandezas da eletricidade	35
Tensão elétrica	35
Corrente elétrica	36
Resistência elétrica	41
Potência	48
 3. Materiais condutores e isolantes	53
Materiais condutores	53
Materiais isolantes	55
 4. Componentes e interpretação de circuitos elétricos	58
Analogia entre circuitos hidráulico e elétrico	58
Componentes dos circuitos elétricos	58
Interpretação de circuitos elétricos	66
 5. Ferramentas de medição	69
Alicate amperímetro digital	69
Aparelho de descarga analógico	70
Aparelho de descarga digital	70
Multímetro	70

6. Magnetismo	76
Ímãs	76

Parte 2 – Eletrônica básica

7. Resistores, capacitores e semicondutores	83
Resistores	83
Capacitores	92
Semicondutores	95

Parte 3 – Combustíveis e meio ambiente

8. Combustíveis	135
Gasolina	135
Álcool etílico (etanol)	137
Propriedades dos combustíveis	142
Detonação	147
Pré-ignição	148
Boas práticas no abastecimento	149

9. Poluição e meio ambiente	151
Classificação dos poluentes	153
Principais poluentes do ar e efeitos à saúde	154
Poluentes emitidos pelos automóveis	158
Medidas de controle da poluição automotiva	161

Parte 4 – Motor Rocam flex e dispositivos para redução de emissão de poluentes

10. Motor Rocam flex	167
Prioridades no desenvolvimento	168

11. Dispositivos para redução de emissões poluentes	169
Catalisador ou conversor catalítico	169
OBD BR	172
Controle de emissões evaporativas (Sistema EVAP)	176
Válvula EGR (<i>exhaust gases recirculation</i> – recirculação dos gases de escapamento)	181
Circuito de recirculação dos gases provenientes do cárter do motor (<i>blow-by</i>)	183

Parte 5 – Motor Rocam *flex* e sistema de injeção de combustível

12. Injeção eletrônica de combustível	187
Classificação dos sistemas de injeção eletrônica	190
Circuito de combustível	192
Sensores	202
Atuadores	223
Módulo ou unidade de controle da injeção eletrônica	234
13. Gerenciamento eletrônico do motor	238
Estratégia de funcionamento	239
Controles	243
14. Motorcraft	254
Sobre a Motorcraft	254
Conclusão	259
Referências	261

Introdução

Este livro tem por objetivo explicar o funcionamento do sistema de injeção eletrônica de combustível, tendo em vista que esse sistema está diretamente relacionado com a poluição ambiental.

Os conteúdos apresentados, em um primeiro momento, irão familiarizar o leitor com os fundamentos da eletricidade básica, como base para a compreensão da teoria eletrônica. Esses conteúdos são de grande importância para o mecânico, pois irão direcionar o caminho a ser seguido na reparação de veículos equipados com esses sistemas de injeção.

A leitura desta obra será muito importante, pois, muitas vezes, os ensinamentos adquiridos nos bancos escolares e as noções aprendidas no dia a dia da oficina precisam ser reavivados e reordenados para que se obtenha melhor desempenho profissional.

São abordados, também, os sistemas *flex* Visteon e Magneti Marelli. O sistema de motores flexíveis é uma realidade no Brasil e representa mais de 80% da venda de todos os veículos comercializados no país. O Brasil é um centro de referência mundial no projeto de motores *flex*, que utilizam etanol como combustível, e exporta essa tecnologia para os países que também o fazem ou estão começando a fazê-lo.

A indústria automobilística brasileira já atingiu a marca de mais de 20 milhões de veículos produzidos com sistema flexível de combustível, um marco mundial na produção de veículos com esse sistema.

O sistema *flex* Visteon equipou o Focus 1.6. O sistema *flex* Magneti Marelli foi usado no Fiesta, no EcoSport, no Ka e no Courier, nas versões com o motor Rocam 1.0/1.6 litros. No projeto desses sistemas, foram utilizados os melhores recursos de engenharia existentes. Alguns itens, como a válvula termostática eletrônica (patente da Ford), o controle de detonação ativo e os pistões em forma de domo, são destaques do projeto desses sistemas.

Parte 1 – Elétrica básica

1. Introdução à eletricidade

Energia e trabalho

Conservação de energia

Unidades de medida de energia

Composição da matéria

Íons

Tipos de eletricidade

Associação de geradores

Geração de energia elétrica

Energia e trabalho

Energia é a capacidade que um corpo possui de realizar trabalho. Como exemplos de energia, pode-se citar uma mola comprimida ou estendida e a água represada ou corrente.

Assim como há vários modos de realizar um trabalho, há várias formas de energia. Nesta obra, será abordada a energia elétrica e seus efeitos, porém, é importante ter conhecimento sobre outras formas de energia.

Entre as muitas formas de energia existentes, é possível citar:

- energia potencial;
- energia cinética;
- energia mecânica;
- energia térmica;
- energia química;
- energia elétrica.

A energia é potencial quando em repouso, ou seja, armazenada em determinado corpo. Como exemplo de energia potencial, pode-se citar um veículo no topo de uma ladeira ou a água de uma represa.

A energia cinética é a consequência do movimento de um corpo. São exemplos de energia cinética: um esquiador em velocidade que aproveita a energia cinética para subir uma rampa; a abertura das comportas de uma represa que faz girar as turbinas dos geradores das hidroelétricas.

A energia mecânica é a soma da energia potencial com a energia cinética presentes em um determinado corpo. Ela se manifesta pela produção de um trabalho mecânico, ou seja, o deslocamento de um corpo. Como exemplo de energia mecânica, pode-se citar um operário que empurra um carrinho ou um torno em movimento.

A energia térmica se manifesta pela variação da temperatura nos corpos. Por exemplo, a máquina a vapor, que usa o calor para aquecer a água, que se transforma em vapor e aciona os pistões.

A energia química manifesta-se quando certos corpos geram reações químicas quando em contato. O exemplo mais comum de energia química é a pilha elétrica.

A energia elétrica manifesta-se por seus efeitos magnéticos, térmicos, luminosos, químicos e fisiológicos. Por exemplo:

- rotação de um motor (efeito magnético);
- aquecimento de uma resistência para esquentar a água do chuveiro (efeito térmico);
- luz de uma lâmpada (efeito luminoso);
- eletrólise da água (efeito químico);
- contração muscular de um organismo vivo quando sofre um choque elétrico (efeito fisiológico).

Conservação de energia

A energia não pode ser criada, nem destruída. Ela nunca desaparece, apenas se transforma, ou seja, passa de uma forma de energia para outra.

Há vários tipos de transformação de energia. Entre os mais comuns, estão:

- **transformação de energia química em energia elétrica**, com o uso de baterias ou acumuladores que geram ou armazenam energia elétrica por meio de reação química;
- **transformação de energia mecânica em energia elétrica**, quando a água de uma represa flui através das comportas e aciona as turbinas dos geradores da hidroelétrica;
- **transformação de energia elétrica em mecânica**, quando motores elétricos transformam a energia recebida no enrolamento em energia mecânica pela rotação do eixo.

Unidades de medida de energia

Para melhor conhecer as grandezas físicas, é necessário medi-las. Há grandezas cuja medição é muito simples. Por exemplo, para medir o comprimento, basta uma régua ou uma trena. Outras grandezas, porém, exigem aparelhos complexos para sua medição.

As unidades de medida das grandezas físicas são agrupadas em sistemas de unidades em que as medidas foram reunidas e padronizadas no Sistema Internacional de Unidades (SI). A unidade de medida de energia é chamada joule (J) e corresponde ao trabalho realizado por uma força com magnitude de um newton quando o ponto em que a força é aplicada se desloca um metro na direção da força.

As grandezas formadas com prefixos do SI têm múltiplos e submúltiplos. Os principais são apresentados na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Prefixos do SI, símbolo e fator multiplicador

Prefixo do SI	Símbolo	Fator multiplicador
Giga	G	$10^9 = 1\,000\,000\,000$
Mega	M	$10^6 = 1\,000\,000$
Quilo	K	$10^3 = 1\,000$
Mili	m	$10^{-3} = 0,001$
Micro	μ	$10^{-6} = 0,000\,001$
Nano	n	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$
Pico	p	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$

Composição da matéria

Definições

Matéria

O estudo da matéria e de sua composição é fundamental para a compreensão da teoria eletrônica. De modo bem simples, a matéria é tudo aquilo na forma sólida, líquida ou gasosa que possui massa e ocupa lugar no espaço. A matéria também pode ser chamada de corpo. O corpo pode ser **simples** ou **composto**.

Corpos simples

Corpos simples são aqueles formados por um único átomo. São também chamados de elementos. O ouro, o cobre, o hidrogênio são exemplos de elementos.

Corpos compostos

Corpos compostos são aqueles formados por uma combinação de dois ou mais elementos. São exemplos de corpos compostos o cloreto de sódio, que é formado pela combinação de cloro e sódio, e a água, formada pela combinação de oxigênio e hidrogênio.

Fenômenos

Fenômenos não são considerados matéria. São elementos com os quais se tem contato, mas não ocupam lugar no espaço. Exemplos de fenômenos são o som, o calor e a eletricidade.

Molécula

Ao se dividir a matéria até se obter sua menor parte, será encontrada a molécula. Assim, a molécula é a menor partícula em que se pode dividir uma substância de modo que mantenha as mesmas características da substância que a originou. Se essa menor parte da matéria for dividida, será encontrado o átomo.

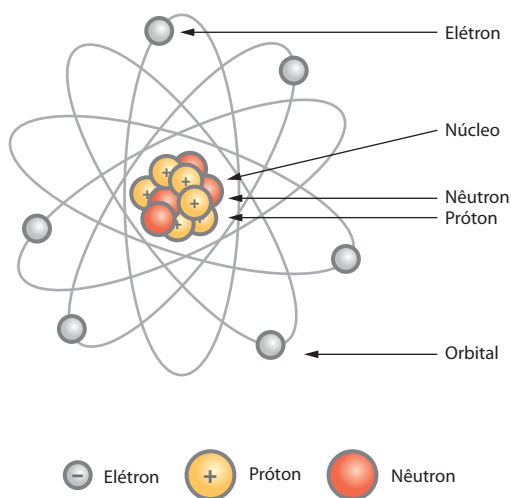
Átomo

Elementos constituídos de outras partículas, que em conjunto, formam diversos materiais. É formado por uma parte central chamada **núcleo** e uma parte periférica formada pelos **elétrons** e denominada **eletrosfera**.

O núcleo do átomo é concentrado e constituído por dois tipos de partículas: os **prótons**, com carga positiva, e os **nêutrons**, que não possuem cargas e são eletricamente neutros.

Os prótons e os nêutrons são os responsáveis pela parte mais pesada do átomo.

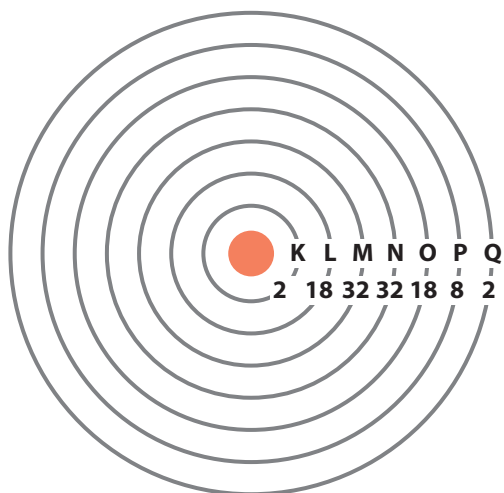
Os **elétrons** possuem cargas negativas, que giram livremente na **eletrosfera** ao redor do núcleo do átomo, descrevendo trajetórias que se chamam órbitas, proporcionalmente menores em tamanho quando comparadas às partículas do núcleo. A Figura 1 representa a composição do átomo.



Eduardo Tegeda

Figura 1 – Composição do átomo.

Na eletrosfera os elétrons estão distribuídos em camadas ou níveis energéticos. De acordo com o número de elétrons, ela pode apresentar de 1 a 7 níveis energéticos, denominados **K, L, M, N, O, P e Q** (Figura 2).



Eduardo Tegeda

Figura 2 – Distribuição dos elétrons no átomo.

Os átomos podem ter uma ou várias órbitas, dependendo do número de elétrons. Cada órbita contém um número específico de elétrons.

A distribuição dos elétrons nas diversas camadas obedece a regras definidas. A regra mais importante para a área eletroeletrônica refere-se ao nível energético mais distante do núcleo, ou seja, à camada externa: o número máximo de elétrons nessa camada é de oito elétrons.

Os elétrons da órbita externa são chamados elétrons livres, pois têm certa facilidade de se desprender de seus átomos. Todas as reações químicas e elétricas acontecem nessa camada externa, chamada de **nível** ou **camada de valência**.

A teoria eletrônica estuda o átomo apenas pelo aspecto da sua eletrosfera, ou seja, sua região periférica ou orbital.

Íons

No seu estado natural, o átomo possui o número de prótons igual ao número de elétrons. Nessa condição, diz-se que o átomo está **em equilíbrio** ou **eletricamente neutro**.

O átomo está em desequilíbrio quando tem o número de elétrons maior ou menor que o número de prótons. Esse desequilíbrio é causado por forças externas, que podem ser **magnéticas**, **térmicas** ou **químicas**.

O átomo em **desequilíbrio** é chamado de **íon**, que pode ser negativo ou positivo. Os **íons negativos** são os **ânions** e os **íons positivos** são os **cátions**.

Um átomo tem três classificações de acordo com o número de elétrons e prótons. São elas:

- **Neutro:** possui o mesmo número de prótons e de elétrons (Figura 3).

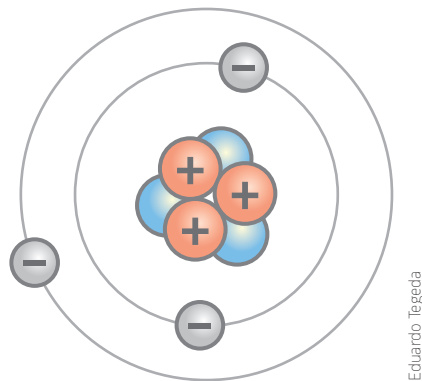


Figura 3 – Átomo neutro.

- **Íon positivo (cátion):** átomo que **perdeu** elétrons, ou seja, um átomo com carga positiva (Figura 4).

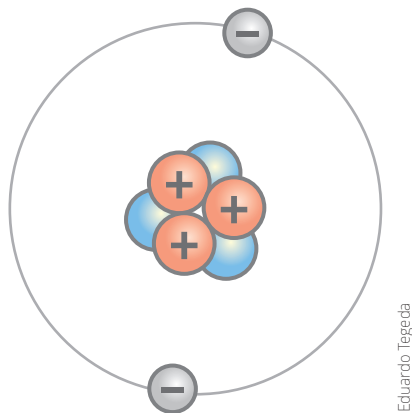


Figura 4 – Átomo com carga positiva.

- **Íon negativo (ânion):** átomo que **recebeu** elétrons, ou seja, um átomo com carga negativa (Figura 5).

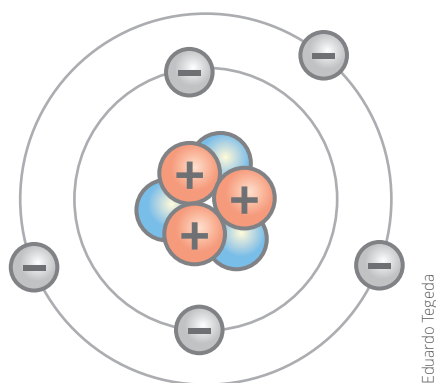


Figura 5 – Átomo com carga negativa.

A transformação de um átomo em íon ocorre em razão de forças externas ao próprio átomo.

Uma vez cessada a causa externa que originou o íon, a tendência natural do átomo é atingir o equilíbrio elétrico. Para atingir esse equilíbrio, ele cede elétrons que estão em excesso ou recupera os elétrons em falta.

Tipos de eletricidade

A eletricidade é uma forma de energia que faz parte da constituição da matéria. Existe, portanto, em todos os corpos.

O estudo da eletricidade é organizado em dois campos: a **eletrostática** e a **eletrodinâmica**. Para o objetivo deste livro, compreender a eletrostática é de fundamental importância.

Eletrostática

Eletrostática é a parte da eletricidade que estuda a **eletricidade estática**. Dá-se o nome de eletricidade estática à eletricidade produzida por cargas elétricas **em repouso** em um corpo. Na eletricidade estática, são estudadas as propriedades e a ação mútua das cargas elétricas em repouso nos corpos eletrizados.

Um corpo se eletriza **negativamente** (-) quando **ganha** elétrons. Portanto, conterà excesso de elétrons e a sua carga terá uma polaridade negativa (-). E **positivamente** (+) quando **perde** elétrons. Por sua vez, conterà excesso de prótons e a sua carga terá polaridade positiva (+).

Entre corpos eletrizados, quando um par de corpos contém a mesma carga, isto é, ambas positivas (+) ou ambas negativas (-), diz-se que eles apresentam cargas iguais. Ocorre o efeito da **repulsão**.

Quando um par de corpos contém cargas diferentes, ou seja, um corpo é positivo (+) e o outro é negativo (-), diz-se que eles apresentam cargas desiguais ou opostas. Ocorre o efeito da **atração**.

A Figura 6 ilustra o efeito de repulsão e o efeito de atração.

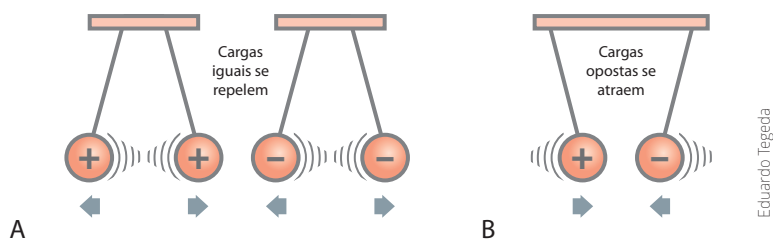


Figura 6 – A. Efeito de repulsão. B. Efeito de atração.

Em estado natural, qualquer porção de matéria é eletricamente **neutra**. Isso significa que, se nenhum agente externo atuar sobre uma determinada porção da matéria, o número total de prótons e elétrons dos seus átomos será **igual**.

Essa condição de equilíbrio elétrico natural da matéria pode ser desfeita, de forma que um corpo deixe de ser neutro e fique carregado eletricamente. O processo pelo qual um corpo eletricamente neutro fica carregado é chamado de **eletrização**.

A quantidade de carga elétrica que um corpo possui é determinada pela diferença entre o número de prótons e o número de elétrons que o corpo contém. A maneira mais comum de provocar eletrização é por meio de **atrito**. Quando se usa um pente, por exemplo, o atrito provoca uma **eletrização negativa** do pente, isto é, o pente **ganha** elétrons. Ao aproximar o pente eletrizado positivamente de pequenos pedaços de papel, estes são atraídos momentaneamente pelo pente, comprovando a existência da eletrização.

A eletrização pode ainda ser obtida por outros processos como, por exemplo, por contato ou por indução. Em qualquer processo, contudo, obtém-se corpos carregados eletricamente.

Relação entre desequilíbrio e potencial elétrico

Por meio dos processos de eletrização, é possível fazer com que os corpos fiquem **intensamente** ou **fracamente** eletrizados. Um pente fortemente atritado fica intensamente eletrizado. Se ele for fracamente atritado, sua eletrização será fraca.

O pente **intensamente** atritado tem **maior** capacidade de realizar trabalho, porque é capaz de atrair maior quantidade de partículas de papel.

Como a maior capacidade de realizar trabalho significa **maior potencial**, conclui-se que o pente intensamente eletrizado tem **maior** potencial elétrico.

O potencial elétrico de um corpo depende diretamente do desequilíbrio elétrico existente nesse corpo. Assim, um corpo que tenha um desequilíbrio elétrico **duas vezes maior** que outro, tem um potencial elétrico **duas vezes maior**.

Carga elétrica

Como certos átomos são forçados a **ceder** elétrons e outros a **receber** elétrons, é possível produzir uma transferência de elétrons de um corpo para outro.

Quando isso ocorre, a distribuição igual das cargas positivas e negativas em cada átomo deixa de existir. Portanto, um corpo conterà excesso de elétrons e a sua carga terá uma polaridade **negativa** (-). O outro corpo, por sua vez, conterà excesso de prótons e a sua carga terá polaridade **positiva** (+).

Quando um par de corpos contém a **mesma carga**, isto é, ambas positivas (+) ou ambas negativas (-), diz-se que eles apresentam **cargas iguais**.

Quando um par de corpos contém cargas diferentes, ou seja, um corpo é positivo (+) e o outro é negativo (-), diz-se que eles apresentam cargas desiguais ou opostas.

A quantidade de carga elétrica que um corpo possui é determinada pela **diferença** entre o número de prótons e o número de elétrons que o corpo contém.

O símbolo que representa a quantidade de carga elétrica de um corpo é **Q** e sua unidade de medida é o coulomb (c).

$$1 \text{ coulomb} = 6,25 \times 10^{18} \text{ elétrons}$$

Diferença de potencial

Quando se compara o trabalho realizado por dois corpos eletrizados, são comparados os seus potenciais elétricos. A diferença entre os trabalhos expressa diretamente a diferença de potencial elétrico entre esses dois corpos.

A diferença de potencial (abreviada para ddp) existe entre corpos eletrizados com cargas **diferentes** ou com o **mesmo** tipo de carga (Figura 7).

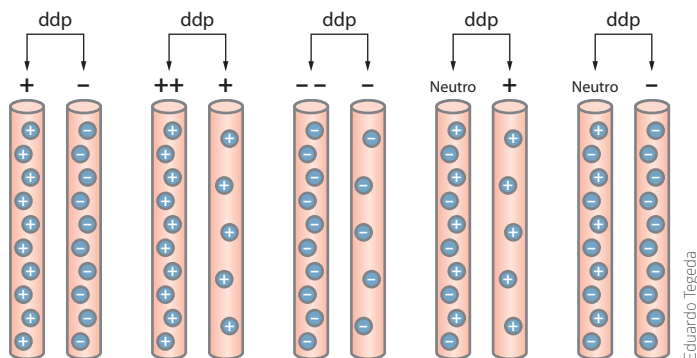


Figura 7 – Diferença de potencial.

A diferença de potencial elétrico entre dois corpos eletrizados também é denominada de **tensão elétrica**, importantíssima nos estudos relacionados à eletricidade e à eletrônica.

Observação

No campo da eletrônica e da eletricidade, utiliza-se exclusivamente a palavra **tensão elétrica** ou a **ddp** para indicar diferença de potencial elétrico entre dois corpos eletrizados. O símbolo para representar a intensidade da tensão elétrica é **U**.

Pilha ou bateria elétrica

A existência de tensão é imprescindível para o funcionamento dos aparelhos elétricos. Para que eles funcionem, foram desenvolvidos dispositivos capazes de criar um desequilíbrio elétrico entre dois pontos, dando origem a uma tensão elétrica. Observar a composição de uma pilha, representada na Figura 8.

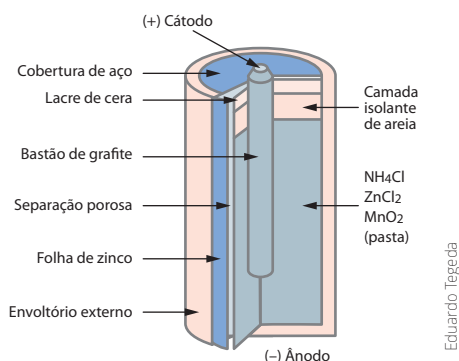
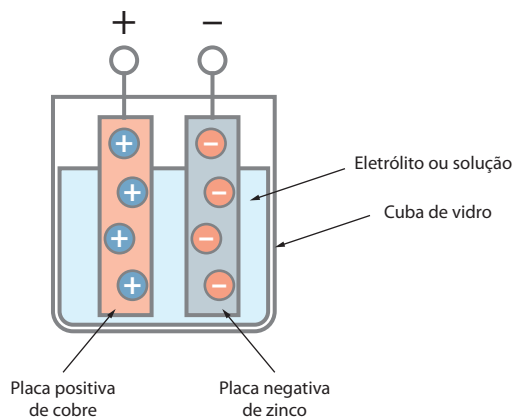


Figura 8 – Composição de uma pilha.

Genericamente esses dispositivos são chamados de fontes geradoras de tensão. As pilhas, baterias ou acumuladores e geradores são exemplos desse tipo de fonte.

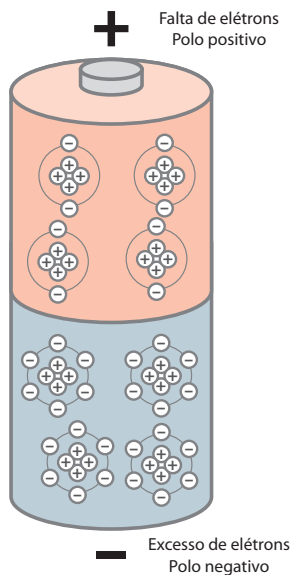
As pilhas são fontes geradoras de tensão constituídas por dois tipos de metais mergulhados em um preparado químico (solução eletrolítica). Esse preparado químico reage com os metais, retirando elétrons de um e levando para o outro. Um dos metais fica com potencial elétrico positivo e o outro fica com potencial elétrico negativo. Entre os dois metais existe, portanto, uma **ddp** ou uma **tensão elétrica**. A Figura 9 representa a solução eletrolítica.



Eduardo Tegeda

Figura 9 – Solução eletrolítica.

A Figura 10, a seguir, representa esquematicamente as polaridades de uma pilha em relação aos elétrons. Pela própria característica do funcionamento das pilhas, um dos metais torna-se positivo e o outro negativo. Cada um dos metais é chamado polo. Portanto, as pilhas dispõem de um polo positivo e um polo negativo. Esses polos nunca se alteram, o que faz a polaridade da pilha ser invariável.



Eduardo Tegeda

Figura 10 – Polaridades de uma pilha em relação aos elétrons.

Daí a tensão fornecida chamar-se **tensão contínua** ou **tensão CC**, que é a tensão elétrica entre dois pontos de polaridades invariáveis.

A tensão fornecida por uma pilha comum não depende de seu tamanho pequeno, médio ou grande nem de sua utilização nesse ou naquele aparelho. É sempre uma tensão contínua de aproximadamente 1,5 V.

Bateria de automóvel

A bateria de automóvel é uma associação de acumuladores ligados em série. Cada elemento da bateria fornece uma tensão de 2,1 V. Consequentemente, uma bateria de seis elementos fornecerá 12,6 V (Figura 11).

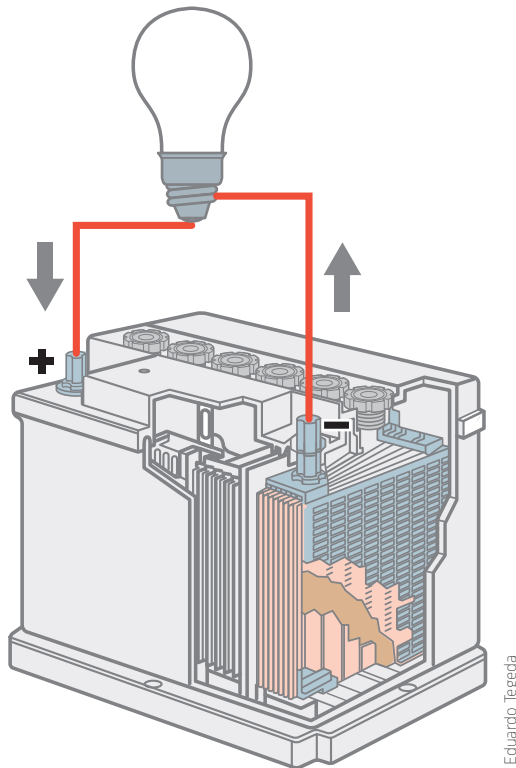


Figura 11 – Bateria de automóvel.

Observar que:

1. Os elétrons do condutor de cobre são atraídos pelo positivo.
2. O condutor de cobre torna-se positivamente carregado.
3. O condutor então vai atrair os elétrons do negativo, formando um fluxo de elétrons livres chamado de **corrente elétrica**.

Uma bateria tem excesso de elétrons em seu terminal negativo e falta de elétrons no positivo. Portanto, através de um condutor, é capaz de iniciar um fluxo de elétrons (corrente elétrica) do terminal negativo para o positivo.

Associação de geradores

Associação em série de geradores

Este tipo de associação de geradores recebe o nome de associação em série, já que os polos dos geradores são ligados com as polaridades positiva à negativa entre si, sobrando ao final um polo positivo e um polo negativo em geradores diferentes.

A força eletromotriz (f.e.m.) equivalente, ou seja, a tensão nos terminais do resistor, é igual à soma das f.e.m. dos geradores parciais, conforme se observa na Figura 12.

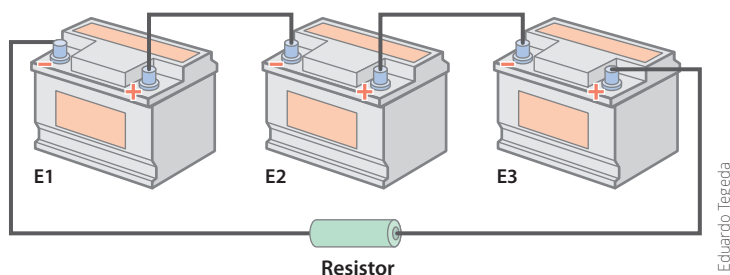


Figura 12 – Força eletromotriz em associação em série de geradores.

$$E_q = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$

A intensidade de corrente elétrica (I) é a mesma em todos os geradores.

Associação paralela de geradores

Este tipo de associação de geradores recebe o nome de associação paralela, pois todos os polos positivos são ligados entre si e todos os polos negativos são ligados entre si, sobrando ao final o terminal da união dos polos positivo (entrada), o de mais alta tensão, e o terminal da união dos polos negativo (saída), o de mais baixa tensão do circuito em diferentes geradores.

Nesse tipo de associação, convém que todos os geradores tenham a mesma força eletromotriz (E), para que não dissipem parte da energia que fornecem ao circuito externo.

A força eletromotriz da associação é igual à de cada um dos geradores, portanto todos eles têm a mesma **ddp**, que é a da associação, conforme se observa na Figura 13.

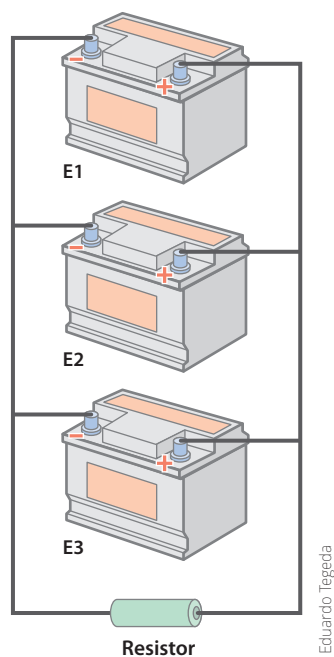


Figura 13 – Força eletromotriz em associação paralela de geradores.

$$E_q = E$$

A intensidade de corrente elétrica (I) desta associação soma-se entre os geradores.

Geração de energia elétrica

Como visto anteriormente, a eletrostática é a parte da eletricidade que estuda a eletricidade estática. Esta, por sua vez, refere-se às cargas armazenadas em um corpo, ou seja, à energia potencial.

Já a eletrodinâmica estuda a eletricidade dinâmica, que se refere ao movimento dos elétrons livres de um átomo para outro. Para haver movimento dos elétrons livres em um corpo, é necessário aplicar nesse corpo uma tensão elétrica. Essa tensão, fornecida por uma fonte geradora de eletricidade, resulta da formação de um polo com excesso de elétrons, denominado polo negativo, e de outro com falta de elétrons, denominado polo positivo.

2. Grandezas da eletricidade

Tensão elétrica

Corrente elétrica

Resistência elétrica

Potência

A eletricidade está presente diariamente em nossa vida, seja na forma de um relâmpago, seja no simples ato de ligar uma lâmpada. À nossa volta fluem cargas elétricas que produzem luz, som, calor. Para entender como são obtidos tais efeitos, é preciso, em primeiro lugar, compreender o movimento das cargas elétricas e suas particularidades.

As unidades de medida das grandezas são homenagens prestadas aos seus respectivos descobridores, conforme se observa no Quadro 1.

Quadro 1 – Unidades de medida das grandezas da eletricidade e origem dos nomes

Unidade	Grandeza	Origem do nome
Volt	Tensão	Alessandro Volta (físico italiano)
Watt	Potência	James Watt (matemático escocês)
Ampère	Corrente	André Marie Ampère (matemático francês)
Ohm	Resistência	Georg Simon Ohm (físico alemão)

Tensão elétrica

É a diferença de força entre dois pontos de um condutor causada pelo excesso ou pela falta de elétrons, que por sua vez dá origem à corrente elétrica.

Unidade de medida de tensão elétrica

A tensão (**ddp**) entre dois pontos pode ser medida por meio de instrumentos. A unidade de medida de tensão é o volt, representado pelo símbolo V. Como qualquer outra unidade de medida, o volt também tem múltiplos e submúltiplos adequados a cada situação, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Múltiplos e submúltiplos da tensão elétrica

Denominação	Símbolo	Denominação e valor
Múltiplos	Megavolt	MV
	Quilovolt	KV
Unidades	Volt	V
Submúltiplos	Milivolt	mV
	Microvolt	uV

Em eletricidade, empregam-se mais frequentemente o volt e o quilovolt como unidades de medida, ao passo que em eletrônica as unidades de medida mais usadas são o volt, o milivolt e o microvolt.

Corrente elétrica

A corrente elétrica consiste em um movimento orientado de cargas, provocado pelo desequilíbrio elétrico (**ddp**) entre dois pontos.

Para que haja corrente elétrica, é necessário que haja **ddp** e o circuito esteja fechado. Logo, pode-se afirmar que existe tensão sem corrente, mas nunca existirá corrente sem tensão. Isso acontece porque a tensão orienta as cargas elétricas.

O símbolo para representar a intensidade da corrente elétrica é **I**.

Unidade de medida de corrente

Corrente é uma grandeza elétrica e, como toda a grandeza, pode ter sua intensidade medida por meio de instrumentos. A unidade de medida da intensidade da corrente elétrica é o ampère, que é representado pelo símbolo **A**.

Como qualquer outra unidade de medida, a unidade da corrente elétrica tem múltiplos e submúltiplos adequados a cada situação, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Múltiplos e submúltiplos da corrente elétrica

Denominação		Símbolo	Denominação e valor
Múltiplos	Quiloampère	kA	1 KA ou 1.000 A
Unidades	Ampère	A	–
Submúltiplos	Miliampère	mA	1 mA ou 0,001 A
	Microampère	μ A	1 μ A ou 0,000001 A
	Nanoampère	nA	1 nA ou 0,000000001 A

No campo da eletrônica empregam-se mais os termos ampère (A), miliampère (mA) e microampère (μ A).

Tensão e corrente contínua

Se a tensão permanecer constante, haverá uma corrente que terá sempre o mesmo sentido, chamada de corrente contínua. Essa tensão que dá origem a uma corrente contínua é chamada de tensão contínua. Como a corrente contínua é chamada CC ou DC, a abreviação usada para indicar a tensão contínua é CC ou DC.

As pilhas e as baterias de acumuladores fornecem corrente contínua. Alguns tipos de geradores elétricos são utilizados para fornecer tensão contínua. Os terminais de uma fonte de tensão contínua são marcados com os sinais “+” (positivo) e “–” (negativo), que indicam o sentido em que a corrente circula no circuito.

No sentido convencional, a corrente circula do terminal “+” para o terminal “–”; no sentido real ou eletrônico, ela circula do terminal “–” para o terminal “+” (Figura 1).

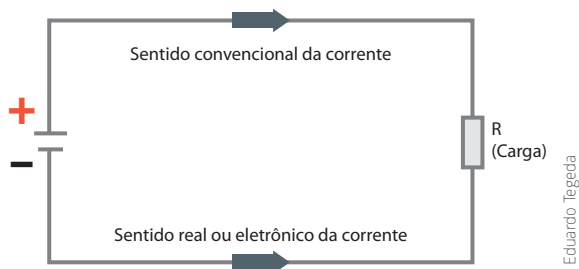


Figura 1 – Sentido convencional da corrente elétrica.

As características da corrente contínua (CC ou DC) são:

- é mais utilizada em circuitos elétricos de equipamentos;
- são mais baratos os equipamentos com este tipo de corrente;
- não é possível transmitir este tipo de corrente para longas distâncias;
- não aceita transformadores;
- possui polaridade.

O Gráfico 1 mostra o comportamento da tensão contínua aplicada ao circuito ao longo do tempo.

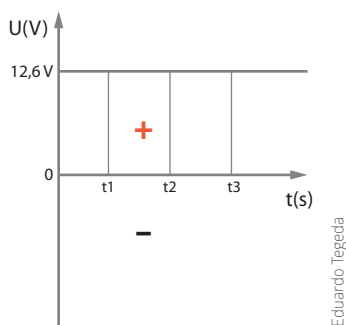


Gráfico 1 – Comportamento da tensão contínua aplicada ao circuito ao longo do tempo.

Sentido da corrente elétrica

Antes que se compreendesse de modo mais científico a natureza do fluxo de elétrons, já se utilizava a eletricidade para iluminação, motores e outras aplica-

ções. Foi nessa época que se estabeleceu, por convenção, que a corrente elétrica constituía um movimento de cargas elétricas que fluía do polo positivo para o polo negativo da fonte geradora. Esse sentido de circulação (do “+” para o “-”) foi denominado **sentido convencional da corrente**.

Com o progresso dos recursos científicos usados para explicar os fenômenos elétricos, foi possível verificar que nos condutores sólidos a corrente elétrica constitui elétrons em movimento do polo negativo para o polo positivo. Esse sentido de circulação foi denominado **sentido eletrônico da corrente**.

O sentido de corrente que se adota como referência para o estudo dos fenômenos elétricos (eletrônico ou convencional) não interfere nos resultados obtidos. Por isso, ainda hoje, encontram-se defensores de cada um dos sentidos.

Tensão e corrente alternada

Uma fonte de tensão que muda a polaridade em intervalos regulares (ciclo) produz uma corrente que muda de sentido constantemente e é chamada de corrente alternada (CA ou AC).

A CA apresenta certas características muito úteis. Pode ser facilmente transformada em valores mais altos ou mais baixos. Essa característica torna possível transmitir economicamente a CA a longas distâncias. Em consequência, pode-se construir usinas geradoras de CA em fontes remotas de potência hidráulica e fornecer essa eletricidade a consumidores distantes.

As características da corrente alternada (AC ou CA) são:

- é pouco utilizada em equipamentos elétricos (entra AC, transforma em CC);
- os equipamentos e circuitos elétricos com esse tipo de corrente são muito caros;
- é possível transmitir esse tipo de corrente por longas distâncias;
- aceita transformador em razão da alternância;
- possui fase.

Ciclo

É a variação da corrente alternada, ou seja, primeiro aumenta de zero até o pico máximo positivo, depois diminui até zero, e em sequência aumenta até o máximo negativo e volta a zero.

O Gráfico 2 mostra o comportamento da tensão alternada aplicada a um circuito ao longo do tempo.

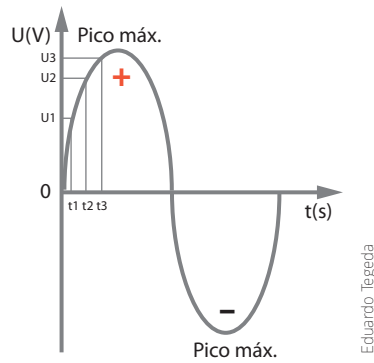


Gráfico 2 – Comportamento da tensão alternada aplicada ao circuito ao longo do tempo.

O número de ciclos que ocorre por segundo é chamado de frequência. A unidade de medida de frequência é o hertz (Hz). A frequência usual da rede elétrica residencial (50 a 60 Hz) significa que 50 a 60 ciclos se repetem em 1 segundo.

O Quadro 2 apresenta os ciclos das grandezas elétricas fundamentais.

Quadro 2 – Grandezas elétricas fundamentais e seus ciclos	
Corrente contínua	
Corrente alternada	
Corrente contínua e alternada	

(continua)

Exemplo de corrente alternada e monofásica de 60 Hz	1 ~ 60 Hz
Exemplo de corrente contínua, 2 condutores, tensão de 220 V	2 – 220 V

Resistência elétrica

Resistência elétrica é a oposição que um material apresenta ao fluxo de corrente elétrica. Todos os dispositivos elétricos e eletrônicos apresentam certa oposição à passagem da corrente elétrica.

Quando os átomos de um material liberam elétrons livres entre si com facilidade, a corrente elétrica flui facilmente através dele. Nesse caso, a resistência elétrica desses materiais é pequena (Figura 2).

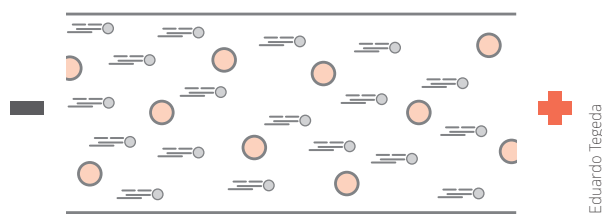


Figura 2 – Resistência elétrica pequena.

Por outro lado, nos materiais cujos átomos não liberam elétrons livres entre si com facilidade, a corrente elétrica flui com dificuldade, porque a resistência elétrica desses materiais é grande (Figura 3).

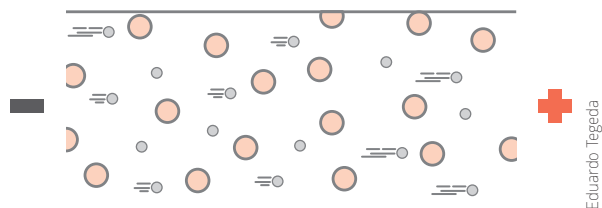


Figura 3 – Resistência elétrica grande.

Portanto, a resistência elétrica de um material depende da facilidade ou da dificuldade com que esse material libera cargas para a circulação.

São exemplos da utilização da resistência elétrica: aquecimento do chuveiro, do ferro de passar, do ferro de soldar, do secador de cabelo e da iluminação com lâmpadas incandescentes.

Unidade de medida de resistência elétrica

A unidade de medida da resistência elétrica é o ohm, representado pela letra grega Ω (lê-se ômega). A Tabela 3 mostra os múltiplos do ohm utilizados na prática profissional.

Tabela 3 – Múltiplos do ohm

	Denominação	Símbolo	Denominação e valor
Múltiplo	Megaohm	$M\Omega$	1 $M\Omega$ ou 1.000.000 Ω
	Quilo-ohm	$k\Omega$	1 $k\Omega$ ou 1.000 Ω
Unidade	Ohm	Ω	–

O símbolo que representa a intensidade da corrente elétrica é a letra R.

Para fazer a conversão dos valores, emprega-se o mesmo procedimento usado para outras unidades de medida.

Segunda Lei de Ohm

George Simon Ohm foi um cientista que estudou a resistência elétrica do ponto de vista dos elementos que têm influência sobre ela. Com esse estudo, ele concluiu que a resistência elétrica de um condutor depende fundamentalmente de quatro fatores, a saber:

1. material do qual o condutor é feito;

2. comprimento (l) do condutor;
3. área de sua seção transversal (s);
4. temperatura no condutor.

Para que se pudesse analisar a influência de cada um desses fatores sobre a resistência elétrica, foram realizadas várias experiências variando-se apenas um dos fatores e mantendo constantes os três restantes.

Assim, por exemplo, para analisar a influência do **comprimento** do condutor, manteve-se constante o tipo de material, a temperatura e a área da seção transversal e variou-se o comprimento (Figura 4).

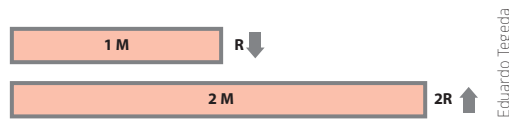


Figura 4 – Influência do comprimento do condutor.

Com isso, verificou-se que a resistência elétrica aumentava ou diminuía na mesma proporção em que aumentava ou diminuía o comprimento do condutor. Isso significa que: *A resistência elétrica é **diretamente** proporcional ao comprimento do condutor.*

Para verificar a influência da **seção transversal**, foram mantidos constantes o comprimento do condutor, o tipo de material e a temperatura, variando-se apenas sua seção transversal (Figura 5).

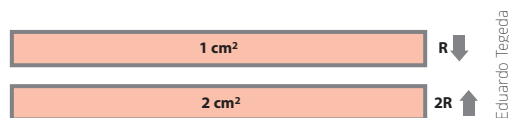


Figura 5 – Influência da seção transversal.

Desse modo, foi possível verificar que a resistência elétrica **diminuía** à medida que se **aumentava a seção transversal** do condutor. Inversamente, a resistência elétrica **aumentava** quando se diminuía a seção transversal do condutor. Isso levou à conclusão de que: *A resistência elétrica de um condutor é **inversamente proporcional** à sua área de seção transversal.*

Mantidas as constantes de comprimento, seção transversal e temperatura, variou-se o tipo de material (Figura 6).

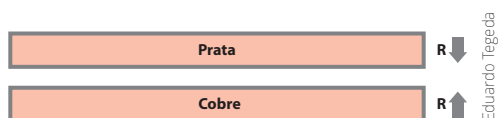


Figura 6 – Influência do material.

Com o uso de materiais diferentes, verificou-se que não havia relação entre eles. Com o mesmo material, todavia, a resistência elétrica mantinha sempre o mesmo valor.

Assim, por exemplo, para analisar a influência da **temperatura** no condutor, manteve-se constante o tipo de material, o comprimento e a área da seção transversal e variou-se a temperatura (Figura 7).

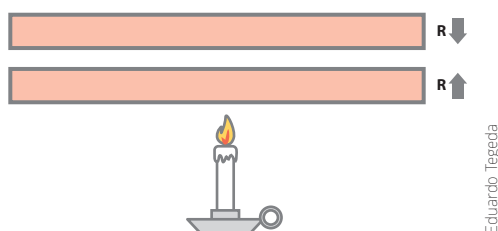


Figura 7 – Influência da temperatura.

Com isso, verificou-se que a resistência elétrica **aumentava** com o aumento da temperatura ou **diminuía** com a diminuição da temperatura do condutor.

A partir dessas experiências, estabeleceu-se uma constante de proporcionalidade que foi denominada **resistividade elétrica**.

Primeira Lei de Ohm e determinação experimental

George Simon Ohm estudou a resistência elétrica. Ao estudar corrente elétrica, o pesquisador definiu a relação existente entre corrente, tensão e resistência elétricas em um circuito e formulou a sua Lei de Ohm.

A Lei de Ohm estabelece uma relação entre as grandezas elétricas: tensão (U), corrente (I) e resistência (R) em um circuito. Verifica-se a Lei de Ohm a partir de medições realizadas em circuitos elétricos simples, compostos por uma fonte geradora e um resistor.

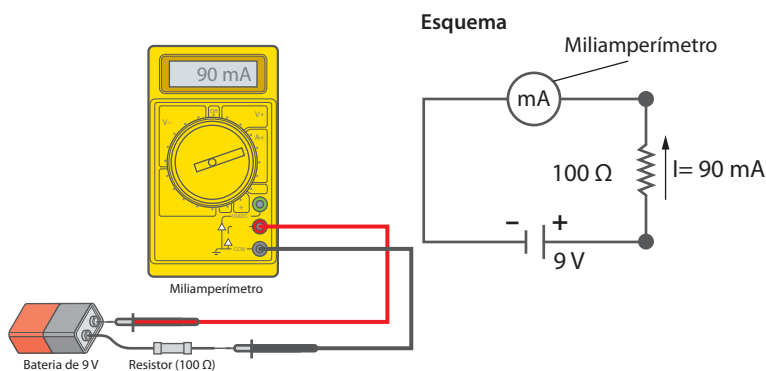
Tem-se, então, a seguinte fórmula:

$$U = R \times I$$

Ou seja, tensão é igual a resistência multiplicada pela corrente.

Nessa fórmula, **R** é a resistência (oposição) que se apresenta ao fluxo de corrente elétrica expressa em **ohms (Ω)**; **I** é a corrente circulante no consumidor, expressa em **ampères (A)** e **U** é a tensão entre os terminais do consumidor expressa em **volts (V)**.

Montando-se um circuito elétrico com uma fonte geradora de 9 V e um resistor de 100 Ω , o multímetro, ajustado na escala de miliampère, deverá apresentar uma corrente circulante de 90 Ma (Figura 8).



Eduardo Tegeida

Figura 8 – Exemplo de experimento a partir da primeira Lei de Ohm.

Se o resistor de $100\ \Omega$ for substituído por outro de $200\ \Omega$, a resistência do circuito torna-se maior. Com isso, o circuito impõe uma oposição mais intensa à passagem da corrente e faz com que a corrente circulante seja menor. À medida que aumenta o valor do resistor, também aumenta a oposição à passagem da corrente que decresce na mesma proporção.

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos nessa situação.

Tabela 4 – Valores obtidos a partir do experimento da Figura 8

Situação	Tensão (U)	Resistência (R)	Corrente (I)
1	9 V	$100\ \Omega$	90 mA
2	9 V	$200\ \Omega$	45 mA
3	9 V	$400\ \Omega$	22,5 mA

Analisando-se a tabela de valores, verifica-se que:

- O valor da tensão aplicada ao circuito é sempre o mesmo; portanto, as variações da corrente são provocadas pela mudança de resistência do circuito. Ou seja, quando a resistência do circuito aumenta, a corrente no circuito diminui.
- Dividindo-se o valor de tensão aplicada pelo valor da resistência do circuito, obtém-se o valor da intensidade de corrente.

A partir dessas observações, pode-se concluir também que o valor de corrente que circula em um circuito é encontrado dividindo-se o valor de tensão aplicada pela sua resistência. Ao transformar essa afirmação em equação matemática, tem-se a Lei de Ohm:

$$I = \frac{U}{R}$$

Com base nessa equação, tem-se o enunciado da Lei de Ohm:

*A intensidade da corrente elétrica em um circuito é **diretamente proporcional** à tensão aplicada e **inversamente proporcional** à sua resistência.*

Aplicação da Lei de Ohm

A Lei de Ohm é utilizada para determinar os valores de tensão (U), corrente (I) ou resistência (R) em um circuito. Para se obter um valor desconhecido em um circuito, basta conhecer dois dos valores da equação da Lei de Ohm: U e I, I e R ou U e R.

Para tornar mais simples o uso da equação da Lei de Ohm, costuma-se usar um “triângulo”.

Quando se deseja determinar uma incógnita, coloca-se o dedo sobre a letra da incógnita do triângulo. Desse modo, as letras restantes descobertas representam o tipo de operação matemática entre elas (Figura 9).

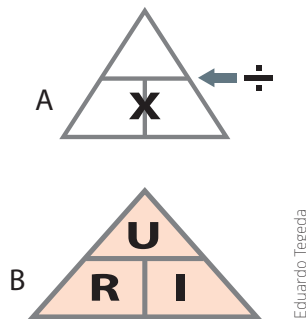


Figura 9 – A e B. Triângulo para simplificação da equação da Lei de Ohm.

$$U = R \times I$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

Exemplo 1

Uma lâmpada utiliza uma alimentação de 6 V e tem 120 Ω de resistência. Qual o valor da corrente que circula pela lâmpada quando ligada?

Como os valores de U e R já estão nas unidades fundamentais volt e ohm, basta aplicar os valores na equação:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{6}{120} = 0,05 \text{ A}$$

O resultado é obtido também na unidade fundamental de intensidade de corrente. Portanto, circulam 0,05 A ou 50 mA quando se liga a lâmpada.

Exemplo 2

O motor de um carrinho de autorama atinge a rotação máxima ao receber 9 V da fonte de alimentação. Nessa situação, a corrente do motor é de 230 mA. Qual é a resistência do motor?

$$R = \frac{U}{I} = \frac{9}{0,23} = 39,1$$

Exemplo 3

Um resistor de 22 k Ω foi conectado a uma fonte cuja tensão de saída é desconhecida. Um miliamperímetro colocado em série no circuito indicou uma corrente de 0,75 mA. Qual a tensão na saída da fonte?

Formulando a questão, tem-se:

$$I = 0,75 \text{ mA (ou } 0,00075 \text{ A)}$$

$$R = 22 \text{ k}\Omega \text{ (ou } 22.000 \Omega)$$

$$U = R \times I$$

$$U = 22.000 \times 0,00075 = 16,5 \text{ V}$$

Portanto, **$U = 16,5 \text{ V}$** .

Potência

Ao passar por uma carga instalada em um circuito, a corrente elétrica produz, entre outros efeitos, calor, luz e movimento. Esses efeitos são denominados **trabalho**.

O trabalho de transformação de energia elétrica em outra forma de energia é realizado pelo **consumidor** ou pela **carga**. Ao transformar a energia elétrica, o consumidor realiza um **trabalho elétrico**.

O tipo de trabalho depende da natureza do consumidor de energia. Um aquecedor, por exemplo, produz calor; uma lâmpada, luz; um ventilador, movimento. A capacidade de cada consumidor produzir trabalho, em determinado tempo, a partir da energia elétrica é chamada de potência elétrica, representada pela seguinte fórmula:

$$P = \frac{\tau}{t}$$

Onde:

P = potência;

τ (lê-se “tal”) = trabalho;

t = tempo.

Para dimensionar corretamente cada componente em um circuito elétrico é preciso conhecer a sua potência.

Potência elétrica

Ao se analisar um tipo de carga como a das lâmpadas, por exemplo, observa-se que nem todas produzem a mesma quantidade de luz. Da mesma maneira, existem aquecedores que fervem um litro de água em 10 minutos e outros em apenas 5 minutos. Os dois aquecedores realizam o mesmo trabalho elétrico: aquecer um litro de água à temperatura de 100°C.

A única diferença é que um deles é mais rápido, realizando o trabalho em menor tempo.

A partir da potência, é possível relacionar trabalho elétrico realizado e tempo necessário para sua realização.

Potência elétrica é, desse modo, *a capacidade de realizar um trabalho em uma unidade de tempo, a partir da energia elétrica.*

Unidade de medida da potência elétrica

A potência elétrica é uma grandeza e, como tal, pode ser medida. A unidade de medida da potência elétrica é o **watt**, simbolizado pela letra **W**. Um watt (**1 W**) corresponde à potência desenvolvida no tempo de **1 segundo** em uma carga, alimentada por uma tensão de **1 V**, na qual circula uma corrente de **1 A** (Figura 10).

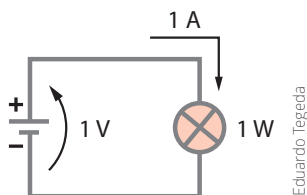


Figura 10 – Um watt.

Para medir a potência de um equipamento, utiliza-se o instrumento chamado wattímetro.

Determinação da potência de um consumidor em CC

A potência elétrica (P) de um consumidor depende da tensão aplicada e da corrente que circula nos seus terminais. Matematicamente, essa relação é representada pela seguinte fórmula:

$$P = U \times I$$

Nessa fórmula, U é a tensão entre os terminais do consumidor expressa em **volts (V)**; I é a corrente circulante no consumidor, expressa em **ampères (A)**; e P é a potência dissipada expressa em **watts (W)**. Utiliza-se a Lei de Ohm para determinar os valores de potência (P), tensão (U) ou corrente (I) em um circuito. Para obter o valor desconhecido em um circuito, basta conhecer dois dos valores da equação da Lei de Ohm: U e I , I e P ou U e P (Figura 11).

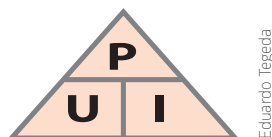


Figura 11 – Triângulo para determinação dos valores de potência, tensão ou corrente em um circuito.

$$P = U \times I$$

$$U = \frac{P}{I}$$

$$I = \frac{P}{U}$$

Sabendo a potência que o equipamento consome, pode-se calcular a corrente que está sendo consumida ou em outros casos a tensão de alimentação sobre esta carga.

Exemplo 1

Uma lâmpada de lanterna de 6 V solicita uma corrente de 0,5 A das pilhas. Qual a potência da lâmpada?

$$P = U \times I \Rightarrow P = 6 \times 0,5 = 3 \text{ W}$$

Portanto, **P = 3 W**.

Exemplo 2

Um aquecedor elétrico tem uma resistência de 8 Ω e solicita uma corrente de 10 A. Qual é a sua potência?

$$P = U \times I$$

Portanto, falta o valor da tensão. Para conhecer esse valor, utiliza-se a primeira Lei de Ohm.

$$U = R \times I \Rightarrow U = 8 \times 10 = 80 \text{ V}$$

$$P = U \times I \Rightarrow P = 80 \times 10 = 800 \text{ W}$$

A potência pode ser medida em vários aspectos conforme o que se deseja analisar. Observar o exemplo dos equipamentos de som:

- **Potência RMS (*root mean square*):** potência média ou real que o equipamento consegue reproduzir constantemente.
- **Potência PMPO (*peak music power output*):** potência que o equipamento reproduz em determinados momentos com o pico musical.

Elas refletem apenas valores instantâneos. Entretanto, não se pode compará-las, pois são duas medições de situações diferentes. Devem ser comparados valores de mesmo tipo de medida.

A unidade de medida da potência elétrica **watt** tem múltiplos e submúltiplos como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Múltiplos e submúltiplos da potência elétrica

Denominação		Símbolo	Denominação e valor
Múltiplo	Megawatt	MW	10 MW ou 1.000.000 W
	Quilowatt	kW	10 kW ou 1.000 W
	Hectowatt	hW	10 hW ou 100 W
	Decawatt	daW	10 daW ou 10 W
Unidade	Watt	W	–

Observação

O efeito térmico produzido pela passagem de corrente elétrica através de uma resistência é chamado *efeito joule*.

3. Materiais condutores e isolantes

Materiais condutores

Materiais isolantes

Materiais condutores

Os materiais condutores caracterizam-se por permitir a existência de corrente elétrica sempre que se aplica uma **ddp** entre suas extremidades. Eles são empregados em todos os dispositivos e equipamentos elétricos e eletrônicos. Existem materiais sólidos, líquidos e gasosos que são condutores elétricos. Entretanto, na área da eletricidade e eletrônica, os materiais sólidos são os mais importantes. As cargas elétricas que se movimentam no interior dos materiais sólidos são os **elétrons livres**.

Como visto anteriormente, os elétrons livres que se movimentam **ordenadamente** formam a **corrente elétrica**. Um material sólido é condutor de eletricidade por sua intensidade de atração entre o núcleo e os elétrons livres. Assim, quanto **menor** for a atração, **maior** será sua capacidade de deixar fluir a corrente elétrica. Quanto **maior** for a atração, **menor** será sua capacidade de deixar fluir a corrente elétrica (Figura 1).

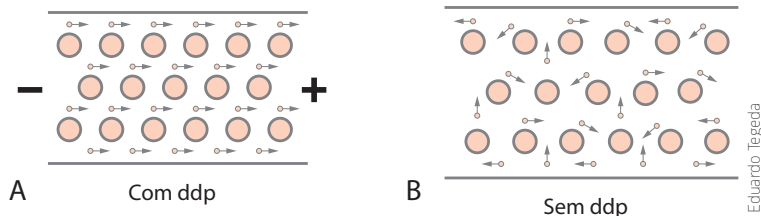


Figura 1 – A. Pouca atração entre o núcleo e os elétrons livres.
B. Grande atração entre o núcleo e os elétrons livres.

Os metais são excelentes condutores de corrente elétrica, porque os elétrons da última camada da eletrosfera (elétrons de valência) estão **fracamente** ligados ao núcleo do átomo.

A estrutura atômica dos materiais condutores compõe-se de átomos com um a três elétrons na última camada energética. É por isso que se desprendem com facilidade, o que permite seu movimento ordenado.

Como exemplo, observar a estrutura atômica do cobre. Cada átomo de cobre tem 29 elétrons; desses, apenas um se encontra na última camada. Esse elétron desprende-se do núcleo do átomo e vaga livremente no interior do material (Figura 2).

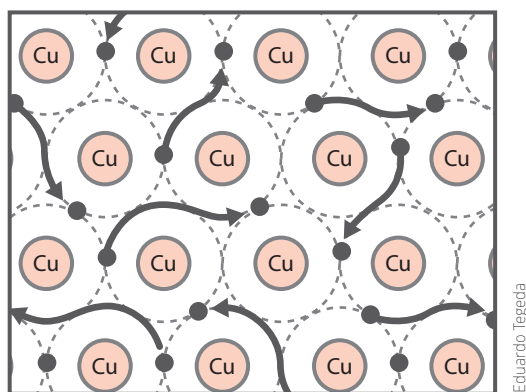


Figura 2 – Átomos de cobre.

A estrutura química do cobre compõe-se, pois, de numerosos núcleos fixos, rodeados por elétrons livres que se movimentam intensamente de um núcleo para o outro. A intensa mobilidade ou liberdade de movimentação dos elétrons no interior da estrutura química do cobre faz dele um material de grande condutividade elétrica. Assim, os bons condutores são também materiais com baixa resistência elétrica.

Depois da prata, o cobre é considerado o melhor condutor elétrico. Ele é o metal mais usado na fabricação de condutores para instalações elétricas.

Materiais isolantes

Materiais isolantes ou dielétricos são os que apresentam forte oposição à circulação de corrente elétrica no interior de sua estrutura. Isso acontece porque os elétrons livres dos átomos que compõem a estrutura química dos materiais isolantes são **fortemente ligados** a seus núcleos e dificilmente são liberados para a circulação.

A estrutura atômica dos materiais isolantes compõe-se de átomos com cinco ou mais elétrons na última camada energética. A Figura 3 ilustra um átomo de nitrogênio (N) e um átomo de enxofre (S).

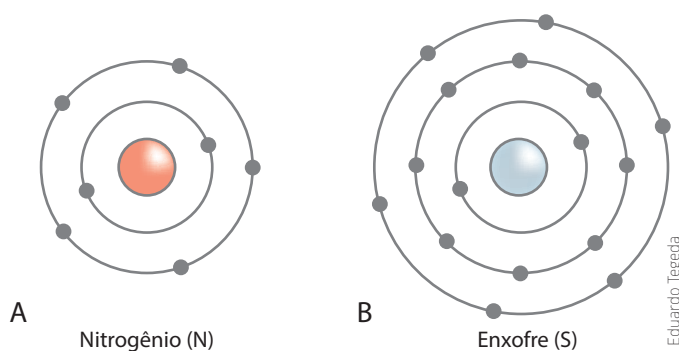


Figura 3 – A. Átomo de nitrogênio (N). B. Átomo de enxofre (S).

Em condições anormais, um material isolante pode tornar-se condutor. Esse fenômeno chama-se **ruptura dielétrica** e ocorre quando grande quantidade de energia transforma um material normalmente isolante em condutor. Essa carga de energia aplicada ao material é tão elevada que os elétrons, normalmente presos aos núcleos dos átomos, são arrancados das órbitas, provocando a circulação de corrente.

A formação de faíscas no desligamento de um interruptor elétrico é um exemplo típico de ruptura dielétrica. A tensão elevada entre os contatos no momento da abertura fornece uma grande quantidade de energia, que provoca a ruptura dielétrica do ar, gerando a faísca.

A Tabela 1, a seguir, apresenta as constantes dielétricas. Já a Tabela 2 apresenta a rigidez dielétrica em alguns dielétricos em KV/mm.

Tabela 1 – Constantes dielétricas

Acetato de celulose	3,9 a 4,6
Acetona	21
Água comum a 14°C	83,3
Água destilada	81
Ar a 0°C a 760 mmHg	1
Baquelita	4,5 a 7
Borracha pura	2,4
Borracha vulcanizada	2,9
Cartolina presspan	2
Caseína	6,2
Colofônia	3,5
Cristal	6,5
Ebonite	2,8
Fórmica	5 a 6
Gasolina	2,2
Glicerina	56
Goma laca	3,5 a 4
Gutapercha	5
Madeira seca	2 a 2,4
Mica	2,5 a 8
Óleo de oliva	3,1
Óleo para transformadores	2,5
Papel impregnado	3,5
Papel seco	1,5
Parafina	2 a 2,5
Plexigass®	3,5
Polistireno	2,2
Porcelana	4,4 a 6
Quartzo	4,5
Resina	2,6

(continua)

Vácuo	0,99
Vaselina líquida	2,1
Vaselina sólida	2,2
Vidro	10

Tabela 2 – Rigidez dielétrica em alguns dielétricos em KV/mm

Acetato de celulose	14
Amianto	4
Baquelite	21
Borracha	10
Cartolina presspan	14
Caseína	28
Colofônia	10
Cristal	10
Ebonite	18
Mica	40 a 60
Parafina	8 a 12
Plexigass®	16
Porcelana	35
Vidro comum	10

4. Componentes e interpretação de circuitos elétricos

Analogia entre circuitos hidráulico e elétrico

Componentes dos circuitos elétricos

Interpretação de circuitos elétricos

Analogia entre circuitos hidráulico e elétrico

A Figura 1, a seguir, apresenta um comparativo entre as funções dos componentes dos circuitos hidráulico e elétrico.

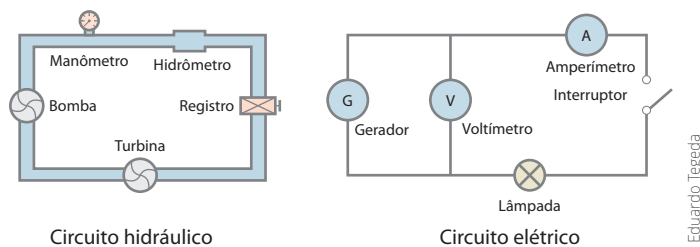


Figura 1 – Comparação entre circuito hidráulico e circuito elétrico.

Componentes dos circuitos elétricos

O circuito elétrico mais simples é constituído de três componentes:

- fonte geradora;
- carga;
- condutores.

Fonte geradora

É também chamada de fonte de alimentação ou simplesmente fonte. A existência da tensão é condição fundamental para o funcionamento de todos os circuitos elétricos. As fontes geradoras são os meios pelos quais se pode fornecer a tensão necessária à existência de corrente elétrica para o funcionamento desses consumidores. A bateria, a pilha e o alternador são exemplos de fontes geradoras.

Carga

Também chamada de **consumidor** ou **receptor** de energia elétrica, é o componente do circuito elétrico que transforma a energia elétrica fornecida pela fonte geradora em outro tipo de energia. Essa energia pode ser mecânica, luminosa, térmica e sonora.

Alguns exemplos de cargas são:

- lâmpadas que transformam energia elétrica em energia luminosa;
- motor que transforma energia elétrica em energia mecânica;
- rádio que transforma energia elétrica em sonora;
- desembaçador que transforma energia elétrica em térmica.

Condutores

Atuam como elo entre a **fonte geradora** e a **carga**, servindo de meio de transporte da corrente elétrica. Os condutores mais comuns são: fios metálicos, cabos e cordões elétricos.

A Figura 2, a seguir, ilustra o movimento dos elétrons livres. Esses elétrons saem do polo negativo, passam pela lâmpada e dirigem-se ao polo positivo da pilha.

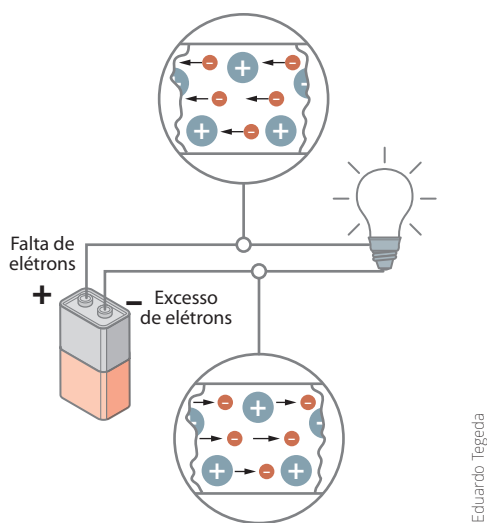


Figura 2 – Movimento dos elétrons livres.

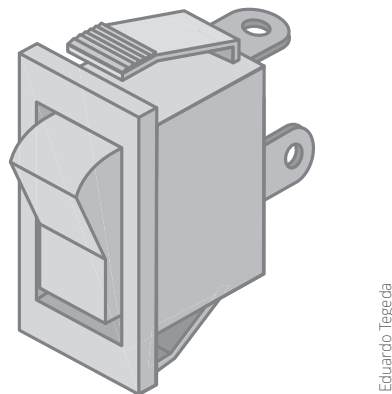
Enquanto a pilha for capaz de manter o excesso de elétrons no polo negativo e a falta de elétrons no polo positivo, haverá corrente elétrica no circuito; e a lâmpada continuará acesa.

Interruptores

Além da fonte geradora, do consumidor e condutor, o circuito elétrico possui um componente adicional chamado de **interruptor** ou **chave**. A função desse componente é comandar o funcionamento dos circuitos elétricos, abrindo e fechando.

Quando aberto ou desligado, o interruptor provoca uma abertura em um dos condutores. Assim, o circuito elétrico não corresponde a um caminho fechado, porque um dos polos da pilha (positivo) está desconectado do circuito e não há circulação da corrente elétrica.

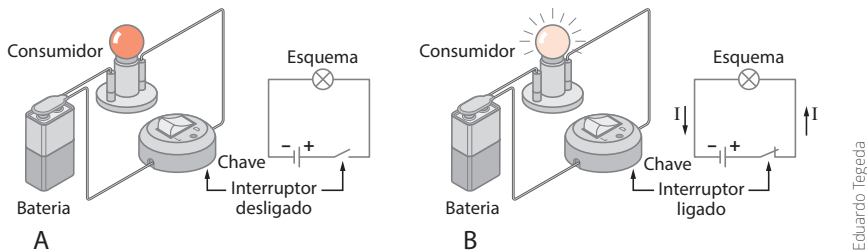
A Figura 3 apresenta um exemplo de interruptor.



Eduardo Teggia

Figura 3 – Interruptor.

Quando o interruptor está ligado, seus contatos estão fechados, o que o torna um condutor de corrente contínua. Nessas condições, o circuito constitui novamente um caminho fechado por onde circula a corrente elétrica. A Figura 4 apresenta um circuito com interruptor desligado e um circuito com interruptor ligado, respectivamente.



Eduardo Teggia

Figura 4 – Circuito com interruptor desligado (A) e ligado (B).

Interruptores mecânicos

São exemplos de interruptores mecânicos: chave de luz, chave de ignição, botão de buzina, entre outros.

Interruptores magnéticos

São acionados magneticamente. Alguns exemplos de interruptores magnéticos são: disjuntor, solenoide, chave eletromagnética do motor de partida, relé de buzina, relé de farol etc.

Relé

Em alguns circuitos de corrente elétrica elevada, deve ser utilizado um interruptor magnético denominado **relé universal**. Trata-se de um eletroímã usado como dispositivo de ligação em circuito elétrico.

Relés em circuitos elétricos agem como fator de economia, funcionalidade e segurança, pois evitam queda de tensão, o que garante um bom funcionamento dos componentes elétricos.

Geralmente, um relé simples possui quatro pontos de ligação. Dois são para a corrente e o comando (linhas 85 e 86) e dois são para a corrente de trabalho (linhas 30 e 87) (Figura 5).

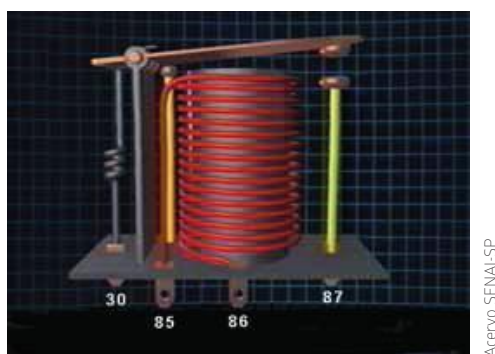


Figura 5 – Pontos de ligação do relé.

Em um relé de comando eletrônico, a alimentação (corrente) é feita pela linha 15 (via chave de contato) e a massa é direta através da linha 31. O impulso ou sinal para que o relé seja ativado vem do interruptor para o comando eletrônico temporizado, que determina o período em que ele deve permanecer ligado e alimentar o consumidor.

Relés de comando eletrônico são usados no circuito dos indicadores de direção e advertência, temporizador do limpador de para-brisa, plena potência para veículos com climatizador e transmissão automática etc.

Fusível

É importante observar que os fusíveis são elementos de fusão encapsulados em material isolante, portanto mais fracos (de seção reduzida), propositadamente intercalados no circuito, para interrompê-lo sob condições anormais.

Considerando-se que todo circuito elétrico, com sua fiação, elementos de proteção e de manobras foi dimensionado para uma determinada corrente nominal, dada pela carga que se pretende ligar, é imediata a conclusão de que os fusíveis dimensionados para o circuito não devem ser nunca substituídos por outros de maior corrente nominal.

A Tabela 1 apresenta os tipos de fusível e suas respectivas correntes e cores.

Tabela 1 – Tipos de fusível, corrente e cor

	Corrente	Cor
Fusíveis Mini e ATO	3 A	Violeta
	4 A	Rosa
	5 A	Laranja
	7,5 A	Marrom
	10 A	Vermelho
	15 A	Azul
	20 A	Amarelo
	25 A	Cristal
	30 A	Verde
Maxifusíveis	20 A	Amarelo
	30 A	Verde
	40 A	Laranja
	50 A	Vermelho
	60 A	Azul
	80 A	Cristal

Características elétricas dos fusíveis

Corrente nominal

É a corrente máxima que o fusível suporta continuamente sem provocar a sua destruição. Ela representa 25% a mais do valor da corrente contínua máxima do circuito.

A Tabela 2 apresenta os valores típicos para proteção de fusíveis.

Tabela 2 – Valores típicos de proteção para fusíveis*

Seção do cabo mm ²	Valor nominal do fusível A	Corrente contínua máxima A
0,35	5	4
0,5	7,5	6
0,75	10	8
1	15	12
1,5	20	16
2,5	30	24
4	40	32
6	50	40
10	70	56
16	100	80
25	125	100
35	150	120
50	200	160
70	250	200

* Válidos para cabos não estanhados, isolados com PVC, cabos unipolares FLY e FLRY com uma resistência máxima contínua a uma temperatura de 105°C com temperatura ambiente máxima de 70°C.

Fonte: BOSCH, Robert. *Manual de tecnologia automotiva*. 25. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

Corrente de curto-circuito

É a corrente máxima que pode circular no circuito e deve ser interrompida instantaneamente.

Chicote elétrico

Serve para fazer a conexão entre os demais componentes do sistema elétrico. Consiste de um conjunto de cabos, fios, elementos de conexão, elementos de proteção de circuitos etc (Figura 6).

Isolados individualmente, os fios são agrupados para facilitar a conexão entre os seguintes componentes do veículo:

- cabos;
- elementos de conexão;
- elementos de proteção de circuitos;
- interruptores;
- central elétrica.

O sistema elétrico veicular recebe tensão por linhas de alimentação. As linhas principais são representadas por números que indicam a origem da alimentação. As identificações das principais linhas são:

- linha 30: alimentação positiva direto da bateria;
- linha 15: alimentação positiva da ignição;
- linha 31: alimentação negativa (massa);
- linha 50: alimentação positiva para o motor de partida.

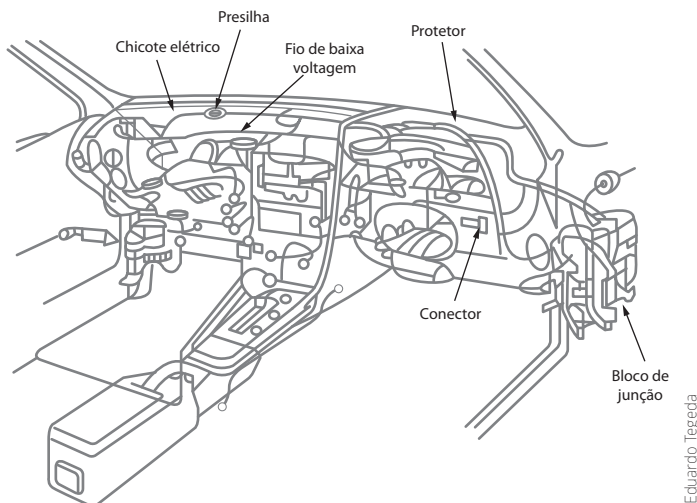


Figura 6 – Chicotes elétricos no sistema elétrico veicular.

Geralmente os terminais dos componentes são identificados com esses números para facilitar os testes. Além disso, a maioria dos elementos de conexão não possibilita a montagem errada. Para o circuito, nunca devem ser substituídos por outros de maior corrente nominal.

Interpretação de circuitos elétricos

Para a interpretação dos circuitos elétricos, são importantes três aspectos básicos:

- caminhos da corrente ou os circuitos que se estabelecem do início ao fim do processo de funcionamento;
- função de cada elemento no conjunto, sua dependência e independência em relação a outro elemento;
- localização física dos elementos.

Diagramas elétricos



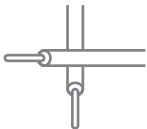

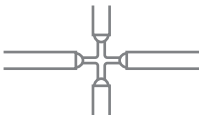

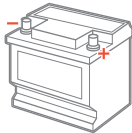

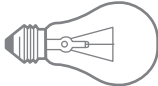

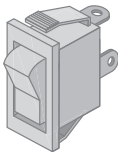

Os diagramas elétricos têm por finalidade representar claramente os circuitos elétricos sob vários aspectos, de acordo com os objetivos:

- funcionamento sequencial dos elementos, suas funções e interligações conforme as normas estabelecidas;
- representação dos elementos, suas funções e as interligações conforme as normas estabelecidas;
- permitir uma visão analítica das partes ou do conjunto;
- permitir a rápida localização física dos elementos.

Simbologia dos componentes de um circuito elétrico

Por facilitar a elaboração de esquemas ou diagramas elétricos, criou-se uma simbologia para representar graficamente cada componente em um circuito elétrico, apresentada no Quadro 1, a seguir.

Quadro 1 – Simbologia dos componentes de um circuito elétrico

Designação	Figura	Símbolo
Condutor		
Cruzamento sem conexão		
Cruzamento com conexão		
Fonte, gerador ou bateria		
Lâmpada		
Interruptor		

Eduardo Tegeda

O esquema da Figura 7 representa um **circuito elétrico** formado por **lâmpada**, **condutores**, **interruptor** e **pilha**. Deve-se observar que nele a corrente elétrica é representada por uma seta acompanhada pela letra **I**.

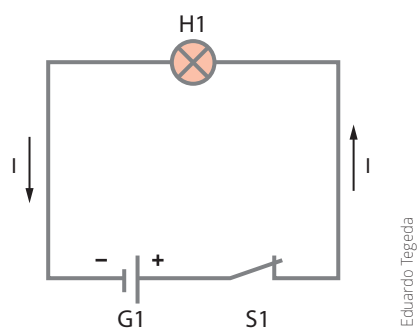


Figura 7 – Circuito elétrico formado por lâmpada, condutores, interruptor e pilha.

5. Ferramentas de medição

Alicate amperímetro digital
Aparelho de descarga analógico
Aparelho de descarga digital
Multímetro

Para medir a carga em um circuito, são utilizadas algumas ferramentas de medição de voltagem, amperagem e outras grandezas. Essas ferramentas serão apresentadas a seguir.

Alicate amperímetro digital

O alicate amperímetro digital mede a corrente (amperagem). Ele é utilizado para verificar correntes de partida e pequenas verificações do sistema de carga do carro (Figura 1).



KhotenkoVolodymyr/Esentials/Stock

Figura 1 – Alicate amperímetro digital.

Aparelho de descarga analógico

O aparelho de descarga analógico mede a corrente (amperagem) e a tensão (voltagem). Ele é utilizado para teste de bateria e para verificação do sistema elétrico do carro.

Aparelho de descarga digital

O aparelho de descarga digital mede a corrente (amperagem) e a tensão (voltagem). Ele é utilizado para verificações mais completas, como corrente de recarga do alternador, fuga de corrente, teste de bateria e equilíbrio elétrico.

Multímetro

Em eletrônica, é muito comum a medição de grandezas elétricas diferentes em diversos pontos de um circuito. Assim, há a necessidade de um instrumento versátil capaz de realizar tais medições, como o multímetro.

Também denominado multiteste ou meter, o multímetro é um instrumento de medição eletrônica por contato elétrico, com escalas de medição analógica ou digital. É capaz de fazer a medição das principais grandezas: medição de corrente (amperagem), de tensão (voltagem) e de resistência. É utilizado somente para fazer pequenas verificações do sistema elétrico.

Os multímetros podem ser classificados quanto à complexidade do seu circuito interno em multímetro analógico (VOM) e multímetro eletrônico.

Multímetro analógico (VOM)

É constituído de pouca complexidade, basicamente um galvanômetro e divisores de tensão e corrente. O galvanômetro é um dispositivo eletromecânico de medição, com indicação analógica. A sensibilidade do galvanômetro é a principal responsável pela precisão do VOM. A Figura 2 apresenta um multímetro analógico.

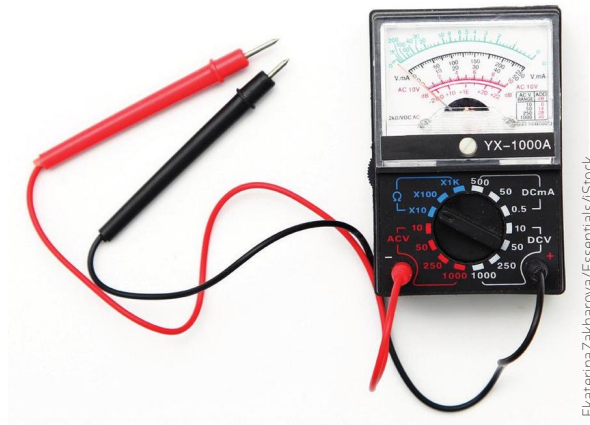


Figura 2 – Multímetro analógico.

Multímetro eletrônico

É constituído de circuito mais complexo, proporcionando maior precisão de medida, com indicação analógica ou digital.

Medição com multímetro

Em eletroeletrônica, são feitas calibrações e manutenções de circuitos, para as quais a correta utilização do multímetro é fundamental para a precisão de medidas e conservação do instrumento. A medição com o multímetro é o processo para obter medidas das principais grandezas elétricas, como tensão, corrente e resistência.

A seguir, são apresentadas todas as grandezas que podem ser medidas com o multímetro:

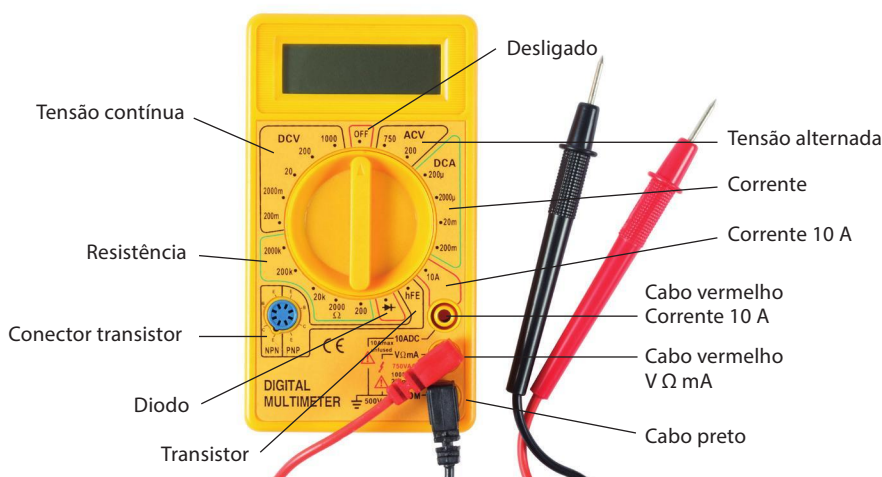
- tensão elétrica alternada (volts AC);
- tensão elétrica contínua (volts DC);
- corrente elétrica alternada (corrente AC);
- corrente elétrica contínua (corrente DC);
- resistência elétrica (ohms);
- continuidade elétrica (teste sonoro ou *beep*);
- frequência elétrica (Hz);

- semicondutores (diodos);
- semicondutores (transistor);
- temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

Além das grandezas apresentadas anteriormente, o multímetro eletrônico auto-motivo pode medir também:

- largura de pulso (ms);
- ciclo de trabalho em % (*duty cycle* %);
- rotação de motor (rpm);
- ângulo de permanência (*dwel*).

A Figura 3 apresenta as grandezas que podem ser medidas com o multímetro eletrônico, bem como algumas partes dessa ferramenta.



fredcardoso/Essentials/Stock

Figura 3 – Partes do multímetro e grandezas que podem ser medidas.

Medição de tensão

A seguir, é apresentado o procedimento para medição de tensão com o multímetro:

1. Ajustar o multímetro para medir tensão em CC ou CA ($V = V \sim$).
2. Selecionar a faixa de tensão adequada pelo seletor de alcances, de modo que a tensão a ser medida nunca seja maior que a tensão de fundo de escala ou final

de escala. Se o valor da tensão a ser medida for totalmente desconhecido, ajustar o seletor de alcance para medição de máxima tensão.

3. Conectar as pontas de prova com o circuito ou componente, no qual será medida a tensão, respeitando as polaridades (“+” e “-”) no caso de CC.
4. Ler, no mostrador, o valor da medida e, se necessário, selecionar outro alcance da escala para maior precisão.

A Figura 4 ilustra como deve ser realizada a medição da tensão com o multímetro.

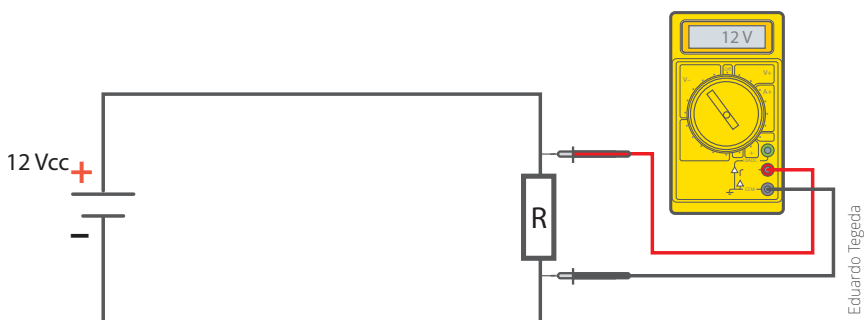


Figura 4 – Medição da tensão com multímetro.

Medição de corrente

O procedimento para medição de corrente pode ser verificado a seguir:

1. Ajustar o multímetro para medir CC ou CA ($A = A\sim$).
2. Selecionar a faixa de corrente adequada pelo seletor de alcances, de modo que a corrente a ser medida nunca seja maior que a corrente de fundo de escala. Se a intensidade da corrente a ser medida for totalmente desconhecida, ajustar o seletor de alcance para medição de máxima corrente, utilizando uma ligação *schunt*.

3. Conectar as pontas de prova em série com o circuito ou componente no qual será medida a corrente, respeitando as polaridades (“+” e “-”) no caso de CC.
4. No mostrador, ler o valor da medida. Se necessário, selecionar outro alcance da escala para maior precisão.

A Figura 5 ilustra como deve ser realizada a medição da corrente com o multímetro.

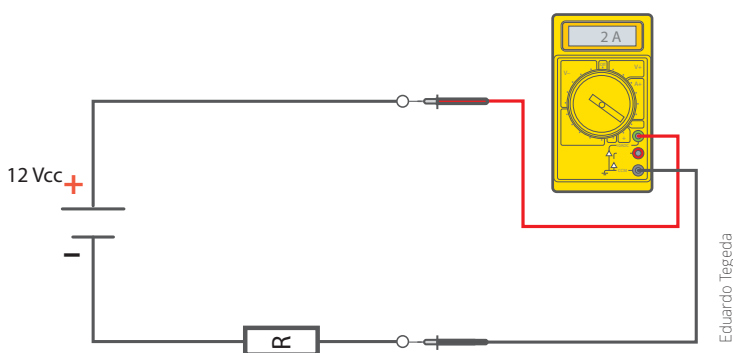


Figura 5 – Medição da corrente com multímetro.

Medição de resistência

Para se medir a resistência com o multímetro, observar o procedimento indicado a seguir:

1. Desenergizar o circuito ou componente em teste.
2. Ajustar o multímetro para medição de resistência.
3. Selecionar a faixa de resistência adequada pelo seletor de alcances.
4. Curto-circuitar as pontas de prova. Verificar, no mostrador, se a leitura é de 00. Caso contrário, fazer o ajuste de OQ se houver um controle para este fim.
5. Conectar as pontas de prova em paralelo com o circuito ou componente.
6. No mostrador, ler o valor da medida e, se necessário, selecionar outro alcance da escala para maior precisão.

A Figura 6 ilustra como deve ser realizada a medição da resistência com o multímetro.

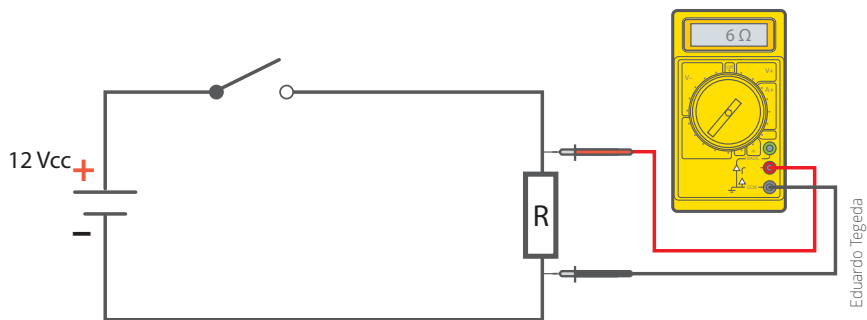


Figura 6 – Medição da resistência com multímetro.

6. Magnetismo

Ímãs

O magnetismo é a propriedade de certos materiais de exercer uma atração sobre materiais ferrosos. O magnetismo impressionou o homem desde a Antiguidade, quando foi percebido pela primeira vez. Segundo historiadores, os habitantes de uma colônia grega chamada Magnésia observaram que algumas pedras, como a magnetita, conseguiam atrair pedaços de ferro. Em razão disso, essa propriedade recebeu o nome de magnetismo.

As propriedades dos corpos magnéticos são largamente utilizadas em eletricidade, por exemplo, em motores e geradores. Em eletrônica, são utilizadas nos instrumentos de medição, na transmissão de sinais etc.

Ímãs

Alguns materiais encontrados na natureza apresentam propriedades magnéticas naturais. Esses materiais são denominados **ímãs naturais**. Um exemplo de ímã natural é a **magnetita**.

É possível também obter ímãs por um processo artificial. Eles são denominados **ímãs artificiais** e são compostos por barras de materiais ferrosos que o homem **magnetiza** por **processos artificiais**. Os ímãs artificiais são muito empregados porque podem ser fabricados com os mais diversos formatos, de modo a atender as mais variadas necessidades práticas. Um exemplo disso é o uso nos pequenos motores de corrente contínua que movimentam os atuadores, bomba de combustível, painel de instrumentos, entre outros.

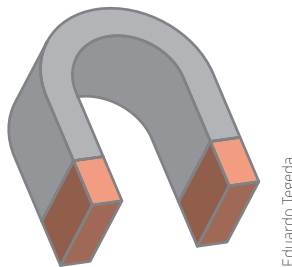
Os **ímãs artificiais**, em geral, têm **propriedades magnéticas mais intensas** que os naturais.

Polos magnéticos de um ímã

Externamente, as forças de atração magnética de um ímã se manifestam com maior intensidade em suas extremidades, denominadas **polos magnéticos** (Figura 1).

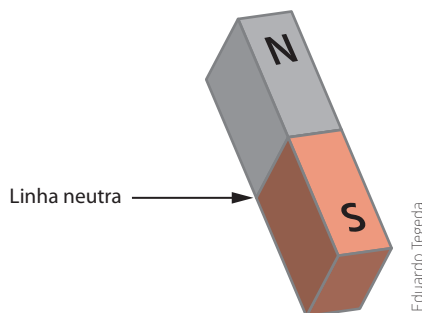
Todo ímã apresenta dois polos magnéticos com propriedades específicas. São eles: polo norte e polo sul. Uma vez que as forças magnéticas dos ímãs são mais concentradas nos polos, pode-se concluir que a intensidade dessas propriedades decresce para o centro do ímã.

Na região central do ímã, estabelece-se uma linha em que as forças de **atração magnética** do polo sul e do polo norte são iguais e **se anulam**. Essa linha é denominada **linha neutra**. A **linha neutra** é, portanto, a linha **divisória** entre os polos do ímã (Figura 2).



Eduardo Tegerda

Figura 1 – Polos magnéticos.



Eduardo Tegerda

Figura 2 – Linha neutra.

Origem do magnetismo

O magnetismo origina-se na organização atômica dos materiais. Cada **molécula** de um material é um **pequeno ímã** natural, denominado ímã molecular ou domínio (Figura 3).

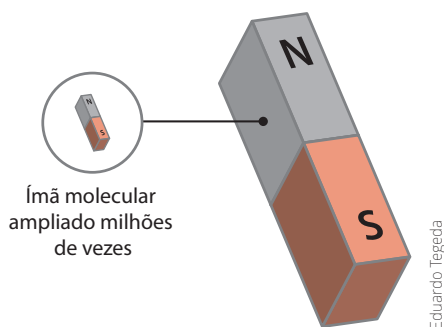


Figura 3 – Ímã molecular.

Durante a formação de um material, as **moléculas** orientam-se em **sentidos diversos**, os efeitos magnéticos dos ímãs moleculares se anulam, resultando em um material **sem** magnetismo natural (Figura 4).

Já durante a formação do material, se as **moléculas** tiverem assumido uma **orientação única** ou predominante, os efeitos magnéticos de cada ímã molecular se somam, dando **origem** a um ímã com propriedades magnéticas naturais (Figura 5).

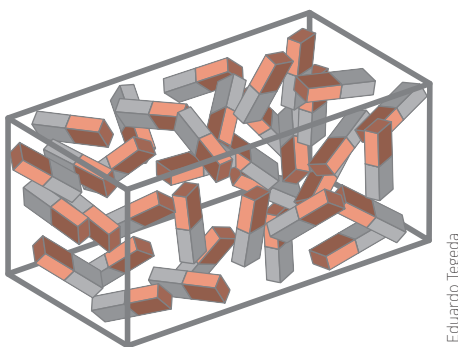


Figura 4 – Material sem magnetismo natural.

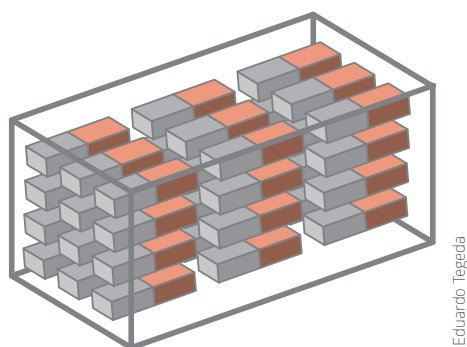


Figura 5 – Ímã com propriedades magnéticas naturais.

SAIBA MAIS

Na fabricação de ímãs artificiais, as moléculas desordenadas de um material sofrem um processo de orientação a partir de forças externas.

Inseparabilidade dos polos

Os ímãs têm uma propriedade característica: por mais que se divida um ímã em partes menores, as partes sempre terão um polo norte e um polo sul. Essa propriedade é denominada **inseparabilidade dos polos** (Figura 6).

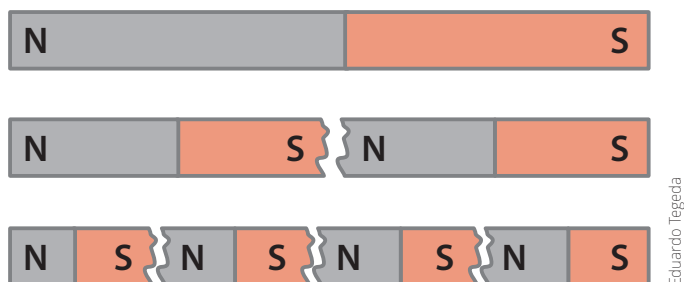


Figura 6 – Inseparabilidade dos polos.

Parte 2 – Eletrônica básica

7. Resistores, capacitores e semicondutores

Resistores
Capacitores
Semicondutores

Resistores

Utilizados em circuitos eletrônicos para limitar a corrente elétrica e, consequentemente, reduzir ou dividir tensões, o resistor é um componente formado por um corpo cilíndrico de cerâmica sobre o qual é depositada uma camada espiralada de material ou filme resistivo. Esse material determina o tipo e o valor de resistência nominal do resistor.

O resistor é dotado de dois terminais colocados nas extremidades do corpo em contato com o filme resistivo.

Características elétricas

Os resistores apresentam características elétricas que os diferenciam de outros componentes. São elas:

- resistência nominal;
- percentual de tolerância;
- dissipação nominal de potência.

Resistência nominal

O valor da resistência elétrica especificada pelo fabricante denomina-se resistência nominal. O valor é expresso em ohms (Ω), em valores padronizados. Há, por exemplo, resistores de 18 Ω , 120 Ω , 4k7 Ω e 1 M Ω .

Percentual de tolerância

Em decorrência do processo de fabricação, os resistores estão sujeitos a imprecisões em seu valor nominal. A variação de valor de resistência nominal que um resistor pode apresentar em relação ao valor padronizado denomina-se percentual de tolerância. A diferença no valor pode ser para mais ou para menos em relação ao valor nominal.

Essas diferenças situam-se em cinco faixas de percentual: $\pm 20\%$; $\pm 10\%$; $\pm 5\%$; $\pm 2\%$ e 1 % de tolerância. Os resistores com 20%, 10% e 5% de tolerância são considerados resistores comuns, e os de 2% e 1% de tolerância são resistores de precisão. Os resistores de precisão são usados apenas em circuitos em que os valores de resistência são críticos.

O percentual de tolerância indica qual variação de valor (real) o componente pode apresentar em relação ao valor padronizado (ou o limite de erro máximo que o fabricante admite). A diferença no valor pode ser para mais (por exemplo, + 20%) ou para menos (– 20%) do valor correto.

A Tabela 1, a seguir, apresenta alguns exemplos de percentual de tolerância em resistores.

Tabela 1 – Percentual de tolerância em resistores

Resistência nominal (Ω)	Tolerância (%)	Variação (Ω)	Valor real do componente (Ω)
220 Ω	$\pm 5\%$	$\pm 11 \Omega$	+ 5% = 220 Ω + 11 Ω = 231 Ω – 5% = 220 Ω – 11 Ω = 209 Ω
470 k Ω	$\pm 10\%$	$\pm 47 \text{ k}\Omega$	+ 10% = 470 k Ω + 47 k Ω = 517 k Ω – 10% = 470 k Ω – 47 k Ω = 423 k Ω

A tolerância pode ser indicada em valores absolutos ou em valores percentuais.

SAIBA MAIS

Em vista da modernização do processo industrial, os resistores estão sendo produzidos por máquinas especiais que utilizam raios laser para o ajuste final da resistência nominal.

Por isso, dificilmente são encontrados no mercado resistores para uso geral com percentual de tolerância maior do que + 5%.

Dissipação nominal de potência

O resistor pode trabalhar com diversos valores de tensão e corrente, transformando a energia elétrica (potência elétrica) em calor. É necessário, portanto, limitar seu aquecimento para evitar sua destruição.

Entretanto, o resistor pode sofrer danos ou até mesmo ser destruído se a potência dissipada for maior que seu valor nominal. Em condições normais de trabalho, o acréscimo de temperatura é proporcional à potência dissipada.

Dissipação nominal de potência ou **limite de dissipação** é a temperatura que o resistor atinge sem que sua resistência nominal varie mais que 1,5%, em uma temperatura ambiente de 70°C.

A dissipação nominal de potência é expressa em **watt** (W), que é a unidade de medida da potência. Por exemplo, o valor da resistência nominal de um resistor de uso geral com dissipação nominal de potência de 0,33 W não será maior que 1,5%.

SAIBA MAIS

Alguns fabricantes também consideram a temperatura de superfície de 155°C do resistor ao especificar seu limite de dissipação, ou seja, vão além da exigência da norma.

Simbologia

A Figura 1, a seguir, traz os símbolos utilizados para representação dos resistores segundo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).



Figura 1 – A e B. Representação dos resistores segundo as normas da ABNT.

Nos diagramas, as características específicas dos resistores aparecem ao lado do símbolo (Figura 2).

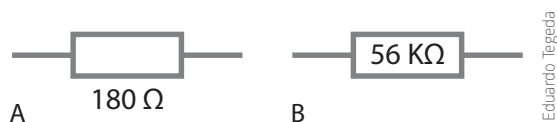


Figura 2 – A e B. Características específicas dos resistores em diagramas.

Tipos de resistores

Há quatro tipos de resistores, classificados segundo sua constituição:

- resistor de filme de carbono;
- resistor de carvão;
- resistor de filme metálico;
- resistor de fio;
- resistor para montagem em superfície (SMR).

Cada um dos tipos tem, de acordo com a constituição, características que o tornam mais adequado a determinada aplicação.

O **resistor de filme de carbono**, também conhecido como resistor de película, apresenta formatos e tamanhos variados, conforme mostra a Figura 3, a seguir.

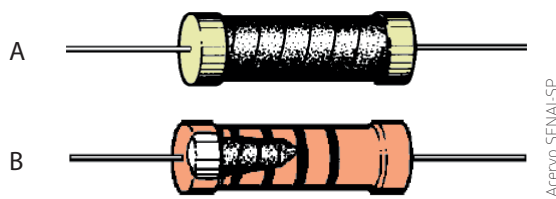


pioneer11/Essentials/Stock

Figura 3 – Resistores de filme de carbono.

Esse tipo de resistor consiste em um corpo cilíndrico de cerâmica que serve de base à fabricação do componente. Sobre o corpo do componente é depositada uma fina camada de filme de carbono, que é um material resistivo. É essa camada resistiva que determina a resistência nominal do resistor. Os terminais, também chamados lides de conexão, são colocados nas extremidades do corpo do resistor em contato com a camada de carbono. Esses terminais possibilitam a ligação do elemento ao circuito. O corpo do resistor recebe um revestimento que dá o acabamento e isola o filme de carbono da ação da umidade.

A Figura 4, a seguir, mostra um resistor em corte, no qual aparece a conexão dos terminais e o filme resistivo.



Acervo SENAI-SP

Figura 4 – A e B. Resistor em corte.

O **resistor de carvão** é constituído por um corpo cilíndrico de porcelana. No interior da porcelana são comprimidas partículas de carvão que definem a resistência do componente (Figura 5).

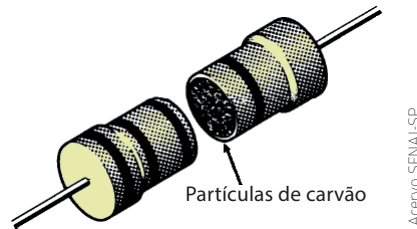


Figura 5 – Resistor de carvão.

Com maior concentração de partículas de carvão, o valor resistivo do componente é reduzido.

Os resistores de carvão apresentam tamanho físico reduzido. Seus valores de dissipação e resistência não são precisos. Esses resistores podem ser usados em qualquer tipo de circuito.

O **resistor de filme metálico** tem o mesmo formato e é fabricado da mesma maneira que o resistor de filme de carbono. Eles se diferenciam no material resistivo depositado sobre o corpo de cerâmica. No resistor de filme metálico, o material resistivo é uma película de níquel que resulta em resistores com valores ôhmicos mais precisos, ou seja, com baixo percentual de tolerância, e mais estáveis, isto é, com baixo coeficiente de temperatura. Em virtude dessas características, esses resistores devem ser empregados em situações nas quais se requerem precisão e estabilidade.

O **resistor de fio** consiste em um corpo de porcelana ou cerâmica. Sobre esse corpo enrola-se um fio especial, geralmente de níquel-cromo (Figura 6). O comprimento e a seção desse fio determinam o valor do resistor, que tem capacidade para operar com valores altos de corrente elétrica e normalmente se aquece quando em funcionamento.

Para facilitar o resfriamento nos resistores que produzem grandes quantidades de calor, substitui-se o corpo de porcelana maciça por um tubo, também de porcelana.

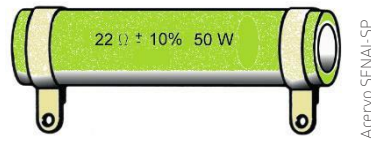


Figura 6 – Resistor de fio.

O resistor **SMR** (resistor montado em superfície, do inglês *surface mounted resistor*) é constituído de um minúsculo corpo de cerâmica com alto grau de pureza no qual é depositada uma camada vítrea metalizada formada por uma liga de cromo-silício (Figura 7).

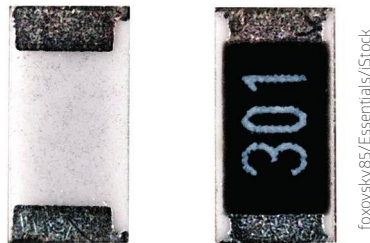


Figura 7 – Resistor SMR.

Seu valor de resistência ôhmica é obtido pela variação da composição dessa camada e pelo uso do raio laser. Por causa do tamanho mínimo, esse tipo de resistor é mais indicado para ser fixado nos circuitos eletrônicos por meio de máquinas de inserção automática.

O Quadro 1 resume as características desses resistores e suas aplicações.

Quadro 1 – Características e aplicações dos resistores

Resistor	Elemento resistivo	Aplicação
De filme de carbono	Carbono puro	Uso geral: circuitos eletrônicos, aparelhos de som e vídeo.
De filme metálico	Níquel	Precisão e uso geral: temporizadores, computadores, controladores lógicos.

(continua)

Resistor	Elemento resistivo	Aplicação
De fio	Liga de níquel-cromo ou níquel-cobre	Dissipação de grandes potências em pequeno volume, como carga (saída) em circuitos elétricos, ou eletrônicos.
SMR	Liga de cromo silício	Miniaturização de aparelhos eletrônicos com redução de custo de produção: filmadoras, relógios, <i>notebooks</i> , agendas eletrônicas, aparelhos de surdez, módulos automotivos, painel de instrumentos.

Especificação de resistores

Sempre que for necessário descrever, solicitar ou comprar um resistor, é necessário fornecer sua especificação completa, que deve estar de acordo com a seguinte ordem:

1. Tipo.
2. Resistência nominal.
3. Percentual de tolerância.
4. Dissipação nominal de potência.

A seguir, são apresentados alguns exemplos de especificação de resistores:

- resistor de filme de carbono $820\ \Omega + 5\%$ 0,33 W;
- resistor de filme metálico $150\ \Omega + 1\%$ 0,4 W;
- resistor de fio $4,7\ \Omega + 5\%$ 10 W;
- resistor para montagem em superfície $1\ \text{k}\Omega + 5\%$ 0,25 W.

Potenciômetro

É um resistor com derivação que permite a variação do valor resistivo pelo movimento de um eixo. É usado em equipamentos para permitir a mudança do regime de operação.

A Figura 8 apresenta exemplos de potenciômetros.

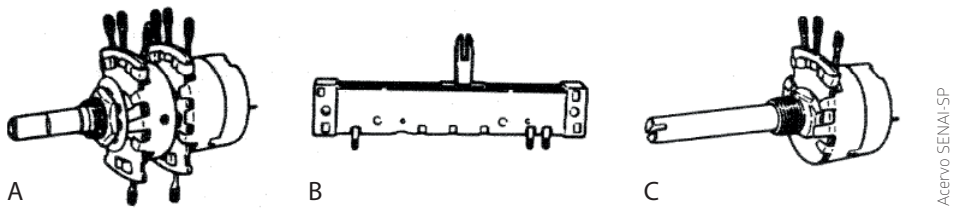


Figura 8 – A a C. Potenciômetros.

Exemplos

- **Potenciômetro de volume:** permite o aumento ou a diminuição do nível de intensidade do som.
- **Potenciômetro de brilho:** permite o controle da luminosidade das imagens.

Funcionamento

Entre os dois terminais extremos o potenciômetro é um resistor comum.

Sobre esse resistor desliza um 3º terminal chamado de cursor que permite utilizar apenas uma parte da resistência total do componente (de um extremo até o cursor).

A Figura 9 mostra um potenciômetro, indicando o movimento do eixo para variação da resistência.

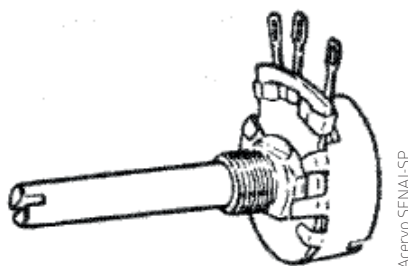


Figura 9 – Potenciômetro, com indicação do movimento do eixo para variação da resistência.

Simbologia

A Figura 10, a seguir, mostra os símbolos utilizados para representar os potenciômetros, destacando o símbolo normalizado pela ABNT.

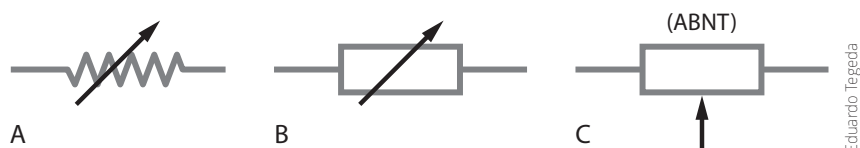


Figura 10 – A a C. Símbolos para representação do potenciômetro.

A diferença entre os símbolos dos resistores ajustáveis e potenciômetros aparece na ponta da diagonal.

Os componentes cujo valor está sujeito a modificação constante (potenciômetros usados no controle de volume, por exemplo) são denominados de “variáveis”.

Capacitores

Os capacitores são componentes largamente empregados nos circuitos eletrônicos (Figura 11). Nos veículos, todos os módulos eletrônicos possuem capacitores em seus circuitos. A função dos capacitores é armazenar cargas elétricas, estabilizar (filtrar) reduzindo o *ripple*, selecionar frequências em filtros e temporizar.



Figura 11 – Capacitores.

O capacitor é um componente capaz de **armazenar cargas elétricas**. Ele é composto basicamente de duas placas de material condutor, denominadas **armaduras**. Essas placas são isoladas eletricamente entre si por um material isolante chamado **dielétrico** (Figura 12).

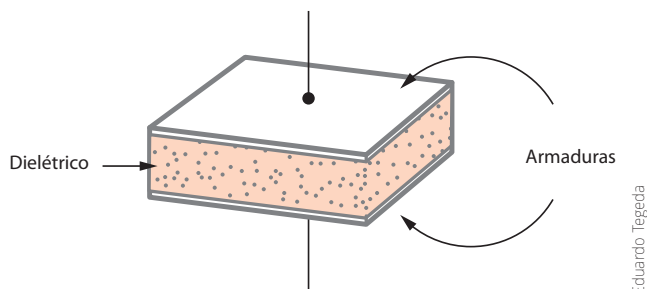


Figura 12 – Isolamento com dielétrico.

SAIBA MAIS

O material condutor que compõe as armaduras de um capacitor é **eletricamente neutro** em seu **estado natural**; em cada uma das armaduras o número total de **prótons e elétrons é igual**, portanto as placas **não têm potencial elétrico**. Isso significa que entre elas não há diferença de potencial (tensão elétrica).

Armazenamento de carga

Conectando-se os terminais do capacitor a uma fonte de CC, ele fica sujeito à diferença de potencial dos polos da fonte.

O **potencial** da bateria aplicado a cada uma das **armaduras** faz surgir entre elas uma força chamada **campo elétrico**, que nada mais é do que uma **força de atração** (cargas de sinal diferente) ou **repulsão** (cargas de mesmo sinal) entre **cargas elétricas**.

O polo positivo da fonte absorve elétrons da armadura à qual está conectado enquanto o polo negativo fornece elétrons a outra armadura.

A armadura que fornece elétrons à fonte fica com íons positivos e adquire um potencial positivo. A armadura que recebe elétrons da fonte fica com íons negativos, adquirindo potencial negativo (Figura 13).

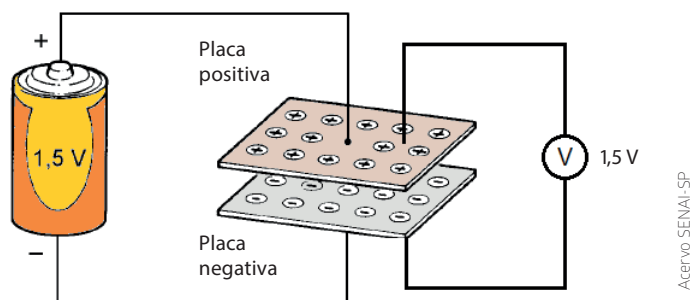


Figura 13 – Armazenamento de carga.

SAIBA MAIS

Para a análise do movimento dos elétrons no circuito usou-se o **sentido eletrônico** da corrente elétrica.

Isso significa que ao conectar o capacitor a uma fonte CC surge uma diferença de potencial entre as armaduras. A tensão presente nas armaduras do capacitor terá um valor tão próximo ao da tensão da fonte que, para efeitos práticos, podem ser considerados iguais.

Quando o **capacitor** assume a **mesma tensão da fonte** de alimentação diz-se que o capacitor está “**carregado**”.

Se, após ter sido carregado, o capacitor for desconectado da fonte de CC, suas armaduras permanecem com os potenciais adquiridos. Isso significa que, mesmo após ter sido desconectado da fonte de CC, ainda existe tensão presente entre as placas do capacitor. Assim, essa energia armazenada pode ser reaproveitada.

Descarga do capacitor

Ao tomar-se um **capacitor carregado** e conectar seus terminais a uma **carga**, haverá uma **circulação de corrente**, pois o capacitor atua como fonte de tensão (Figura 14).

Isso se deve ao fato de que através do circuito fechado inicia-se o estabelecimento do equilíbrio elétrico entre as armaduras. Os elétrons em excesso em uma das armaduras se movimentam para a outra, onde há falta de elétrons, até que se restabeleça o equilíbrio de potencial entre elas.

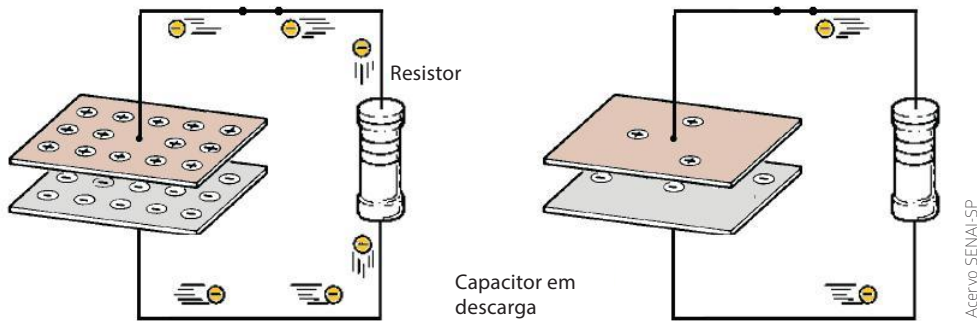


Figura 14 – Descarga do capacitor.

Durante o tempo em que o **capacitor se descarrega**, a **tensão entre suas armaduras diminui**, porque o número de íons restantes em cada armadura é cada vez menor. Ao fim de algum tempo, a tensão entre as armaduras é tão pequena que pode ser considerada zero.

Semicondutores

São materiais que podem apresentar características de isolante ou de condutor, dependendo do modo como se apresenta sua estrutura química. A resistividade característica está situada entre 10^{-2} a 10^6 ohm/cm.

Um exemplo típico de material semicondutor é o carbono. Dependendo da maneira como os átomos do carbono se interligam, o material formado pode tornar-se condutor ou isolante.

Duas formas bastante conhecidas de matéria formada por átomos de carbono são o diamante e o carbono.

Diamante

Material de grande dureza que se forma pelo arranjo de átomos de carbono em forma de estrutura cristalina. **É eletricamente isolante.**

Grafite

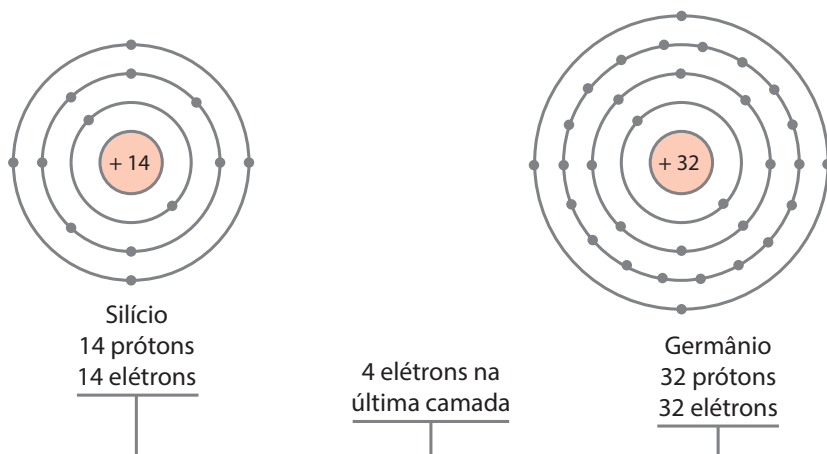
Material que se forma pelo arranjo de átomos de carbono em forma triangular. **É condutor de eletricidade.**

Estrutura química dos materiais semicondutores

Os materiais semicondutores caracterizam-se por serem constituídos de átomos que têm quatro elétrons na camada de valência (**tetravalentes**). Esses materiais classificam-se quanto ao tipo de cristal em:

- germânio (Ge);
- silício (Si).

A Figura 15 apresenta a configuração de dois átomos que dão origem a materiais semicondutores.



Eduardo Teggia

Figura 15 – Silício e germânio: átomos que dão origem a materiais semicondutores.

Os átomos que têm quatro elétrons na última camada tendem a se agrupar segundo uma formação cristalina. Nesse tipo de ligação, cada átomo combina-se com outros quatro, fazendo com que cada elétron pertença simultaneamente a dois átomos, totalizando oito elétrons compartilhados por cada átomo e permitindo que a estabilidade seja alcançada.

A estrutura cristalina só é absolutamente estável na temperatura de zero absoluto (-273°C), em que não existe o fenômeno da agitação térmica. Na temperatura ambiente, pela ocorrência do fenômeno da agitação térmica, há a liberação de elétrons de algumas ligações covalentes.

Esses elétrons livres circulam de maneira desordenada na estrutura cristalina. A falha na ligação covalente, provocada pelo escape do elétron, comporta-se de modo semelhante ao elétron livre, porém com carga elétrica contrária.

Essa pseudopartícula é chamada de **lacuna** ou **buraco**. Frequentemente, no interior da estrutura cristalina, um elétron livre ocupa uma lacuna, reconstituindo a ligação covalente. Esse fato recebe o nome de **recombinação** (Figura 16).

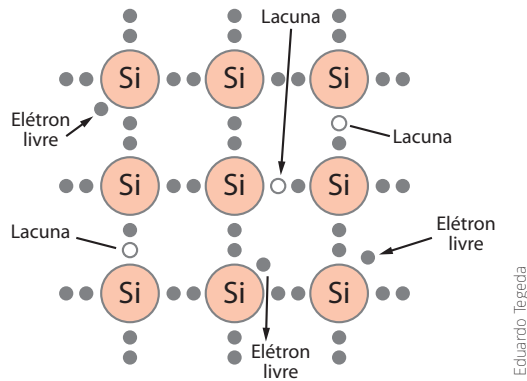


Figura 16 – Recombinação.

Esse tipo de ligação química é denominado **ligação covalente**, e é representado simbolicamente por dois traços que interligam os dois núcleos (Figura 17).

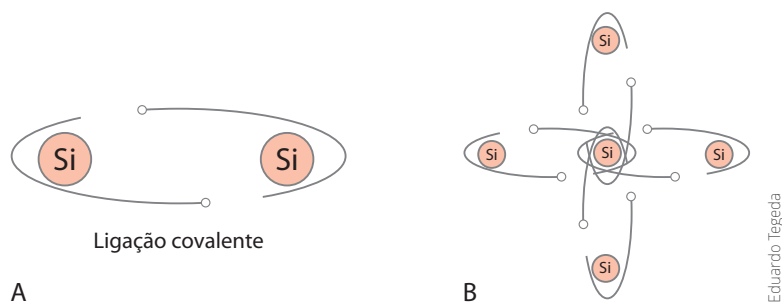


Figura 17 – A e B. Representações de ligações covalentes.

Quando um átomo tetravalente se associa por ligações covalentes a quatro outros, a ligação é representada conforme apresentado na Figura 18, a seguir.

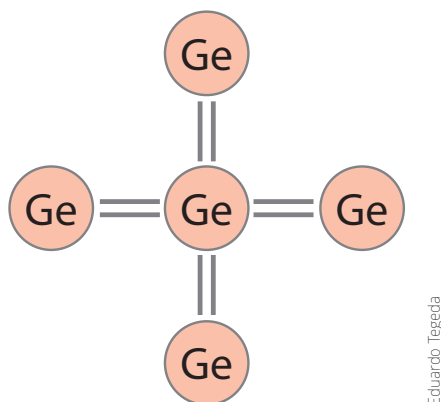
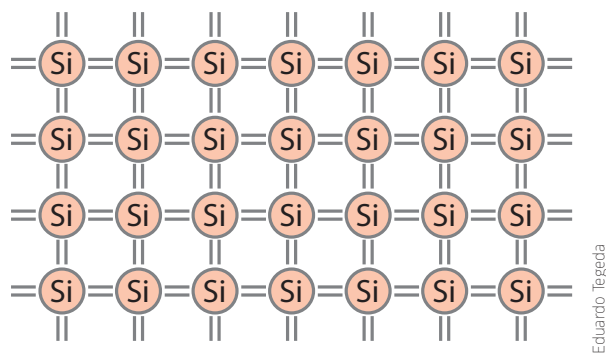


Figura 18 – Associação de átomo tetravalente por ligações covalentes.

As ligações covalentes caracterizam-se por manter os elétrons fortemente ligados aos dois núcleos associados. Por essa razão, as estruturas cristalinas puras, compostas unicamente por ligações covalentes, adquirem características de isolamento elétrica.

O silício e o germânio puros são materiais semicondutores com característica isolante quando agrupados em forma de cristal. A Figura 19 mostra a configuração cristalina do silício de forma planificada.

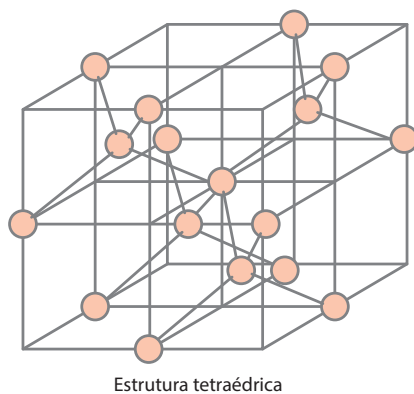


Eduardo Teggia

Figura 19 – Configuração cristalina do silício de forma planificada.

Observa-se que cada átomo realiza quatro ligações covalentes com os átomos vizinhos.

O aspecto real de ligação dos átomos de uma estrutura cristalina de germânio ou silício está apresentado na Figura 20.



Eduardo Teggia

Estrutura tetraédrica

Figura 20 – Aspecto real de ligação dos átomos de uma estrutura cristalina de germânio ou silício.

Dopagem

O material semicondutor, na sua forma intrínseca, não possui materiais estranhos como parte de sua estrutura cristalina. As propriedades físicas do material

semicondutor puro não atendem as necessidades de fabricação da grande maioria dos componentes eletrônicos. Desse modo, conforme a necessidade tecnológica, são introduzidas alterações na estrutura cristalina do semicondutor.

A dopagem de material semicondutor é um processo químico que tem por finalidade introduzir átomos estranhos a uma substância na sua estrutura interna cristalina de forma a provocar alterações nas suas características físicas. Os elementos estranhos são chamados de impurezas.

A própria natureza executa um processo de dopagem propiciando a existência de “impurezas” na estrutura química dos cristais que se instalam durante a sua formação.

A dopagem pode também ser realizada em laboratórios, com um objetivo mais específico, o de colocar no interior da estrutura de um cristal uma quantidade correta de uma determinada impureza, para que o cristal se comporte conforme as condições necessárias em termos elétricos.

Nos cristais semicondutores (germânio e silício, principalmente), a dopagem é realizada para atribuir ao material certa condutibilidade elétrica. O modo como o cristal conduzirá a corrente elétrica e a sua condutibilidade dependem do tipo de impureza utilizado e da quantidade de impureza aplicada.

A dopagem pode ser classificada segundo o tipo de impureza, conforme se observa na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação da dopagem por tipo de impureza

Tipo	Descrição	Exemplo
N	É caracterizada por elementos que possuam cinco elétrons na sua camada de valência.	Fósforo (P) Antimônio (Sb) Arsênio (As)
P	É caracterizada por elementos que possuam três elétrons na sua camada de valência.	Alumínio (Al) Índio (In) Gálio (Ga) Boro (B)

Cristal N

Quando o processo de dopagem introduz na estrutura cristalina uma quantidade de átomos **com mais de quatro elétrons** na última camada, forma-se uma nova estrutura cristalina denominada de cristal N.

Pode-se ter como exemplo a introdução de átomos de fósforo que possuem cinco elétrons na última camada no cristal (Figura 21).

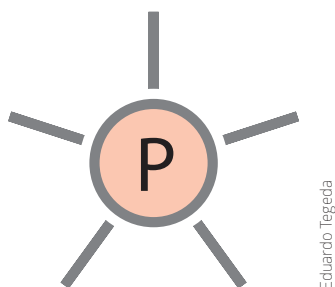


Figura 21 – Introdução de átomos de fósforo que possuem cinco elétrons na última camada no cristal.

Dos cinco elétrons externos do fósforo apenas quatro encontram um par no cristal que possibilite a formação covalente (Figura 22).

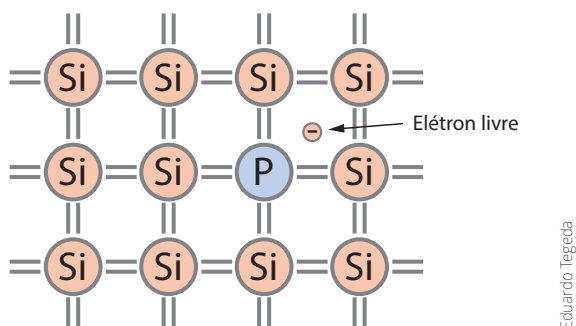


Figura 22 – Apenas quatro elétrons externos de fósforo encontram par no cristal que possibilite formação covalente.

O quinto elétron do fósforo não forma ligação covalente porque não encontra um elétron na estrutura que possibilite essa formação. Esse elétron isolado tem a característica de se libertar facilmente do átomo, passando a vagar livremente dentro da estrutura do cristal, constituindo-se em um portador livre de carga elétrica.

Cada átomo de impureza fornece um elétron livre dentro da estrutura do cristal semiconductor (Figura 23).

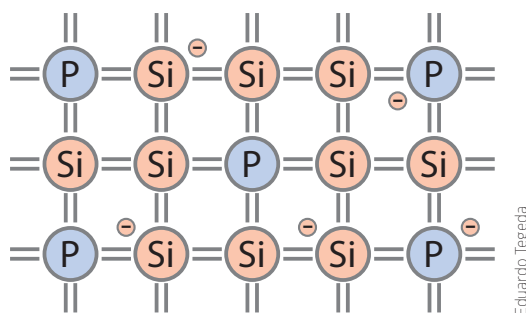


Figura 23 – Elétron livre dentro da estrutura do cristal semiconductor.

Com a adição de uma determinada quantidade de impurezas, o cristal que era puro e isolante passa a ser condutor de corrente elétrica, através dos portadores livres (elétrons), que podem circular na banda de condução.

É importante observar que, embora o material tenha sido dopado, seu número total de elétrons e prótons é igual, de modo que o material continua eletricamente neutro.

O cristal semiconductor dopado com impurezas de maior número de elétrons (como o fósforo) é denominado **cristal N** porque a corrente elétrica é conduzida no seu interior por **cargas negativas** (Figura 24).

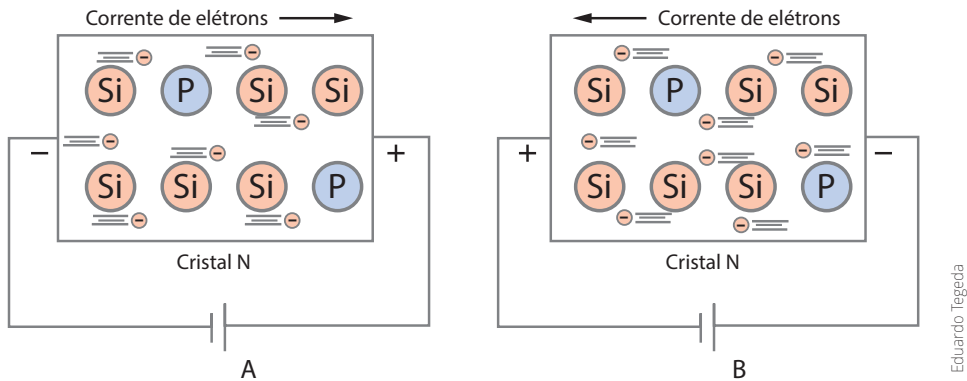


Figura 24 – A e B. Corrente elétrica conduzida por cargas negativas no interior do cristal N.

Observa-se que o cristal N conduz a corrente elétrica, independentemente da polaridade da bateria.

Cristal P

A utilização de átomos com menos de quatro elétrons na última camada para o processo de dopagem dá origem a um tipo de estrutura chamada de cristal P.

O átomo de índio, por exemplo, que tem três elétrons na última camada, dá origem a um cristal P quando é utilizado na dopagem (Figura 25).

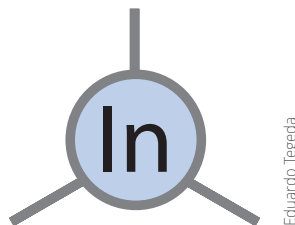
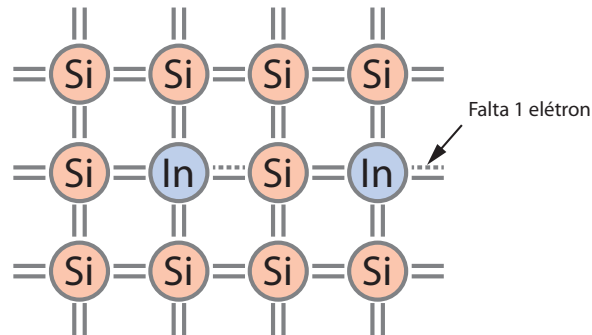


Figura 25 – Átomo de índio, com três elétrons na última camada.

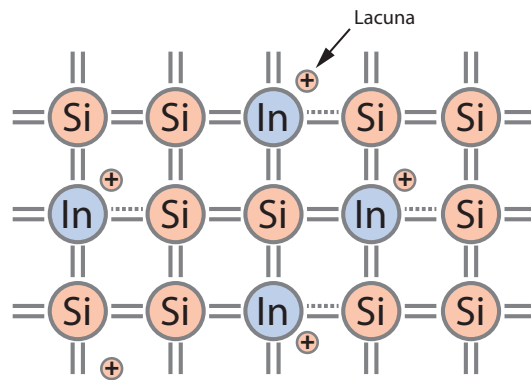
Quando os átomos de índios são colocados na estrutura do cristal puro, verifica-se a falta de um elétron para que os elementos tetravalentes se combinem de modo covalente (Figura 26).



Eduardo Tegeda

Figura 26 – Falta de um elétron para combinação covalente de elementos tetravalentes em estrutura do cristal puro.

Essa ausência no interior do cristal é denominada de lacuna, sendo representada por uma carga elétrica positiva na estrutura química (Figura 27).



Eduardo Tegeda

Figura 27 – Lacuna.

A lacuna não é propriamente uma carga positiva, mas a ausência de uma carga negativa. Os cristais dopados com átomos de menos de quatro elétrons na camada externa são denominados de cristais **P** porque a condução de corrente elétrica no seu interior se dá pela movimentação das lacunas. O movimento de lacunas no cristal P pode ser facilmente observado, quando se analisa a condução de corrente passo a passo (Figura 28).

Quando se aplica uma diferença de potencial aos extremos de um cristal P, uma lacuna é ocupada por um elétron que se movimenta deixando uma lacuna em seu lugar. Essa lacuna é preenchida pelo elétron seguinte, que torna a criar outra lacuna atrás de si. Assim, a lacuna será preenchida por outro elétron gerando nova lacuna, até que esta seja preenchida por um elétron proveniente da fonte.

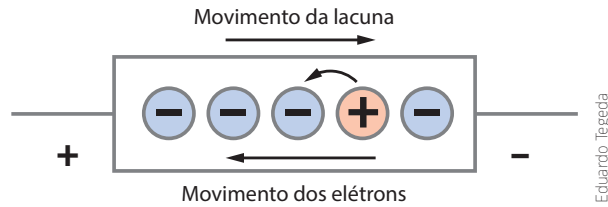


Figura 28 – Movimento de lacunas.

As lacunas movimentam-se na banda de valência dos átomos, e os elétrons que as preenchem, na banda de condução.

A condução de corrente por lacunas no cristal P independe da polaridade da fonte de tensão. A Figura 29 apresenta a corrente de lacunas.

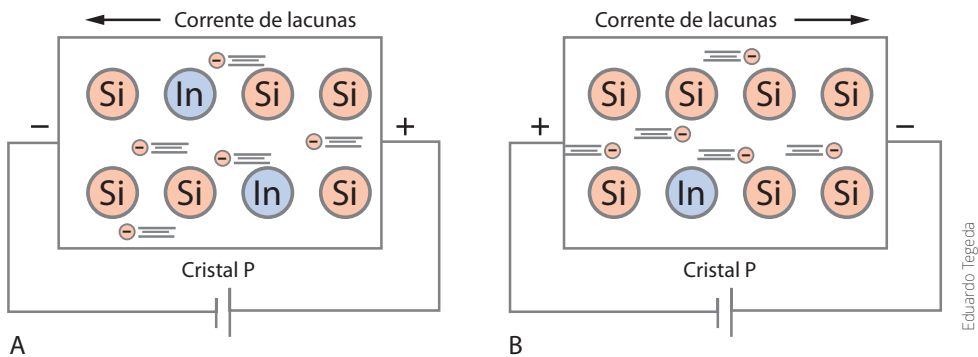


Figura 29 – A e B. Corrente de lacunas.

Conclui-se que os cristais P e N, isoladamente, conduzem a corrente elétrica qualquer que seja a polaridade de tensão aplicada aos seus extremos. Os cristais P e N são a matéria-prima para fabricação dos componentes eletrônicos modernos, como diodos, transistores e circuitos integrados.

Influência da intensidade de dopagem no comportamento dos materiais semicondutores

A condução de corrente elétrica nos materiais semicondutores depende dos portadores livres de carga na estrutura química.

Os cristais dopados mais intensamente se caracterizam por apresentar maior condutibilidade, porque sua estrutura apresenta um maior número de portadores livres.

Influência da temperatura na condutibilidade dos materiais semicondutores

A temperatura exerce influência direta sobre o comportamento dos materiais semicondutores no que diz respeito à condutibilidade elétrica. Quando a temperatura de um material semicondutor aumenta, a energia térmica adicional faz algumas ligações covalentes da estrutura se desfazerem. Cada ligação covalente que se desfaz pelo acréscimo de temperatura propicia a existência de dois portadores livres de energia a mais na estrutura do cristal.

A Figura 30 apresenta o surgimento de dois portadores livres de energia a mais em razão do aumento da temperatura.

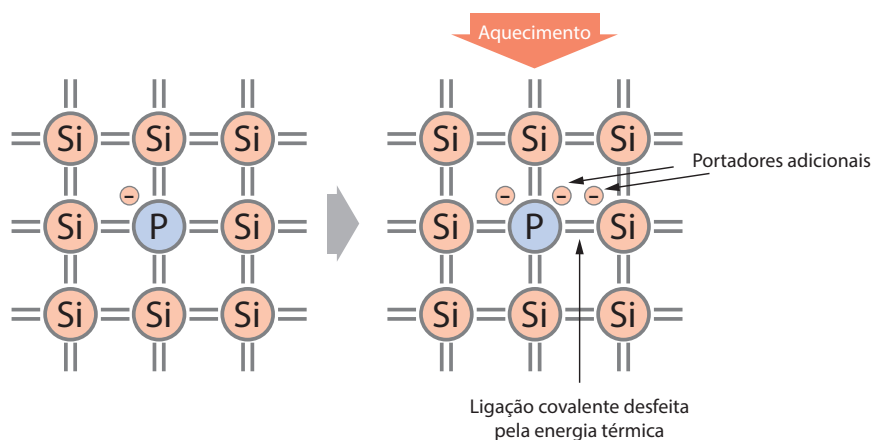


Figura 30 – Surgimento de dois portadores livres de energia a mais em razão do aumento da temperatura.

A existência de um maior número de portadores aumenta a condutibilidade do material, permitindo a circulação de correntes maiores no cristal.

Retificação

Retificação é o nome atribuído ao processo de transformação de corrente alternada em corrente contínua. Ela é utilizada nos equipamentos eletrônicos com a finalidade de permitir que equipamentos de corrente contínua sejam alimentados a partir da rede elétrica CA.

Retificação de meia onda

A **retificação de meia onda** é um processo de transformação de CA em CC, que permite o aproveitamento de apenas um semiciclo da tensão de entrada na carga (Figura 31).

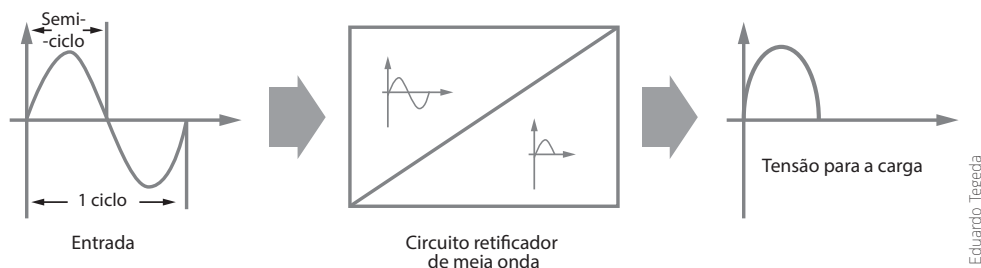


Figura 31 – Retificação de meia onda.

O circuito retificador de meia onda com diodo é empregado em equipamentos que não exigem uma tensão contínua pura, como, por exemplo, os carregadores de bateria.

Retificação de meia onda com diodo semicondutor

As características de condução e bloqueio do diodo semicondutor podem ser utilizadas para obter uma retificação de meia onda a partir da corrente alternada da rede elétrica domiciliar.

Retificação de meia onda com tensão de saída negativa

Dependendo do modo como o diodo está colocado no circuito retificador, pode-se obter uma tensão de CC positiva ou negativa em relação ao terra (Figura 32). O valor do pico de tensão sobre a carga é menor que o valor do pico de tensão da entrada, porque o diodo, durante condução, apresenta uma pequena queda de tensão V_D (0,7 para o silício e 0,2 para o germânio).

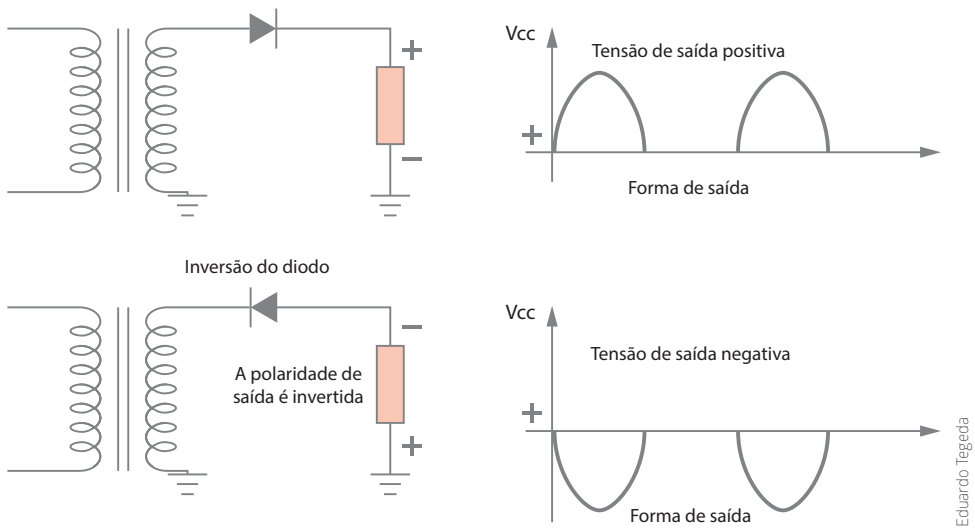


Figura 32 – Retificação de meia onda com tensão de saída negativa.

Inconvenientes da retificação de meia onda

A retificação de meia onda apresenta alguns inconvenientes, decorrentes de sua condição de funcionamento. Esses inconvenientes são listados a seguir:

1. A tensão de saída é pulsante, diferindo sensivelmente de uma tensão contínua pura (Figura 33).
2. O rendimento é baixo (45%) em relação à tensão eficaz de entrada.

$$100 \text{ V}_{CA} = 45 \text{ V}_{CCmed} \quad (100 \times 0,45)$$

3. Nas retificações com transformador, existe um mau aproveitamento da capacidade de transformação, porque a corrente circula em apenas um semiciclo (Figura 34).

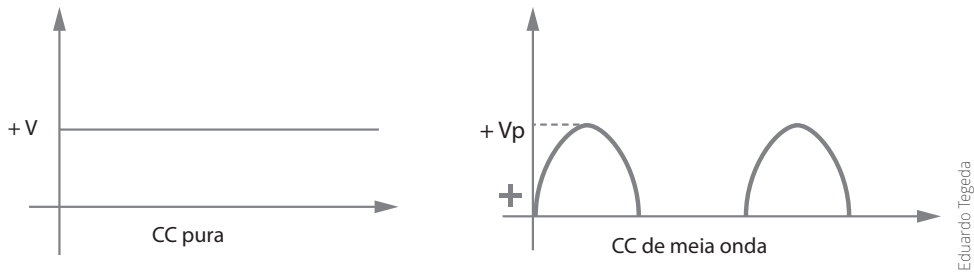


Figura 33 – Tensão de saída pulsante.

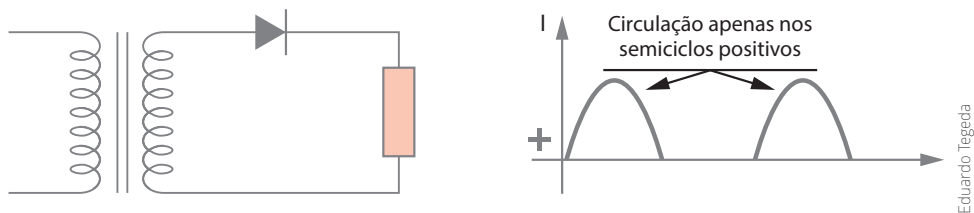


Figura 34 – Circulação da corrente em semiciclo.

Retificação de onda completa

É um processo de conversão de corrente alternada em corrente contínua que faz um aproveitamento dos dois semiciclos da tensão de entrada (Figura 35).

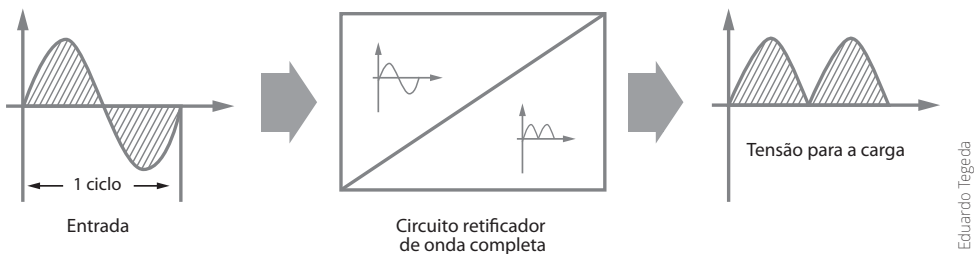


Figura 35 – Retificação de onda completa.

O circuito retificador de onda completa é o mais empregado nos equipamentos eletrônicos, porque realiza um melhor aproveitamento da energia aplicada a entrada. A retificação de onda completa com diodos semicondutores pode ser realizada de duas maneiras distintas:

- empregando-se um transformador com derivação central e dois diodos;
- empregando-se quatro diodos ligados em ponte.

Retificação de onda completa com derivação central

A Figura 36, a seguir, apresenta a configuração desse tipo de circuito retificador.

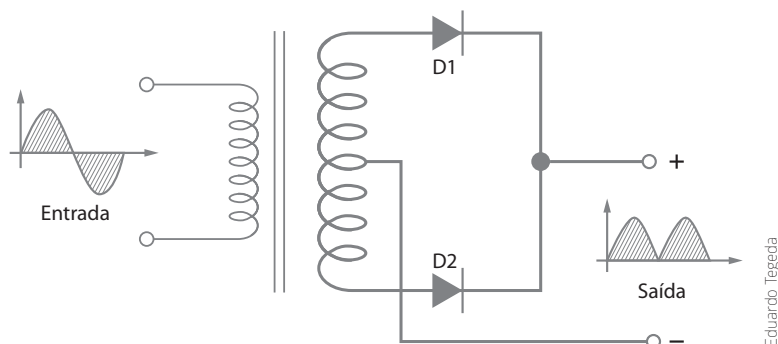


Figura 36 – Retificação de onda completa com derivação central.

Esse tipo de retificação também é chamado de retificação de onda completa **center tape**. A expressão *center tape* é inglesa e significa derivação central.

Retificação de onda completa em ponte

A retificação em ponte, com quatro diodos, entrega à carga uma onda completa sem que seja necessário utilizar um transformador com derivação central.

A Figura 37 apresenta a configuração da retificação e onda completa em ponte.

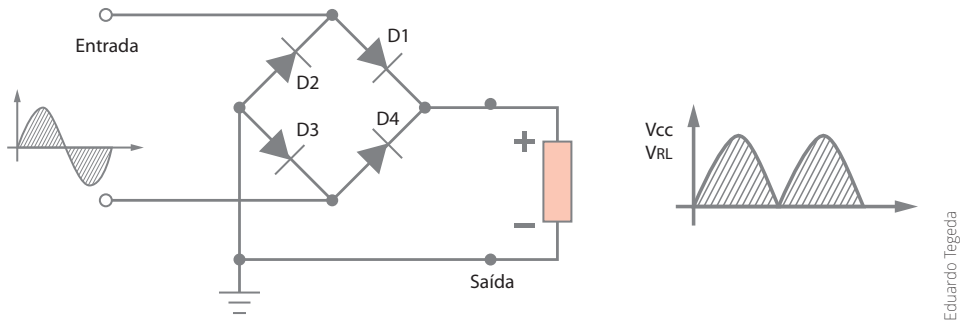


Figura 37 – Retificação e onda completa em ponte.

A ponte retificadora também pode ser representada em esquema conforme mostra a Figura 38. Nessa simbologia, a barra do diodo indica a saída positiva; a seta indica a saída negativa.

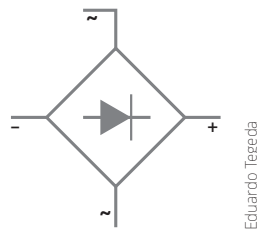


Figura 38 – Símbolo de ponte retificadora.

Tensão e CC de saída

A retificação de onda completa entrega à carga dois semiperíodos de tensão para cada ciclo da tensão de entrada. O valor de tensão média sobre a carga (medido com um voltímetro de CC na saída) é uma média dos valores fornecidos pelos pulsos de tensão. O rendimento da retificação de onda completa é o dobro da retificação de meia onda.

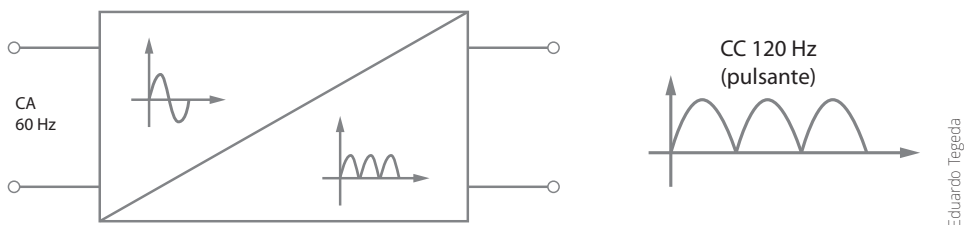
Corrente de saída

A corrente média na saída da retificação de onda completa depende da tensão média:

$$I_{CC} = \frac{U_{CC}}{R_L}$$

Relação entre frequência de entrada e frequência de saída

Na retificação de onda completa cada ciclo da tensão CA de entrada é transformado em dois semiciclos de tensão sobre a carga. Desse modo, a frequência dos picos de tensão sobre a carga é o dobro da frequência da rede (Figura 39).



Eduardo Tegdada

Figura 39 – Relação entre frequências de entrada e de saída.

Filtro nas fontes de alimentação

As tensões contínuas puras apresentam polaridade definida e valor constante ao longo do tempo. As tensões fornecidas pelos circuitos retificadores, tanto de meia onda como de onda completa, são pulsantes. Embora tenham a polaridade definida, as tensões fornecidas pelos circuitos retificadores sofrem constante variação de valor, pulsando conforme a tensão senoidal aplicada ao diodo.

Capacitor como elemento de filtragem

A capacidade de armazenamento de energia dos capacitores pode ser utilizada como recurso para realizar um processo de filtragem na tensão de saída de um circuito retificador.

O capacitor é conectado diretamente nos terminais de saída da retificação (Figura 40).

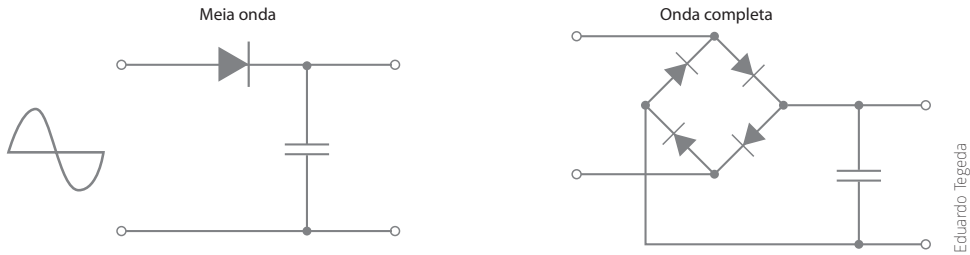


Figura 40 – Conexão do capacitor diretamente nos terminais de saída da retificação.

Nos intervalos de tempo em que o diodo conduz, circula corrente através da carga e para o capacitor. Nesse período, o capacitor armazena energia.

Nos intervalos de bloqueio do diodo, o capacitor tende a descarregar a energia armazenada nas armaduras. Como não é possível a descarga por meio da retificação, porque o diodo está em bloqueio, a corrente de descarga se processa pela carga. Esse circuito é denominado **circuitos de filtro**. Os filtros atuam sobre a tensão de saída dos circuitos retificadores aproximando tanto quanto possível a sua forma à de uma tensão contínua pura (Figura 41).



Figura 41 – Circuitos de filtro.

Como o capacitor está em paralelo com a carga, a tensão presente nas armaduras é aplicada à carga. A corrente absorvida pela carga é fornecida pelo capacitor. Com o passar do tempo a tensão do capacitor diminui por causa da sua descarga. O capacitor permanece descarregado até que o diodo conduza novamente, fazendo uma recarga nas suas armaduras (Figura 42).



Figura 42 – Tensão do capacitor em circuitos de filtro.

Observação da ondulação com osciloscópio

A ondulação é uma componente alternada presente no topo da forma de onda fornecida por uma fonte com filtro capacitivo e carga na saída.

Como o valor desta ondulação é normalmente igual ou menor que 10% do valor da CC fornecida pela fonte, torna-se difícil medir o seu valor exato usando o osciloscópio no modo DC.

Corrente de pico nos diodos

Nos circuitos retificadores com filtro, o diodo retificador conduz apenas durante um pequeno período de tempo para recarregar o capacitor (tempo de carga) (Figura 43).

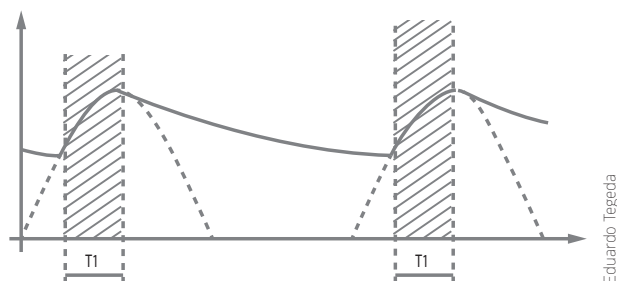
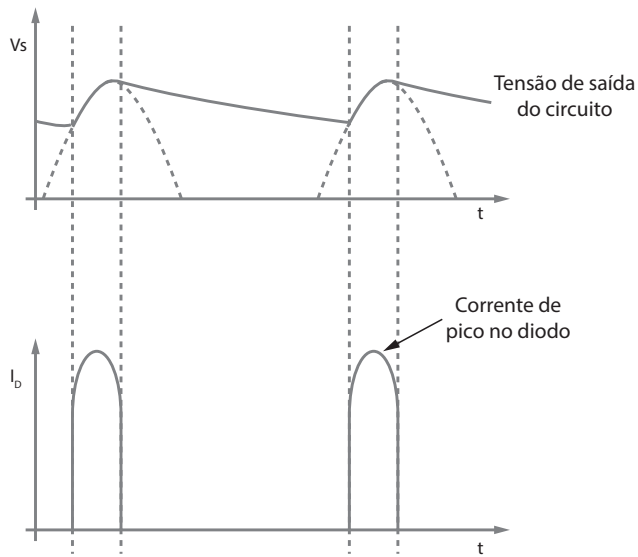


Figura 43 – Tempo de carga do capacitor (T_1).

Durante o curto período que o diodo conduz, o capacitor recebe toda a carga perdida durante o período de descarga. Isso faz com que a intensidade de corrente durante a condução do diodo seja elevadíssima (Figura 44).



Eduardo Teggia

Figura 44 – Corrente de pico em diodo.

Essa corrente é denominada **corrente de pico repetitiva do diodo**, sendo fornecida nos catálogos e manuais de diodos. É difícil de determinar matematicamente, porque depende de muitos fatores. Porém, deve-se lembrar sempre de que quanto maior o capacitor de filtro, maior o seu valor. A corrente de pico repetitiva é a razão pela qual não se pode aumentar indefinidamente o capacitor de filtro de uma fonte.

Diodo emissor de luz

É um tipo especial de diodo semicondutor que emite luz quando é polarizado diretamente.

O diodo emissor de luz, identificado comumente como diodo LED, é representado pelo símbolo apresentado na Figura 45.

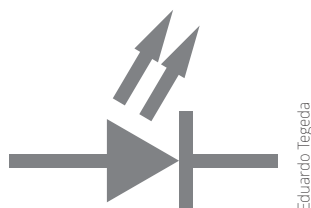


Figura 45 – Símbolo do diodo LED.

Os diodos LED são encontrados com as mais diversas formas e dimensões. A Figura 46, a seguir, apresenta alguns tipos construtivos de diodos LED.

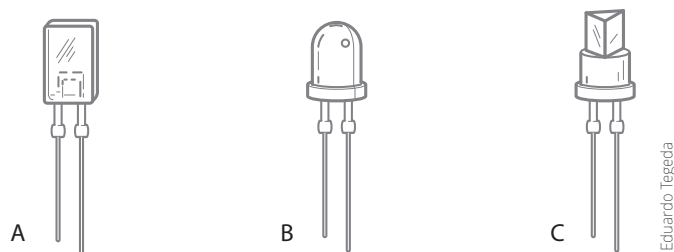


Figura 46 – A a C. Tipos construtivos de diodos LED.

O catodo de um diodo LED pode ser identificado por um “corte” na base do encapsulamento (Figura 47).

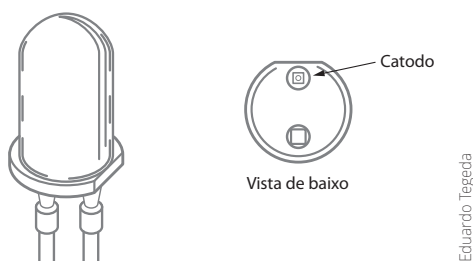


Figura 47 – Catodo de um diodo LED.

O diodo LED é utilizado principalmente em substituição às lâmpadas incandescentes de sinalização, por apresentar uma série de vantagens, entre elas:

- baixo consumo;
- alta resistência a vibrações;

- nenhum aquecimento;
- grande durabilidade.

Corrente direta nominal (I_F)

É um valor de corrente de condução indicado pelo fabricante no qual o diodo LED apresenta um rendimento luminoso ótimo (normalmente 20 mA).

Tensão direta nominal (V_F)

Especificação que define a queda da tensão típica do diodo no sentido de condução. A queda de tensão nominal (V_F) ocorre no componente quando a corrente direta tem valor nominal (I_F). Para valores de corrente direta diferentes do valor nominal (I_F), a tensão direta de condução sofre pequenas modificações de valor.

Tensão inversa máxima (V_R)

Especificação que determina o valor de tensão máxima que o diodo LED suporta no sentido inverso, sem sofrer ruptura. A tensão inversa máxima dos diodos LED é pequena (da ordem de 5 V), uma vez que esses componentes não têm por finalidade a retificação.

A Tabela 3, a seguir, apresenta as características de alguns diodos LED.

Tabela 3 – Características de alguns diodos LED

LED	Cor	V_F a $I_F = 20 \text{ mA}$	I_F máx.
LD 30C	Vermelho	1,6 V	100 mA
LD 37I	Verde	2,4 V	60 mA
LD 35I	Amarelo	2,4 V	60 mA

LED bicolor

O LED bicolor consiste em dois LED colocados dentro de uma mesma cápsula. Esses LED têm três terminais (Figura 48).

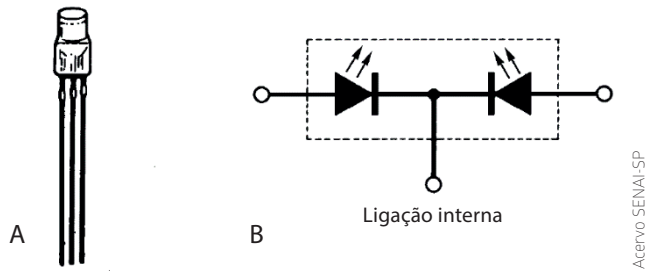


Figura 48 – LED bicolor. A. Três terminais do LED bicolor. B. Ligação interna.

Um dos terminais é comum aos dois LEDs. Dependendo da cor que se deseja acender, polariza-se um dos diodos.

LED infravermelho

A luz infravermelha é um tipo de luz que não é visível ao olho humano. É usada principalmente em alarmes contra roubos e circuitos de controle remoto. Existem diodos LED que emitem luz infravermelha. O funcionamento é o mesmo dos outros, porém não se pode observar visualmente se os LED estão ligados ou não.

Teste do diodo LED

Os diodos LED podem ser testados como um diodo comum, usando um multímetro na escala de resistência. Em um sentido, o teste deve indicar baixa resistência; em outro, alta resistência.

SAIBA MAIS

Em alguns casos, dependendo do multímetro utilizado para o teste, o LED acende durante o teste com polarização direta. A identificação dos terminais anodo e catodo também pode ser feita com o multímetro, da mesma maneira que um diodo comum.

Funcionamento

Quando o diodo LED é polarizado diretamente, ele entra em condução, permitindo a circulação de corrente, que se processa pela liberação de portadores livres na estrutura dos cristais.

O deslocamento de portadores de banda de condução provoca a liberação de energia (emissão de fótons) em forma de luz. O funcionamento do diodo LED está ilustrado na Figura 49, a seguir.

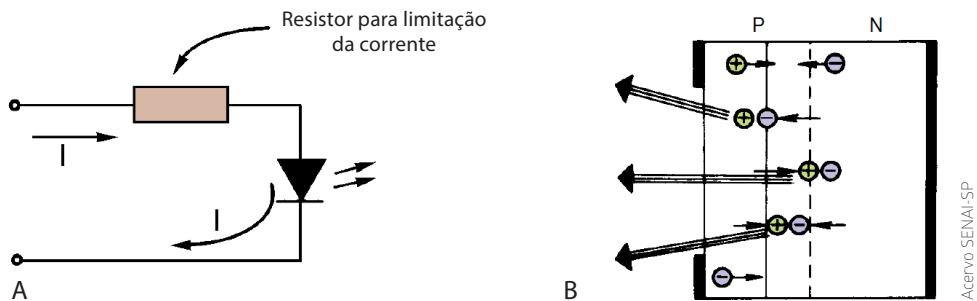


Figura 49 – A e B. Funcionamento do diodo LED.

Características dos diodos LED

As características mais importantes do diodo LED são:

- corrente direta máxima (I_{FM});
- corrente direta nominal (I_F);
- tensão direta nominal (V_F);
- tensão inversa máxima (V_R).

Corrente direta máxima (I_{FM})

Especificação que define a corrente máxima de condução do diodo LED sem prejuízo para sua estrutura.

Utilização do diodo LED em CC

A aplicação do diodo LED em tensões contínuas exige a fixação da sua corrente direta nominal (I_F). A limitação da corrente pode ser feita através de um resistor. A Figura 50 apresenta um circuito retificador de onda completa que utiliza o diodo LED como indicador de fornecimento.

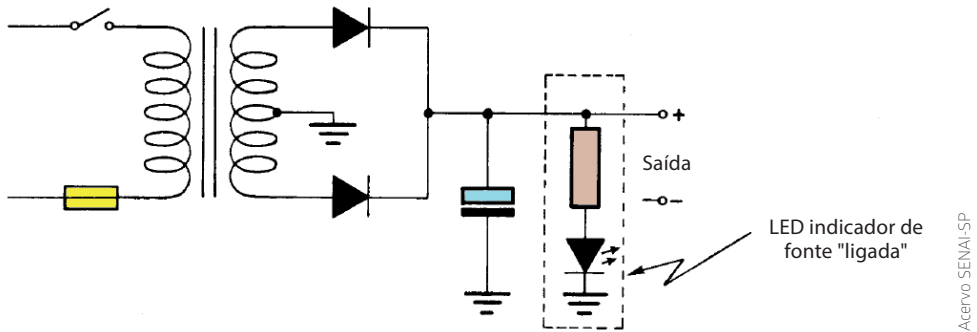


Figura 50 – Circuito retificador de onda completa que utiliza o diodo LED como indicador de fornecimento.

O valor do resistor limitador é dado pela expressão:

$$R = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F}$$

Onde:

V_{CC} = tensão de saída da fonte;


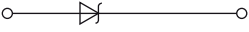
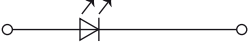

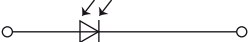
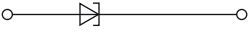
V_F = tensão nominal de condução do diodo LED;

I_F = corrente nominal de condução do diodo LED.

Características especiais dos diodos

O Quadro 2, a seguir, resume as características especiais dos diodos, sua simbologia e aplicações.

Quadro 2 – Características especiais dos diodos

Tipo	Simbologia	Aplicação
Retificador		Fontes de alimentação
Zener		Regulador de tensão
LED		Sinalização
Varicap		Sistemas de comunicação
Fotodiodo		Detector de luminosidade
Túnel		Micro-ondas

Transistor bipolar

O transistor bipolar é um componente eletrônico constituído por materiais semicondutores, capaz de atuar como controlador da corrente, o que possibilita seu uso como amplificador de sinais, ou como “interruptor eletrônico”.

O transistor encontra ampla aplicação em várias funções, entre elas:

- amplificador de sinais: em equipamentos de som e imagem, sinais de sensores e controles industriais;
- interruptor eletrônico: em controles industriais, módulos eletrônicos, calculadoras e computadores eletrônicos.

Estrutura básica

A estrutura básica do transistor é composta de duas pastilhas de material semicondutor, de mesmo tipo, entre as quais é colocada uma terceira pastilha, muito mais fina, de material semicondutor com tipo diferente de dopagem, formando uma configuração semelhante a um “sanduíche”.

A Figura 51 apresenta a estrutura básica de um transistor.

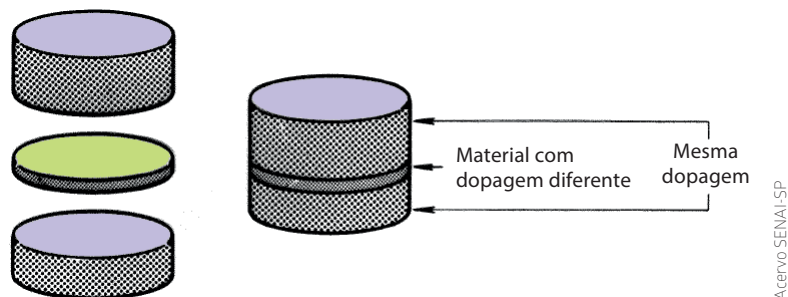


Figura 51 – Estrutura básica de um transistor.

Tipos de transistores

A configuração da estrutura, em forma de sanduíche, permite que se obtenham dois tipos distintos de transistores:

- Transistor com pastilhas externas de material N e pastilha central de material P (Figura 52). Esse tipo de transistor é denominado de **transistor bipolar NPN**.
- Transistor com pastilhas externas de material P e pastilha central de material N, denominado **transistor bipolar PNP** (Figura 53).

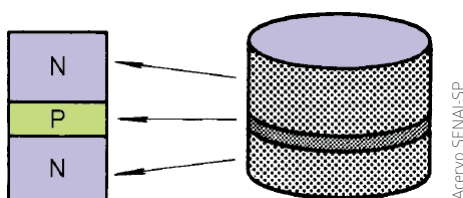


Figura 52 – Configuração com pastilhas externas de material N e pastilha central de material P.

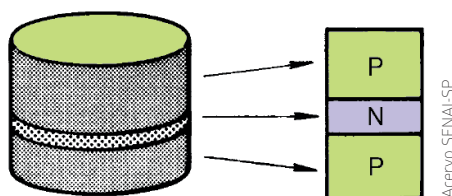


Figura 53 – Configuração com pastilhas externas de material P e pastilha central de material N.

Os dois tipos de transistores podem cumprir as mesmas funções, diferenciando-se apenas no modo como as fontes de alimentação são ligadas ao circuito eletrônico.

Terminais do transistor

Cada uma das pastilhas formadoras do transistor é conectada a um terminal que permite a interligação da estrutura do componente aos circuitos eletrônicos.

Os terminais recebem uma designação que permite distinguir cada uma das pastilhas:

- A pastilha central é denominada **base**, representada pela letra B.
- Uma das pastilhas externas é denominada **coletor**, representada pela letra C.
- A outra pastilha externa é denominada **emissor**, representada pela letra E.

A Figura 54, a seguir, apresenta dois tipos de transistores, com a identificação dos terminais.

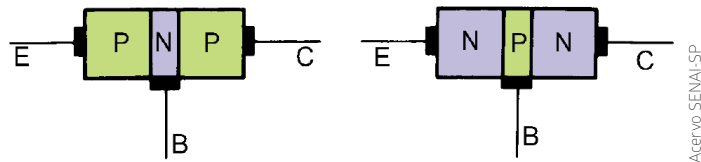


Figura 54 – Transistores com a identificação de seus respectivos terminais.

Embora as pastilhas do coletor e do emissor sejam do mesmo tipo de material semicondutor, não é possível trocar as ligações de um terminal com o outro nos circuitos eletrônicos, porque existe diferença de volume de material semicondutor e de intensidade de dopagem entre as pastilhas.

Simbologia

A Figura 55, a seguir, apresenta o símbolo dos transistores NPN e PNP, indicando a designação dos terminais.

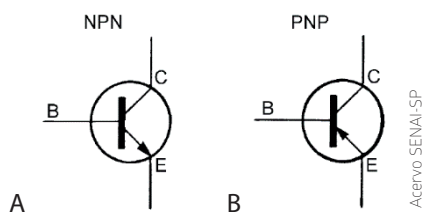


Figura 55 – A. Símbolo do transistor NPN. B. Símbolo do transistor PNP.

A diferença entre os símbolos dos dois transistores é apenas o sentido da seta no terminal “emissor”.

Alguns transistores, fabricados para aplicações específicas, são dotados de blindagem. A blindagem consiste em um invólucro metálico ao redor das pastilhas semicondutoras, que tem por finalidade evitar que o funcionamento do transistor seja afetado por campos elétricos ou magnéticos do ambiente. Esses transistores apresentam um quarto terminal, ligado à blindagem, para que esta possa ser ligada ao terra do circuito eletrônico. O símbolo desses transistores mostra a existência do quarto terminal (Figura 56).

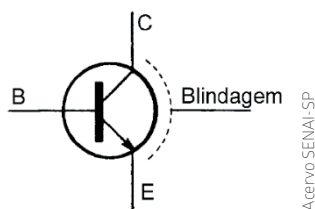


Figura 56 – Símbolo do transistor com o quarto terminal.

Aspecto real dos transistores

Os transistores podem ter diversos formatos (encapsulamentos). Os formatos geralmente variam em função:

- do fabricante;
- da função da montagem;
- do tipo de montagem;
- da capacidade de dissipar calor.

Por essa razão, a identificação dos terminais do transistor deve sempre ser feita com auxílio de um manual de transistores ou folheto técnico específico do fabricante do transistor.

A Figura 57, a seguir, apresenta alguns tipos construtivos de transistores.

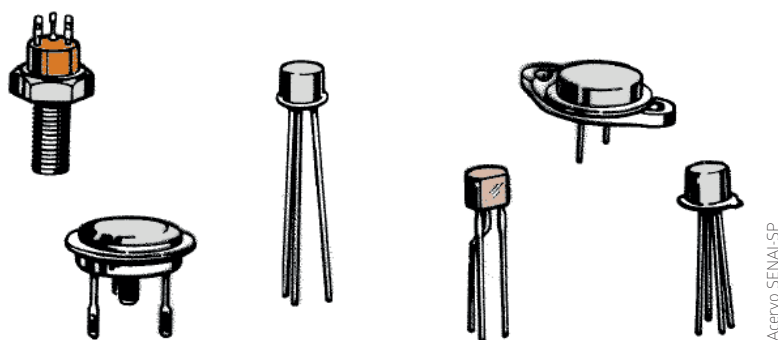


Figura 57 – Símbolo do transistor com o quarto terminal.

A Figura 58, a seguir, apresenta a posição dos terminais de um transistor.

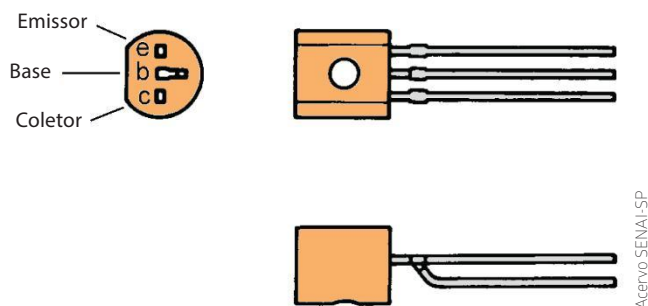


Figura 58 – Posição dos terminais de um transistor.

Princípio de funcionamento do transistor

Tensões nos terminais do transistor

O estudo do princípio de funcionamento do transistor consiste em uma análise do movimento dos elétrons livres e lacunas no interior do componente, pro-

vocados pela aplicação de tensões externas ao coletor, à base e ao emissor. O movimento dos elétrons livres e lacunas está intimamente ligado à polaridade da tensão aplicada a cada um dos terminais do transistor.

Junções do transistor e polaridade das tensões nos terminais

A junção PN entre o cristal da base e o cristal do emissor é chamada de junção base-emissor (BE) (Figura 59).

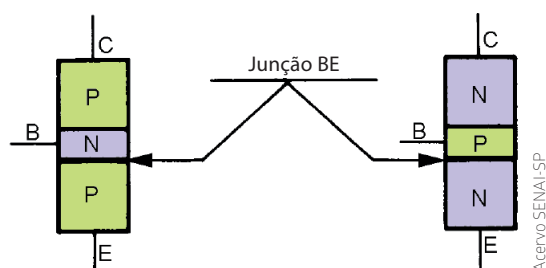


Figura 59 – Junção base-emissor.

A junção PN entre o cristal de base e o cristal do coletor é chamada **junção base-coletor** (BC) (Figura 60).

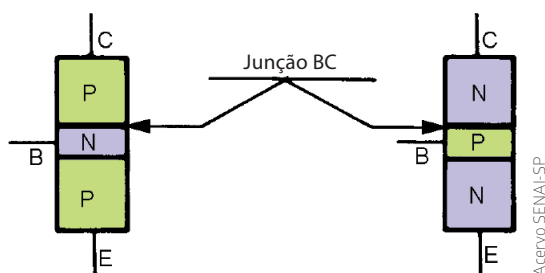


Figura 60 – Junção base-coletor.

Ao se unirem as três pastilhas semicondutoras de um transistor, ocorre um processo de difusão dos portadores. Como em um diodo, esse processo de difusão dá origem a uma barreira de potencial em cada junção. No transistor, portanto, existem duas barreiras de potencial que se formam com a junção dos cristais:

- barreira de potencial na junção base-emissor;
- barreira de potencial na junção base-coletor.

Junção base-emissor

Na condição normal de funcionamento, denominada funcionamento na região ativa, a junção base-emissor é polarizada diretamente.

A Figura 61 mostra a polaridade das tensões de base e de emissor em cada tipo de transistor.

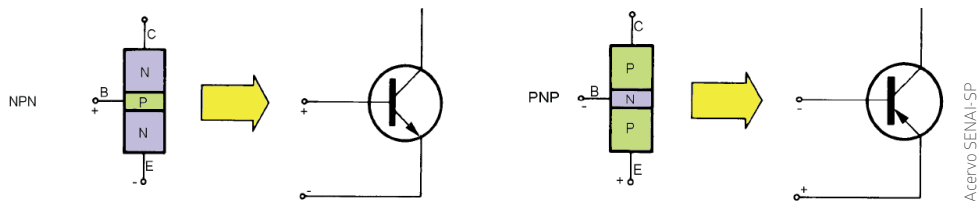


Figura 61 – Polaridade das tensões de base e de emissor em cada tipo de transistor.

Junção base-coletor

Na região de funcionamento ativo, a junção base-coletor é polarizada inversamente.

A Figura 62, a seguir, mostra a polaridade das tensões de coletor em relação à base em cada tipo de transistor.

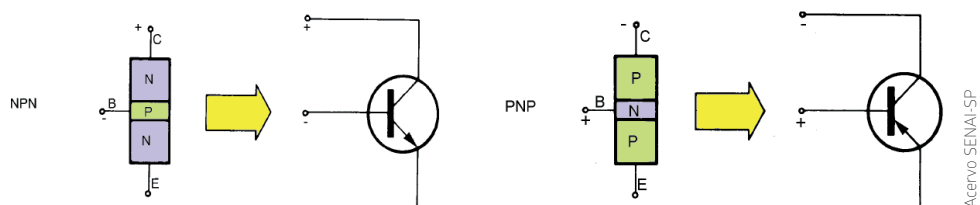


Figura 62 – Polaridade das tensões de coletor em relação à base em cada tipo de transistor.

Polarização simultânea das duas junções

Para que o transistor funcione corretamente, as duas junções devem ser polarizadas ao mesmo tempo. Isso pode ser feito aplicando-se duas tensões externas entre os terminais do transistor (Figura 63).

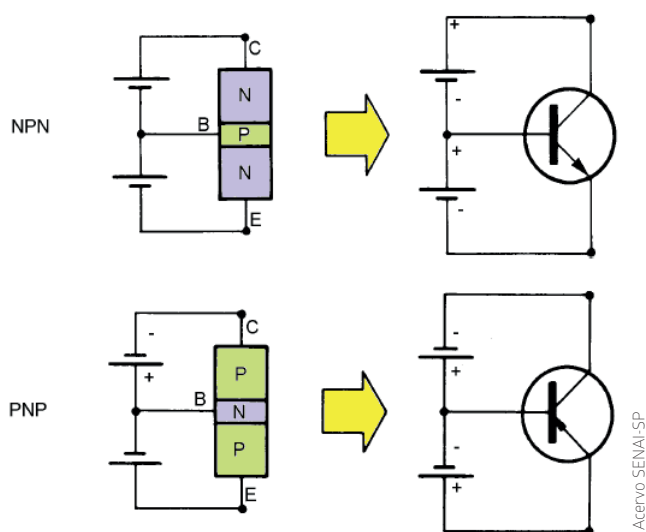


Figura 63 – Polarização simultânea das duas junções de um transistor.

SAIBA MAIS

As baterias representam as tensões de polarização.

A Figura 64 ilustra uma forma alternativa de polarização, tomando o transistor NPN como exemplo.

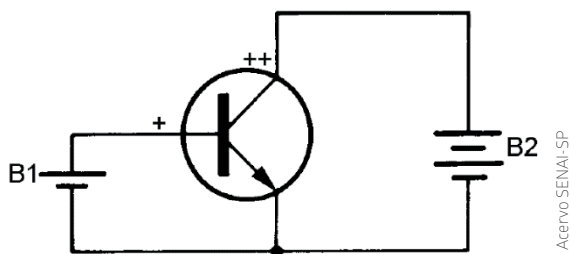


Figura 64 – Modo alternativo de polarização.

Ao se analisar a Figura 64, observa-se que:

- a bateria B1 polariza a junção base-emissor do transistor diretamente;
- a bateria B2 aplica uma tensão positiva ao coletor maior que a tensão positiva da base.

Se o coletor é mais positivo que a base, então a base é mais negativa que o coletor, de modo que a junção base-coletor fica polarizada inversamente (Figura 65).

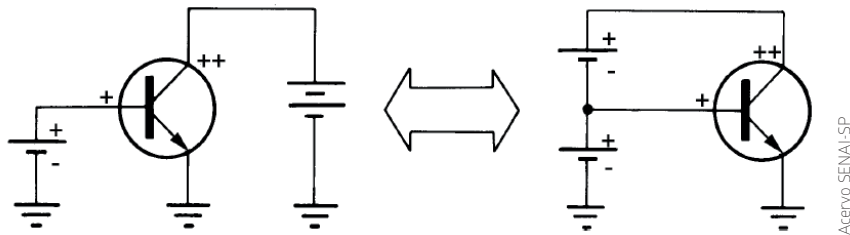


Figura 65 – Junção base-coletor polarizada inversamente.

Região ativa do transistor

Em relação à região ativa do transistor, é importante observar que:

- a junção base-emissor deve ser polarizada diretamente;
- a junção base-coletor deve ser polarizada inversamente.

A alimentação simultânea das duas junções, por meio das baterias externas, dá origem a três tensões entre os terminais do transistor, listadas a seguir:

- tensão de base a emissor, denominada V_{BE} ;
- tensão de coletor a base, denominada V_{CB} ;
- tensão de coletor a emissor, denominada V_{CE} .

Dispondo as três tensões na Figura 66, a seguir, observa-se que as tensões $V_{BE} + V_{CB}$ somadas são iguais a V_{CE} .

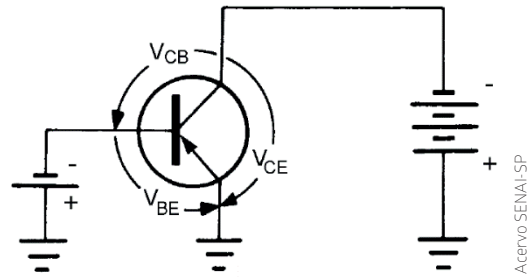


Figura 66 – Região ativa do transistor.

$$V_{CE} = V_{BE} + V_{CB}$$

Para o transistor NPN, a regra também é válida, invertendo-se apenas a polaridade das baterias de polarização (Figura 67).

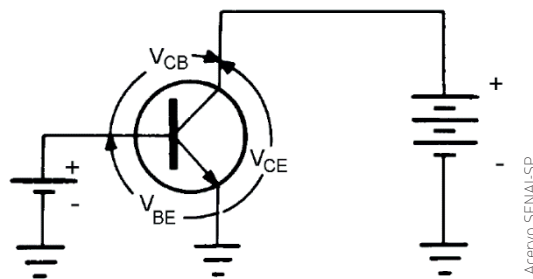


Figura 67 – Região ativa do transistor NPN.

$$V_{CE} = V_{BE} + V_{CB}$$

Correntes dos terminais do transistor

O movimento dos portadores livres dá origem a três correntes que circulam nos três terminais do transistor.

A corrente do terminal **emissor** é denominada de corrente de emissor representada pela notação (I_E); a do terminal **base** é denominada corrente de base (I_B), e a do terminal **coletor** é denominada corrente de coletor (I_C). Por convenção se estabeleceu que toda a corrente que entra no transistor é positiva e a corrente que sai é negativa.

A Figura 68, a seguir, mostra os dois tipos de transistor com as suas correntes.

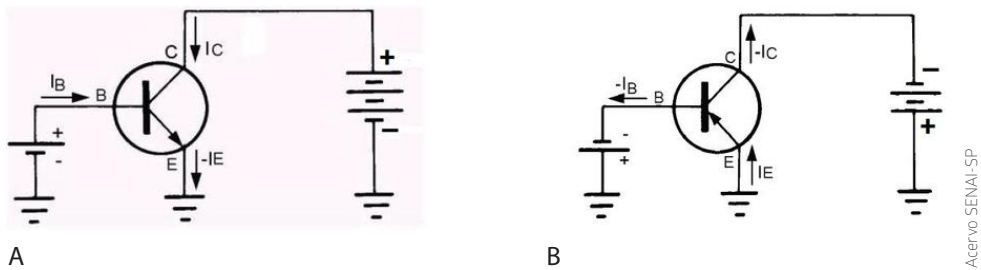


Figura 68 – A e B. Dois tipos de transistor com suas correntes.

O princípio básico de funcionamento, que explica a origem das correntes no transistor, é o mesmo para os transistores NPN e PNP. Por essa razão, estuda-se o princípio de funcionamento apenas de um tipo. O comportamento do tipo não analisado é semelhante, diferindo-se apenas quanto à polaridade das baterias e ao sentido das correntes.

Parte 3 – Combustíveis e meio ambiente

8. Combustíveis

Gasolina

Álcool etílico (etanol)

Propriedades dos combustíveis

Detonação

Pré-ignição

Boas práticas no abastecimento

Gasolina

A gasolina é um combustível obtido do refino do petróleo e é composta basicamente por compostos orgânicos. Proveniente da extração do petróleo, é um composto de hidrocarbonetos, contendo 8 átomos de carbono (C) e 18 átomos de hidrogênio (H) – (C₈H₁₈) (Figura 1).

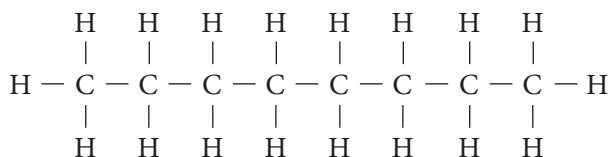


Figura 1 – Composição da gasolina.

Vários produtos químicos são adicionados à gasolina, como inibidores de corrosão, corantes e detergentes, e são chamados de aditivos. A gasolina comercializada no Brasil é a E-23, que contém aproximadamente 23% de álcool anidro.

A classificação da gasolina é definida de acordo com o valor de sua octanagem, que é a resistência que a gasolina tem à autoignição (detonação). A detonação

também é conhecida como “batida de pino”, fenômeno que será estudado mais adiante.

Um combustível com maior octanagem tem maior poder de combustão e resiste a altas pressões nos cilindros, sem sofrer detonação. Os projetistas de motores levam em conta a octanagem do combustível utilizado para determinar a taxa de compressão, curvas de avanço de ignição e tempo de injeção.

Existem quatro tipos de gasolina automotiva comercializados no Brasil:

- gasolina comum, com octanagem 87;
- gasolina comum aditivada, com octanagem 87;
- gasolina Premium (Petrobras), com octanagem 91;
- gasolina Podium (Petrobras), com octanagem 95.

Todas as gasolinas recebem, por força de lei federal, a adição de álcool anidro (sem água), conforme a Resolução 36 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), de 31/10/2006. Desse modo, desde 23 de novembro de 2006, todas as gasolinas no Brasil recebem adição de álcool etílico anidro combustível na proporção de 23%. O álcool adicionado à gasolina aumenta o poder antidetonante dela, fazendo com que atinja os mesmos níveis de octanagem das gasolinas europeias e americanas.

Gasolina aditivada

A finalidade da gasolina aditivada é limpar e manter limpas todas as partes em contato com o combustível líquido (tanque, bomba, tubulação, bicos injetores, válvula de admissão, câmara de combustão e cabeçote). Nas gasolinas aditivadas, há um aditivo detergente/adstringente que realiza a limpeza. Elas recebem a adição de um corante, para serem diferenciadas das gasolinas comuns. Cada companhia distribuidora adiciona o corante da cor que desejar.

As cores azul e rosa são as únicas que não podem ser utilizadas. O azul é utilizado na gasolina de aviação; o rosa é utilizado na mistura MEG (metanol/etanol/gasolina), na ausência de álcool hidratado nos postos.

SAIBA MAIS

Como boa prática, recomenda-se a utilização de um tanque de gasolina aditivada a cada 5.000 quilômetros rodados.

Gasolinas adulteradas

A gasolina é considerada adulterada quando é adicionado solvente ou outros compostos, de modo a se obter um produto mais barato, porém com qualidade inferior à exigida pela especificação do produto. Em geral, os produtos utilizados na adulteração da gasolina são o álcool e alguns solventes. Há diversos tipos de solventes utilizados para esse fim, como aguarrás e solvente para borracha (SPB). O SPB, também conhecido como benzina industrial, é citado informalmente como um dos mais empregados para uso fraudulento em gasolina, depois do álcool. A Figura 2 apresenta um resumo dos solventes utilizados na adulteração da gasolina.

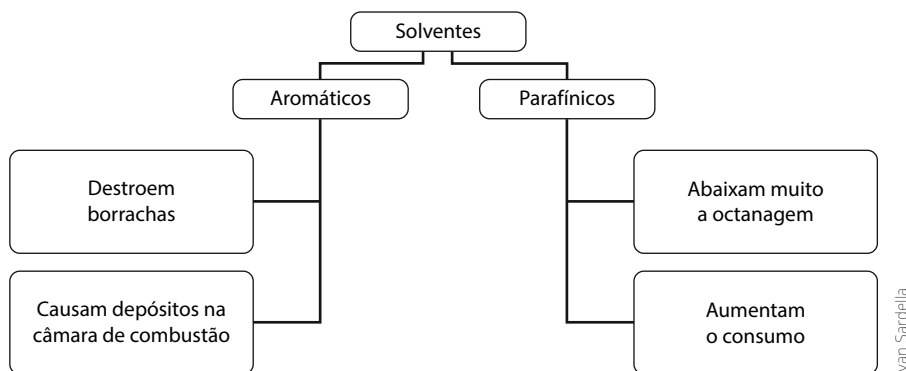


Figura 2 – Solventes utilizados na adulteração da gasolina.

Álcool etílico (etanol)

O etanol (álcool etílico utilizado como combustível) é derivado de cereais e vegetais. No Brasil, utiliza-se a cana-de-açúcar como matéria-prima. É um combustível composto de hidrocarbonetos oxigenados, contendo dois átomos de carbono, seis átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio (C_2H_5OH) (Figura 3).

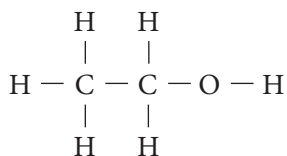


Figura 3 – Composição do etanol.

O etanol comercializado no Brasil é hidratado e possui de 5% a 6% de água. Por conter oxigênio na molécula, o etanol tem um poder calorífico menor que o da gasolina, uma vez que o oxigênio (responsável por 34,7% do peso do etanol) aumenta o peso molecular, mas não produz energia. Isso explica a menor quilometragem por litro de um motor a álcool em relação ao mesmo motor a gasolina.

O Brasil é o país mais avançado, do ponto de vista tecnológico, na produção e no uso do álcool etílico (etanol) como combustível, seguido pelos Estados Unidos e, em menor escala, pela Argentina, Quênia e Malawi.

O álcool anidro é utilizado em mistura com gasolina no Brasil, nos Estados Unidos, na União Europeia, no México, na Índia, na Argentina, na Colômbia e, mais recentemente, no Japão.

O álcool pode ser obtido de diversas formas de biomassa, sendo a cana-de-açúcar a realidade econômica atual. Serão realizados investimentos para viabilizar a produção de álcool a partir de celulose, sendo estimado que, em 2020, cerca de 30 bilhões de litros de álcool poderiam ser obtidos dessa fonte, apenas nos Estados Unidos. O benefício ambiental associado ao uso de álcool é enorme, pois cerca de 2,3 t de CO₂ deixam de ser emitidas para cada tonelada de álcool combustível utilizado, sem considerar outras emissões, como o SO₂ (dióxido de enxofre, responsável pela chuva ácida).

O álcool hidratado tem duas particularidades:

- alta resistência à detonação (como se tivesse alta octanagem, embora o álcool não possua octanas);
- baixo poder calorífico (gera menos energia na queima que a gasolina).

Em função dessas características, o motor a álcool pode utilizar taxa de compressão mais elevada, mas requer uma relação estequiométrica diferenciada, ou

seja, a mistura ar-combustível tem de ser mais rica (com mais combustível) que no motor a gasolina. Na prática, isso significa que o motor a álcool pode gerar mais potência e torque, mas consome mais combustível.

A utilização do álcool como combustível implica aumento de consumo pelo menor poder calorífico, quando comparado ao da gasolina. Isso significa que é necessária maior quantidade de combustível para realização do mesmo trabalho.

O álcool etílico (etanol) é hidratado, ou seja, possui em média 5% de água em sua composição.

O álcool utilizado nos motores de ciclo Otto apresentam as seguintes características:

- menor poluição ambiental;
- aumento da potência do motor;
- combustão mais lenta;
- maior poder antidetonante;
- maior compressibilidade sem entrar em autoignição.

O álcool não apresenta octanagem, mas, para se ter uma noção numérica, é como se ele tivesse o equivalente a 110 octanas.

Algumas informações de interesse sobre o etanol são:

- tem uma temperatura de ebulição de 78°C na pressão atmosférica; alta o suficiente para evitar a evaporação, baixa o suficiente para evitar deficiência na combustão;
- não contém enxofre, compostos aromáticos ou olefínicos. De fato, quando comparados em iguais concentrações, os gases dos motores a álcool são muito menos prejudiciais à saúde de animais (e, presume-se, à das pessoas) do que os da gasolina;
- provém da cana-de-açúcar, que por ser uma planta reabsorve o CO₂ liberado durante a combustão;
- permite o uso de taxas de compressão maiores, resultando em melhor eficiência do motor;
- pode ser facilmente vaporizado de maneira controlada, em virtude de sua temperatura única de ebulição, utilizando-se os gases de escape do motor ou até mesmo sua água de resfriamento;

- permite a operação, quando vaporizado, com misturas pobres em qualquer regime do motor, chegando a trabalhar com 80% de excesso de ar (em contraste com a gasolina, que tem limite em torno de 10% e frequentemente trabalha com mistura rica).

Antes do etanol

A partir de 1922, começou a ser misturado à gasolina um composto chamado chumbo tetraetila, um aditivo cuja fórmula $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ faz a octanagem da gasolina ser elevada, pois resiste a pressão sem que ocorra a detonação/pré-ignição.

Como nem todo o volume produzido de gasolina possui um índice de octanas elevado, passou-se a adicionar esse aditivo, tornando toda a gasolina utilizável em motores a explosão. O problema é que esse aditivo é tóxico e libera partículas de chumbo, que é um metal pesado, no ar.

A molécula de chumbo tetraetila é eficiente no aumento de octanagem não pelo átomo de chumbo, mas como fonte eficiente de grupos etila. As ligações carbono-chumbo são frágeis, e os quatro grupos etila separam-se da ligação com o chumbo, em razão da temperatura alcançada na câmara de combustão do motor. Eles, então, promovem a queima suave da gasolina por meio de reações em cadeia.

O chumbo envenena seres vivos e obstrui os catalisadores com o acúmulo de quilometragem. A partir de 1970, em todo o mundo começaram as discussões e o interesse na eliminação do combustível por causa das implicações que ele traz à saúde pública.

As mudanças ocorreram a partir da década de 1990. Em 1996, 80% de toda a gasolina vendida no mundo já estavam sem o chumbo tetraetila. A única exceção é a gasolina de aviação, utilizada em aeronaves propelidas a hélice, com motor a explosão, que continuam a utilizar o chumbo tetraetila como aditivo em razão das altas octanagens necessárias, maiores do que 100.

No Brasil, em 1992, o chumbo tetraetila já tinha sido totalmente eliminado da gasolina comercializada na utilização veicular. Em seu lugar foi utilizado o álcool etílico anidro, na proporção de 20 a 25%, que proporciona à gasolina as mesmas

características de aumento de octanagem obtidas com o chumbo. A Figura 4 ilustra uma molécula de chumbo de tetraetila.

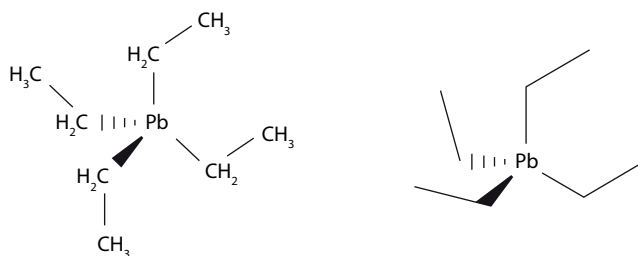
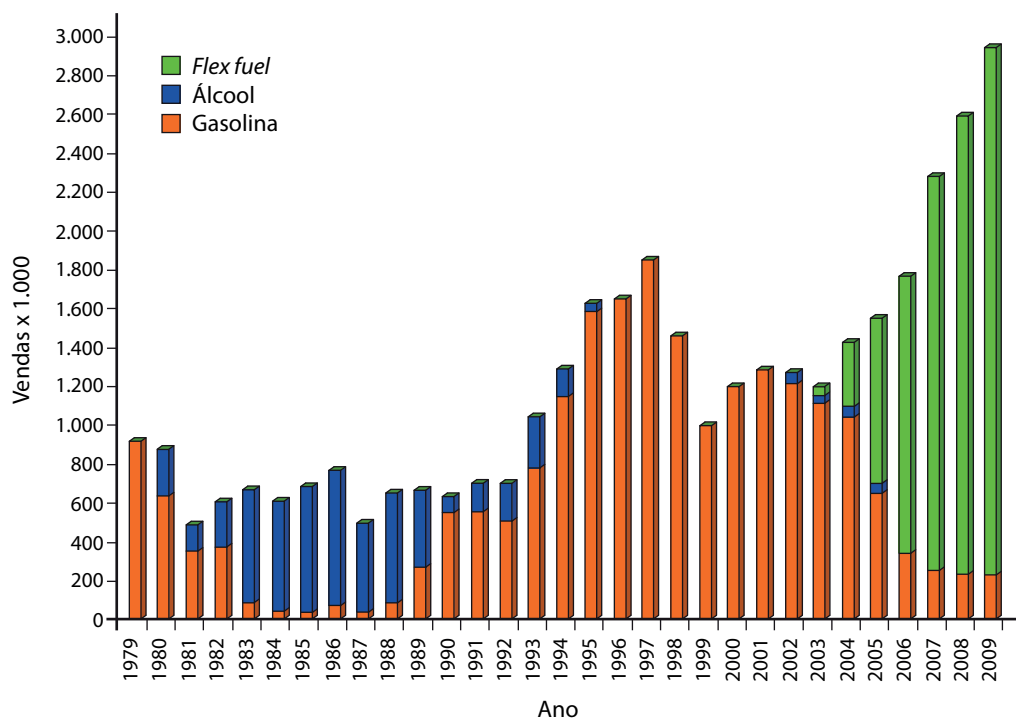


Figura 4 – Molécula de chumbo de tetraetila.

Etanol combustível no Brasil

O Gráfico 1 apresenta as vendas de carro no Brasil pelo tipo de combustível entre os períodos de 1979 e 2009.



Ivan Sardella

Gráfico 1 – Vendas de carro no Brasil pelo tipo de combustível entre os períodos de 1979 e 2009.

Cronologia do etanol

O álcool começou a ser adicionado na gasolina a partir do lançamento do programa Pró-Álcool, em 1975. A partir desta data, tem-se a seguinte cronologia do etanol:

- de 1975 até 1993: as porcentagens variaram de 10% a 24%;
- 1993: a porcentagem de etanol anidro foi fixada de 20% a 24%, mais ou menos 1% em volume (Lei n. 8.723);
- 1979: lançamento do primeiro motor a álcool;
- 1989: redução dos subsídios na venda de veículos com motor a álcool, aumento dos preços do álcool e falta de álcool nos postos de abastecimento.
- 2003: lançamento tecnologia *flex fuel*.

Propriedades dos combustíveis

Como visto anteriormente, os dois combustíveis descritos são obtidos de fontes diferentes e apresentam características diferentes. A seguir, são apresentadas algumas propriedades que diferenciam esses combustíveis.

Poder calorífico

Define-se como a quantidade de energia interna contida no combustível, sendo que, quanto mais alto for o poder calorífico, maior será a energia liberada na sua queima.

O poder calorífico do álcool é de 29 KJ/g, e o poder calorífico da gasolina é de 44 KJ/g.

Relação estequiométrica (ar/combustível)

A relação de ar/combustível é o número de partes de ar misturado a uma parte de combustível, medida em peso. É chamada de razão ar-combustível AC (em

inglês usa-se AF, *air-fuel*) a razão entre a massa de ar e a massa de combustível contida na mistura. Costuma-se definir o lambda (λ) da mistura como a razão entre a mistura ar-combustível real e a mistura ar-combustível estequiométrica, que define o tipo de mistura admitida. Se por algum motivo a razão ideal não for atingida, resultará em uma queima incompleta, fazendo o motor ter uma perda de rendimento, além de jogar fora, pelo escapamento, uma parte da mistura que poderia ser queimada. O cálculo do λ é feito a partir da seguinte fórmula:

$$\lambda = \frac{AC_{\text{real}}}{AC_e}$$

Onde:

λ = razão entre mistura ar-combustível;

AC_{real} = mistura ar-combustível encontrada;

AC_e = mistura ar-combustível estequiométrica (ideal).

A seguir é apresentada a relação estequiométrica de alguns combustíveis:

- gasolina pura: 14,7:1 (14,7 partes de ar para 1 parte de combustível) em massa;
- etanol E-100: 9:1 (9 partes de ar para cada parte de combustível) em massa;
- gasolina E-23: 13,2:1 (13,2 partes de ar para 1 parte de combustível) em massa.

Tipos de mistura ar-combustível

Mistura pobre

A mistura pobre tem maior quantidade de ar para reagir com o combustível na câmara de combustão ($\lambda > 1$). Suas características são:

- menor velocidade de queima;
- aumento da temperatura geral;
- menor emissão de poluentes.

Mistura rica

A mistura rica tem menor quantidade de ar para reagir com o combustível na câmara de combustão ($\lambda < 1$) e apresenta as seguintes características:

- velocidade de queima aumentada;
- maior formação de resíduos na câmara;
- maior emissão de poluentes.

Mistura estequiométrica

A mistura estequiométrica é a proporção equilibrada entre ar e combustível para reagir na câmara de combustão ($\lambda = 1$).

SAIBA MAIS

O calor específico menor do álcool e sua relação estequiométrica explicam por que o motor a álcool tem maior consumo.

Ponto de fulgor

Uma explosão é uma reação em cadeia. Quando uma molécula de combustível reage com o oxigênio presente no ar, ela gera energia, que faz com que a molécula vizinha também reaja, e por aí vai. O ponto de fulgor é a temperatura a partir da qual pode haver uma quantidade suficiente de combustível vaporizado, a ponto de gerar uma reação em cadeia.

O ponto de fulgor do etanol é 13°C, isso significa que não é possível haver combustão do etanol abaixo dessa temperatura. Isso explica por que é necessário usar gasolina para a partida a frio em motores a etanol em temperaturas baixas. O ponto de fulgor da gasolina pura é de aproximadamente -40°C.

Calor de vaporização

O álcool tem um calor de vaporização de 0,744 MJ/l, enquanto a gasolina tem 0,325MJ/l. Isso quer dizer que o álcool necessita de mais do que o dobro de ener-

gia para se vaporizar. O combustível é pulverizado pelo bico injetor, facilitando sua mistura com o ar. Com o aquecimento da compressão, a vaporização se torna mais eficiente e a mistura se torna mais uniforme. Em outras palavras, o etanol necessita de mais calor para vaporizar, por isso a temperatura do motor, quando trabalha com etanol, tem que ser maior do que quando trabalha com gasolina. A Tabela 1, a seguir, compara as características da gasolina e do álcool.

Tabela 1 – Características da gasolina e do álcool

	Gasolina	Álcool (etanol)
Poder calorífico (kJ/g)	44	29
Relação ar/combustível (A/F)	13,2:1	9,0:1
Índice de octanagem	87,0	110 (equivalente)
Pressão de vapor (psi)	8-15	2,3
Ponto de ebulição (°C)	35-210	78
Ponto de fulgor (°C)	-40	13*
Calor de vaporização (MJ/l)	0,325	0,744
* Isso significa que não é possível haver combustão do etanol abaixo de 13°C, e explica por que é necessária a gasolina para a partida a frio ou aquecimento do etanol durante a partida a frio.		

Taxa de compressão

A taxa de compressão é a relação entre o volume de um dos cilindros do motor com seu pistão no ponto morto inferior e o volume da câmara de combustão correspondente (volume do cilindro com o pistão no ponto morto superior, ou seja, totalmente “em cima”), e indica quantas vezes o volume de mistura é comprimido antes de ocorrer a centelha da vela de ignição. Assim uma taxa de compressão de 9:1, por exemplo, indica que a mistura é comprimida nove vezes.

A Figura 5 ilustra o mecanismo da taxa de compressão.

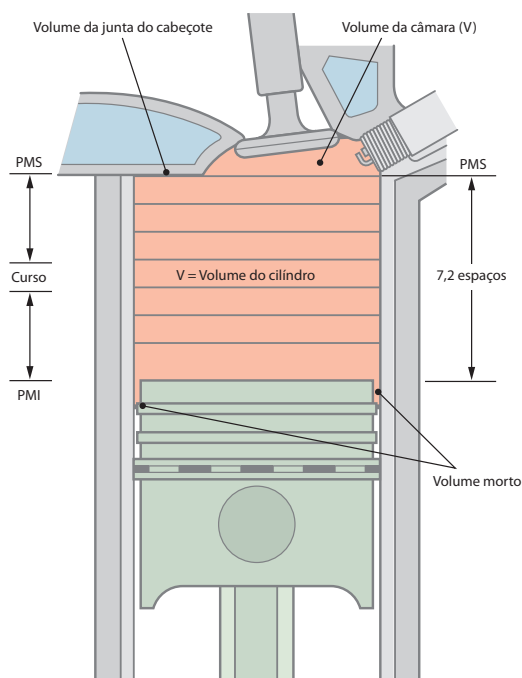


Figura 5 – Taxa de compressão.

A taxa de compressão deve ser adequada ao combustível utilizado, pois a mistura, quando comprimida, se aquece, e uma compressão excessiva poderá levar a temperatura da mistura a níveis que provocarão a detonação espontânea.

A taxa de compressão utilizada para motores que trabalham com um único combustível é de 14:1 para o álcool e de 9,5:1 para gasolina.

Diferença das taxas

A seguir, são apresentadas as características das taxas de compressão elevada, baixa e intermediária.

Taxa de compressão elevada

Otimiza o funcionamento a álcool, porém, existe a tendência à detonação com funcionamento a gasolina. Para evitá-la, é necessário trabalhar com a ignição da mistura muito atrasada, elevando as temperaturas de escape. Dessa maneira,

torna-se necessário enriquecer muito a mistura em regimes de carga para resfriar a câmara, aumentando assim o consumo específico e diminuindo o rendimento termodinâmico.

Taxa de compressão baixa

Otimiza funcionamento a gasolina, penalizando excessivamente o seu rendimento com maiores porcentagens de álcool ou álcool puro. Parte dessa perda pode ser recuperada por meio de um aumento no avanço de ignição.

Taxa de compressão intermediária

Traz melhor compromisso para todas as misturas de combustíveis, não alcançando o mesmo nível de rendimento das taxas de compressão dedicadas aos “extremos” de mistura.

Detonação

O fenômeno da detonação também é chamado de **autoignição**, **batida de pino** ou **motor grilando**. Para entender melhor esse fenômeno, é necessário analisar o processo de combustão no interior do cilindro.

Em uma combustão normal, quando o pistão está prestes a chegar ao ponto morto superior, ocorre a emissão da centelha que provoca a queima do combustível progressivamente através de uma frente de chama. Essa frente de chama deve queimar todo o combustível admitido, ocorrendo, desse modo, a combustão.

Para a combustão ocorrer de maneira ordenada no interior do cilindro, é necessário que:

- a octanagem do combustível esteja dentro do especificado;
- a temperatura do motor esteja dentro do especificado;
- a taxa de compressão seja correta.

Quando quaisquer uns desses fatores estiverem fora dos parâmetros, a combustão pode ocorrer de maneira desordenada e, assim, provocar a detonação.

A detonação geralmente ocorre nas extremidades dos pistões e pode ser comparada a uma explosão ou combustão sem controle. Ela ocorre quando a frente de chama começa o processo de queima do combustível e não consegue queimar todo o combustível admitido. O aumento de pressão no interior do cilindro provoca a autoignição das últimas partículas de combustível que não foram queimadas pelo processo de combustão.

A detonação provoca um ruído metálico característico, semelhante à batida de dois pinos. Muitas pessoas fazem o diagnóstico incorreto da detonação, pois acreditam que o barulho metálico seja decorrente de uma folga nos pinos dos pistões ou mesmo que a saia do pistão esteja batendo.

Os fatores que causam a detonação são:

- taxa de compressão;
- temperatura;
- turbulência da mistura ar/combustível;
- avanço de ignição;
- qualidade do combustível.

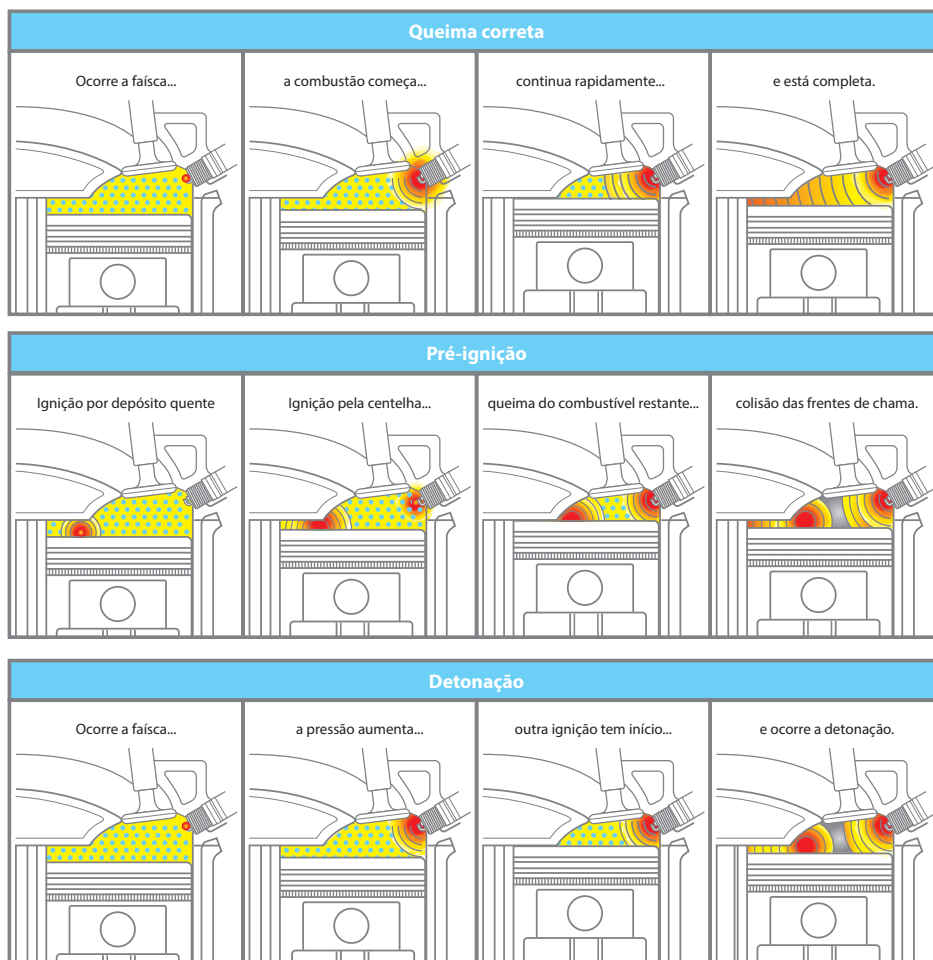
Pré-ignição

A pré-ignição é a combustão que ocorre antes da centelha, por causa de alguma fonte de calor não desejada. A excessiva temperatura do motor e a carbonização são fatores que influenciam na pré-ignição.

A detonação apresenta ruído característico, enquanto a pré-ignição não apresenta ruído algum e, por isso, não alerta o motorista da existência do fenômeno. Ambos os casos provocam perda de potência e dirigibilidade.

Queima correta, pré-ignição e detonação

Para melhor fixação dos conceitos, é apresentada na Figura 6, a seguir, uma comparação entre as três situações que podem ocorrer quando há queima de um combustível no motor: queima correta, pré-ignição e detonação.



Eduardo Teggia

Figura 6 – Comparação entre queima correta, detonação e pré-ignição.

Boas práticas no abastecimento

Gasolina aditivada

Os veículos com muitos anos de uso apenas com gasolina comum normalmente apresentam grande quantidade de gomas nas paredes do tanque e linhas de combustível. Caso esses veículos recebam gasolina aditivada, é normal que a goma se desprenda das paredes e se acumule no filtro e nos bicos.

Para reduzir esse problema, quem nunca usou gasolina aditivada ou quem não a usa há muitos anos em seus veículos pode passar a usá-la gradativamente, misturando gasolina aditivada com gasolina comum no tanque em proporções crescentes. Mesmo assim é normal que o processo de limpeza acarrete entupimento do filtro de combustível que, nesse caso, terá de que ser substituído.

Veículos *flex* que são usados apenas com álcool (etanol) também podem apresentar formação de depósitos nas válvulas de admissão. Para esses veículos também se recomenda o uso de pelo menos um tanque de gasolina aditivada a cada 5 mil quilômetros.

Etanol

O álcool (ou etanol) usado como combustível para os veículos *flex fuel* ou dedicados a álcool no Brasil é hidratado, ou seja, contém certa quantidade de água. A quantidade de água correta é entre 5% e 6% em volume.

O etanol anidro (que não contém água) também é produzido nas destilarias de álcool, mas é destinado apenas à mistura com gasolina. Para evitar que ele seja usado da maneira errada (diretamente nos carros *flex*), é feita a adição de um corante laranja. Desse modo, aqueles têm esse tipo de veículo nunca devem aceitar que o carro seja abastecido com etanol cor de laranja, pois o etanol deve ser sempre incolor.

Como a gasolina, no Brasil, deve conter entre 20% e 25% de etanol anidro, conforme informado anteriormente, deve-se ter o hábito de verificar sempre se o álcool que será abastecido está dentro dos limites de densidade. Toda bomba de abastecimento de etanol possui um densímetro que deve estar calibrado e disponível para o usuário. A densidade correta indica que a quantidade de água no álcool está dentro do especificado.

9. Poluição e meio ambiente

Classificação dos poluentes

Principais poluentes do ar e efeitos à saúde

Poluentes emitidos pelos automóveis

Medidas de controle da poluição automotiva

De maneira simples, define-se meio ambiente como **tudo aquilo que nos cerca**, o que engloba os elementos da natureza, como a fauna, a flora, o ar, a água e os seres humanos.

O ar é um elemento essencial para a vida dos seres vivos, desde seres microscópicos a plantas e animais. Por meio da respiração, os seres vivos retiram oxigênio do ar e a ele devolvem o gás carbônico. As plantas verdes produzem uma transformação inversa: absorvem o gás carbônico e devolvem o oxigênio para a atmosfera através da fotossíntese, o que garante o equilíbrio natural entre as quantidades de oxigênio e de gás carbônico na atmosfera.

Esse equilíbrio tem sido ameaçado por uma das principais conquistas do homem: o domínio sobre o fogo. Quando aprendeu a produzir e a controlar o fogo, o homem pôde cozinhar alimentos, aquecer-se no frio e, aos poucos, foi capaz de criar as mais diversas máquinas movidas, primeiro, a vapor e, depois, a combustível derivado do petróleo.

Entretanto, a combustão não produz apenas calor. Em toda queima há produção de gases, principalmente de gás carbônico. E aí começam os problemas: o gás carbônico, por causa da atividade humana, começou a ser produzido em quantidades cada vez maiores, causando um aumento da temperatura geral da Terra.

A queima de derivados de petróleo – como gasolina e óleo diesel – e de resíduos industriais, domésticos e hospitalares tem também levado outros gases para a atmosfera. Muitos desses gases, como os óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e o monóxido de carbono são prejudiciais à saúde.

Ao longo da história ocorreram períodos de poluição muito fortes nos Estados Unidos (1918), na Bélgica (1930), na Inglaterra (1952, 1956, 1957 e 1962). Nesses períodos, constatou-se uma taxa de mortalidade muito maior em relação a outros países, em decorrência do número superior de doenças do aparelho respiratório.

A questão da poluição preocupa a humanidade desde o fim dos anos 1940, após o aparecimento das armas atômicas e suas primeiras consequências catastróficas. A evolução econômica do pós-guerra, o aumento da industrialização, o grande crescimento da utilização de combustíveis fósseis pelos meios de transportes, o uso indiscriminado de defensivos agrícolas, como o DDT (diclorodifeniltricloroetano), provocaram graves alterações ambientais com sérios danos ao meio ambiente e à saúde dos seres vivos.

A década de 1960 é marcada pelo início do aparecimento dos primeiros efeitos maléficos em grande escala e da falta de respeito do homem para com o meio ambiente. Foi nessa época que as grandes cidades americanas e europeias começaram a sentir os efeitos da poluição do ar, por causa, principalmente, dos automóveis. Nessa mesma época, surgiram os primeiros movimentos de atuação mais marcantes de preservação do meio ambiente, o que deu início a um árduo trabalho de conscientização.

Desde a sua invenção, o automóvel foi responsável por grandes alterações na sociedade, ao reduzir distâncias, aproximar pessoas, aumentar as possibilidades de empregos diretos e muito mais indiretos etc. No entanto, trouxe também uma série de inconvenientes, como a poluição do meio ambiente. A poluição é essencialmente produzida pelo homem. Os dois fatores contemporâneos que podem explicar claramente os atuais índices de poluição são os processos de industrialização e a consequente urbanização da humanidade.

Os agentes poluentes são os mais variáveis possíveis e são capazes de alterar a água, o solo, o ar etc. Assim, poluição é definida como a **degradação da qualidade ambiental**, resultante de atividades que, direta ou indiretamente:

- prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- afetem desfavoravelmente a biota (conjunto de seres vivos de um ecossistema);
- afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Esse conceito de poluição está presente na Lei n. 6.938, de 31/8/1981, que trata da Política Nacional de Meio Ambiente. Quando a poluição de um recurso resulta em prejuízos à saúde do ser humano, diz-se que há contaminação. Isso ocorre como resultado de processos poluidores que lançam no ambiente substâncias tóxicas que causam prejuízos aos organismos. Os efeitos da poluição são hoje tão amplos que já existem inúmeras organizações de defesa do meio ambiente.

Classificação dos poluentes

Os poluentes são classificados de acordo com sua origem, seu estado e sua composição química.

Classificação de acordo com a origem

Poluentes primários

Estão presentes na atmosfera na forma em que são emitidos diretamente das fontes emissoras, como resultado de algum processo. Os principais poluentes dessa categoria são sólidos, líquidos ou gasosos, ou até mesmo radiações. São exemplos de poluentes primários: partículas finas, partículas grosseiras, compostos de nitrogênio, óxidos de carbono (monóxido e dióxido de carbono), compostos de enxofre (dióxido de enxofre, gás sulfídrico etc.), compostos halogenados, compostos orgânicos e compostos radioativos.

Poluentes secundários

São formados na atmosfera pela reação química entre dois ou mais poluentes primários, ou pela reação com constituintes normais atmosféricos, com ou sem fotoativação. Os oxidantes são exemplos de poluentes secundários. O dióxido de enxofre (SO_2 , proveniente de atividades industriais, como combustão de óleos, operações de fusão e usinas de natureza tipicamente química, e de veículos automotores) dá origem ao gás sulfúrico (H_2S), pela ação do oxigênio natural do ar (catalisado pela energia solar) ou do ozônio (derivado do oxigênio natural por ocasião de descargas elétricas atmosféricas ou também a partir de poluentes

primários como hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio). Em névoas ácidas, o SO_3 reage com o vapor d'água existente no ar, formando, assim, neblina de ácido sulfúrico, conhecida como *smog*.

Classificação de acordo com o estado

Gases e vapores

São exemplos: CO , CO_2 , SO_2 e NO_2 .

Partículas sólidas e líquidas

São exemplos: poeiras, fumos, névoas e fumaças.

Classificação de acordo com a composição química

Poluentes orgânicos

São exemplos: hidrocarbonetos, aldeídos e cetonas.

Poluentes inorgânicos

São exemplos: H_2S , HF e NH_3 .

A massa de poluentes do ar é instável, química e fisicamente, e as reações que ocorrem são dependentes das concentrações dos poluentes no ar e das variáveis meteorológicas que determinam maior ou menor concentração de poluentes. A variedade das substâncias que podem ser encontradas na atmosfera é muito grande, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação.

Principais poluentes do ar e efeitos à saúde

A poluição do ar atinge diretamente a saúde do homem de duas maneiras distintas, seja pelo agravamento do aparelho respiratório e circulatório, seja pela

transmissão de doenças através de micro-organismos que são levados pelo ar. As doenças como asma, bronquite, enfisema, câncer pulmonar, enfarte do miocárdio e arteriosclerose são as mais comuns do aparelho circulatório e respiratório. Já a gripe, resfriado, a tuberculose e difteria são doenças mais comuns causadas por micro-organismos.

Os efeitos da poluição do ar são classificados de seguinte maneira:

- **Efeitos agudos:** são quando os níveis de poluição ultrapassam os níveis regulares. São efeitos temporários, que em geral são reversíveis e ocorrem quando há condições climáticas adversas. Causam irritação nos olhos, tosse e podem até provocar efeitos graves e levar à morte.
- **Efeitos crônicos:** esses efeitos são de caráter permanente e podem causar prejuízo à visibilidade, danos à vegetação e à saúde dos seres humanos, causando incômodos e desconforto. A maior parte das doenças respiratórias são provocadas por presença de material particulado e de alguns gases, como dióxido de enxofre, monóxido de carbono e algumas substâncias organocloradas.

O Quadro 1, a seguir, descreve os principais poluentes, suas principais fontes e os danos que causam à saúde.

Quadro 1 – Poluentes: fontes e efeitos nocivos à saúde

Poluente	Principal fonte	O que causa
(NO) monóxido de nitrogênio e (NO ₂) dióxido de nitrogênio	Formados durante processo de combustão	O NO ₂ causa problemas respiratórios, irritação da mucosa e intoxicação. Por sua baixa solubilidade, o NO ₂ é capaz de penetrar profundamente no sistema respiratório e dar origem às nitrosaminas, algumas das quais podem ser carcinogênicas. O NO ₂ é também um poderoso irritante e pode provocar sintomas que lembram os do enfisema.
	Escape dos veículos motorizados	
	Centrais termoeletricas	
	Fábricas de fertilizantes, de explosivos ou de ácido nítrico	
	O NO, sob ação de luz solar, se transforma em NO ₂ e tem papel importante na formação de oxidantes fotoquímicos como o ozônio.	

(continua)

Poluente	Principal fonte	O que causa
(SO ₂) dióxido de enxofre	Atividades naturais	Irritação nas vias respiratórias, o que provoca tosse e até falta de ar, agravando os sintomas da asma e da bronquite crônica. Afeta ainda outros órgãos sensoriais, causa irritação nos olhos e problemas cardiovasculares. Pode provocar a morte de plantas.
	Queima de combustíveis de petróleo que contêm enxofre, como óleo diesel, óleo combustível industrial e gasolina ou carvão mineral.	
	Centrais termoeletricas	
	Processos industriais	
	Fábricas de ácido sulfúrico	
	Esse poluente pode ser oxidado, originando ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄). É um dos responsáveis pela chuva ácida.	
(HC) hidrocarbonetos	São compostos formados exclusivamente por átomos de carbono e hidrogênio. Os gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos voláteis.	Diversos hidrocarbonetos como o benzeno são cancerígenos e mutagênicos. Não há uma concentração ambiente totalmente segura.
	O petróleo é constituído principalmente de HC e seus derivados como gás de cozinha, gasolina, querosene e óleo diesel.	
Partículas em suspensão	Escape dos veículos motorizados	Problemas respiratórios, irritação nos olhos e doenças cardiovasculares. Partículas inaláveis (PI): aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10 µm. Podem ser classificadas como partículas inaláveis finas – MP 2,5 (< 2,5 µm) e partículas inaláveis grossas (2,5 a 10 µm). As partículas finas, por seu tamanho diminuto, podem atingir os alvéolos pulmonares. Já as grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório. É um material perigoso quando depositado em qualquer lugar do trato respiratório.
	Processos industriais	
	Centrais termoeletricas	
	Reação dos gases poluentes na atmosfera	

(continua)

Poluente	Principal fonte	O que causa
(CO) monóxido de carbono, gás incolor e inodoro	Forma-se no processo de combustão, em que há pouco oxigênio para a queima completa dos combustíveis de origem orgânica, combustíveis fósseis, biomassa etc.	O excesso de monóxido de carbono no ar provoca de sonolência, diminuição dos reflexos, desmaios, sensação de confusão, cefaleia e vertigens a doenças respiratórias. Em alta concentração, pode causar toxicidade grave no sistema nervoso central e cardiovascular e mesmo morte por asfixia. (Diminuição da capacidade de transporte de oxigênio pelo sangue. O CO apresenta afinidade pela hemoglobina 240 vezes maior que a do oxigênio, o que faz uma pequena quantidade de CO poder saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina, diminuindo a capacidade do sangue em transportar o oxigênio aos tecidos. Também pode se combinar com a mioglobina e com proteínas mitocondriais. Finalmente, a diminuição da disponibilidade de oxigênio pode causar a hipoxia.)
	Escape dos veículos motorizados	
	Alguns processos industriais	Na exposição prolongada: aumento do volume do baço, hemorragias, náuseas, diarreias, pneumonia, perda de memória e outros males.
	Fumaça de cigarro	
Pb (chumbo)	Escape dos veículos motorizados (gasolina com chumbo)	Efeito tóxico acumulativo.
	Incineração de resíduos	Anemia e destruição de tecido cerebral.
O ₃ (ozônio) e oxidantes fotoquímicos		Irritação nos olhos.
	Gases formados na atmosfera, mais próximos da superfície da terra (troposfera), em razão da reação de óxidos de azoto, hidrocarbonetos e luz solar.	Problemas respiratórios (reação inflamatória das vias aéreas). O ozônio troposférico é prejudicial à saúde humana, assim como à vegetação e a outros animais. O ozônio troposférico causa ozonização e peroxidação dos lipídeos no líquido do revestimento epitelial do pulmão

Poluentes emitidos pelos automóveis

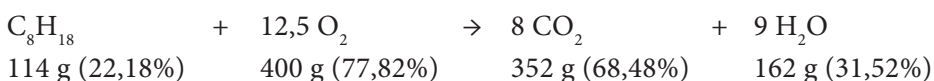
Processo de combustão

Em um motor de combustão interna, a combustão acontece na fração de um segundo. Nesse momento, as ligações entre os átomos de hidrogênio e de carbono são quebradas. A quebra da ligação libera a energia dentro da câmara de combustão, forçando o pistão para baixo e fazendo a árvore de manivelas girar.

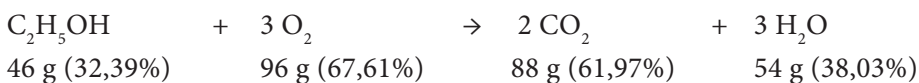
Uma vez que os átomos de hidrogênio e de carbono estão separados, ambos se associam aos átomos de oxigênio no ar. Os átomos de hidrogênio combinam-se com o oxigênio para formar água. Os átomos de carbono combinam-se com oxigênio para formar dióxido de carbono.

Em termos químicos, a combustão em um motor de combustão interna aconteceria da maneira apresentada a seguir.

- Para a gasolina:



- Para o etanol:



Um motor de combustão interna perfeitamente eficiente emitiria somente água e dióxido de carbono, como na fórmula química acima. Isso significaria que todos os hidrocarbonetos seriam separados durante a combustão. Infelizmente, este não é o caso.

A combustão ineficiente é a causa principal dos altos níveis de gases tóxicos em emissões de automóveis. A combustão mais eficiente produz menor quantidade de emissões tóxicas. Como não é possível manter essas condições, é utilizado um sistema que ajuda a queimar todos os componentes que seriam liberados para a atmosfera pelo sistema de escapamento.

Emissões totais em um veículo leve (Figura 1)

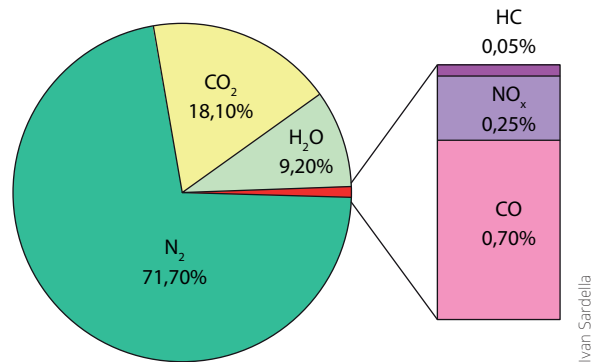


Figura 1 – Emissões totais em um veículo leve.

Propriedades dos poluentes primários

CO (monóxido de carbono)

- formado por combustão incompleta;
- inodoro e incolor;
- diminui a capacidade de absorção do oxigênio do sangue.

HC (hidrocarbonetos)

- formam-se principalmente por combustíveis não queimados;
- formam-se também da evaporação de combustíveis;
- podem ser o resultado de reações químicas paralelas durante a combustão;
- alguns são inodoros;
- a maior parte, em determinadas quantias e/ou exposição, é cancerígena;
- parcialmente oxidados (principalmente aldeídos) têm odor desagradável e decompõem-se sob a ação do sol, formando compostos cancerígenos.

NO_x – Óxidos de nitrogênio (NO , NO_2 , N_2O)

- formam-se em decorrência dos processos de combustão;
- em altas temperaturas o nitrogênio reage com o oxigênio;
- NO é incolor e inodoro, e, na atmosfera, transforma-se lentamente em NO_2 ;
- NO_2 em sua forma pura é marrom avermelhado e tem odor penetrante e tóxico;
- provocam irritações da mucosa, dependendo da concentração.

SO_2 (dióxido de enxofre)

- o teor é relativamente baixo graças à diminuição do teor de enxofre nos combustíveis;
- não pode ser reduzido no catalisador;
- diminui a eficiência e a vida útil do catalisador.

Formação dos gases de escape

CO e HC

- formam-se principalmente em razão de queimas incompletas;
- ocorrem também por causa da evaporação do combustível do reservatório (emissões evaporativas).

Os fatores agravantes do CO e do HC são:

- baixas temperaturas;
- misturas ricas;
- má formação de mistura (focos de combustível com difícil acesso ao ar);
- má pulverização;
- coletores de admissão longos;
- atraso no ponto de ignição;
- falhas de combustão;
- formato da câmara;
- posição da vela de ignição.

Os fatores atenuantes do CO e do HC são:

- misturas pobres (motores mais econômicos);
- câmara mais quente;
- grandes avanços;
- alta taxa de compressão.

NO_x

Os fatores agravantes do NO_x são:

- altas temperaturas;
- misturas pobres (sobra de O₂ para reagir com N₂);
- avanço no ponto de ignição;
- altas taxas de compressão.

Medidas de controle da poluição automotiva

A necessidade de criar um programa nacional que contemplasse as emissões atmosféricas de origem veicular começou a tomar corpo no início dos anos 1980, com a constatação de que a grave poluição ambiental verificada nos grandes centros urbanos era causada predominantemente pelos poluentes atmosféricos gerados na queima de combustíveis em veículos automotores.

Com o objetivo de viabilizar um programa de controle de emissões veiculares que fosse tecnicamente factível e economicamente viável, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) criou, em 1986, o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve). Esse programa foi bem-aceito e elogiado por todos os segmentos envolvidos, considerado, até internacionalmente, como um dos mais bem elaborados para o controle de emissão em fontes móveis.

O Proconve tem como objetivos a redução dos níveis de emissão de poluentes nos veículos automotores e o incentivo ao desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automotiva como em métodos e equipamentos para a realização de ensaios e medições de poluentes.

Os limites máximos de emissão de poluentes foram fixados, com um cronograma específico para três categorias distintas de veículos, a saber: veículo leve de passageiros (automóveis); veículo leve comercial (*pick-up*, van, utilitários etc.) e veículo pesado (ônibus e caminhões). Para o cumprimento desses limites, é necessária a aplicação de tecnologias e sistemas que otimizem o funcionamento dos motores, para proporcionar uma queima perfeita de combustível e consequente diminuição das emissões, bem como do consumo de combustível. Na fase implantada em 1992, a utilização de catalisadores se fez necessária.

Para serem comercializados no Brasil, todos os modelos de veículos automotores, nacionais ou importados, necessitam da Licença para Uso da Configuração do Veículo ou Motor (LCVM), emitida pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama).

Até então, todos os controles aplicados foram direcionados aos fabricantes e importadores. Chegou, então, o momento de todos os proprietários de veículos darem sua contribuição direta, fazendo a correta manutenção de seus veículos conforme recomendam os fabricantes.

Nesse sentido, o Conama definiu as diretrizes gerais para a implantação dos Programas de Inspeção e Manutenção quanto aos aspectos de emissão de poluentes e ruído de veículos em uso. O novo Código de Trânsito Brasileiro condiciona o licenciamento anual de veículo à aprovação nesses programas. Os programas de inspeção e manutenção devem ser implantados e gerenciados pelos órgãos estaduais de meio ambiente em conjunto com seus municípios, de acordo com as necessidades e possibilidades de cada um.

Resultados alcançados

A melhoria do parque industrial nacional voltado para o controle de emissões de poluentes veiculares é hoje uma realidade: instalação de linhas de produção de sistemas de injeção de combustível, de conversores catalíticos, de sistemas de absorção de vapores de combustível, de equipamentos de medição, instalação de vários laboratórios de emissão, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias são alguns exemplos dessa evolução.

A melhoria da qualidade dos combustíveis brasileiros também está sendo perseguida pelo Proconve que, em parceria com a Petrobras e Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), vem conseguindo resultados expressivos, como a retirada do chumbo da gasolina, a adição de álcool à gasolina, a redução gradativa do teor de enxofre do óleo diesel.

Os resultados práticos e positivos alcançados até agora podem ser vistos na redução de até 96% dos índices de emissão de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO_x) e de aldeídos (CHO) por veículos leves.

Parte 4 – Motor Rocam *flex* e dispositivos para redução de emissão de poluentes

10. Motor Rocam *flex*

Prioridades no desenvolvimento

Os motores Rocam *flex* foram desenvolvidos com a mais alta tecnologia e com a preocupação em manter um alto padrão de qualidade. Esses motores foram utilizados nas linhas Fiesta, EcoSport, Ka, Courier e Focus. O uso de combustíveis com características diferentes e a utilização de álcool na maior parte do tempo foram as prioridades no desenvolvimento desse projeto.

Em vista dessas prioridades, a engenharia da Ford desenvolveu o motor com base em três pontos principais: taxa de compressão, controle eletrônico da temperatura do motor e alta qualidade Rocam.

Esses fatores tornaram o motor Rocam *flex* mais robusto e com maior desempenho, proporcionando maior economia, desempenho e robustez. A Figura 1 apresenta um motor Rocam *flex*.



Figura 1 – Motor Rocam *flex*.

Prioridades no desenvolvimento

As prioridades no desenvolvimento dos motores Rocam *flex* foram:

- combustíveis com características diferentes;
- maior parte do tempo usando somente álcool;
- maior durabilidade;
- taxas de compressão diferentes;
- manutenção das características do motor a gasolina.

A diferença dos veículos Fiesta e EcoSport com relação ao Focus com o motor Rocam *flex* está no gerenciamento eletrônico. Os veículos Fiesta, EcoSport, Ka e Courier têm o sistema Magneti Marelli de controle eletrônico; já a linha Focus utiliza o sistema Visteon.

Os dois sistemas apresentam a mesma estratégia de funcionamento, conforme será visto adiante.

11. Dispositivos para redução de emissões poluentes

Catalisador ou conversor catalítico

OBD BR

Controle de emissões evaporativas (Sistema EVAP)

Válvula EGR (*exhaust gases recirculation* – recirculação dos gases de escapamento)

Circuito de recirculação dos gases provenientes do cárter do motor (*blow-by*)

Catalisador ou conversor catalítico

Para evitar que os poluentes emitidos pelos automóveis cheguem à atmosfera e causem efeitos indesejados, foi fabricado um componente que facilita a reação desses gases nocivos com o oxigênio, diminuindo a contaminação ambiental. Esse componente chama-se **catalisador** ou **conversor catalítico**.

O catalisador permite a eliminação dos principais gases poluentes produzidos pelo motor. É feito de um revestimento em aço inoxidável, com o corpo em cerâmica, tipo colmeia, onde estão os metais nobres, responsáveis pela ação catalisante. Para veículos a gasolina são utilizados paládio e ródio; para veículos a álcool, são utilizados paládio e molibdênio. Os veículos bicom bustíveis (*flex fuel*) utilizam platina, paládio e ródio.

A função mais importante do catalisador é a transformação das substâncias nocivas produzidas pelos motores a gasolina, sobretudo **HC**, **CO** e **NO_x**, em substâncias inofensivas através da catálise positiva (Figura 1).

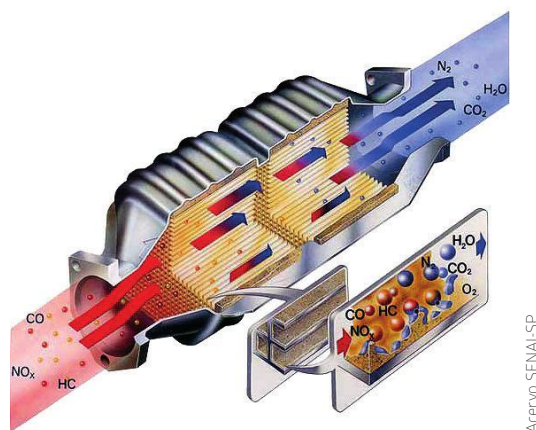


Figura 1 – Transformação de substâncias nocivas em substâncias inofensivas pelo catalisador.

No catalisador, ocorre uma série de reações químicas que convertem os gases resultantes da combustão em gases não nocivos. Os principais gases resultantes da combustão são: HC, CO e NO_x .

Em vários países, há legislações que regulamentam o limite máximo de emissões desses gases. No Brasil, os limites são: 0,05 g/Km para NM-HC, 0,12 g/Km para NO_x e 2 g/Km para CO.

Composição do catalisador

O catalisador é composto de substrato de material cerâmico. Esse substrato pode variar na densidade da célula (cpsi), na espessura da parede (polegada/1.000), no diâmetro (polegada) e no comprimento (polegada).

Ele também é composto de uma mistura de compostos químicos, listados a seguir:

- **metais preciosos:** platina, paládio e ródio, que aumentam a taxa de conversão dos gases;
- **óxido de alumínio:** aumenta a superfície de contato dos gases;
- **óxido de cério:** composto responsável pelo armazenamento de oxigênio;
- **óxido de zinco:** composto que proporciona resistência a altas temperaturas.

Monitoramento do catalisador

O monitoramento do catalisador tem como objetivo verificar sua eficiência de conversão por meio da comparação dos sinais entre os sensores de oxigênio antes (**HO2S/Hego**) e após (**CMS**) o catalisador.

A legislação relativa à OBD BR-2 determina que, quando o valor de emissões de NM-HC ultrapassa o valor de 0,3 g/Km, um catalisador é considerado ineficiente e a lâmpada de advertência do motor (LIM) deve se acender.

Quando a eficiência de conversão do catalisador é reduzida, o sensor de oxigênio após o catalisador possui um sinal semelhante ao sensor pré-catalisador, conforme exemplificado na Figura 2, a seguir.

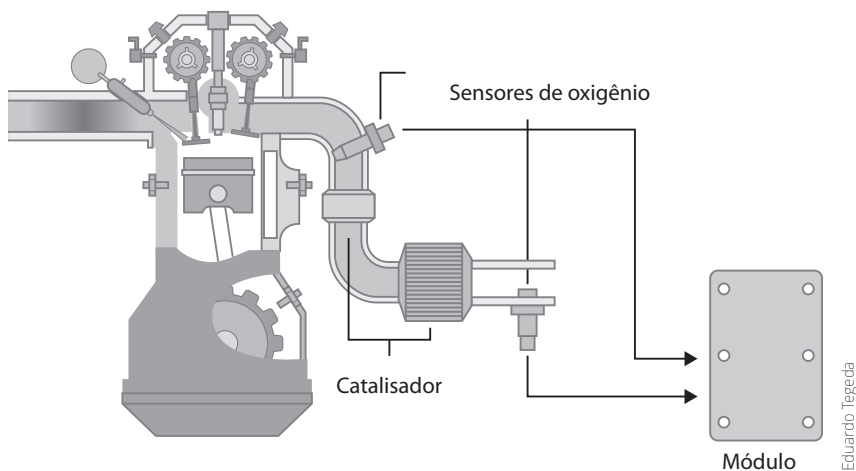


Figura 2 – Sinal do sensor de oxigênio após o catalisador.

No caso de um catalisador com baixa conversão dos gases, não ocorrem mudanças do sinal lido pelo sensor pós-catalisador. O índice de eficiência do catalisador é baixo, conforme ilustrado pela Figura 3, a seguir.

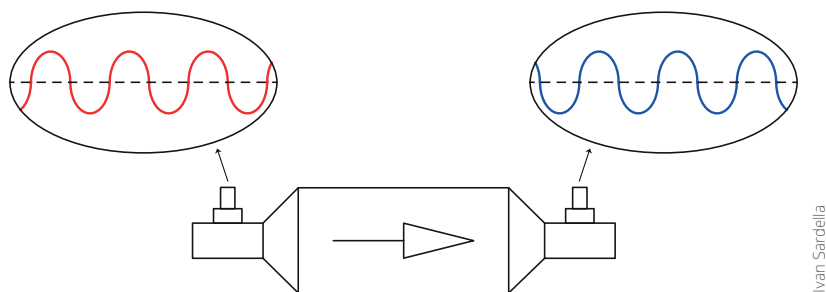


Figura 3 – Baixo índice de eficiência em catalisador com baixa conversão dos gases.

No caso de um catalisador com alta conversão dos gases, existe um “amortecimento” do sinal lido pelo sensor pós-catalisador. Nesse caso, o índice de eficiência do catalisador é alto, conforme a Figura 4, a seguir.

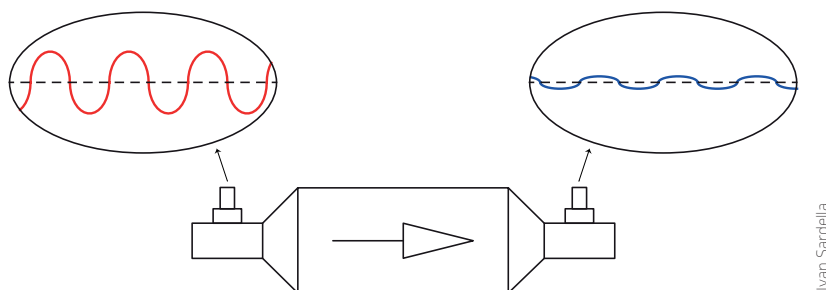


Figura 4 – Alto índice de eficiência em catalisador com alta conversão dos gases.

OBD BR

Com o objetivo de garantir que todos os veículos automotores estejam dentro dos limites de emissões vigentes no momento de sua fabricação, foram normalizadas ações que informam o motorista sobre o estado de funcionamento do sistema de controle de emissões.

A partir de 2006, os fabricantes de veículos instalados no Brasil foram obrigados a seguir as regras que já estavam sendo implementadas em outros países, como Estados Unidos, Europa, Japão etc.

O diagnóstico de bordo (OBD ou *on board diagnostic*) é uma ferramenta produzida a partir dessas regras, um sistema pelo qual o condutor do veículo, que talvez não entenda do funcionamento e da característica do sistema, é informado, por meio de uma lâmpada no painel (lâmpada LIM), que o veículo está com problemas e que deverá procurar ajuda técnica. Essa lâmpada está representada na Figura 5.

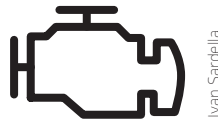


Figura 5 – OBD.

Algumas características do OBD são:

- Trata-se de um sistema embarcado de monitoramento em tempo real, integrado ao módulo de controle do motor (PCM).
- Monitora componentes (sensores e atuadores) e sistemas relacionados a emissões de poluentes durante o funcionamento do veículo.
- As falhas encontradas são indicadas ao condutor por meio da lâmpada indicadora de mau funcionamento (LIM). Essas falhas gerarão um *diagnostic trouble code* (DTC), que será enviado ao PCM e ajudará na análise dos problemas.

OBD BR-1

De acordo com a resolução do Conama n. 254 de 2004, a partir de 2007, 40% dos veículos produzidos no Brasil deveriam dispor do sistema OBD BR-1, em 2008, 70%, e em 2009 toda a frota produzida.

O OBD BR-1 monitora os seguintes sensores/atuadores no veículo:

- sensor MAP/MAF;
- sensor de posição do acelerador;
- sensor ECT;
- sensor Hego;
- sensor de velocidade do veículo;
- sensor CKP/CID;

- sistema EGR;
- detecção de falha na combustão;
- injetor de combustível;
- bobina de ignição;
- PCM;
- outros componentes relacionados à emissão de poluentes.

OBD BR-2

O OBD BR-2 foi introduzido em 2010 e utilizado em 60% do total da produção de carros no país. Em 2011, 100% da frota produzida já o utilizava.

Esse sistema monitora as mesmas funções do OBD BR-1. Além dessas funções, ele também monitora:

- a deteriorização do sensor Hego;
- a redução de eficiência do catalisador;
- qualquer falha de combustão que impacte emissões;
- qualquer falha de combustão que danifique o catalisador;
- a continuidade elétrica do sensor CMS (*catalyst monitor sensor*);
- a válvula de controle de purga do canister (não mandatório).

A principal mudança do OBD BR-2 no veículo foi a introdução do sensor CMS, que monitora se o catalisador está convertendo corretamente os gases que passaram por ele (Figura 6).

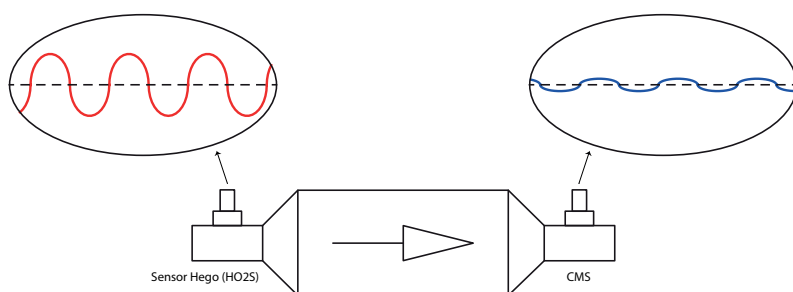


Figura 6 – OBD BR-2 com sensor CMS.

Benefícios do sistema OBD BR-2

Benefícios ao meio ambiente

O sistema OBD BR-2 alerta o usuário (por meio de uma luz de advertência no painel) quando há falhas em componentes ou sistemas do controle do motor que estejam causando aumento na emissão de poluentes pelo escapamento do veículo.

Benefícios para a manutenção

O sistema OBD BR-2 possui algoritmos avançados que possibilitam o diagnóstico mais preciso e rápido de falhas em componentes ou sistemas do controle do motor.

Durabilidade

Por alertar o usuário sobre falhas que muitas vezes poderiam passar despercebidas, o sistema OBD BR-2 possibilita menor intervalo entre a ocorrência da falha e seu reparo.

Estratégia da lâmpada LIM ligada/piscando

- **LIM ligada:** significa que o veículo tem uma falha confirmada que está aumentando as emissões de poluentes.
- **LIM piscando:** significa que o veículo tem uma falha confirmada que poderá danificar o catalisador de forma irreversível.

Nos motores Rocam, além dessa informação visual da lâmpada LIM, que informa ao condutor que ele deve procurar ajuda técnica, o módulo de controle do motor (PCM) restringirá algumas funções do motor, de acordo com o componente que apresenta falha, mantendo seu funcionamento e garantindo que o condutor prossiga até encontrar um lugar seguro com ajuda técnica.

Em caso de falha de alguns sensores/atuadores, haverá as limitações impostas pelo módulo indicadas no Quadro 1, a seguir.

Quadro 1 – Limitações impostas pelo módulo em caso de falha de sensores/atuadores

Componente	Sintoma (restrição imposta pelo módulo)
Sensor KS	<ul style="list-style-type: none"> • Atrasa o ponto de ignição; • limita a rotação em 4.500 rpm.
Sensor KS Sensor Hego	<ul style="list-style-type: none"> • Atrasa o ponto de ignição; • gera mapa de avanço do combustível no tanque; • limita a rotação em 4.000 rpm; • trava em 10 a relação ar/combustível e o mapa de avanço de E22 (gasolina) após reabastecimento.
Sensor KS Sensor Hego Bomba de combustível	<ul style="list-style-type: none"> • Atrasa o ponto de ignição; • gera mapa de avanço de E22 (gasolina); • limita a rotação em 4.000 rpm; • não muda a relação ar/combustível.
Sensor Hego	<ul style="list-style-type: none"> • Limita a rotação em 5.000 rpm; • funciona em malha aberta; • trava em 10 a relação ar/combustível.
Sensor Hego Bomba de combustível	<ul style="list-style-type: none"> • Limita a rotação em 5.000 rpm; • funciona em malha aberta; • bloqueia o aprendizado de combustível; • trava em 10 a relação ar/combustível.

Como explicado anteriormente, a lâmpada LIM só acende caso a falha ocorra em um dos sensores, atuadores ou componentes que fazem parte do protocolo que atendem as emissões. Qualquer outro tipo de falha ficará marcada através de DTC gravado na memória do PCM.

Controle de emissões evaporativas (Sistema EVAP)

Canister de EVAP

O canister de EVAP é um recipiente preenchido com carvão vegetal ativado, produzido a partir de carbono na forma de pó de carvão, que é ativado por oxigênio em um processo especial. Durante a ativação, poros se abrem entre os átomos de carbono (Figura 7). Isso torna o carvão altamente poroso, e sua área de superfície efetiva aumenta. Grandes quantidades de vapor de combustível podem ser depositadas nessa área de superfície efetiva.

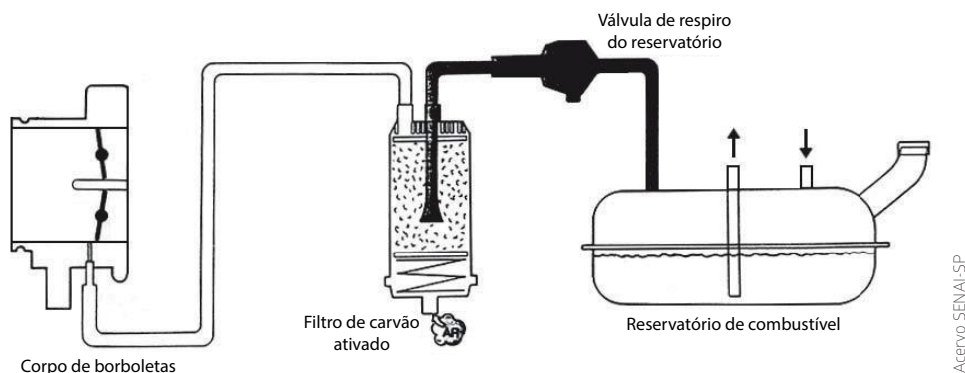


Figura 7 – Canister.

O canister de EVAP tem a função de absorver os hidrocarbonetos emitidos, em algumas situações, pelo reservatório de partida a frio em veículos bicomcombustíveis e pelo respiro do tanque de combustível, liberando-os para queima durante o funcionamento do motor através de válvulas mecânicas e eletromagnéticas.

Válvula solenoide de purga do canister (CAMP)

A alimentação positiva da válvula é constante e fornecida pelo relé da bomba via fusível. O PCM a excita com um sinal negativo pulsado de onda quadrada e período (duração do pulso) variável. Variando a duração dos pulsos, o PCM tem controle do tempo que a válvula permanece aberta e, por consequência, da quantia de vapores aspirados do filtro de carvão ativado. A Figura 8 apresenta uma válvula solenoide de purga do canister.

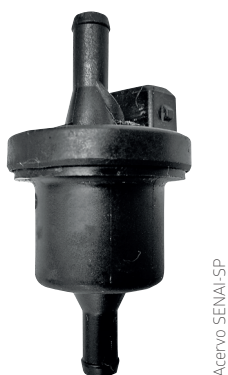


Figura 8 – Válvula solenoide de purga do canister.

Em repouso, essa válvula deve ser completamente estanque, de modo a não permitir a fuga dos vapores de combustível. Somente depois que o motor atinge a temperatura de 65°C, o PCM inicia sua abertura, levando em conta os seguintes fatores:

- regime do motor;
- temperatura da água e do ar de admissão;
- resposta do sensor de oxigênio (HO2S).

Independentemente da temperatura do motor, a válvula nunca é aberta durante a partida e freio do motor.

Descrição do sistema

O sistema EVAP armazena no canister vapores de combustível (hidrocarbonetos) gerados durante a operação do veículo. Quando esses vapores passam a poder ser consumidos pelo motor durante a operação normal, o que foi armazenado é direcionado pelo sistema até o motor.

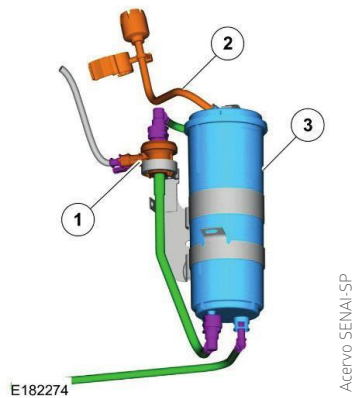
Alterações na temperatura ambiente e na quantidade de combustível no tanque podem causar flutuações de pressão no tanque de combustível. Como essas flutuações podem interferir no fornecimento de combustível, o canister iguala as pressões usando a ventilação do tanque de combustível.

O filtro de carvão ativado integrado impede que o vapor do tanque de combustível escape para a atmosfera. É por isso que o sistema é chamado de EVAP ou sistema de controle de emissões evaporativas.

No processo, o canister funciona como um armazenamento intermediário para os vapores de combustível. Assim que as condições operacionais do motor permitem, o combustível armazenado no canister retorna ao motor para combustão.

O sistema de controle de emissões evaporativas é composto basicamente pelo canister de emissões evaporativas, pela válvula de depuração de emissões evaporativas e por diversas tubulações. O canister de EVAP não pode ser desmontado.

A Figura 9 apresenta um sistema EVAP típico.



- 1 Válvula de depuração do canister de emissões evaporativas
- 2 Tubulação de ventilação do canister de emissões evaporativas
- 3 Canister de emissões evaporativas

Figura 9 – Sistema EVAP típico.

Funcionamento do sistema

O sistema de controle de emissões EVAP é controlado pelo PCM. O controle de circuito fechado é implementado via modulação por largura de pulso (PWM) da conexão terra da válvula de depuração de EVAP. A transmissão da válvula de depuração EVAP para o PCM ocorre por meio de fios. Essa válvula recebe seu fornecimento de tensão do relé do PCM.

Modo de operação com motor desligado

Quando o motor é desligado, a válvula de depuração de EVAP é desenergizada e fechada. Ela não tem influência alguma sobre a função de ventilação do tanque de combustível. Se a pressão no tanque de combustível aumentar por causa do aumento da temperatura ambiente ou do nível de enchimento de combustível, o excesso de pressão será dissipado no EVAP através da tubulação do tanque de combustível para o canister.

O carvão ativado presente no canister de EVAP absorve os vapores de combustível e impede a emissão desses vapores (hidrocarbonetos) na atmosfera. O ar limpo escapa pela tubulação de ventilação do canister para a atmosfera.

Como a capacidade de absorção de vapores de combustível pelo carvão ativado é limitada, esses vapores deverão ser depurados assim que as condições de operação permitirem. Nesse ponto, o PCM tem a função de garantir que o motor funcione da melhor forma possível e que os padrões de emissões sejam atendidos.

Modo de operação com motor ligado

Durante a partida a frio e na fase de aquecimento, a válvula de depuração de EVAP é desenergizada e fechada. Ela não tem influência alguma sobre a função de ventilação do tanque de combustível. Isso impede que a geração da mistura de combustível se torne rica demais enquanto o controle lambda está desligado.

O sistema de controle de EVAP com o motor ligado funciona do mesmo modo que com o motor desligado. Assim que os requisitos de atuação são fornecidos, o PCM começa a acionar a válvula de depuração de EVAP, que, quando aberta, introduz o vácuo presente no coletor de admissão no sistema EVAP. Esse vácuo faz com que o ar ambiente EVAP seja sugado pela tubulação de ventilação do canister de EVAP e pelo filtro de carvão ativado para o coletor de admissão; no processo, o ar que entra leva com ele o vapor de combustível armazenado no filtro de carvão ativado.

Como inicialmente a concentração de vapor de combustível presente no carvão ativado é desconhecida, a atuação começa com um curto tempo de operação da válvula de depuração de EVAP (pequena abertura). O PCM usa o sinal HO2S para determinar a concentração de vapor de combustível no filtro de carvão ativado. Com o aumento da concentração de vapor de combustível, o PCM eleva a prioridade e aumenta a taxa de fluxo necessária para o processo de depuração. A prioridade atribuída é importante quando existem requisitos conflitantes e o PCM precisa decidir qual dos requisitos é mais importante e deve receber tra-

tamento preferencial. A taxa de fluxo é obtida por meio da adaptação do tempo de operação da válvula de depuração de EVAP.

À medida que a concentração de vapor de combustível do filtro de carvão ativado se torna menor, o PCM baixa a prioridade e reduz a taxa de fluxo até que apenas o vapor recentemente gerado seja extraído.

IMPORTANTE

Quando a carga é total, não é possível determinar a concentração de vapor de combustível no filtro de carvão ativado em razão da falta de sinal HO2S. Nessa situação, a válvula de depuração de EVAP usa uma taxa de fluxo predefinida.

Válvula EGR (*exhaust gases recirculation* – recirculação dos gases de escapamento)

A válvula EGR faz parte dos gases do escapamento participarem novamente do processo de queima. Isso faz a temperatura da câmara de combustão diminuir (processo térmico) e, conseqüentemente, também reduz a formação de óxidos de nitrogênio (NO_x).

A diminuição do NO_x nesse caso, é feita a partir do retorno de uma parte dos gases de descarga já expelidos à admissão. Esse gases que retornaram serão queimados novamente, junto com a mistura admitida, fazendo com que a temperatura no interior da câmara de combustão se reduza, de modo a diminuir a formação de NO_x .

Essa recirculação é feita por meio de válvulas mecânicas com comando por eletroválvula e válvulas eletromagnéticas. No sistema mecânico, o acionamento em geral é pneumático, porém, o controle do “vácuo” de acionamento é feito pelo módulo de injeção através de uma eletroválvula de acionamento da EGR, compatibilizando o perfeito funcionamento do motor com o mínimo de emissões de NO_x .

A Figura 10 ilustra a válvula EGR em um sistema mecânico.

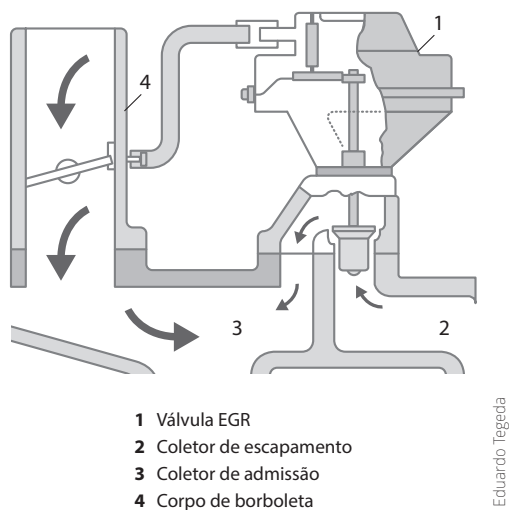


Figura 10 – Válvula EGR em um sistema mecânico.

Eletroválvula EGR

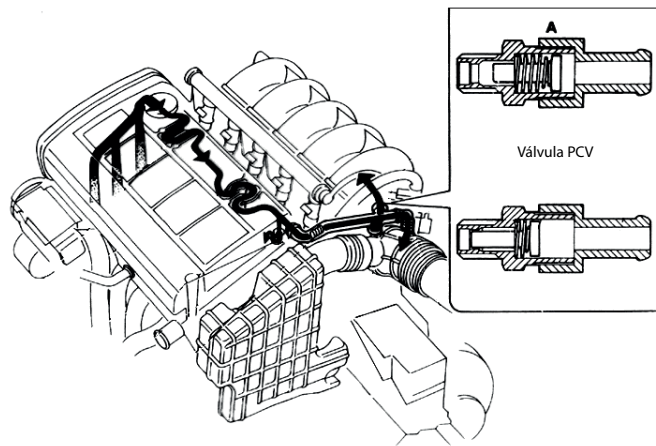
A válvula eletromagnética difere-se da válvula EGR, pois, em vez de controlar o vácuo, o módulo de injeção controla diretamente a passagem dos gases pela tubulação que interliga os coletores de admissão e escape. Muitas válvulas desse tipo contêm internamente um sensor tipo potenciômetro que indica a posição do obturador. A Figura 11 apresenta uma eletroválvula EGR.



Figura 11 – Eletroválvula EGR.

Circuito de recirculação dos gases provenientes do cárter do motor (*blow-by*)

A emissão de poluentes pode ocorrer também pelo cárter do motor. Como se sabe, os gases nocivos podem originar-se por evaporação do óleo lubrificante no cárter ou podem também passar pelos anéis do pistão. Para que esses gases não sejam lançados na atmosfera, existe um sistema de recirculação (*blow-by*) que os envia diretamente para que sejam reaproveitados na câmara de combustão. Esse sistema é apresentado na Figura 12, a seguir.



Acervo SENAI-SP

Figura 12 – Sistema de recirculação (*blow-by*).

Parte 5 – Motor Rocam *flex* e sistema de injeção de combustível

12. Injeção eletrônica de combustível

Classificação dos sistemas de injeção eletrônica

Circuito de combustível

Sensores

Atuadores

Módulo ou unidade de controle da injeção eletrônica

Para que o motor funcione com eficiência e atenda os limites estabelecidos para emissões de poluentes, não basta haver combustível. É preciso que se promova uma mistura ar/combustível (comburente/combustível) que seja admitida nos cilindros e apresente quantidades precisas desses elementos. Essa proporção determina uma relação ideal que depende do tipo de combustível usado. Sem isso, o motor não atingirá seu rendimento máximo e pode até mesmo não funcionar.

São três os tipos de mistura:

- **Estequiométrica ou ideal:** apresenta a relação ideal. Tem uma quantidade de ar capaz de queimar todo o combustível presente. A combustão é teoricamente perfeita.
- **Rica:** quando a mistura admitida nos cilindros possui menos ar do que o necessário, uma parte do combustível não é queimada. A combustão torna-se incompleta e aumenta o nível de emissão de poluentes.
- **Pobre:** quando a mistura possui menos combustível do que o necessário, parte do oxigênio não é utilizada. A combustão é ineficiente e o nível de emissões aumenta.

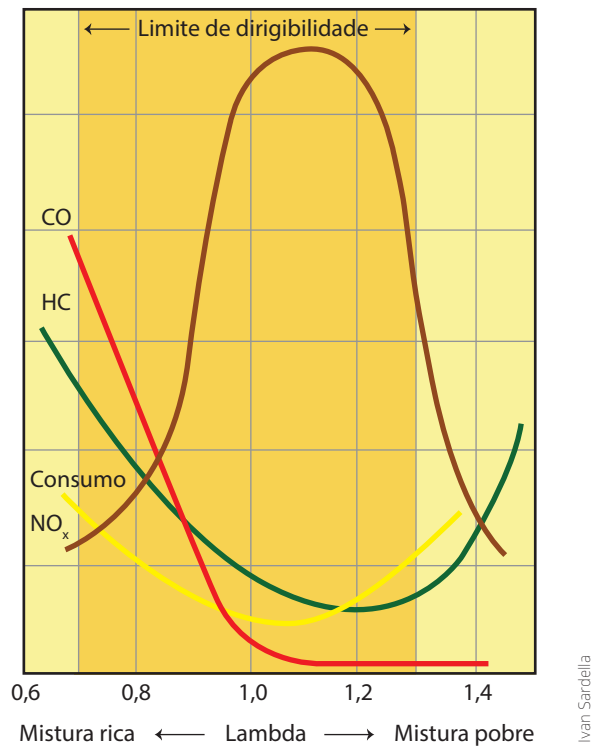
Para saber se a mistura está ideal, basta dividir a quantidade de mistura aspirada pela quantidade de mistura necessária para que se tenha a relação ideal ou estequiométrica.

Essa relação é conhecida como fator lambda, e é representada pela letra grega λ . Se o resultado for igual a 1 ($\lambda = 1$), a mistura será estequiométrica (ideal).

$$\text{Lambda } (\lambda) = \frac{\text{mistura admitida}}{\text{mistura ideal}}$$

Se a relação for menor que um ($\lambda < 1$), a mistura será rica, haverá mais combustível e menos ar. Se a relação for maior que um ($\lambda > 1$), a mistura será pobre e haverá mais ar que combustível.

A Figura 1 apresenta os três tipos de mistura ar/combustível para o funcionamento eficiente do motor.



Ivan Sardella

Figura 1 – Os três tipos de mistura ar/combustível.

Os sistemas de injeção eletrônica de combustíveis surgiram para fornecer a quantidade de combustível exata para os diversos regimes de funcionamento do motor. São compostos de sensores, central eletrônica e atuadores, conforme mostra a Figura 2, a seguir.

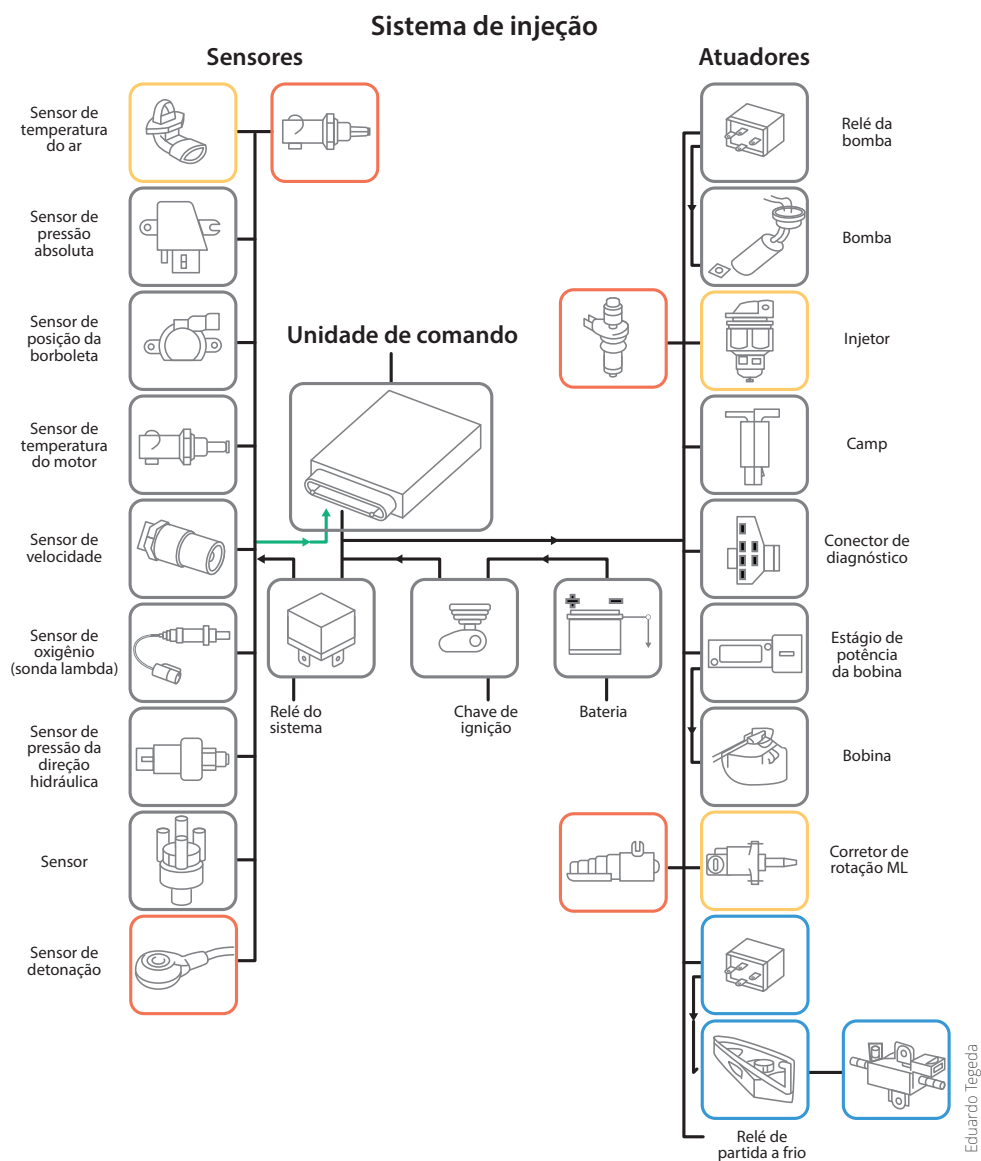


Figura 2 – Composição dos sistemas de injeção eletrônica.

O módulo de injeção eletrônica processa as informações recebidas dos sensores de monitoramento e envia sinais aos atuadores de acordo com as alterações de funcionamento do motor. Nos primeiros sistemas de injeção, o módulo controlava apenas a injeção de combustível, nos sistemas mais modernos passou a controlar também o sistema de ignição.

Uma das principais grandezas para o cálculo do volume de injeção e do ângulo de ignição é a carga do motor (registro de carga). Para determinação da carga do motor, de acordo com o sistema utilizado, são empregados:

- medidor de fluxo de ar;
- medidor de massa de ar a fio quente;
- medidor de massa de ar a filme quente;
- sensor de pressão do coletor de admissão;
- sensor da borboleta da aceleração;
- sensor de rotação.

Classificação dos sistemas de injeção eletrônica

Os sistemas de injeção eletrônica são classificados, de acordo com o número de válvulas injetoras, em monoponto e multiponto.

Sistema de injeção eletrônica monoponto

O sistema de injeção eletrônica monoponto é caracterizado por apenas uma válvula injetora localizada em um ponto central do coletor de admissão. Ele alimenta todos os cilindros do motor (Figura 3).

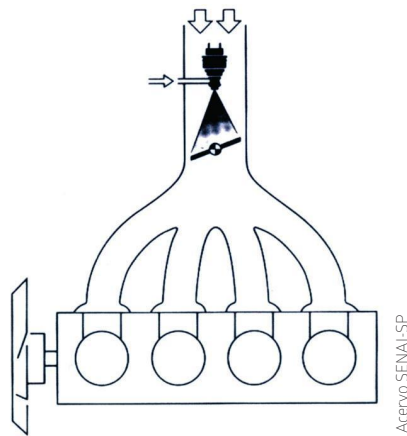


Figura 3 – Sistema de injeção eletrônica monoponto.

Sistema de injeção eletrônica multiponto

O sistema de injeção eletrônica multiponto é caracterizado por uma válvula injetora para cada cilindro do motor (Figura 4).

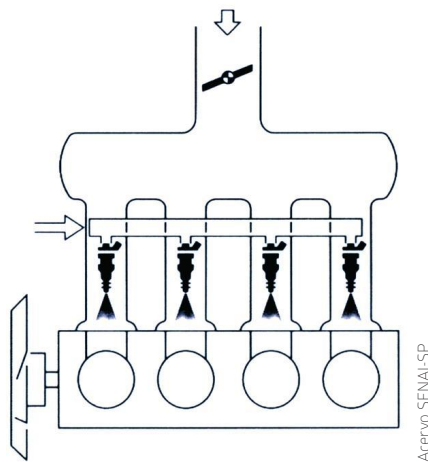


Figura 4 – Sistema de injeção eletrônica multiponto.

Circuito de combustível

O combustível é succionado do reservatório através de uma bomba elétrica, interna ou externa, que fornece o combustível a um tubo distribuidor (multiponto) ou a um corpo de borboleta (monoponto) com uma vazão determinada, passando antes por um filtro de combustível.

No tubo de distribuidor e na tampa do corpo de borboleta, estão fixadas as válvulas de injeção e o regulador de pressão, que mantêm constante a pressão de linha de combustível.

O sistema de combustível é alimentado com mais combustível do que o motor necessita em condições extremas de consumo. O excesso de combustível retorna, sem pressão, ao tanque de combustível (quando no sistema existir retorno), através do regulador de pressão. Esse fluxo constante faz o combustível permanecer frio. Com isso, evita-se a formação de bolhas de vapor e são possibilitadas melhores partidas a quente.

Os componentes de um circuito de combustível são:

- eletrobomba de combustível;
- filtro de combustível;
- tubo distribuidor;
- corpo de borboleta;
- regulador de pressão;
- amortecedor de oscilações;
- válvula injetora;
- sistema de partida a frio.

Eletrobomba de combustível

A bomba de combustível é a responsável por movimentar e pressurizar o combustível até o duto de distribuição de combustível dos bicos injetores.

Esse tipo de bomba recebe o nome de eletrobomba, pois a bomba e o motor elétrico são montados juntos em uma mesma carcaça. Nos sistemas de injeção atuais, as eletrobombas são montadas internamente no reservatório de combustível

e são chamadas de módulo de combustível, pois agregam também o medidor de nível de combustível, o regulador de pressão e, em alguns casos, o filtro de combustível. Com isso, evitam-se vedações sujeitas a problemas de vazamento e de lubrificação e obtém-se boa refrigeração para o motor elétrico. Essa construção não apresenta nenhum risco de explosão, pois na carcaça do motor e da bomba não existe nenhuma mistura em condições de combustão.

SAIBA MAIS

Os valores de pressão e vazão de combustível devem ser consultados no manual de reparação do sistema do fabricante, pois estão diretamente ligados ao projeto para cada aplicação, podendo ser monoponto, multiponto com retorno ou multiponto sem retorno.

A Figura 5, a seguir, apresenta a bomba de combustível do motor Rocam *flex*.



Figura 5 – Bomba de combustível do motor Rocam *flex*.

A bomba elétrica de combustível, existente no interior do tanque, funciona segundo o princípio do rotor. O combustível é fornecido através de uma roda com dez dentes internos e uma coroa com onze dentes externos.

A roda externa e a roda interna têm dois eixos rotativos distintos. A roda interna é comandada por um motor elétrico e controla a rotação excêntrica da roda externa. Assim o combustível é sugado pelos espaços intermédios maiores e submetido à pressão pelos espaços intermédios cada vez menores. O combustível sob pressão chega à saída da bomba passando pelo amortecedor de vibrações.

A bomba possui uma válvula de retenção de descarga que mantém a pressão no sistema após desligar a ignição a fim de minimizar problemas de partida.

O reservatório da bomba impede interrupção no fluxo de combustível durante manobras extremas do veículo com o nível baixo do tanque.

Filtro de combustível

O filtro está conectado após a bomba de combustível. Ele possui um elemento de papel com porosidade média de 10 μm ; depois dele se encontra uma peneira, que detém eventuais partículas de papel que tenham se soltado. Por esse motivo, a direção de fluxo indicada no filtro deve ser obrigatoriamente mantida. O período de troca é determinado pelo fabricante do sistema e pode variar entre 20.000 km e 50.000 km. A Figura 6 apresenta um filtro de combustível.

SAIBA MAIS

O teste do filtro de combustível faz parte do teste de vazão da eletrobomba.



Figura 6 – Filtro de combustível.

Tubo distribuidor (flauta de distribuição)

O tubo distribuidor tem função de acumulador. Seu volume em relação à quantidade de combustível injetada no motor por ciclo de trabalho é grande o suficiente para evitar oscilações de pressão. Portanto, as válvulas de injeção (injetores de combustível) conectadas ao tubo distribuidor recebem a mesma pressão de combustível (Figura 7).

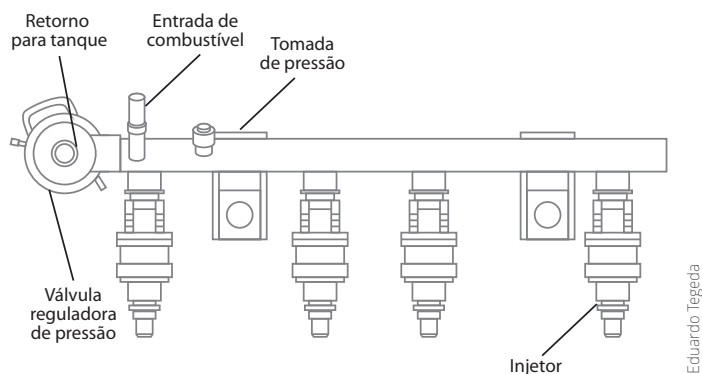


Figura 7 – Tubo distribuidor (flauta de distribuição).

Corpo de borboleta

O corpo de borboleta tem a função de dosar a quantidade de ar fornecida ao motor, em função da exigência do motorista através do acelerador. Os corpos de borboleta do sistema de injeção monoponto e multiponto são diferentes. Nos corpos de borboleta de sistemas multipontos, é encontrado apenas o potenciômetro de borboleta. Já nos corpos de borboleta de sistemas monopontos são fixados também o atuador de marcha lenta, o sensor de temperatura do ar, o bico injetor e o regulador de pressão. A Figura 8 apresenta um corpo de borboleta de sistema multiponto.

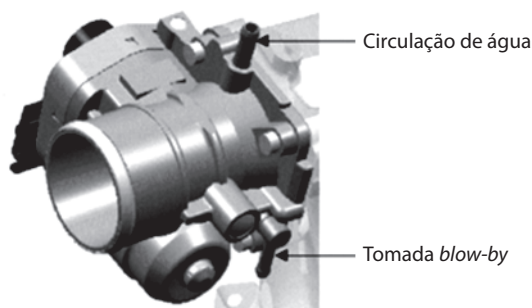


Figura 8 – Corpo de borboleta de sistema multiponto.

Regulador de pressão

O módulo de controle PCM processa as informações recebidas dos sensores, determina a quantidade de combustível a ser injetada e controla o tempo de abertura dos injetores em milésimos de segundos. Como a secção de abertura do injetor é constante, a pressão de injeção deve ser regulada.

O regulador de pressão pode estar posicionado na unidade da bomba de combustível ou no corpo de borboleta (monoponto) ou na extremidade do tubo distribuidor (flauta de distribuição) que é o mesmo utilizado pelos motores Rocam, da Ford. A principal função do regulador é manter a pressão do combustível conforme o sistema de injeção. Em alguns casos possui fluxo de retorno de combustível para o reservatório (tanque).

Ele é composto de uma carcaça de metal separada em duas partes por meio de uma membrana rebordeada. Cada parte é uma câmara, com as seguintes características:

- câmara de mola: onde se aloja a mola helicoidal que aplica uma pré-tensão na membrana;
- câmara para o combustível.

Quando a pressão regulada é ultrapassada, ocorre a liberação da abertura para a tubulação de retorno por meio de uma válvula acionada pela membrana, por onde o combustível em excesso retorna, sem pressão, ao reservatório.

É utilizado um regulador de pressão que trabalha sob carga de mola calibrada (Figura 9) mantida dentro de uma câmara e vedada por um diafragma. A câmara de mola do regulador de pressão está conectada, por meio de uma tubulação, ao coletor de admissão do motor após a borboleta de aceleração. Isso faz com que a pressão no sistema de combustível seja em função da pressão absoluta do coletor de admissão e, com isso, a pressão na válvula de injeção permanece igual para qualquer posição da borboleta de aceleração.

O combustível entra livre pelo lado do diafragma, exercendo uma força sobre a mola calibrada. A mola calibrada controla a abertura da válvula/sede de retorno. O combustível sem pressão retorna para o tanque.

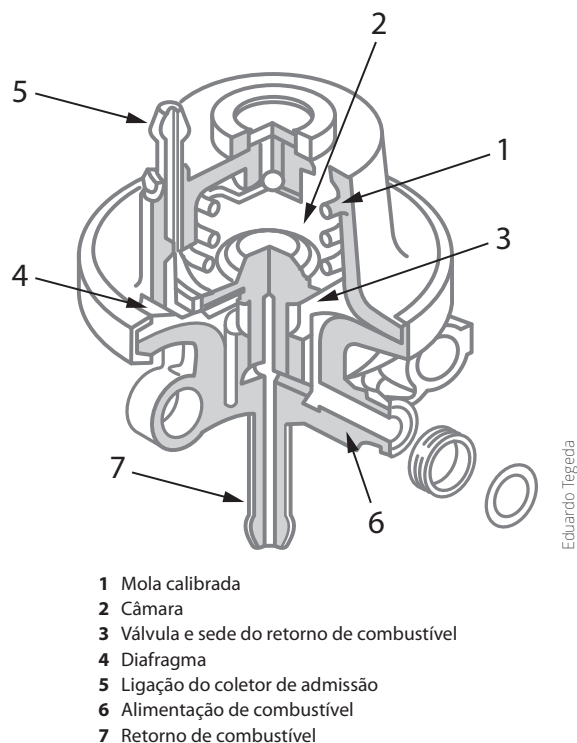


Figura 9 – Regulador de pressão sob carga de mola calibrada.

Amortecedor de oscilações

Na tubulação de retorno ou na tubulação principal de combustível (ou internamente na bomba de combustível), é montado um amortecedor de oscilações, como no caso do sistema Rocam, da Ford. Ele é fabricado de maneira semelhante ao regulador de pressão, mas sem a ligação para o coletor de admissão. O amortecedor evita oscilações de pressão com a consequente eliminação de ruídos por pulsações. As pulsações são formadas pela mudança da pressão do combustível na abertura ou no fechamento das válvulas de injeção ou do regulador de pressão. A Figura 10 apresenta um amortecedor de oscilação de aplicação externa.

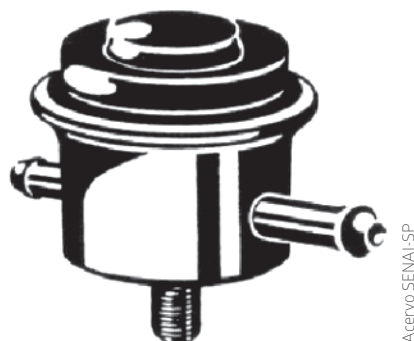


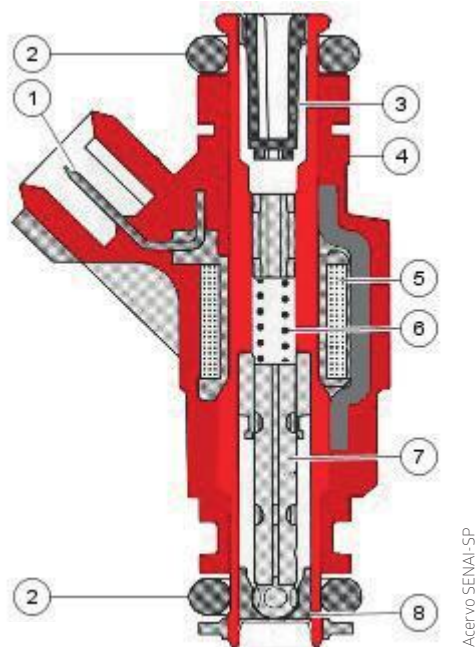
Figura 10 – Amortecedor de oscilação de aplicação externa.

Válvula injetora (bico injetor)

A válvula injetora, ou bico injetor, é responsável por fornecer combustível para o motor. Ela pertence ao grupo de atuadores.

Os injetores controlados eletromagneticamente por meio de pulsos elétricos provenientes da unidade de comando (PCM) dosam e atomizam o combustível. A quantidade de combustível injetado é regulada pela duração da atuação dos injetores de combustível. Os injetores de combustível ficam fechados (não acionados) ou abertos (acionados). Cada cilindro tem seu próprio injetor. A injeção é dosada com precisão e ocorre em um momento determinado pelo PCM. A injeção ocorre imediatamente na frente das válvulas de admissão do cilindro.

A válvula injetora é composta de um corpo de válvula e de uma agulha na qual se assenta o induzido do magneto. O corpo da válvula contém o enrolamento e a guia para a agulha. A Figura 11 apresenta a composição da válvula injetora.



Acervo SENAI-SP

- 1 Conexão elétrica
- 2 Vedador
- 3 Entrada de combustível com peneira fina
- 4 Carcaça
- 5 Bobina
- 6 Mola
- 7 Agulha da válvula com armação de solenoide
- 8 Compartimento da válvula com disco de orifícios do bico

Figura 11 – Composição da válvula injetora.

Quando não há corrente no enrolamento, a agulha do bico é pressionada por meio de uma mola helicoidal contra o seu assento, na saída da válvula.

Quando a bobina magnética é excitada, a agulha se eleva aproximadamente 0,1 mm do assento, permitindo a passagem de combustível através de uma fenda anelar calibrada. A extremidade anterior da agulha possui um pino cônico com uma superfície retificada, para pulverização do combustível.

Durante a partida, todos os injetores são alimentados ao **mesmo tempo**. Porém, tão logo o motor passe a funcionar, o PCM adota a lógica **sequencial fasada**, ou seja, cada injetor é alimentado individualmente, conforme a sequência de ignição do motor.

Como a pressão do combustível que alimenta os injetores é constante, a quantidade de combustível a ser debitada pelo injetor é controlada pela duração do pulso de alimentação, conhecido como tempo de injeção.

Em sistemas multipontos, para que se obtenha boa distribuição de combustível com baixas perdas por condensação, deve ser evitado o umedecimento das paredes do coletor de admissão. Por esse motivo, o ângulo de injeção e a distância das válvulas de injeção até a válvula de admissão do motor devem ser determinados de modo específico para cada motor.

A montagem das válvulas de injeção é realizada por meio de suportes especiais; o alojamento das válvulas de injeção nesses suportes é realizado por meio de anéis de borracha. O isolamento térmico obtido desse modo evita a formação de bolhas de vapor garantindo assim um bom comportamento das partidas a quente. Além disso, as válvulas são protegidas por meio desses suportes de borracha das altas solicitações de vibração.

As principais características das válvulas injetoras são:

- têm resistência elétrica;
- foram submetidas a testes hidráulicos de estanqueidade, de equalização de volume (no caso de sistemas multipontos) e de formato do leque de injeção.

Sistema de partida a frio

O etanol não vaporiza bem quando o motor está frio, condensando-se facilmente nas paredes da tubulação de admissão. Sem o sistema de injeção de gasolina, as partidas a frio dos motores *flex* abastecidos 100% com etanol ou com uma mistura muito pobre de gasolina poderão ser difíceis quando a temperatura ambiente estiver baixa.

O PCM controla a bomba de injeção de gasolina, que é acionada junto com o solenoide de corte, através de relé. Essa bomba injeta gasolina de um reservatório plástico localizado dentro do compartimento do motor através de tubulações que estão conectadas desde o solenoide de corte até o coletor de admissão.

A Figura 12 apresenta as partes que compõem esse sistema.

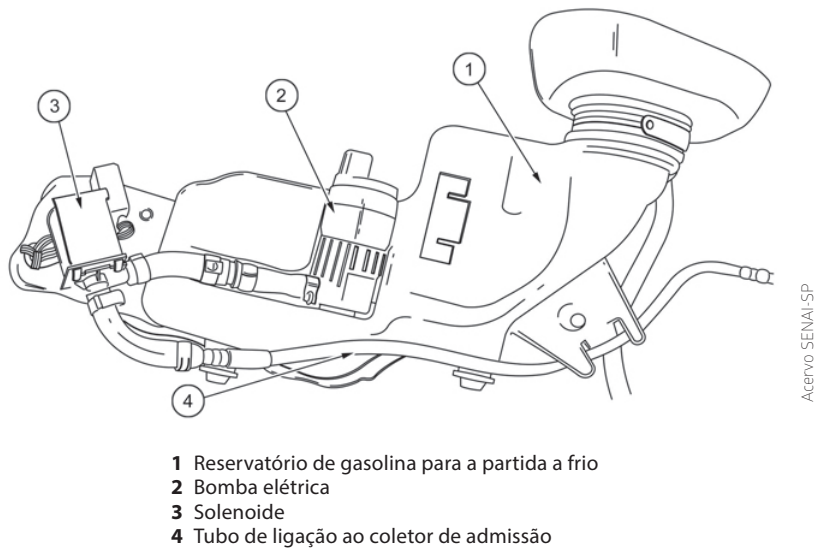


Figura 12 – Partes que compõem o sistema de partida a frio.

O sistema de partida a frio é composto de um reservatório de gasolina, uma bomba elétrica, um solenoide e tubos que levam a gasolina até o coletor de admissão.

Durante a partida, o PCM recebe o sinal dos sensores de temperatura e avalia a necessidade de atuar o sistema de partida a frio.

Inicialmente, é enviada tensão ao solenoide, que abre o caminho entre o sistema de partida a frio e o coletor de admissão. Imediatamente, a bomba elétrica é alimentada e transfere gasolina para o coletor de admissão.

Assim que o motor começa a funcionar, o sensor de rotação da árvore de manivelas (CKP) registra o aumento de rotação do motor. A tensão que mantém a válvula do solenoide aberta é interrompida, e o fornecimento de gasolina ao coletor de admissão é bloqueado. Simultaneamente, a alimentação da bomba elétrica é cortada e o sistema para de funcionar.

Sensores

Os sensores são responsáveis por fornecer todas as informações utilizadas pelo PCM para controlar o motor.

Sensor de fluxo de ar (LM)

O medidor de fluxo de ar fica entre o filtro de ar e a borboleta de aceleração e registra o fluxo volumétrico do ar aspirado pelo motor (m^3/h). O fluxo do ar aspirado deflete uma palheta sensora contra a constante pressão de retorno de uma mola.

A posição angular da palheta sensora é explorada pelo deslocamento do cursor de um potenciômetro cuja tensão de saída, inversamente proporcional à resistência do potenciômetro, é proporcional ao deslocamento angular e ao fluxo de ar. Essa tensão é informada à unidade de comando (central de injeção), onde é comparada com a tensão de alimentação do potenciômetro. Essa relação de tensão é uma medida para o fluxo volumétrico de ar aspirado pelo motor. A Figura 13 apresenta um sensor de fluxo de ar, com suas principais partes.

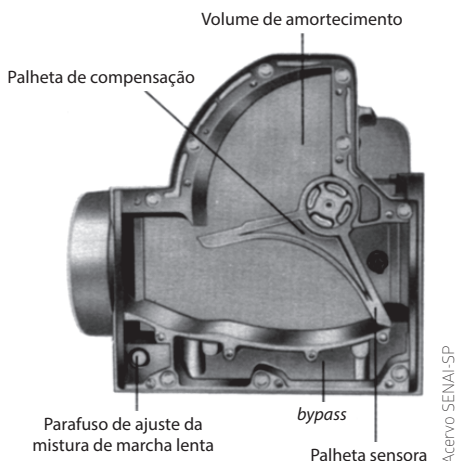


Figura 13 – Sensor de fluxo de ar.

Para que as pulsações do ar aspirado não estimulem a oscilação da palheta sensora, ela é amortecida por uma contra palheta de compensação e um volume de amortecimento. Para considerar a variação de densidade do ar nas variações de temperatura, há um sensor de temperatura integrado ao medidor de volume de ar cujo valor de resistência varia de acordo com a temperatura, servindo como índice de cálculo de correção para a umidade de comando.

Observação

Esse sensor não é utilizado no sistema Rocam, da Ford.

Sensor de temperatura do ar (IAT)

O sensor de temperatura do ar é formado por um corpo de latão do qual sai um conector de plástico que protege o elemento resistivo constituído por um termistor do tipo NTC (coeficiente negativo de temperatura), no qual o valor da resistência é inversamente proporcional ao valor da temperatura, ou seja, quando a temperatura sobe a resistência elétrica do sensor diminui e quando a temperatura desce a resistência elétrica do sensor aumenta.

O sensor está instalado na linha de admissão. Ele pode estar localizado:

- no próprio coletor de admissão;
- na mangueira que conecta o filtro de ar com o coletor de admissão.

E pode ser integrado:

- ao sensor de fluxo de ar;
- ao sensor de filme aquecido;
- ao sensor de fio aquecido;
- ao sensor de pressão absoluta;
- ao corpo de borboleta, conforme projeto.

A tensão de referência para o sensor de temperatura é de 5 V. Dado que esse circuito é projetado como divisor de tensão, essa tensão é dividida entre uma resistência existente na central eletrônica e a resistência do NTC do sensor de temperatura do ar. A central eletrônica consegue avaliar constantemente as variações de resistência do sensor por meio das mudanças de tensão e obter, assim, a informação sobre a temperatura do ar aspirado.

Observação

Esse sensor isolado não é utilizado no sistema Rocam, da Ford.

Sensor de pressão absoluta (MAP)

O sensor de pressão absoluta está ligado ao coletor de admissão através de mangueira ou diretamente ao coletor.

O elemento sensível contido na peça de plástico é composto de uma ponte de resistências (ponte de Wheatstone) serigrafadas em uma placa de cerâmica muito fina (diafragma) de forma circular, montada na parte inferior de um suporte de forma anelar.

O diafragma separa duas câmaras; na parte inferior lacrada foi criado vácuo, enquanto que a câmara superior está em comunicação direta com o coletor de admissão.

O sinal de natureza piezorresistiva que deriva da deformação sofrida pela membrana, antes de ser enviado à central, é amplificado por um circuito eletrônico, contido no mesmo suporte que aloja a membrana de cerâmica. O diafragma com o motor desligado curva-se em função do valor da pressão atmosférica; dessa maneira, com a chave ligada obtém-se a exata informação da altitude.

O motor em funcionamento gera uma depressão que causa uma ação mecânica no diafragma do sensor, o qual se curva fazendo variar o valor de resistências. Dado que a alimentação é mantida rigorosamente em 5 V pela central eletrônica, variando o valor das resistências, o valor da tensão de saída varia proporcionalmente à depressão existente no coletor de admissão.

Observação

Esse sensor isolado não é utilizado no sistema Rocam, da Ford.

Sensor de temperatura e pressão absoluta (TMAP)

O TMAP está localizado na região traseira do coletor de admissão e sua função é a de informar ao módulo de controle a temperatura do ar admitido e a pressão no coletor de admissão. Ele é apresentado na Figura 14, a seguir.



Figura 14 – Sensor de temperatura e pressão absoluta.

Internamente, ele possui um resistor NTC, um elemento piezorresistivo e um circuito elétrico amplificador de sinais, todos alimentados com uma tensão de referência de 5 V, fornecida pelo PCM.

O sensor de TMAP combina dois sensores: um sensor de MAP e um sensor de IAT. O sensor de MAP detecta a pressão no coletor de admissão; o sensor de IAT detecta a temperatura do ar de admissão.

O sensor de TMAP recebe uma tensão de referência de 5 V do PCM. O sinal de saída do elemento sensor de TMAP é um sinal de tensão analógica que varia proporcionalmente à pressão atual no coletor de admissão. A pressão absoluta alta (corpo da borboleta do acelerador completamente aberto) implica uma tensão alta, enquanto a pressão baixa (corpo da borboleta do acelerador fechado) implica uma tensão baixa. O TMAP está apto a medir pressões de até 1,15 bar (115 Kpa).

Com a ignição ligada, o motor desligado e com *wot* (corpo de borboleta aproximadamente 70% aberta), o MAP mede a BARO (pressão barométrica). Essa informação fica armazenada na RAM do PCM e é usada durante o trajeto como pressão de referência para a pressão absoluta específica no coletor de admissão de entrada.

O sensor de IAT inteiro, que foi projetado como um resistor de NTC, é usado, entre outras coisas, para calcular o ângulo de ignição e, conseqüentemente, da proteção de combustão ativa.

A medição da temperatura é realizada segundo o princípio das resistências NTC, ou seja, quanto maior a temperatura, menor o valor da resistência, e vice-versa.

Através da temperatura e pressão, o PCM calcula o fluxo de massa de ar que o motor está admitindo.

IMPORTANTE

Todos os sensores recebem alimentação padrão de 5 V do PCM. Alimentar um sensor com 12 V poderá danificá-lo.

Sensores medidores de massa de ar (MAF)

Os sensores que medem a massa de ar podem ser a fio ou a filme aquecidos. Esses medidores, localizados entre o filtro de ar e a borboleta de aceleração, são sensores térmicos de carga, que registram a massa de ar em Kg/h (quilogramas por hora), de acordo com o fluxo do ar aspirado que resfria um corpo eletricamente aquecido. A Figura 15 apresenta um sensor medidor de massa de ar.



Figura 15 – Sensor medidor de massa de ar.

Medidor de fluxo de massa de ar de fio aquecido

O fluxo de ar aspirado é conduzido através de um fio aquecido. Esse fio é parte integrante de um circuito elétrico em ponte e se mantém a uma temperatura

constante acima da temperatura do ar aspirado em função da corrente que flui através dele. A corrente elétrica de aquecimento necessária a esse fio é uma medida para a massa de ar aspirada pelo motor que, através da passagem dessa corrente de aquecimento, é convertida em um resistor para um sinal de tensão, que é processado pelo módulo de injeção.

Um sensor de temperatura montado no medidor de fluxo de massa de ar garante que o sinal de saída não dependa da temperatura do ar admitido, ou seja, o fio aquecido será mantido na temperatura constante de 120°C. Como qualquer sujeira na superfície do fio aquecido pode alterar o sinal de saída, cada vez que se desliga o motor se eleva eletricamente durante um segundo a temperatura do fio, para eliminar as possíveis sujeiras.

Medidor de fluxo de massa de ar de filme aquecido

Esse medidor utiliza o mesmo princípio de trabalho do medidor de fluxo de ar de fio aquecido. Reuniram-se as partes importantes do circuito elétrico em ponte em um substrato de cerâmica como resistores de filme fino, sem a necessidade de queimar as impurezas desses medidores de fluxo de ar.

O problema de contaminação é resolvido reposicionando-se o elemento sensor, evitando-se com isso a influência de acúmulo inevitável de sujeira nos cantos do elemento sensor. A vantagem de se medir a massa de ar é a eliminação de problemas causados pela variação de temperatura, altitude, pressão etc.

Sensor de posição da borboleta de aceleração (TPS ou TP)

O sensor TPS é um sensor rotativo, instalado no corpo de borboleta, composto de um ou mais potenciômetros cuja parte móvel é comandada diretamente pelo eixo da borboleta aceleradora. Tem a função de avaliar a posição angular da borboleta de aceleração (carga do motor) e a velocidade que essa posição varia e transmitir uma relação de tensão para a unidade de comando (PCM) através de um circuito de resistência. A Figura 16 apresenta um sensor de posição da borboleta de aceleração.



Figura 16 – Sensor de posição da borboleta de aceleração.

A central de comando alimenta, durante o funcionamento, o potenciômetro com uma tensão constante de 5 V e seu sinal de saída é uma tensão que vai aumentando de acordo com a abertura da borboleta. O parâmetro medido é a posição da borboleta da abertura mínima à abertura máxima.

O sinal do TP é utilizado em várias estratégias de funcionamento, como aceleração, controle de emissões em desaceleração, estratégia de freio motor, ar-condicionado, entre outras.

Em acelerações elevadas, o ar-condicionado é desativado e volta a ser ativado quando a condição cessar. Se a condição de aceleração elevada persistir por mais de 15 segundos, o ar-condicionado voltará a ser ativado.

Sensor de oxigênio ou sonda lambda (Hego)

O sensor de oxigênio, também chamado de sonda lambda ou sensor Hego, está localizado no sistema de escapamento antes do conversor catalítico e, às vezes, também depois deste. É parte integral do sistema de controle de emissões de poluentes e tem como função indicar ao PCM qual a relação de ar/combustível que está sendo queimada pelo motor, medindo o conteúdo de oxigênio dos gases de descarga para que possa corrigir a quantidade de combustível injetado. A Figura 17 ilustra esse componente.



Figura 17 – Sensor de oxigênio ou sonda lambda.

O sensor de oxigênio é constituído por um corpo cerâmico à base de zircônio recoberto por uma fina camada de platina (eletrodos) permeável a gás, fechada em uma extremidade e colocada em um tubo protetor e alojado em um corpo metálico. A parte externa do elemento de zircônio encontra-se exposta ao fluxo dos gases de escapamento, enquanto a parte interna está em comunicação com o ar ambiente onde a taxa de oxigênio na atmosfera é sempre igual a 21% (composição do ar atmosférico 79% de nitrogênio e 21 % de oxigênio).

A tensão e a resistência interna da sonda dependem da temperatura, pois a cerâmica torna-se condutora em temperaturas elevadas, entre 300°C e 350°C. A atuação da sonda baseia-se no fato de que o material cerâmico é poroso e permite uma difusão do oxigênio do ar (eletrólito compacto). Se houver uma diferença de teor de oxigênio entre os dois lados, será gerada uma tensão elétrica nos eletrodos. O sensor de oxigênio gera voltagem própria de 0 mV a 1.100 mV.

O funcionamento do sensor de oxigênio pode ser comparado a uma bateria (placas positivas e negativas imersas em solução ácida, que fornece uma tensão); no caso do sensor de oxigênio, um eletrodo positivo interno cerâmico (eletrólito estacionário) fornece uma tensão em função da diferença de oxigênio que existe entre eles.

Portanto, na passagem da mistura rica para a pobre, ou vice-versa, por causa desta oxidação catalítica (em razão da presença de platina que age como catali-

sador e da temperatura que deve ser superior a 30°C), os íons de oxigênio, existentes no material cerâmico (elemento estacionário), podem ser condensados em quantidades mais ou menos elevadas no eletrodo negativo, dando origem a uma variação de tensão que, enviada ao PCM, permite variar os tempos de abertura dos bicos de injeção de modo a manter o teor da mistura por meio de empobrecimento ou enriquecimento o mais próximo possível do teor estequiométrico.

A Figura 18 apresenta o funcionamento do sensor de oxigênio em mistura pobre e em mistura rica.

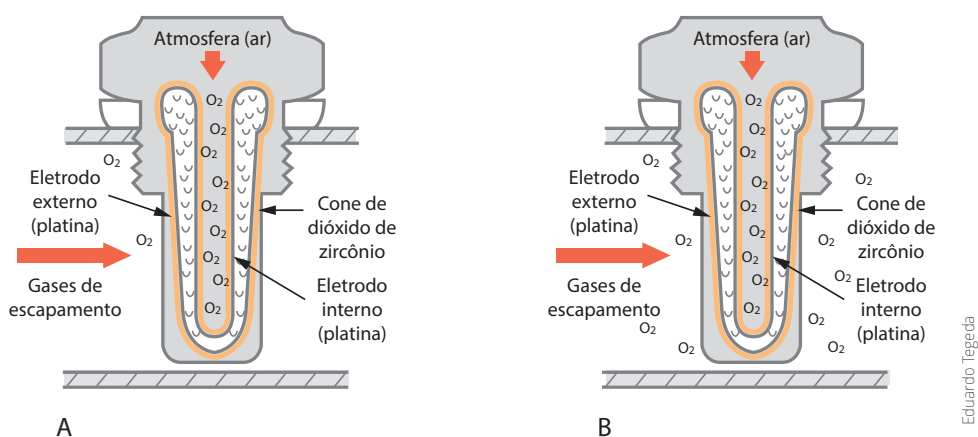


Figura 18 – Funcionamento do sensor de oxigênio. A. Em mistura rica. B. Em mistura pobre.

Operação circuito aberto (*open loop*)

Quando um motor tem sua primeira partida e a rotação está abaixo do seu valor predeterminado na memória do módulo de injeção, o sistema vai para malha aberta (*open loop*) e ignora o sensor de oxigênio. Essa operação também é chamada de **fase de aquecimento**.

Operação circuito fechado (*closed loop*)

Quando os valores de *closed loop* forem alcançados nesse modo de injeção, o módulo passa a calcular a mistura ar/combustível em tempo real, com base no sensor de oxigênio e por meio do tempo de abertura dos bicos injetores, o que permite uma mistura muito próxima à mistura estequiométrica.

A curva característica de uma sonda lambda é apresentada na Figura 19.

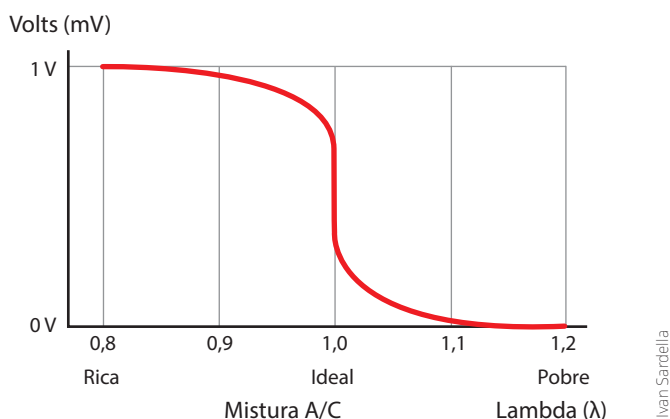


Figura 19 – Curva característica de uma sonda lambda.

Sensor de oxigênio aquecido (HO2S) (Hego)

O sensor HO2S, instalado antes do catalisador, detecta a presença de oxigênio no escapamento e gera uma tensão variável de acordo com a quantidade de oxigênio detectada. Uma alta concentração de oxigênio (relação ar/combustível pobre) no escapamento produz um sinal de tensão menor que 0,4 V. Uma baixa concentração de oxigênio (relação ar/combustível rica) produz um sinal de tensão maior que 0,6 V. O sensor HO2S fornece retorno ao PCM indicando a relação ar/combustível, a fim de obter uma relação estequiométrica ideal durante o funcionamento do motor em circuito fechado. O sensor HO2S gera uma tensão entre 0 V e 1,1 V.

O aquecedor do sensor HO2S está incorporado ao elemento sensor. O elemento de aquecimento aquece o sensor a uma temperatura de aproximadamente 800°C. À aproximadamente 300°C a 350°C, o motor pode entrar no modo de funcionamento de circuito fechado. O PCM liga o aquecedor, fornecendo a corrente de terra na ocorrência das condições corretas. O aquecedor permite a entrada do motor no modo de operação em circuito fechado mais cedo. O uso desse aquecedor requer que o ciclo de trabalho do controle do aquecedor do HO2S

seja alternado, para evitar danificar o aquecedor. A introdução de um resistor elétrico comandado pelo próprio PCM reduz o tempo de aquecimento para aproximadamente 15 a 20 segundos.

IMPORTANTE

A alimentação proveniente do PCM não é contínua e segue um padrão que varia conforme a temperatura do sensor. Alimentar o resistor do sensor com 12 V irá danificá-lo.

O PCM depende do sinal do sensor de oxigênio para identificar o tipo de combustível que o veículo está utilizando (estratégia de aprendizado) e para efetuar correções no tempo de injeção durante o funcionamento do motor (estratégia de adaptabilidade).

A estratégia de aprendizado depende totalmente do sinal enviado pelo sensor de oxigênio. Caso o sensor ou o seu aquecedor venha a falhar, o PCM adotará uma relação ar/combustível fixa até que a irregularidade seja corrigida.

Um sensor de oxigênio em condições normais de trabalho apresenta uma determinada frequência de chaveamento de acordo com a Figura 20, a seguir.

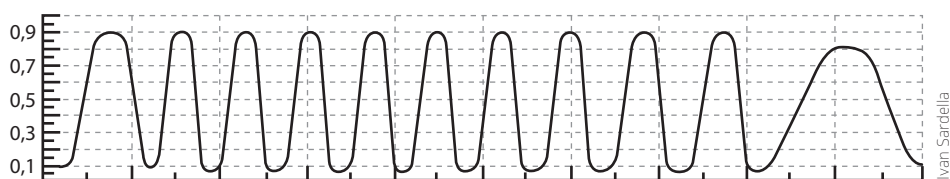


Figura 20 – Frequência de chaveamento de um sensor de oxigênio em condições normais de trabalho.

Sensor do monitor do catalisador (CMS)

O sensor do monitor do catalisador está instalado na tubulação de escapamento do motor, após o catalisador. Tem a função de medir a quantidade de gases (NMHC, CO ou NO_x) que o veículo está liberando no meio ambiente.

O sinal enviado pelo sensor é muito baixo. Uma mistura pobre gera sinais de tensão mais baixos ao passo que uma mistura rica gera tensões mais altas.

O sensor só funciona após atingir sua temperatura de trabalho (aproximadamente 300°C a 350°C). A introdução de um resistor elétrico comandado pelo próprio PCM reduz o tempo de aquecimento para aproximadamente 15 a 20 segundos.

IMPORTANTE

A alimentação proveniente do PCM não é contínua e segue um padrão que varia conforme a temperatura do sensor. Alimentar o resistor do sensor com 12 V irá danificá-lo.

Nos veículos, as sondas podem apresentar, de acordo com o projeto:

- um fio: de sinal;
- três fios: um de sinal e os outros dois do PTC (coeficiente positivo de temperatura) de aquecimento;
- quatro fios: um de sinal, um de massa e os outros dois do PTC de aquecimento.

Características dos sensores de oxigênio

As principais características dos sensores de oxigênio são:

- resistência do PTC de aquecimento $\cong 4,6 \Omega$;
- tensão de alimentação do PTC sonda *finger* (12 V) constante;
- tensão de alimentação do PTC sonda planar variável conforme *duty cycle* enviado pela central de injeção (4,5 V a 12 V);
- tensão gerada pela sonda (100 mV a 900 mV e outras de 0 mV a 1.100 mV).

Sensor de temperatura da água (ECT)

Esse sensor, localizado no sistema de arrefecimento na válvula termostática, é capaz de perceber a variação de temperatura do líquido de arrefecimento e informar essa variação sob a forma de um sinal elétrico ao PCM. Ele é apresentado na Figura 21.

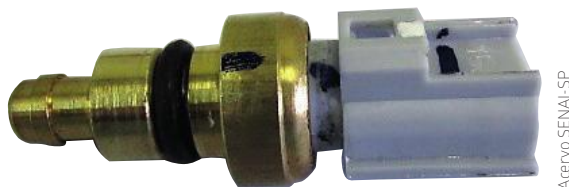


Figura 21 – Sensor de temperatura da água.

O sensor é formado por um corpo de latão ou plástico que protege o elemento resistivo constituído por um termistor do tipo NTC (coeficiente negativo de temperatura), no qual o valor da resistência é inversamente proporcional ao valor da temperatura, ou seja, quando a temperatura sobe a resistência elétrica do sensor diminui e quando a temperatura desce a resistência elétrica do sensor aumenta.

A tensão de referência para o sensor de temperatura é de 5 V. Dado que esse circuito é projetado como divisor de tensão, essa tensão é dividida entre uma resistência existente na central eletrônica e a resistência do NTC do sensor de temperatura da água. A central eletrônica consegue avaliar constantemente as variações de resistência do sensor através das mudanças de tensão, obtendo, assim, a informação sobre a temperatura da água.

Todas as estratégias de funcionamento do PCM (estabilização de marcha lenta, cálculo do volume de injeção e do avanço de ignição etc.) levam em conta a temperatura fornecida pelo ECT.

Também nesse caso a medição da temperatura é realizada segundo o princípio das resistências NTC, ou seja, quanto maior a temperatura, menor o valor da resistência, e vice-versa. As resistências NTC do TMAP e do ECT têm a mesma curva característica.

Sensor de rotação e PMS (CKP)

O sensor de rotação do motor e referência da posição angular da árvore de manivelas (identificação do ponto morto superior; PMS) pode estar localizado

próximo à polia ou ao volante da árvore de manivelas, ou próximo ao comando de válvulas, de acordo com cada tipo de projeto.

O sensor de rotação funciona por princípios eletromagnéticos, e os mais utilizados atualmente são do tipo indutivo ou de efeito Hall.

O rotor de sinal possui uma falha de dois dentes que interrompe momentaneamente a geração da tensão no CKP. Desse modo, o PCM consegue identificar a posição da árvore de manivelas.

O sinal do sensor CKP é utilizado para determinar:

- a posição da árvore de manivelas;
- a rotação do motor;
- a distribuição da ignição;
- o ponto de injeção de combustível.

Sensor indutivo

O sensor do tipo indutivo é constituído de um estojo tubular dentro do qual há um ímã permanente e uma bobina. Seu funcionamento baseia-se no princípio da indução magnética. Ao girar, o intervalo entre os dentes do rotor de sinal altera o fluxo do campo magnético no interior do sensor, induzindo-o a gerar uma tensão elétrica alternada. O PCM avalia as oscilações de intensidade dessa tensão e sua frequência e, a partir desses parâmetros, deduz a rotação do motor, sua aceleração ou desaceleração.

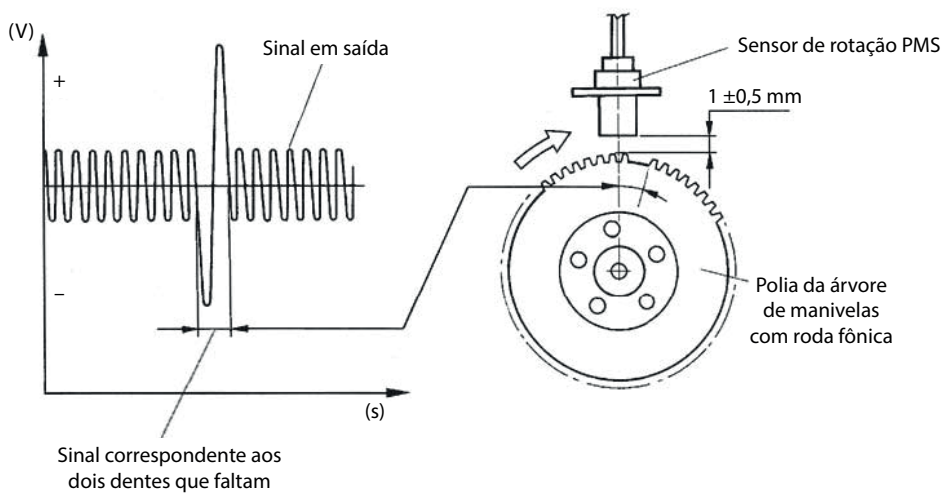
Essas oscilações induzem uma força eletromotriz nas extremidades da bobina, gerando uma tensão alternada de acordo com a passagem dos dentes da roda fônica pelo sensor. O valor de pico de tensão na saída do sensor depende, entre outros fatores, da resistência e da distância entre o sensor e os dentes da roda fônica.

Na roda fônica, existem 60 dentes; a distância entre eles corresponde a um ângulo de 6° (360° dividido por 60 dentes menos 2). Dois desses dentes são removidos para criar uma referência. O início do sincronismo para a injeção e para a ignição é reconhecido logo depois do espaço vazio dos dois dentes que faltam. Esse espaço vazio gera uma amplitude de sinal diferenciado dos outros dentes, o que

faz o módulo iniciar uma contagem a partir do primeiro dente depois da falha. Após um determinado número de dentes, de acordo com o projeto, encontra-se o ponto morto superior do pistão 1 e a partir dele monta-se o mapa de sincronismo.

Nos motores Rocam, da Ford, existe diferença, pois essa leitura é feita no volante do motor. A divisão é 36 dentes menos 1.

A Figura 22 apresenta o funcionamento do sensor indutivo.



Acervo SENAI-SP

Figura 22 – Funcionamento do sensor indutivo.

Observação

Baseado na falha do rotor de sinal, o PCM calcula quando o cilindro 1 estará em PMS, mas não distingue qual a sua fase (compressão ou exaustão). A fase é reconhecida por meio do sinal gerado pelo sensor da posição do eixo de comando de válvulas (CMP).

Sensor de efeito Hall

O sensor de efeito Hall consiste de um componente fixo e um rotativo. O impulsor consta de um ímã permanente com peças condutoras e de um circuito integrado (CI – Hall). O CI – Hall é um interruptor eletrônico que comporta o

modelador de impulsos, o amplificador, o estabilizador de tensão e o compensador de temperatura, além da placa semicondutora Hall.

O funcionamento desse tipo de sensor baseia-se no efeito Hall: uma corrente elétrica (I_v) percorre uma camada semicondutora (camada Hall). Se essa camada for exposta a um campo magnético B de sentido perpendicular, origina-se entre as superfícies de contato A_1 e A_2 uma tensão no âmbito de milivolts denominada de tensão Hall (U_H) (Figura 23).

Se a intensidade da corrente for constante, a tensão Hall dependerá exclusivamente da intensidade do campo magnético. Quanto mais intenso for o campo, tanto maior será a tensão U_H . Se a intensidade do campo magnético sofrer modificações periódicas no ritmo necessário, a central de injeção consegue identificar a rotação e o PMS.

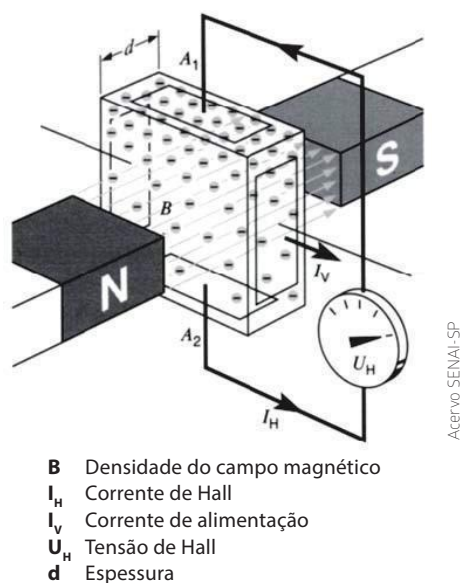


Figura 23 – Funcionamento do sensor de efeito Hall.

Quando um dos segmentos de blindagem penetrar no entreferro do impulsor, o campo magnético é desviado, impedindo que ele passe ao CI-Hall. A camada Hall está agora, praticamente, isenta de campo e, portanto, $U_H = 0$.

A Figura 24 apresenta a tensão e o tempo em um sensor de efeito Hall.

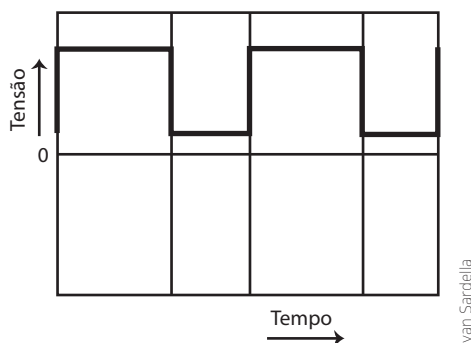
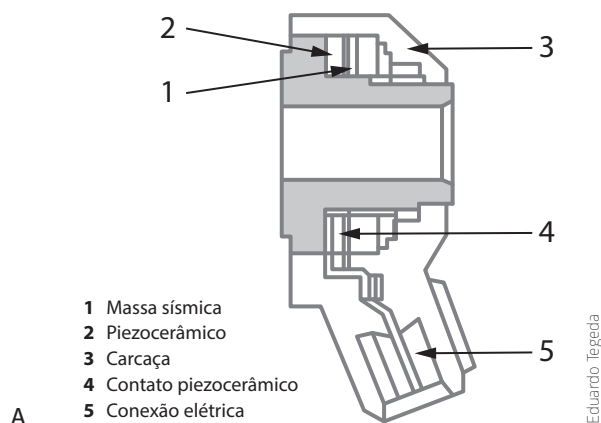


Figura 24 – Tensão e tempo em um sensor de efeito Hall.

Sensor de detonação (KS)

O sensor de detonação contém uma bucha passante para prevenir um aperto não apropriado. É parafusada no bloco do motor, e seu correto funcionamento depende tanto de sua posição de montagem quanto do torque em seu parafuso de fixação. Em caso de substituição, para evitar que a sensibilidade do sensor seja reduzida, não se deve colocar arruelas ou espaçadores entre a superfície do sensor e o motor.

O sensor possui internamente uma massa sísmica e um cristal piezocerâmico com dois contatos nas faces. Ele trabalha segundo o princípio piezoeletrônico, ou seja, determinados esforços mecânicos fazem com que ele gere pulsos de tensão (Figura 25).



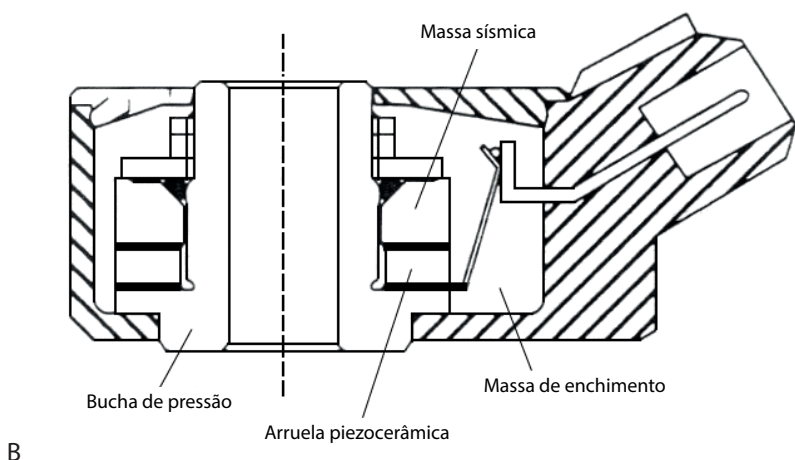


Figura 25 – A e B. Partes do sensor de detonação.

Nesse caso, os esforços a que o sensor estará sujeito são as vibrações no bloco do motor.

A detonação produz no motor uma vibração muito peculiar que, ao atingir o sensor, gera um pulso de tensão igualmente peculiar.

Avaliando esses pulsos, o PCM identifica a ocorrência de detonação, distingue em qual cilindro ela ocorreu, qual sua intensidade, se sua presença é danosa ao motor e define o avanço de ignição para aquele cilindro.

A detonação de combustão ocorre quando a velocidade da chama é similar à velocidade do som. Isso pode acontecer no final da combustão, principalmente quando ocorre a autocombustão da mistura de gases não queimados nas paredes da câmara de combustão em razão do aumento da pressão e do subsequente início da combustão normal. Os picos de pressão resultantes danificam os pistões, a junta do cabeçote dos cilindros e o cabeçote dos cilindros.

Se ocorrer uma detonação de combustão, o ponto de ignição será retardado em etapas apenas para o cilindro específico, até que a detonação pare de ocorrer. Em seguida, o ponto de ignição é lentamente ajustado de volta para a direção anterior, até que o ponto de ignição especificado pelo PCM seja novamente atingido.

Se o sinal do KS se tornar muito fraco ou inexistente, o controle de combustão será desativado. O padrão usado pelo PCM é um mapa de ignição que está mais distante do limite de combustão para não danificar o motor.

Em sistemas de ignição eletrônica, a distribuição de alta tensão para os cilindros individuais é obtida por bobinas de ignição duplas especiais. O sinal do sensor de CKP compõe a base dos cálculos de distribuição da ignição. O PCM determina, a partir de um mapa de ignição, o melhor tempo de fechamento e a elevação de corrente do circuito primário de corrente da bobina de ignição, sendo a mudança realizada por meio dos estágios finais no PCM.

A distribuição da ignição é determinada pelo PCM com base nas condições de operação do motor. Depois que a distribuição da injeção for determinada, o PCM interromperá o suprimento de corrente para o circuito primário da bobina de ignição, acionando assim uma alta tensão que causa uma faísca no cilindro por meio do cabo e da vela de ignição.

As velas de ignição são ativadas em pares (cilindros 1 e 4, e cilindros 2 e 3) e enviam uma faísca principal forte para o cilindro no ciclo de compressão e uma faísca secundária fraca para o cilindro no ciclo de escape. A faísca principal é gerada automaticamente no cilindro que está no curso de compressão, uma vez que há uma resistência maior entre os eletrodos por causa dos gases em alta compressão.

Como o circuito de alta tensão de uma bobina de ignição dupla é um circuito fechado, a ignição de uma vela passa do eletrodo central para o eletrodo aterrado e a ignição da outra vela passa do eletrodo aterrado para o eletrodo central.

Ignição no motor bicombustível

A ignição é otimizada em razão da diferença de densidade das misturas que são queimadas.

O tempo de carga da bobina é diferente para cada combustível, isto é, a duração da centelha, garantindo a queima completa da mistura e aumentando a durabilidade das velas e dos cabos.

Características da ignição no motor bicombustível

- Otimização da ignição para misturas.
- Controle do tempo de carga da bobina para cada combustível.

- Maior durabilidade de velas e cabos.
- Melhor queima da mistura.
- Melhor operação do motor em qualquer temperatura.

Controle de detonação ativo

O sistema de ignição tem controle de detonação ativo, em que o avanço de ignição é feito individualmente por cilindro, isto é, o controle de avanço não é mais limitado pelo cilindro mais crítico.

Portanto, nesse sistema, pode haver momentos de ignição diferentes para cada cilindro.

O controle de detonação ativo otimizou o avanço da ignição em todas as condições de funcionamento do motor e melhorou o rendimento em todas as situações.

Cada cilindro funciona com o máximo de avanço possível, gerando o maior rendimento possível do motor, otimizando o consumo de combustível e mantendo o motor protegido mesmo com combustíveis de baixa octanagem.

Benefícios

Os benefícios da ignição no motor bicomcombustível são:

- otimização do consumo de combustível;
- maximização do desempenho com qualquer mistura de álcool/gasolina;
- proteção do motor, mesmo com o uso de combustíveis de baixa octanagem.

Sensor de velocidade (VSS)

A função desse sensor é indicar ao PCM qual a velocidade do veículo. Pela linha CAN, o PCM repassa essa informação ao conjunto dos instrumentos, além de utilizá-la nas estratégias de freio motor, desaceleração e marcha lenta. Esse sensor está ilustrado na Figura 26, a seguir.

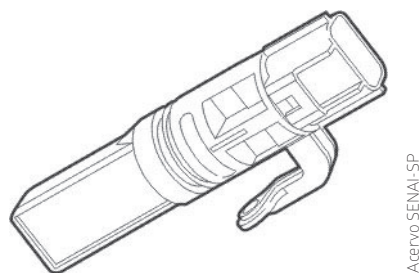


Figura 26 – Sensor de velocidade.

O princípio de funcionamento do VSS é o do efeito Hall. Nele, um semicondutor é alimentado por uma corrente elétrica e submetido a um campo magnético, o que gera entre duas de suas superfícies uma tensão, chamada tensão Hall. Quando a passagem do campo magnético é interrompida, a tensão Hall deixa de existir.

O VSS é montado na transmissão, próximo a uma roda dentada que gira em conjunto com a saída da transmissão. Quando um dos dentes da roda se aproxima do sensor, o campo magnético que atravessa o circuito Hall é interrompido e, conseqüentemente, a tensão Hall deixa de existir. Como a roda dentada gira, o VSS gera pulsos de tensão que são lidos pelo PCM. A frequência na qual ocorrem os pulsos de tensão indica a velocidade do veículo.

Sensor da posição do eixo de comando de válvulas (CMP)

O CMP ou sensor de fase, como também é chamado, está localizado próximo ao comando de válvulas ou próximo ao comando intermediário. Seu princípio de funcionamento é o mesmo do sensor de velocidade. Sua função no sistema é indicar quando o primeiro cilindro está no tempo de compressão, para que a central possa assim determinar:

- a sequência de injeção de combustível;
- a sequência de disparo para a ignição, de acordo com o projeto;
- o sensor de detonação que efetuará a leitura, quando houver mais de um sensor de detonação.

O sensor da posição do eixo de comando de válvulas está ilustrado na Figura 27, a seguir.

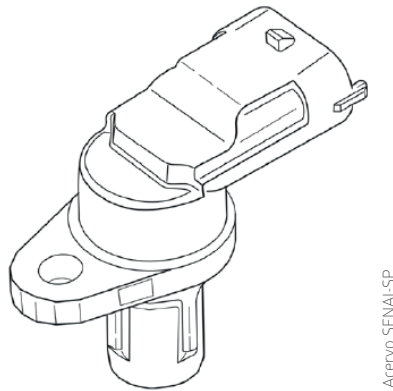


Figura 27 – Sensor da posição do eixo de comando de válvulas.

A construção e o princípio de funcionamento dos CMP são de dois tipos: os que utilizam o sensor tipo indutivo igual ao sensor de rotação (CKP) e os que utilizam o sensor tipo Hall.

Nos sistemas Rocam, da Ford, são utilizados os dois tipos, que se encontram no gerador de impulsos montado no eixo comando de válvulas.

Atuadores

Módulo de acionamento da bomba de combustível

Aplicado ao sistema Rocam, da Ford, o módulo de acionamento da bomba de combustível comanda o fornecimento de combustível da bomba. O módulo está localizado na lateral traseira, lado direito.

A alimentação de tensão do módulo de acionamento da bomba de combustível é feita através do fusível, que alimenta o circuito do relé da bomba de combustível. No acionamento da chave de ignição, o relé da bomba de combustível é aplicado e a tensão do circuito passa pelo fusível, interruptor inercial de corte de combustível e módulo de acionamento da bomba de combustível.

Através do módulo de acionamento, o PCM controla o fornecimento da bomba de combustível.

Eletroválvulas

O sistema de injeção conta com eletroválvulas para acionar ou interromper o funcionamento de alguns atuadores, tais como o canister, válvula EGR, válvulas injetoras (bico injetor), coletor de admissão variável e comando de válvulas variável. Isso é possível através do módulo de injeção, que permite ou não a passagem de corrente elétrica que alimenta a eletroválvula.

A eletroválvula ou solenoide é um mecanismo eletromagnético composto de um enrolamento de fio (bobina) em torno de um núcleo móvel de ferro. Quando a corrente passa pela bobina, cria-se um campo magnético que puxa o núcleo para o interior do enrolamento.

Relés de comando

Os relés são componentes eletromecânicos capazes de controlar circuitos externos de grandes correntes a partir de pequenas correntes ou tensões, ou seja, acionando-se um relé com uma pilha, pode-se controlar um motor que esteja ligado em 110 V ou 220 V.

O funcionamento dos relés é bem simples: quando uma corrente circula pela bobina, esta cria um campo magnético que atrai um ou uma série de contatos fechando ou abrindo circuitos. Ao cessar a corrente da bobina, o campo magnético também cessa, fazendo os contatos voltarem para a posição original.

Bobina de ignição

A bobina de ignição armazena a energia necessária para a ignição e gera a alta tensão necessária para a ruptura da faísca no ponto de ignição. Ela está ilustrada na Figura 28, a seguir.



Figura 28 – Bobina de ignição.

O funcionamento de uma bobina de ignição baseia-se na lei da indução. Essa lei refere-se a dois enrolamentos de cobre acoplados magneticamente (enrolamento primário e secundário). A energia armazenada no campo magnético do enrolamento primário é transmitida para o lado secundário. A corrente e a tensão são transferidas do lado primário para o lado secundário dependendo da relação do número de espiras (relação de espiras).

As bobinas modernas de ignição consistem em um núcleo de ferro fechado, composto por chapas laminadas de ferro silício e uma carcaça plástica. A carcaça plástica é preenchida com resina de epóxi para isolamento dos enrolamentos entre si e em relação ao núcleo. A estrutura e o modelo da bobina de ignição dependem de cada caso de aplicação.

A bobina DIS é composta por dois transformadores de ignição e um estágio de potência, montados em um único componente. Um transformador fornece a centelha para os cilindros 1 e 3, enquanto o outro, para os cilindros 2 e 4.

A alimentação positiva, proveniente do PCM, chega ao terminal 2 do DIS e alimenta cada um dos transformadores. O PCM fornece a alimentação negativa (comando de excitação) para cada um dos transformadores independentemente através dos terminais 1 e 3.

Em função de vários parâmetros, principalmente do regime de trabalho do motor e da carga da bateria, o PCM define, para cada transformador, em que momento a excitação deve ser interrompida para gerar a centelha (avanço de ignição) e quando deve ser retomada, garantindo a formação da próxima centelha (ângulo de permanência).

Válvula de controle da marcha lenta (IAC)

Para funcionar em marcha lenta com a borboleta completamente fechada, um motor necessita de certa quantidade de ar e de combustível para vencer os atritos e manter sua própria rotação.

Na quantidade de ar que chega do filtro, que em marcha lenta passa através da borboleta em posição fechada, é preciso acrescentar durante as fases de aquecimento do motor, ou ao ligar os acessórios elétricos ou de cargas externas existentes (ar-condicionado, direção hidráulica), uma maior quantidade de ar para que

o motor possa manter constante o valor de rotações. Para obter esse resultado, o sistema utiliza os chamados atuadores de marcha lenta, que podem ser do tipo solenoide (explicado anteriormente), motor de passo e motor de corrente contínua, que serão vistos adiante.

Válvula de controle térmica (adicionador de ar)

O princípio de funcionamento da válvula térmica está baseado na deformação provocada pelo aquecimento de uma lâmina bimetálica. O aquecimento da lâmina bimetálica provoca uma dilatação diferenciada em cada um dos metais que a compõe pela diferença do coeficiente de dilatação entre ambos, e como estão mecanicamente fixados, o resultado é uma deformação do conjunto, provocando um movimento da lâmina.

A lâmina, então, comanda a ação de uma guilhotina sobre uma tubulação, enquanto uma mola em oposição ao sentido de ação da lâmina sobre a guilhotina possibilita o contato constante da guilhotina com a lâmina. Para se acelerar o processo de aquecimento da lâmina, ela é envolvida por um elemento de aquecimento (resistor).

A finalidade é permitir uma admissão adicional de ar enquanto a lâmina bimetálica se mantiver fria, promovendo durante esse curto período uma elevação de rotação do motor.

Motor de passo

O motor de passo é fixado ao corpo de borboleta e está subordinado ao módulo de injeção/ignição que, durante o funcionamento, desloca uma haste munida de um obturador que varia a seção de passagem do *bypass* e, conseqüentemente, a quantidade de ar aspirada pelo motor (Figura 29).

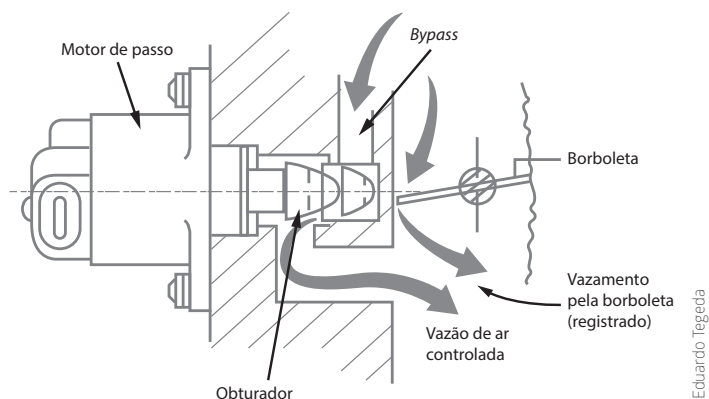


Figura 29 – Motor de passo.

O módulo eletrônico utiliza, para regular esse tipo de ação, os parâmetros de velocidade angular do motor e temperatura do líquido de arrefecimento provenientes dos respectivos sensores.

O motor de passo tem um estator e um rotor com rosca sem-fim. O estator consiste em duas bobinas fixas, e o rotor de um ímã permanente e uma haste roscada sem-fim que comanda o atuador mecânico. A haste está roscada no ímã e é guiada pela carcaça evitando o seu movimento de giro, ou seja, a haste é solidária ao eixo imantado do rotor, girando com a mesma rotação. Por esse motivo, o atuador mecânico desloca-se axialmente, em um movimento de avanço ou retração dependendo do sentido de giro do motor.

O motor de passo tem esse nome porque o rotor tem um giro escalonado, ou seja, conforme a comutação vai mudando a polaridade nas duas bobinas, a posição do campo magnético do estator também muda, fazendo girar o rotor por repulsão magnética. Dependendo da ordem de polarização que é feita no estator, o movimento será horário ou anti-horário.

O motor elétrico de passo é caracterizado por elevada precisão e resolução (cerca de 20 rotações). Os impulsos enviados pelo módulo eletrônico de comando ao motor são transformados de movimento rotatório a movimento linear de deslocamento (cerca de 0,04 mm/ passo), por meio de um mecanismo do tipo rosca

sem-fim interna, que aciona o obturador cujos deslocamentos variam a seção do *bypass*. A vazão de ar mínima de valor constante é em razão da passagem sob a borboleta, a qual é regulada na fábrica e garantida por uma tampa de inviolabilidade. A vazão máxima é garantida pela posição de máxima rotação do obturador (cerca de 200 passos correspondentes a 8 mm linear).

Motor rotativo de corrente contínua

Os atuadores de marcha lenta do tipo motor rotativo de corrente contínua variam o fluxo de ar através da ação de um motor que está ligado a um eixo que, por sua vez, contém uma guilhotina.

Os motores rotativos podem ser **simples** ou **duplos**. O motor rotativo é controlado pelo módulo de injeção que atua sobre ele com um pulso cíclico variável (*duty cycle*). O motor simples tem que vencer a ação de uma mola de torção que tende a fechar a passagem do *bypass*. A abertura necessária no *bypass* varia de acordo com o regime de marcha lenta. Para suprir essa variação, o módulo aumenta ou diminui o tempo do pulso enviado ao motor, sendo que quanto maior o tempo do pulso, maior será a abertura do *bypass*.

A Figura 30 apresenta o funcionamento do motor rotativo de corrente contínua.

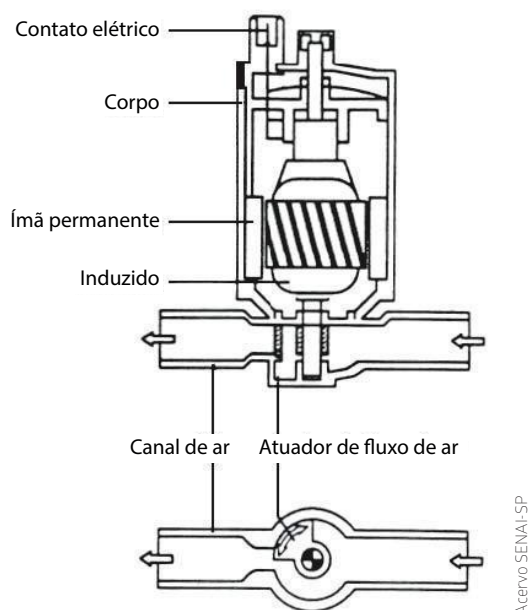


Figura 30 – Motor rotativo de corrente contínua.

Já nos motores rotativos duplos, o retorno deve ser comandado, já que a mola de torção é substituída por mais uma bobina, que combinada com o funcionamento da primeira, faz girar no sentido horário ou anti-horário. A abertura ou o fechamento da válvula guilhotina continua sendo de pulso cíclico variável, entretanto, tornam-se necessários tanto o comando de abertura quanto o comando de fechamento da válvula.

Motor de corrente contínua

O atuador de marcha lenta é um motor elétrico de corrente contínua. No eixo do rotor (dois enrolamentos de bobina) e no estator (dois polos de ímã permanente), a comutação (chaveamento) das bobinas é feita por meio de escovas que alimentam eletricamente cada bobina alternadamente, provocando uma inversão de polos magnéticos a cada chaveamento e consequentemente giro do rotor no sentido do polo fixo do ímã.

A inversão do sentido de rotação é obtida através da inversão da polaridade elétrica nos terminais das escovas feita pelo módulo de injeção com uma tensão intermitente, segundo as necessidades de posicionamento, de alguns milissegundos à ativação permanente.

No mesmo eixo do rotor há uma rosca sem-fim, que poderá acionar a coroa do conjunto coroa sem-fim, um movimento de rotação que provoca um movimento axial do eixo atuador, abrindo ou fechando a borboleta de aceleração.

Corpo de borboleta motorizado (eletromecânico)

Para máxima eficiência dos motores, o controle mecânico foi sendo substituído com o passar do tempo. Passou a ser um atuador eletromecânico, pois um motor elétrico de corrente contínua atua sobre engrenagens, umas das quais ligada ao eixo da borboleta. Integrado ao corpo está o sensor TPS (sensor de posição da borboleta), que monitora a abertura da borboleta de aceleração. Esse sensor faz parte de um controle integrado do acelerador eletrônico.

Nesse subsistema, é feito um controle cíclico que parte do sensor do pedal de aceleração, passando pelo módulo de injeção. Agora não é o motorista quem determina a aceleração do veículo: a interpretação do módulo sobre a solicita-

ção do motorista exercida no pedal, a leitura de carga, a temperatura do motor combustão e as emissões transformam-se em torque efetivo do motor.

No controle da marcha lenta, o corpo passou a realizar essa atividade pela própria abertura da borboleta (comandada pelo módulo de injeção.). É importante lembrar que os padrões autoadaptativos influenciam bastante a posição da borboleta durante a marcha lenta.

Válvula de controle da marcha lenta

Aplicado ao sistema Rocam, da Ford, o motor de passo de marcha lenta ou válvula IAC (*idle air control*) é um tipo de atuador de marcha lenta. Ele é utilizado para permitir uma entrada de ar suficiente para que o motor mantenha a marcha lenta, indiferente às exigências do ar-condicionado, do alternador e de outros componentes que possam afetar sua estabilidade. O atuador é instalado em um desvio (*bypass*) da borboleta e pode controlar o fluxo de ar enquanto ela se encontra em repouso.

A Figura 31 apresenta uma válvula de controle da marcha lenta.



Figura 31 – Válvula de controle da marcha lenta.

A válvula IAC tem a finalidade de manter uma marcha lenta estável, não só no aquecimento, mas em todas as possíveis condições de funcionamento da marcha lenta. O atuador controla o ar da marcha lenta e a rotação do motor, de modo a evitar a parada do motor durante suas alterações de carga. O motor de passo, comandado pela unidade de comando, retrai o êmbolo cônico (para aumentar o fluxo de ar) ou o estende (para reduzir o fluxo de ar), aumentando e reduzindo, desse modo, a rotação da marcha lenta do motor. Durante a marcha lenta, a posição do êmbolo cônico é calculada com base nos sinais de voltagem da bateria, temperatura do líquido de arrefecimento (ECT) e carga do motor (TMAP).

A unidade de comando grava na memória informações sobre a posição da válvula IAC. Caso haja perda de energia da bateria ou se a válvula IAC se desconectar, essas informações serão incorretas. A rotação da marcha lenta poderá ser incorreta e será preciso ajustar a válvula IAC. O ajuste do IAC é executado pela unidade de comando, logo após a rotação do motor chegar acima de 3.500 rpm e a chave de ignição ser desligada.

A unidade de comando ajustará a válvula IAC, deixando-a totalmente estendida, estabelecendo assim a posição zero, e, a seguir, retraindo-a na posição solicitada. O movimento da válvula IAC varia em torno de 0 a 160 passos. O circuito elétrico da válvula é monitorado quanto ao circuito interrompido e curtos.

Interruptor inercial de corte de combustível (IFS)

Em caso de forte impacto (velocidade de impacto superior a 20 km/h), uma esfera vence a força magnética, que a mantém na sua sede, e força o interruptor para cima, interrompendo-se, assim, o circuito elétrico. Outro tipo de interrupção inercial de corte de combustível consiste em um pêndulo de massa invertido, que é retido em um cone através de um jogo de molas lineares. Quando um impacto forte ocorre, o pêndulo desloca-se do cone, abre o circuito e desliga a bomba de combustível elétrica. Para restabelecer o circuito, o interruptor (em ambos os casos) deve ser pressionado manualmente.

Esse interruptor, aplicado no sistema Rocam, da Ford, está ilustrado na Figura 32.

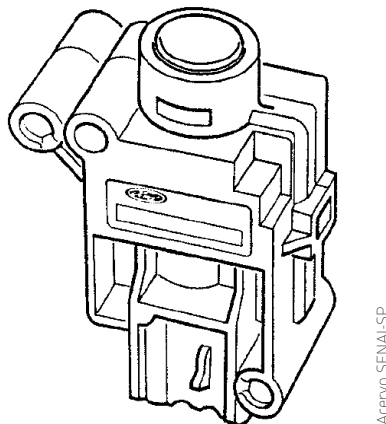


Figura 32 – Interruptor inercial de corte de combustível (IFS).

Observação

O interruptor deve ser reativado somente quando se houver certeza absoluta da vedação do sistema de alimentação de combustível.

Para veículos sem um interruptor IFS, o módulo de controle da bomba de combustível recebe um sinal de evento do módulo de controle de segurança (RCM) para desabilitar a bomba de combustível durante uma colisão. O sinal é enviado por um circuito dedicado entre o módulo de controle da bomba de combustível e o RCM.

Válvula termostática eletrônica

O controle da temperatura foi outra base para o desenvolvimento do motor Rocam, que, além da aplicação da eletrônica, desenvolveu ainda um novo bloco, com galerias de circulação de água mais longas, o que permitiu maior troca de calor do cilindro com a água.

O motor *flex* utiliza uma válvula termostática controlada eletronicamente. Seu funcionamento é controlado pelo PCM por meio de mapas de características que estão em função do combustível utilizado. Esse sistema permite que o motor trabalhe na melhor faixa de temperatura para qualquer um dos combustíveis, conforme se observa na Figura 33, a seguir. A Figura 34 apresenta uma válvula termostática eletrônica.

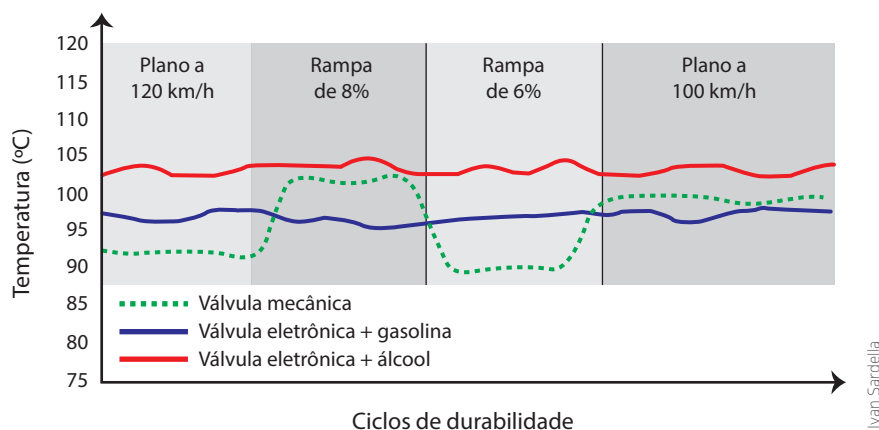


Figura 33 – Faixas de temperatura de válvulas de acordo com o declive da via.



Figura 34 – Válvula termostática eletrônica.

Quando um motor é equipado com um termostato convencional, a válvula termostática está calibrada para impedir que o motor ultrapasse determinada temperatura. A temperatura normal de trabalho do motor a gasolina é de 97°C e do álcool é de 103°C , ou seja, se a válvula fosse calibrada para funcionar em um motor a gasolina e fosse utilizado álcool, o motor trabalharia em uma temperatura inferior à normal; se o contrário fosse aplicado, o motor trabalharia em uma temperatura superior à normal de trabalho.

A válvula termostática eletrônica permite melhor rendimento mecânico ao estabilizar a temperatura de trabalho e controlar a temperatura de trabalho em função do combustível.

Funcionamento

A válvula termostática eletrônica tem o mesmo princípio de funcionamento de uma válvula termostática convencional, que utiliza cera sensível ao calor para seu controle de temperatura.

Quando o motor está frio, a cera permanece em seu formato inicial, e a mola mantém a válvula fechada. Quando o líquido de arrefecimento se aquece, a cera se expande. A expansão empurra o corpo da válvula para baixo, o que abre o fluxo de líquido de arrefecimento para o radiador.

A diferença entre a válvula termostática eletrônica e a comum é que, além do aquecimento gerado pela água, a cera dilatadora pode ou não sofrer o aqueci-

mento gerado por uma resistência elétrica que é controlada pelo PCM em função do combustível utilizado.

Quando o veículo está abastecido com 100% de álcool, a temperatura normal de trabalho é 103°C. Para manter essa temperatura, o PCM não manda nenhum sinal para a válvula termostática nem gera o aquecimento adicional da cera pela resistência elétrica. A ventoinha do motor é acionada quando a temperatura da água atinge 106°C e desligada quando a temperatura cai para 100°C.

Quando o veículo está abastecido com 100% de gasolina, a temperatura normal de trabalho é 97°C. Para manter essa temperatura, o PCM aquece adicionalmente a cera dilatadora da válvula termostática através da resistência elétrica.

Módulo ou unidade de controle da injeção eletrônica

O módulo ou unidade de controle é o centro de processamento e comando do sistema da injeção eletrônica. Por meio dos sinais recebidos dos sensores, o módulo calcula os sinais de excitação para os atuadores com auxílio das funções e dos algoritmos armazenados na memória, ativando-os diretamente através dos estágios de saída de potência.

Os módulos de controle, por causa da globalização, são conhecidos por vários nomes, como ECU, UC, ECM, PCM, centralina, caixa de comando, central eletrônica etc.

A Figura 35 apresenta um módulo de controle.



Acervo SENAI-SP

Figura 35 – Módulo de controle.

Para atender às necessidades de cada projeto, os sistemistas designaram diversas estratégias para os módulos de controle. As estratégias de controle da injeção têm o objetivo de fornecer ao motor a quantidade de combustível correta e no momento certo, em função das condições de funcionamento do motor.

Métodos para quantificar o ar admitido

Rotação \times densidade (*speed density*)

O sistema de injeção e ignição utiliza um sistema de medida indireta (*speed density lambda*), ou seja, velocidade angular de rotação, densidade do ar aspirado e controle da mistura.

A quantidade de ar aspirada por cada cilindro, para cada ciclo do motor, além da densidade do ar aspirado, depende também da cilindrada unitária e da eficiência volumétrica. A densidade do ar aspirada pelo motor é calculada em função da pressão absoluta do motor e da temperatura, ambas detectadas no coletor de admissão. Quanto maior for a pressão, maiores são a densidade, a massa e o fluxo de massa, e maior deverá ser o tempo de injeção. O inverso ocorre quando a pressão diminui.

Eficiência volumétrica é o parâmetro referente ao coeficiente de enchimento dos cilindros detectados com base em experimentos feitos no motor em todos os regimes de funcionamento. Depois, esses experimentos são memorizados no módulo eletrônico. Estabelecida a quantidade de ar admitida, o sistema fornece a quantidade de combustível ideal.

Rotação \times ângulo de borboleta

Nesse caso, o sensor da borboleta de aceleração é utilizado como sensor de carga para determinação do tempo de injeção e ponto de ignição. O sinal de carga também é usado, entre outros, como informação adicional para funções dinâmicas para reconhecimentos de faixas (marcha lenta, carga parcial e plena carga).

Quando o sensor da borboleta de aceleração é empregado como sensor principal de carga, as exigências de precisão ficam maiores. A maior precisão de

posicionamento é obtida por um sensor de borboleta de aceleração com dois potenciômetros (dois setores angulares).

Com o tempo de injeção diferenciado para maior ou para menor, a mistura ar-combustível aumenta ou diminui, fazendo com que a disponibilização de energia se altere proporcionalmente, o que é sentido por um sensor de rotação do motor.

A massa de ar aspirada é determinada na unidade de comando em função da posição da borboleta de aceleração e rotação pertinente. Variações de massa de ar em função de temperaturas são consideradas através da avaliação do sensor de temperatura do ar admitido.

Medidor de fluxo de ar × rotação

Neste caso o sensor principal indicador de carga é o medidor de fluxo de ar. A massa de ar aspirada é determinada na unidade de comando em função do sinal do sensor de rotação e do sensor medidor de fluxo de ar. Variações de massa de ar em função de temperaturas são consideradas através da avaliação do sensor de temperatura do ar admitido.

Medidor de massa de ar e rotação

O medidor de massa de ar e rotação é o principal sensor indicador de carga. A massa de ar aspirada é determinada na unidade de comando em função do sinal do sensor de rotação e do sensor medidor de massa de ar. Variações de massa de ar em função de temperaturas são consideradas por meio da avaliação do sensor de temperatura do ar admitido.

Estratégias de controle dos injetores em sistemas monopontos

Nesses sistemas de injeção, o controle do eletroinjeter pelo módulo pode ter:

- **Funcionamento síncrono:** aciona o eletroinjeter toda vez que for enviado um impulso para a ignição; nesse caso, são dois tempos (volumes) de injeção para cada volta do virabrequim.

- **Funcionamento assíncrono:** aciona o eletroinjeter independentemente do número de impulsos da ignição, com base de tempos de injeção muito reduzidos e características mecânicas de inércia (histerese) do eletroinjeter, impedindo a abertura e o fechamento corretos.

Estratégias de controle dos injetores em sistemas multipontos

Dependendo do sistema de injeção, o controle dos injetores pelo módulo pode ser:

- **Simultâneo (*full group*):** todos os injetores injetam ao mesmo tempo, sendo quatro volumes de injeção admitidos inicialmente durante a partida e dois volumes de injeção durante o funcionamento do motor, ou seja, uma injeção para cada volta do virabrequim. Isso pode dar a ideia de uma grande perda de combustível, uma vez que em grande parte das vezes irá se injetar combustível com a válvula de admissão fechada.
- **Semissequencial (*banco a banco*):** injeta em grupo de dois ou três injetores nos cilindros gêmeos dependendo do motor (de 4 ou 6 cilindros). Teoricamente, não existe injeção na fase de compressão. No sistema simultâneo, sempre que isso ocorria, estavam armazenados quatro volumes de injeção no coletor de admissão, enquanto nesse sistema semissequencial nunca mais do que dois volumes ficam à espera da abertura da válvula de admissão. Nesse sistema, é necessário reconhecer o PMS de cada grupo de gêmeos.
- **Sequencial defasado:** injeta na sequência da ordem de ignição do motor, momento antes da válvula de admissão abrir (a solicitação pode iniciar no tempo de expansão até o tempo de admissão já iniciado), sendo o cilindro 1 reconhecido pelo sensor de fase, uma vez que o sensor de rotação só identifica os cilindros gêmeos.
- **Sequencial fasado:** injeta na sequência da ordem de ignição do motor, durante o tempo de admissão do motor.

13. Gerenciamento eletrônico do motor

Estratégia de funcionamento Controles

A nova tecnologia implantada no motor Rocam *flex* permite a queima da gasolina, do álcool hidratado ou da mistura de ambos em qualquer proporção. O sistema de gerenciamento do motor adapta-se automaticamente ao combustível fornecido e não requer qualquer intervenção do motor.

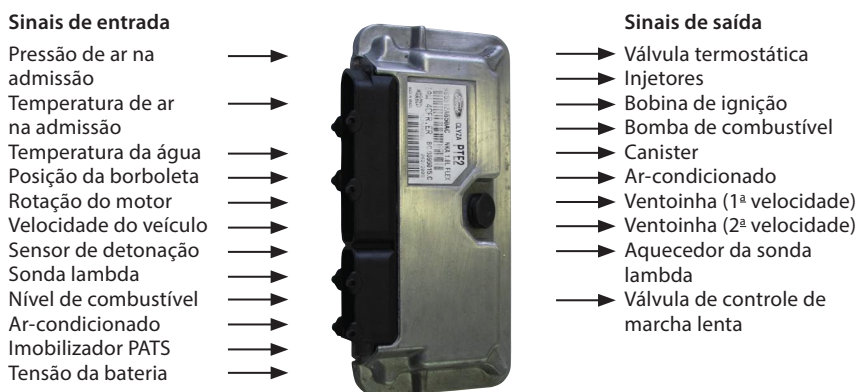
Esse novo motor permite flexibilidade na escolha do combustível a cada abastecimento, adequando o tipo de combustível às necessidades de autonomia, desempenho e custo por quilômetro rodado, além de eliminar a obrigatoriedade de escolher o tipo de combustível no momento da compra do veículo.

O controle eletrônico do motor apresenta as seguintes características:

- injeção eletrônica sequencial multiponto de combustível;
- medição do fluxo de ar, calculado indiretamente pelo PCM, não existe sensor para essa informação;
- medição de pressão no coletor de admissão;
- medição da temperatura no coletor de admissão;
- ignição eletrônica, com controle de detonação ativo;
- compensação da temperatura do ar de admissão;
- compensação da tensão da bateria para os injetores;
- controle de marcha lenta;
- corte de combustível em freio motor;
- controle de emissões;
- estratégia de emergência;
- capacidade de autodiagnóstico.

Estratégia de funcionamento

A Figura 1 apresenta as entradas e as saídas do sistema de gerenciamento eletrônico do motor.



Acervo SENAI-SP

Figura 1 – Entradas e saídas do sistema de gerenciamento eletrônico do motor.

Sinais de entrada

Pressão do ar na admissão (MAP)

O PCM utiliza essa informação para calcular a quantidade de ar admitido.

Temperatura do ar na admissão (IAT)

O PCM utiliza essa informação para calcular a quantidade de ar admitido e de combustível a ser injetado, bem como ativar sistema de partida a frio e controlar a marcha lenta.

Temperatura da água (ECT)

O PCM utiliza essa informação para ativar o sistema de partida a frio, acionar o eletroventilador do radiador, calcular a quantidade de combustível a ser

injetado, controlar a válvula IAC, habilitar o funcionamento do compressor do ar-condicionado, cortar o combustível em desaceleração, controlar o ponto de ignição e a válvula termostática elétrica.

Posição da borboleta (TP)

O PCM utiliza essa informação para o enriquecimento da mistura e desativação do compressor de ar-condicionado em aceleração, corte dos bicos em desaceleração e, eventualmente, como alternativa à falha do sensor MAP.

Rotação do motor (CKP)

O PCM utiliza essa informação para controlar o ponto de ignição, cortar os bicos em desaceleração e cortar os bicos para limitar a rotação do motor. Essa informação também é utilizada para o PCM reconhecer o tempo de cada cilindro, para ativar a injeção sequencial de combustível.

Sensor de velocidade (VSS)

O PCM utiliza essa informação para controlar o ponto de ignição, a injeção de combustível, a válvula IAC e o corte de combustível em desaceleração.

Sensor de detonação (KS)

O PCM utiliza essa informação para reconhecer como está ocorrendo a combustão no motor e calcular o melhor ponto de ignição.

Sonda lambda (Hego)

A sonda lambda (Hego) informa ao PCM a quantidade de oxigênio nos gases de escape. Essa informação serve para o PCM controlar a quantidade de combustível a ser injetado em função do combustível utilizado, controle da marcha lenta e rotações médias.

Nível de combustível

Trata-se da informação da boia do tanque. Se o PCM detectar uma alteração no nível de combustível, ao ser ligada a ignição, em relação ao nível de quando a ignição foi desligada, será ativada a estratégia de reconhecimento do combustível.

Ar-condicionado

Informação de solicitação ao PCM para ativar o compressor do condicionador de ar. Essa informação serve para a correção da rotação de marcha lenta.

Imobilizador PATS

O PCM deverá reconhecer as chaves gravadas. Deve ser diagnosticado como sistema PATS.

Tensão da bateria

Informação da tensão da bateria. Essa informação serve para corrigir o tempo de abertura dos bicos em função da tensão da bateria, bem como a rotação de marcha lenta em função da carga do sistema elétrico.

Sinais de saída

Válvula termostática elétrica

Controlada pelo PCM, a válvula termostática elétrica permite um ajuste de temperatura em função do combustível utilizado.

Injetores

São controlados pelo PCM. O PCM controla o tempo e o momento de abertura do bico, controlando assim a quantidade de combustível injetado.

Bobina de ignição

O PCM controla o instante e o tempo de magnetização da bobina pela linha de massa da bobina. O PCM varia o ângulo de permanência (tempo de magnetização da bobina) em função da rotação.

Bomba de combustível

O PCM controla a bomba de combustível por meio de um relé (saída indireta). Para que o PCM ative o relé, é necessário o sinal do sensor CKP e do sistema PATS.

Canister

O PCM controla a válvula CANP pela linha de massa. Quando ativada, permite ao motor aspirar os vapores de combustível armazenados no filtro. Esse sistema apenas é ativado com o motor aquecido, carga parcial e rotações médias. Para monitorar a quantidade de vapores, o PCM utiliza o sinal da sonda lambda.

Ar-condicionado

O PCM irá controlar ativação e a desativação do compressor por meio de um relé (saída indireta). Os sinais dos sensores que o PCM usa para esse controle são: ECT, TP, MAP e CKP.

Ventoinha do radiador

O PCM controla as duas velocidades da ventoinha através de relés (saída indireta). Os sinais necessários são do sensor ECT e interruptor do ar-condicionado. As temperaturas do motor (ECT) que servem de referência para a ativação da ventoinha dependem do combustível utilizado, como já visto anteriormente.

Aquecedor da sonda lambda

O PCM controla o aquecedor embutido na sonda para que a sonda tenha um aquecimento rápido quando está fria. Depois, o PCM controla a temperatura da sonda ligando e desligando o aquecedor.

Válvula de controle de ar da marcha lenta (IAC)

O PCM controla a abertura da válvula eletromagnética IAC pulsando o fio ao massa. Dessa maneira, o PCM pode controlar o ar na condição de marcha lenta e desaceleração. Durante o controle de rotação de marcha lenta, o PCM necessita controlar a mistura. O ar é controlado pela válvula IAC e o combustível pelos injetores.

O gerenciamento eletrônico é realizado através do PCM, que avalia as informações geradas pelos sensores (sinais de entrada) e comanda os atuadores (sinais de saída), de modo a fornecer a quantidade correta de combustível e a centelha no instante correto e obter o melhor desempenho com o menor consumo possível e menor emissão de gases.

Controles

Controle do avanço de ignição

A ignição é controlada pelo módulo eletrônico que, em função das informações recebidas dos sensores, monitora e corrige o avanço de ignição. Quando ocorrem os fenômenos da detonação e da pré-ignição, existe no módulo eletrônico uma estratégia de correção do avanço da ignição para que a detonação e a pré-ignição deixem de ocorrer.

Após a partida do motor, o módulo controla o avanço basicamente, depois passa a corrigir de acordo com um mapeamento específico, em função da rotação do motor e do valor de pressão absoluta medida no coletor de admissão.

Esse valor de avanço é corrigido em função da temperatura do líquido de arrefecimento e do ar aspirado. Além disso, o valor de ângulo de avanço está sujeito a correção nos regimes transitórios de aceleração e desaceleração em condições de *cut-off* (corte de combustível em desacelerações) e de estabilização das rotações de marcha lenta.

Para controlar a ignição, o PCM utiliza seis parâmetros (entradas), e, a partir dessas informações, calcula o instante e a intensidade da centelha (ângulo de permanência) para cada cilindro individualmente.

O Quadro 1 lista os parâmetros de entrada e de saída para o controle de ignição.

Quadro 1 – Parâmetros de entrada e de saída para controle de ignição

Entradas		Saída
Pressão de ar na admissão	Gerenciamento eletrônico	Ignição (bobina)
Temperatura do ar na admissão		
Temperatura da água		
Posição da borboleta		
Rotação do motor		
Tensão da bateria		

Controle de detonação

Em conjunto com o avanço de ignição, tem-se o controle de detonação, que impede o avanço demasiado da ignição em caso de detonação.

O Quadro 2 lista os parâmetros de entrada e de saída para o controle de detonação.

Quadro 2 – Parâmetros de entrada e de saída para controle de detonação

Entradas		Saída
Temperatura do ar na admissão	Gerenciamento eletrônico	Ignição (bobina)
Temperatura da água		
Sensor de rotação		
Sensor de detonação		

Controle de ar da marcha lenta

Nessa função, o PCM controla a marcha lenta do motor, impedindo que o motor fique acelerado ou morra em razão das alterações de carga. Para controlar a rotação de marcha lenta, o PCM atua na válvula IAC e no tempo de injeção, controlando a quantidade de ar admitido e combustível injetado. Para correções rápidas de rotação, o PCM controla o ponto de ignição antes mesmo de atuar na válvula IAC.

O Quadro 3 lista os parâmetros de entrada e de saída para o controle de ar da marcha lenta.

Quadro 3 – Parâmetros de entrada e de saída para controle de ar da marcha lenta

Entradas		Saída
Carga do alternador	Gerenciamento eletrônico	Marcha lenta (IAC)
Temperatura da água		
Posição da borboleta		
Sensor de rotação		
Sensor de velocidade		
Sonda lambda		
Ar-condicionado		
Tensão da bateria		

Controle dos vapores de combustível

O PCM controla a válvula CANP que, quando ativada, permite ao motor aspirar os vapores de combustível armazenados no filtro. Esse sistema apenas é ativado com motor aquecido, carga parcial e rotações médias. Para monitorar a quantidade de vapores, o PCM utiliza o sinal da sonda lambda.

O Quadro 4 lista os parâmetros de entrada e de saída para o controle dos vapores de combustível.

Quadro 4 – Parâmetros de entrada e de saída para controle dos vapores de combustível

Entradas		Saída
Posição da borboleta	Gerenciamento eletrônico	Válvula de canister
Pressão do ar na admissão		
Rotação do motor		
Sonda lambda		

Controle do ventilador do motor

O Quadro 5 lista os parâmetros de entrada e de saída para o controle do ventilador do motor.

Quadro 5 – Parâmetros de entrada e de saída para controle do ventilador do motor

Entradas		Saídas
Temperatura da água	Gerenciamento eletrônico	Ventoinha do motor
Ar-condicionado (botão do painel + pressostato de alta pressão)		Marcha lenta (IAC)

Controle de ar-condicionado

O Quadro 6 lista os parâmetros de entrada e de saída para o controle de ar-condicionado.

Quadro 6 – Parâmetros de entrada e de saída para controle de ar-condicionado

Entradas		Saídas
Temperatura da água	Gerenciamento eletrônico	Ventoinha do motor
Posição da borboleta		Relé do compressor
Rotação do motor		Marcha lenta (IAC)
Ar-condicionado (botão do painel + pressostatos de alta e baixa pressão)		

Controle de partida a frio

Há um empobrecimento natural da mistura em razão da má turbulência das partículas de combustível em baixas temperaturas. O álcool não vaporiza bem quando o motor está frio, condensando-se facilmente nas paredes da tubulação de admissão. Sem o sistema de injeção de gasolina, as partidas a frio dos motores *flex* abastecidos 100% com álcool ou com uma mistura pobre em gasolina poderão ser difíceis quando a temperatura ambiente estiver baixa. Além disso, o óleo lubrificante em baixas temperaturas aumenta a resistência à rotação dos órgãos mecânicos do motor.

O módulo eletrônico reconhece essa condição pelo sinal do sensor de temperatura do motor e enriquece a mistura, conforme mapas memorizados, aumentando o tempo de injeção. Esse tempo de injeção será diminuído gradativamente com o aumento da temperatura (fase térmica).

O PCM controla a bomba de injeção de gasolina, que é acionada junto com o solenoide de corte, através de relé. Essa bomba injeta gasolina de um reservatório plástico localizado dentro do compartimento do motor através de tubulações que estão conectadas do solenoide de corte ao coletor de admissão. Para que ocorra a injeção de gasolina, deve existir a condição em que a temperatura ambiente seja menor que 18°C e haja mais de 70% de álcool no tanque.

O Quadro 7 lista os parâmetros de entrada e de saída para o controle de partida a frio.

Quadro 7 – Parâmetros de entrada e de saída para controle de partida a frio

Entradas		Saídas
Chave de ignição	Gerenciamento eletrônico	Bomba e válvula do reservatório
Temperatura da água		Luz de anomalia
Rotação do motor		Válvula termostática
Temperatura do ar na admissão		Marcha lenta (IAC)

Controle do combustível na desaceleração

Estratégias para situações de desaceleração

Durante essa fase de utilização do motor, ocorre a sobreposição de duas estratégias que têm como função reduzir as emissões de hidrocarbonetos: *cut-off* e *dash-pot*.

Cut-off

A estratégia de *cut-off* (corte de combustível em desacelerações) é efetuada quando o módulo reconhece a borboleta na posição de marcha lenta, ou seja, fechada, e a rotação do motor é ainda elevada. O módulo ativa a estratégia de *cut-off* somente quando a temperatura do líquido de arrefecimento do motor ultrapassar um valor preestabelecido. Nessas condições, o módulo não utiliza o sinal da sonda lambda. Validadas as condições descritas, o *cut-off* é ativado e desativado com valores de rotações variáveis de acordo com a variação de temperatura do líquido de arrefecimento do motor. Nessa condição, a eficiência do freio do motor também é melhor. No momento em que o PCM percebe que a rotação está suficientemente baixa para o motor morrer, o PCM volta a enviar sinal para os bicos, permitindo a injeção de combustível.

Dash-pot

Essa estratégia monitora baixas rotações (*dash-pot*) para atenuar a variação de torque fornecida, ocasionando um freio motor mais suave. Quando o sinal do potenciômetro da borboleta indica uma diminuição do ângulo de abertura da borboleta aceleradora e a rotação for elevada, o módulo agindo sobre o atuador de marcha lenta do motor diminui de maneira gradual a quantidade de ar que passa através do *bypass*.

O Quadro 8 lista os parâmetros de entrada e de saída para o controle de combustível na desaceleração.

Quadro 8 – Parâmetros de entrada e de saída para controle de combustível na desaceleração

Entradas		Saídas
Temperatura da água	Gerenciamento eletrônico	Injetores
Posição da borboleta		Marcha lenta (IAC)
Rotação do motor		
Velocidade do veículo		

Reconhecimento de motor parado/em funcionamento e controle da bomba de combustível

Quando a chave de ignição é ligada na posição II, a bomba funciona por alguns segundos e para, pois não recebe o sinal de rotação do motor. Ao se dar a partida, a bomba funciona normalmente, pois recebe a informação do sensor CKP (rotação do motor), informando que o motor está funcionando.

O Quadro 9 lista os parâmetros de entrada e de saída para o reconhecimento de motor parado/em funcionamento e controle da bomba de combustível.

Quadro 9 – Parâmetros de entrada e de saída para reconhecimento de motor parado/em funcionamento e controle da bomba de combustível

Entradas	Gerenciamento eletrônico	Saída
Comutador de ignição		Bomba de combustível
Rotação do motor		

Reconhecimento da posição dos pistões e controle de giro

O Quadro 10 lista os parâmetros de entrada e de saída para o reconhecimento da posição dos pistões e controle de giro.

Quadro 10 – Parâmetros de entrada e de saída para reconhecimento da posição dos pistões e controle de giro

Entrada	Gerenciamento eletrônico	Saída
Sensor de rotação		

Controle de combustível em acelerações

Nessa fase, o módulo aumenta adequadamente a quantidade de combustível exigida pelo motor, a fim de obter o torque máximo, em função dos sinais provenientes dos sensores listados no Quadro 11.

Quadro 11 – Parâmetros de entrada e de saída para controle de combustível em acelerações

Entradas		Saída
Posição da borboleta	Gerenciamento eletrônico	Injetores
Temperatura de ar na admissão		
Temperatura da água		
Velocidade do veículo		
Rotação do motor		

Saída de sinal para o painel de instrumentos

O Quadro 12 lista os parâmetros de entrada e de saída para o painel de instrumentos.

Quadro 12 – Parâmetros de entrada e de saída para o painel de controle

Entrada		Saídas
	Gerenciamento eletrônico	Contagiros
		Indicador do nível do reservatório (Focus)
		Luz de anomalia
		Velocímetro
		Temperatura do motor

Controle dos bicos injetores

O PCM controla os bicos injetores, variando dois parâmetros:

- o momento de injeção: controla quando os bicos serão acionados;
- o tempo de injeção: controla quanto tempo o bico fica aberto e permite a passagem do combustível.

O Quadro 13 lista os parâmetros de entrada e de saída para o controle dos bicos injetores.

Quadro 13 – Parâmetros de entrada e de saída para controle dos bicos injetores

Entradas		Saídas
Pressão no coletor	Gerenciamento eletrônico	Injetor 1
Temperatura da água		Injetor 2
Sonda lambda		Injetor 3
Tensão da bateria		Injetor 4
Posição da borboleta		
Rotação do motor		

Estratégias para situações de plena carga

Durante o funcionamento em plena carga, a mistura é enriquecida para que o motor forneça a potência máxima (alcançada fora da relação estequiométrica) e impeça o aquecimento excessivo do catalisador.

A condição de plena carga é detectada através dos valores fornecidos pelo sensor de posição de borboleta e pelo sensor de pressão absoluta. Nessa condição, a central não utiliza o sinal proveniente da sonda lambda.

Estratégias para correção barométrica

A pressão atmosférica varia em função da altitude, e com isso ocorre uma alteração na eficiência volumétrica. Sendo assim, torna-se necessário corrigir a mistura ar/combustível (tempo base de injeção).

A correção do tempo de injeção estará em função da altitude e será realizada automaticamente pelo módulo eletrônico. Essa correção ocorre sempre que a chave

de ignição for ligada ou em determinadas condições do ângulo de abertura da borboleta de aceleração e do número de rotações do motor (adaptação dinâmica da correção barométrica).

Estratégia para controle do limite de rotações

Essa estratégia tem como objetivo não permitir que o motor atinja rotações críticas de funcionamento. Para isso, o módulo eletrônico efetua uma redução no tempo de abertura das válvulas injetoras quando esse limite de rotação é atingido. Quando o número de rotações voltar a um valor permitido, o módulo restabelece o tempo normal de injeção.

Estratégia de autoadaptação da mistura ar/combustível

Essa estratégia permite memorizar os desvios entre o mapeamento de base (memorizado no módulo) e as condições impostas pela sonda lambda. Essas condições podem aparecer de maneira persistente durante o funcionamento, em razão do envelhecimento dos componentes do sistema e do próprio motor.

Esses desvios são memorizados permanentemente e fazem o módulo atuar no tempo de injeção ou no atuador de marcha lenta, para se adaptar à nova condição de funcionamento.

Estratégia de controle da função imobilizador

Essa função é realizada por causa da presença da central eletrônica do imobilizador, capaz de comunicar-se com o módulo eletrônico de injeção e ignição e de uma chave eletrônica provida de um transmissor próprio para enviar um código de reconhecimento. Sempre que a chave for girada para a posição *stop*, o sistema imobilizador desativa completamente o módulo eletrônico de injeção e ignição.

Ao se colocar a chave de ignição na posição ligada, ocorre a seguinte sequência de operações:

1. O módulo eletrônico de injeção (cujas memórias contém um código secreto) solicita que a central eletrônica do imobilizador envie o código para desativar o bloqueio das funções.
2. A central eletrônica do imobilizador responde enviando o código secreto depois de ter recebido o código de reconhecimento transmitido pela própria chave de ignição.
3. O reconhecimento do código secreto permite que o bloqueio do módulo eletrônico de injeção e ignição seja desativado e que entre em funcionamento.

A Figura 2 apresenta a estratégia de controle da função de imobilizador.

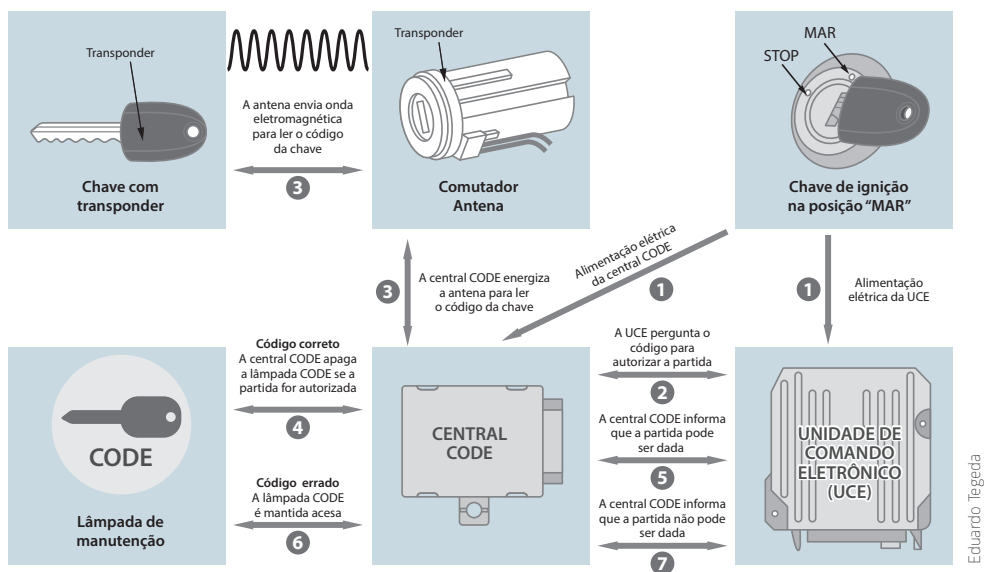


Figura 2 – Estratégia de controle da função de imobilizador.

14. Motorcraft

Sobre a Motorcraft

Sobre a Motorcraft

A Motorcraft, marca global de peças de reposição da Ford, possui mais de 40 anos de tradição e tem presença destacada nos Estados Unidos, Canadá, Europa, Ásia e América Latina.

Suas peças são aplicáveis em veículos de todas as montadoras e têm o mais alto padrão de qualidade, pois contam com o respaldo e a homologação da engenharia da Ford, o que garante excelente desempenho e otimização dos custos de manutenção dos veículos. Além disso, as peças da Motorcraft promovem durabilidade e maior segurança e conforto nos reparos.

Sua linha de produtos é ampla e contempla inúmeros componentes importantes para os reparos do dia a dia da oficina, como amortecedores (Figura 1), correias (Figura 2), filtros (Figura 3), limpadores de para-brisas (Figura 4), óleos para motor (Figura 5), velas de ignição (Figura 6), entre outros.

Para proporcionar um respaldo ainda maior às necessidades das oficinas de reparação mecânica, a Motorcraft oferece garantia estendida para os seus principais produtos, conferindo segurança na aquisição das peças e confiança aos clientes de que o reparo será realizado corretamente na primeira vez.



Ford

Figura 1 – Amortecedor.



Ford

Figura 2 – Correia.



Ford

Figura 3 – Filtro de combustível.



Ford

Figura 4 – Limpadores de para-brisas.



Ford

Figura 5 – Óleo para motor.



Figura 6 – Vela de ignição.

Conclusão

Em virtude da evolução contínua dos veículos automotores, é possível concluir que será impossível pensar em mecânica sem antes pensar em eletrônica embarcada. A eletrônica hoje é uma realidade e já engloba todos os sistemas dos veículos. Ela proporciona autonomia e máxima eficiência, visando fatores de suma importância, como segurança e meio ambiente.

Cada vez mais será exigido do profissional da área automotiva um conhecimento específico sobre esse tema. Por isso, entende-se que a chave para compreensão está inicialmente na base da eletricidade, que será de grande valia para o vasto campo de conhecimento que a eletrônica abrange.

Referências

BOSCH, Robert. **Manual de tecnologia automotiva**. 25. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

FORD. **Módulo 1** – Gasolina/álcool. Apostila, s.d.

_____. **Módulo 2** – Motor Rocam *flex*. Apostila, s.d.

_____. **Módulo 3** – Gerenciamento eletrônico. Apostila, s.d.

_____. **Módulo 4** – Sensores. Apostila, s.d.

_____. **Módulo 7** – Informações complementares. Apostila, s.d.

_____. **Motorcraft**. Apostila, s.d.

SENAI-SP. **Eletricista de manutenção** – Eletricidade básica – Teoria. 1ª ed., 1998. Apostila elaborada pela Divisão de Recursos Didáticos da Diretoria de Educação do Departamento Regional do SENAI-SP.

_____. **Eletricista de manutenção** – Eletricidade básica – Teoria. 2ª ed., 2005. Apostila atualizada pela Escola “Roberto Simonsen” e editada por Meios Educacionais da Gerência de Educação da Diretoria Técnica do SENAI-SP.

_____. **Eletricista de manutenção** – Eletricidade geral – Teoria. 1ª ed., 2003. Apostila editada a partir de conteúdos extraídos da internet por Meios Educacionais da Gerência de Educação da Diretoria Técnica do SENAI-SP.

_____. **Eletricista de manutenção** – Eletricidade geral – Teoria. 2ª ed. 2005. Apostila atualizada pela Escola “Roberto Simonsen” e editada por Meios Educacionais da Gerência de Educação da Diretoria Técnica do SENAI-SP.

_____. **Eletricidade do automóvel** – Eletricidade e eletrônica automotiva – Básico, 2003. Apostila elaborada e editorada pela Escola SENAI “Conde José Vicente de Azevedo”.

_____. **Eletricidade do automóvel** – Eletricista do automóvel, 2004. Apostila elaborada e editada pela Escola SENAI “Conde José Vicente de Azevedo”.

SENAI-SP. **Eletroeletrônica** – Eletrônica básica, 2004. Apostila elaborada pela Escola Senai “Antonio de Souza Noschese”.

_____. **Eletrônica embarcada** – Sistema de injeção eletrônica de combustível, 2005. Apostila organizada e editada pela Escola Senai “Conde José Vicente de Azevedo”.

SENAI-SP editora

Conselho Editorial

Paulo Skaf
Walter Vicioni Gonçalves
Débora Cypriano Botelho
Ricardo Figueiredo Terra
Roberto Monteiro Spada
Neusa Mariani

Editor-chefe

Rodrigo de Faria e Silva

Produção editorial

Leticia Mendes de Souza

Edição

Eloah Pina
Lyvia Felix
Monique Gonçalves
Tania Mano

Preparação

Tereza Gouveia

Revisão

Ana Lima Cecílio

Produção gráfica

Camila Catto
Sirlene Nascimento
Valquíria Palma

Diagramação

Globaltec Editora

Capa

Inventum Design

Ilustração

Eduardo Tegeda
Ivan Sardella

Fotos

Camila Vasconcelos
Ford

Administrativo e financeiro

Valéria Vanessa Eduardo
Flávia Regina Souza de Oliveira

Comercial

Ariovaldo Camarozano
Bruna Mataran Volpe

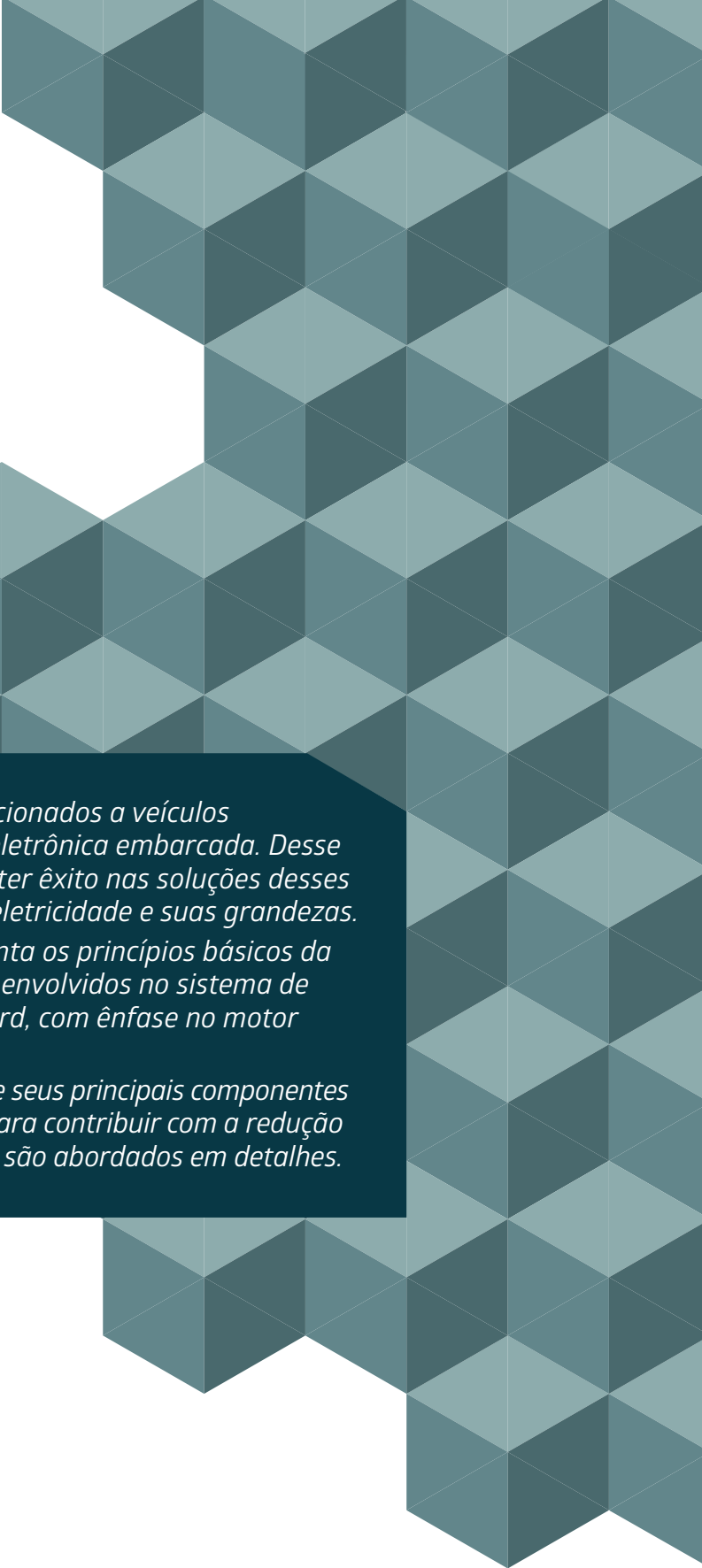
© SENAI-SP Editora, 2017

A comunicação impressa
e o papel têm uma ótima
história ambiental
para contar



www.twosides.org.br

Este livro foi composto em Minion Pro e impresso
em papel Offset alta alvura 90 g/m² pela gráfica
Serrano, em junho de 2017.



Grande parte dos problemas relacionados a veículos automotores está relacionada à eletrônica embarcada. Desse modo, a melhor maneira de se obter êxito nas soluções desses problemas é conhecer a base da eletricidade e suas grandezas. Em razão disso, esta obra apresenta os princípios básicos da elétrica e da eletrônica que estão envolvidos no sistema de injeção eletrônica dos motores Ford, com ênfase no motor Rocam flex.

Esse sistema de injeção eletrônica e seus principais componentes (muitos dos quais desenvolvidos para contribuir com a redução de emissão de poluentes) também são abordados em detalhes.

ISBN 978-85-8393-204-8



FIESP **SENAI**

Crescem as pessoas. Cresce o Brasil.