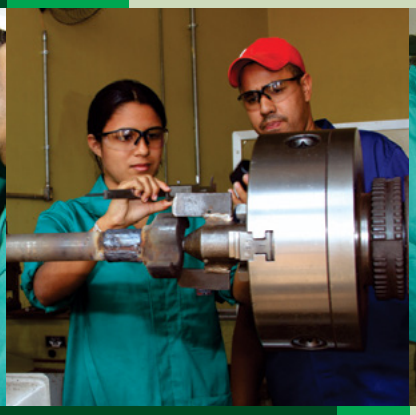
PR.0314

METROLOGIA E MECÂNICA BÁSICA



SISTEMA FAEP

SENAR PARANÁ

FAEP FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA DO ESTADO DO PARANÁ 60 ANOS

SINDICATO RURAL

3 SAÚDE E BEM-ESTAR

4 EDUCAÇÃO DE QUALIDADE

8 TRABALHO DECENTE E CRESCIMENTO ECONÔMICO

9 INDÚSTRIA, INOVAÇÃO E INFRAESTRUTURA

12 CONSUMO E PRODUÇÃO RESPONSÁVEIS

13 AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA

SENAR - ADMINISTRAÇÃO REGIONAL DO ESTADO DO PARANÁ

CONSELHO ADMINISTRATIVO

Presidente: Ágide Meneguette

Membros Titulares
Rosanne Curi Zarattini
Nelson Costa
Darci Piana
Alexandre Leal dos Santos

Membros Suplentes
Livaldo Gemin
Robson Mafioletti
Ari Faria Bittencourt
Ivone Francisca de Souza

CONSELHO FISCAL

Membros Titulares
Sebastião Olímpio Santaroza
Paulo José Buso Júnior
Carlos Alberto Gabiatto

Membros Suplentes
Ana Thereza da Costa Ribeiro
Aristeu Sakamoto
Aparecido Callegari

Superintendente
Pedro Carlos Carmona Gallego

DARLAN CAVALARO

METROLOGIA E MECÂNICA BÁSICA

SENAR
PARANÁ

2016

Depósito legal na CENAGRI, conforme Portaria Interministerial n. 164, datada de 22 de julho de 1994, e junto a Fundação Biblioteca Nacional e Senar-PR.

Autor: Darlan Cavalaro
Coordenação técnica: Néder Maciel Corso - CREA-PR-62260/D
Coordenação metodológica: Patrícia Lupion Torres
Normalização: Rita de Cássia Teixeira Gusso – CRB 9. /647
Coordenação gráfica: Adilson Kussem
Diagramação: Sincronia Design
Capa: Adilson Kussem

Catalogação no Centro de Editoração, Documentação
e Informação Técnica do SENAR-PR.

Cavalaro, Darlan.

Metrologia e mecânica básica / Darlan Cavalaro. – Curitiba : SENAR Pr., 2016. – 176 p.

ISBN 978-85-7565-142-1

1. Metrologia. 2. Mecânica. 3. Mecânica básica. I. Título.

CDD630
CDU633.883

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, por qualquer meio, sem a autorização do editor.

IMPRESSO NO BRASIL – DISTRIBUIÇÃO GRATUITA

APRESENTAÇÃO

O Sistema FAEP é composto pela Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP), o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural do Paraná (SENAR-PR) e os sindicatos rurais.

O campo de atuação da FAEP é na defesa e representação dos milhares de produtores rurais do Paraná. A entidade busca soluções para as questões relacionadas aos interesses econômicos, sociais e ambientais dos agricultores e pecuaristas paranaenses. Além disso, a FAEP é responsável pela orientação dos sindicatos rurais e representação do setor no âmbito estadual.

O SENAR-PR promove a oferta contínua da qualificação dos produtores rurais nas mais diversas atividades ligadas ao setor rural. Todos os treinamentos de Formação Profissional Rural (FSR) e Promoção Social (PS), nas modalidades presencial e online, são gratuitos e com certificado.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **7**

1 PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA E ORGANIZAÇÃO **9**

1.1 PROCEDIMENTOS ORGANIZACIONAIS 9

1.1.1 Organização do ambiente da oficina 9

1.1.2 Organização do espaço de trabalho 10

1.1.3 Os "5S" no ambiente de trabalho 10

1.2 PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA 12

1.2.1 Segurança no ambiente de trabalho 12

1.2.2 Uso dos equipamentos de proteção individual (EPI) 17

2 METROLOGIA BÁSICA **21**

2.1 MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DAS UNIDADES DE MEDIDA 21

2.1.1 Conversões entre unidades de medidas 22

2.2 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO 23

2.2.1 Régua graduada 23

2.2.2 Trena 26

2.2.3 Paquímetro 27

2.2.4 Calibrador de lâminas 35

2.2.5 Goniômetro 36

2.2.6 Micrômetro 36

2.2.7 Relógio comparador 40

3 PRINCÍPIOS DE MECÂNICA **43**

3.1 ELEMENTOS DE MÁQUINAS 43

3.1.1 Parafusos, porcas e arruelas 43

3.2 FERRAMENTAIS 59

3.2.1 Ferramental universal 60

3.3 NOÇÕES DE SOLDAGEM 73

3.3.1 Soldagem a arco elétrico por eletrodo revestido 73

3.4 CORTE DE METAIS POR PROCESSO OXIACETILÊNICO 77

3.4.1 Ajuste da chama para aquecimento/corte 79

3.4.2 Bicos aplicados, espessuras de corte e pressões dos gases 79

3.5 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA – CICLO *DIESEL* 80

3.5.1 Principais componentes do motor *diesel* 81

3.6 OS CINCO SISTEMAS AUXILIARES DOS MOTORES *DIESEL* 83

3.6.1 Sistema de admissão de ar 84

3.6.2 Sistema de alimentação de combustível 86

3.6.3 Sistema de arrefecimento 89

3.6.4 Sistema de lubrificação 91

3.6.5 Sistema de carga e partida 94

3.7 TRANSMISSÃO (TREM DE FORÇA OU *POWERTRAIN*) 97
3.7.1 Transmissão mecânica 98
3.7.2 Transmissão tipo *powershift* *101*

4 PRINCÍPIOS DE HIDRÁULICA 105

4.1 CONCEITOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA 105
4.1.1 Unidades de medida de pressão e vazão 107
4.1.2 Conversão de unidades de medida de pressão e vazão 108
4.1.3 Instrumentos de medição de pressão e vazão 109
4.2 COMPONENTES HIDRÁULICOS 113
4.2.1 Reservatórios 113
4.2.2 Bombas 114
4.2.3 Atuadores 118
4.2.4 Válvulas direcionais 120
4.2.5 Mangueiras e tubulações 123
4.3 SIMBOLOGIA EM SISTEMAS HIDRÁULICOS 133

5 PRINCÍPIOS DE ELÉTRICA 143

5.1 CONCEITOS BÁSICOS DE ELÉTRICA 143
5.1.1 Grandezas elétricas 144
5.1.2 Lei de Ohm 145
5.2 INSTRUMENTO UNIFICADO DE MEDIÇÕES ELÉTRICAS – MULTÍMETRO 147
5.3 COMPONENTES DE SISTEMAS ELÉTRICOS 152
5.3.1 Bateria 152
5.3.2 Alternador 155
5.3.3 Motor de partida 155
5.3.4 Lâmpadas 156
5.3.5 Fusíveis 157
5.3.6 Relés 158
5.3.7 Diodos 159
5.3.8 Condutores e conectores elétricos 160
5.4 SIMBOLOGIA DE COMPONENTES E CIRCUITOS ELÉTRICOS 162

6 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO CORRETIVA 165

6.1 OS 7 PASSOS PARA DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS 165

REFERÊNCIAS 169

INTRODUÇÃO

A máxima disponibilidade dos diferentes tipos de máquinas e equipamentos, em qualquer modalidade de trabalho, depende de uma manutenção eficiente, realizada por profissionais qualificados, com infraestrutura adequada, seguindo normas e procedimentos de segurança, saúde, organização e higiene nos locais de trabalho, preocupando-se também com as questões ambientais.

Com esse objetivo, empresas constroem e mantêm oficinas preparadas para realizar quase todas as tarefas relacionadas com manutenção corretiva, preventiva e preditiva em seus equipamentos, mantendo pessoal qualificado, ferramental atualizado e demais recursos necessários.

Aliada à necessidade de se ter quadro profissional qualificado, motivado e comprometido com os objetivos das organizações, existem aspectos de responsabilidade social que as empresas buscam cumprir, visando melhorar sua visibilidade perante clientes, fornecedores, parceiros e a comunidade em geral ao redor da empresa, sobretudo nos municípios onde estão instaladas.

Uma dessas ações que refletem a responsabilidade social das organizações é a preocupação com a **capacitação e a qualificação de jovens**, selecionados na comunidade, familiares ou não de funcionários da empresa, que são contratados na condição de aprendizes, conforme requisitos de legislação específica, para serem iniciados nas atividades de manutenção de máquinas e veículos das empresas. É uma relação de "ganha-ganha-ganha", um círculo virtuoso entre a empresa, a sociedade e o próprio jovem.

Ganha a empresa, que capacita mão de obra para suas necessidades específicas, moldando os aprendizes também conforme seus aspectos culturais, visão de negócio e valores, e evitando a contratação de profissionais do mercado que, quando disponíveis, podem trazer consigo vícios de conduta e demandam maiores remunerações de forma imediata.

Ganha a sociedade, que assiste seus jovens passarem por um momento de instabilidade e vulnerabilidade social, diante de cenários de violência urbana, criminalidade juvenil e uso cada vez mais desenfreado de drogas lícitas e ilícitas, com diretrizes profissionais claras, perspectivas reais de inclusão profissional, trabalho digno e geração de renda e tributos para movimentação da economia, aliados a real possibilidade de progresso profissional e ascensão social.

E ganha o jovem, que chega às portas da maioridade civil com conhecimento e habilidades que lhe dão perspectiva de carreira na sua própria comunidade, próximo da família e, eventualmente, na mesma empresa onde trabalham seus pais, irmãos ou familiares próximos, gerando um vínculo de fidelidade para com a empresa formadora e, mesmo que não venha a ser contratado, esteja enraizado nos princípios morais e éticos de um cidadão responsável e comprometido com o seu próprio desenvolvimento, de sua família e de sua comunidade.

Por outro lado, algumas vezes é necessário que a manutenção se aproxime dos locais de trabalho mais distantes para pequenos reparos, já que é pouco rentável deslocar esses equipamentos avariados, em caminhões ou carretas prancha, até as oficinas automotivas localizadas nas empresas.

Visando à aproximação da manutenção da operação é que foram criadas e continuam sendo utilizadas as chamadas **oficinas volantes**. São geralmente caminhões dotados de carroceria tipo baú, dotados de ferramentas e recurso básicos (aparelho de corte oxiacetilênico, máquina de solda, moto esmeril, furadeira de bancada, gerador de energia, morsa, bancadas de trabalho, guindaste de coluna ou monovia com talha e trole manuais, etc.) para que sejam realizados trabalhos rápidos e simples de manutenção corretiva, dispensando deslocamento até a oficina, garantindo menor tempo de parada e a máxima rentabilidade dos equipamentos.

Assim, o objetivo desse manual é apresentar conceitos que sirvam de suporte à aprendizagem de adolescentes e jovens, assim como de adultos envolvidos na operação de oficinas volantes, em manutenção de máquinas agrícolas, provendo-lhes conhecimentos que levarão ao desenvolvimento de habilidades que, somadas à atitude de cada profissional, serão base para formação de competências em proveito das empresas ou do mercado de trabalho como um todo.

1 PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA E ORGANIZAÇÃO

1.1 PROCEDIMENTOS ORGANIZACIONAIS

1.1.1 Organização do ambiente da oficina

A estruturação de oficinas de manutenção corretiva permite às empresas realizar esse trabalho crítico com maior segurança e eficácia, gerando um aumento da disponibilidade das máquinas e equipamentos, permitindo às organizações avançar em estratégias de planejamento e execução de atividades de manutenção preventiva e preditiva.

O sucesso das operações das oficinas começa com a adequada capacitação e qualificação dos profissionais que estarão a serviço nelas. E também pela adequada organização dos ativos e recursos existentes nas oficinas, que algumas vezes incluirão almoxarifados com itens estratégicos ou completos estoques de peças e insumos. Para isso, são apontados alguns passos essenciais para manter organizado o ambiente de trabalho dentro da oficina.

a) Sempre que receber o turno, e antes de iniciar suas atividades, verifique o funcionamento de todos os recursos disponíveis e ferramental existente, tanto nas caixas de ferramentas ou carrinhos, como na ferramentaria. Solicite a manutenção dos componentes que não estejam funcionando ou que apresentem defeitos, que os impeçam de funcionar adequadamente.

b) Procure sempre deixar todos os equipamentos prontos para nova utilização ao final de cada trabalho. Enrole as mangueiras e guarde adequadamente a caneta do maçarico, mangueiras de ar comprimido para ferramentas pneumáticas e extensões para ferramentas elétricas. Enrole e guarde o cabo-obra e o cabo-terra da máquina de solda, protegendo também o alicate porta-eletrodo ou a tocha, no caso de máquina de solda do processo MIG/MAG. Enrole e guarde a mangueira de ar comprimido e proteja os engates contra batidas durante o transporte. Não deixe a morsa (ou torno de bancada) fechada e com os mordentes forçando um contra o outro. Sempre limpe ferramentas e acessórios antes de guardá-los.

c) Providencie um espaço para guardar sucatas de metais ou peças substituídas, para descartar, bem como para facilitar a conferência de peças que foram aplicadas.

d) Verifique periodicamente a pressão dos cilindros de oxigênio e acetileno do aparelho de corte oxiacetilênico, solicitando sua substituição quando necessário.

e) Drene periodicamente o reservatório de ar comprimido do compressor de ar da oficina, mesmo que existam dispositivos secadores de ponto de ar ou secadores de ar comprimido por refrigeração. O excesso de umidade pode causar corrosão no reservatório, levando-o, em último caso, a uma explosão.

f) Não trabalhe sem as proteções das partes móveis das máquinas existentes na oficina (ex.: correias da furadeira de bancada, proteções do rebolo e da escova do moto esmeril, proteção da correia do compressor de ar, etc.). Se precisar retirá-las por qualquer motivo, instale novamente.

g) Respeite os lugares onde foram colocadas as peças e acessórios de reposição no estoque. Coloque sempre essas peças e acessórios de volta nos mesmos lugares. Não misture peças de características diferentes. Colabore com o trabalho dos almoxarifes, mantendo organizado também o ambiente de trabalho deles.

1.1.2 Organização do espaço de trabalho

Cada vez que o mecânico é solicitado a realizar algum trabalho, e o operador coloca a máquina no boxe de serviço para realizar qualquer trabalho de manutenção, o espaço do boxe de serviço com a máquina e o espaço ao redor deles são de responsabilidade do mecânico, e não mais do operador. E, como tal, devem-se seguir alguns critérios de organização para facilitar o trabalho e evitar acidentes envolvendo o próprio mecânico, o operador ou qualquer outra pessoa que esteja próxima do local de trabalho. Para melhor organização, siga as orientações a seguir.

a) Procure sinalizar o local em volta da máquina que está sendo trabalhada, indicando que se trata de um ambiente de manutenção.

b) Antes de remover ferramentas ou equipamentos para começar a trabalhar, avalie a causa do defeito ou falha que está ocorrendo com a máquina. Só então selecione e retire da caixa de ferramentas ou na ferramentaria o(s) equipamento(s) que achar necessário(s) para a realização da manutenção.

c) Sempre que possível, posicione a máquina na qual trabalhará de modo a aperfeiçoar seu tempo, minimizando deslocamentos e facilitando o alcance de cabos e/ou mangueiras sem a necessidade de emendas ou extensões.

d) Após a correta preparação da máquina para o trabalho de manutenção e depois de realizada a avaliação da causa, se a presença do operador não for mais necessária, oriente-o a se afastar do local de trabalho, aguardando o reparo de sua máquina num local seguro. Nunca permita que o operador permaneça no posto de operação da máquina durante uma intervenção de manutenção;

e) Sempre que precisar utilizar ferramentas elétricas, redobre a atenção e cuidado. Se for realizar algum teste na máquina, certifique-se de que o escapamento da máquina não lançará os gases de exaustão do motor para próximo de outros colegas trabalhando.

1.1.3 Os "5S" no ambiente de trabalho

Uma ferramenta que ajuda bastante na organização de qualquer espaço de trabalho é a aplicação dos chamados **5 sensos**, que, desde que aprendidos, passam a ser percebidos nos diversos locais de trabalho. A metodologia dos 5S surgiu no Japão, logo após a Segunda Guerra

Mundial. As fábricas japonesas antes da guerra eram muito sujas e desorganizadas. Além disso, o Japão sofreu uma dura derrota na guerra, com direito a ataques com bombas atômicas, que obrigaram o país a se render incondicionalmente. Como forma de se reestruturar e superar os estragos causados pela guerra, foi criada essa filosofia. O resultado pode ser visto hoje quando se vê o Japão despontando como uma das principais potências econômicas e tecnológicas do mundo. Seguem os 5 sensos e suas aplicações para melhorar o ambiente de trabalho da oficina:

I. **Senso de Utilização (*SEIRI*)**: consiste em verificar, periodicamente no local de trabalho, aquilo que mais se usa ou menos se usa, procurando-se deixar mais próximo aquilo que se usa com mais frequência e não tão perto aquilo que menos se usa, bem como procurando se desfazer daquilo que não se usa, cedendo para outra pessoa, departamento ou setor, ou mesmo descartando ou entregando para comercialização. Consiste basicamente em classificar os diversos objetos, ferramentas e equipamentos por critérios de frequência e uso.

II. **Senso de Ordenação** *(**SEITON**)*: uma vez determinadas a frequência e uso dos objetos, materiais e acessórios disponíveis, o próximo passo é **arrumar** tudo isso. Escolher locais apropriados para guardar os materiais e objetos, guardá-los adequadamente para evitar que sofram danos durante o período em que estão aguardando para serem usados, bem como **identificar** e **sinalizar**. A identificação facilita que outras pessoas encontrem os objetos que precisam, bem como facilita a comunicação mesmo entre pessoas com conhecimentos diferentes dos tipos de objetos utilizados, mesmo que seja por rádio ou telefone. Também permite que pessoas de diferentes regiões ou culturas, que costumam conhecer os mesmos objetos por nomes diferentes, possam se comunicar de forma padronizada. Também torna a comunicação mais profissionalizada, pois elimina os apelidos comumente dados a ferramentas e objetos. A sinalização facilita o acesso de pessoas a determinados locais, bem como indica a existência de riscos e a necessidade de afastamento destes, contribuindo para maior segurança.

III. **Senso de Limpeza (*SEISO*)**: consiste não somente em limpar equipamentos, ferramentas e acessórios, para sua melhor conservação, mas também evitar as fontes de sujeira (poeira, vento, pessoas com pés ou mãos sujas, vazamentos de líquidos ou outros produtos, etc.). Ainda, este senso está relacionado com a conservação dos equipamentos, ferramentas, materiais e acessórios, verificando-se periodicamente as condições de funcionamento e solicitando manutenção quando necessário.

IV. **Senso de Saúde (*SEIKETSU*)**: envolve os cuidados com a saúde, de modo geral. A saúde do corpo é fundamental para um bom desempenho no trabalho. Mas não é tudo. A saúde mental também é bastante importante. Evitar o estresse, aproveitar os momentos livres para atividades de lazer, não levar problemas do trabalho para casa e não trazer problemas de casa para o trabalho, não se preocupar antes da hora com coisas das quais nem se tem certeza são fatores importantes para se ter "a cabeça em dia". Outro aspecto

é a saúde social, que tem a ver com os relacionamentos. Procurar ser prestativo com os companheiros de trabalho, estar disposto a cumprir com as determinações passadas por encarregados e chefes, ter uma atitude positiva e vir para o trabalho animado e bem disposto, tratar os outros da maneira como gostaria de ser tratado ajudam e muito a ter um bom relacionamento com a equipe de trabalho. Outro ponto fundamental deste senso é a segurança: usar sempre os equipamentos de proteção individual (EPI) recomendados para as atividades e praticar os chamados Três Pilares da Segurança: cuidar de si mesmo, cuidar dos outros e deixar que os outros cuidem de você. Valorize e prestigie o trabalho da equipe da Segurança e Medicina do Trabalho. Eles trabalham para nossa saúde, segurança e bem estar.

V. **Senso de Autodisciplina (*SHITSUKE*)**: este quinto e último senso prega a prática contínua dos demais sensos (Utilização, Ordenação, Limpeza e Saúde). Além disso, a disciplina em si (pontualidade para início e término de atividades e compromissos programados, assiduidade em comparecer ao trabalho e não faltar por qualquer motivo, disciplina na realização das mais diversas atividades). Também fala sobre a questão da melhoria contínua: a forma como se trabalha hoje é diferente da forma como se trabalhava há cinco anos e certamente será diferente da forma como se trabalhará daqui a cinco anos. A cada dia, surgem novas tecnologias, novos métodos de trabalho, novos recursos e novas ferramentas que fazem com que trabalhemos mais e melhor. Essa melhoria é importante e desejável, pois faz o trabalho render mais, ser mais produtivo, mais eficiente e menos desgastante, além de poder se tornar menos custoso também.

1.2 PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA

1.2.1 Segurança no ambiente de trabalho

O trabalho de manutenção corretiva de máquinas e equipamentos é cercado de diferentes riscos e perigos. Acidentes em manutenção, diferentemente de outras atividades, podem resultar em ferimentos graves, causar incapacidade temporária ou permanente para o trabalho, e até mesmo morte. É um trabalho que precisa ser feito, mas para tanto o profissional deve conhecer os riscos e perigos da atividade, para estar atento e poder se precaver contra eles.

Acidentes ocorrem normalmente por dois fatores:

- condições inseguras
- atos inseguros

Condições inseguras: podem estar presentes em três lugares diferentes: no local de trabalho, na máquina ou no próprio profissional.

No local de trabalho, as condições inseguras se devem principalmente a: sujeira e desordem (peças e ferramentas jogadas pelo chão; corrimãos, escadas e acessos da máquina ou piso sujo de óleo ou graxa), equipamentos (ferramentas gastas, malconservadas ou obsoletas) ou dispositivos de segurança falhos (como extintores de incêndio sem carga, vencidos ou difíceis de alcançar e remover para uso).

Na máquina, condições inseguras podem ser: máquinas com motor funcionando, máquinas mal-estacionadas, podendo se movimentar a qualquer momento (sozinhas ou se forem empurradas), máquinas com implementos ou acessórios levantados, máquinas malcalçadas ou calçadas com materiais inadequados.

No profissional, as condições inseguras podem ser: falta de uso ou uso incorreto dos equipamentos de proteção individual, vestimentas inadequadas (muito folgadas que possam se enroscar em partes das máquinas ou muito apertadas que dificultam os movimentos, uso de adornos metálicos como pulseiras, anéis, correntes e relógios) e falta de preparação para a atividade (fazer algo sem saber exatamente o que se está fazendo e o porquê de se estar fazendo).

Atos inseguros: são praticados pelas pessoas por dois fatores principais: desconhecimento ou risco.

Deve ser considerado desconhecimento, quando o profissional pratica um ato inseguro sem saber que aquilo não é seguro (faz sem saber). Em contrapartida, será risco quando o profissional sabe que o ato que pratica não é seguro, mas se arrisca e, na maioria das vezes, nada acontece.

A sucessiva prática de atos inseguros por parte dos profissionais provoca alterações do estado de espírito do profissional, que fará com que ele passe a se arriscar cada vez mais, sendo que a qualquer tempo ele poderá sofrer um acidente com consequências graves ou fatais.

Para minimizar os riscos de acidentes, o profissional deve se preparar conhecendo o trabalho que está realizando, usando adequadamente os equipamentos de proteção individual e analisando as circunstâncias em que realiza seu trabalho.

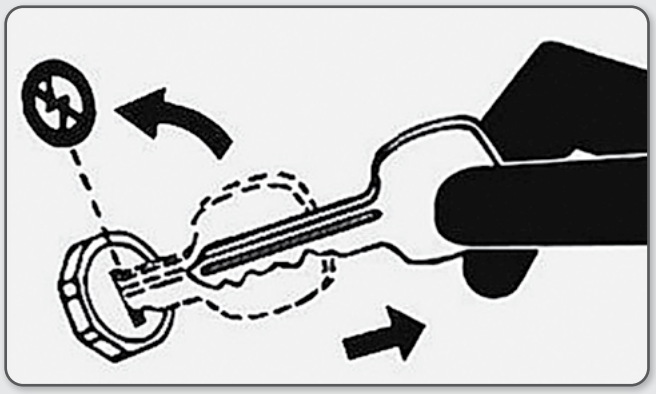
Para evitar riscos relacionados ao local de trabalho, o profissional deve adotar uma postura de organização e limpeza do ambiente de trabalho, bem como de cuidado com suas ferramentas e com os equipamentos disponíveis.

Para evitar riscos relacionados às máquinas, há uma sequência de operações que o profissional deverá realizar para preparar a máquina para ser reparada.

Segue "passo a passo" para a preparação dos mais diferentes tipos de máquinas para o trabalho:

a) **Parar o motor**: somente deixe o motor funcionando se for necessário para realizar algum teste ou verificar alguma anomalia de funcionamento. E, mesmo assim, quando for efetuar o reparo, o motor deve ser desligado.

Figura 1 – Desligar o motor da máquina ao realizar reparos.



Fonte: John Deere Brasil, 2013.

b) **Colocar a transmissão em neutro**: caso seja necessário deixar o motor funcionando para uma eventual verificação, é fundamental deixar a transmissão em neutro, para que a máquina não venha a se movimentar acidentalmente.

c) **Aplicar o freio de estacionamento**: este procedimento evita que a máquina venha a se movimentar por conta própria, sobretudo na manutenção de campo, em que muitas vezes não é possível parar a máquina em local nivelado, que seria o ideal.

d) **Aliviar as pressões dos sistemas hidráulicos**: abaixar todos os implementos ou acessórios da máquina até o chão e, em seguida, movimentar todas as alavancas ou interruptores dos implementos/acessórios por todas as posições, para aliviar pressões de óleo remanescentes nos cilindros e acumuladores.

e) **Colocar etiquetas de "NÃO OPERE"**: além da sinalização do local de trabalho ao redor da máquina, é fundamental colocar nos controles do operador uma etiqueta de aviso "Não opere". As máquinas e equipamentos, de modo geral, são muito grandes, de modo que não é possível ver algum profissional que esteja trabalhando atrás, dos lados ou embaixo da máquina. Essa ação é complementada desligando-se a chave geral do sistema elétrico, desligando-se o polo negativo da bateria ou removendo e guardando a chave de partida do equipamento.

Figura 2 – Exemplo de etiqueta "Não opere".

Fonte: TAGOUT Bloqueio e Etiquetagem, 2015.

f) **Utilizar travas de segurança ou calços se necessário**: alguns reparos a serem realizados nas máquinas necessitam que os implementos, ou acessórios, fiquem levantados. Nesse caso, e sempre que disponível, deve-se instalar as travas de segurança existentes nas máquinas (ex.: as travas vermelhas dos cilindros hidráulicos de altura do corte de base das colhedoras de cana-de-açúcar). Se não existirem travas, ou se estas não puderem ser utilizadas no momento, providencie calços de madeira firme ou cavaletes de aço seguros para calçar as partes das máquinas que necessitem ficar suspensas do solo. Na manutenção de campo, deve-se ter cuidado redobrado com o risco de afundamento dos calços. Coloque pranchas de madeira ou discos de chapa embaixo dos calçamentos para aumentar a área de contato com o solo e evitar o afundamento.

Figura 3 – Uso de travas de segurança da máquina.

Fonte: John Deere Brasil, 2013.

g) **Combinar gestos com o operador/ajudante**: quando for necessário realizar algum tipo de teste, reúna-se previamente com o operador da máquina ou ajudante e combine gestos manuais para a execução dos comandos necessários para o teste ou verificação. Isso vai garantir que sejam realizadas somente as manobras necessárias, sem risco para nenhuma das partes envolvidas.

h) **Identificar partes quentes e aguardar o resfriamento**: intervenções de manutenção corretiva costumam ser realizadas logo que a máquina para. Por isso é importante que o profissional identifique partes quentes da máquina antes de avaliar e intervir nelas. Se tiver algum instrumento mais preciso e seguro para a medição de temperatura, como uma pistola de medição de temperatura por infravermelho, use-a! Caso não tenha, avalie a temperatura pelo toque da palma da mão. Caso deva avaliar ou fazer manutenção em alguma parte quente, aguarde até que resfrie. No caso especial do sistema de

arrefecimento, para remover a pressão do líquido, use um pano ou luva grossa, abra a tampa do radiador ou reservatório de expansão lentamente, para que a pressão e vapor sejam liberados, e só então termine de abrir.

i) **Identificar sistemas pressurizados**: algumas máquinas possuem sistemas que, mesmo com o motor desligado e o sistema aliviado, ainda possuem pressão, por ação de acumuladores hidráulicos com nitrogênio gasoso. Procure conhecer se na máquina em que você trabalhará existe esse tipo de acessório e a que linha está ligado.

PRECAUÇÃO

Nunca verifique vazamentos de fluidos hidráulicos colocando a mão na frente do vazamento! A pressão do fluido pode fazer com que este penetre na pele, provocando embolia, podendo ser removido somente com cirurgia.

Figura 4 – Risco da pressão de fluidos hidráulicos.

Fonte: John Deere Brasil, 2013.

j) **Cuidado durante a calibragem de pneus**: enquanto os borracheiros estiverem realizando intervenções em pneus, como calibragem, evite permanecer em frente aos aros das rodas. Em caso de excesso de pressão, o aro pode se soltar e ser arremessado contra quem estiver na direção deles. Até mesmo partes do pneu podem se soltar e provocar graves ferimentos em quem estiver próximo.

Figura 5 – Risco da pressão durante a calibragem dos pneus.

Fonte: John Deere Brasil, 2013.

k) **Subir e descer das máquinas corretamente**: sempre que tiver que subir ou descer de uma máquina, faça-o de maneira correta. Suba sempre com as duas mãos livres, utilizando-se das alças e degraus disponíveis. Sempre suba ou desça de frente para a máquina. Mantenha sempre três pontos de apoio com os degraus ou alças (ou os dois pés e uma mão ou as duas mãos e um pé). Mantenha sempre as alças, degraus e passadiços de acesso limpos e isentos de óleo ou graxa.

Figura 6 – Subir e descer das máquinas corretamente.

Fonte: John Deere Brasil, 2013.

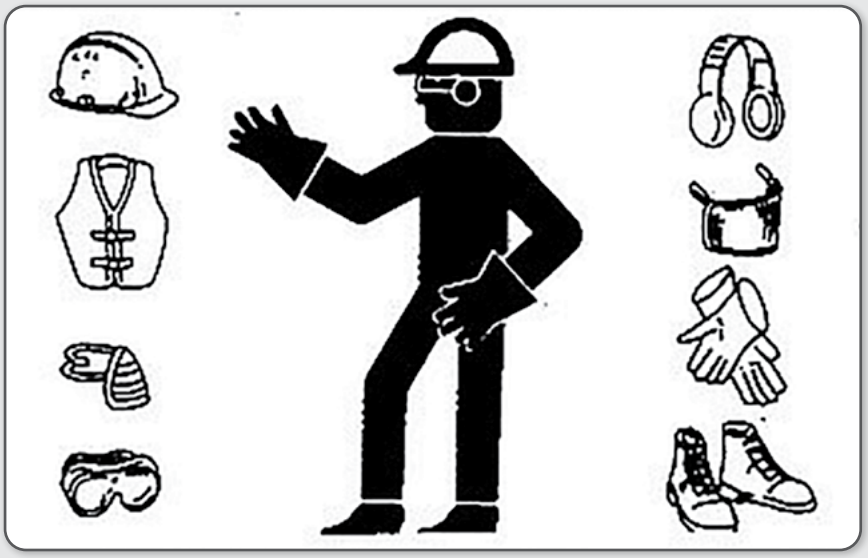
1.2.2 Uso dos equipamentos de proteção individual (EPI)

Nem sempre é possível eliminar os riscos existentes nas atividades, mas é possível se proteger deles. Para tanto, existem duas categorias de equipamentos destinados a proteger pessoas de riscos que não podem ser eliminados: os equipamentos de proteção coletiva (EPC) e os equipamentos de proteção individual (EPI).

Os EPC são geralmente instalações destinadas a proteger qualquer usuário de um sistema ou equipamento. Como exemplo, podemos citar os corrimãos existentes nos passadiços elevados das máquinas, que impedem que qualquer usuário caia.

Os EPI são acessórios desenvolvidos especificamente para cada tipo de risco, testados e aprovados por órgãos acreditados junto ao Ministério do Trabalho e Emprego. Recebem um número, chamado CA (Certificado de Aprovação). Não use e não recomende o uso de EPI sem CA. Não há garantias de sua eficácia contra os riscos que se propõem a proteger.

Figura 7 – Exemplos de equipamentos de proteção individual.



Fonte: John Deere Brasil, 2013.

A seguir estão descritos alguns dos EPI mais utilizados pelos profissionais de manutenção de campo.

Capacete: pouco utilizado, porém recomendado quando se acessa máquinas e equipamentos por baixo, protegendo a cabeça de impacto contra partes rígidas das máquinas. São confeccionados em plástico injetado (PEAD – polietileno de alta densidade), com suspensão revestida de espuma no contato com a testa, para maior conforto durante a utilização. Tem prazo de validade de cinco anos, devendo ser substituídos após esse prazo (a data de fabricação está gravada na carcaça do capacete).

Colete: são mais recomendados os do tipo refletivo, especialmente para utilização no período noturno, permitindo a visualização do profissional, quando um facho de luz for direcionado para ele, melhorando a segurança em ambientes com pouca luminosidade.

Respirador: especialmente indicado quando utilizar esmerilhadeira com disco de desbaste, para evitar inalação da poeira que sai das peças, bem como indicado em processos de soldagem, para evitar que o profissional aspire os fumos de solda, especialmente quando a superfície que está sendo soldada contém tinta ou solventes que não foram removidos. Para o melhor uso dos respiradores, o profissional deve estar com o rosto barbeado e ajustar a tira metálica aos contornos do nariz, e as tiras de borracha que fixam o respirador ao rosto devem passar por trás da cabeça, sendo a de baixo por baixo das orelhas e a de cima por cima das orelhas.

Óculos de segurança: indicados para uso permanente, protegendo os olhos contra impacto de partículas volantes diversas (ex.: torrões de terra que possam cair nos olhos durante uma inspeção embaixo de máquinas). São fabricados em policarbonato, plástico transparente e de elevada resistência mecânica. São confortáveis para uso e disponíveis em diversas tonalidades de cores, como amarelo (melhora a visibilidade em ambientes com pouca luminosidade) e fumê (indicado para trabalhos à luz do dia, com alta luminosidade e incidência de luz solar). Durante a realização de soldas, é recomendável utilizar os óculos de segurança por baixo da máscara de solda. Isso porque, na hora de remover a escória da solda com a picadeira, um pedaço de escória pode se projetar contra os olhos, causando ferimento e queimadura.

Protetor auricular: devem ser utilizados quando há exposição a ruídos acentuados por longos períodos, bem como para curtas exposições a ruídos de impactos muito elevados (ex.: marretadas numa chapa de aço). Podem ser tipo *plug* (para serem inseridos no ouvido) ou concha (colocados sobre as orelhas, levemente pressionados contra os lados da cabeça pelo arco). No caso de uso de protetores de inserção (tipo *plug*), deve-se ter cuidado especial com a higiene dos mesmos, sendo que devem ser lavados diariamente com água e sabão e secos. Além disso, outro cuidado necessário para a utilização desse tipo de protetor é se fazer um pequeno nó na corda no lado de um dos *plugs*, e inserir o *plug* do lado marcado sempre no mesmo ouvido (o direito, por exemplo). Isso impede que se tenha uma otite (inflamação de ouvido) e que se transmita a doença de um ouvido para o outro.

Protetor facial: é recomendado seu uso quando desbastar com esmerilhadeira ou quando usar o rebolo ou a escova do moto esmeril, para evitar que qualquer partícula de metal ou mesmo do abrasivo atinja o rosto.

PRECAUÇÃO

O uso do protetor facial não dispensa o uso dos óculos de segurança! O protetor facial é para o rosto, enquanto os óculos de segurança protegem os olhos.

Luvas: empregadas para uso geral, manuseio de peças com rebarbas e proteção contra radiação de soldagem. Para uso geral em manutenção, as mais recomendadas são as tricotadas em fibras sintéticas e/ou de plásticos de engenharia, revestidas com materiais impermeáveis contra óleo. Para soldagem, as mais recomendadas são as de vaqueta, que protegem contra radiação sem comprometer a sensibilidade das mãos e dedos, necessárias para a maior qualidade do processo de soldagem.

Calçados de segurança: recomendados para proteção dos pés contra umidade e quedas de objetos sobre os dedos. Em manutenção, os mais recomendados são os dotados de biqueiras de aço, que protegem os dedos dos pés. São fabricadas em couro hidrofugado, resistente à infiltração de água. Possuem solado bidensidade, com dois tipos de polímeros injetados diretamente ao cabedal do calçado, para maior conforto. Para maior segurança, deve-se evitar realizar trabalhos de soldagem com os calçados úmidos, sob o risco de choques elétricos.

Roupas de couro para soldagem: protegem o tronco, braços e pernas contra radiação de soldagem e projeção de partículas de metal incandescente e lascas de escória de soldagem quente.

Máscara de soldagem com lente protetora: protegem o rosto e os olhos do profissional contra a radiação de soldagem e contra respingos de metal incandescente ou partículas de escória de eletrodo que possam se desprender. As máscaras de solda mais usadas são fabricadas em celeron (laminados de fibras têxteis cruzadas com resina fenólica), resistente a impactos e radiações. As lentes são de vidro revestido, com tonalidades que devem ser selecionadas de acordo com o processo e a corrente de soldagem utilizada.

Tabela 1 – Tonalidades de lentes para processos de soldagem e corte.

PROCESSO	CORRENTE	OPACIDADE
Goivagem a arco	até 500 A de 500 até 1000 A	12 14
Plasmacorte	até 300 A de 300 até 400 A de 400 até 800 A	9 12 14
Soldagem a plasma	até 100 A de 100 até 400 A de 400 até 800 A	10 12 14
Soldagem com eletrodo revestido	até 160 A (até 4 mm) de 160 até 250 A (4 a 6 mm) de 250 até 550 A (acima de 6 mm)	10 12 14
Soldagem MIG/MAG	de 60 até 160 A de 160 até 250 A de 250 até 500 A	11 12 14
Soldagem TIG	até 50 A de 50 até 150 A de 150 até 500 A	10 12 14

Fonte: ESAB, s.d.

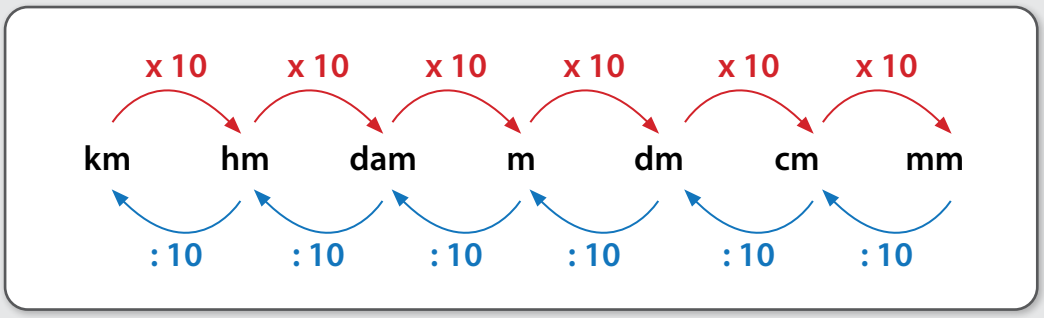
2 METROLOGIA BÁSICA

2.1 MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DAS UNIDADES DE MEDIDA

Há diversas unidades de medidas nos diferentes sistemas de unidades. Os dois principais sistemas de unidades existentes são: o Sistema Internacional de Unidades (SI), no qual está o metro, definido atualmente com base na velocidade da luz no vácuo, e que normalmente faz com que esse sistema seja chamado de Sistema Métrico; e o Sistema Inglês, ainda muito difundido por ser usado nos Estados Unidos (somente três países do mundo usavam o sistema inglês em 2007: Libéria, Birmânia e Estados Unidos), e no qual está a polegada, bastante utilizada no universo mecânico em função de elementos de máquina (parafusos, porcas), roscas e ferramentas utilizarem este sistema para identificação.

Porém, muitas vezes, as unidades de medida inteiras não são suficientes para expressar com a precisão e a exatidão necessárias algumas medidas. Por exemplo, imagine expressar, em metros, a medida da folga de válvulas a frio de um motor. Considerando-se a situação oposta, seria muito complicado expressar grandes distâncias usando somente metros. Para isso, as principais unidades de medidas possuem **múltiplos** e **submúltiplos**, que dividem ou agrupam uma mesma unidade de medida, facilitando a expressão e a comunicação de medidas de diversas ordens, desde as menores até as maiores. A Figura 8 expressa os diversos múltiplos e submúltiplos do **metro**, a unidade de medida que é mais expressa através de múltiplos e submúltiplos, bastante conhecida da maioria das pessoas.

Figura 8 – Múltiplos e submúltiplos do metro.



Fonte: MÚLTIPLOS, s.d.

A forma correta de ler os múltiplos e submúltiplos do metro apresentados é:

km – quilômetro

hm – hectômetro

dam – decâmetro

m – metro (unidade fundamental)

dm – decímetro

cm – centímetro

mm – milímetro

Outras unidades de medidas podem ser expressas usando-se os múltiplos e submúltiplos. Ex.: em Meteorologia, a pressão atmosférica é expressa em milibar (mbar), e pressões em geral podem ser expressas em kPa (quilopascal).

2.1.1 Conversões entre unidades de medidas

Levando-se em conta que são usadas diferentes unidades de medidas para se medir coisas semelhantes, existem relações entre as unidades de medida dos diferentes sistemas. Unidades do sistema métrico estão relacionadas com unidades do sistema imperial, através de fatores de conversão. Sabendo-se o fator de conversão e, realizando-se alguns cálculos, consegue-se saber a equivalência de uma medida numa dada unidade em outra unidade. A principal correlação que é preciso saber entre unidades do sistema métrico e imperial é o fator de conversão de milímetros para polegadas. Para efetuar conversões de milímetros para polegadas, ou o contrário, basta saber que:

1" (pol.) = 25,4 mm

Quando se tiver uma medida em polegadas para converter para milímetros, basta multiplicar este valor por 25,4. Quando tiver uma medida em milímetros para converter para polegadas, basta dividir este valor por 25,4. As tabelas a seguir mostram alguns fatores de conversão usados entre outras unidades de medidas dos sistemas métrico e imperial e outras correlações entre unidades.

Tabela 2 – Fatores de conversão para unidades de comprimento.

	pol.	pé	jarda	mm	m	km
1 pol =	1	0,08333	0,27778	25,4	0,0254	–
1 pé =	12	1	0,3333	304,8	0,3048	–
1 jarda =	36	3	1	914,4	0,9144	–
1 mm =	0,03937	$3281 \cdot 10^{-6}$	$1094 \cdot 10^{-6}$	1	0,001	10^{-6}
1 m =	39,37	3,281	1,094	1000	1	0,001
1 km =	39370	3281	1094	10^{6}	1000	1

Fonte: CESTARI, 2014.

Tabela 3 – Fatores de conversão para unidades de trabalho (energia).

	pé lb	kp m	J	kW h	kcal	Btu
1 pé lb =	1	0,1383	1,356	$367,8 \cdot 10^{-9}$	$324 \cdot 10^{-6}$	$1,286 \cdot 10^{-3}$
1 kp m	7,233	1	9,807	$2,725 \cdot 10^{-6}$	$2,344 \cdot 10^{-3}$	$9,301 \cdot 10^{-3}$
1J = 1Ws =	0,7376	0,102	1	$277,8 \cdot 10^{-9}$	$239 \cdot 10^{-6}$	$948,4 \cdot 10^{-6}$
1 kW h =	$2,655.10^{6}$	$367,1 \cdot 10^{3}$	$3,6 \cdot 10^{6}$	1	860	3413
1 kcal =	$3,087.10^{3}$	426,9	4187	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1	3,968
1 Btu =	778,6	107,6	1055	$293 \cdot 10^{-6}$	0,252	1

Fonte: CESTARI, 2014.

Tabela 4 – Fatores de conversão para unidades de pressão.

	Pa	N/mm²	bar	kp/cm²	Torr
1Pa = 1N/m² =	1	10^{-6}	10^{-5}	$1{,}02.10^{-5}$	0,0075
1N/mm² =	10^{6}	1	10	10,2	$7{,}5 \cdot 10^{3}$
1 bar =	10^{-5}	0,1	1	1,02	750
1 kp/cm² = 1atm =	98100	$9{,}81 \cdot 10^{-2}$	0,981	1	736
1 Torr =	133	$0{,}133 \cdot 10^{-3}$	$1{,}33 \cdot 10^{-3}$	$1{,}36 \cdot 10^{-3}$	1
1 Torr = 1/760 atm = 1,33322 mbar = 1 mmHg					

Fonte: CESTARI, 2014.

Para converter temperaturas entre as escalas Celsius (comumente chamados de graus centígrados)) para graus Fahrenheit (usadas no sistema inglês), segue as correlações:

$$^{o}C = (^{o}F - 32) / 1{,}8$$

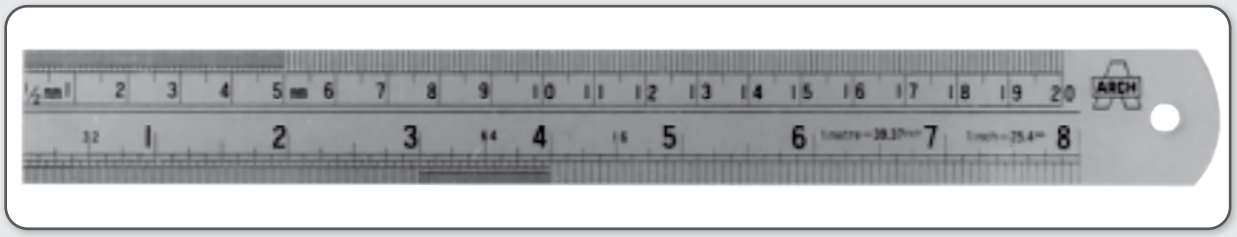
$$^{o}F = (^{o}C * 1{,}8) + 32$$

2.2 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

2.2.1 Régua graduada

A régua graduada é o instrumento de medição de uso mais comum em mecânica. É geralmente construída em aço inox e com as escalas gravadas numa das faces. Possui duas escalas: a dos milímetros (na parte de cima, quando se olha a régua de frente) e a das polegadas (na parte de baixo). São instrumentos de medição mais robustos, não possuem partes móveis nem mecanismos sensíveis. O principal cuidado que se deve ter com as réguas graduadas é a sua limpeza sempre após o uso e o armazenamento adequado, de modo que a régua não empene e as escalas gravadas não sejam riscadas ou apagadas. A Figura 9 ilustra uma régua graduada típica, na medida de 8" (200 mm).

Figura 9 – Régua graduada de 8" (200 mm).



Fonte: TELECURSO, s.d. (b)

A escala dos milímetros da régua graduada possui marcações de 1 em 1 centímetro, sendo que cada centímetro está dividido em 10 partes iguais. Ou seja: cada divisão da escala corresponde a 1 mm (um milímetro). Há réguas graduadas, como a da ilustração, em que os 5 primeiros centímetros possuem cada centímetro dividido em 20 partes iguais. Desse modo, cada divisão desta parte da régua graduada possui 0,5 mm (meio milímetro). Entretanto, é difícil visualizar as divisões com

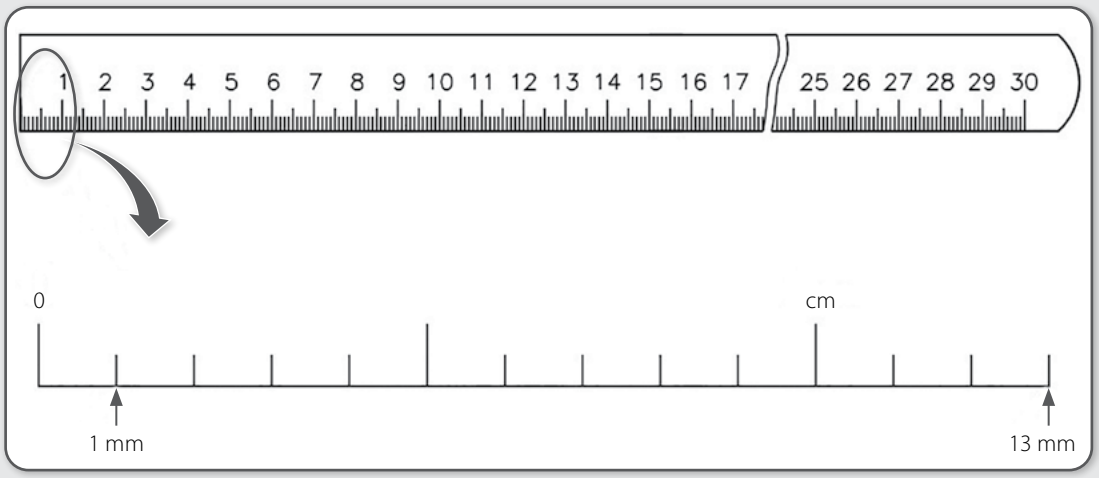
clareza, e se torna mais fácil errar uma leitura. Por isso, é preferível usar a régua graduada apenas na escala dos milímetros. Para medidas mais precisas, usam-se outros instrumentos mais precisos.

A leitura da régua graduada é bastante simples. Considerando-se que cada divisão da escala dos milímetros tem 1 mm (um milímetro), basta contar a quantidade de divisões, usando-se as marcações de centímetros para auxiliar na contagem.

ATENÇÃO

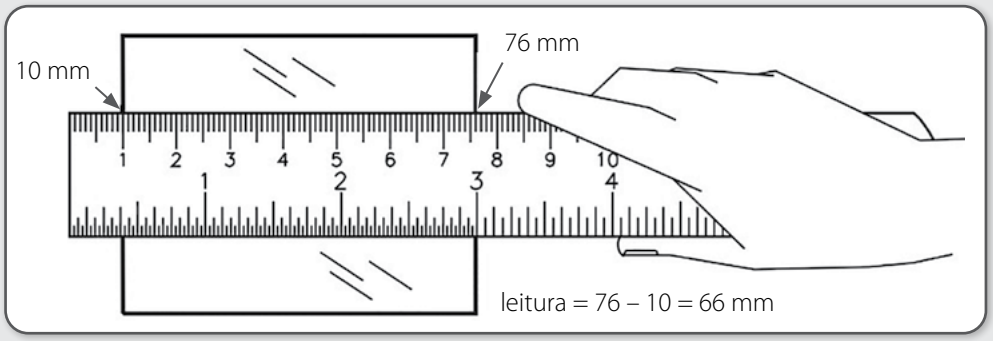
Caso se use o encosto da régua para iniciar a medida, ou se posicione o "0" (zero) da régua numa das extremidades da peça que se está medindo, procede-se simplesmente a leitura da divisão onde se encontra a outra extremidade da peça. Caso se use outro ponto da régua graduada como referência de início da medição, deve-se descontar a leitura da divisão da régua onde termina a peça da leitura da divisão onde começa a peça que está sendo medida.

Figura 10 – Leituras da régua graduada na escala dos milímetros.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b)

Figura 11 – Leitura da régua graduada sem encosto – diferença de leituras.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b)

A escala das polegadas da régua graduada possui marcações de 1 em 1 polegada, sendo que cada polegada é dividida em 16 partes iguais. Assim sendo, cada divisão da escala das polegadas da régua graduada tem 1/16" (um dezesseis avos de polegada). Para contar as demais divisões da

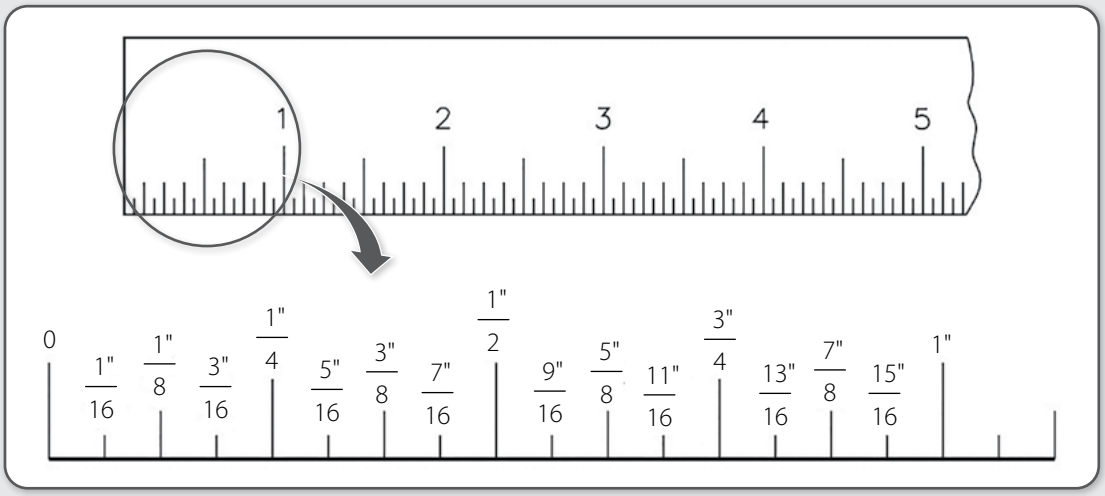
polegada, é preciso lembrar que as polegadas estão representadas em forma de frações ordinárias. E, por isso, a cada nova fração, é preciso simplificar a leitura, de modo que as frações sejam reduzidas às suas formas irredutíveis.

Dividindo-se o numerador (número de cima) pelo denominador (número de baixo) por 2 até que permaneça um número ímpar no numerador, de modo que:

- segunda divisão será 2/16″ = 1/8″ (um oitavo de polegada)
- terceira divisão será 3/16″ (três dezesseis avos de polegada)
- quarta divisão será 4/16″ = 2/8″ = 1/4″ (um quarto de polegada)
- quinta divisão será 5/16″ (cinco dezesseis avos de polegada)
- sexta divisão será 6/16″ = 3/8″ (três oitavos de polegada)
- sétima divisão será 7/16″ (sete dezesseis avos de polegada)
- oitava divisão será 8/16″ = 4/8″ = 2/4″ = 1/2″ (meia polegada)
- nona divisão será 9/16″ (nove dezesseis avos de polegada)
- décima divisão será 10/16″ = 5/8″ (cinco oitavos de polegada)
- décima primeira divisão será 11/16″ (onze dezesseis avos de polegada)
- décima segunda divisão será 12/16″ = 6/8″ = 3/4″ (três quartos de polegada)
- décima terceira divisão será 13/16″ (treze dezesseis avos de polegada)
- décima quarta divisão será 14/16″ = 7/8″ (sete oitavos de polegada)
- décima quinta divisão será 15/16″ (quinze dezesseis avos de polegada)
- décima sexta divisão será 16/16 = 1″ (uma polegada inteira).

A Figura 12 ilustra a explanação anterior, mostrando cada uma das frações que representam as divisões da polegada e um exemplo de leitura na escala das polegadas da régua graduada.

Figura 12 – Divisões da polegada na régua graduada.

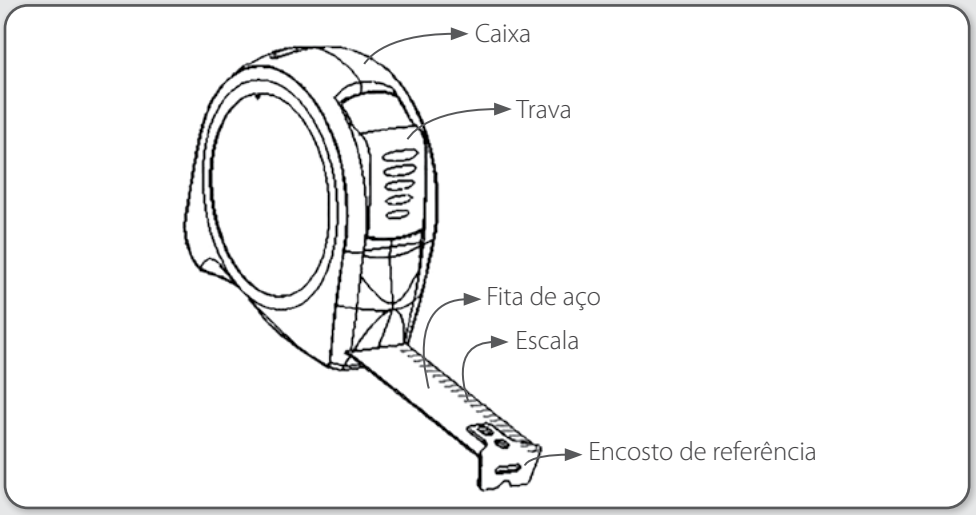


Fonte: TELECURSO, s.d. (b)

2.2.2 Trena

As trenas mais empregadas em mecânica são constituídas por fitas de aço, planas ou encurvadas, providas de mecanismo de recolhimento automático da fita através de molas, trava para manter a trena estendida fora do estojo e uma aba de chapa dobrada na extremidade da fita chamada de encosto de referência. A nomenclatura padrão das partes da trena é definida pela norma brasileira NBR 10123:1987. A Figura 13 apresenta as nomenclaturas padronizadas dos componentes da trena de fita metálica de recolhimento automático.

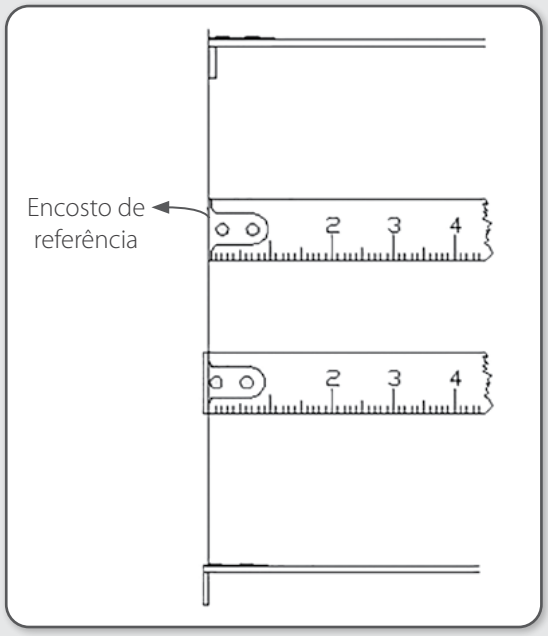
Figura 13 – Nomenclatura padrão das partes da trena de recolhimento automático.



Fonte: ABNT, s.d.

O encosto de referência tem uma função especial nas trenas de aço. Ele é fixado à fita de aço por dois pinos e possui uma pequena folga, cuja medida coincide exatamente com a espessura da chapa do encosto de referência. A função deste "jogo" é deslocar o "0" (zero) da trena para trás do encosto, quando se realizam medidas externas e deslocar o "0" (zero) da trena para frente do encosto, para medidas internas. Por essa razão, é proibido tentar anular este deslocamento do encosto de referência da trena. Se este jogo for anulado, a trena será inutilizada. A Figura 14 ilustra a dupla função do encosto da trena, proporcionada pelo encosto de referência.

Figura 14 – Encosto de referência com compensação em trenas.



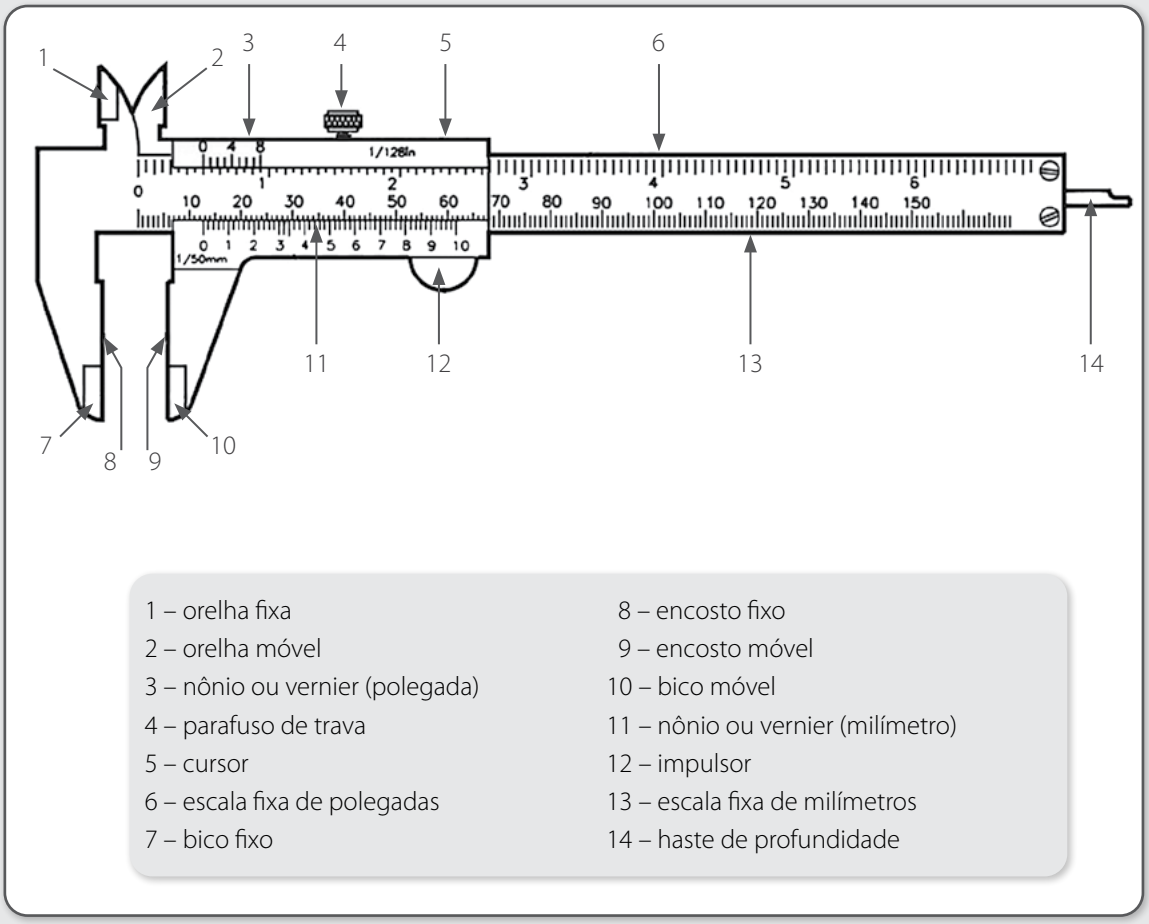
Fonte: ABNT, s.d.

As leituras da trena são semelhantes às da régua graduada, sendo que as trenas de recolhimento automático com fitas de aço encurvadas têm comprimentos máximos de 3 metros (10 pés – 120 polegadas), 5 metros (16 pés – 192 polegadas) e 8 metros (26 pés – 312 polegadas), com larguras de 12,7mm (1/2"), 3/4" (19,05 mm) e 1" (25,4 mm), respectivamente. Trenas de fitas planas podem ser usadas para medir perímetros de peças cilíndricas (ex.: tubos, barras e eixos), enquanto trenas de fitas encurvadas só são recomendadas para medidas planas, não podendo ser encurvadas.

2.2.3 Paquímetro

O paquímetro é um instrumento de medida utilizado para medição de dimensões internas, externas, de profundidades e ressaltos de peças em geral. É formado basicamente por uma régua com escalas fixas em milímetros e polegadas, sobre as quais corre um cursor, dotado de escalas auxiliares, chamadas de *nônio* ou *vernier*. A função do nônio (vernier) é subdividir a menor divisão da escala fixa do paquímetro, de acordo com o número de divisões que possuir, permitindo leituras mais precisas das dimensões desejadas. A Figura 15 mostra um paquímetro universal e nomeia seus componentes.

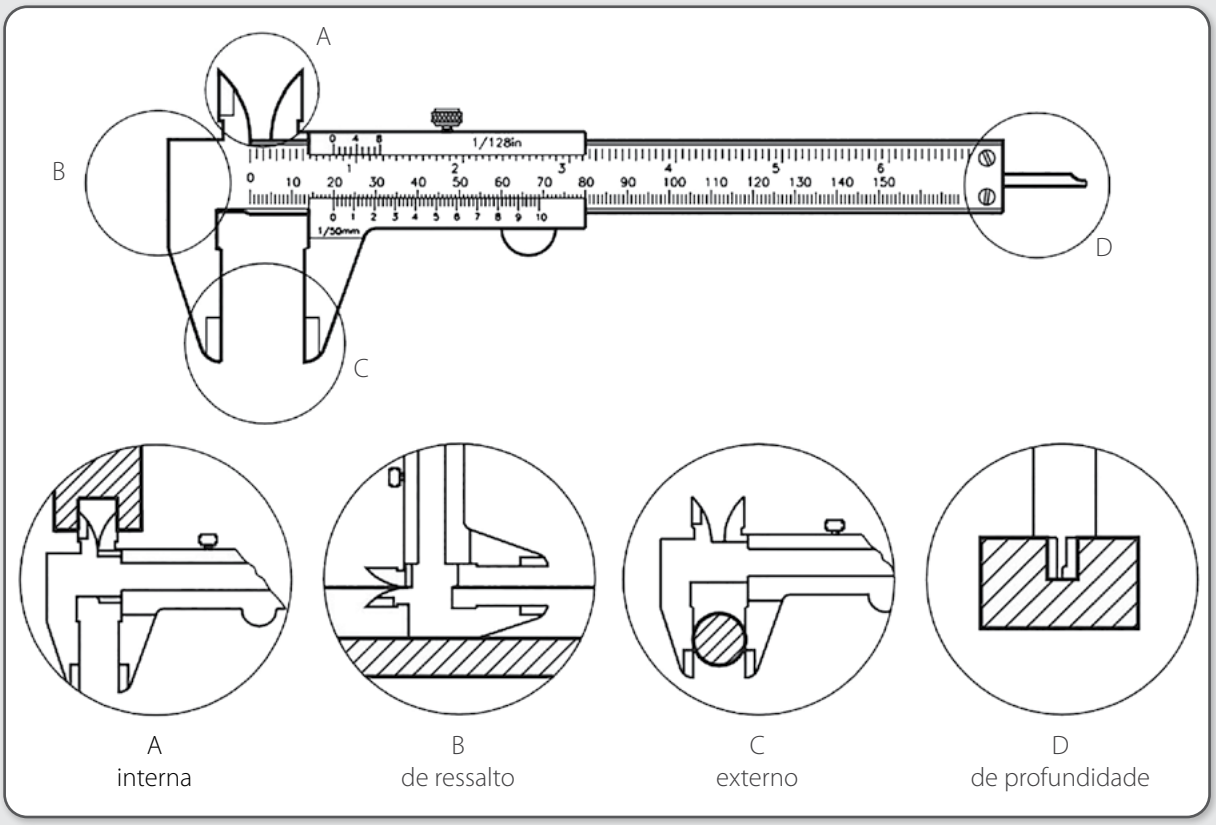
Figura 15 – Partes de um paquímetro universal.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

A figura 16 mostra as diferentes possibilidades de uso de um paquímetro universal, para a medição interna, externa, de profundidades e ressaltos, o que reforça a versatilidade desse instrumento.

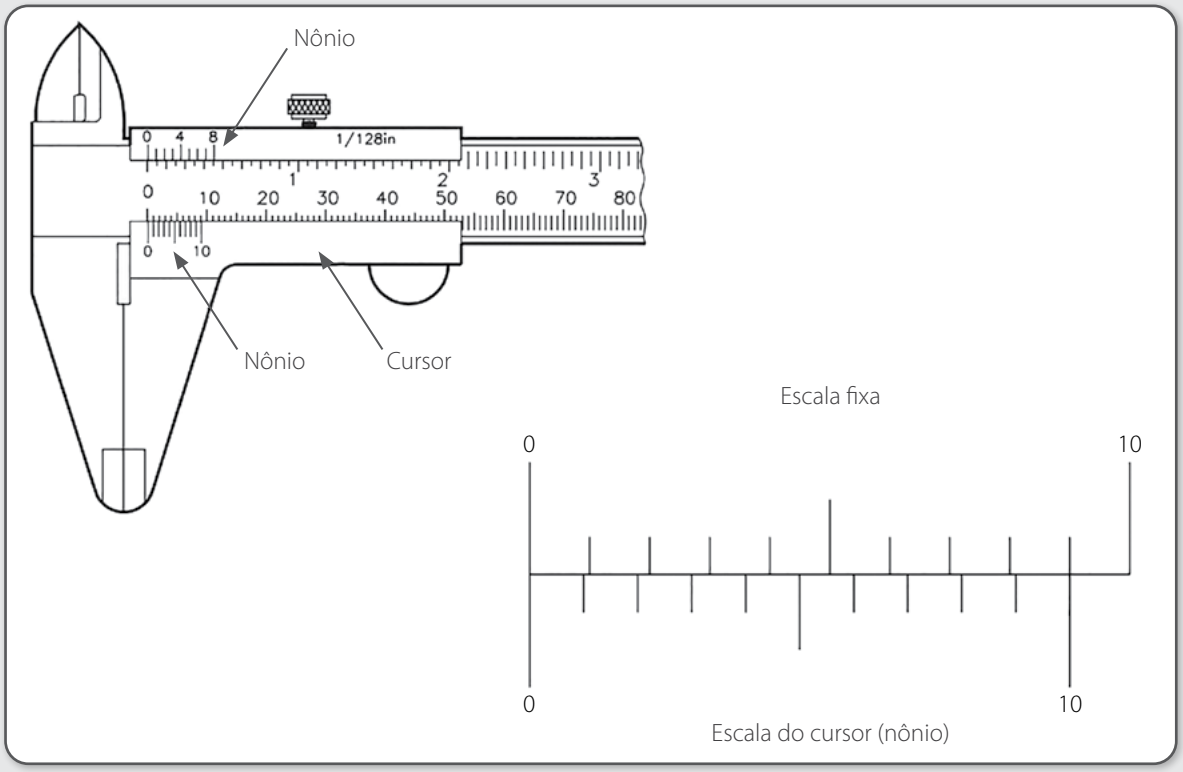
Figura 16 – Funções de um paquímetro universal.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

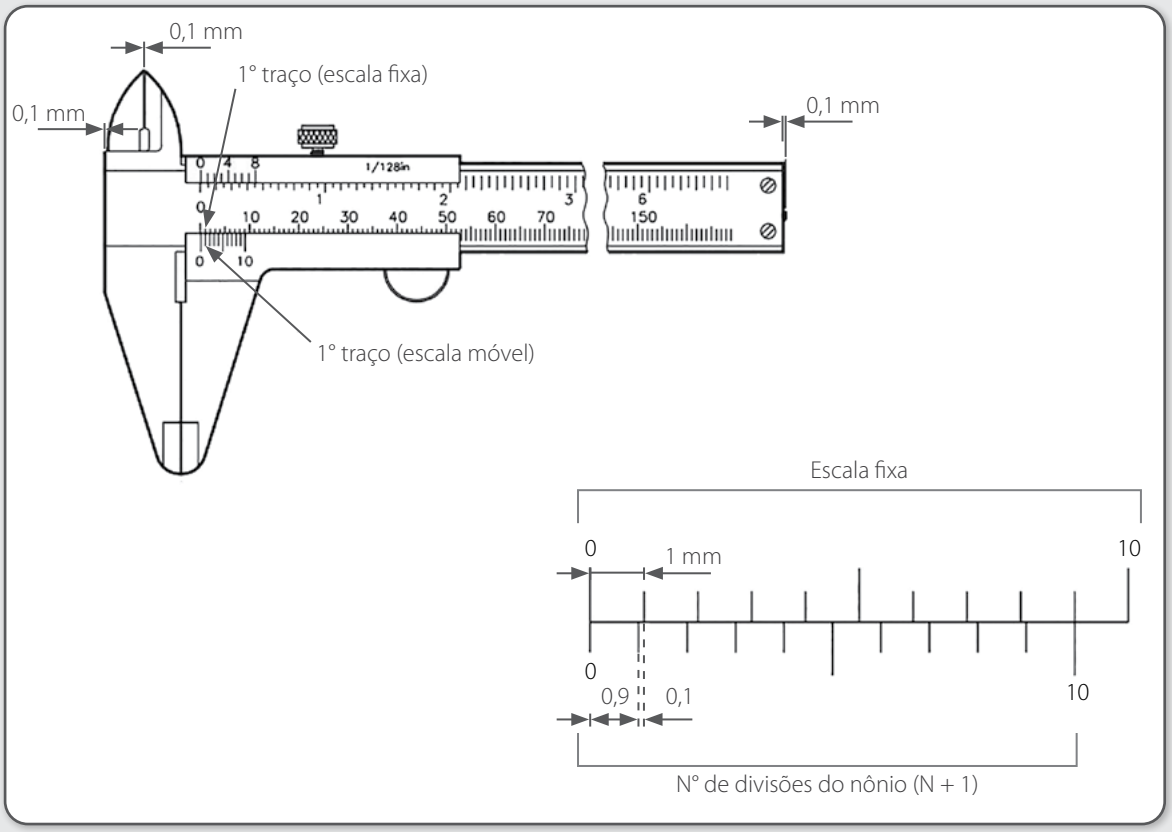
O principal diferencial do paquímetro em relação à régua graduada ou à trena é o nônio (ou vernier), que permite leituras mais precisas. O nônio é uma escala auxiliar, onde cada divisão é defasada em **uma vez a resolução** em relação à divisão da escala fixa (Figuras 17 e 18).

Figura 17 – Detalhe do nônio (ou vernier).



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

Figura 18 – Defasagem do traço do nônio em relação ao traço da escala fixa.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

A **resolução** expressa a menor medida que um paquímetro é capaz de medir. É calculada dividindo-se a unidade da escala fixa pelo número de divisões do nônio. A fórmula para calcular a resolução, portanto, é:

$$\mathbf{RES = UEF / NDN}$$

Onde:

UEF = Unidade da escala fixa

NDN = Número de divisões do nônio

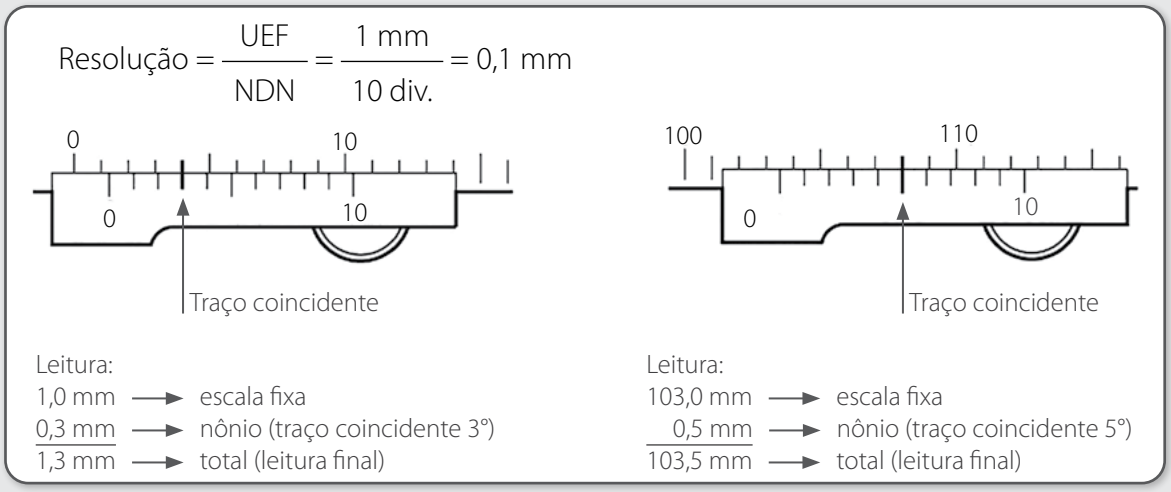
Existem paquímetros com resoluções de **0,1 mm**, **0,05 mm**, **0,02 mm**, **1/128"** e **0.001"**.

Pelo fato de possuir duas escalas, uma escala "principal" (a escala fixa) e uma escala "auxiliar" (o nônio ou vernier), a leitura do paquímetro se faz em duas etapas. Considerando-se que o paquímetro funciona pelo deslizamento do cursor, onde está o nônio, ao longo da escala fixa, tomaremos como referência para as leituras o "0" (zero) do nônio. Assim, as duas etapas da leitura do paquímetro são as seguintes:

1. Observar por qual valor da escala fixa passou ou parou o "0" (zero) do nônio, a referência. Essa será a parte inteira da medida.
2. Observar atentamente qual traço do nônio está perfeitamente alinhado (coincidente) com qualquer traço da escala fixa. Leia no nônio o valor correspondente deste traço coincidente. É a parte fracionária da medida.

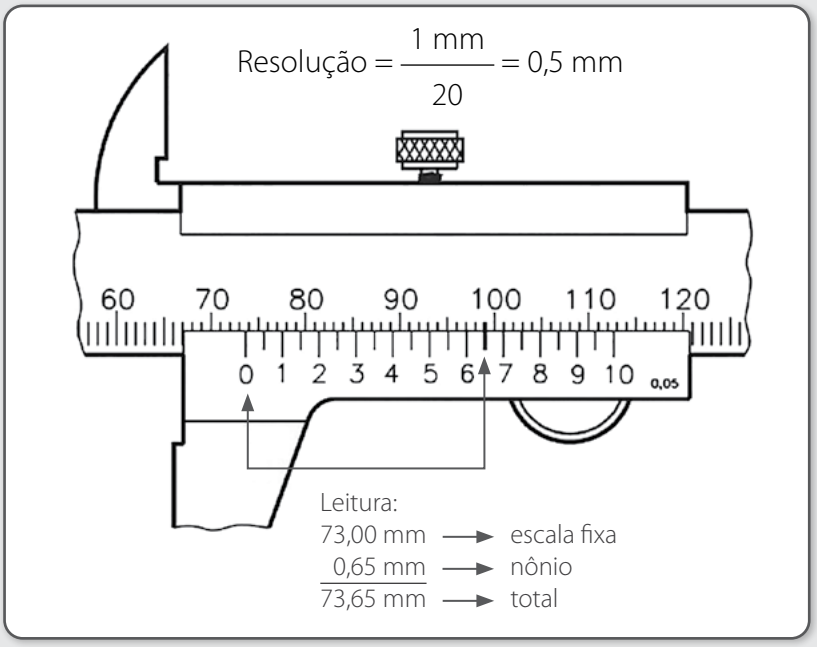
A medida final será a soma da parte inteira com a parte fracionária da medida observada. Lembrando que, para somar partes inteiras com fracionárias, devem-se escrever os números colocando "vírgula embaixo de vírgula". As figuras 19, 20 e 21 ilustram exemplos de leituras de paquímetros do sistema métrico, para as diferentes resoluções disponíveis no mercado (0,1 mm / 0,05 mm e 0,02 mm).

Figura 19 – Leitura do paquímetro sistema métrico – resolução de 0,1 mm.



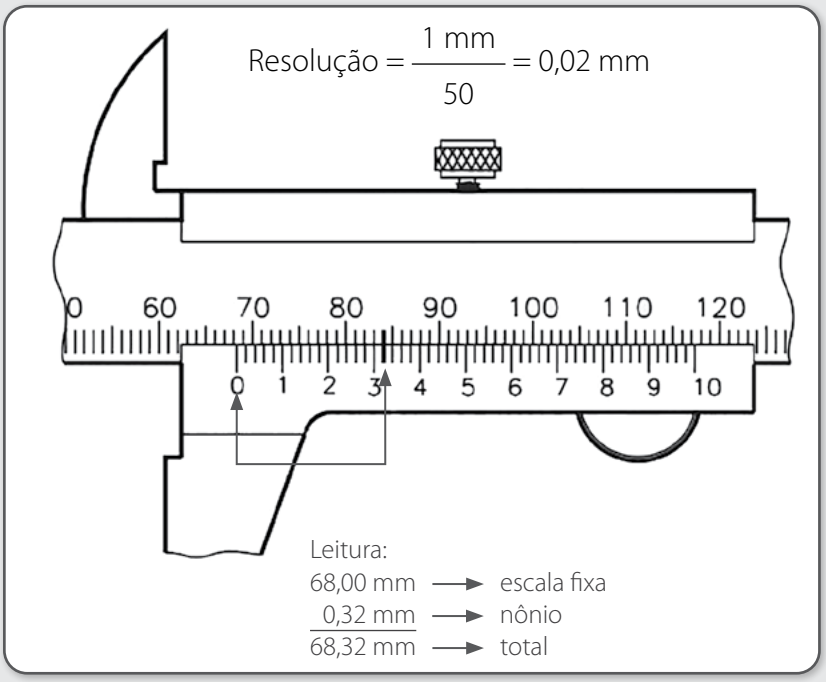
Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

Figura 20 – Leitura do paquímetro sistema métrico – resolução de 0,05 mm.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

Figura 21 – Leitura do paquímetro sistema métrico – resolução 0,02 mm.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

Existem dois tipos diferentes de paquímetros para unidades do sistema inglês: o paquímetro para leitura de polegadas fracionárias (geralmente conjugado ao paquímetro de sistema métrico com resolução de 0,05 mm) e o paquímetro para leitura de polegadas milesimais (geralmente conjugado ao paquímetro de sistema métrico com resolução 0,02 mm). As técnicas de leitura são

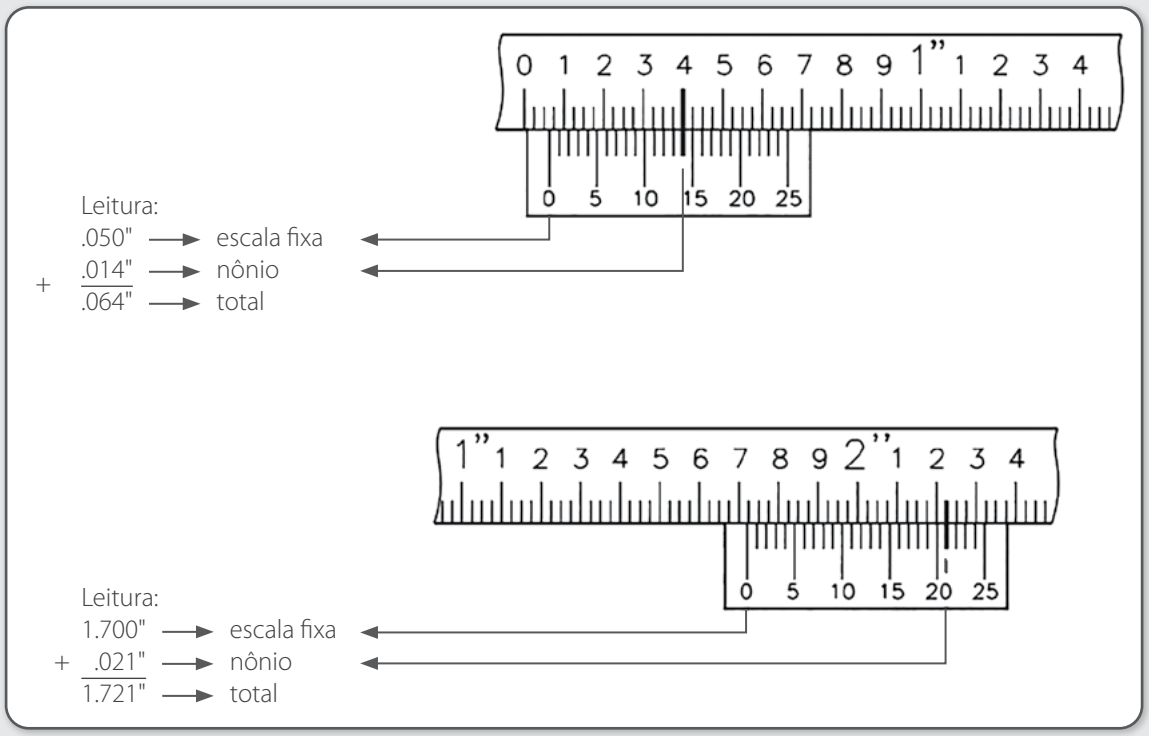
semelhantes às do paquímetro do sistema métrico. As únicas diferenças são as quantidades de divisões, tanto da escala fixa quanto do nônio de cada tipo de paquímetro, e o fato de que, para se fazer as leituras do paquímetro em polegadas fracionárias, é preciso somar frações ordinárias (na forma de *numerador/denominador*), o que requer o método matemático adequado. Mas existem técnicas que simplificam esse processo e facilitam a leitura.

Para proceder à leitura do paquímetro em polegadas milesimais, basta se atentar a dois detalhes particulares desse tipo de paquímetro:

- Cada polegada na escala fixa do paquímetro de sistema inglês em polegadas milesimais é dividida em 40 partes iguais. Ou seja, cada divisão da escala fixa desse paquímetro corresponde a: **1”/40 = 0.025”**.
- Lembrando que a função do nônio é subdividir a menor divisão da escala fixa, o nônio desse paquímetro possui 25 divisões. Assim, calculando-se a resolução desse paquímetro, teremos: **RES = UEF/NDN = 0.025”/25 = 0.001”**.

A técnica para leitura desse paquímetro é a mesma: primeiro lê-se a escala fixa, observando por onde a referência (o “0” – zero do nônio passou ou parou) e em seguida, fazendo-se a leitura do nônio e, por fim, somando-se as duas. A Figura 22 ilustra dois exemplos de leitura do paquímetro em polegadas milesimais.

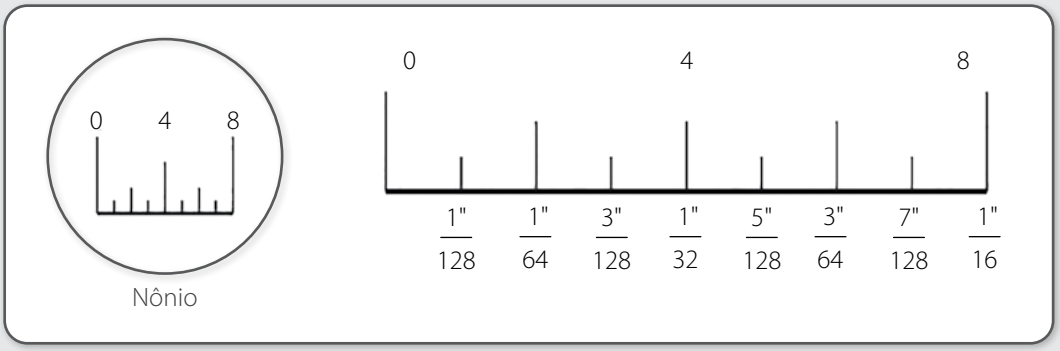
Figura 22 – Leitura do paquímetro sistema métrico – polegada milesimal.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

Para o paquímetro em polegadas fracionárias, precisamos primeiro observar como é o nônio desse paquímetro e calcular sua resolução. Para o paquímetro em polegada fracionária, cada divisão da escala fixa, assim como na régua graduada, vale **1/16"**. E o nônio possui **8** divisões. Lembrando, mais uma vez, que a função do nônio é subdividir a menor divisão da escala fixa, a resolução deste paquímetro será: **RES = UEF / NDN = 1/16" / 8 = 1/128".**

Figura 23 – Nônio do paquímetro sistema inglês – polegadas fracionárias.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

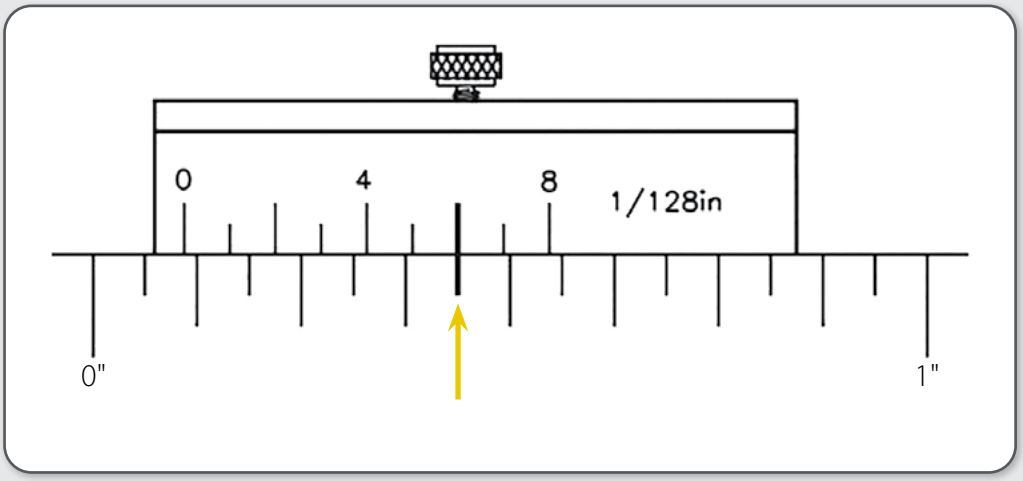
Seguindo o método tradicional para ler o paquímetro em polegadas fracionárias, a leitura ficará complicada, porque é preciso somar a fração ordinária da escala fixa com a fração ordinária do nônio, além das polegadas inteiras que já tiverem passado na medida em questão. Para simplificar este processo, existe uma técnica apropriada, cuja explicação se segue.

1. Contar a quantidade de divisões da escala fixa que já passaram pela referência (zero do nônio) – guardar este valor, mentalmente ou anotando-o num papel.
2. Verificar qual traço do nônio coincide exatamente com qualquer traço da escala fixa. Associar esse traço com a imagem do nônio mostrada acima para indicar qual foi o traço alinhado. Anotar valor ao lado da contagem de traços do passo 1.
3. Tomar o último algarismo do denominador (número de baixo) da fração correspondente ao traço coincidente do nônio, multiplicar pelo valor anotado na etapa 1 e somar o resultado com o numerador (número de cima). O resultado dessa conta será o numerador da fração correspondente à leitura, na qual o denominador será o próprio denominador da fração correspondente do traço coincidente.

LEMBRETE

Caso o "zero" do nônio (a referência) pare exatamente coincidindo com qualquer traço da escala fixa, não é preciso aplicar esta técnica, bastando ler a escala fixa, e somar as polegadas inteiras que já tenham passado.

Figura 24 – Leitura do paquímetro sistema inglês – resolução 1/128".



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

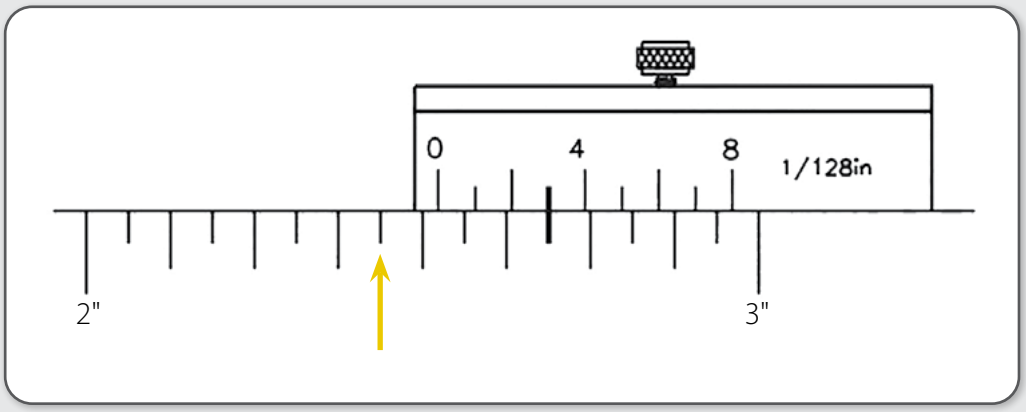
1º passo: passou uma divisão da escala fixa;

2º passo: o traço coincidente é o 6º = 6/128 = 3/64 (último algarismo é o 4)

3º passo: 4 * 1 = 4 + 3 = 7.

Logo, a medida é: **7/64"**

Figura 25 – Leitura do paquímetro sistema inglês – resolução 1/128".



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

1º passo: passaram oito divisões da escala fixa;

2º passo: o traço coincidente é o 3º = 3/128 (último algarismo é o 8)

3º passo: 8 * 8 = 64 + 3 = 67

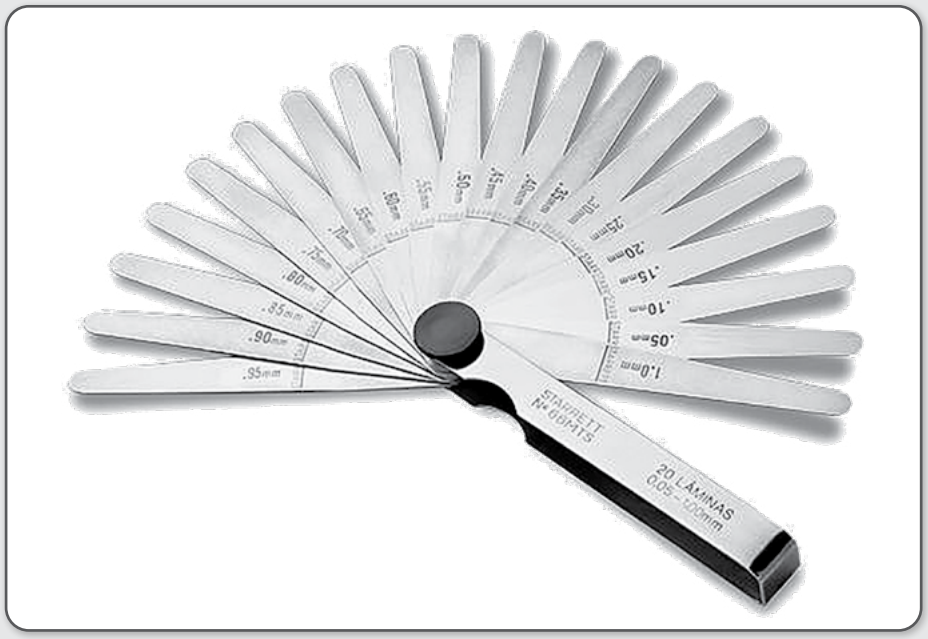
Já passaram 2 polegadas inteiras!

Logo, a medida é: **2.67/128"**

2.2.4 Calibrador de lâminas

Os calibradores de lâminas (também chamados de calibradores de folgas) são formados por um conjunto de lâminas de aço temperado, cujas espessuras são rigorosamente calibradas (Figura 26). As lâminas são fixadas a um estojo por um pino comum em suas extremidades, de modo que ficam alojadas no estojo sendo abertas girando-se a outra extremidade, formando uma espécie de canivete. Para melhor conservação, existe uma camada de óleo entre as lâminas para protegê-las contra a corrosão e evitar que engripem e grudem umas nas outras.

Figura 26 – Calibrador de lâminas tipo leque (ou canivete).



Fonte: STARRETT, 2014.

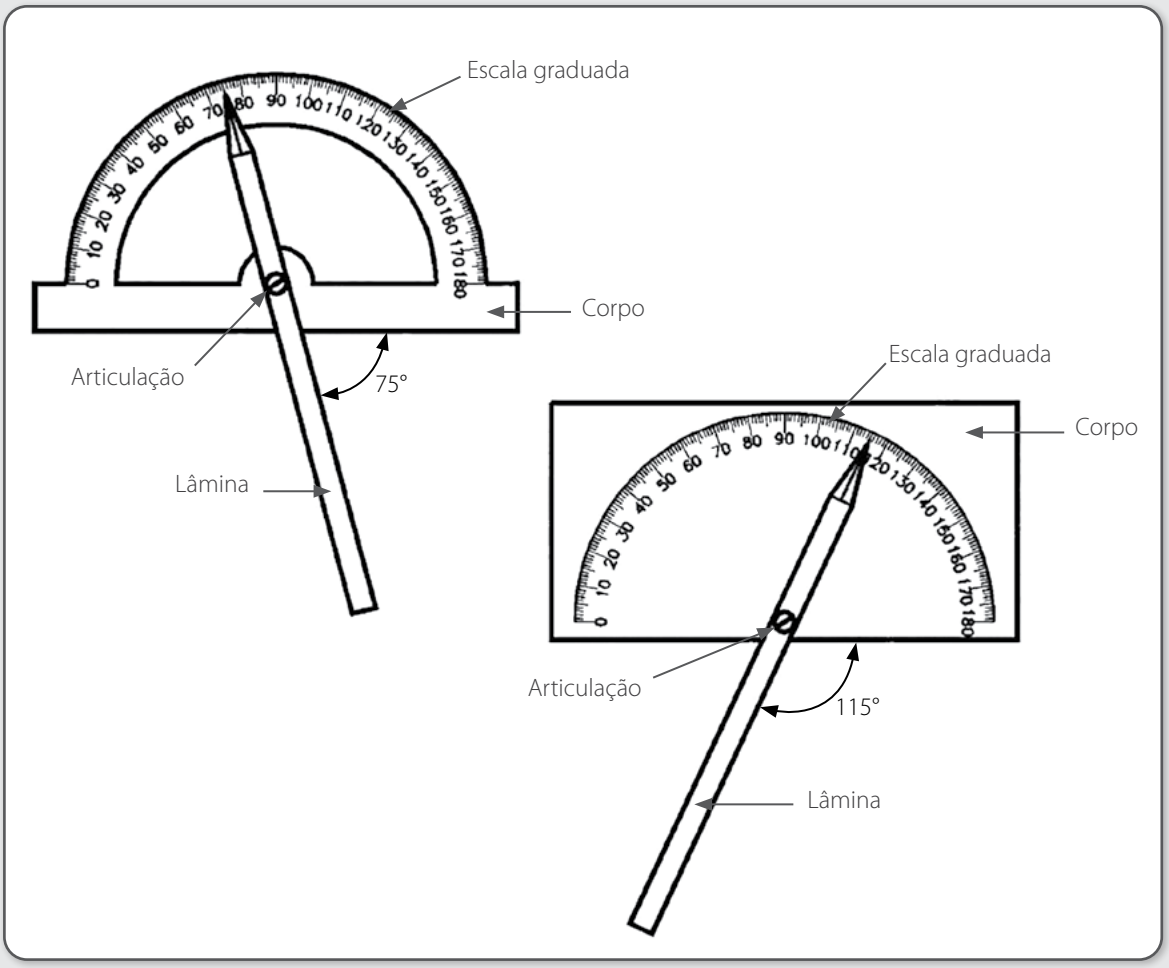
O calibrador de lâminas tem o princípio de utilização conhecido no universo mecânico como "passa – não passa". Seu uso consiste em observar o espaço cuja dimensão se pretende aferir, selecionar uma lâmina, inseri-la no espaço observado e verificar se esta lâmina passa ou não passa no espaço em aferição. Se a lâmina não passar, isso significa que o espaço em aferição é menor do que a espessura da lâmina selecionada, devendo-se escolher uma lâmina de espessura menor e repetir o processo. Se, ao contrário, a lâmina passar sem oferecer qualquer resistência, isso indica que o espaço em aferição é maior do que a lâmina selecionada, devendo-se selecionar uma lâmina maior e repetir o processo. A dimensão exata do espaço em aferição será confirmada quando a lâmina do calibrador passar oferecendo uma leve resistência, quando a lâmina for inserida e movimentada no espaço em aferição.

Os calibradores de lâminas mais encontrados possuem lâminas com espessuras variando de 0,05 a 1,00 mm; de 0,03 a 0,5 mm e de 0,04 a 5,00 mm. Existem também, embora muito pouco utilizados, os calibradores de lâminas em polegadas, com espessuras variando de 0.0015" a 0.025"; 0.002" a 0.030" e de 0.0015" a 0.200".

2.2.5 Goniômetro

Diferentemente de todos os instrumentos de medição estudados até aqui, este que veremos agora não se destina a medir grandezas lineares (comprimento, largura, altura, espessura), mas **grandezas angulares** (ângulos). Trata-se do goniômetro, também chamado de transferidor de grau, um instrumento bastante simples e usado para medir ângulos com precisão. O mais utilizado em mecânica é do tipo com resolução de **1º** (**um grau**). A Figura 27 ilustra as partes de um goniômetro e exemplifica a leitura de dois tipos de ângulos: um ângulo agudo (menor que 90º) e um ângulo obtuso (maior que 90º e menor que 180º).

Figura 27 – Goniômetros medindo ângulo agudo (75º) e obtuso (115º).



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

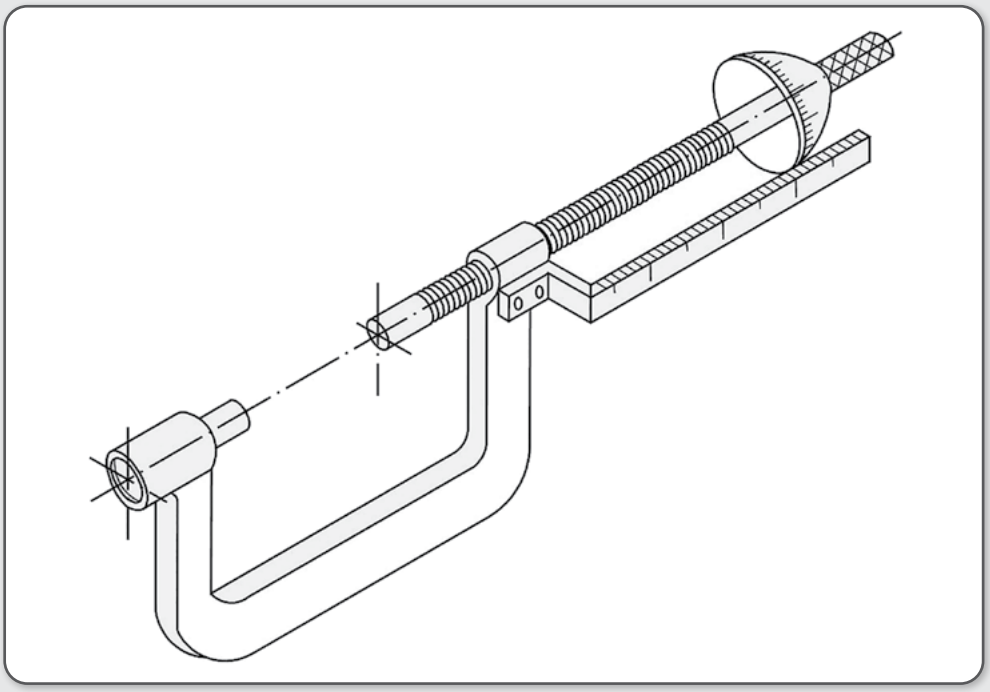
2.2.6 Micrômetro

O paquímetro, conforme estudado anteriormente, oferece níveis de precisão da ordem de até 0,02 mm (dois centésimos de milímetro). Entretanto, há situações no universo mecânico em que medições mais exatas precisam ser efetuadas, com nível de precisão ainda maior. Para esse tipo de medidas ainda mais exatas, existe um instrumento de medida conhecido como **micrômetro**,

cujo princípio de operação é baseado num conjunto parafuso-porca. No caso do micrômetro, este é construído com um fuso de extrema precisão, de modo que o passo seja exato e que as frações deste passo sejam exatamente divididas (uma volta da "porca" em torno do eixo do fuso).

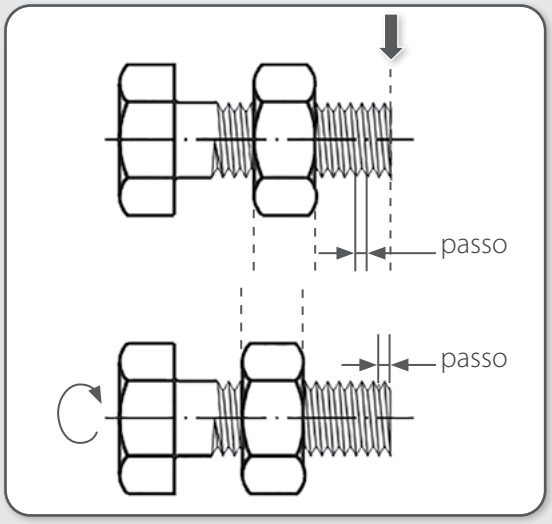
O micrômetro foi inventado na França e sua invenção é atribuída a Jean Louis Palmer, tendo sido apresentado no ano de 1848. Por isso, na França, o instrumento é ainda conhecido como **palmer**, num tributo ao seu inventor.

Figura 28 – Micrômetro de Palmer.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

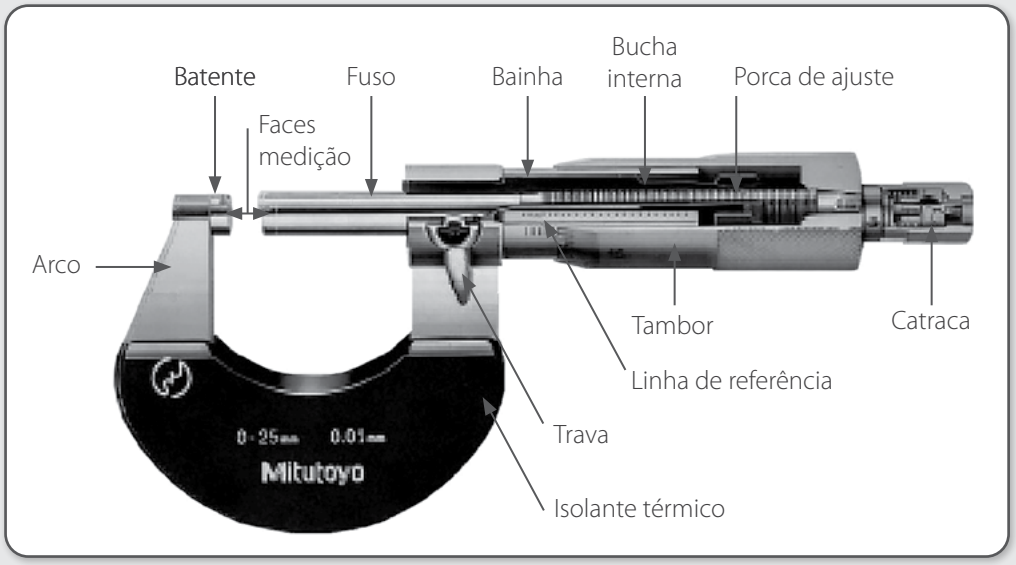
Figura 29 – Princípio de funcionamento do micrômetro (sistema parafuso-porca).



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

No caso do micrômetro moderno, este é construído com uma porca fixa e um parafuso móvel, de modo que quando se gira o parafuso uma volta completa ao redor da porca, a extremidade deste se desloca pela extensão de seu passo. Subdividindo-se a volta do parafuso num dado número de divisões, torna-se possível determinar medidas menores que o seu próprio passo. A Figura 30 mostra um micrômetro moderno, com seus componentes devidamente nomeados.

Figura 30 – Partes de um micrômetro.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

As capacidades dos micrômetros variam a cada 25 mm, para micrômetros em sistema métrico, e a cada 1 polegada, para micrômetros em sistema inglês. Por exemplo, há micrômetros para varrer a faixa de 0 a 25 mm, de 25 a 50 mm, de 50 a 75 mm, de 75 a 100 mm e assim sucessivamente, o mesmo ocorrendo para polegadas (de 0 a 1", de 1" a 2", de 2" a 3", de 3" a 4", etc.).

As resoluções dos micrômetros podem ser de 0,01 mm (um centésimo de milímetro) a 0,001 mm (um milésimo de milímetro) nos micrômetros em sistema métrico. Já nos micrômetros em sistema inglês podem ser de 0.001" (um milésimo de polegada) a 0.0001" (um décimo milésimo de polegada).

Existem micrômetros com formatos específicos, diferentes do micrômetro padrão, para aplicações específicas (de profundidade, com arco profundo, com discos nas hastes, para medição de roscas, com contatos em forma de "V", para medir paredes de tubos, com contador mecânico e digital eletrônico).

A resolução de um micrômetro é dada dividindo-se o passo da rosca do fuso pelo número de divisões do tambor do micrômetro. Assim, para um micrômetro com passo de 0,5 mm (meio milímetro) e com um tambor de 50 (cinquenta) divisões, a resolução será dada por:

RES = passo do fuso / nº divisões tambor

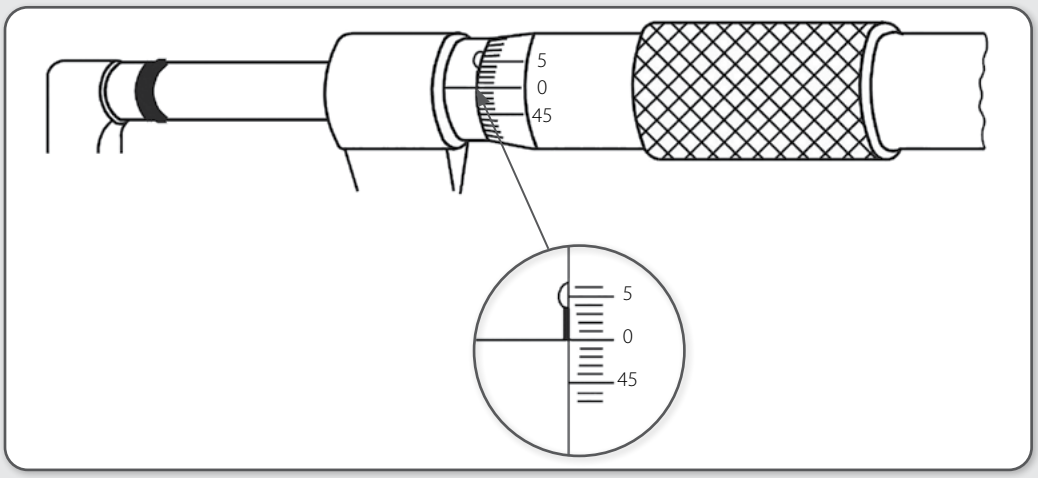
RES = 0,5 mm / 50

RES = 0,01 mm

A leitura do micrômetro é feita em três etapas: primeiro, contam-se os milímetros inteiros da medida nas marcas da bainha do instrumento; depois, conta-se o meio milímetro (se tiver passado) também na bainha do instrumento e, em terceiro, observa-se qual divisão do tambor está alinhada com a linha neutra da bainha do instrumento.

Antes de se iniciar uma medida qualquer com o micrômetro, convém verificar se ele está devidamente "zerado". E isso se faz fechando-se totalmente o instrumento, fazendo encostarem as faces de medição, devidamente limpas, e verificando se a divisão "0" (zero) do tambor está exatamente alinhada com a linha neutra da bainha do micrômetro, sem que nenhuma divisão ou meia divisão da bainha tenham passado.

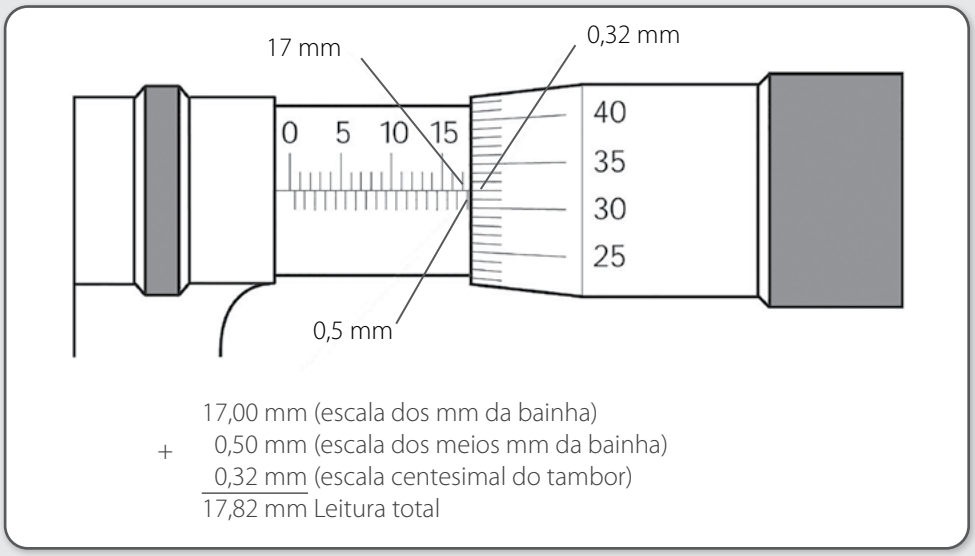
Figura 31 – Verificação de micrômetro "zerado".



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

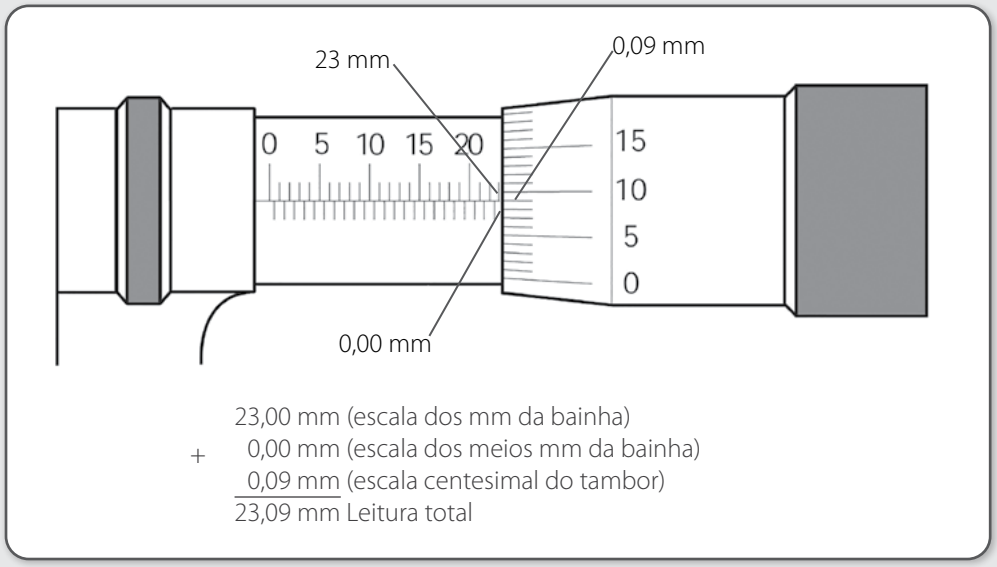
A seguir, veremos dois exemplos de leituras de medições no micrômetro de sistema métrico, com capacidade de 0 a 25 mm e resolução de 0,01 mm (um centésimo de milímetro).

Figura 32 – Leitura do micrômetro sistema métrico.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

Figura 33 – Leitura do micrômetro sistema métrico.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

2.2.7 Relógio comparador

Os instrumentos de medição estudados até aqui operam pelo método de medição direta, ou seja, permitem conhecer as dimensões das peças medidas pelo contato direto com elas. No entanto, há outro método de medição que é chamado de **medição indireta**, que é a determinação das medidas de uma peça com base na medida de uma peça padrão e na diferença (para mais ou para menos) em relação à medida da peça adotada como padrão. O instrumento que permite realizar esse tipo de medição é o relógio comparador, também chamado de comparador centesimal, que permite visualizar a diferença, para maior ou menor, em relação ao ponto de referência padrão ou peça padrão onde tenha sido primeiramente fixado e "zerado". O mecanismo do relógio comparador funciona de uma maneira tal que, quando a diferença é maior do que a referência, o ponteiro gira em sentido horário; e quando a diferença é menor do que a referência, o ponteiro gira em sentido anti-horário. A Figura 34 ilustra um relógio comparador básico, com a nomenclatura de suas partes principais.

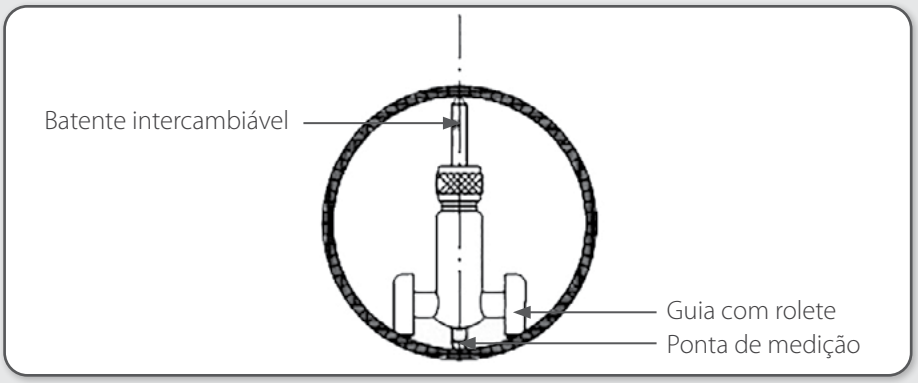
Figura 34 – Relógio comparador (ou comparador centesimal).

Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

Existe ainda um acessório que permite utilizar o relógio comparador para medições indiretas em furos, de modo que o deslocamento radial da ponta do acessório é transformado em deslocamento axial que movimenta a ponta de contato do relógio comparador, deslocando o fuso e exibindo no mostrador, pelo deslocamento do ponteiro, diferenças entre a medida do furo ou superfície cilíndrica interna em relação a um padrão no qual o instrumento tenha sido configurado previamente.

As comparações podem ser realizadas através da movimentação do acessório em sentido radial (torcendo-se o acessório, para verificar ovalização do furo) ou axial (descendo-se a haste do acessório paralela às paredes do furo, para verificar sua conicidade). Esse acessório é conhecido como medidor interno para relógio comparador, comparador de diâmetros internos ou **súbito**, como é mais conhecido.

Figura 35 – Súbito.

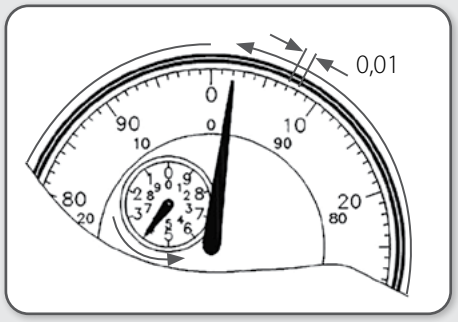


Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

Os relógios comparadores podem ter capacidades de medição de 1 ou 10 mm (um ou dez milímetros), em sistema métrico; ou de 0,250" (zero vírgula duzentos e cinquenta polegada, ou um quarto de polegada) ou 1" (uma polegada), em sistema inglês. O relógio comparador mais difundido é o de 10 mm (dez milímetros), onde cada volta do ponteiro no mostrador corresponde a 1 mm (um milímetro). Para tanto, além do ponteiro principal, esses relógios comparadores possuem um mostrador auxiliar dentro do principal, destinados a contarem as voltas do ponteiro (contador e voltas).

A resolução típica do relógio comparador mais difundido é de 0,01 mm, o que implica em dizer que a cada divisão do mostrador varrida pelo ponteiro do relógio comparador corresponde a 0,01 mm (um centésimo de milímetro).

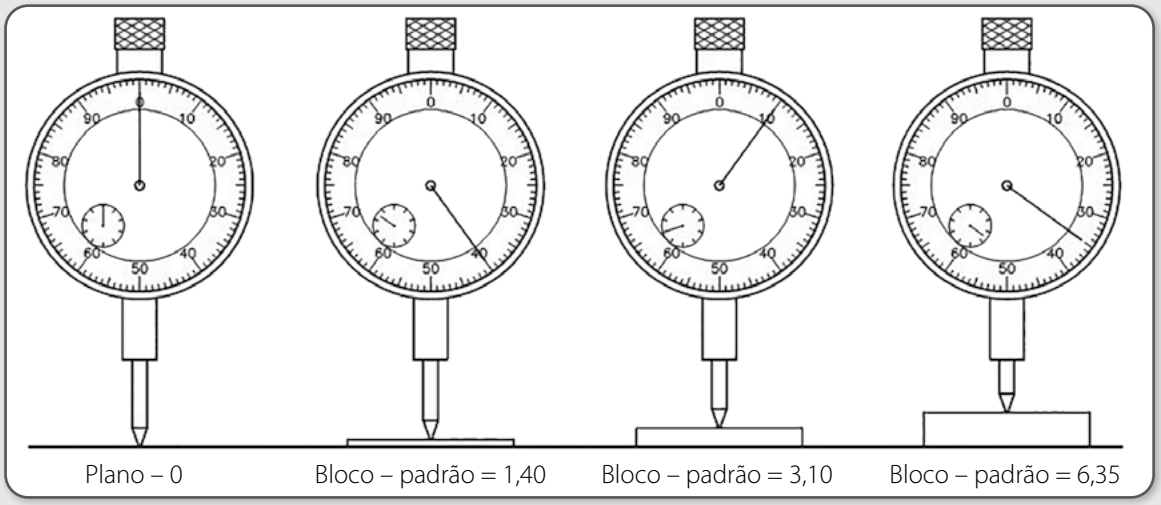
Figura 36 – Mostradores principal e auxiliar de um relógio comparador típico.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

A medição indireta por relógio comparador é feita primeiramente pela configuração de uma referência ("zero") no mostrador do relógio sobre uma medida de referência (peça padrão) e através das leituras subsequentes das diferenças quando do toque da ponta de contato do relógio comparador sobre outras superfícies, obtendo-se assim as diferenças em relação ao padrão previamente estabelecido.

Figura 37 – Utilização básica do relógio comparador.

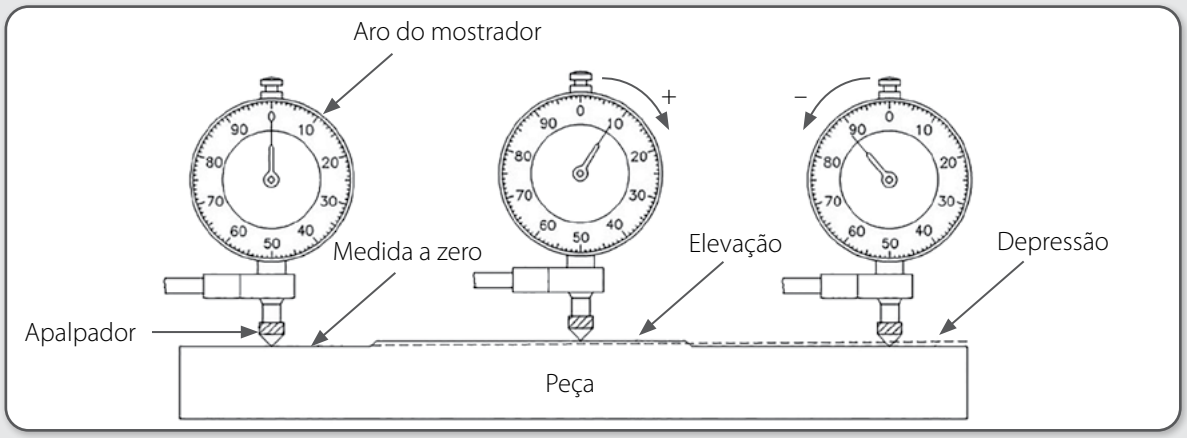


Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

Convém ressaltar que as medições indiretas obtidas a partir do relógio comparador podem ser para mais ou para menos em relação ao padrão adotado previamente. Medidas indiretas cujo valor seja maior do que a medida do padrão adotado farão com que o ponteiro do relógio comparador se mova em sentido horário. Assim, reciprocamente, medidas menores do que o padrão adotado farão com que o ponteiro do relógio se mova em sentido anti-horário.

Um exemplo típico dessa propriedade do relógio comparador se observa quando da verificação de superfícies planas. Tomando-se um ponto da superfície como referência, valores maiores do que o padrão indica elevação (ou ressalto, como comumente conhecido em mecânica); ao passo que valor menor do que o padrão indica depressão (ou rebaixo, ainda no jargão mecânico).

Figura 38 – Verificação de superfícies com relógio comparador.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

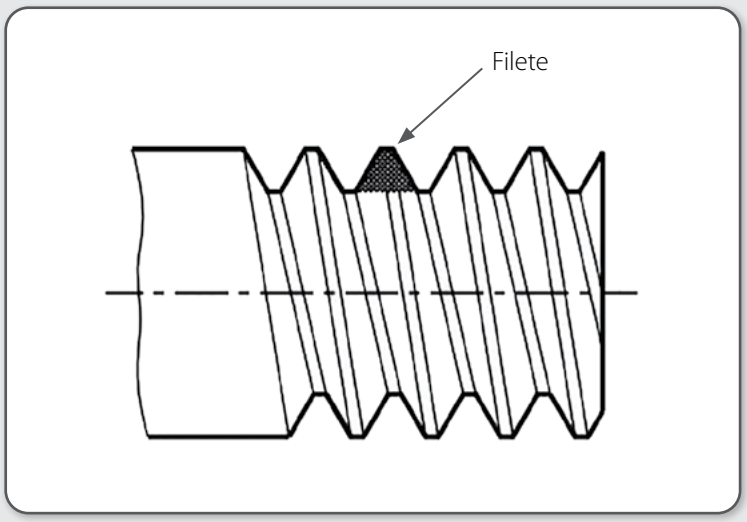
3 PRINCÍPIOS DE MECÂNICA

3.1 ELEMENTOS DE MÁQUINAS

3.1.1 Parafusos, porcas e arruelas

Entre os mais diferentes tipos de elementos de fixação disponíveis, os **parafusos** são certamente os mais conhecidos e mais difundidos no universo mecânico. Podem atuar em máquinas e mecanismos tanto como elementos de fixação, ligando uma ou mais peças diferentes; ou como elementos de movimentação, como o parafuso que move os mordentes da morsa um contra o outro. O que permite essa capacidade dos parafusos é a rosca, que é fabricada ao redor do corpo cilíndrico dos parafusos e que converte o torque aplicado no acionamento do parafuso em força axial (no sentido do eixo) do parafuso (Figura 39). No caso dos parafusos, a rosca é externa. No caso das porcas, a rosca é interna.

Figura 39 – Representação de um filete de rosca de um parafuso.



Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

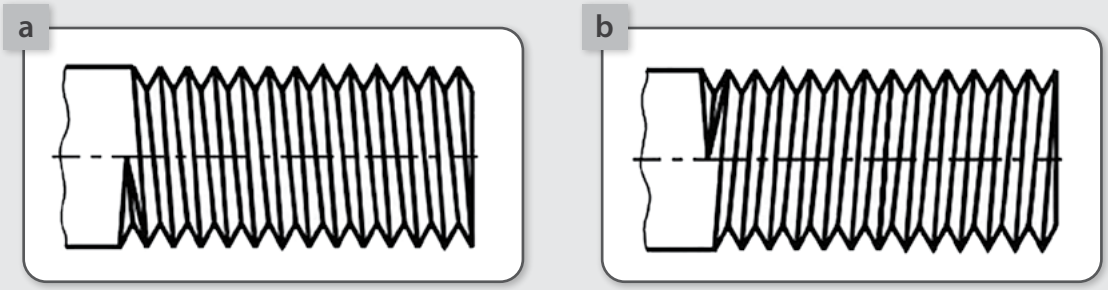
Para diferentes aplicações, foram desenvolvidos diferentes tipos de roscas, conforme ilustra a Figura 40. Além do tipo, as roscas podem ser classificadas de acordo com o sentido de direção da rosca, em direita ou esquerda (Figura 41).

Figura 40 – Tipos de roscas em parafusos e porcas.

TIPOS DE ROSCAS (PERFIS) PERFIL DE FILETE	APLICAÇÃO
Triangular	Parafusos e porcas de fixação na união de peças. Ex.: Fixação da roda do carro.
Trapezoidal	Parafusos que transmitem movimento suave e uniforme. Ex.: Fusos de máquinas.
Redondo	Parafusos de grandes diâmetros sujeitos a grandes esforços. Ex.: Equipamentos ferroviários.
Quadrado	Parafusos que sofrem grandes esforços e choques. Ex.: Prensas e morsas.
Rosca dente de serra	Parafusos que exercem grande esforço num só sentido. Ex.: Macacos de catraca.

Fonte: TELECURSO, s.d. (b).

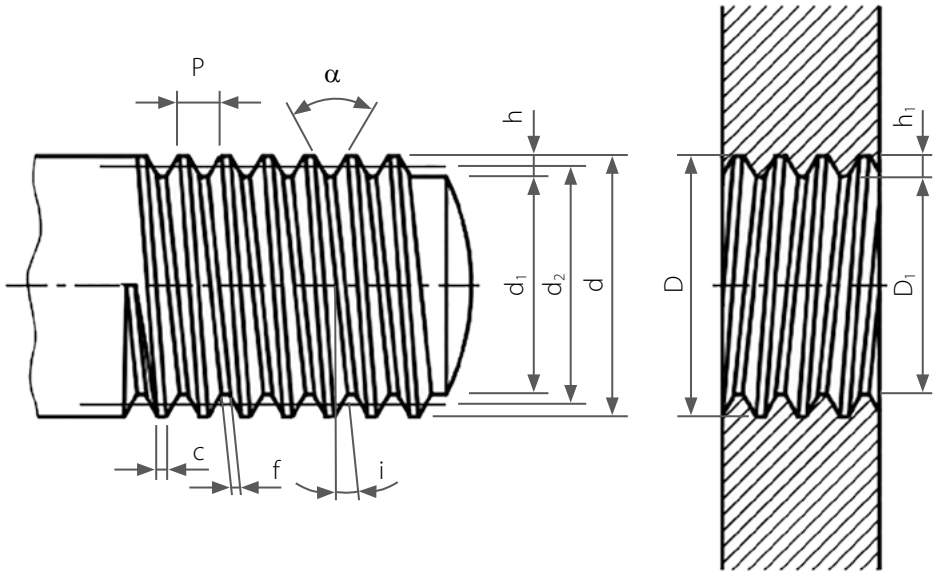
Figura 41 – Roscas direita (a) e esquerda (b).



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

As roscas dos parafusos, de modo geral, possuem nomenclaturas padronizadas de suas partes, para facilitar e padronizar a comunicação. A Figura 42 apresenta as denominações comuns dos elementos das roscas existentes em parafusos e porcas.

Figura 42 – Nomenclaturas padrão dos elementos das roscas.



P = passo (em mm)	i = ângulo da hélice
d = diâmetro externo	c = crista
d_1 = diâmetro interno	D = diâmetro do fundo da porca
d_2 = diâmetro do flanco	D_1 = diâmetro do furo da porca
α = ângulo do filete	h_1 = altura do filete da porca
f = fundo do filete	h = altura do filete do parafuso

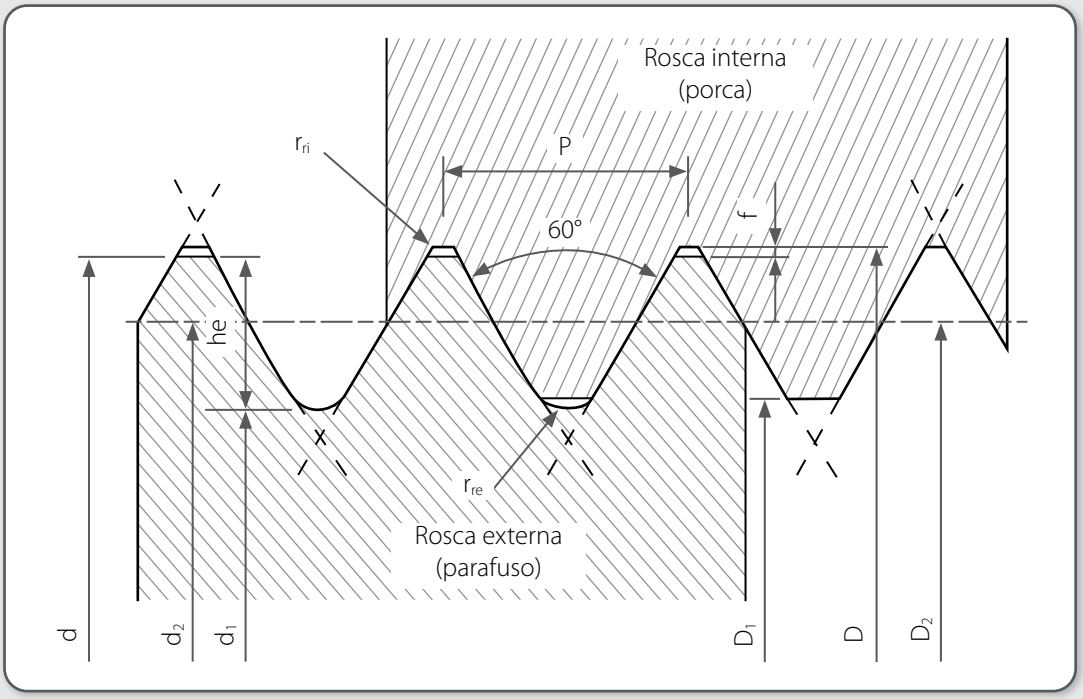
Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Geralmente, os parafusos empregados em mecânica possuem roscas triangulares. Os parafusos mais empregados possuem dois tipos de roscas:

- Rosca métrica (normal – UNC ou fina – UNF)
- Rosca *Withworth* (normal – BSW ou fina – BSF)

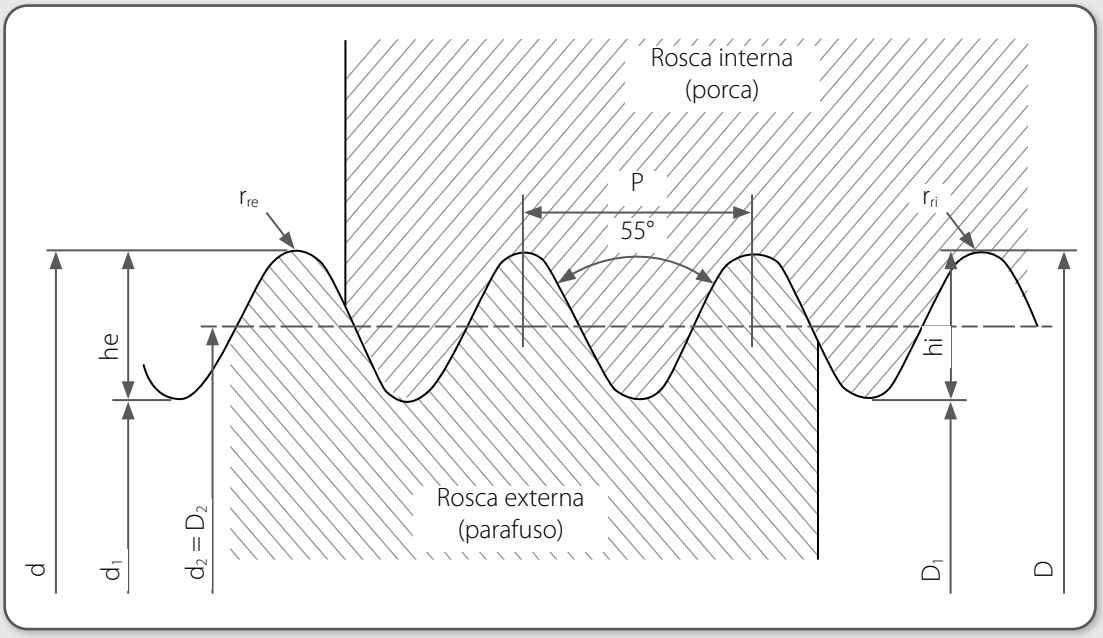
As Figuras 43 e 44 mostram os detalhes da geometria dos dois tipos de roscas, para diferenciação. A principal característica da rosca métrica é o ângulo de perfil de 60º, ao passo que a rosca *Withworth* tem rosca com ângulo de perfil de 55º.

Figura 43 – Rosca métrica.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

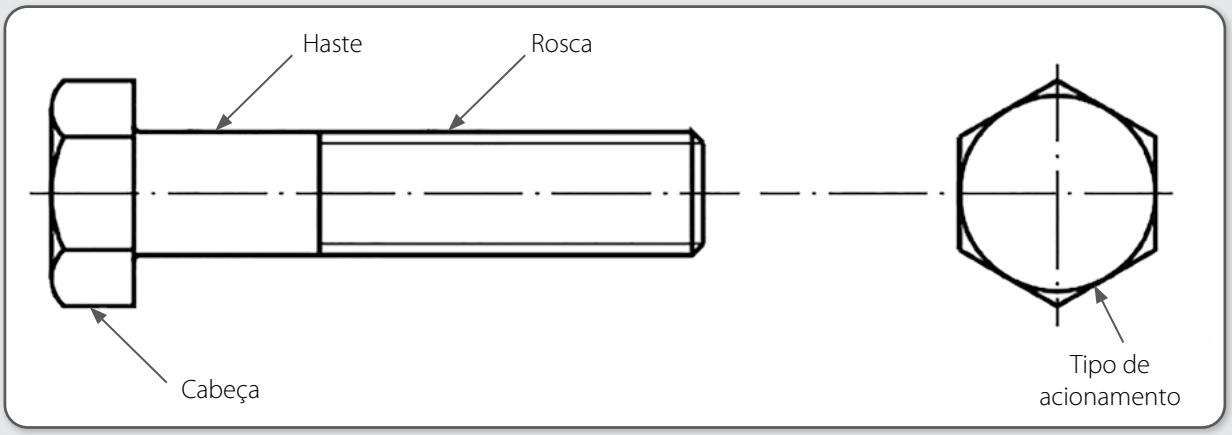
Figura 44 – Rosca *Withworth*.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Os parafusos são compostos, basicamente, por duas partes: a cabeça e o corpo, onde se encontra a haste e a rosca (Figura 45). O corpo de um parafuso pode ser cilíndrico ou cônico, com rosca total ou parcial. Parafusos podem, inclusive, ter ou não cabeça, como é o caso dos prisioneiros (Figura 46).

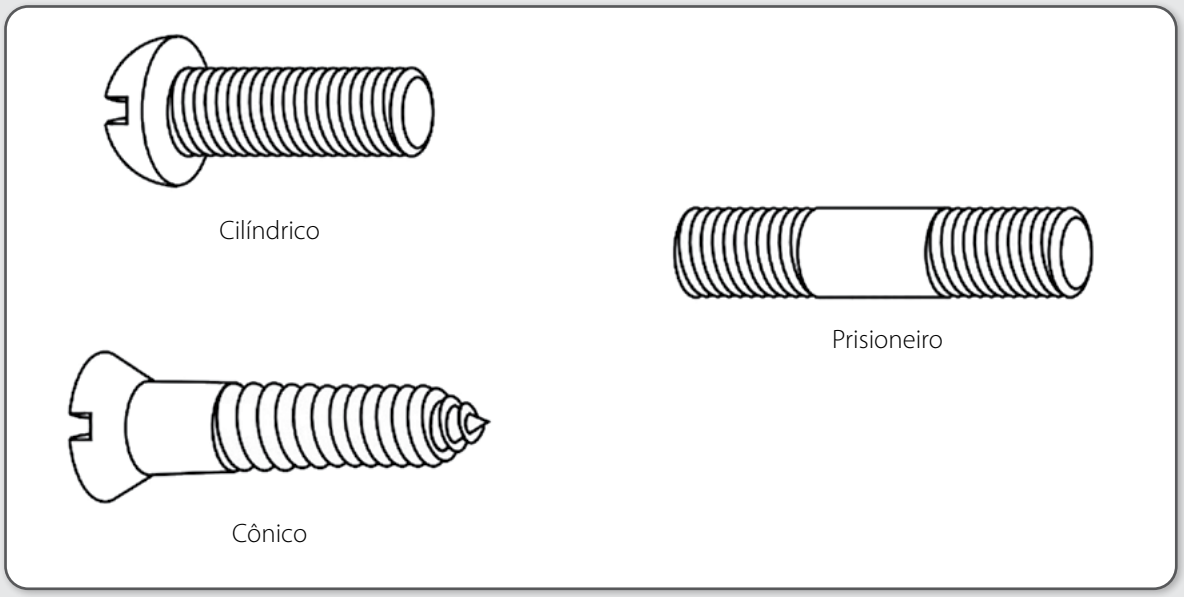
Figura 45 – Elementos comuns dos parafusos.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Os parafusos são diferenciados uns dos outros por: forma de rosca, de cabeça, de haste e tipo de acionamento.

Figura 46 – Tipos de corpos de parafusos.

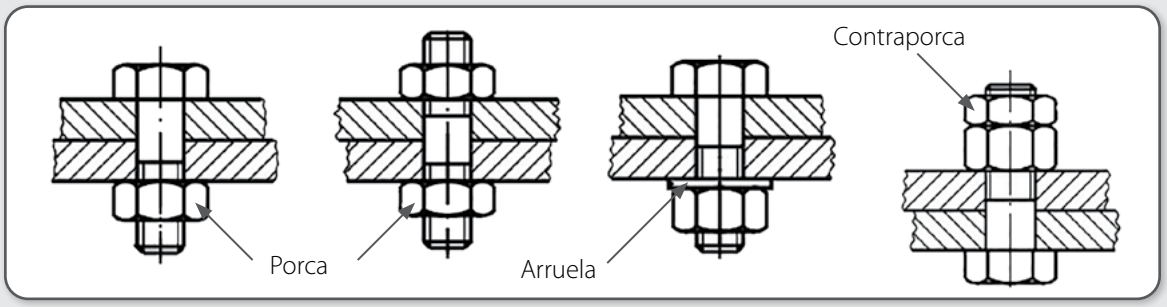


Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Conforme os diferentes formatos e funções, os parafusos podem ser classificados em quatro grandes grupos: passantes, não passantes, de pressão e prisioneiros. A seguir, são apresentadas as características de cada grupo de parafusos.

Parafusos passantes: atravessam as peças a serem unidas, passando livremente por dentro dos furos. Utilizam acessórios como porcas, arruelas e contraporcas. Podem ser com ou sem cabeça.

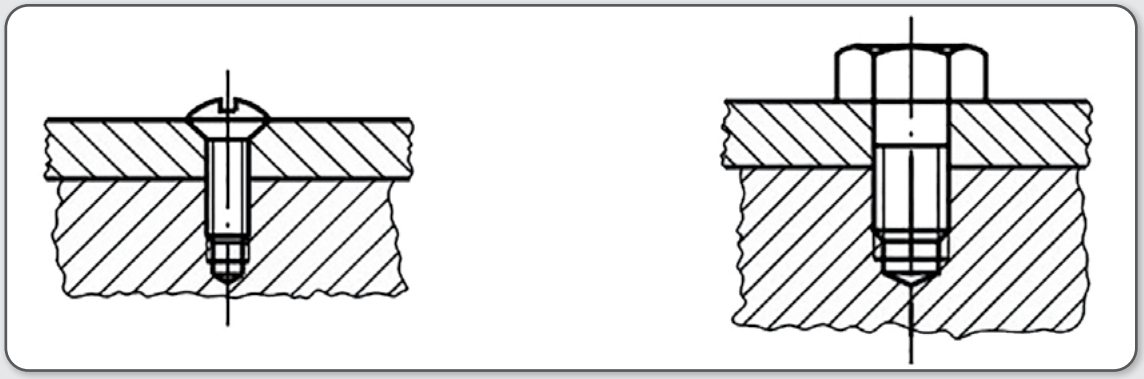
Figura 47 – Parafusos passantes.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Parafusos não passantes: são parafusos que não transpassam completamente as peças a serem unidas e não usam porcas. Em vez disso, são fixados por furos roscados feitos numa das peças a serem roscadas.

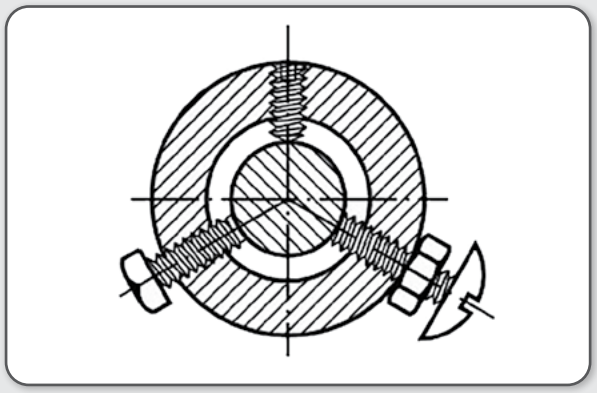
Figura 48 – Parafusos não passantes.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Parafusos de pressão: são fixados a partir da pressão exercida pelas pontas deles às peças que deverão ser fixadas. Podem ter cabeça ou não.

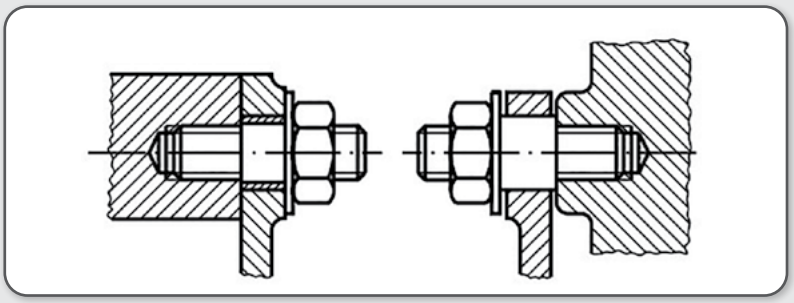
Figura 49 – Parafusos de pressão.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Parafusos prisioneiros: são parafusos sem cabeça com rosca em ambas as extremidades. Podem ter roscas para os dois lados. Primeiramente, são montados na carcaça da peça que receberá a fixação de outra peça, sendo roscados com ferramenta especial ou porcas na extremidade oposta. Quando da desmontagem dos componentes, permanecem montados.

Figura 50 – Parafusos prisioneiros.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

A Figura 51 resume os mais variados tipos de parafusos, tipos de cabeça, corpo e sistemas de acionamento.

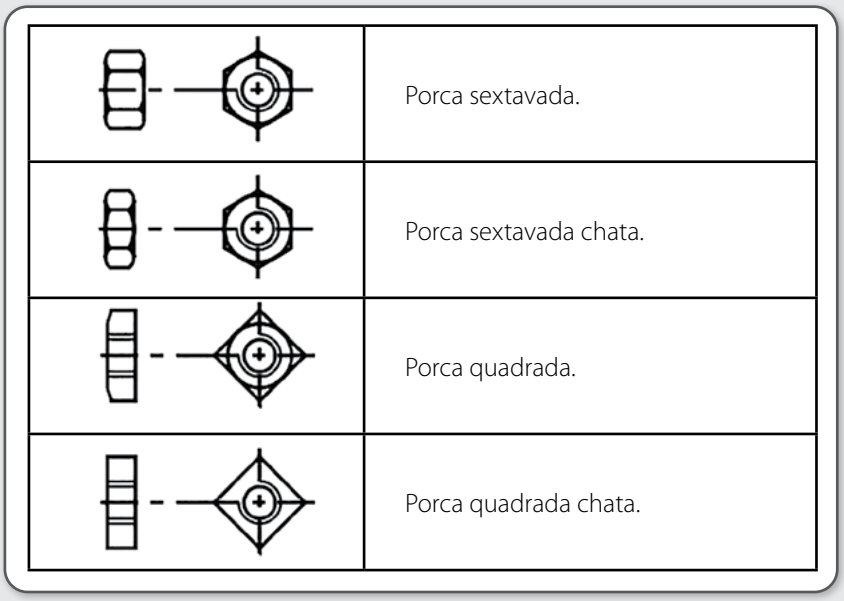
Figura 51 – Resumo dos diferentes tipos de parafusos.

Formas de cabeça	Formas de corpo	Pontas	Dispositivos de atarraxamento
Sextavada	Com a parede roscada com diâmetro igual a da não roscada	Cônica	Sextavada
Quadrada	Com a parede roscada com diâmetro maior que a da não roscada	Arredondada	Quadrada
Redonda		Plana com chanfro	Sextavado interno
Abaulada		Plana	Fenda
Cilíndrica			Fenda cruzada
Escareada			Borboleta
Escareada abaudada			Recartilhado

Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

As **porcas** são elementos de máquinas que complementam a ação dos parafusos. Dotadas de rosca interna, podem ser elementos de fixação ou de transmissão de força, dependendo do tipo de rosca com as quais são fabricadas. Podem ser fabricadas, além de aço, em alumínio, bronze, latão e até mesmo de plástico. Podem receber tratamentos de superfície como galvanização ou zincagem (que deixa um aspecto prateado na superfície das peças) ou bicromatização (que deixa um aspecto colorido na superfície), para protegê-las contra a ferrugem (oxidação). As porcas de uso mais comum são as porcas sextavadas.

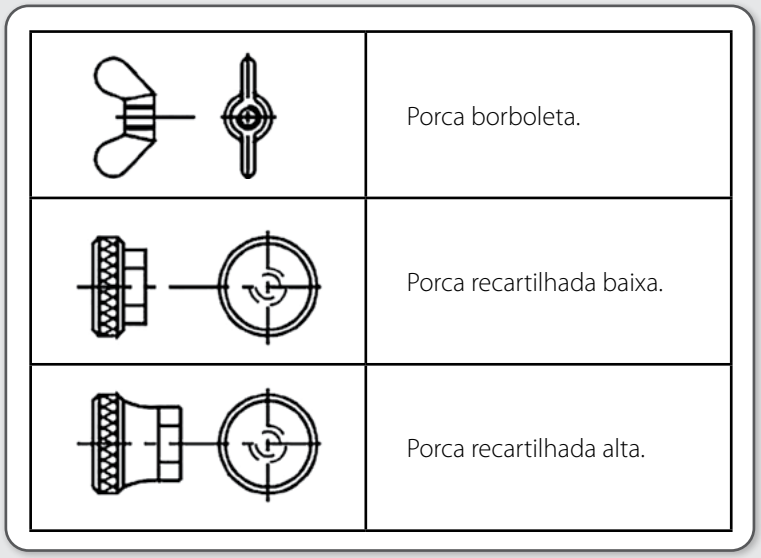
Figura 52 – Tipos de porcas mais comuns.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

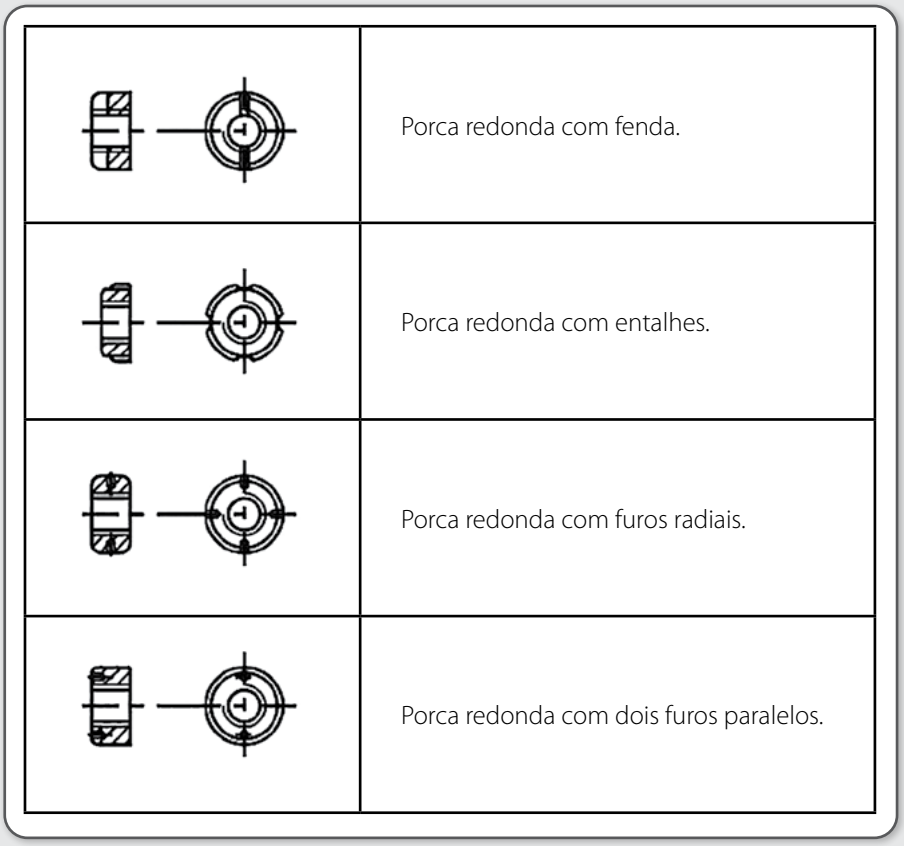
Para acionamento manual, existem também as porcas tipo borboleta e recartilhada (Figura 53). Para ajustes axiais (em eixos de máquinas, por exemplo), existem as porcas redondas com fendas, entalhes ou furos (Figura 54). Para permitir a fixação com cupilhas, existem as porcas sextavadas com fendas e porcas castelo (Figura 55). Para fixações que necessitam de melhor acabamento, ocultando as extremidades dos parafusos, existem as porcas cegas (Figura 56).

Figura 53 – Porcas de acionamento manual (borboleta e recartilhadas).



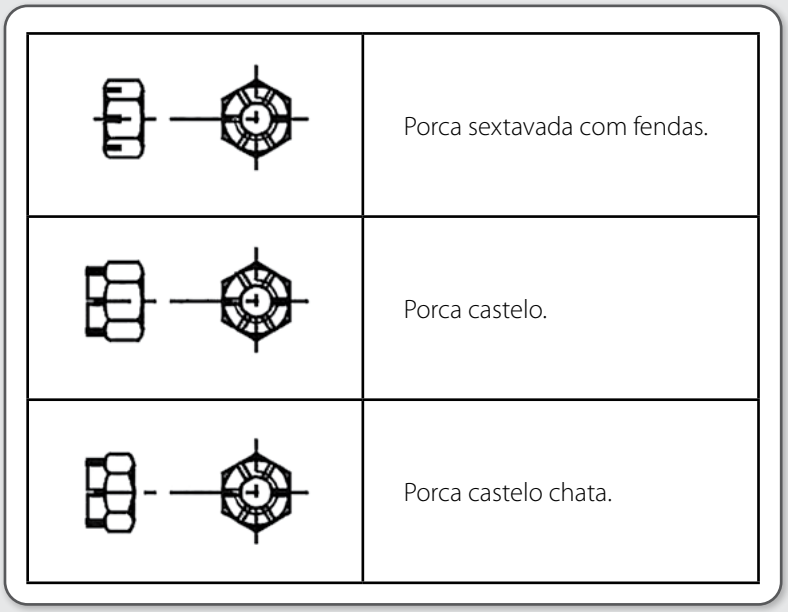
Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Figura 54 – Porcas para ajustes axiais.



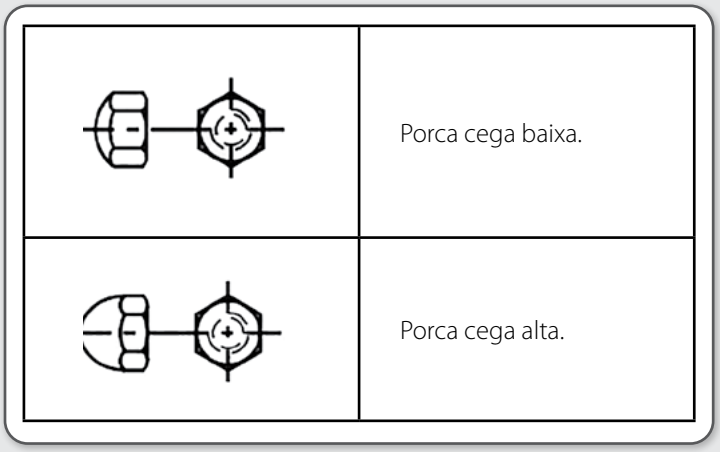
Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Figura 55 – Porcas para fixação com cupilhas.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Figura 56 – Porcas cegas.

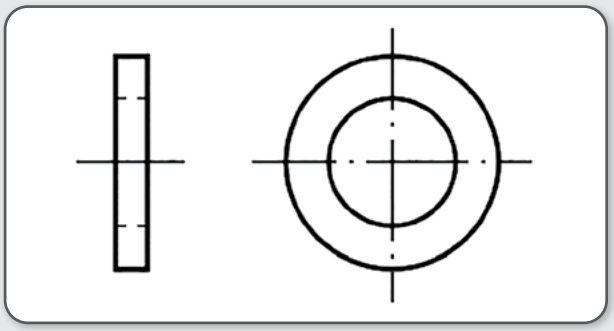


Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Arruelas são elementos mecânicos destinados a distribuir a força de aperto dos parafusos entre as porcas e as superfícies montadas. São elementos bastante simples, mas importantes para garantir a fixação e prevenir a soltura dos parafusos devido a vibrações, por exemplo. Os tipos mais comuns encontrados são a arruela lisa e a arruela de pressão.

Arruela lisa: além de distribuir a força de aperto, melhoram o aspecto dos conjuntos. Devem ser usadas onde há poucas vibrações, por não possuírem elemento de trava.

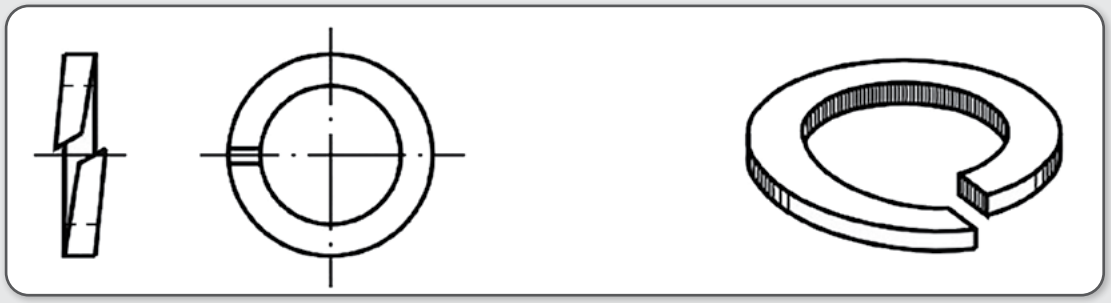
Figura 57 – Arruela lisa.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Arruela de pressão: são recomendadas onde há maiores esforços e vibrações, funcionando também como elementos de trava. São aplicadas também onde há variação de temperatura.

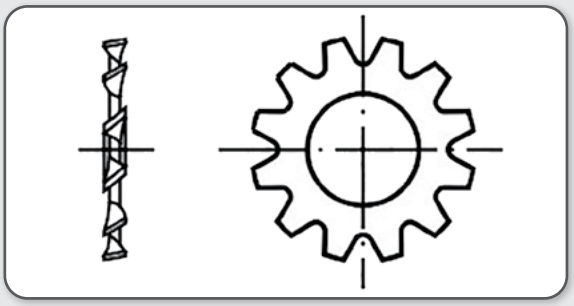
Figura 58 – Arruela de pressão.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Arruela dentada: empregada onde existem grandes vibrações e pequenos esforços. Elas fixam quando apertadas contra as peças. Os dentes formam uma espécie de mola e também encravam na cabeça dos parafusos.

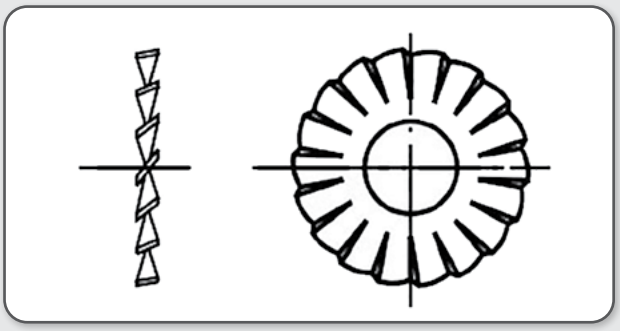
Figura 59 – Arruela dentada.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Arruela serrilhada: semelhantes às arruelas dentadas, as serrilhadas suportam esforços maiores, sendo usadas para as mesmas aplicações.

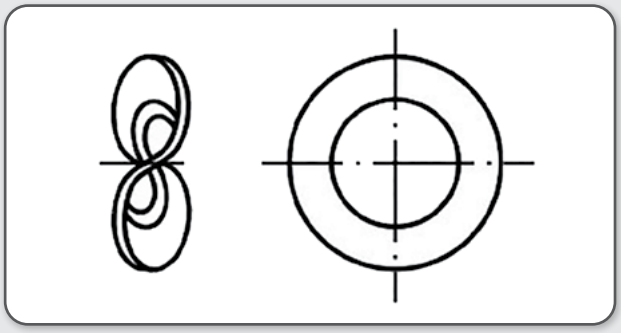
Figura 60 – Arruela serrilhada.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Arruela ondulada: não possui cantos vivos, sendo ideal para uso em superfícies pintadas ou em fixação de peças formadas por chapas finas.

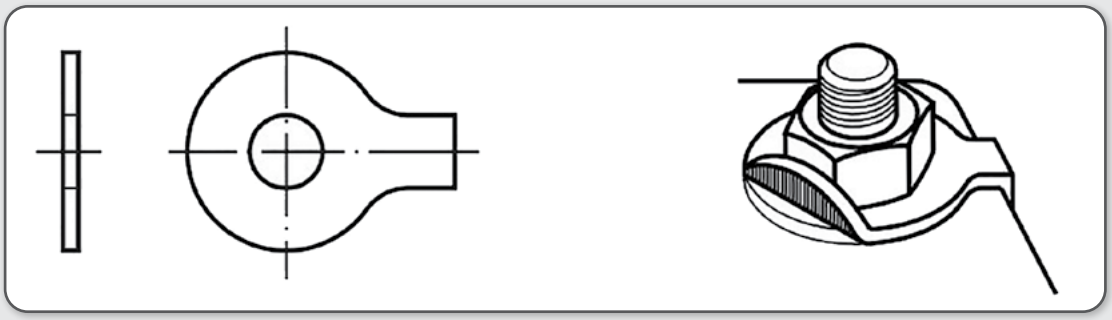
Figura 61 – Arruela ondulada.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Arruela de travamento com orelha: é empregada dobrando-se a aba contra um dos cantos vivos da peça e uma orelha contra uma das faces do sextavado de um parafuso ou porca.

Figura 62 – Arruela de travamento com orelha.



Fonte: TELECURSO, s.d. (a)

Torques de aperto de parafusos

A utilização adequada de parafusos e porcas como elementos de fixação está relacionada ao correto torque de aperto aplicado aos parafusos, de acordo com as dimensões e resistência do material de que é construído o parafuso. Conforme mencionado anteriormente, as roscas dos parafusos convertem o torque aplicado aos acionamentos dos parafusos em força axial. Se esse torque de aperto for demasiado, o esforço axial resultante poderá fazer com que o parafuso estique demais e venha a quebrar numa primeira solicitação. E, na maioria das vezes, a extração de parafusos, especialmente parafusos não passantes, requer o emprego de técnicas demoradas e complicadas. Daí a razão de se torquear adequadamente os parafusos.

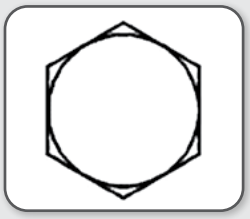
De modo geral, há duas normas diferentes de classificação dos parafusos: a norma SAE (Society of Automotive Engineers – Sociedade dos Engenheiros Automotivos), norte-americana, e que mede os parafusos nas unidades do sistema inglês, ou seja, em polegadas; e a norma ISO (International Standardization Organization – Organização Internacional de Padronização), que mede os parafusos segundo as unidades do Sistema Internacional de Unidades, ou seja, em milímetros (grandeza derivada do metro). A norma ISO tem como base a norma DIN (Deutsche Institut für Normung – Instituto Alemão de Normatização).

Os parafusos sextavados em polegadas, de uso bastante comum em mecânica, são classificados segundo a norma SAE J429, que especifica os parafusos segundo o grau de resistência dos materiais que são fabricados através de quantidades diferentes de traços que saem dos vértices do hexágono da cabeça do parafuso e apontam para o centro deste.

Os parafusos em polegadas seguem a seguinte classificação:

SAE J429 grau 2: aço de baixo ou médio carbono, sem tratamento térmico, com limite de resistência de 74000 PSI para parafusos de diâmetro 1/4" até 3/4"; e de 60000 PSI para parafusos com diâmetro de 7/8" até 1.1/2". A Figura 63 mostra a cabeça desse parafuso, sem qualquer marca.

Figura 63 – Parafuso SAE J429 grau 2.



Fonte: John Deere Brasil, 2013.

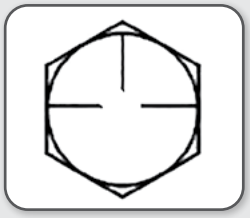
SAE J429 grau 5: aço de médio carbono, temperado e revenido, com limite de resistência de 120000 PSI para parafusos de diâmetro 1/4" até 1"; de 105000 PSI para parafusos com diâmetro acima de 1" até 1.1/2"; e de 90000 PSI para parafusos de diâmetro acima de 1.1/2" e até 3". A Figura 64 mostra a cabeça desse parafuso, com três traços equidistantes e em vértices alternados do hexágono, marcados na cabeça.

Figura 64 – Parafuso SAE J429 grau 5.

Fonte: John Deere Brasil, 2013.

SAE J429 grau 5.1: parafusos de baixo ou médio carbono, temperados e revenidos, com limite de resistência de 120000 PSI para todas as bitolas. A Figura 65 mostra a cabeça desse parafuso, com três traços dispostos perpendicularmente uns aos outros.

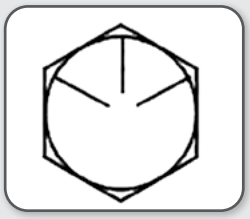
Figura 65 – Parafuso SAE J429 grau 5.1.



Fonte: John Deere Brasil, 2013.

SAE J429 grau 5.2: parafusos de aço de baixo carbono, martensítico, temperado e revenido, com limite de resistência de 120000 PSI para parafusos com diâmetro de 1/4" até 1". A Figura 66 mostra a cabeça desse parafuso, com três traços em vértices consecutivos do hexágono da cabeça.

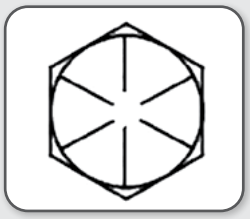
Figura 66 – Parafuso SAE J429 grau 5.2.



Fonte: John Deere Brasil, 2013.

SAE J429 grau 8: parafusos de aço médio carbono ligado, temperado e revenido, com limite de resistência de 130000 PSI para parafusos com diâmetro de 1/4" até 1.1/2". A Figura 67 mostra a cabeça do parafuso, marcada com seis traços, sendo cada um partindo de cada vértice do hexágono.

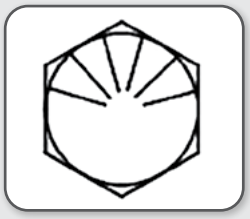
Figura 67 – Parafuso SAE J429 grau 8.



Fonte: John Deere Brasil, 2013.

SAE J429 grau 8.2: parafuso de aço médio carbono ligado ao Boro, temperado e revenido, com limite de resistência de 130000 PSI para parafusos com diâmetro de 1/4" até 1". A Figura 68 mostra a cabeça desse parafuso, com seis traços agrupados.

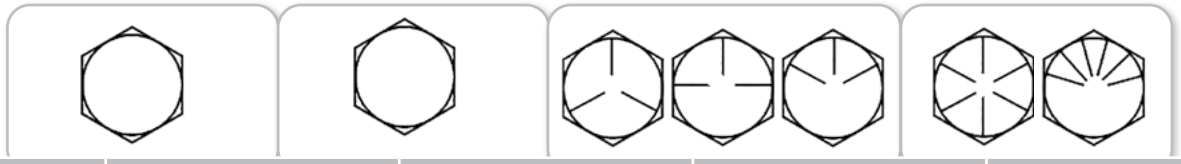
Figura 68 – Parafuso SAE J429 grau 8.2.



Fonte: John Deere Brasil, 2013.

A Tabela 5 apresenta os torques de aperto necessários para os parafusos medidos em polegadas, dos diferentes graus de resistência acima descritos.

Tabela 5 – Torques de aperto para parafusos em polegadas.



Tamanho do parafuso ou pino roscado	Classificação SAE 1				Classificação SAE 2[a]				Classificação SAE 5, 5.1 ou 5.2				Classificação SAE 8 ou 8.2			
	Lubrificado[b]		Seco[c]		Lubrificado[b]		Seco[c]		Lubrificado[b]		Seco[c]		Lubrificado[b]		Seco[c]	
	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.
1/4	3.7	33	4.7	42	6	53	7.5	65	9.5	84	12	105	13.5	120	17	150
													N·m	lb.-ft.	N·m	lb.-ft.
5/16	7.7	68	9.8	86	12	106	15.5	137	19.5	172	25	221	28	20.5	35	26
									N·m	lb.-ft.	N·m	lb.-ft.				
3/8	13.5	120	17.5	155	22	194	27	240	35	26	44	32.5	49	36	63	46
			N·m	lb.-ft.	N·m	lb.-ft.	N·m	lb.-ft.								
7/16	22	194	28	20.5	35	26	44	32.5	56	41	70	52	80	59	100	74
	N·m	lb.-ft.														
1/2	34	25	42	61	53	39	67	49	85	63	110	80	120	88	155	115
9/16	48	35.5	60	45	76	56	95	70	125	92	155	115	175	130	220	165
5/8	67	49	85	63	105	77	135	100	170	125	215	160	240	175	305	225
3/4	120	88	150	110	190	140	240	175	300	220	380	280	425	315	540	400
7/8	190	140	240	175	190	140	240	175	490	360	615	455	690	510	870	640
1	285	210	360	265	285	210	360	265	730	540	920	680	1030	760	1300	960
1-1/8	400	300	510	375	400	300	510	375	910	670	1150	850	1450	1075	1850	1350
1-1/4	570	420	725	535	570	420	725	535	1280	945	1630	1200	2050	1500	2600	1920
1-3/8	750	550	950	700	750	550	950	700	1700	1250	2140	1580	2700	2000	3400	2500
1-1/2	990	730	1250	930	990	730	1250	930	2250	1650	2850	2100	3600	2650	4550	3350

Fonte: John Deere Brasil, 2013.

Os parafusos sextavados medidos em milímetros são normatizados segundo a norma alemã DIN 931. Essa norma, além dos padrões dimensionais e de roscas indica as propriedades mecânicas do material de que são fabricados os parafusos de um modo totalmente diferente. Trata-se de dois números, gravados nas cabeças dos parafusos, separados por um ponto.

O primeiro número, multiplicado por 100, indica a tensão de ruptura do material de que é feito o parafuso (tensão que aplicada ao material do parafuso faz com que ele se quebre). O segundo número, multiplicado pelo primeiro e o resultado dessa operação multiplicado por dez indica a tensão de escoamento do material de que é feito o parafuso (tensão aplicada ao material até a qual, quando cessada a tensão, o parafuso retorna ao seu comprimento normal).

Para qualquer combinação de números que possam vir gravados nas cabeças dos parafusos (as mais comuns são: 4.8, 5.6, 8.8, 9.8, 10.9, 12.9 e 14.9), essa regra é válida.

Exemplo: os parafusos de roda das carregadeiras da marca Caterpillar® são da classe de resistência 10.9. Ou seja:

Tensão de ruptura: 10 x 100 = 1000 N/mm^2 = 1000 MPa

Tensão de escoamento: 10 x 9 x 10 = 900 N/mm^2 = 900 MPa

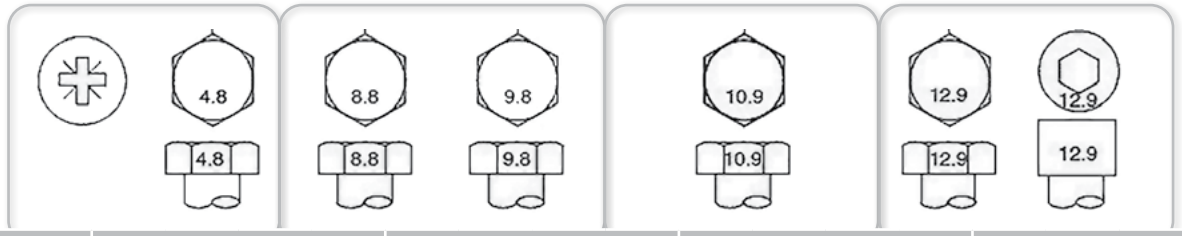
As Tabelas 6 e 7 apresentam os torques de aperto de parafusos série métrica (medidos em milímetros), de diferentes classes de resistência.

Tabela 6 – Torques de aperto para parafusos métricos.

Rosca métrica ISO, torque normal									
Bitola	Classe ISO 4,6 = SAE 1			Classe ISO 8,8 = SAE 5			Classe ISO 10,9 = SAE 8		
	Nom.	Máx.	Min.	Nom.	Máx.	Min.	Nom.	Máx.	Min.
M3	0,6	0,7	0,5	1,2	1,7	1,3	2,1	2,4	1,8
M4	1,4	1,6	1,2	3,6	4,1	3,1	5,0	5,7	4,3
M5’	2,6	3,0	2,2	7,0	8,0	6,0	10,0	11,5	8,5
M6	4,5	5,0	4,0	12,0	14,0	10,0	17,0	20,0	14,0
M8	11,0	12,5	9,5	30,0	35,0	25,0	41,0	46,0	36,0
M10	22,0	25,0	19,0	60,0	70,0	50,0	84,0	96,0	72,0
M12	38,0	43,0	33,0	105,0	120,0	90,0	140,0	160,0	120,0
M16	97,0	110,0	84,0	230,0	260,0	200,0	350,0	400,0	300,0
M20	185,0	210,0	160,0	490,0	560,0	420,0	700,0	800,0	600,0
M24	320,0	360,0	280,0	840,0	960,0	720,0	1150,0	1300,0	1000,0
M30	630,0	720,0	540,0	1600,0	1800,0	1400,0	2450,0	2800,0	2100,0
M36	1100,0	1250,0	950,0	2900,0	3300,0	2500,0	4200,0	4800,0	3600,0

Fonte: Valtra do Brasil, 2010.

Tabela 7 – Torques de aperto para parafusos métricos DIN 9v31.



Tamanho do parafuso ou pino roscado	Classe 4.8				Classe 8.8 ou 9.8				Classe 10.9				Classe 12			
	Lubrificado[b]		Seco[c]		Lubrificado[b]		Seco[c]		Lubrificado[b]		Seco[c]		Lubrificado[b]		Seco[c]	
	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.	N·m	lb.-in.
M6	4.7	42	6	53	8.9	79	11.3	100	13	115	16.5	146	15.5	137	19.5	172
									N·m	lb.-ft.	N·m	lb.-ft.	N·m	lb.-ft.	N·m	lb.-ft.
M8	11.5	102	14.5	128	22	194	27.5	243	32	23.5	40	29.5	37	27.5	47	35
			N·m	lb.-ft.	N·m	lb.-ft.	N·m	lb.-ft.								
M10	23	204	29	21	43	32	55	40	63	46	80	59	75	55	95	70
	N·m	lb.-ft.														
M12	40	29.5	50	37	75	55	95	70	110	80	140	105	130	95	165	120
M14	63	46	80	59	120	88	150	110	175	130	220	165	205	150	260	190
M16	100	74	125	92	190	140	240	175	275	200	350	255	320	235	400	300
M18	135	100	170	125	265	195	330	245	375	275	475	350	440	325	560	410
M20	190	140	245	180	375	275	475	350	530	390	675	500	625	460	790	580
M22	265	195	330	245	510	375	650	480	725	535	920	680	850	625	1080	800
M24	330	245	425	315	650	480	820	600	920	680	1150	850	1080	800	1350	1000
M27	490	360	625	460	950	700	1200	885	1350	1000	1700	1250	1580	1160	2000	1475
M30	660	490	850	625	1290	950	1630	1200	1850	1350	2300	1700	2140	1580	2700	2000
M33	900	665	1150	850	1750	1300	2200	1625	2500	1850	3150	2325	2900	2150	3700	2730
M36	1150	850	1450	1075	2250	1650	2850	2100	3200	2350	4050	3000	3750	2770	4750	3500

Fonte: John Deere Brasil, 2013.

3.2 FERRAMENTAIS

Para qualquer trabalho de manutenção, são indispensáveis as ferramentas corretas, que tornam o trabalho mais rápido, fácil, prático e seguro para os profissionais envolvidos. Assim como as máquinas, seus componentes, acessórios e periféricos, as ferramentas também foram desenvolvidas e continuam sendo aperfeiçoadas em sintonia com os avanços tecnológicos. Uma manutenção de qualidade depende do conhecimento dos profissionais do uso correto e seguro das diferentes ferramentas existentes e disponíveis. A seguir serão apresentadas algumas ferramentas típicas da manutenção. O conteúdo a ser abordado, apesar de parecer óbvio para profissionais mais experimentados, é de suma importância para garantir a utilização correta do ferramental e prevenir acidentes decorrentes do mau uso, com consequências sérias para os envolvidos na manutenção.

3.2.1 Ferramental universal

Chaves de aperto

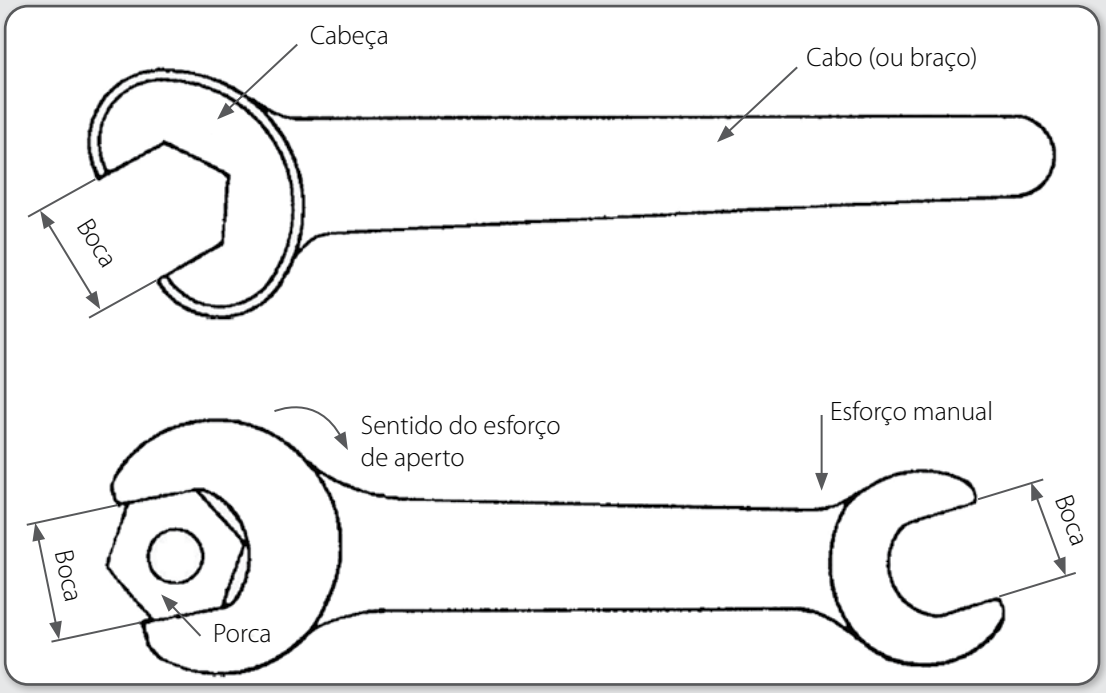
São fabricadas em aço cromo-vanádio (Cr-V), por processo de extrusão ou forjamento, e utilizam o princípio da alavanca para apertar e desapertar parafusos ou porcas. São fabricadas segundo normas específicas e possuem dimensões adequadas e proporcionais para permitir o aperto e desaperto.

Podem ser subdivididas em 10 tipos, a saber:

- Chave de boca fixa simples
- Chave combinada (fixa e estrela)
- Chave de boca fixa de encaixe
- Chave de boca regulável
- Chave Allen
- Chave Radial ou de Pinos
- Chave de corrente ou de cinta
- Chave de soquete
- Chave de fenda
- Chave de impacto

Chave de boca: pode ser de uma boca ou de duas bocas (a mais conhecida). Também chamada de chave fixa.

Figura 69 – Chave de boca (ou fixa) simples ou dupla.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

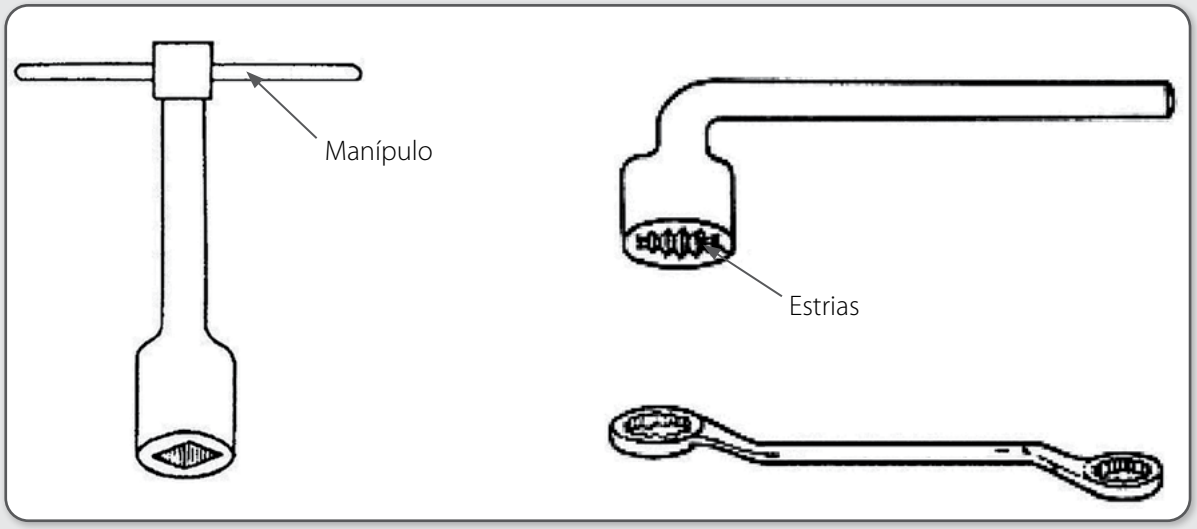
Chave combinada: combina os dois tipos mais comuns de chaves (fixa e de estrias, ou estrela). A parte estriada é empregada para o primeiro desaperto pelo maior número de pontos de contato com o parafuso/porca, ao passo que a fixa serve para concluir a extração do parafuso/porca.

Figura 70 – Chave combinada.

Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Chave de boca fixa de encaixe: geralmente usada em locais de difícil acesso, encaixa-se perfeitamente ao parafuso, propiciando aperto/desaperto seguro.

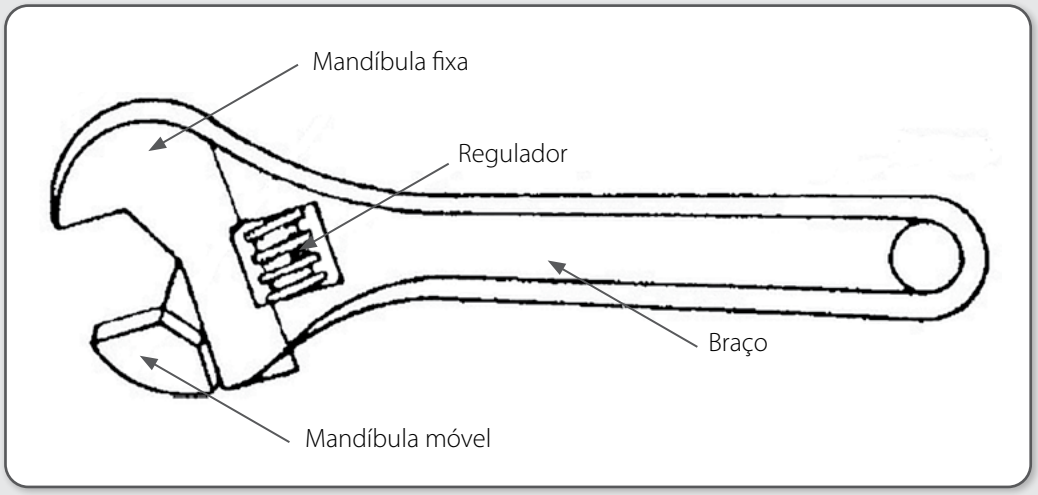
Figura 71 – Chave de encaixe.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

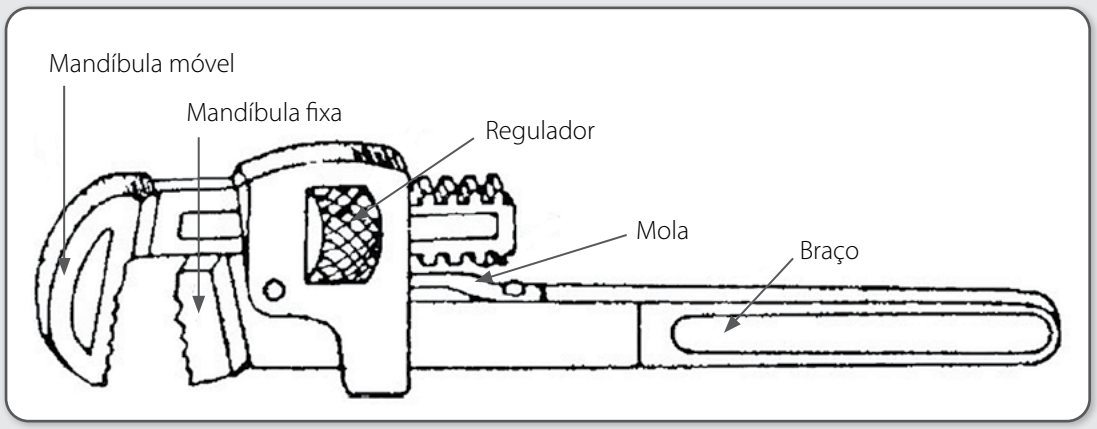
Chave de boca regulável: é aquela que permite ajustar a abertura pela manipulação de um parafuso regulador ou porca. Pode ser a chave inglesa (ajustada por parafuso) ou de grifo (ajustada por porca).

Figura 72 – Chave inglesa.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Figura 73 – Chave de grifo.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

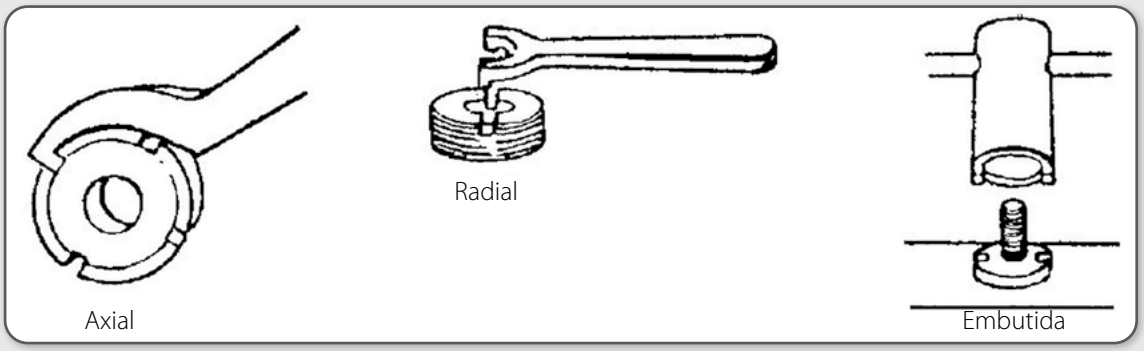
Chave Allen: usada para parafusos que possuem sextavado interno em sua cabeça. São fornecidas em jogos contendo seis ou sete medidas diferentes.

Figura 74 – Chave Allen.

Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Chave radial, de pinos ou axial: usadas em rasgos de peças cilíndricas, podendo ter rosca interna ou externa.

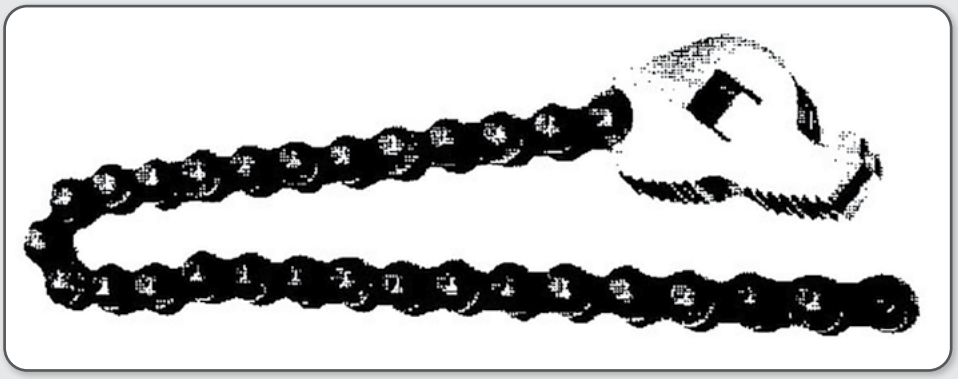
Figura 75 – Chave de pinos.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Chave de corrente ou cinta: empregadas para serviços em tubulações. Por sua construção única, permite uso em locais de difícil acesso.

Figura 76 – Chave de corrente.



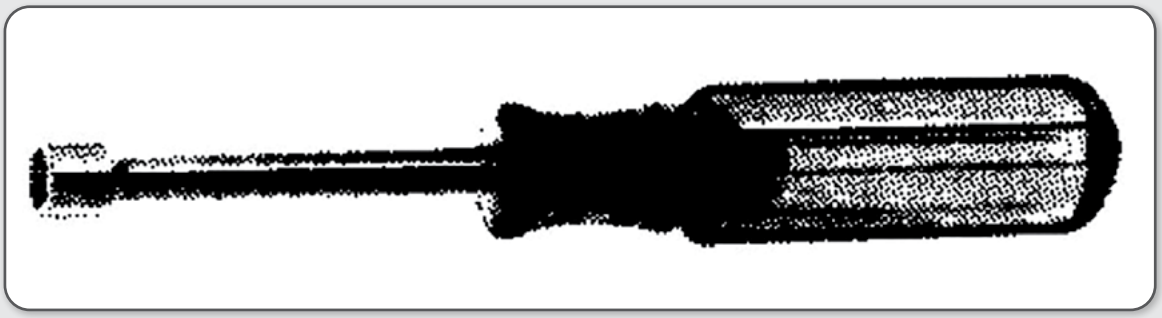
Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Figura 77 – Chave de cinta.

Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Chave soquete: indicadas para serviços leves. Por sua forma, podem ser usadas em locais de difícil acesso.

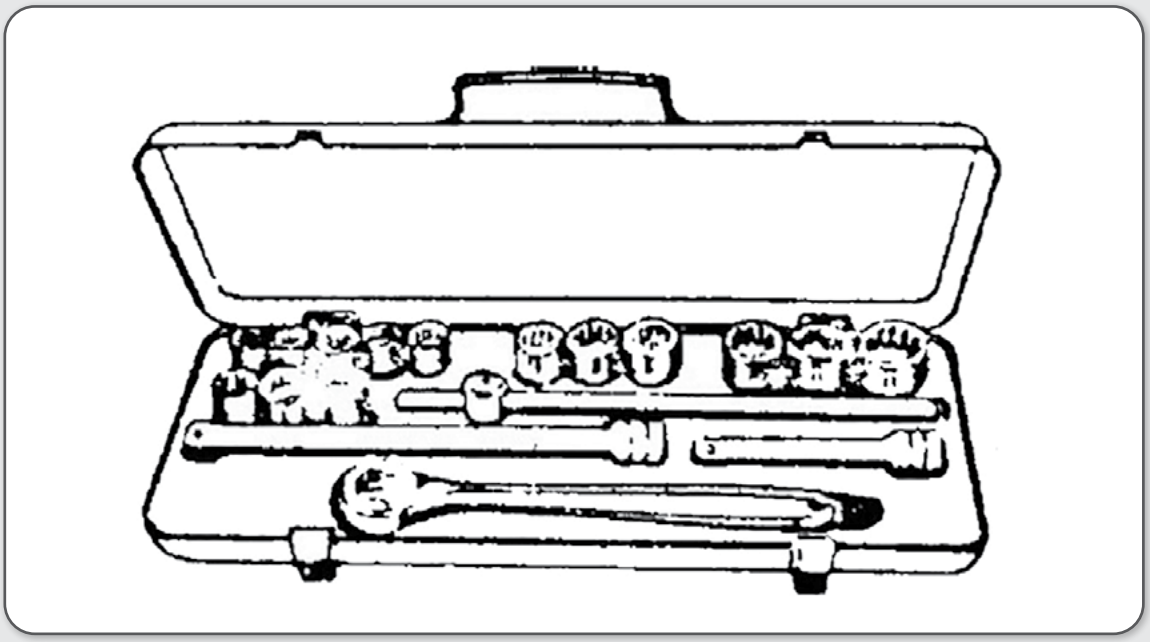
Figura 78 – Chave de soquete.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Jogo de soquetes: também conhecidas como "chave cachimbo", podem ser usadas substituindo chaves fixas e estrelas (ou estriadas). Permitem manipulação de parafusos e porcas em locais de difícil acesso.

Figura 79 – Jogo de soquetes.

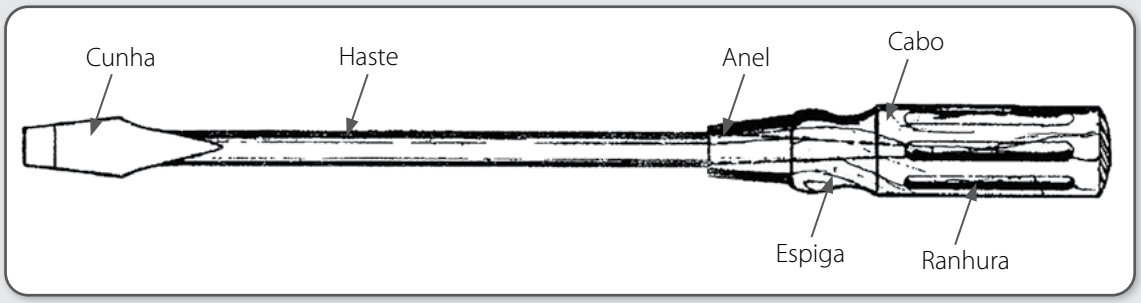


Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Chave de fenda: é formada de uma haste de aço carbono, onde, numa das extremidades, é forjada uma cunha e, na outra, é acoplada uma espiga. A cunha é que aciona os parafusos e a espiga é onde é inserido o cabo, de madeira ou de plástico injetado. Precisam ter a cunha temperada e revenida, com as faces das extremidades paralelas, ter o cabo ranhurado, que permita

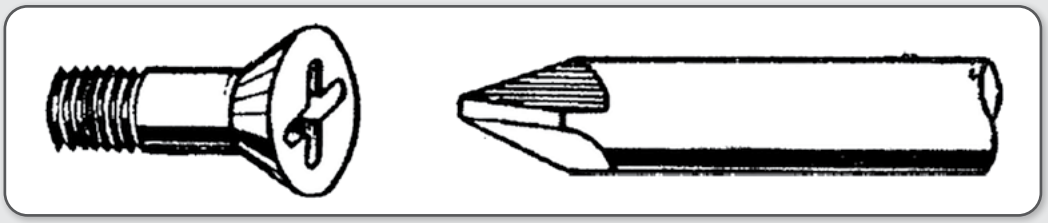
firmeza no aperto, e bem engastado no cabo, e ter formas e dimensões da cunha proporcionais às dos parafusos onde serão aplicadas. Para parafusos de fendas cruzadas, existe uma chave especial, chamada de **chave Phillips.**

Figura 80 – Chave de fenda.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Figura 81 – Fenda cruzada "Phillips".



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

ATENÇÃO

Alguns cuidados são necessários na utilização de chaves de aperto:

- As chaves devem estar justas nos parafusos ou porcas.
- Não dê golpes nas chaves de aperto. Para isso, existem as chaves de bater (ou de impacto, ou de pancada).
- Limpar as chaves sempre após o uso.
- Guardar as chaves em locais apropriados.

Figura 82 – Chaves de bater.

Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

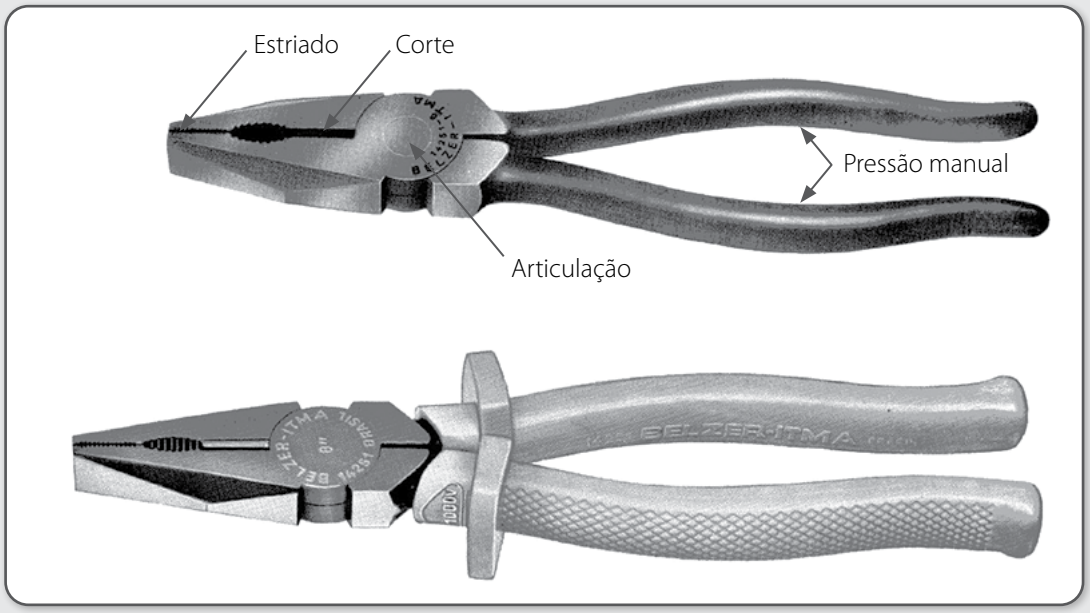
Alicates

São ferramentas de aço carbono, fundidas ou forjadas, formadas por dois braços e um pino de articulação, tendo nas extremidades dos braços garras, cortes ou pontas, temperadas e revenidas. São usados para segurar por aperto, cortar, dobrar, instalar ou remover peças em montagens. Há vários tipos de alicates:

- alicate universal
- alicate de corte
- alicate de bico
- alicate para anéis
- alicate de pressão
- alicate de eixo móvel
- alicate rebitador

Alicate universal: é usado para segurar, cortar e dobrar. Pode ser fornecido com isolamento (para eletricistas) ou sem.

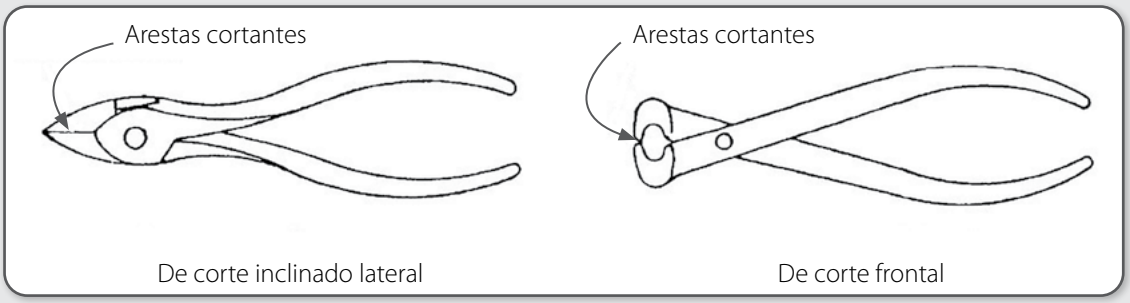
Figura 83 – Alicate universal (sem e com isolamento).



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Alicate de corte: serve para cortar chapas finas, arames e fios de aço.

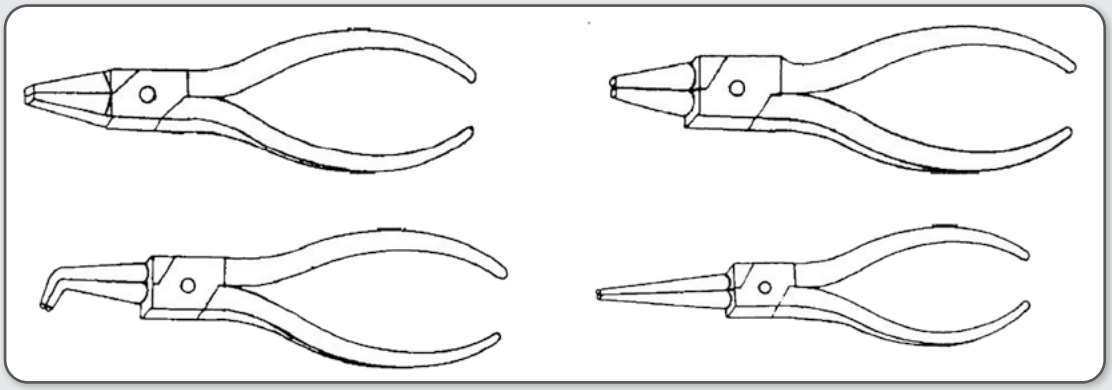
Figura 84 – Alicates de corte.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Alicate de bico: usados em serviços gerais de eletricidade e mecânica.

Figura 85 – Alicates de bico.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

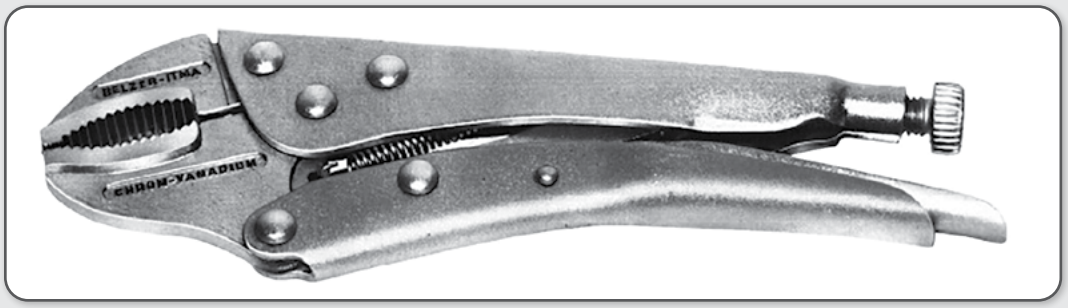
Alicates para anéis: utilizados em serviços de mecânica, para instalar e remover anéis elásticos internos e externos.

Figura 86 – Alicates para anéis.

Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Alicate de pressão: trabalha por pressão, ajustada por um parafuso localizado em sua extremidade, e oferece um aperto firme entre as peças por ele fixadas.

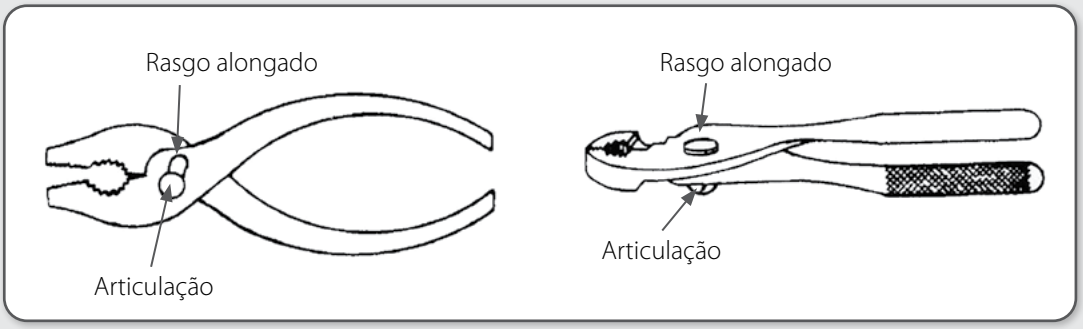
Figura 87 – Alicate de pressão.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Alicate de eixo móvel: usado para trabalhar com objetos redondos. O eixo móvel permite maior abertura.

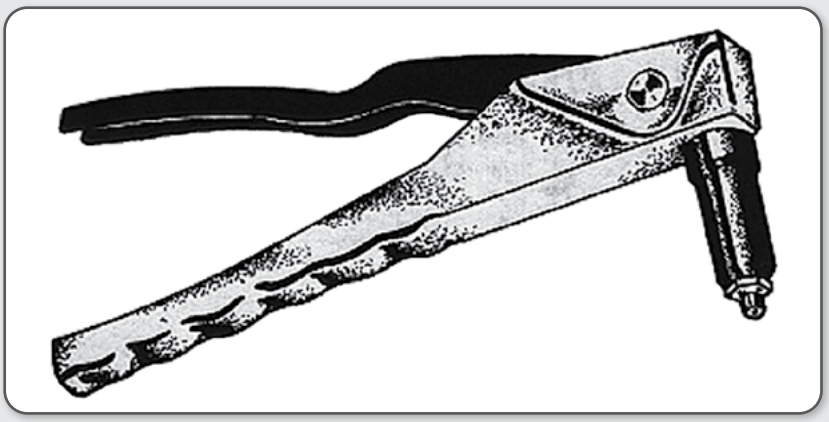
Figura 88 – Alicates de eixo móvel.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

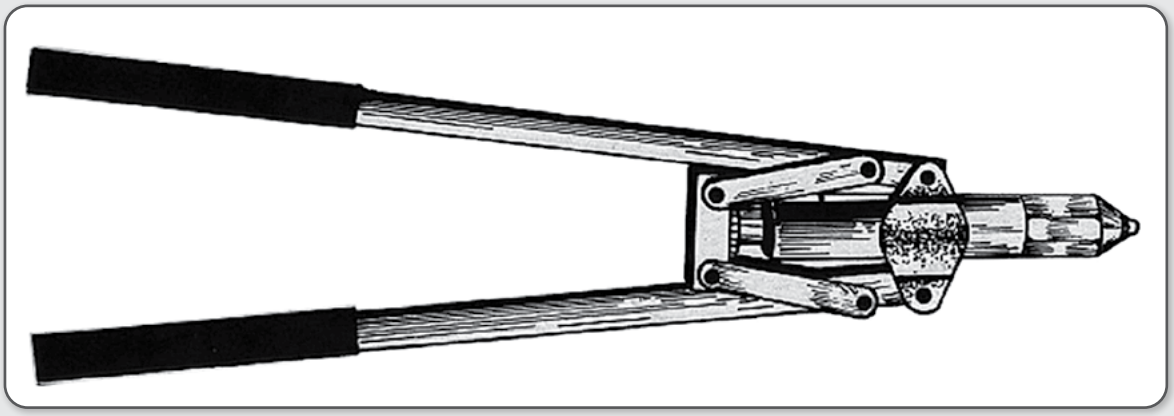
Alicate rebitador: é usado para aplicar rebites de repuxo (também conhecidos como rebites "pop") como elementos de fixação entre peças.

Figura 89 – Rebitador tipo "alicate".



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Figura 90 – Rebitador tipo "tesoura".

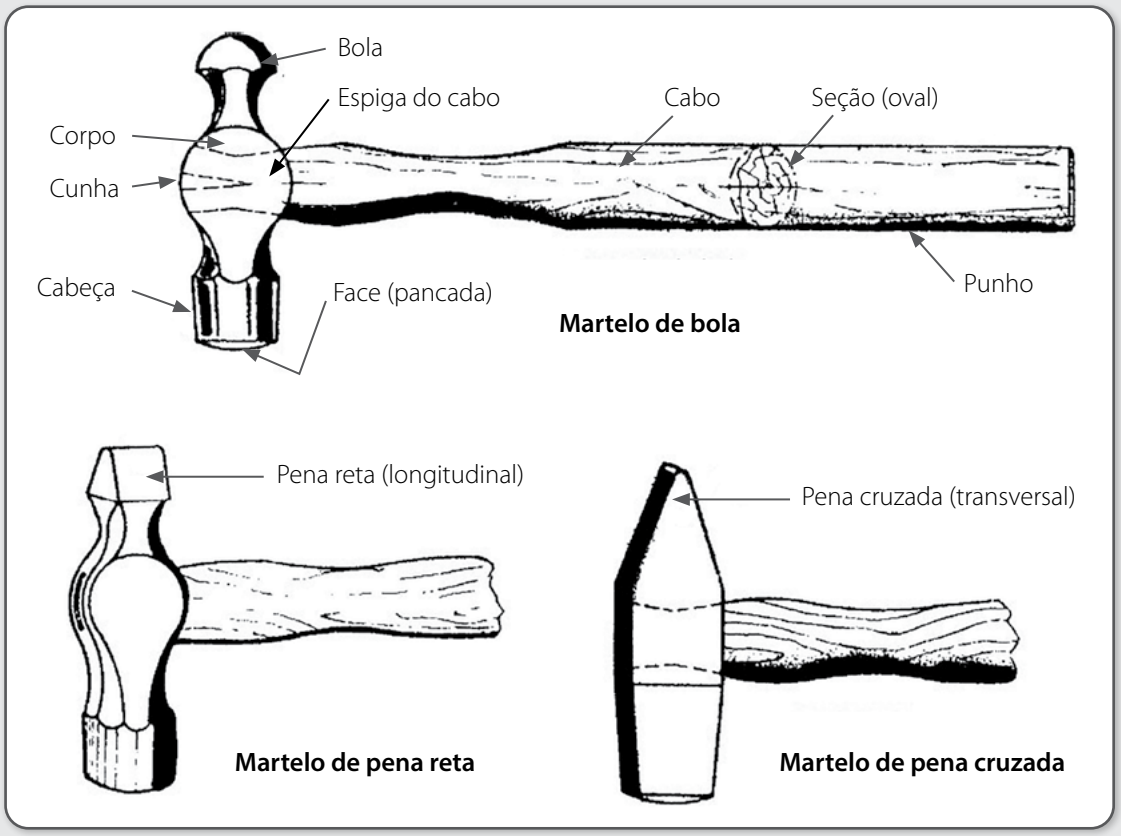


Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Martelos e marretas

Martelos: ferramentas de impacto feitas a partir de blocos de aço carbono fixas a cabos de madeira. As faces de impacto são temperadas. Possuem amplo emprego em mecânica e construção civil. Pesam de 200 a 1000 gramas, são usados em trabalhos com chapas finas, fixação de pregos e grampos, para rebitar, extrair pinos, etc.

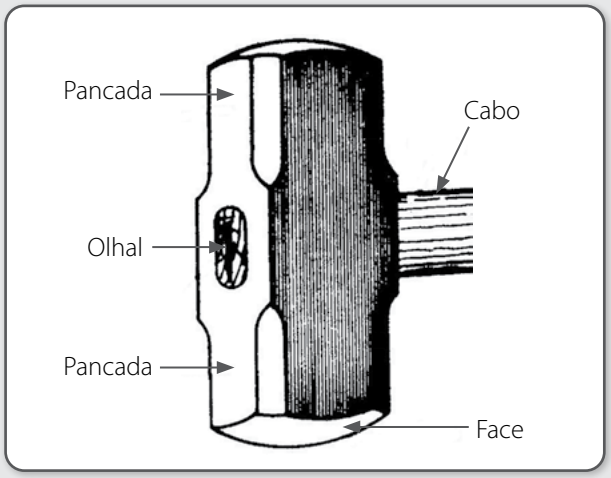
Figura 91 – Diferentes tipos de martelos.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Marretas: é uma variação dos martelos, maior, mais pesado e mais simples, destinado a bater numa talhadeira ou ponteiro.

Figura 92 – Principais partes de uma marreta.



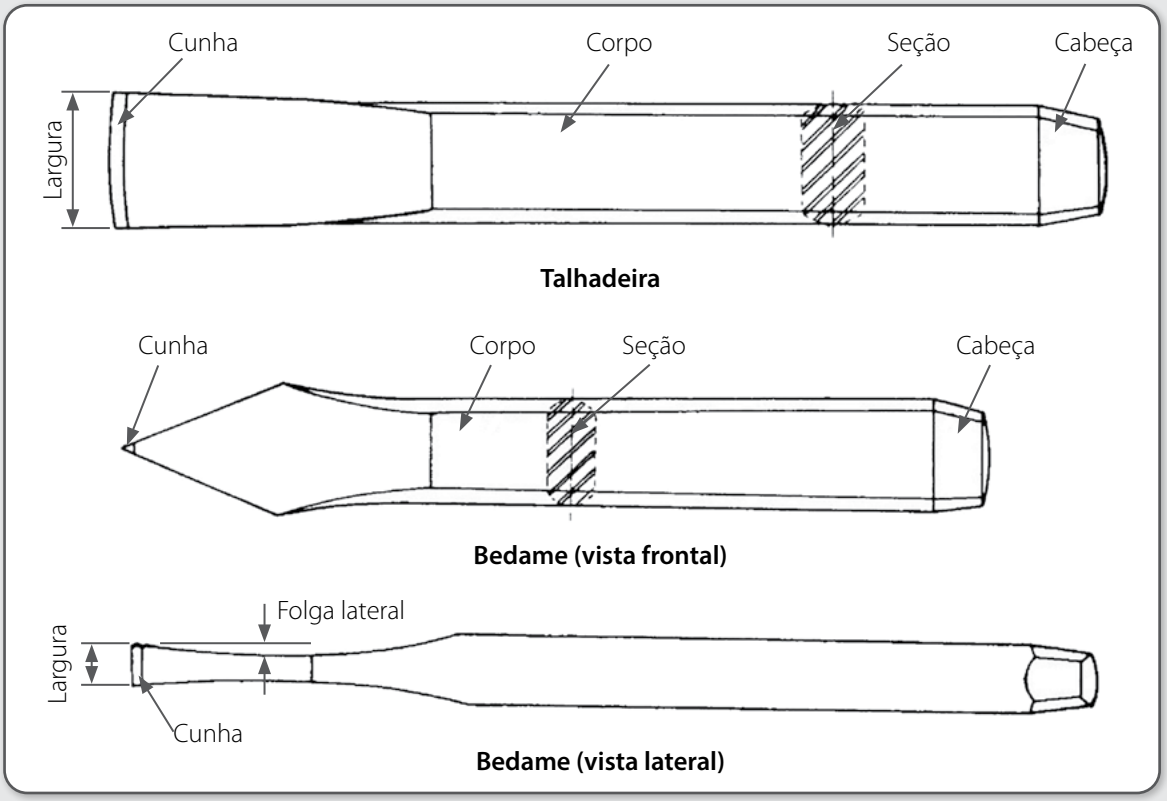
Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Talhadeira e bedame

São ferramentas de corte feitas em aço, com corpos de seções variadas, com uma extremidade forjada onde há uma cunha temperada e afiada e outra extremidade chanfrada (a cabeça), que recebe os golpes de martelo ou marreta para se proceder aos cortes.

Servem para cortar chapas, remoer excessos de material e abrir rasgos. A têmpera da cabeça é branda, de modo que não forme rebarbas com as batidas. Podem ter de 150 a 180 mm de comprimento.

Figura 93 – Talhadeira e bedame.

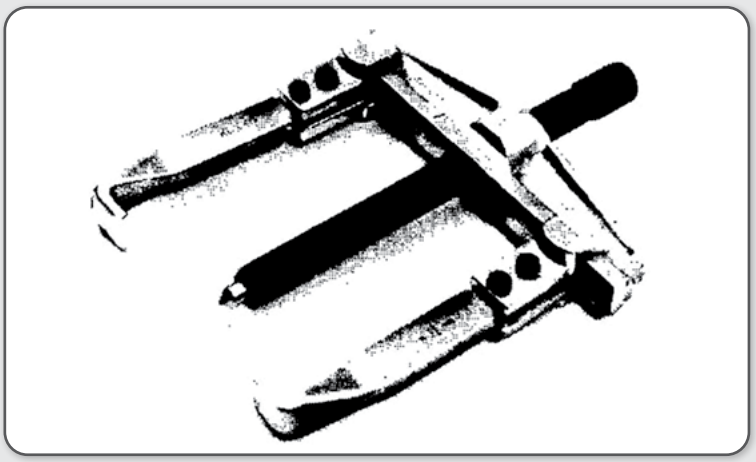


Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Extratores para polias e rolamentos

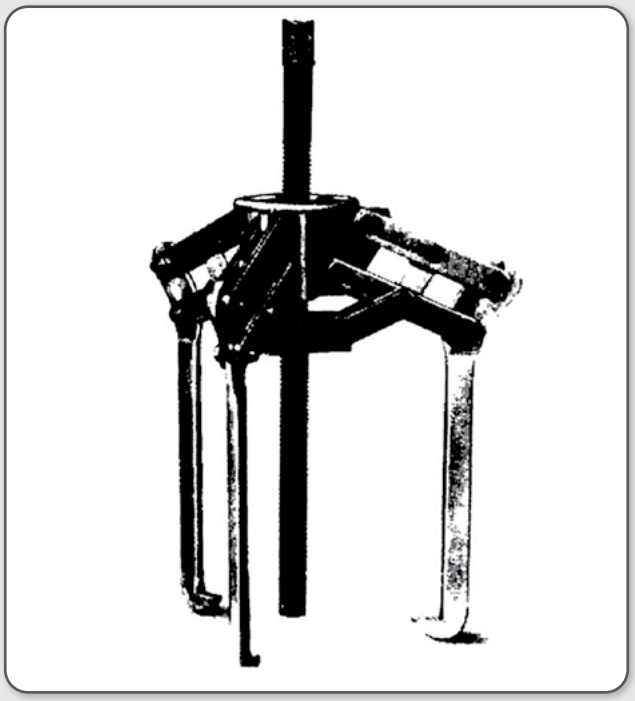
São especialmente recomendados para remoção de rolamentos e polias de eixos, sejam de pequeno, médio ou grande porte. Para rolamentos ou polias de pequeno porte, usa-se normalmente o extrator de dois braços, mais simples. Para rolamentos e polias maiores, usa-se o extrator de três braços, bem como o extrator autocentrante. Além das versões mecânicas, acionadas por parafusos com rosca fina mediante o encaixe de uma chave estrela comum, há também a versão hidráulica, fornecida com bomba de óleo, que pode atingir força de extração de até 500 kN (cerca de 50 toneladas-força). Para extração de rolamentos de esferas, existem jogos de extratores com cinco parafusos e oito conjuntos de braços, para a maioria das aplicações.

Figura 94 – Extrator de dois braços.



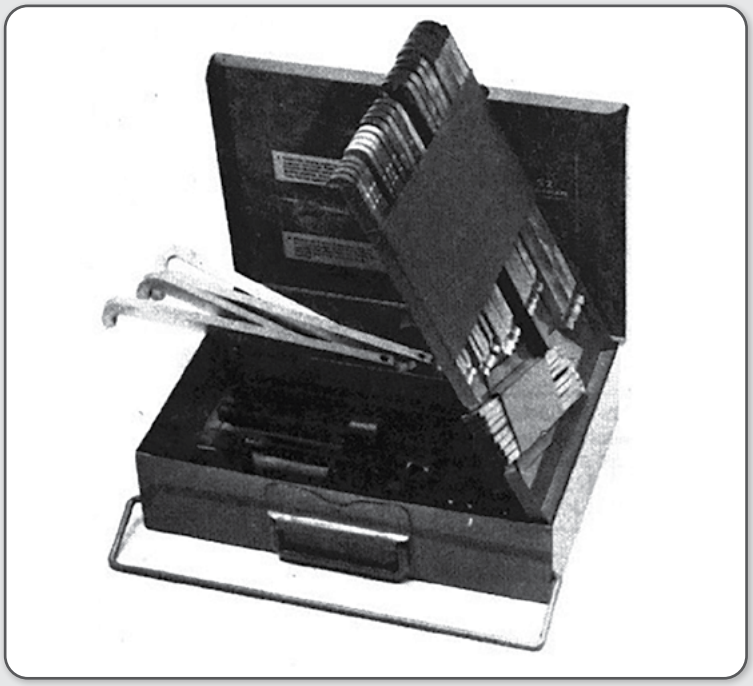
Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Figura 95 – Extrator autocentrante de três braços.



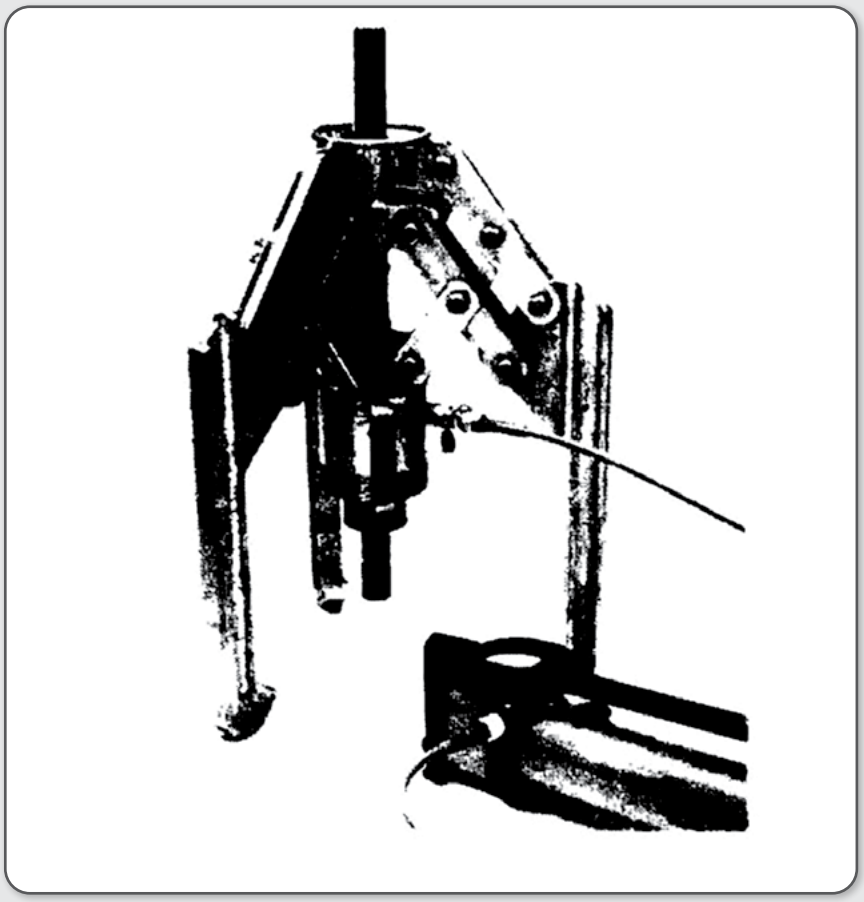
Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Figura 96 – Jogo de extração.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

Figura 97 – Extrator hidráulico autocentrante.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (a)

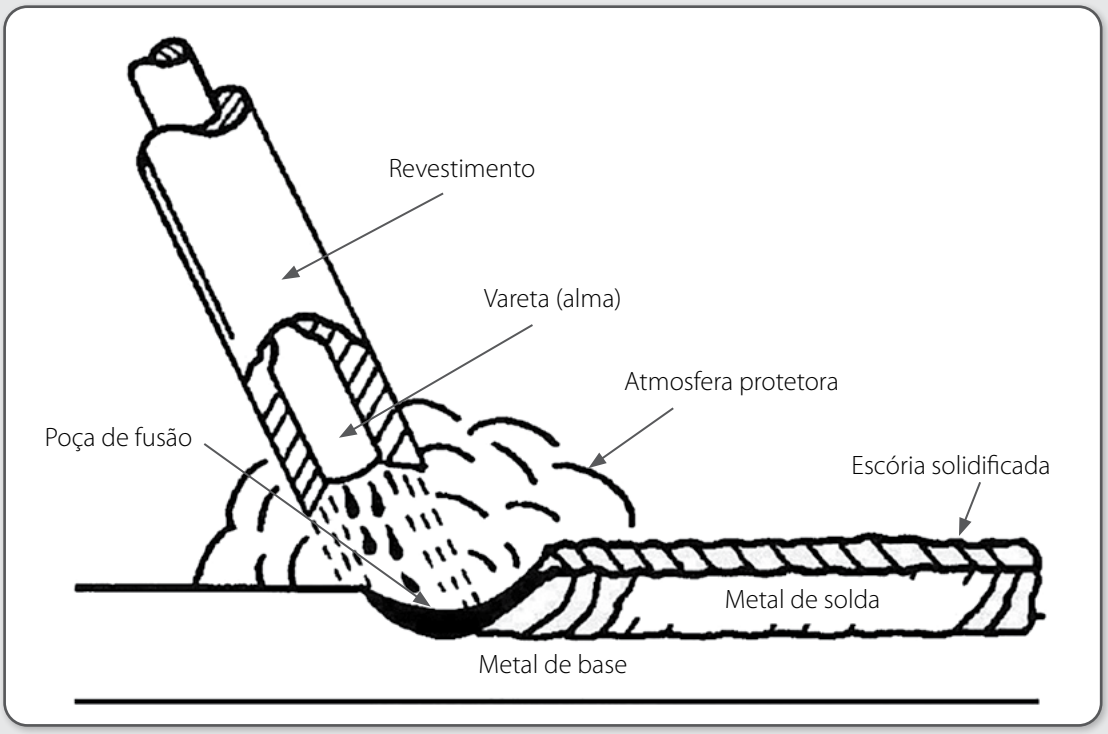
3.3 NOÇÕES DE SOLDAGEM

3.3.1 Soldagem a arco elétrico por eletrodo revestido

Segundo a AWS – American Welding Society (Sociedade Americana de Soldagem), a soldagem pode ser definida como "o processo de união de materiais usado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição". O processo de soldagem mais usado, pela simplicidade da operação, dos equipamentos, pelos custos mais baixos e pela qualidade, é o processo de soldagem a arco elétrico com eletrodos revestidos (chamado pela AWS de SMAW – *Shielded Metal Arc Welding*).

Nesse processo, a soldagem é realizada com o calor de um arco elétrico mantido entre a extremidade de um eletrodo metálico revestido e a peça de trabalho. O calor produzido pelo arco funde o metal de base, a alma do eletrodo e o revestimento (Figura 98). Quando as gotas de metal fundido são transferidas através do arco para a poça de fusão, são protegidas da atmosfera pelos gases produzidos durante a decomposição do revestimento. A escória líquida flutua em direção à superfície da poça de fusão, onde protege o metal de solda da atmosfera durante a solidificação. Outras funções do revestimento são proporcionar estabilidade ao arco e controlar a forma do cordão de solda.

Figura 98 – Soldagem a arco elétrico por eletrodo revestido.

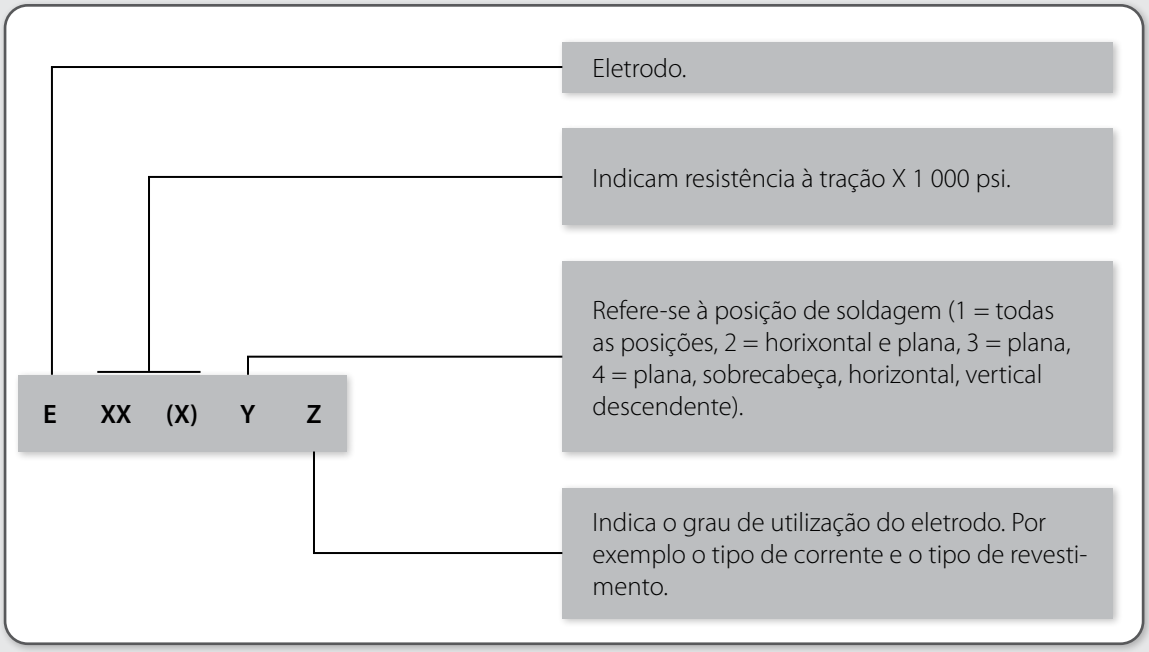


Fonte: ESAB, s.d.

Tipos de eletrodos

A classificação dos eletrodos revestidos é padronizada pela norma AWS A5.1, e fornecem informações sobre a resistência à tração do material da alma do eletrodo, as posições de soldagem e características gerais do eletrodo. A Figura 99 resume o padrão de classificação de eletrodos desta norma, enquanto a Tabela 8 apresenta as principais características dos diferentes tipos de eletrodos.

Figura 99 – Classificação de eletrodos revestidos segundo a norma AWS A5.1.



Fonte: ESAB, s.d.

Tabela 8 – Eletrodos para soldagem de aços carbono.

Classe	Corrente	Arco	Penetração	Revestimento-escória	Pó de ferro
EXX10	CC+	agressivo	profunda	celulósico - sódio	0-10%
EXX11	CA/CC+	agressivo	profunda	celulósico - potássio	0
EXX12	CA/CA–	médio	média	rutílico - sódio	0-10%
EXX13	CA/CC–/CC+	suave	leve	rutílico - potássio	0-10%
EXX14	CA/CC–/CC+	suave	leve	rutílico - pó de ferro	25-40%
EXX15	CC+	médio	média	baixo hidrogênio - sódio	0
EXX16	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - potássio	0
EXX18	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - pó de ferro	25-40%
EXX20	CA/CC–	médio	média	óxido fe ferro - sódio	0
EXX22	CA/CC–/CC+	médio	média	óxido de ferro - sódio	0
EXX24	CA/CC–/CC+	suave	leve	rutílico - pó de ferro	50%
EXX27	CA/CC–/CC+	médio	média	óxido de ferro - pó de ferro	50%
EXX28	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - pó de ferro	50%
EXX48	CA/CC+	médio	média	baixo hidrogênio - pó de ferro	25-40%
O percentual de pó de ferro é baseado na massa do revestimento					

Fonte: ESAB, s.d.

A partir da tabela acima, podemos verificar algumas características dos eletrodos de aço carbono mais usados em manutenção: o E6010, o E6013 e o E7018.

Eletrodo E6010: só solda em corrente contínua (por isso não podia ser usado na época dos geradores de solda, que só forneciam corrente alternada...), com o cabo obra ligada no polo positivo da máquina de solda, possui arco agressivo e penetração profunda, tem revestimento celulósico (por isso cheira a papel queimado enquanto solda).

Eletrodo E6013: solda em corrente alternada e contínua, em qualquer polaridade (por isso é muito usado por serralheiros, em transformadores de solda), possui arco suave e penetração leve (ideal para chapas finas ou tubos de parede fina) e tem revestimento rutílico.

Eletrodo E7018: solda em corrente alternada e em corrente contínua, com o cabo obra ligado no polo positivo da máquina, possui arco médio e penetração média (usado na maioria das aplicações).

Levando em consideração relação de bitolas *versus* correntes de trabalho, entre outras, a Tabela 9 apresenta os principais parâmetros de soldagem para os eletrodos de aço carbono.

Tabela 9 – Parâmetros de soldagem para eletrodos de aço carbono.

Eletrodo	*AWS*	Diâmetro (mm)	Corrente (A)	Valor ótimo (A)	TX. dep. (kg/h)	Ef. dep. (%)
OK 22.45P	E6010	2,5	60-80	75	0,7	72
OK 22.50	E6010	3,2	80-140	100 / 130	0,9 / 1,0	76 / 69
		4,0	90-180	140 / 170	1,3 / 1,3	74 / /64
		5,0	120-250	160 /0 90	1,5 / 1,6	75 / 70
OK 22.65P	E6011	2,5	40-75	75	0,6	61
		3,2	60-125	120	1,0	71
		4,0	80-180	150	1,7	77
		5,0	120-230	180	1,9	73
OK 46.00	E6013	2,0	50-70	50	0,6	73
OK 46.13		2,5	60-100	85	0,7	73
OK 43.32		3,2	80-150	125	1,0	73
		4,0	105-150	140 / 160 / 180	1,2 / 1,4 / 1,6	76 / 74 / 71
		5,0	155-300	180 / 200 / 220	1,5 / 1,7 / 1,9	74 / 71 / 73
OK 33.80	E7024	3,2	130-170	140 / 180	1,9 / 2,3	72 / 71
		4,0	140-230	180 / 210 / 240	2,4 / 2,9 / 3,3	71 / 73 / 69
		5,0	210-350	245 / 270 / 290	3,4 / 3,8 / 4,1	69 / 71 / 68
		6,0	270-430	320 / 360	4,3 / 5,3	72 / 69
OK 48.04	E7018	2,5	65-105	90	0,8	66
OK 48.06	E7018	3,2	100-150	120 / 140	1,2 / 1,2	72 / 71
OK 48.07	E7018-1	4,0	130-200	140 / 170	1,4 / 1,7	75 / 74
OK 55.00	E7018-1	5,0	185-270	200 / 250	2,2 / 2,4	76 / 75

Fonte: ESAB, s.d .

Além dos eletrodos de aço carbono, outro tipo de eletrodo bastante empregado em soldagem de manutenção, por sua versatilidade e resistência, são os eletrodos de cromo-níquel, classificados pela norma AWS A5.4 como E312-16.

É um eletrodo com alma formada de liga de cromo-níquel 29/9 (29% de cromo e 9% de níquel), de fácil manuseio, que apresenta acabamento limpo, sem respingos ou mordeduras, e é empregado entre outras coisas: para extrair parafusos não passantes quebrados no interior de furos cegos, para soldar peças de aço inoxidável entre si e com peças de aço carbono. Solda em corrente alternada e corrente contínua, com o cabo obra ligado ao polo positivo. A Tabela 10 apresenta os parâmetros de soldagem para esse tipo de eletrodo, de acordo com o diâmetro da alma.

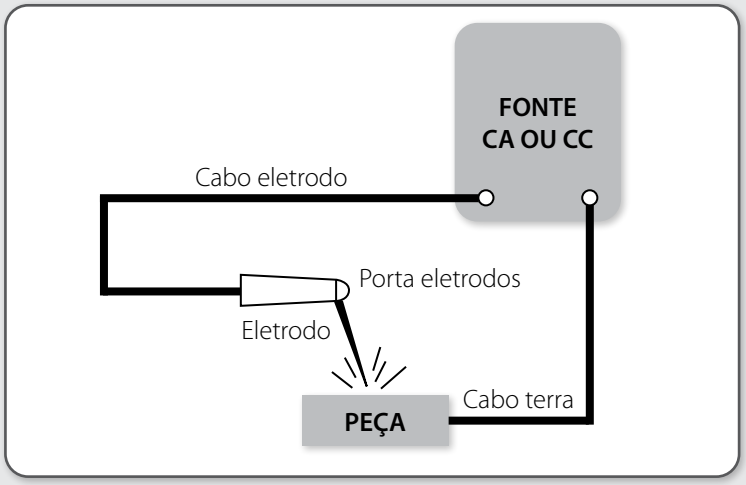
Tabela 10 – Corrente de soldagem para eletrodo cromo-níquel 29/9 AWSA5.4 E312-16.

Ø (mm)	Corrente (A)
2,0 (5/64")	70-90
2,4 (3/32")'	80-100
3,2 (1/8")	90-120
4,0 (5/32")	115-140

Fonte: EUTETIC&CASTOLIN, s.d .

Foram mencionadas as expressões corrente alternada (CA), corrente contínua no polo positivo (CC+) e corrente contínua no polo negativo (CC–). O tipo de corrente utilizada influi no resultado da soldagem, transferindo mais calor para a peça ou para o eletrodo.

Figura 100 – Esquema dos equipamentos para soldagem por eletrodo revestido.

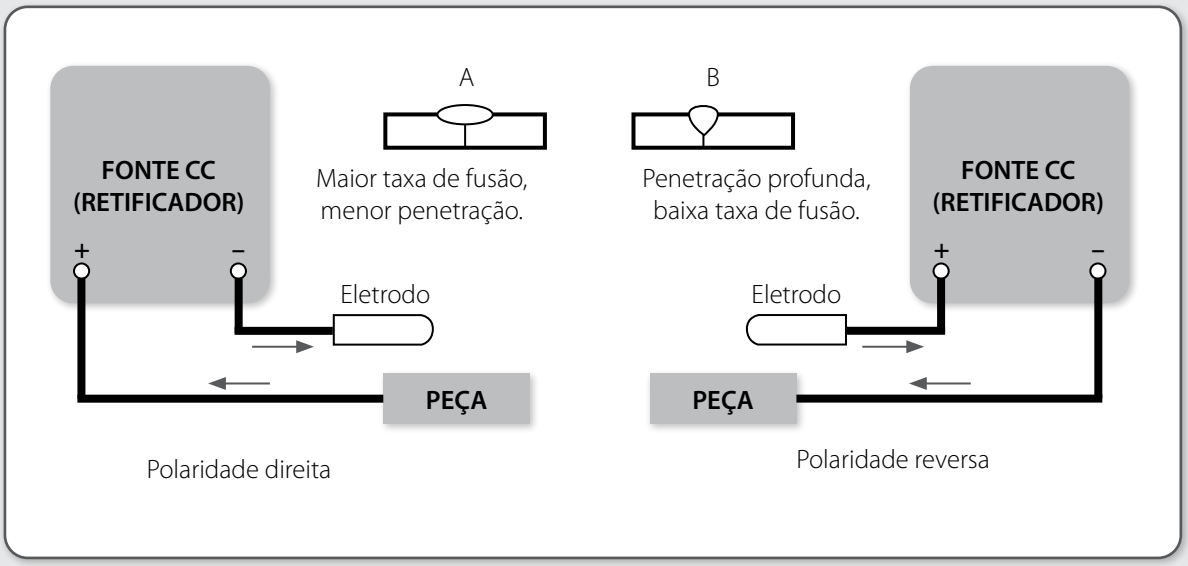


Fonte: ESAB, s.d.

Na corrente alternada (CA) os polos positivo e negativo ficam se alternando o tempo todo. No caso do Brasil, como a frequência da corrente é 60 Hz (hertz), a corrente inverte a polaridade 60 vezes por segundo. No caso de soldagem de manutenção realizada com geradores de solda, essa frequência é ajustada em função da rotação do motor que move o gerador de solda. Para geradores síncronos de 4 polos, a rotação síncrona é de 1800 RPM. Essa rotação deve ser ajustada com carga, ou seja, quando se estiver trabalhando na solda propriamente dita, com o arco elétrico de solda aberto.

Nos sistemas de soldagem mais modernos, o gerador fornece eletricidade para um retificador de solda, que transforma a corrente alternada em corrente contínua (CC), assim como no sistema elétrico dos veículos. Em sistemas elétricos de corrente contínua, o polo positivo e o polo negativo não se alternam, estando sempre nos mesmos terminais e cabos. Em corrente contínua, consegue-se um arco de solda mais estável, o que permite o trabalho com uma gama maior de eletrodos revestidos, de diferentes ligas. Para tanto, é possível selecionar trabalhar com o cabo eletrodo tanto numa polaridade como noutra. A Figura 101 ilustra a influência da polaridade na qualidade da soldagem.

Figura 101 – Polaridades em corrente contínua.



Fonte: ESAB, s.d.

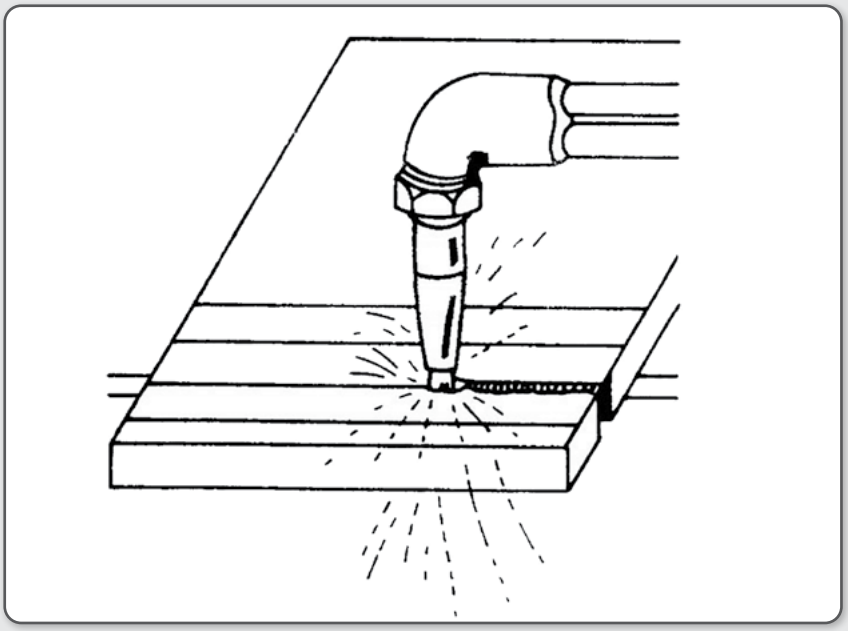
Trabalhando-se com o eletrodo no polo negativo, haverá maior transferência de calor para o eletrodo, o que aumenta seu consumo e faz com que ele funda (derreta) com mais intensidade. Com isso, ocorre menor penetração na peça. Por outro lado, quando se trabalha com o eletrodo no polo positivo, haverá maior transferência de calor para a peça, fazendo com que ela funda (derreta) mais, por isso causando maior penetração da solda, deixando um cordão de solda mais estreito.

3.4 CORTE DE METAIS POR PROCESSO OXIACETILÊNICO

O processo de corte oxiacetilênico é empregado para aços não ligados e aços de baixa liga. Esse processo é possível graças a uma propriedade que esses aços possuem de se oxidar rapidamente em contato com oxigênio puro a temperatura de queima (cerca de 1200 ºC, um pouco abaixo da temperatura de fusão). Através da chama de aquecimento, o metal atinge a chamada temperatura de queima. Com a região do corte aquecida, é feita a injeção do oxigênio

puro, que queima o aço aquecido, gerando óxido, que é soprado para fora da região do corte pelo jato de oxigênio e provoca a separação das partes. A Figura 102 ilustra o processo típico de corte oxiacetilênico.

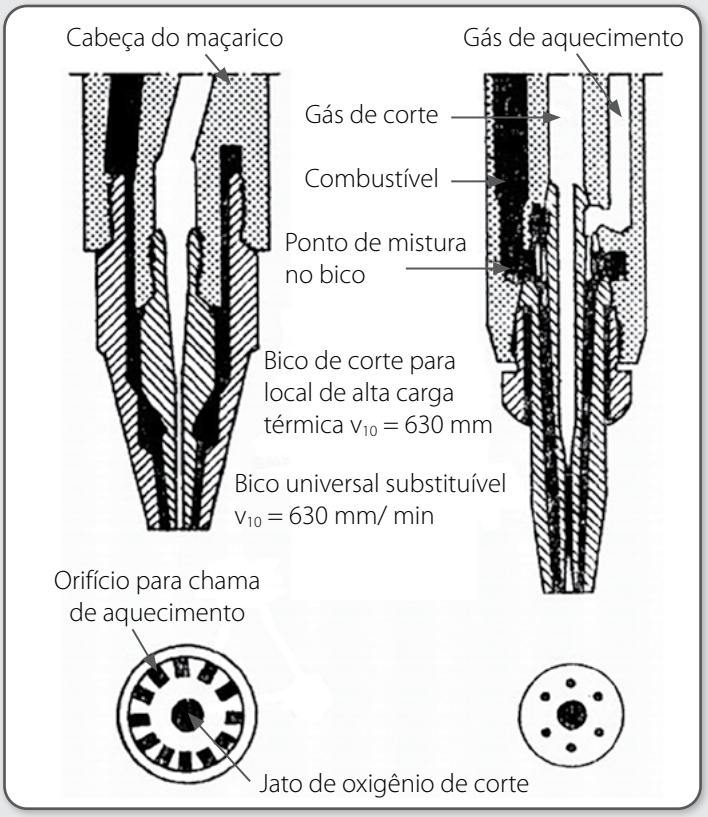
Figura 102 – Processo de corte oxiacetilênico.



Fonte: SENAI/CST, s.d. (b)

O processo de corte oxiacetilênico mais usado em manutenção é o manual, no qual se utilizam cilindros de oxigênio e de acetileno, mangueiras condutoras de gases com válvulas antirretrocesso, e uma "caneta", com válvulas para controle da vazão dos gases e um dispositivo para injeção de oxigênio puro. A mistura dos gases para geração da chama de aquecimento e também para injeção dos gases se processa no bico de corte.

Figura 103 – Esquema dos bicos de corte axiacetilênico.



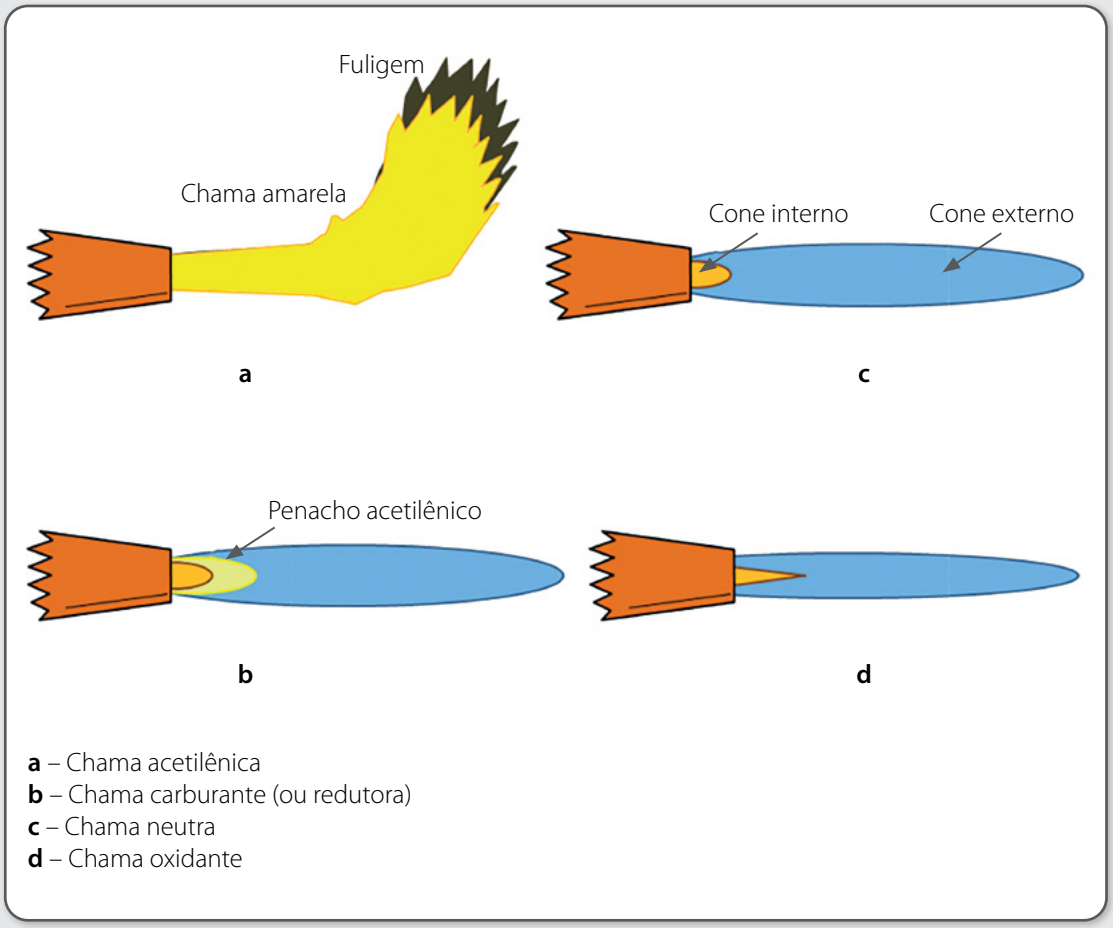
Fonte: SENAI/CST, s.d. (b)

3.4.1 Ajuste da chama para aquecimento/corte

O ajuste correto da proporção oxigênio/acetileno na mistura, para a obtenção da chama adequada, é feito visualmente, pela observação da chama e abertura das válvulas de oxigênio e acetileno na caneta até que se tenha a chama desejada.

A Figura 104 ilustra os diferentes tipos de chamas possíveis de se obter para o processo de corte oxiacetilênico, pelas dosagens dos gases a partir da regulagem das válvulas da caneta.

Figura 104 – Tipos de chamas para processos de aquecimento e corte.



Fonte: TÉCNICA, s.d.

3.4.2 Bicos aplicados, espessuras de corte e pressões dos gases

A capacidade de corte de materiais, em função da espessura das peças, é determinada, ao contrário do senso comum, pelo tipo do bico empregado. Para um mesmo tipo de bico de corte, variações mínimas de pressão permitem variar ligeiramente a espessura do material separado pelo processo de corte oxiacetilênico. A Tabela 11 mvostra as diferentes espessuras, pressões de ajuste dos gases e consumos de gases para os diferentes tipos de bicos da série 1502, para mistura de gases oxigênio + acetileno.

Tabela 11 – Bicos de corte série 1502 – oxiacetilênico.

Espessura de corte (nm)	Bico (n^0)	*Pressão dos gases (kg/ cm^3)		Velocidade linear de corte (cm/min) C-205	Consumo dos gases ** (m^3/h)	
		Oxigênio	Acetileno		Oxigênio	Acetileno
3,2	2	1,5-1,4	0,35	92	0,95	0,25
6,4	3	1,75-2,18	0,42	76	1,25	0,28
9,5		1,50-2,10	0,35	64	1,70	0,30
12,7		2,18-2,60		51	2,00	0,33
15,9	4	2,80-3,21	0,42	46	2,32	0,36
19,1		1,60-2,15	0,35	41	2,74	0,39
25,4	6	2,20-2,62	0,42	35,7	3,41	0,45
38,1		3,30-4,15	0,49	33,2	4,71	0,51
50,8	8	2,40-2,80	0,35	28,1	5,50	0,56
76,2		3,00-3,50		25,4	6,50	0,64
100		4,55-5,30	0,42	23,0	8,80	0,70
125		4,20-4,55	0,49	20,0	11,40	0,86
150	10	4,90-5,30	0,56	17,8	13,00	1,00
200		4,95-5,40	0,63	12,7	17,90	1,14
250		5,9-6,60	0,84	10,0	20,40	1,28
300	12	5,60-6,30	0,77	8,0	24,00	1,40

Fonte: SENAI/CST, s.d. (b)

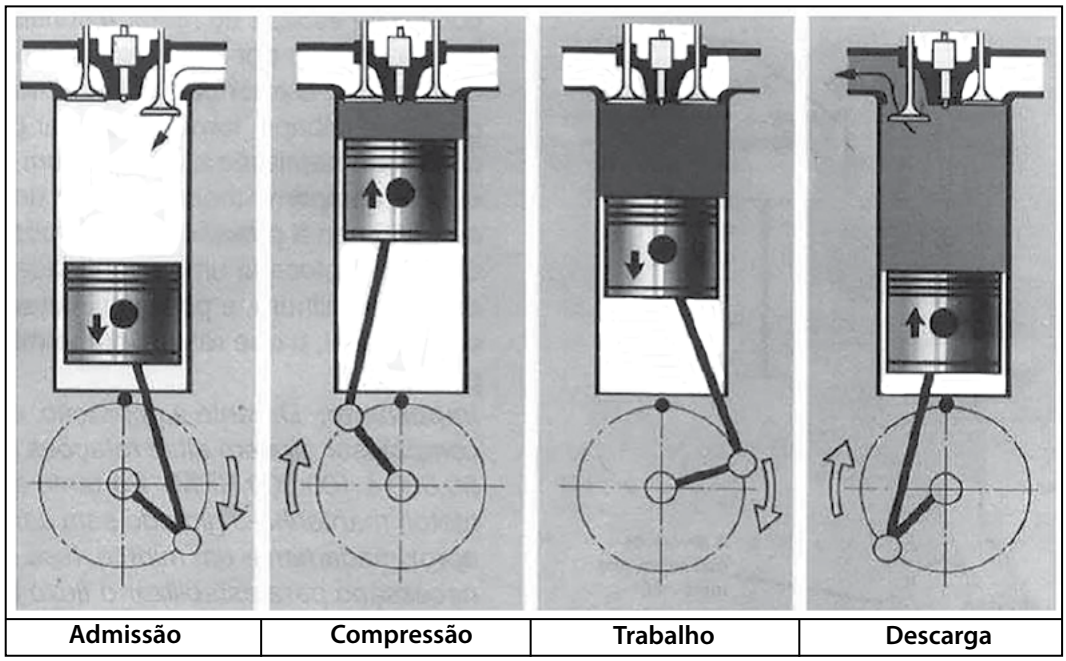
3.5 MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA – CICLO *DIESEL*

Os motores de combustão interna ciclo *diesel* (de ignição por compressão) estão presentes em todas as máquinas e equipamentos, agrícolas e de construção civil. São empregados nessas aplicações pela maior eficiência, robustez e menor consumo específico em relação aos motores ciclo *otto* (de ignição por centelha, usados em aplicações leves como automóveis e motocicletas).

Esse tipo de motor foi inventado no fim do século XIX, pelo engenheiro térmico franco-alemão Rudolf Diesel, que obteve a patente de sua invenção no ano de 1893. Hoje, mais de 100 anos depois, o princípio de funcionamento do motor e componentes básicos permanecem os mesmos. Os maiores progressos ficaram por conta da adoção do combustível que atualmente chamamos de óleo *diesel* (uma fração do petróleo formada por cadeias carbônicas mais longas, com maior poder calorífico) e a invenção da bomba injetora por Robert Bosch, em 1927.

Quando da sua invenção, o motor *diesel* foi concebido para queimar óleos de origem vegetal. O conceito do *biodiesel*, portanto, não é novo na história desses motores. Os motores *diesel* podem ser de dois tempos ou quatro tempos, sendo que os motores de quatro tempos são os mais empregados atualmente.

Figura 105 – Os quatro tempos de um motor *diesel*.



Fonte: SENAR-AR/PR, 2004.

3.5.1 Principais componentes do motor *diesel*

Um motor de combustão interna de ignição por compressão (ciclo *diesel*) possui dezenas de peças, tanto na sua estrutura principal como em componentes auxiliares. A seguir, serão descritos resumidamente os principais componentes de um motor *diesel*, a grande maioria comuns também aos motores de ignição por centelha (ciclo *otto*), que utilizam combustíveis como gasolina, etanol (álcool etílico hidratado) ou GNV (gás natural veicular).

Bloco: é como é denominada a estrutura básica do motor, na qual todos os componentes do motor são agregados para formar o motor propriamente dito.

Cabeçote: peça(s) posicionada(s) acima do bloco do motor, onde ficam as válvulas e seus agregados. Podem ser individuais (um para cada cilindro do motor), agrupados (um para três ou quatro cilindros, em motores de seis ou sete cilindros) ou em peça única, para todos os cilindros.

Cárter: é a peça que fica abaixo do bloco do motor, e funciona como reservatório de óleo do motor (tem esse nome por causa do engenheiro inglês J. Harrison Carter, seu inventor). Pode ser feito de chapa de aço, ferro fundido (em tratores monobloco, para compor a estrutura do veículo) e, mais recentemente, em plástico. Ajuda a dissipar o calor do óleo do motor.

Virabrequim ("girabrequim" ou árvore de manivelas): é a parte do motor responsável por transformar o movimento alternado ("sobe e desce") dos pistões em rotativo. Possui munhões (que

só giram, centrados e apoiados nos mancais), moentes (que giram e oscilam ao mesmo tempo, onde se prendem as bielas) e contrapesos (para equilíbrio dinâmico, reduzindo vibrações).

Bronzina: elementos de apoio que envolvem os munhões e moentes da árvore de manivelas, e sobre os quais deslizam com menor atrito as bielas e o próprio virabrequim.

Eixo comando de válvulas: eixo movimentado de forma sincronizada pelo virabrequim para comandar a abertura e fechamento das válvulas de admissão e escape, através de *cames* (excêntricos).

Volante: peça em formato de disco posicionado atrás do motor, para acumular energia cinética ("embalo") e compensar as trepidações do conjunto alternativo do motor. No volante está conformada a cremalheira, uma engrenagem onde se conecta o pinhão do motor de partida para iniciar o funcionamento do motor.

Pistão: também conhecido como êmbolo, é o componente do motor que é movimentado pela expansão dos gases resultantes da combustão, transferindo a energia destes para o virabrequim através das bielas. Os pistões são vedados por anéis de pistão, que além de vedar os gases separa a interface lubrificada do motor das câmaras de combustão.

Biela: elemento que liga o pistão ao virabrequim, transferindo a energia proveniente dos gases da combustão.

Camisa: peça que envolve o pistão e forma o que se chama de cilindro do motor. Pode ser seca (quando o líquido de arrefecimento não tem contato direto com ela) ou úmida (quando fica envolta no líquido de arrefecimento); fixa (quando é conformada ao bloco do motor) ou removível (quando pode ser separada do bloco, para reparo ou substituição).

Válvulas: são elementos que comandam a entrada de ar (admissão) e saída dos gases (escape) da câmara de combustão, bem como retém a pressão do ar e dos gases da combustão no interior da câmara.

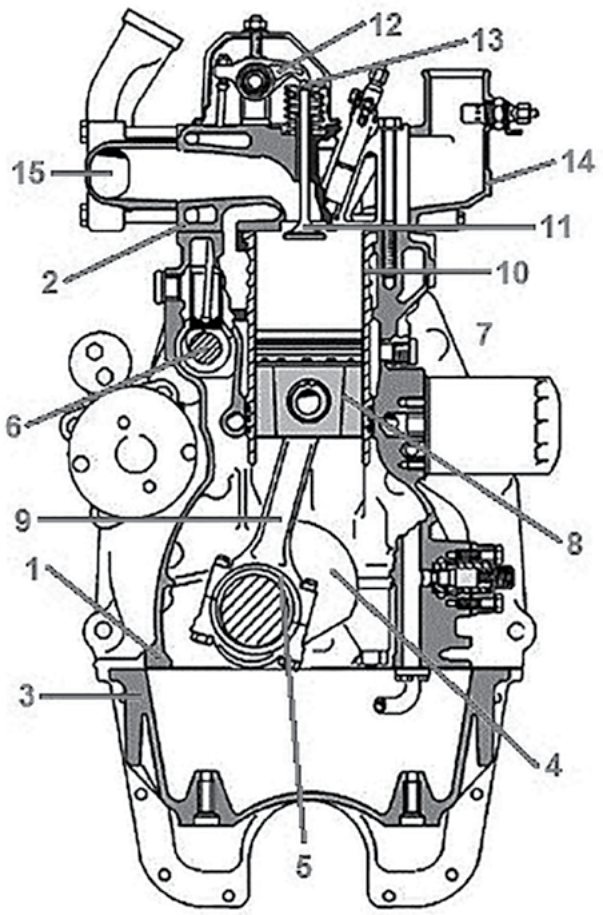
Balancim: é a peça que transfere o movimento das varetas das válvulas (movimentadas pelo eixo de comando de válvulas) para as válvulas.

Tucho: é o elemento que transfere o movimento do eixo comando de válvulas diretamente par as válvulas, em motores com comando de válvulas no cabeçote.

Coletor de admissão: tubulação que conduz o ar que entra no motor desde o filtro de ar (ou da saída do turbocompressor, em motores sobrealimentados; ou da saída do pós-resfriador de ar, em motores sobrealimentados com sistema de pós-resfriamento de ar) até o cabeçote, diretamente sobre as válvulas de admissão.

Coletor de escape: tubulação que conduz os gases de escape que saem do motor pela abertura das válvulas de escape, desde o cabeçote até a tubulação de exaustão (ou à entrada da turbina, no caso de motores sobrealimentados).

Figura 106 – Principais componentes de um motor de combustão interna de ignição por compressão (ciclo *diesel*).



Legenda:
1 – Bloco
2 – Cabeçote
3 – Cárter
4 – Virabrequim ("girabrequim" ou árvore de manivelas)
5 – Bronzina
6 – Eixo de comando de válvulas
7 – Volante
8 – Pistão
9 – Biela
10 – Camisa
11 – Válvulas
12 – Balancim
13 – Tucho
14 – Coletor de admissão
15 – Coletor de escape

Fonte: AGCO, s.d.

3.6 OS CINCO SISTEMAS AUXILIARES DOS MOTORES *DIESEL*

Todo o funcionamento dos motores *diesel* depende, além dos componentes básicos presentes em todos os motores (bloco, cabeçote, pistões, bielas, virabrequim, volante), de sistemas auxiliares, formados por componentes específicos, e que garantem ao motor o desempenho de outras funções, necessárias ao início e permanência em funcionamento.

Basicamente, existem cinco sistemas auxiliares em qualquer motor *diesel*:

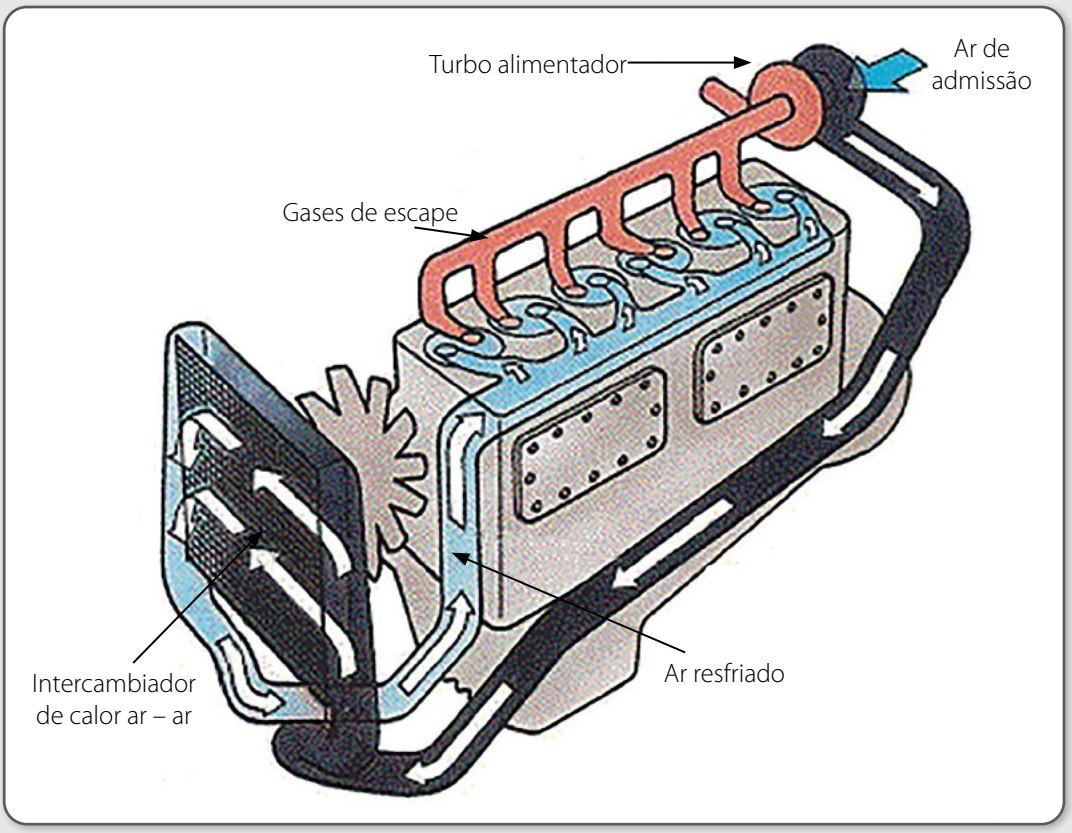
- Sistema de admissão de ar
- Sistema de alimentação de combustível
- Sistema de arrefecimento
- Sistema de lubrificação
- Sistema de carga e partida

3.6.1 Sistema de admissão de ar

Esse sistema apresenta uma das principais características que diferencia os motores ciclo *otto* dos motores ciclo *diesel*. Enquanto nos motores *otto*, entra nos cilindros a mistura ar-combustível realizada previamente, nos motores *diesel* entra somente ar, sendo que o combustível será adicionado no fim do tempo de compressão, inflamando-se devido às altas temperatura e pressão existentes na câmara de combustão no momento em que o combustível é injetado.

A Figura 107 mostra os componentes típicos do sistema de admissão de ar de um motor *diesel* mais moderno, dotado de alimentação de ar forçada e sistema de pós-resfriamento de ar.

Figura 107 – Sistema de admissão de ar.



Fonte: SISTEMA, s.d.

Componentes do sistema de admissão de ar de um motor *diesel*

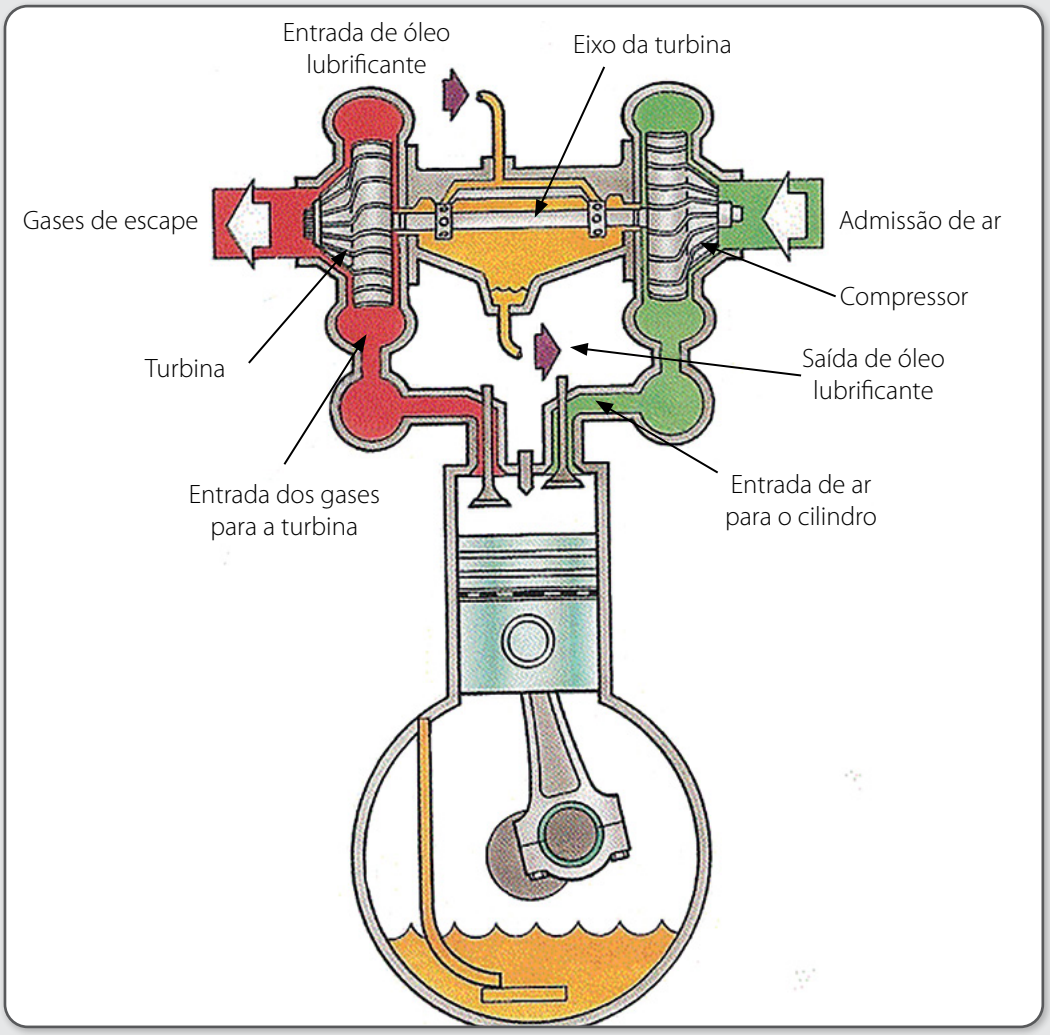
Filtros de ar: localizados antes do turbocompressor, em motores turbinados, ou antes do coletor de admissão, são formados por folhas de papel poroso, com furos muito pequenos, de modo que só permitem a passagem do ar, retendo quaisquer impurezas presentes (poeira, fuligem, etc.) no ar que entra no motor. Essas impurezas poderiam levar a desgaste por abrasão das peças de metal em contato no interior do motor, bem como contaminar o lubrificante.

ATENÇÃO

Filtros de ar saturados de impurezas vão diminuir a entrada de ar para o motor, causando perda de potência e geração de fumaça preta pelo escapamento, resultante do excesso de combustível em relação ao ar no processo de combustão, fazendo com que combustível não queimado seja desperdiçado pelo motor. Daí a importância de se ter filtros de ar sempre em boas condições, substituindo filtros de ar sujos ou danificados.

Turbocompressor: equipamento presente em praticamente todos os motores *diesel* modernos, o turbocompressor é formado basicamente de duas partes distintas: o turbo (também chamado de turbina ou carcaça quente), que reaproveita a energia dos gases de escape que antes era simplesmente jogada fora para movimentar um rotor, ligado a um eixo, que fará se movimentar outro rotor no compressor (também chamado de carcaça fria), que aspirará o ar da atmosfera, passando pelos filtros de ar, e o enviará para dentro do motor com maior pressão e em maior quantidade. Mais ar dentro do motor significa maior quantidade de oxigênio, o que permitirá que uma mesma quantidade de combustível seja queimada com maior eficiência, resultando em maior potência do motor.

Figura 108 – Turbocompressor montado num motor *diesel*.



Fonte: TURBOCOMPRESSOR, s.d.

Pós-resfriador de ar (*intercooler* ou *aftercooler*): nos motores dotados de turbocompressor, o ar que é comprimido pelo compressor para entrar no motor encontra-se, normalmente, a alta temperatura (na faixa de 150 ºC).

Para tornar a combustão ainda mais eficiente, adota-se o pós-resfriador de ar, que pode ser encontrado normalmente em duas variações: o chamado *intercooler*, que é um trocador de calor que resfria o ar comprimido pelo compressor do turbo com um fluxo de ar cruzado, numa espécie de radiador (trocador de calor ar-ar) ou o *aftercooler*, que resfria o ar comprimido pelo compressor do turbo com o líquido de arrefecimento do motor (trocador de calor ar-água).

Em ambos os casos, o ar que sai do pós-resfriador está a uma temperatura de 60 a 70 ºC. Essa mesma massa de ar, agora mais fria, contém mais moléculas de oxigênio agrupadas (uma maior densidade de oxigênio), que resultará numa combustão ainda mais eficiente, e ainda mais potência.

Coletor de admissão: tubulação que conduz o ar, seja após o turbocompressor ou após o pós-resfriador de ar, para dentro do motor, alcançando as válvulas de admissão e pronto para entrar nas câmaras de combustão, para garantir o funcionamento do motor.

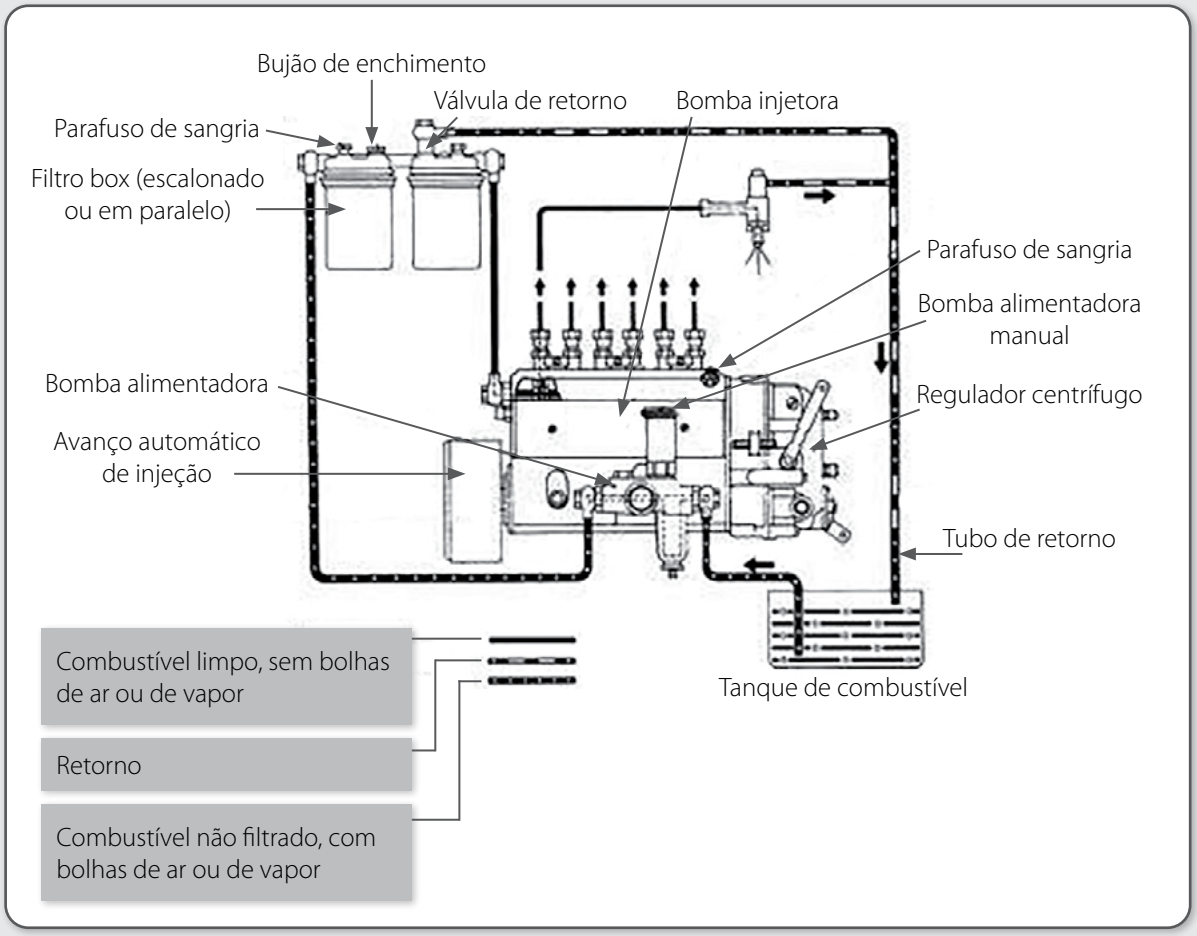
Paralelamente ao sistema de admissão de ar, há também o sistema de exaustão de gases, que tem por função conduzir os gases resultantes do processo de combustão para fora do motor, sendo formado por: coletor de escape (que está ligado ao bloco do motor e recebe os gases na abertura das válvulas de exaustão ou escape), tubulações e o silenciador (ou silencioso), que tem por função reduzir o elevado ruído provocado pelas rápidas expansões dos gases que saem do motor.

3.6.2 Sistema de alimentação de combustível

O outro elemento necessário ao processo de combustão, além do ar, é o combustível. É necessário um sistema que controle a quantidade de combustível inserido, dosando-o conforme a necessidade de potência do motor, e de forma a vencer a pressão do ar na câmara de combustão, no momento em que o combustível deve ser adicionado, para que seja detonado e faça ocorrer a combustão.

Existem dois tipos de sistemas de alimentação de combustível disponíveis nos veículos e máquinas atuais: o **sistema de injeção mecânica** (Figura 109), ajustado mecanicamente e com pressão de injeção da ordem de 250 bar; e os **sistemas de injeção eletrônica**, gerenciados eletronicamente e com pressões de injeção da ordem de 1600 a 1800 bar.

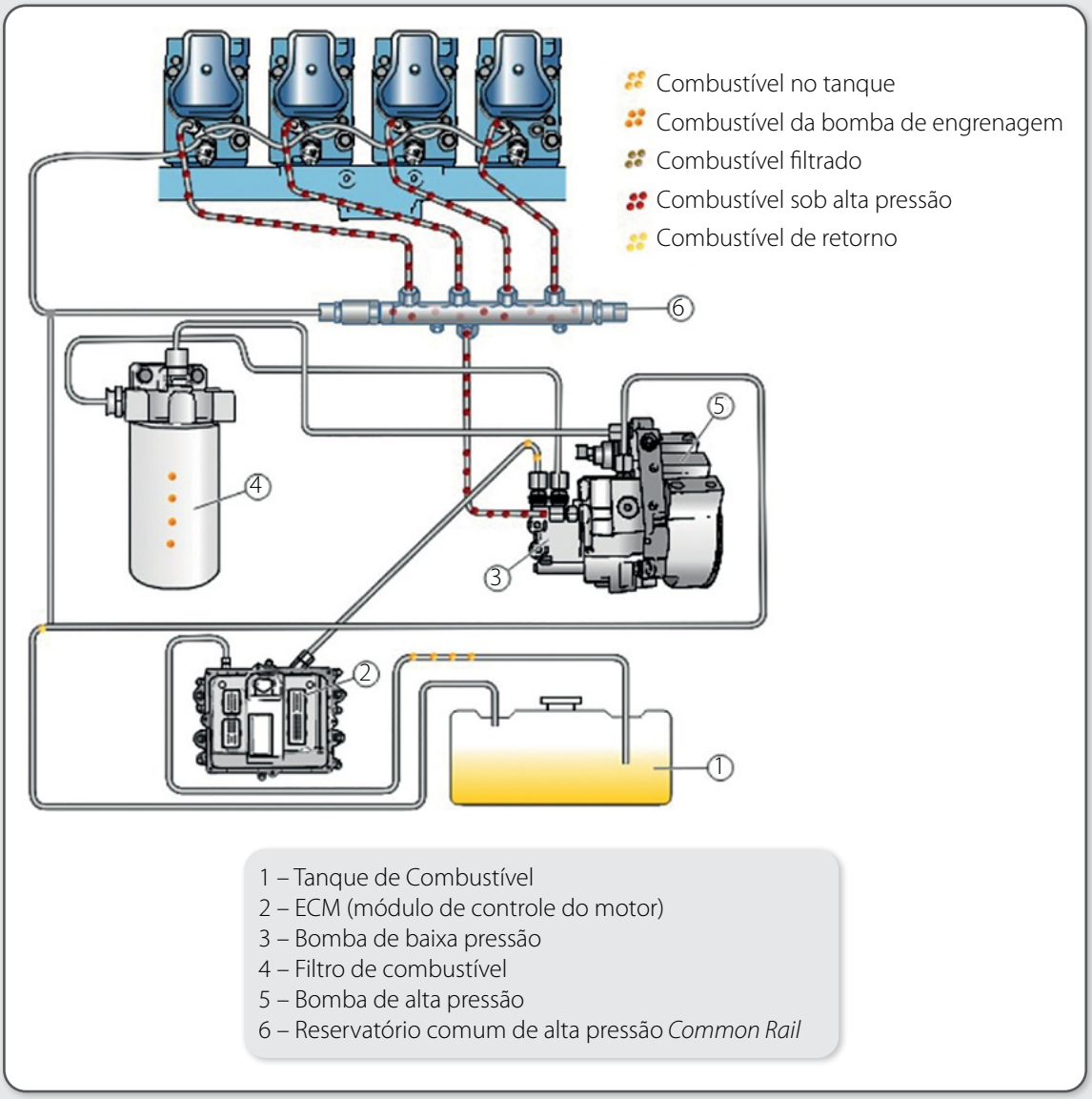
Figura 109 – Sistema de injeção mecânica de combustível.



Fonte: SANTOS, s.d.

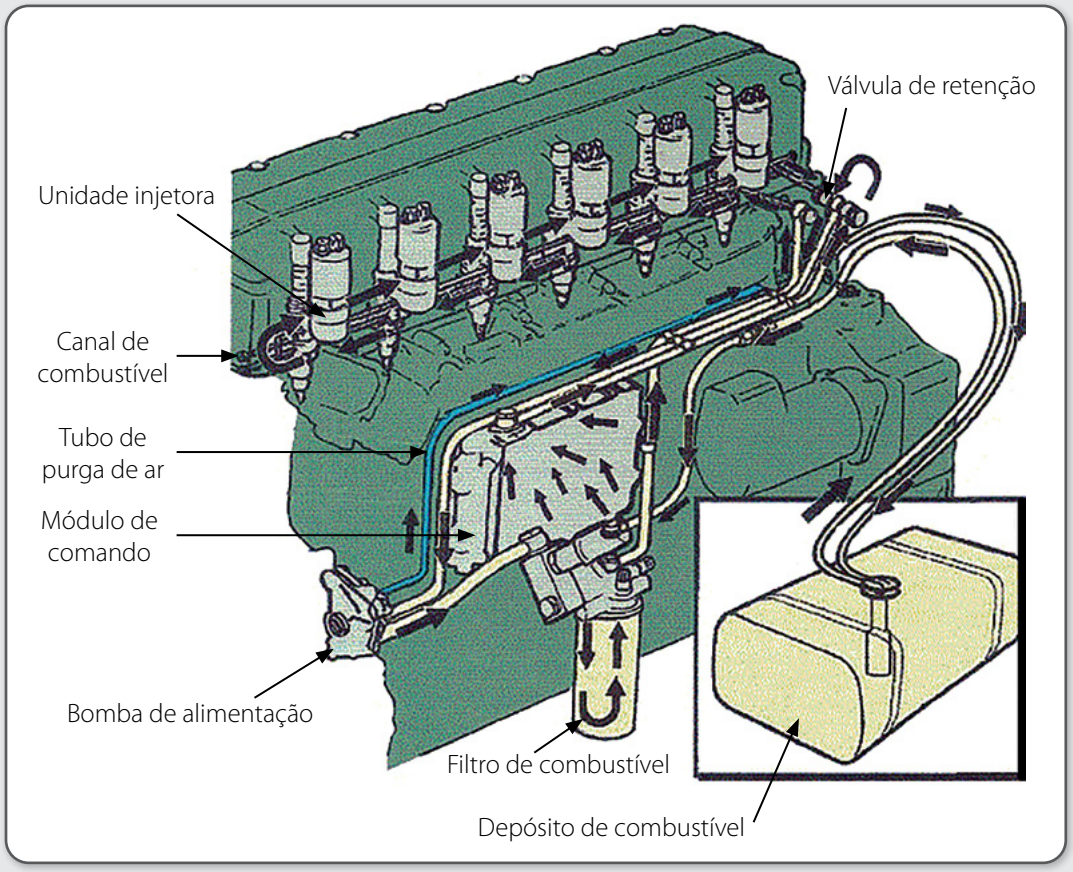
Os sistemas de injeção eletrônica estão subdivididos em outros dois grupos: **Sistema Common Rail**, em que há um reservatório comum de combustível a alta pressão para os injetores (Figura 110); e os **sistemas com unidades injetoras**, com o combustível sendo fornecido a baixa pressão para cada uma das unidades injetoras individuais (uma por cilindro). Cada unidade bombeia o combustível, aumentando sua pressão, o armazena num reservatório interno a alta pressão até o momento em que o injetor propriamente dito mandará este combustível para dentro da câmara, mediante comando eletrônico (Figura 111).

Figura 110 – Sistema de injeção eletrônica Common Rail.



Fonte: MWM, 2005.

Figura 111 – Sistema de injeção por unidades injetoras.



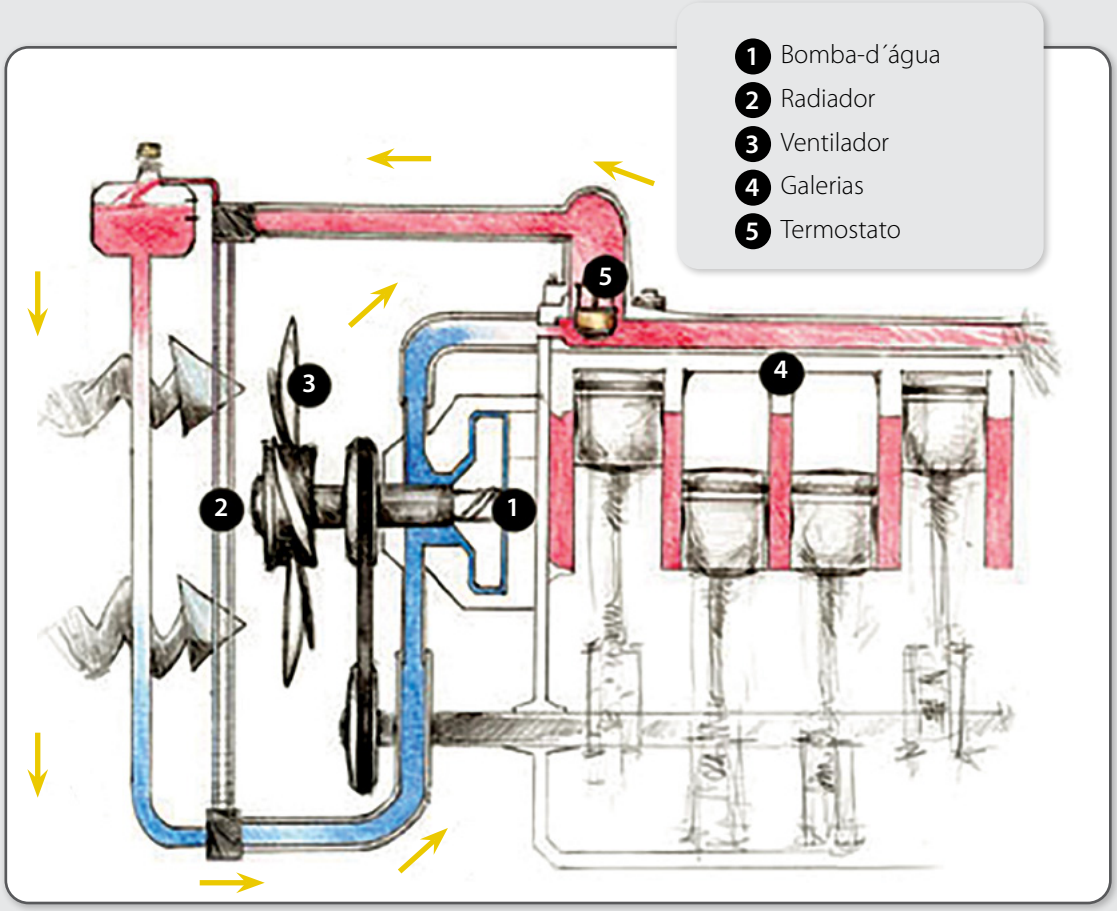
Fonte: SISTEMA, s.d.

Assim como no sistema de admissão de ar, e em outros sistemas do motor, existem filtros de combustível. No caso do sistema de alimentação de combustível, há filtros para reter partículas que possam estar presentes no combustível e causar desgaste e obstrução de orifícios do sistema (muito pequenos, da ordem de 2 micra). Os filtros também servem para separar água, que causa corrosão e, quando elevada a altas pressões, pode evaporar e as bolhas de vapor podem causar cavitação nos componentes, com arrancamento de metal das superfícies, e consequente dano.

3.6.3 Sistema de arrefecimento

A alta temperatura gerada pela compressão do ar e pelo processo de combustão que faz o motor funcionar, além do atrito entre peças móveis e fixas, apesar de drasticamente reduzido pelo efeito da lubrificação, geram calor. Para retirar do motor o excesso desse calor gerado, mantendo-o numa temperatura adequada para continuidade de seu funcionamento, é que existe o sistema de arrefecimento. Ao contrário do que se possa pensar, o sistema de arrefecimento não tem a função de resfriar o motor, mas de regular sua temperatura, rejeitando para o meio (a atmosfera) o calor excedente gerado pela operação do motor.

Figura 112 – Sistema de arrefecimento.



Fonte: SISTEMA, s.d.

O sistema de arrefecimento é composto, basicamente, por: bomba-d'água, radiador, ventilador, galerias e termostato.

Bomba-d'água: é ela quem faz circular o líquido de arrefecimento por todo o sistema, passando pelo radiador, galerias do motor e reservatório.

Radiador: é o trocador de calor onde o calor removido das partes do motor pelo líquido de arrefecimento é rejeitado para o ambiente, através do fluxo de ar gerado pelo ventilador, devolvendo líquido a menor temperatura para o sistema, para continuar a remover calor das partes do motor.

Ventilador: gera o fluxo de ar cruzado que passa pelo radiador para resfriar o líquido de arrefecimento.

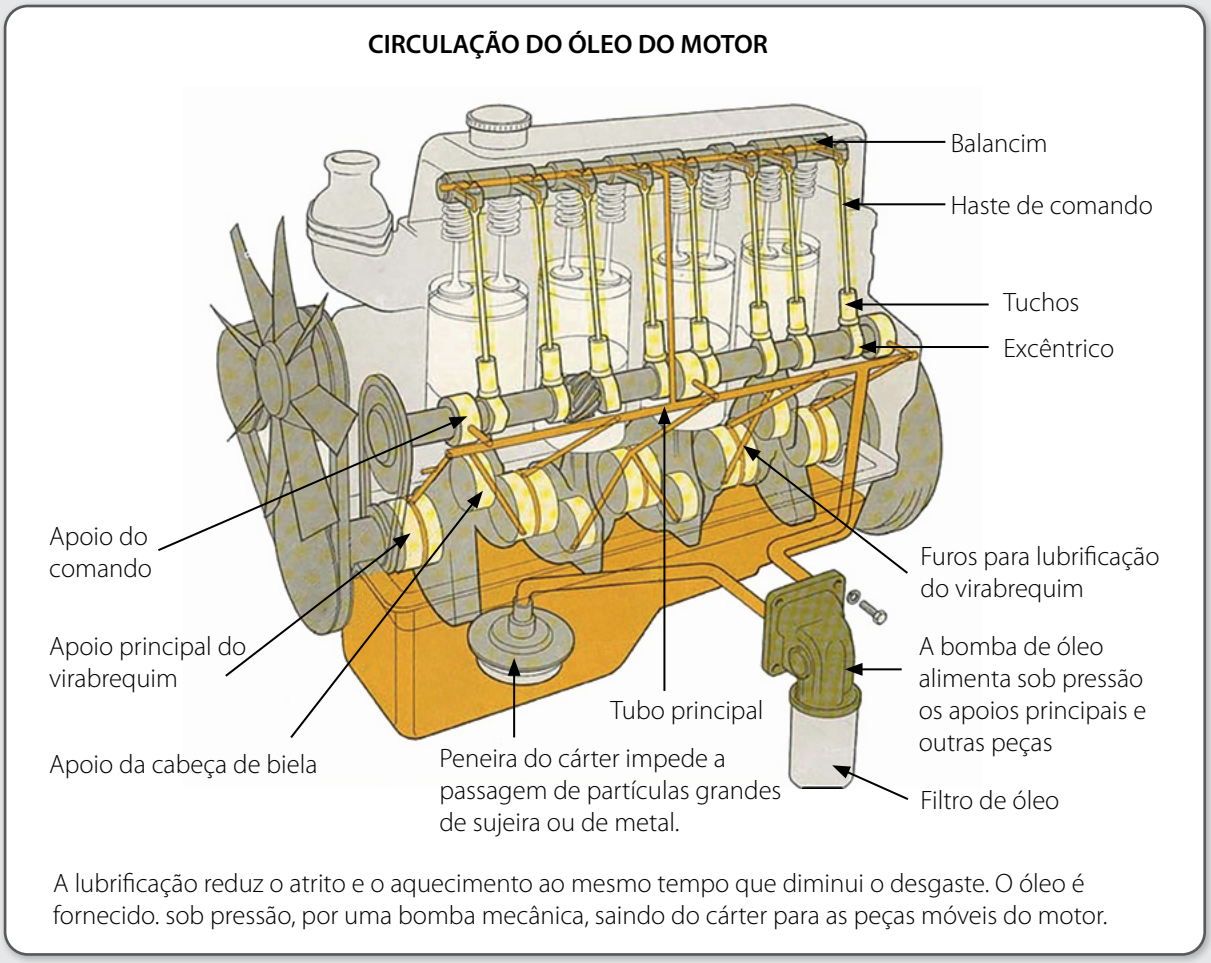
Galerias: canais dentro do bloco e cabeçote do motor por onde circula o líquido de arrefecimento resfriado, absorvendo o calor gerado pela combustão e pelo atrito das peças, e levando-o para fora do motor, para ser rejeitado através do radiador.

Termostato (ou válvula termostática): válvula controlada pela temperatura do líquido de arrefecimento, que permanece fechada quando o líquido está frio e abre a partir de uma determinada temperatura (a partir de cerca de 80 ºC) para permitir que a região do cabeçote do motor atinja a temperatura de trabalho ideal no início de funcionamento do motor e só permita que o líquido circule por ali a partir do momento em que o motor já tem uma temperatura de trabalho suficiente.

3.6.4 Sistema de lubrificação

O funcionamento do motor *diesel* consiste de movimento relativo entre peças fixas e peças móveis. Esse movimento gera atrito, que além de calor, pode levar a desgaste de componentes. Não é possível eliminar totalmente o atrito, mas é possível reduzi-lo muito transformando o atrito seco entre as peças em atrito fluido, entre camadas de um material lubrificante aderido nas superfícies dos metais. E é essa a função do sistema de lubrificação: fazer com que um óleo lubrificante seja forçado a circular entre as superfícies móveis e fixas, diminuindo o atrito entre elas, aumentando a eficiência do conjunto e diminuindo as perdas decorrentes do atrito.

Figura 113 – Sistema de lubrificação do motor.



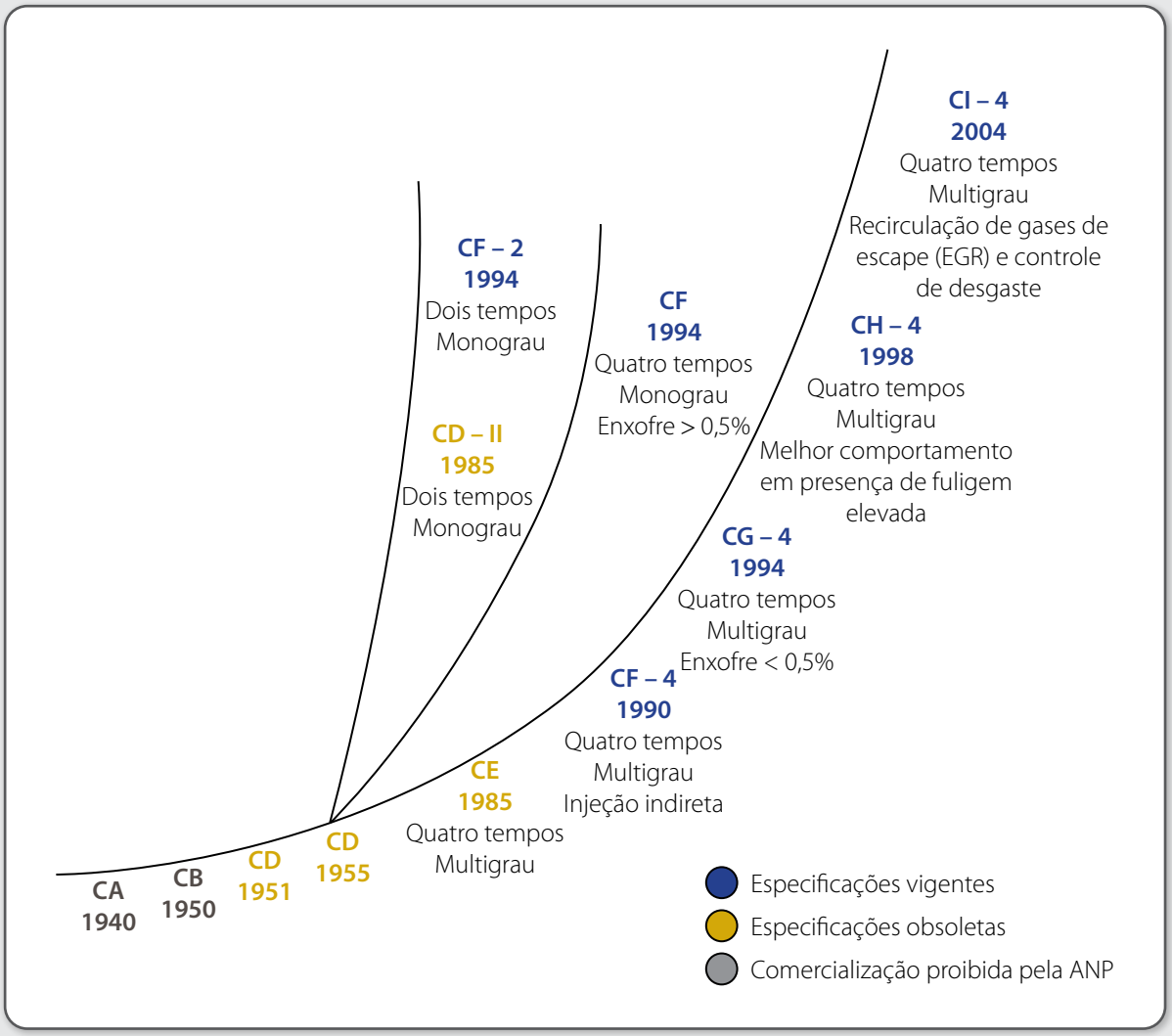
Fonte: COSTA, 2002.

Da mesma forma como ocorre em outros sistemas, o sistema de lubrificação é dotado do filtro de óleo, que tem por função remover partículas de metal ou outros contaminantes que possam estar misturados ao óleo do motor, garantindo que o óleo limpo possa chegar às partes móveis para lubrificá-las, evitando desgaste abrasivo dos componentes lubrificados.

Classificação dos lubrificantes

À medida que os motores evoluíram ao longo dos anos, também foi necessário que os lubrificantes evoluíssem. As técnicas de fabricação melhoraram, o que permitiu o desenvolvimento de motores mais eficientes, de mais alta potência, com maiores rotações e maiores temperaturas e pressões de operação. Assim, à medida que surgiam novas tecnologias, os lubrificantes também se tornavam mais avançados, graças ao surgimento de aditivos químicos mais avançados misturados aos óleos minerais, bem como às tecnologias de manipulação dos óleos minerais para rearranjo de cadeias químicas, resultando nos óleos sintéticos. A Figura 114 mostra a evolução das classificações dos óleos lubrificantes para motores, segundo a API (American Petrol Institute – Instituto Americano do Petróleo).

Figura 114 – Evolução das especificações de óleos para motores *diesel*.



Fonte: TEXACO, 2005.

Para motores operando em diferentes condições de clima, e com variações bruscas de temperatura ambiente, foram desenvolvidos os lubrificantes multiviscosos, que possuem um padrão de viscosidade a baixa temperatura e um padrão de viscosidade diferente a alta temperatura, adequados para início de funcionamento e para funcionamento normal dos motores. A Tabela 12 apresenta as características de viscosidade dos óleos monoviscosos e multiviscosos (o W nas especificações de viscosidade vem da palavra inglesa "*winter*" – "inverno").

Tabela 12 – Classificação de viscosidades para óleos de motor.

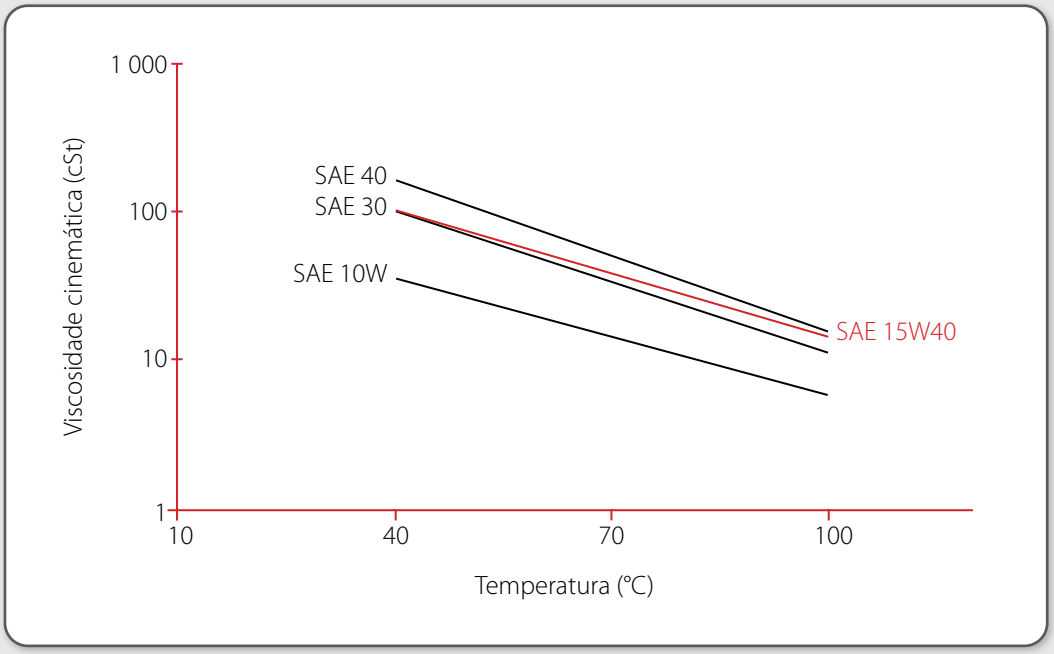
SAEJ300 Janeiro 2001*					
Grau de viscosidade SAE	Viscosidades a baixas temperaturas		Viscosidades a altas temperaturas		
	Viscosidade máxima[b] (cP)	Viscosidade máxima[c] (CP)	Viscosidade[d] (cSt a 100°C)		Viscosidade[e] (cP a 150°C)
			Mínimo	Máximo	
0W	6.200 até –35°C	60.000 até –40°C	3,8	–	
5W	6.600 até –30°C	60.000 até –35°C	3,8	–	
10W	7.000 até –25°C	60.000 até –30°C	4,1	–	
15W	7.000 até –20°C	60.000 até –25°C	5,6	–	
20W	9.500 até –15°C	60.000 até –20°C	5,6	–	
25W	13.000 até –10°C	60.000 até –15°C	9,3	–	
20	–	–	5,6	<9,3	2,6
30	–	–	9,3	<12,5	2,9
40	–	–	12,5	<16,3	2,9[f]
40	–	–	12,5	<16,3	2,9[g]
50	–	–	16,3	<21,9	3,7
60	–	–	21,9	<26,1	3,7

Reimpresso com a permissão do SAE j300 © 2004 Society of Automotive Engineers, Inc.
a) 1cP = 1 m Pa. s; 1 cST = 1 mm2/s
b) Viscosidade aparente utilizando o Simulador de partida a frio (CCS) – Método ASTM D 5293.
c) Viscosidade aparente utilizando o Viscosímetro rotativo (MRV) – Método ASTM D 4684.
d) Viscosidade cinemática utilizando Viscosímetro capilar – Método ASTM D 445.
e) Viscosidade após cisalhamento de 10^{-6} s, e temperatura de 150°C utilizando o Viscosímetro simulador de rolamento selado – Método ASTM D 4683.
f) Para óleos SAE 0W40, 5W40 e 10W40.
d) Para óleos SAE 15W40, 20W40, 25W40 e 40.

Fonte: TEXACO, 2005.

A Figura 115 ilustra um gráfico de viscosidades de óleos de motores monoviscosos e multiviscosos, permitindo verificar a flexibilidade dos óleos multiviscosos para melhor lubricidade dos motores em função das variações de temperatura.

Figura 115 – Comparativo de viscosidade entre óleos monograu e multigrau.



Fonte: TEXACO, 2005.

3.6.5 Sistema de carga e partida

Toda a potência dos motores *diesel* pode ser mais bem aproveitada se for possível interromper o funcionamento do motor e reassumi-lo sempre que necessário. Isso é possível devido ao sistema de carga e partida, que permite que o motor seja recolocado em funcionamento sempre que necessário depois de ter sido parado, o que ainda evita o gasto desnecessário de combustível. Um sistema de carga e partida típico possui três componentes: bateria, motor de partida e alternador.

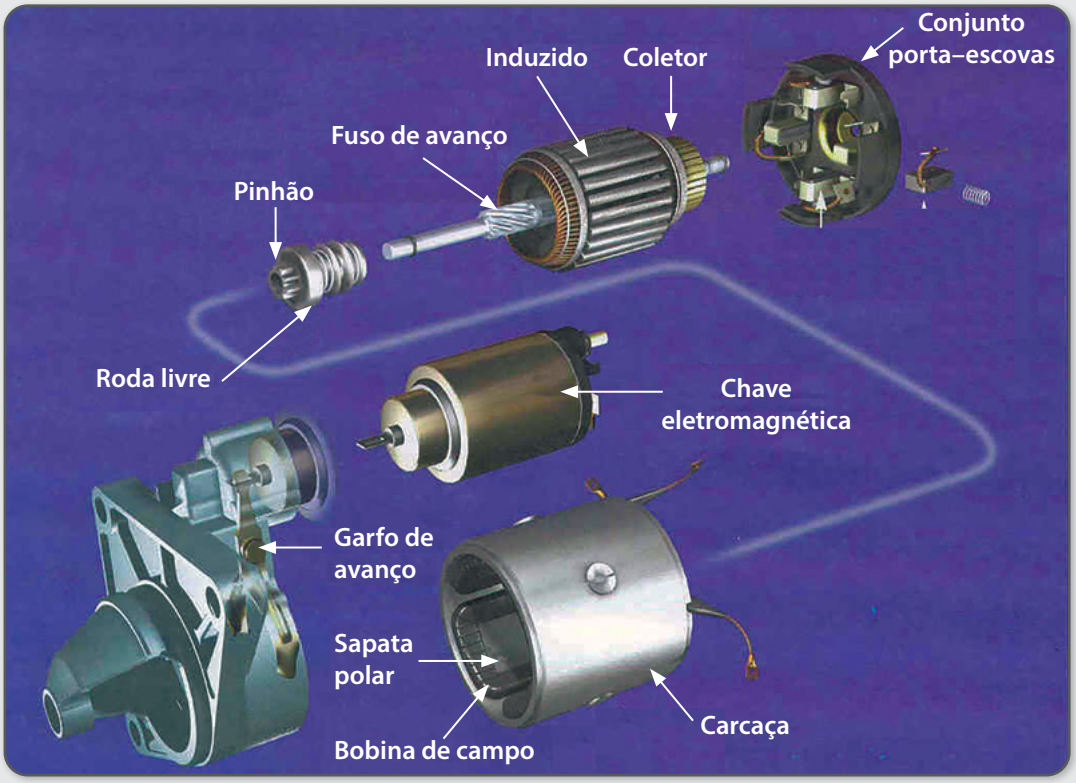
Bateria: armazena energia necessária para o início de funcionamento do motor e outros componentes elétricos, convertendo energia química em energia elétrica. É formada por células com placas de chumbo imersas numa solução de ácido sulfúrico (Figura 116). Quando a bateria está sendo exigida, ocorre a dissociação do ácido sulfúrico, em íons positivos e negativos que vão para polos diferentes, gerando a corrente elétrica necessária para o funcionamento dos componentes. Quando a bateria está sendo carregada, a corrente elétrica faz com que o ácido sulfúrico seja formado novamente, pela associação dos íons antes separados.

Figura 116 – Bateria automotiva típica.

Fonte: SENAI, 2006.

Motor de partida: motor elétrico de corrente contínua que recebe corrente elétrica da bateria para colocar o motor em funcionamento (Figura 117). Ao mesmo tempo em que o motor de partida começa a girar, um pinhão é avançado e engrena na cremalheira do volante do motor, fazendo com que esta gire o virabrequim, colocando todas as partes móveis do motor em movimento a baixa velocidade, até que ocorram as primeiras detonações, que colocarão o motor em funcionamento.

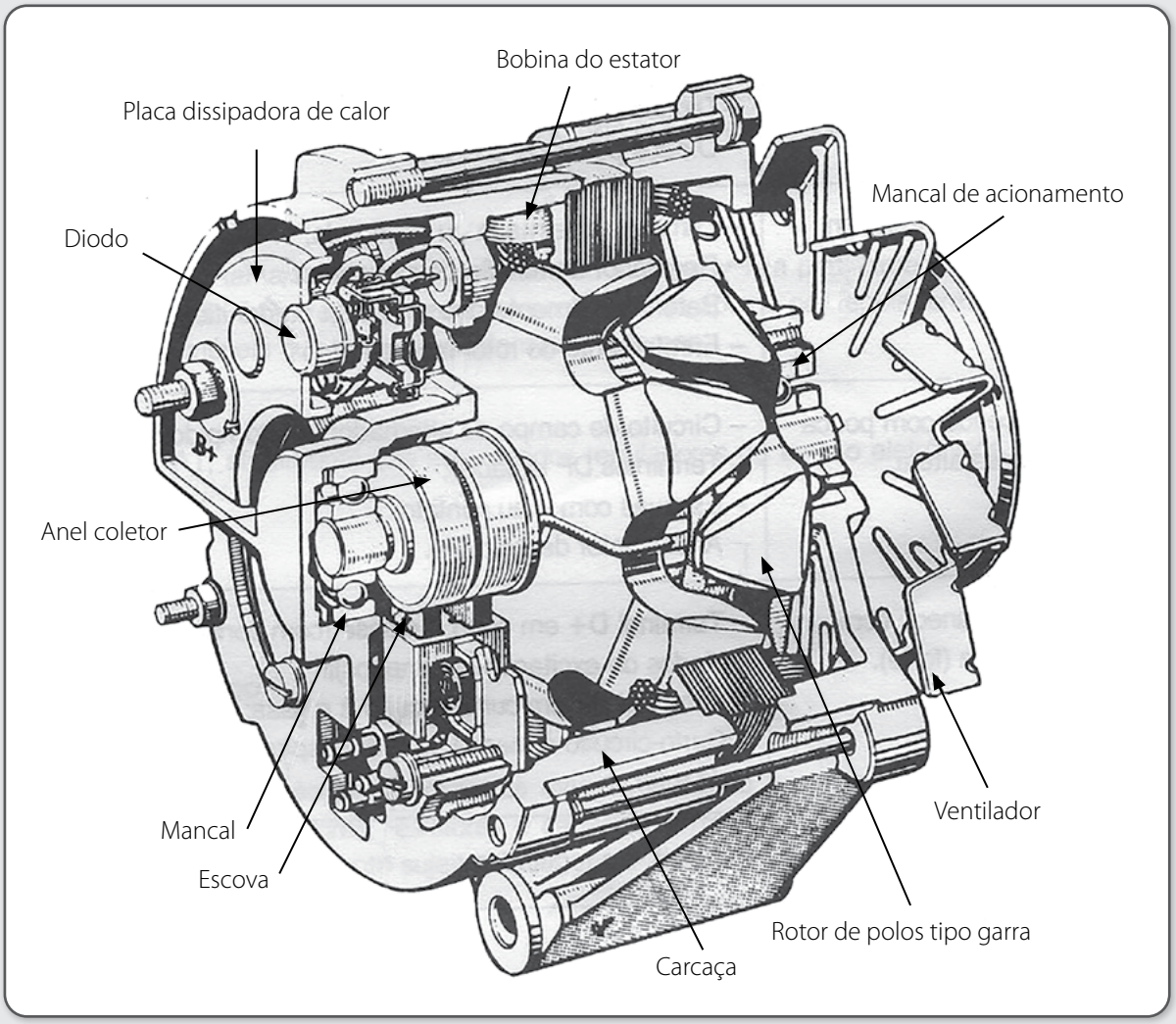
Figura 117 – Motor de partida e seus componentes.



Fonte: SENAI, 2006.

Alternador: é um gerador de corrente alternada movido pelo motor através de uma correia ligada à polia do virabrequim. Conjugada ao alternador, existe uma placa de diodos que atua como retificadora de corrente, transformando a corrente alternada gerada em corrente contínua, para carregar a bateria e suprir de eletricidade todos os componentes do veículo ou máquina. Há também um regulador de voltagem que compensa as variações de rotação do motor, mantendo o funcionamento uniforme.

Figura 118 – Vista em corte de um alternador.

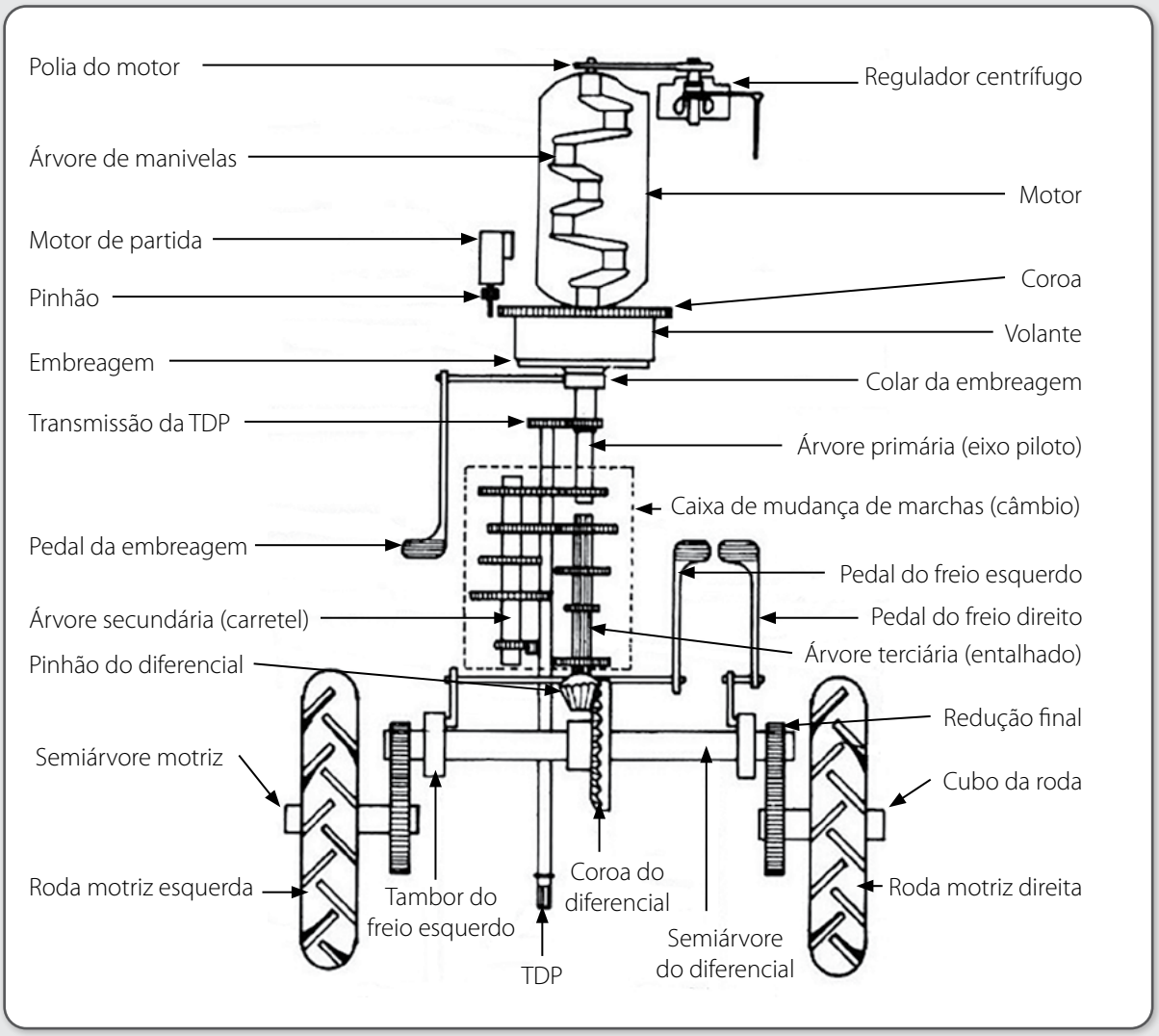


Fonte: SENAI, 2006.

3.7 TRANSMISSÃO (TREM DE FORÇA OU *POWERTRAIN*)

Somente o motor não é suficiente para que uma máquina ou veículo possa se deslocar. Para isso, são necessários outros componentes, para reduzir a velocidade, mudar a direção e permitir o início suave e a interrupção do movimento. Esses componentes fazem parte do sistema de transmissão. A Figura 119 ilustra, além do motor, todos os demais componentes da transmissão de um trator agrícola.

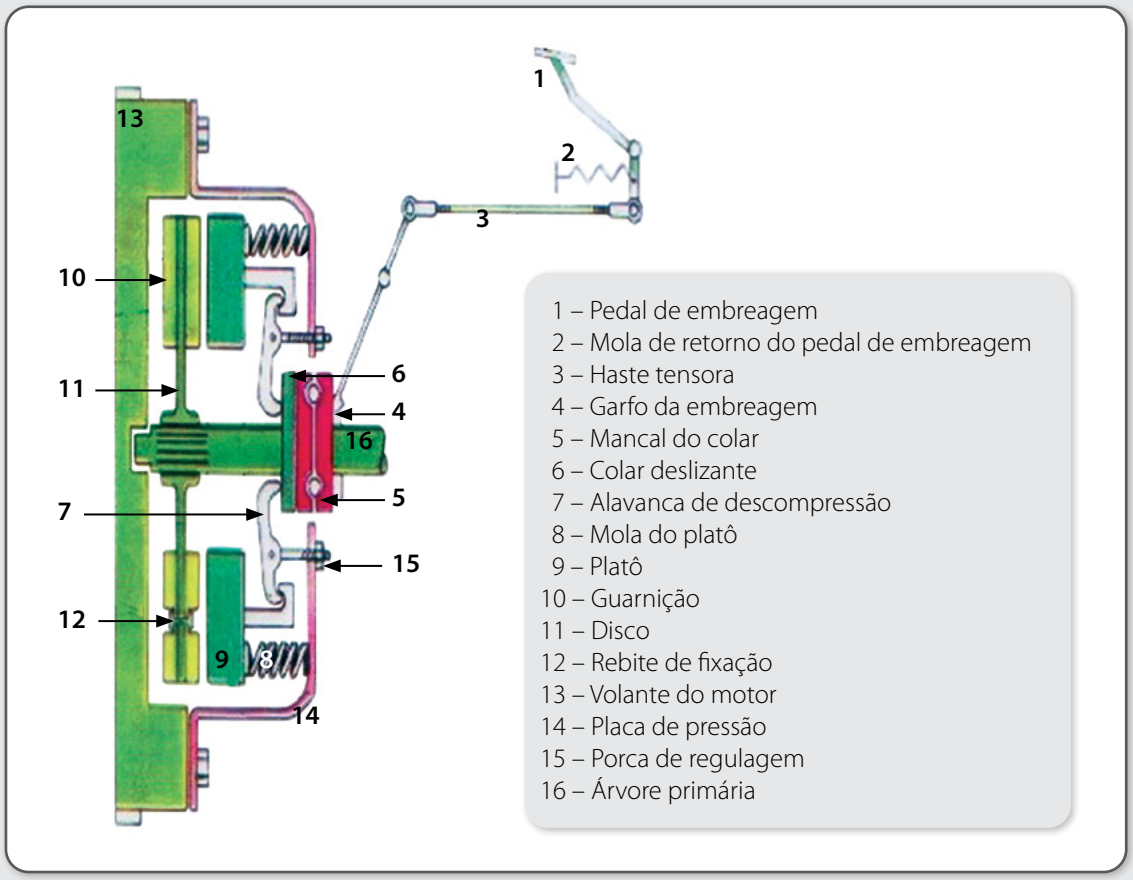
Figura 119 – Componentes de um trator agrícola (inclusive transmissão).



Fonte: SANTOS FILHO e SANTOS, 2001.

Embreagem: é um componente de fricção do sistema de transmissão, que permite que a potência de motor seja temporariamente desvinculada do restante do sistema de transmissão, permitindo, entre outras coisas, o início suave do movimento, as mudanças de marchas do câmbio, a mudança de sentido de deslocamento e a parada total do veículo ou máquina sem forçar o motor a parar.

Figura 120 – Sistema de embreagem monodisco.



Fonte: GADANHA JUNIOR, 2010.

3.7.1 Transmissão mecânica

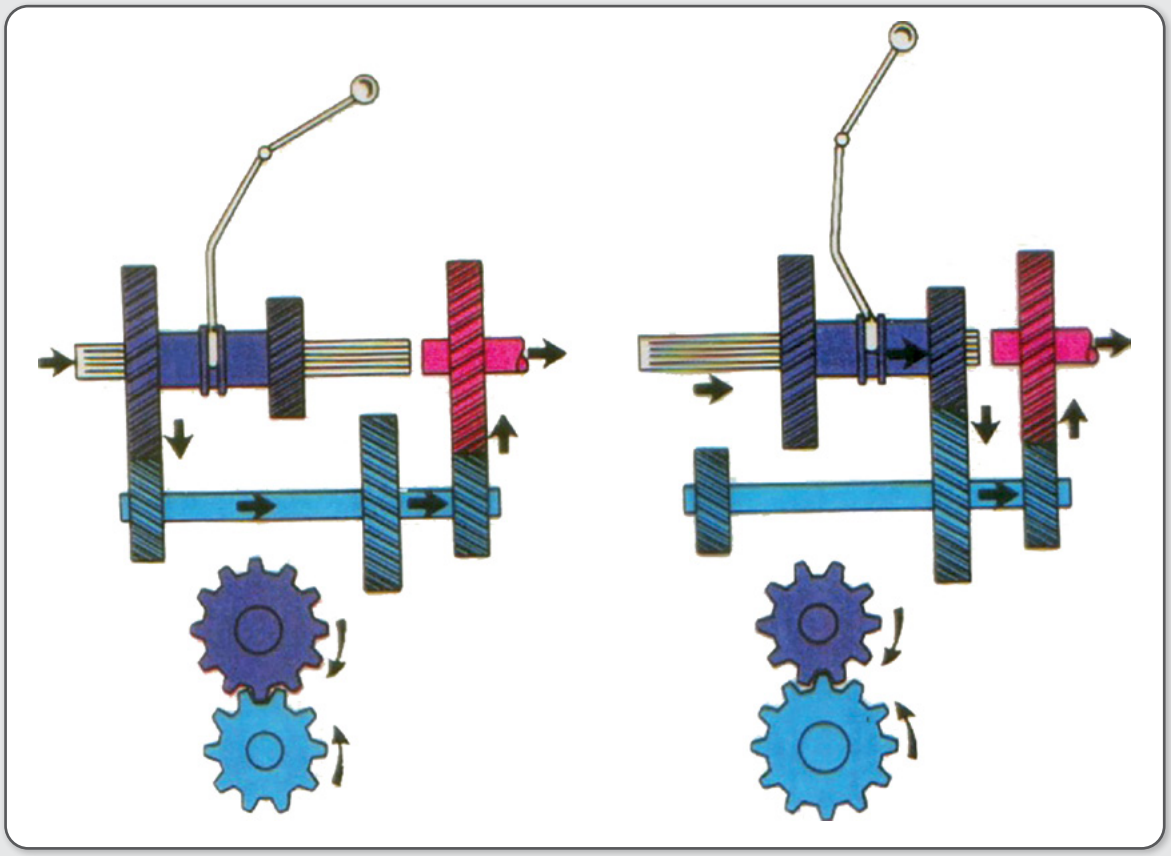
Uma transmissão mecânica é formada por uma série de mecanismos que tem como objetivo principal transformar a alta velocidade de rotação e o torque disponível do motor em baixas velocidades e elevado torque, necessários para a movimentação das máquinas e fornecimento de força de tração ou potência de eixo para implementos, acessórios e equipamentos destas máquinas. A seguir, estão relacionados os principais componentes de uma transmissão mecânica.

Caixa de mudanças: formada por eixos e engrenagens que reduzem a rotação do motor conforme a marcha selecionada, proporcionando aumento do torque e adequação da velocidade à necessidade do momento. Também é pela caixa de mudanças que se tem a inversão do sentido de movimento. Considerando-se que o motor gira sempre para o mesmo lado, é na caixa de mudanças que ocorre a reversão do sentido de giro da transmissão, possibilitando que o veículo ou máquina possa se deslocar também para trás. As caixas de mudanças mais antigas eram dotadas de engrenagens deslizantes, que corriam sobre um eixo quando acionadas por garfos e eixos manipulados pela alavanca de mudanças.

As caixas de mudanças mais modernas são dotadas de engrenagens de engrenamento constante, que são acopladas e desacopladas por luvas de engate dentadas, montadas por dentro das engrenagens e por fora dos eixos. Além disso, as caixas de mudanças mais modernas possuem os chamados anéis sincronizadores, que igualam a velocidade de rotação entre os eixos e as engrenagens das marchas para suavizar e facilitar o processo de mudanças de marchas.

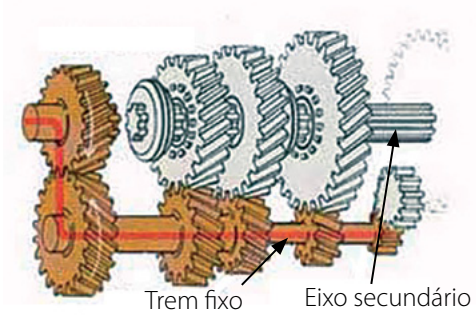
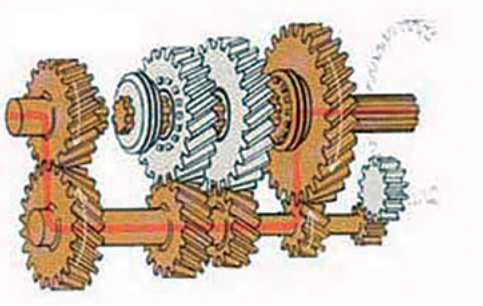
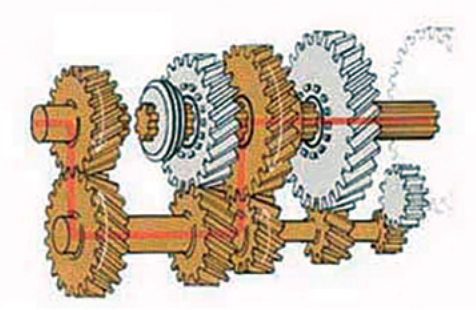
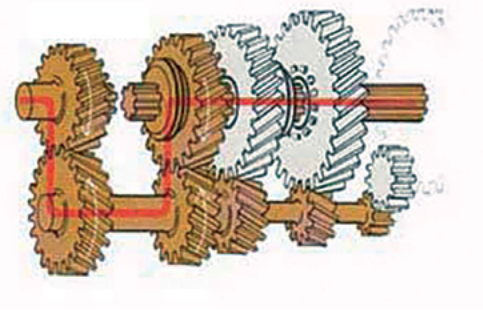
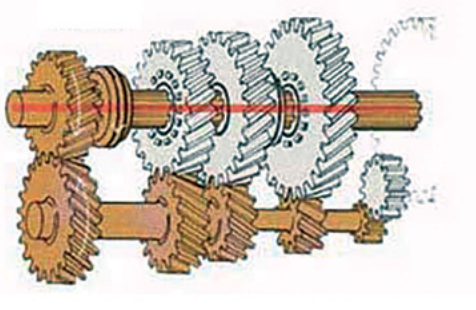
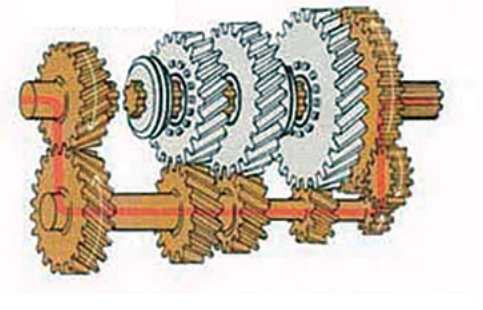
A Figura 121 ilustra uma caixa de mudanças com engrenagens deslizantes, enquanto a Figura 122 ilustra uma transmissão de engrenamento constante e os fluxos de potência para um esquema de quatro marchas à frente e uma marcha a ré.

Figura 121 – Caixa de mudanças com engrenagens deslizantes.



Fonte: GADANHA JUNIOR, 2010.

Figura 122 – Fluxos de potência numa transmissão de engrenamento constante.

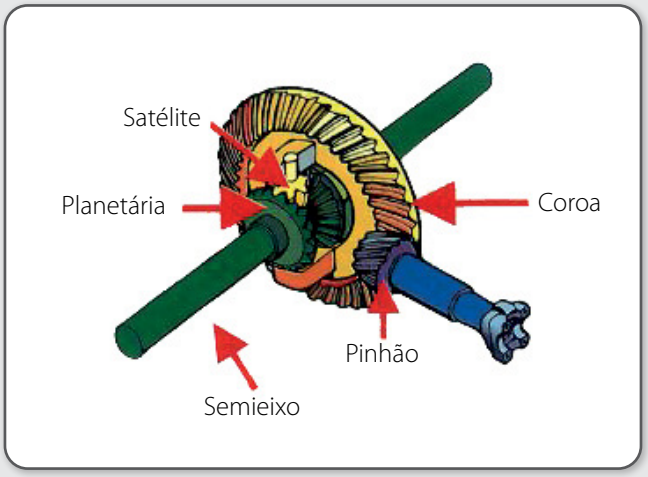
PONTO MORTO	PRIMEIRA
	
Todas as engrenagens, exceto as três necessárias para a inversão da marcha, estão permanentemente engrenadas. As engrenagens do eixo secundário giram à volta deste., enquanto as do trem fixo permanecem imóveis. Em ponto morto não há qualquer transmissão de energia mecânica.	Enquanto se engrena essa velocidade, a engrenagem apropriada fica fixa no eixo secundário, transmitindo-se a energia mecânica. Em primeira velocidade, recorre-se à redução mais elevada para se obter um torque mais elevado a baixa velocidade da marcha.
SEGUNDA	**TERCEIRA**
	
Em segunda velocidade, uma menor redução proporciona um menor aumento de torque.	A terceira velocidade utiliza uma redução ainda menor, enquanto a prise é obtida ligando o eixo primário diretamente ao secundário, de maneira que a potência seja transmitida através da caixa de mudanças, sem intervenção das rodas dentadas engrenadas.
QUARTA	**MARCHA À RÉ**
	
A quarta velocidade direta as perdas por atrito são insignificantes, enquanto nas outras velocidades ocorrem perdas de cerca de 3%.	Em marcha à ré, uma terceira engrenagem, a engrenagem intermediária, inverte o sentido da rotação normal do eixo secundário.

Fonte: FLUXOS, s.d.

Diferencial: é um conjunto de engrenagens que opera dentro do conjunto de redução coroa-pinhão, que muda a direção do torque do eixo longitudinal ("de comprido" com o veículo ou máquina) para o eixo transversal ("de atravessado", de lado). A função do diferencial é compensar a diferença de velocidades entre as rodas do lado de fora e do lado de dentro de uma curva, mantendo a transmissão de torque para ambas as rodas.

Tratores agrícolas e veículos que operam em condições de fora de estrada são dotados de sistemas de bloqueio do diferencial, que anulam temporariamente a função do diferencial, transmitindo o torque por igual para as rodas motrizes de ambos os lados. O uso do bloqueio do diferencial força o veículo a andar em linha reta, livrando-o de uma condição de pouca aderência de uma das rodas, enquanto o diferencial atuando normalmente tende a transferir o torque "para onde for mais fácil", ou seja, para a roda que está deslizando.

Figura 123 – Diferencial e suas partes.



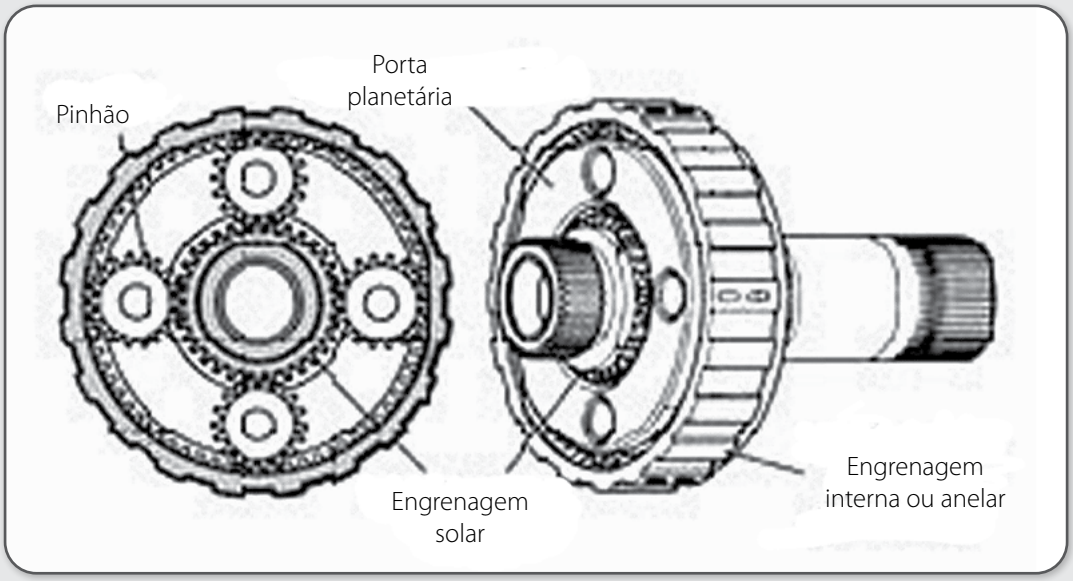
Fonte: DIFERENCIAL, s.d.

3.7.2 Transmissão tipo *powershift*

É uma variação da transmissão mecânica comum, em que as mudanças de marchas são realizadas sem que se precise interromper o fluxo de potência para as rodas. A denominação da transmissão, se traduzida "ao pé da letra" informa exatamente isso. Resulta da junção das palavras *power* = potência + *shift* = mudar. Isto é: mudar de marcha com potência, sem interromper o fluxo de potência (como se faz com a embreagem tradicional).

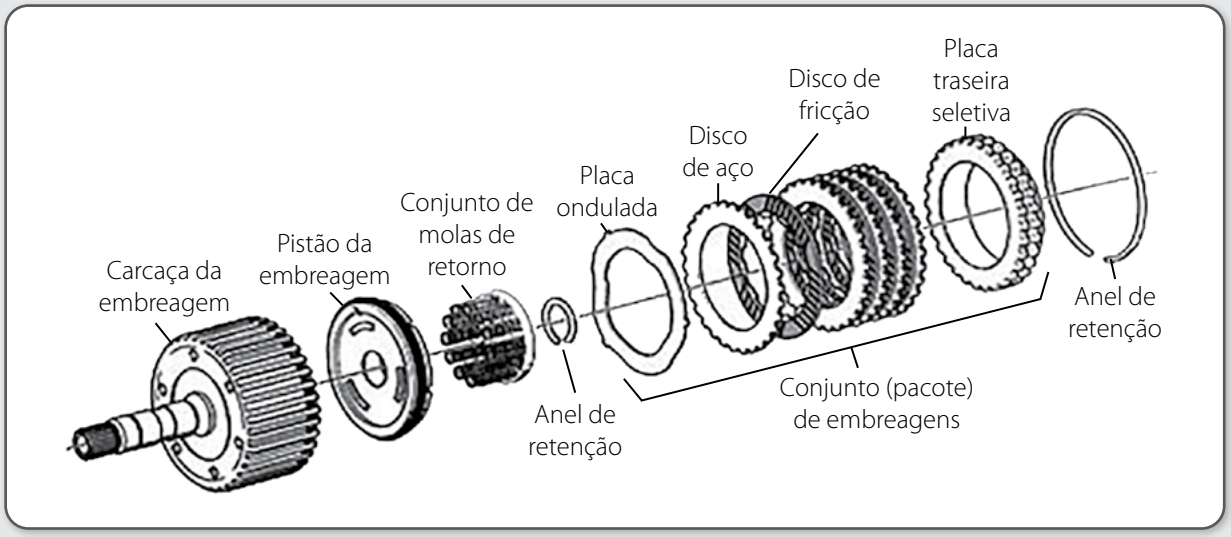
Uma transmissão tipo *powershift* é formada por redutores planetários que são acoplados aos eixos da transmissão (para atuar) ou vinculados à carcaça da transmissão (para deixar de atuar) através de conjuntos de embreagens e freios multidiscos a banho de óleo, atuados também por êmbolos hidráulicos. Para melhor entendimento, segue ilustração de um redutor planetário (Figura 124), de um conjunto de embreagem multidiscos (Figura 125) e de uma transmissão *powershift* (Figura 126).

Figura 124 – Redutor planetário (ou epicíclico).



Fonte: REDUTOR, s.d.

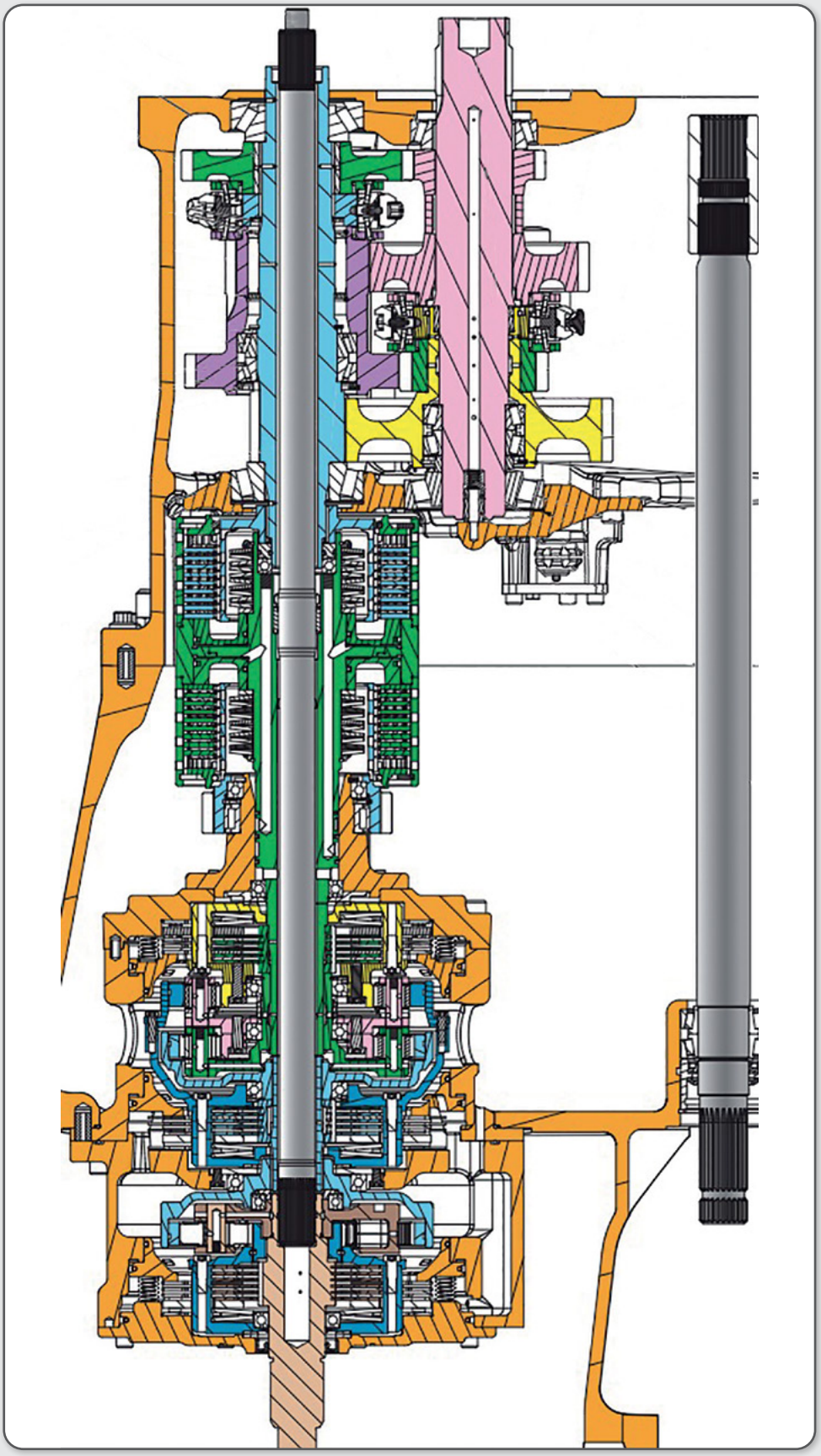
Figura 125 – Embreagem multidiscos.



Fonte: EMBREAGEM, s.d.

Na Figura 126 temos uma vista em corte de um conjunto de transmissão tipo *powershift*, para melhor visualização dos componentes internos.

Figura 126 – Transmissão *powershift* em corte.



Fonte: MASSEY FERGUSON, 2012.

4 PRINCÍPIOS DE HIDRÁULICA

4.1 CONCEITOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA

Por definição, a hidráulica é a ciência que estuda os líquidos em movimento, podendo envolver o estudo dos líquidos em repouso (hidrostática), o escoamento de fluidos levando-se em conta a sua velocidade (hidrocinética) e o estudo dos fluidos levando em conta as forças envolvidas nos escoamentos (hidrodinâmica). Para o estudo da hidráulica aplicada a sistemas mecânicos veiculares, veremos que dois dos conceitos mais importantes estão relacionados à hidrocinética e à hidrodinâmica, respectivamente: a **vazão** e a **pressão.**

Na hidráulica aplicada a sistemas mecânicos veiculares, sempre que nos referirmos a **fluido hidráulico**, estaremos falando de óleo, apesar da ciência de modo geral não especificar um fluido específico (em hidráulica predial, por exemplo, o fluido em questão é água). O óleo hidráulico de origem mineral, derivado do petróleo, é o mais adequado para sistemas hidráulicos de potência, porque possui todas as funções necessárias e esperadas para o fim a que se destina.

- É um meio de transferência de energia (transfere a energia hidráulica, na forma de pressão e vazão, de um ponto a outro de um sistema, onde pode ser convertida em energia mecânica por atuadores).
- É também um lubrificante, pois diminui o atrito entre as partes móveis dos sistemas.
- É um vedador, pois preenche os espaços existentes entre as peças, impedindo a entrada de outros tipos de contaminantes (umidade, poeira, ar e gases).
- Além de transferir energia mecânica, transfere também energia térmica (calor) do ponto onde é gerado para o ponto onde poderá ser dispensado para outro meio, como num trocador de calor.
- É também um agente de limpeza, pois transporta partículas de impurezas e contaminantes para ficarem retidos em filtros, controlando níveis de contaminação e mantendo o sistema isento de agentes que podem provocar desgaste e danos.

Vazão

De maneira bastante simplificada, podemos definir a vazão como sendo a quantidade de um determinado fluido que percorre uma determinada seção de uma tubulação ou componente do sistema hidráulico num determinado intervalo de tempo. Matematicamente, a vazão é definida como sendo:

Q (vazão) = V (velocidade) * A (área)

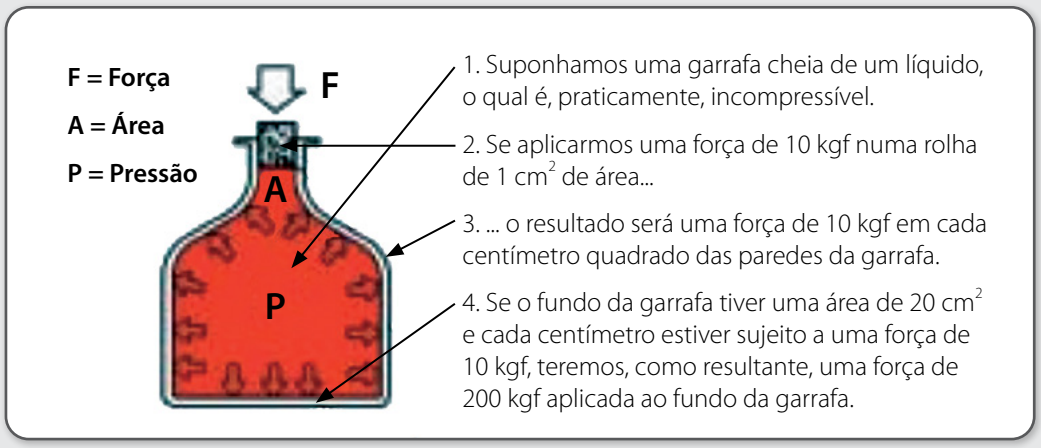
Pressão

A pressão, também de modo bastante simples, pode ser definida como sendo uma força aplicada sobre uma determinada área. Essa definição vem do princípio de Pascal, que é um dos princípios fundamentais da hidráulica. Matematicamente, a pressão é descrita como sendo:

P (pressão) = F (força) / A (área)

Segundo o princípio de Pascal, uma pressão aplicada sobre um líquido confinado se distribui igualmente em todas as direções. Esse foi o princípio que possibilitou o desenvolvimento dos primeiros sistemas hidráulicos para multiplicação de força e transmissão de potência.

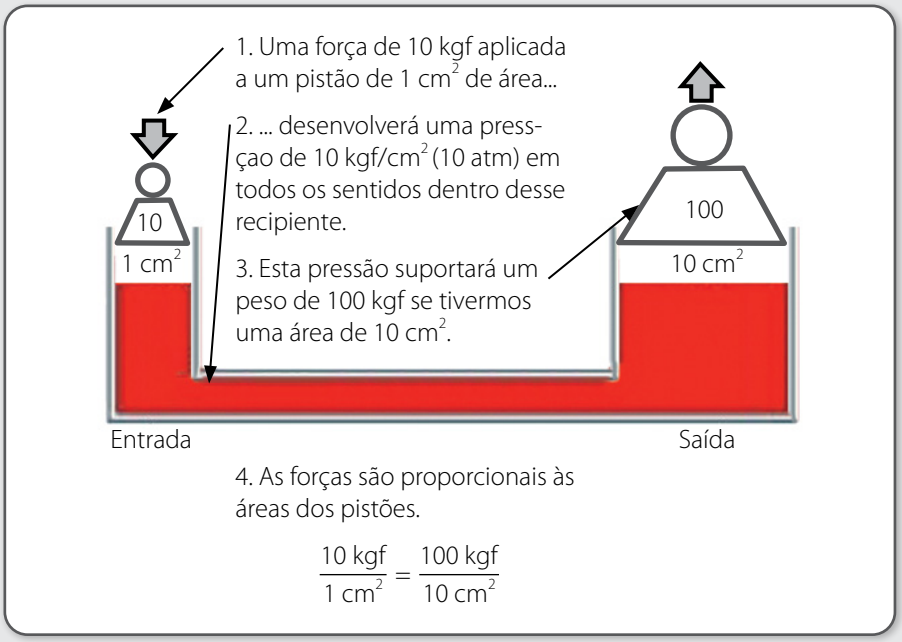
Figura 127 – Princípio de Pascal.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Foi com base neste princípio que o inventor inglês Joseph Bramah criou, em 1795, a prensa hidráulica.

Figura 128 – Princípio da prensa hidráulica.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

4.1.1 Unidades de medida de pressão e vazão

As unidades de medida das diferentes grandezas físicas devem ser expressas com base nas grandezas básicas que expressam estas relações. Lembrando o conceito de pressão, que é uma força aplicada sobre uma área, a unidade de pressão será expressa como sendo uma unidade de força (N, kgf. ou lbf) dividida por uma unidade de área (m^2, cm^2, pol^2).

Um pouco diferente é a forma como são expressas as unidades de vazão. Do conceito de vazão, temos um fluido qualquer (água, óleo, ar, gás) escoando a certa velocidade passando através de uma determinada área de seção (de um tubo, por exemplo). Quando se multiplicam unidades de velocidade (m/s, km/h, pés/s) por unidades de área (m^2, cm^2, $pé^2$, pol^2), vai se obter como resultado uma unidade de volume dividida por uma unidade de tempo.

$$\mathbf{Q\ (vazão) = V\ (velocidade) * A\ (área)}$$

$$\mathbf{[Q] = m/s * m^2}$$

$$\mathbf{[Q] = m^3 / s}$$

$$\mathbf{[Q] = [V] / [t]}$$

Conforme mostrado, a vazão também pode ser explicada como sendo um determinado volume de um fluido qualquer que escoa num determinado tempo. Essa é a forma mais simples de se entender a vazão. Por exemplo: numa fonte que tem vazão de água informada como sendo de 5.000 litros por hora, sai da fonte um **volume** de 5.000 litros de água **a cada intervalo de tempo** de 1 hora.

Com base na informação da vazão, poderíamos, se preciso, determinar a velocidade com a qual essa água passaria por um tubo de um determinado diâmetro, calculando-se a área deste tubo e dividindo a vazão informada pela área calculada do tubo, tendo o cuidado para efetuar os cálculos em unidades coerentes, fazendo as conversões de unidades sempre que necessário. Da mesma forma, poderíamos determinar o tempo necessário para se encher um tanque ou caixa-d'água de um determinado volume.

A Tabela 13 mostra as diferentes unidades de medidas empregadas para pressão e vazão, usadas no Sistema Internacional de Unidades (adotado no Brasil), sistema inglês (quase em desuso, mas adotado nos Estados Unidos) e unidades práticas ou derivadas, não padronizadas em nenhum dos dois sistemas.

Tabela 13 – Unidades de medida de pressão e vazão.

Unidades			
Grandezas	Sistema inglês	Sistema Internacional (SI)	Práticas ou derivadas
Pressão	lbf/pé^2	N/m^2 (ou Pa)	kgf/m^2, kgf/cm^2, kgf/mm^2
Vazão	pé^3/s	m^3/s	m^3/h, l/h, l/min, l/s

Fonte: Valtra do Brasil, 2014.

4.1.2 Conversão de unidades de medida de pressão e vazão

Considerando que há diferentes sistemas de unidades de medida para as grandezas físicas, é importante estabelecer relações entre elas, para que possamos nos situar corretamente ao passar de um sistema para outro, bem como para passar de uma unidade não padronizada para uma padronizada, e vice-versa. Para isso, existem fatores de conversão calculados para se converter, de forma simples, rápida e prática, as diferentes unidades de medida.

Essas conversões são importantes quando se trata, por exemplo, de testes a serem feitos em máquinas e equipamentos para se conferir ou verificar um determinado parâmetro quando uma literatura nos indica os valores em certa unidade e o instrumento de medida que temos para verificar esta unidade está em outra unidade. Com o tempo e à medida que se trabalha com diferentes unidades de pressão ou vazão, ou mesmo de outras grandezas, adquire-se o hábito e forma-se uma regra prática, ou adota-se uma aproximação que permite avaliar com critério suficiente. As Tabelas 14 e 15 apresentam fatores de conversão pré-calculados para as unidades de medidas de pressão e vazão mais usadas.

Tabela 14 – Fatores de conversão para pressão.

Para obter:	
1 kgf/cm²	MULTIPLIQUE por 0,981 bar
1 bar	MULTIPLIQUE por 1,019 quilogramas-força por centímetro quadrado (kgf/cm^2) = 1 atmosfera (atm)
1 atm	MULTIPLIQUE por 1,0132 bar
1 MPa	MULTIPLIQUE por 145,038 libras por polegada quadrada (lbf/pol^2 = PSI)
1 PSI	MULTIPLIQUE por 0,00689 megapascal
1 bar	MULTIPLIQUE por 14,50 libras por polegada quadrada (lbf/pol^2 = PSI)

Fonte: Valtra do Brasil, 2014.

Tabela 15 – Fatores de conversão para vazão.

Para obter:	
1 l/min	MULTIPLIQUE por 0,264 galões por minuto (gpm)
1 gpm	MULTIPLIQUE por 3,785 litros por minuto (lpm)

Fonte: Valtra do Brasil, 2014.

4.1.3 Instrumentos de medição de pressão e vazão

Conhecer as pressões e vazões dos componentes e subsistemas de um sistema hidráulico é uma condição importante para avaliar sua integridade, bem como diagnosticar alguma anomalia. As próprias máquinas, equipamentos e veículos possuem indicadores de pressão e vazão para os principais parâmetros de operação dos sistemas. Na maioria das vezes, as medições de vazão aparecem "maquiadas" como velocidades de rotação de motores hidráulicos ou podem aparecer como tempos de ciclo de trabalho de cilindros, que são exibidos com base no conceito básico de vazão visto anteriormente.

As pressões quase sempre são exibidas nos instrumentos em faixas de operação normais para os sistemas que monitoram (exibidas geralmente na cor verde), faixas permitidas somente por curtos intervalos de tempo (chamadas de intermitentes – de cor amarela, onde existentes) e críticas (normalmente sinalizadas com a cor vermelha), para facilitar a interpretação das informações por parte dos operadores.

No entanto, para os mecânicos, nem sempre (ou quase nunca) essas informações estão exibidas dessa forma, de modo que estes devem consultar previamente os manuais de serviço das máquinas e equipamentos para conhecerem as pressões de trabalho consideradas normais dos diferentes sistemas, assim como procurar nas seções de "Solução de problemas" (que aparecem como *"Troubleshooting"* em manuais de máquinas de projeto ou fabricação estrangeira, como JOHN DEERE™ ou CATERPILLAR™).

ATENÇÃO

Antes de discorrer sobre os instrumentos de medidas propriamente ditos, é fundamental ressaltar um aspecto importante sobre diagnósticos e testes em sistemas óleo-hidráulicos: todas as medições de pressão ou vazão, assim como todas as operações, testes e ensaios em sistemas hidráulicos devem ser realizados com o óleo em temperatura normal de trabalho – **cerca de 50 °C.**

Isso porque os óleos hidráulicos em geral são chamados de fluidos newtonianos (em homenagem ao físico inglês Sir. Isaac Newton – 1642-1727), em que a viscosidade varia com a temperatura. No caso dos óleos hidráulicos, **a viscosidade diminui com a temperatura**, isto é, quanto mais quente o óleo, menos viscoso ("mais fino") ele se torna.

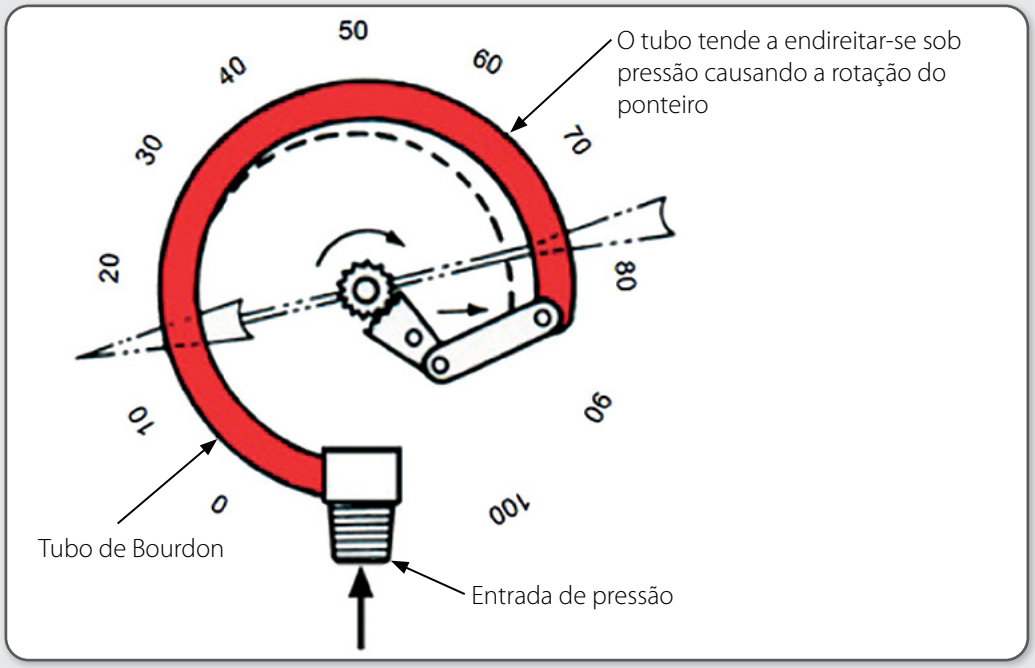
Operar máquinas ou mesmo realizar testes e ensaios com o óleo abaixo da temperatura de trabalho fará com que este esteja mais viscoso ("mais grosso") do que realmente foi especificado para trabalhar. O óleo mais viscoso tem maior dificuldade para escoar nas mangueiras e tubulações, o que provocará leituras de pressão maiores e leituras de vazão menores do que se teriam com o óleo na temperatura adequada. Além disso, o óleo mais viscoso consumirá maior potência das bombas para fazê-lo circular nos sistemas, elevando o torque necessário para o acionamento das bombas para além dos valores normais, podendo acarretar quebras de eixos e/ou acoplamentos de bombas em médio prazo. O efeito imediato do bombeamento de óleo abaixo da temperatura ideal é o maior consumo de combustível dos motores, que acionam as bombas hidráulicas dos sistemas móveis.

Manômetro

É o instrumento usado para medir pressão de um determinado sistema. A pressão, conforme conceito visto anteriormente, está relacionada com a força que um sistema hidráulico pode produzir. O tipo mais comum de manômetro utilizado, devido à simplicidade de funcionamento, ótima precisão e baixo custo, é o manômetro de tubo de Bourdon (Figura 129).

Esse tipo de manômetro mecânico tem seu funcionamento semelhante ao do brinquedo conhecido como "língua de sogra", no qual a tensão aplicada faz deformar um tubo metálico, criteriosamente projetado para este fim e cuja deformação é proporcional à pressão aplicada. Esta deformação é transmitida através de um mecanismo de engrenagens para um ponteiro, que exibe o valor da pressão num fundo de escala impresso ao redor do curso do ponteiro, e que apontará para o valor da pressão correspondente à deformação provocada no tubo.

Figura 129 – Manômetro tipo tubo de Bourdon.

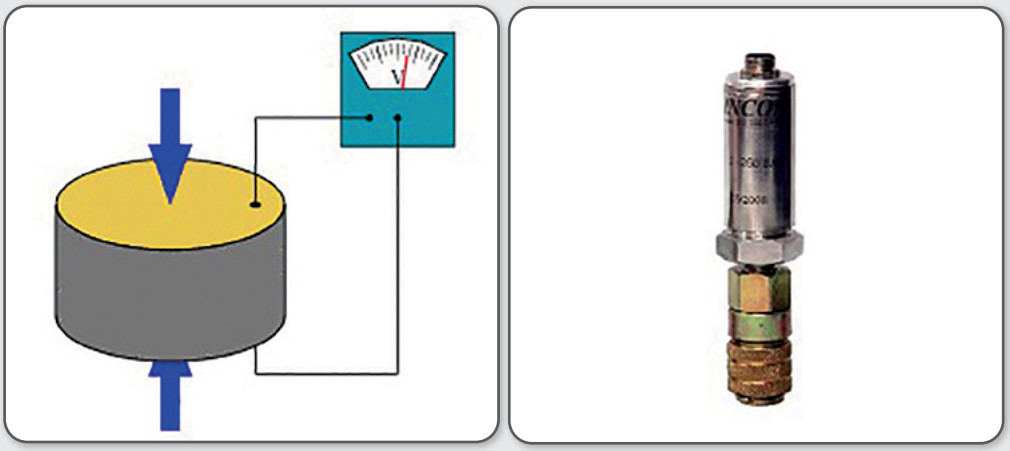


Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Há outro tipo de manômetro que é normalmente empregado em circuitos eletrônicos, conhecido como transdutor (ou transmissor) de pressão. Esse tipo de instrumento funciona com base no chamado **efeito piezelétrico**. Esse efeito é uma propriedade de alguns cristais e cerâmicas especiais que geram uma diferença de potencial (tensão) elétrico quando submetidos a uma pressão mecânica.

Conhecendo-se a correlação entre a pressão aplicada e a tensão gerada por esses cristais ou cerâmicas, é possível programar um sistema eletrônico para exibir a pressão lida em função da tensão aplicada ou mesmo informar o valor dessa pressão a uma controladora digital, que irá interagir num sistema hidráulico de alguma maneira, em função da tensão (pressão) "informada" pelo transdutor (transmissor).

Figura 130 – Efeito piezoelétrico (esquerda) e transdutor de pressão (direita).

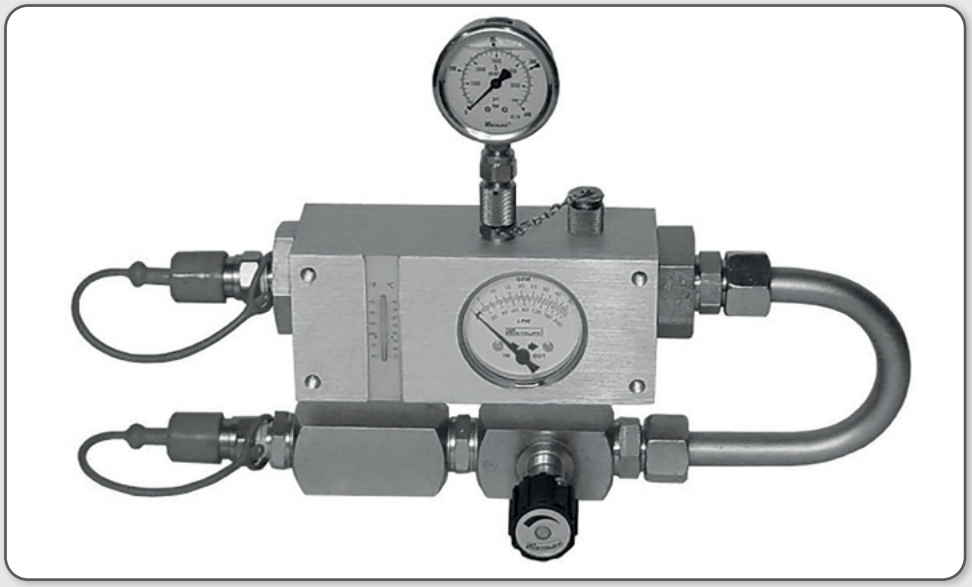


Fonte: INCON, s.d.

Fluxômetro

Instrumento destinado à medição de vazão de um sistema. Conforme visto anteriormente, a vazão está relacionada com a velocidade de um sistema hidráulico. Um fluxômetro, ou indicador de fluxo, pode ser analógico (Figura 131) ou digital (Figura 132).

Figura 131 – Fluxômetro analógico com manômetro e termômetro incorporados.

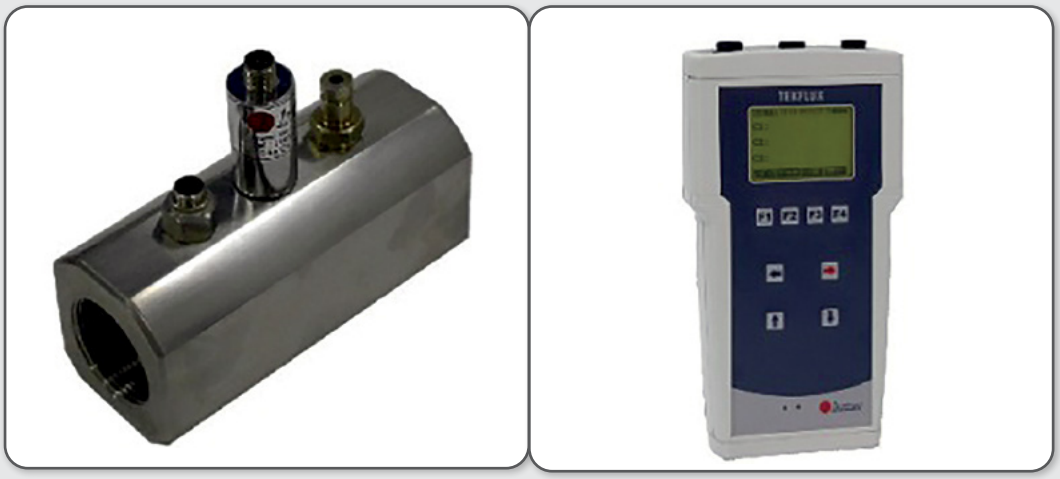


Fonte: STAUFF, s.d.

Em um fluxômetro analógico, a passagem do fluxo irá interagir com um determinado mecanismo (um flutuador ou uma turbina de fluxo, por exemplo), e indicará visualmente ou através de mecanismo a vazão instantânea daquele circuito.

Se for digital, a indicação de vazão de uma turbina de fluxo irá gerar uma frequência de pulsos elétricos, que será transmitida para um circuito eletrônico que irá decodificar estes pulsos elétricos, com base nas características construtivas do medidor, em um dado de vazão instantânea daquele circuito.

Figura 132 – Turbina de vazão (esquerda) e analisador/decodificador (direita) para fluxômetro digital.



Fonte: INCON, s.d.

4.2 COMPONENTES HIDRÁULICOS

Diversos componentes são necessários para o perfeito funcionamento de um sistema hidráulico. Analisando-se criteriosamente, há seis grupos distintos de componentes hidráulicos, classificados conforme sua função nos sistemas:

Armazenamento: são responsáveis por conter o óleo hidráulico quando os sistemas estão em repouso, bem como receber as descargas de óleo dos componentes, provenientes de drenos e alívio de componentes, auxiliando na dissipação do calor do óleo para o ambiente e contribuindo também para a redução dos contaminantes no óleo. Aqui estão incluídos os reservatórios de óleo hidráulico.

Geração: são responsáveis por transformar a energia mecânica dos acionamentos em energia hidráulica para o óleo, fazendo fluir através do sistema. Aqui, estão incluídas as bombas hidráulicas.

Distribuição: são os órgãos responsáveis por conduzir o fluido hidráulico através dos sistemas hidráulicos. Aqui, refere-se aos condutores rígidos (tubulações hidráulicas) e flexíveis (mangueiras hidráulicas). Os tubos hidráulicos rígidos, além de conduzir, ajudam a dissipar o calor do fluido hidráulico para o ambiente.

Controle: são responsáveis por direcionar, reter, desviar e descarregar o fluxo de fluido hidráulico dos componentes do sistema. Aqui estão inseridos os diferentes tipos de válvulas hidráulicas.

Atuação: são os pontos finais dos sistemas hidráulicos, responsáveis por converter novamente a energia hidráulica do fluido em energia mecânica, através de movimento linear, alternativo ou rotativo. Aqui entram os atuadores hidráulicos (cilindros e motores).

Condicionamento: são os órgãos do sistema hidráulico responsáveis por condicionar o fluido hidráulico de alguma maneira, retendo-lhes contaminantes sólidos, líquidos e retirando-lhe o calor gerado pelo trabalho no sistema. Aqui se incluem os filtros hidráulicos e resfriadores.

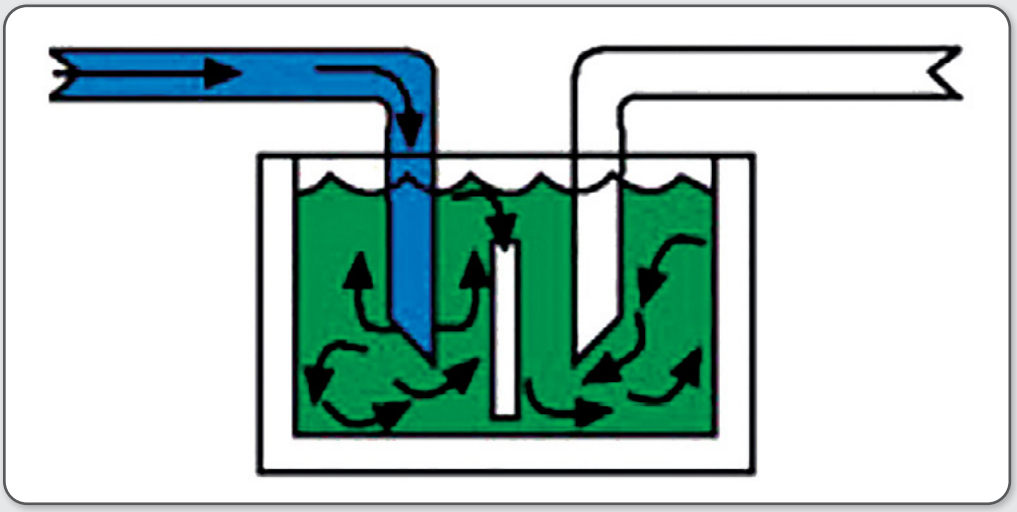
A seguir, são apresentados com maior detalhamento os componentes dos grupos de sistemas hidráulicos.

4.2.1 Reservatórios

São tanques construídos geralmente em chapas de aço, cuja área e volume são projetados para conter um volume de óleo maior do que o contido em todo o circuito, de modo a permitir a dissipação do calor através da sua superfície lateral (em contato com o meio externo) e também como forma de permitir que as bolhas de ar formadas possam se romper. Também fazem com que o óleo hidráulico descarregado neles repouse, de modo que os contaminantes sólidos mais pesados decantem e fiquem depositados no fundo deles.

Além disso, o sistema de sucção de óleo a partir dos reservatórios é projetado de modo que fique acima do fundo, exatamente para não sugar de volta para o sistema os contaminantes que ficaram sedimentados no fundo do reservatório, que poderão ser removidos mediante drenagem (purga) de um pequeno volume de óleo. Os reservatórios hidráulicos podem ser dotados também de um bujão magnético (com ímã), que atrai e retém partículas de metal presentes no óleo e que vem circulando e param no reservatório, para que não voltem para o sistema, além de permitir a identificação quando de sua remoção e limpeza.

Figura 133 – Funcionamento de um reservatório hidráulico típico.



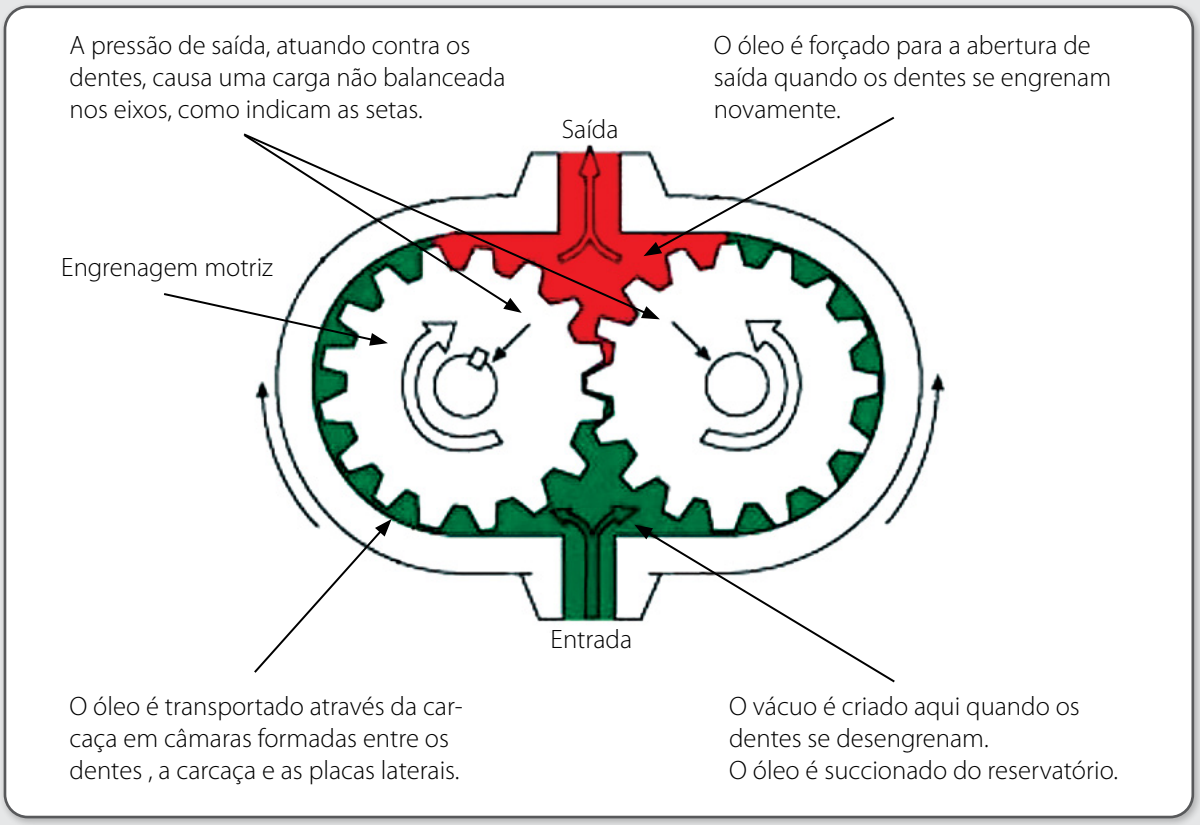
Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

4.2.2 Bombas

Conforme descrito anteriormente, são as bombas quem transformam a energia mecânica dos acionamentos em energia de fluxo para o óleo hidráulico. As bombas são as que geram a vazão do sistema hidráulico. A pressão é gerada em função das resistências ao escoamento do óleo, por exemplo, quando este se encontra confinado dentro da camisa de um cilindro hidráulico. Não tendo por onde sair, só resta ao óleo preso empurrar o êmbolo do cilindro, gerando a pressão que, nesse caso, será convertida em força. As bombas hidráulicas podem ser de vários tipos. As mais comuns em máquinas agrícolas e de construção são as bombas de engrenagens, bombas de palhetas e bombas de pistão.

Bombas de engrenagens: são formadas por uma carcaça metálica com orifícios para entrada e saída do óleo, dentro das quais há um par de engrenagens em contato permanente, sendo uma ligada ao eixo de entrada de potência do acionamento (a engrenagem motora, a que move) e a outra que fica totalmente dentro da carcaça (a engrenagem movida, que é conduzida pela motora).

Figura 134 – Funcionamento de uma bomba de engrenagens .

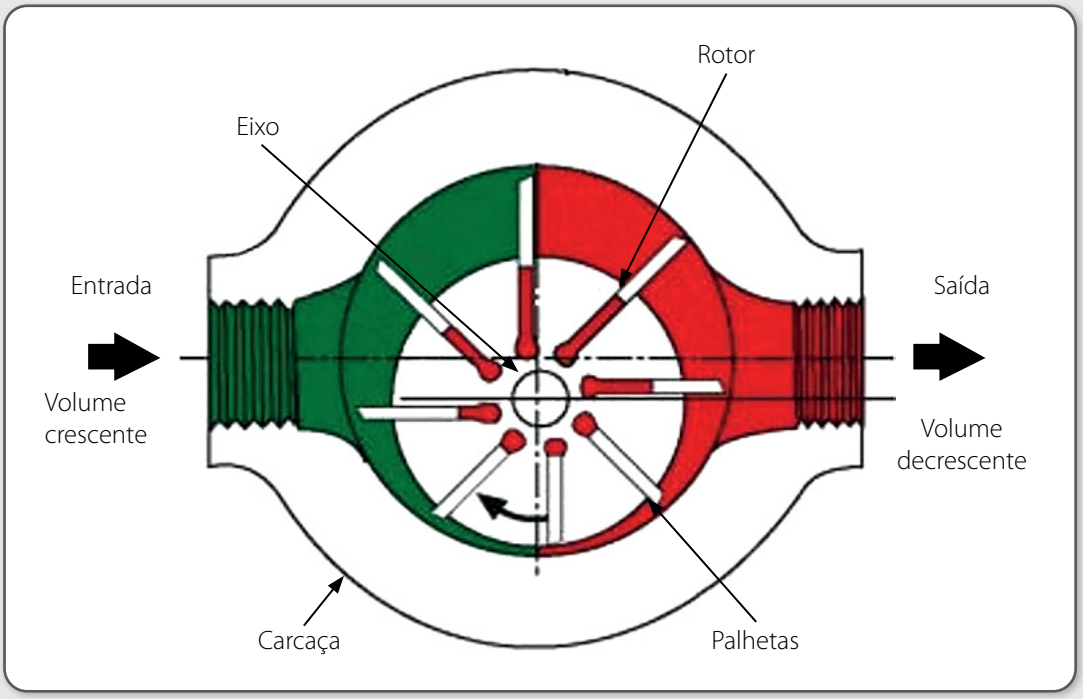


Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

O movimento de rotação de uma engrenagem faz com que a outra gire em sentido contrário, formando um vácuo na cavidade que se forma na entrada da bomba, sugando o óleo para seu interior. Esse óleo é deslocado pelos dentes das duas engrenagens pela parte de fora das engrenagens, confinada entre os espaços dos dentes e a carcaça, sendo descarregados na câmara formada na saída da bomba, vedada constantemente pelo contato dos dentes.

Bomba de palhetas: são bombas formadas por um conjunto de palhetas, fixadas a um rotor central acionado pelo eixo de entrada de potência vinda do acionamento. O contato das palhetas com a parede da carcaça é feito através da pressão do sistema que atua na base das palhetas, formando uma câmara de sucção na entrada da bomba na qual o volume aumenta com a rotação do conjunto girante, gerando vácuo que suga o óleo do reservatório. Esse óleo é comprimido para a câmara de saída, onde o volume diminui gradualmente.

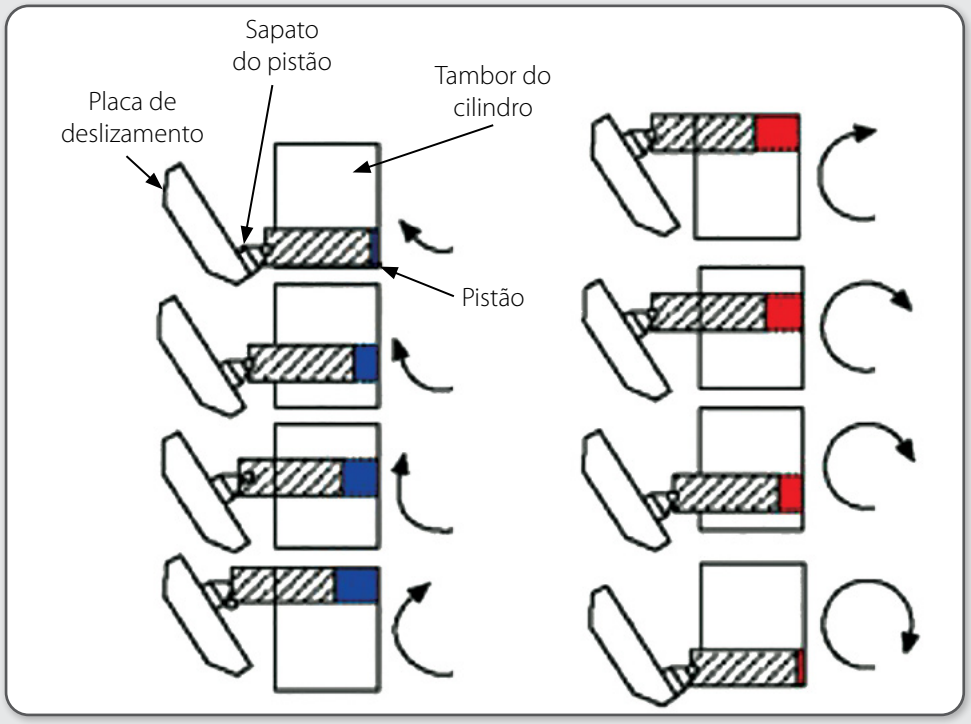
Figura 135 – Funcionamento de uma bomba de palhetas.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Bomba de pistões: são as mais usadas em sistemas hidráulicos de potência e transmissões hidrostáticas. Nesse caso, trata-se das bombas de pistões axiais, nas quais os pistões se deslocam no mesmo sentido do eixo de acionamento da bomba. Essas bombas funcionam através do movimento de oscilação ("vai e vem") de pistões, que giram apoiados sobre uma placa inclinada. Esse movimento alternativo é que succiona e descarrega o óleo hidráulico. A Figura 136 ilustra o funcionamento básico de uma bomba de pistões axiais nas várias etapas de uma volta completa de um dos pistões.

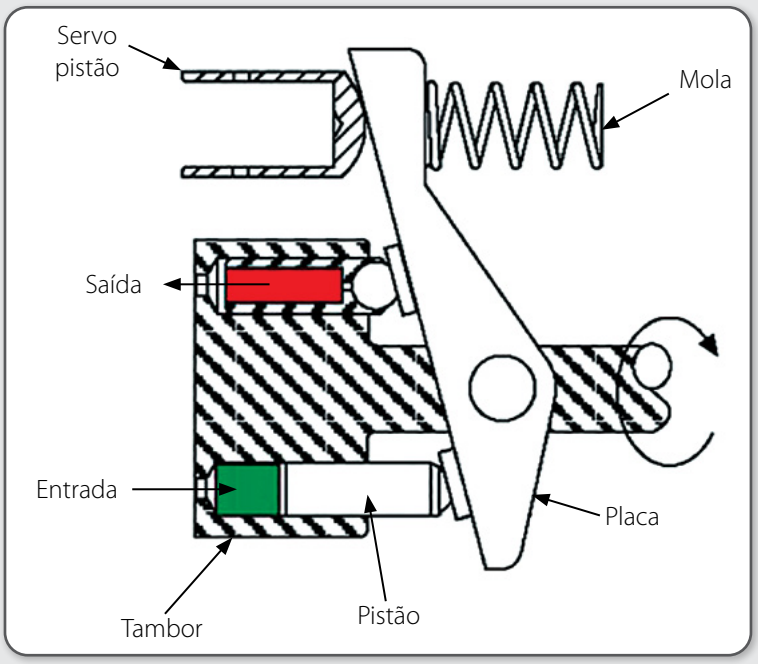
Figura 136 – Funcionamento de uma bomba de pistões.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Existem bombas de pistões axiais em que a placa inclinada é fixa. Essas bombas são chamadas de bombas de pistões axiais de vazão fixa. Há outros tipos de bombas de pistão, com um mecanismo operado por pressão hidráulica e controlado mecânica ou eletronicamente, no qual a inclinação da placa varia. Assim, o curso dos pistões também varia ao longo de uma rotação de cada um deles, de modo que estas bombas possam variar a vazão de óleo bombeado independentemente da rotação (Figura 137). Estas bombas são chamadas de bombas axiais de pistões de vazão variável.

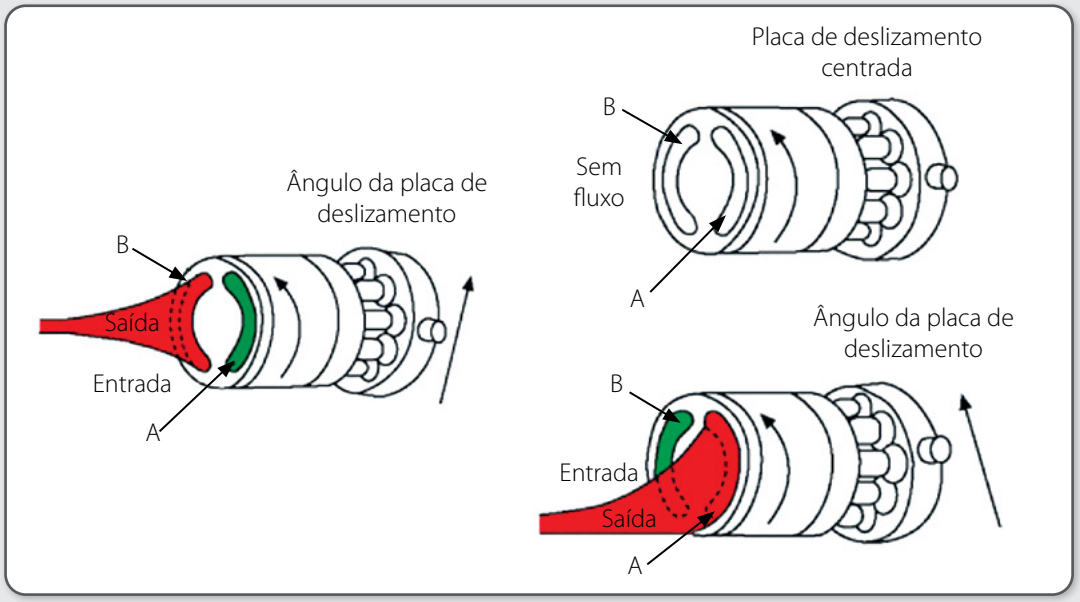
Figura 137 – Bomba de pistões axiais de vazão variável.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Há ainda bombas em que a inclinação do prato é governada de modo que sua inclinação possa, além de variar, se inverter, preservando o sentido original de giro do acionamento. Quando isso ocorre, o lado que antes succionava, passa a recalcar, e vice-versa (Figura 138). As bombas que possuem esta propriedade são chamadas de bombas axiais de pistões de vazão variável reversíveis.

Figura 138 – Bomba de pistões axiais variável reversível.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

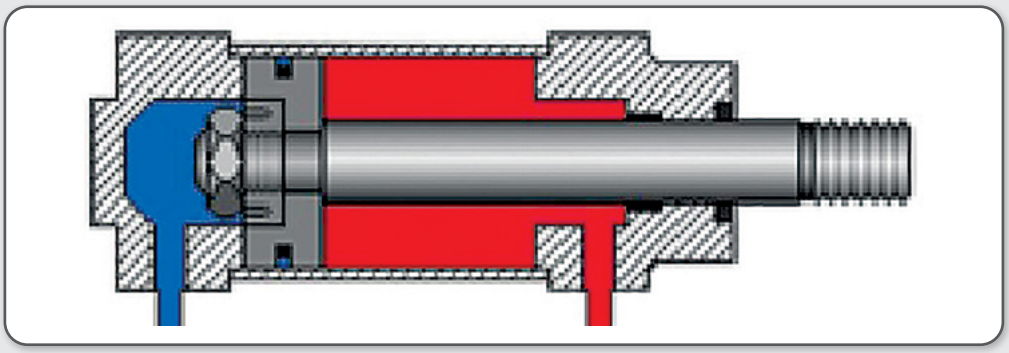
4.2.3 Atuadores

O objetivo fim de qualquer sistema hidráulico não é somente converter a potência dos acionamentos em energia hidráulica no óleo, mas transformar essa energia hidráulica em força mecânica realmente aplicável e utilizável nas tarefas das máquinas, seja na forma de força linear ou momento de força (torque). Esse é o papel dos atuadores, que são o último elo dos sistemas hidráulicos em geral, transformando a energia hidráulica do óleo em força para as diferentes tarefas e aplicações produtivas dos equipamentos. O sistema hidráulico é, portanto, um meio de conversão e transporte da potência dos acionamentos até os acessórios e implementos das máquinas e equipamentos. Os atuadores hidráulicos podem ser lineares (cilindros) ou rotativos (motores hidráulicos).

Atuadores lineares (cilindros): transformam a energia hidráulica do óleo em força. Quando o óleo bombeado é direcionado para uma das extremidades de um cilindro hidráulico, não tem mais para onde ir. Desse modo, é criada uma pressão, que se distribui igualmente em todas as direções. Como as camisas e outras partes fixas não se movem, essa pressão é direcionada para o êmbolo (a única parte do cilindro que é livre para se mover), fazendo com que este comece a se deslocar. Esse movimento do óleo continua, devido à vazão de óleo que vai entrando na camisa do cilindro, fazendo com que este se desloque a uma determinada velocidade, à medida que a camisa do cilindro vai enchendo até que o êmbolo chegue ao final do curso e a pressão gerada chegue a um limite, sendo aliviada para o reservatório hidráulico (no caso de uma bomba de engrenagens

ou palhetas) ou fazendo com que o prato da bomba retorne para a inclinação nula, parando de mandar óleo para dentro do pistão (no caso de uma bomba de pistões variável).

Figura 139 – Atuador hidráulico linear (em corte).

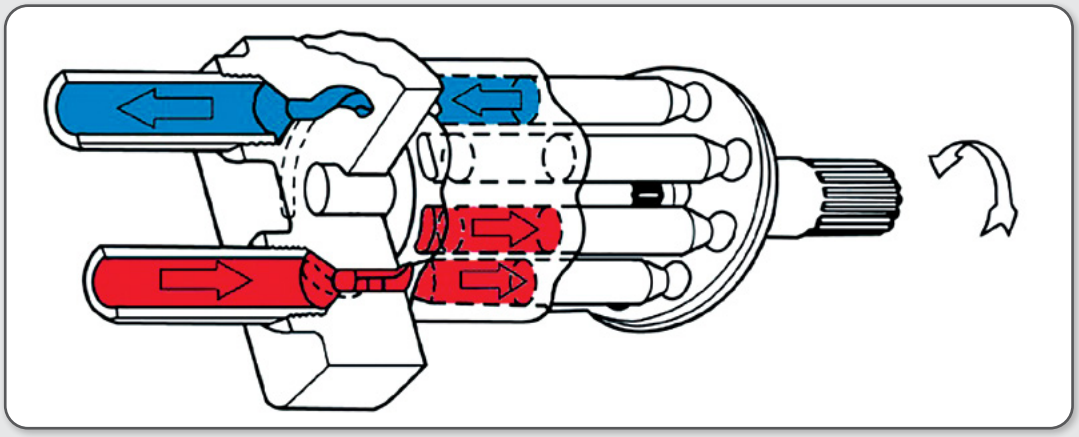


Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Motores hidráulicos: a maneira mais simples de se entender o funcionamento de um motor hidráulico é assumir que estes funcionam como "bombas hidráulicas ao contrário": enquanto as bombas hidráulicas recebem a potência mecânica do acionamento e a transformam em energia hidráulica; os motores hidráulicos recebem a energia hidráulica do óleo e transformam em potência mecânica (rotação e torque). A principal vantagem que leva a aplicação de motores hidráulicos em máquinas agrícolas e de construção é o seu tamanho compacto, seu baixo peso e elevada capacidade de realização de trabalho mecânico em função de suas dimensões e pesos.

Assim como as bombas hidráulicas, os motores hidráulicos podem ser: de engrenagens, de palhetas e de pistões. Para aplicações que demandem maior velocidade e menor torque, costumam ser empregados motores hidráulicos de engrenagens e palhetas. Por outro lado, para aplicações que demandam maior torque com menores velocidades, são empregados os motores hidráulicos de pistões. Em transmissões hidrostáticas, é comum o emprego de motores hidráulicos de pistões conjugados a redutores planetários, para multiplicar o torque de saída dos motores e reduzir suas velocidades de rotação.

Figura 140 – Motor hidráulico de pistões axiais.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

4.2.4 Válvulas direcionais

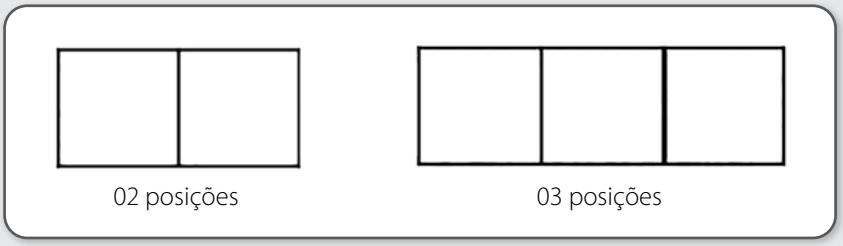
São os órgãos de controle do sistema hidráulico, direcionando o óleo para onde é requerido dentro do sistema, que pode atuar as válvulas de diferentes modos. As válvulas direcionais são os elementos que permitem escolher o avanço, recuo ou flutuação de um cilindro hidráulico, bem como o sentido de rotação de um motor hidráulico. Existem quatro características básicas para se identificar uma válvula de controle direcional:

- Número de posições
- Número de vias
- Posição normal
- Tipo de acionamento

Para facilitar o entendimento das características e aplicações das válvulas de controle direcional, será abordada a simbologia hidráulica desses componentes. O restante das simbologias hidráulicas será abordado ao longo do capítulo de hidráulica.

Número de posições: uma válvula direcional é representada simbolicamente por quadrados. Assim sendo, cada quadrado no símbolo de uma válvula indica uma posição que esta válvula tem.

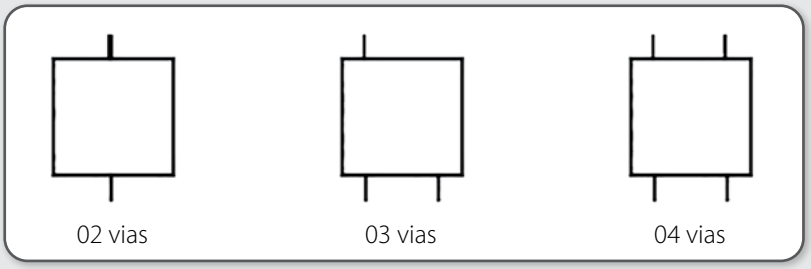
Figura 141 – Simbologia usada para válvulas direcionais de duas e três posições.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Número de vias: indica o número de conexões úteis que uma válvula possui. Simbolicamente, as vias de uma dada válvula de controle direcional são indicadas por traços na parte de fora de cada quadrado que representa as posições.

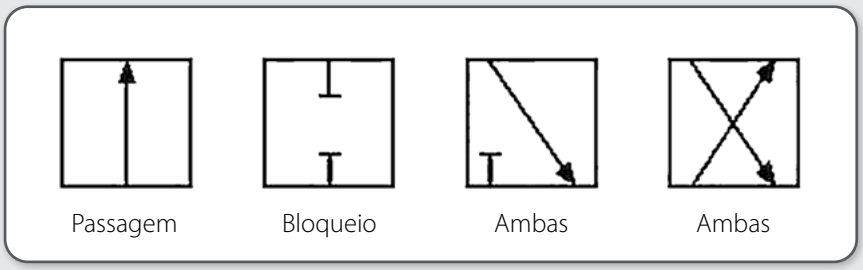
Figura 142 – Simbologia de válvulas direcionais de duas, três ou quatro vias .



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Dentro dos quadrados de cada posição das válvulas, serão ilustradas vias de passagem e bloqueio de fluxos hidráulicos, representando as funções das válvulas para cada posição em que estiverem atuando.

Figura 143 – Simbologia de vias de passagem e bloqueio em válvulas direcionais.

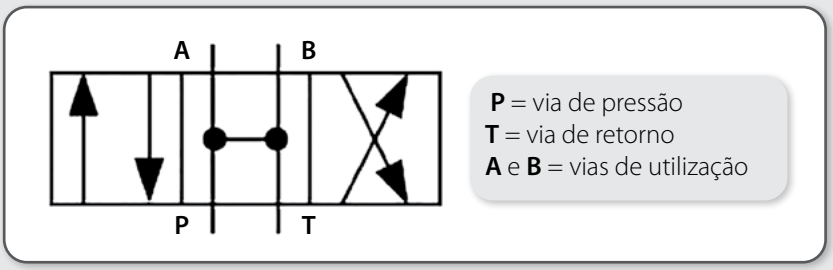


Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Para melhor entender o que são vias de passagem e bloqueio em válvulas de controle direcional, basta associarmos que uma via de passagem indica que o óleo vai de uma via para outra por dentro da válvula. Se for uma via de bloqueio, o óleo só entra e não sai, ficando parado. Desse modo, se houver uma passagem numa via da válvula de controle, deverá haver pelo menos duas vias. Se houver um bloqueio, deverá haver pelo menos uma via. Indo além, se houver uma passagem e um bloqueio numa dada posição de uma válvula de controle, esta deverá ter trêsvias (duas para passagem e uma para bloqueio) e se houver duas passagens, esta válvula deverá ter quatro vias (duas para cada passagem). Uma válvula também pode ter quatro vias se tiver uma passagem e dois bloqueios.

De modo geral, as vias de utilização de uma válvula de controle direcional são nomeadas por letras, para facilitar a representação. A Figura 144 ilustra as denominações comuns de vias das válvulas de controle direcional.

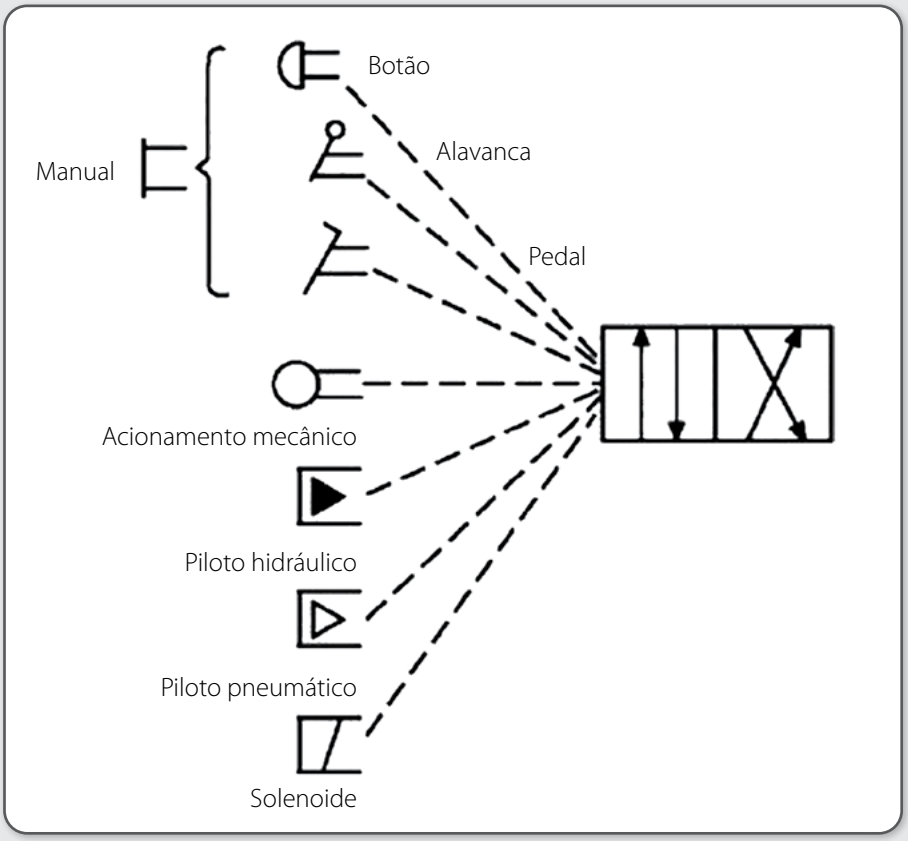
Figura 144 – Representação de vias de passagem e bloqueio.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Além dos números de vias e posições de uma válvula de controle direcional, outro aspecto importante para a classificação destes componentes é a forma de atuação. As válvulas podem ser de atuação muscular (por alavancas, botoeiras ou pedais), mecânica (por um mecanismo qualquer de uma máquina), hidráulica (por pressão de óleo piloto), pneumática (por pressão de ar piloto) ou elétrica (por solenoide).

Figura 145 – Tipos de atuações de válvulas de controle direcional.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

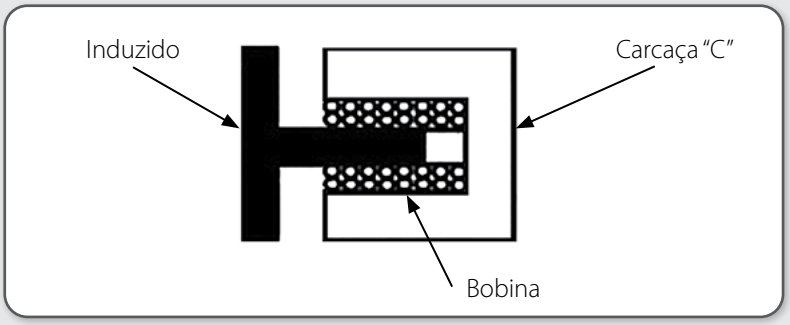
Um dos tipos mais comuns de atuações de válvulas hidráulicas nas máquinas modernas é a elétrica, por meio de solenoide. É esse tipo de atuação que permite que controladores eletrônicos interajam com sistemas hidráulicos sem a intervenção do operador, com base em sinais recebidos de sensores e interpretados internamente através de algoritmos dos controladores, com parâmetros definidos pelos usuários dos sistemas.

Resumindo, as válvulas de controle direcional de sistemas hidráulicos atuadas por solenoide são uma das responsáveis pelos sistemas hidráulicos automatizados. Também são as válvulas de controle direcional atuadas por solenoide que permitem que sistemas hidráulicos de enorme capacidade de força possam ser operados com o toque de delicadas teclas, com esforço mínimo.

Um solenoide é uma bobina (enrolamento) de fios elétricos ao redor de um núcleo vazio. Dentro desse núcleo, um induzido de aço pode se movimentar. Uma carcaça externa isola a bobina do ambiente externo. Quando a bobina é energizada, a corrente elétrica passando pelos fios gera um campo magnético no núcleo vazio, fazendo com que o induzido seja atraído para esse centro (exatamente como o aço é atraído por um ímã). Essa força com que o campo magnético atrai o induzido pode ser aproveitada para que o carretel de uma válvula de controle direcional hidráulica seja movida de uma posição para outra e mantida numa dada posição enquanto a corrente elétrica

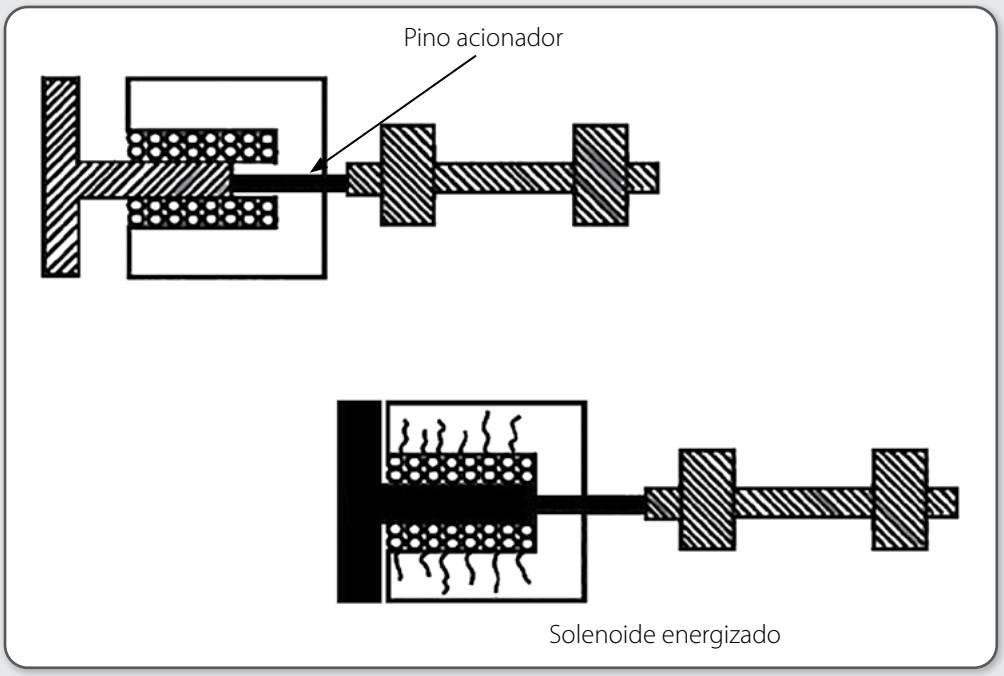
estiver passando pela bobina. Geralmente, uma mola é utilizada para retornar o carretel da válvula para a posição inicial quando a corrente elétrica passando pela bobina é interrompida. As Figuras 146 e 147 ilustram os componentes de um solenoide e o funcionamento deste.

Figura 146 – Componentes de um solenoide.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Figura 147 – Funcionamento de um solenoide.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

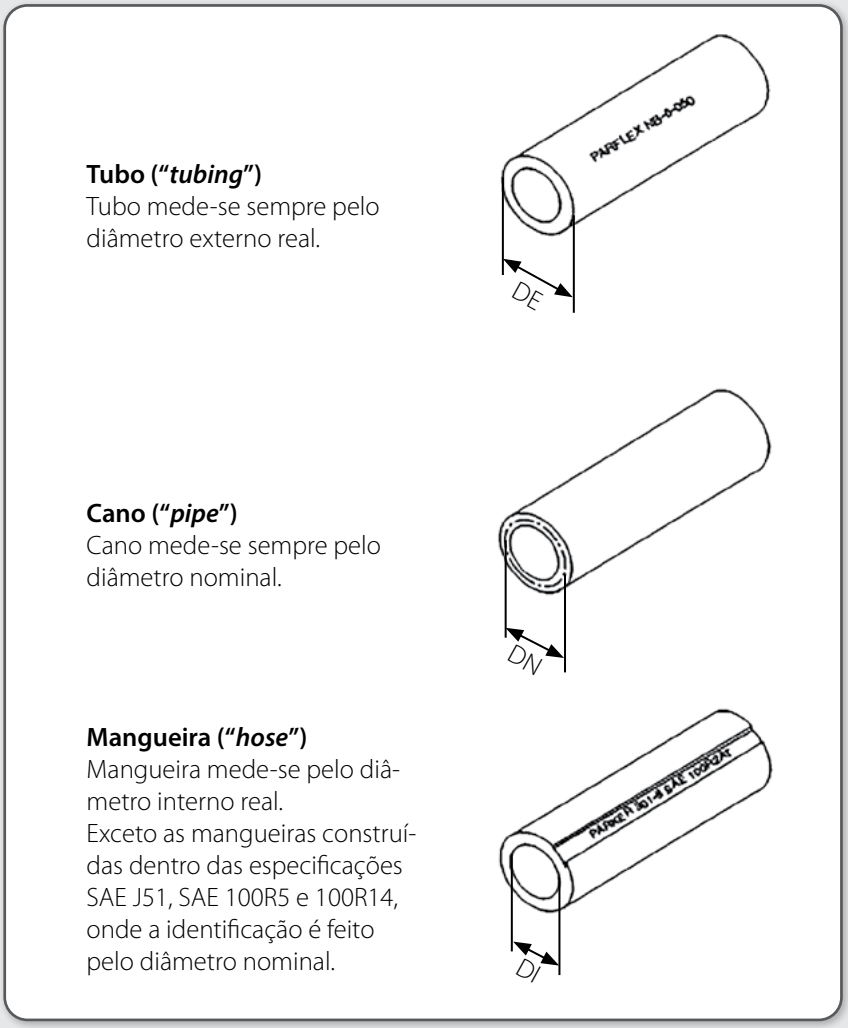
4.2.5 Mangueiras e tubulações

O transporte da energia hidráulica, contida no fluxo de óleo sob pressão, de forma segura e confiável, é decisivo para o funcionamento e eficácia dos sistemas hidráulicos. Para a condução de fluidos, em linhas de pressão, retorno e drenos de carcaça de componentes, são empregados **tubos**, **canos** e **mangueiras**.

Tubos e canos são elementos rígidos, devendo ser aplicados onde há partes fixas ou trechos de linhas menos sujeitos a vibrações. Os tubos ou canos metálicos contribuem, embora indiretamente, para a dissipação do calor do óleo no sistema hidráulico. A única diferença entre tubos e canos é que tubos são especificados com base no diâmetro externo real medido; enquanto que canos são especificados com base no diâmetro nominal (normalmente a distância entre centros das paredes de cada lado).

Mangueiras hidráulicas são aplicadas em partes do sistema hidráulico, nas quais são exigidas três características básicas: condução de fluidos líquidos ou gases (ar comprimido, por exemplo); absorção de vibrações; e compensação ou liberdade de movimento entre partes. A figura 148 mostra as diferenças e formas de medir tubos, canos e mangueiras hidráulicas.

Figura 148 – Diferença de medição entre tubos, canos e mangueiras.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Um padrão universal para se expressar as medidas de mangueiras hidráulicas é através do chamado padrão do "traço", onde um número mostrado logo após um traço expressa que fração de 16 (dezesseis) em polegadas corresponde ao diâmetro interno da mangueira.

Tabela 16 – Traço para medidas de mangueiras.

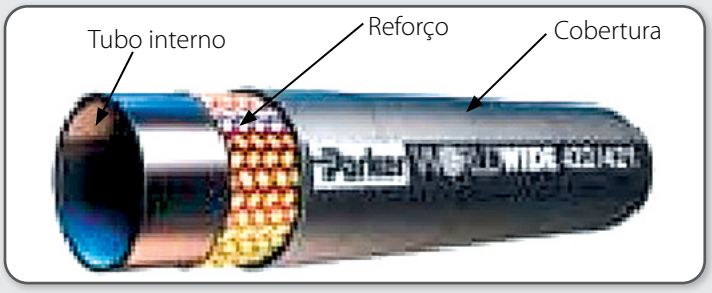
Traço	Diâmetro interno em pol.			
	Todas, exceto mangueiras de refrigeração e automotivas		Mangueiras de refrigeração e automotivas	
	Pol.	mm	Pol.	mm
–3	3/16	5	–	–
–4	1/4	6,3	3/16	5
–5	5/16	8	1/4	6,3
–6	3/8	10	5/16	8
–8	1/2	12,5	13/32	10
–10	5/8	16	1/2	12,5
–12	3/4	19	5/8	16
–16	1	25	7/8	22
–20	1-1/4	31,5	1-1/8	29
–24	1-1/2	38	1-3/8	35
–32	2	51	1-13/16	46
–40	2-1/2	63	2-3/8	60
–48	–	–	3	76

Fonte: PARKER-HANNIFIN, s.d.

Para as mangueiras empregadas normalmente em sistemas hidráulicos industriais e móveis, serão usados os padrões ilustrados nas primeiras colunas (fundo rosa). As colunas com fundo branco na figura acima se referem a mangueiras fabricadas segundo as normas SAE 100R5 (média pressão) e SAE 100R14 (tubo interno de Teflon® – para refrigeração), que são identificadas pelo diâmetro nominal dos tubos internos.

As mangueiras hidráulicas, de modo geral, são constituídas de três partes principais: tubo interno, reforço e cobertura (Figura 149). O tubo interno deve ser construído de material compatível com a temperatura e propriedades químicas do fluido que irá conduzir. O reforço é a parte que determina a capacidade de a mangueira suportar pressões, podendo ser trançado ou em espiral ao redor do tubo interno. A cobertura, por sua vez, protege o reforço contra agentes externos que possam provocar-lhe abrasão ou danos.

Figura 149 – Partes de uma mangueira hidráulica típica.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

As mangueiras são especificadas segundo normas internacionais, especialmente as da SAE (*Society of Automotive Engineers* – Sociedade dos Engenheiros Automotivos), que classifica as mangueiras hidráulicas de acordo com os critérios a seguir.

- Capacidade de pressão estática e dinâmica de trabalho.
- Temperaturas mínima e máxima de trabalho.
- Compatibilidade química com o fluido (líquido ou gás) a ser conduzido.
- Resistência ao ambiente de trabalho (ação do gás ozônio – O_3 – radiação ultravioleta, calor irradiante, chama viva, etc.).
- Vida útil das mangueiras em condições dinâmicas de trabalho (*impulse test*).
- Raio mínimo de curvatura.

Tabela 17 – Características e aplicações de mangueiras hidráulicas.

Aplicação	Norma	Reforço	Cobertura	Diâmetro interno
Baixa pressão Água/óleo/ar – 250 PSI	Push-Lok	Um trançado têxtil	Borracha	Real
Baixa pressão Água/óleo/ar – 300 PSI	Pusk-Lok	Um trançado têxtil	Borracha	Real
Baixa pressão Água/óleo/ar – 300 PSI Não condensa com água gelada	Push-Lok	Um trançado têxtil	Borracha isenta de silicone	Real
Baixa pressão Água/óleo/ar – 250 PSI Alta temperatura - PKR	Push-Lok	Um trançado têxtil	Borracha	Real
Baixa pressão Água/óleo/ar – 250 PSI Resistente à chama – 821FR	Push-Lok	Um trançado têxtil	Trançado têxtil	Real
Baixa pressão	SAE 100R3	Dois trançados têxteis	Borracha	Real
Sucção	SAE 100R4	Um trançado têxtil, fio de aço em forma helicoidal	Borracha	Real
Média pressão	SAE 100R5	Um trançado têxtil Um trançado de aço	Um trançado têxtil	Nominal
Média pressão, alta temperatura – PKR	SAE 100R5	Um trançado têxtil Um trançado de aço	Um trançado têxtil	Nominal
Média pressão	SAE 100R1AT EN 853-1SN	Um trançado de aço	Borracha	Real
Média pressão	DIN 20022-1SN EN 853-1SN	Um trançado de aço	Borracha	Real
Média pressão, alta temperatura	SAE 100R1AT	Um trançado de aço	Borracha	Real
Média pressão, cobertura metálica Trançado arame galvanizado	SAE 100R1AT	Um trançado de aço	Trançado arame galvanizado	Real

Tabela 17 – Características e aplicações de mangueiras hidráulicas (continuação).

Aplicação	Norma	Reforço	Cobertura	Diâmetro interno
Alta pressão, construção compacta	SAE 100R16	Um ou dois trançados compactos de aço	Borracha	Real
Alta pressão	SAE 100R2AT EN 853-2SN	Dois trançados de aço	Borracha	Real
Alta pressão	DIN 20022-2SN EN 853-1SN	Dois trançados de aço	Borracha	Real
Média e alta pressão, classe 3.000 PSI constante e cobertura resistente à abrasão	SAE 100R17	Um ou dois trançados de aço	Borracha	Real
Alta pressão éster fosfato	SAE 100R2AT	Dois trançados de aço	Borracha	Real
Super alta pressão	SAE 100R12	Quatro espirais de aço	Borracha	Real
Super alta pressão, fluido sintético	SAE 100R12	Quatro espirais de aço	Borracha	Real
Extra super alta pressão	SAE 100R13	Quatro ou seis espirais de aço	Borracha	Real
Extra super alta pressão, fluido sintético	SAE 100R13	Quatro ou seis espirais de aço	Borracha	Real
Extra super alta pressão	DIN 20023-4SP	Quatro espirais de aço	Borracha	Real
Extra super alta pressão	DIN 20023-4SH	Quatro espirais de aço	Borracha	Real
Extra super alta pressão	SAE 100R15	Seis espirais de aço	Borracha	Real
Extra super alta pressão, fluido sintético	SAE 100R15	Seis espirais de aço	Borracha	Real
Refrigeração industrial – R134	SAE J2064	Um trançado têxtil	Trançado têxtil	Nominal
Refrigeração industrial – R134	SAE J2064	Um trançado têxtil	Borracha	Nominal
Combustível, freio a ar, motores *diesel*	SAE J1402	Um trançado têxtil Um trançado de aço	Trançado têxtil	Nominal
GLP	UL21	Um trançado têxtil Um trançado de inox	Trançado têxtil	Nominal

Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

ATENÇÃO

A pressão especificada como pressão de trabalho nos catálogos de mangueiras é a **pressão dinâmica** (quatro vezes maior do que a pressão de projeto típica da mangueira). A pressão estática indicada é duas vezes maior do que a pressão dinâmica, e é empregada nos testes hidrostáticos para controle de qualidade da fabricação das mangueiras (corresponde a oito vezes a pressão típica de projeto da mangueira). A **pressão mínima de ruptura** indicada nos catálogos corresponde a quatro vezes a pressão de trabalho (pressão dinâmica) ou dezesseis vezes a pressão típica de projeto da mangueira).

Figura 150 – Faixas de pressão para aplicação de mangueiras.

Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

A Figura 151 ilustra uma parte de um catálogo típico de mangueiras hidráulicas, com as principais características técnicas descritas (norma de fabricação, código do fabricante para diâmetros, diâmetros interno e externo, pressão de trabalho, pressão mínima de ruptura, raio mínimo de curvatura e peso por metro linear).

Figura 151 – Trecho de um catálogo de mangueiras hidráulicas.

301SN mangueira de alta pressão

DIN 20022-2SN, EN 853-2SN e ISO 1436 Tipo 2AT
Excede SAE 100R2AT

#	Diâmetro interno da mangueira		Diâmetro externo da mangueira		Pressão máxima de trabalho		Pressão mínima de ruptura		Raio mínimo de curvatura		Peso	
Código	pol.	mm	pol.	mm	psi	MPa	psi	MPa	pol.	mm	lbs/ft	kg/m
301SN-4	1/4	6,3	0,59	15	5800	40,0	23200	160,0	4	100	0,26	0,39
301SN-6	3/8	9,5	0,75	19	4775	33,0	19100	132,0	5	130	0,37	0,55
301SN-8	1/2	12,7	0,88	22	4000	28,0	16000	112,0	7	180	0,45	0,67
301SN-10	5/8	15,9	1,00	25	3600	25,0	14400	100,0	8	200	0,52	0,77
301SN-12	3/4	19,1	1,16	30	3100	21,5	12400	86,0	9 1/2	240	0,67	1,00
301SN-16	1	25,4	1,50	38	2400	16,5	9600	66,0	12	300	1,00	1,49

Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

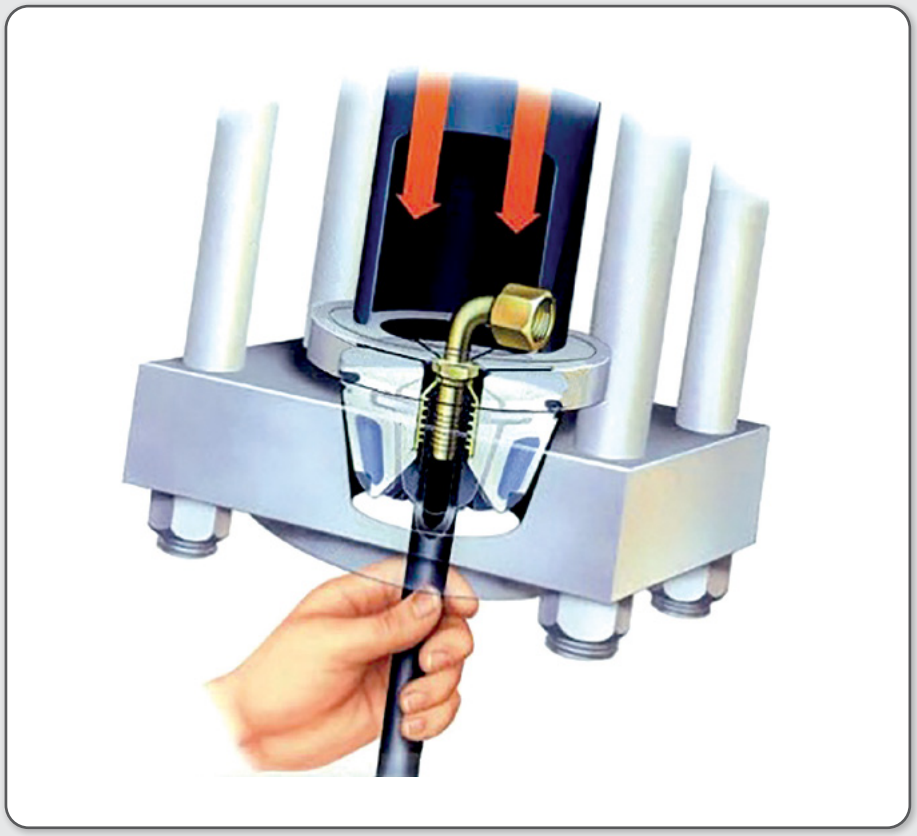
Conexões para mangueiras hidráulicas

As conexões para mangueiras hidráulicas podem ser classificadas em dois tipos: reutilizáveis e permanentes. As conexões reutilizáveis são aquelas que são possíveis de serem reaproveitadas em caso de dano na mangueira, bastando que sejam removidos os sistemas de fixação das conexões às extremidades da mangueira danificada e instaladas numa nova mangueira.

As conexões permanentes, por sua vez, não permitem sua reutilização quando a mangueira estraga, devendo ser descartadas as conexões, mesmo ainda tendo condições de utilização, junto com a mangueira danificada. Neste material, abordaremos somente as conexões permanentes, devido a sua vasta utilização nas aplicações normais encontradas.

Ainda, as conexões permanentes podem ser subclassificadas em dois tipos: as que necessitam que as extremidades das mangueiras sejam descascadas (chamadas de *SKIVE* = aparar, em inglês) e as conexões prensadas, nas quais não é necessário descascar as extremidades das mangueiras onde serão aplicadas (chamadas, portanto, de *NO SKIVE* – não aparar, em inglês). Da mesma maneira que na classificação principal anterior, somente abordaremos as conexões permanentes prensadas tipo *NO SKIVE*, por serem as mais encontradas e utilizadas nas aplicações em máquinas e implementos agrícolas e equipamentos de construção.

Figura 152 – Sistema para prensagem de conexões permanentes em mangueiras hidráulicas.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

A mesma norma da SAE empregada para a classificação das mangueiras também designa as conexões para mangueiras hidráulicas, sejam essas mangueiras permanentes ou reutilizáveis, prensadas ou de extremidades descascadas. A Tabela 18 mostra as aplicações, normas e correspondências entre códigos de fabricantes para diferentes tipos de conexões de mangueiras hidráulicas.

Tabela 18 – Intercambiabilidade entre conexões de mangueiras hidráulicas.

						Montar com conexões PARKER	
Aplicação	Norma	Código PARKER	Código AEROQUIP	Código GATES	Código ERMETO	Reusável	Permanente
Baixa pressão WOA Água, óleo, ar – 250 PSI		801	2556	LOR	MBP	Série 82 – Push-Lok	ND
Baixa pressão WOA Água, óleo, ar – 250 PSI Resistente à chama		821FR	ND	ND	ND	Série 82 – Push-Lok	ND
Baixa pressão WOA Água, óleo, ar – 250 PSI Resistente à abrasão		821	ND	LOC	ND	Série 82 – Push-Lok	ND
Baixa pressão	SAE 100R3	601	2583	C3	MHMP	ND	Série 43 – No-Skive
Sucção	SAE 100R4	881	HC116	C4	MPS	Série 88 com braçadeira	Série 43 – No-Skive
Média pressão	SAE 100R5	201	1503	C5	MMP	Série 20 / 22	ND
Média pressão Média temperatura	SAE 100R5	206	FC3000	ND	ND	Série 20 / 22	ND
Média pressão	Similar – SAE 100R5 Cobertura borracha	225	2651 / 2652	C5R	MP	Série 20 / 22	ND
	SAE 100R1AT	421	2663	C1T	MPMPAT	Série 42 – No-Skive	Série 43 – No-Skive
Média pressão Alta temperatura	SAE 100R1AT	421H	ND	ND	ND	Série 42 – No-Skive	Série 43 – No-Skive
Média pressão Hi-Impulse	SAE 100RQAT DIN 20022-1SN	481	ND	ND	ND	Série 42 – No-Skive	Série 43 – No-Skive

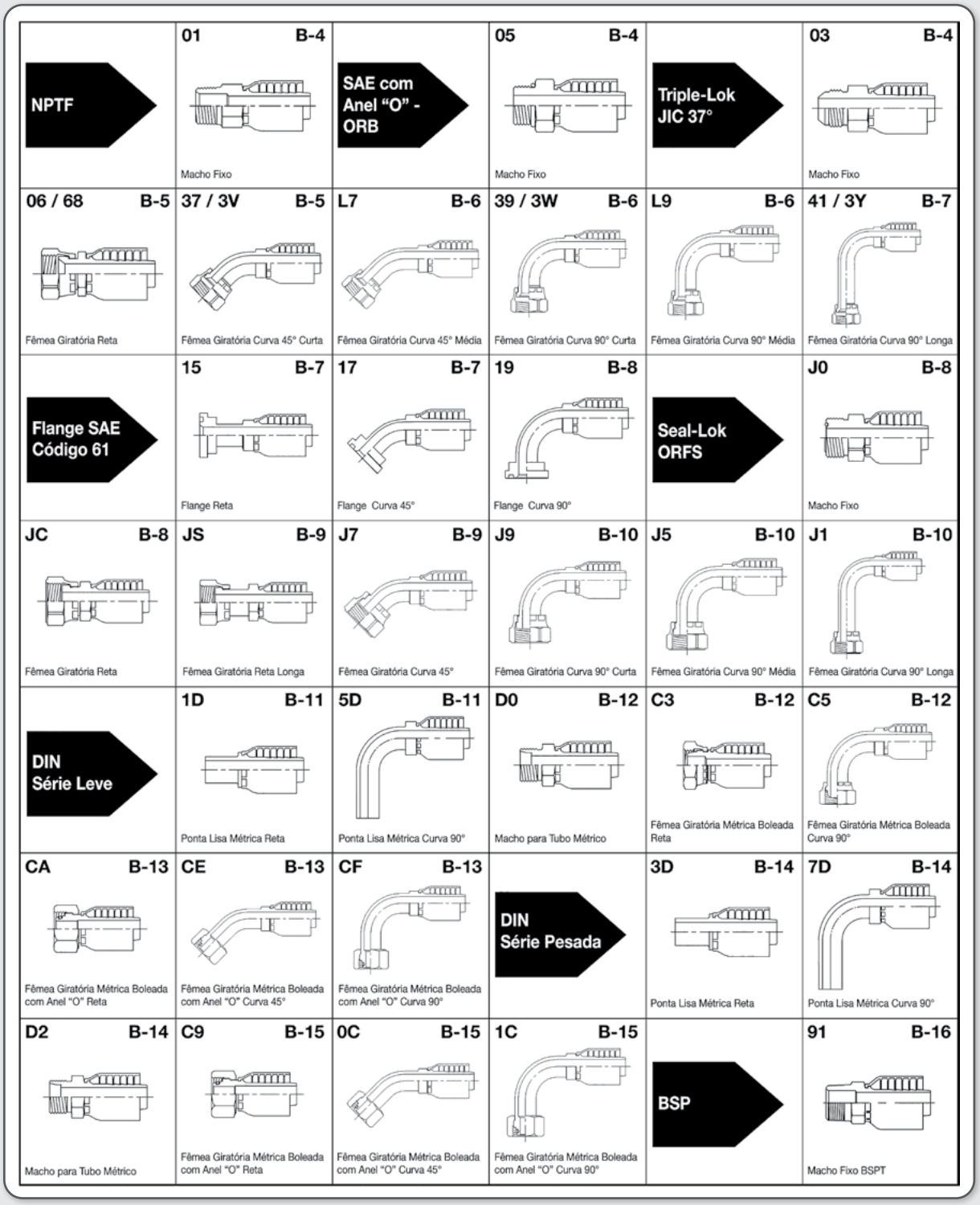
Tabela 18 – Intercambiabilidade entre conexões de mangueiras hidráulicas (continuação).

						Montar com conexões PARKER	
Aplicação	Norma	Código PARKER	Código AEROQUIP	Código GATES	Código ERMETO	Reusável	Permanente
Média pressão Capa grossa	SAE 100R1AT	215	2681	C1A	MPMP	ND	ND
Alta pressão	SAE 100R2AT	301	2793	C2AT	MPAT	Série 30 – No-Skive	Série 43 – No-Skive
Alta pressão Hi-Impulse	SAE 100R2AT DIN 20022-2SN	381	Nova FC781	ND	ND	Série 30 – No-Skive	Série 43 – No-Skive
Alta pressão	SAE 100RSA Capa grossa	3212	2781	C2A	MAP	ND	ND
	SAE 100R2AT	304	ND	ND	MEAP 100R2	Série 30 – No-Skive	Série 43 – No-Skive
	Atende às pressões	451AR	ND	ND	ND	ND	Série 43 – No-Skive
Superalta pressão	SAE 100R9 SAE 100R10	341 Capa fina	2755 / 2786 Capa grossa	ND	MSP Capa grossa	Série 34 – No-Skive	Série 43 – No-Skive
	SAE 100R12	77C	FC136*	C12	MGSP	ND	Série 71 – No-Skive
	DIN 20023-ASP	701 / 741	GH506	ND	ND	ND	Série 71 – No-Skive
Superalta pressão Resistente à abrasão	Atende às pressões SAE 100R12	711AR	ND	ND	ND	ND	Série 71 – No-Skive
Extra superalta pressão	SAE 100R13	78C	ND	C13	ND	ND	Série 78 – No-Skive
	DIN 20023-4SH	731	ND	ND	ND	ND	Série 73 – No-Skive
Refrigeração industrial	SAE tipo B2	241	1540	ND	ND	Série 20 / 22	ND
ND = Não disponível							
* Aeroquip FC136 é disponível nas bitolas 3/8", 1/2", 5/8" e 1" somente							

Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

A Figura 153 ilustra os diferentes tipos de conexões permanentes para mangueiras hidráulicas e suas principais características.

Figura 153 – Conexões permanentes para mangueiras hidráulicas.



Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

4.3 SIMBOLOGIA EM SISTEMAS HIDRÁULICOS

Para representar os componentes de sistemas hidráulicos de uma forma que possa ser interpretada e compreendida por diferentes profissionais e de línguas e localidades diferentes, existem símbolos definidos através de normas internacionais. Desse modo, projetos realizados fora do país podem ser compreendidos e executados por profissionais do país, sem que seja necessário contato com os elaboradores do projeto para maiores esclarecimentos.

Da mesma forma, profissionais de diferentes níveis profissionais (mecânicos, técnicos, engenheiros, projetistas, ente outros) conseguem se comunicar com clareza, desde que todos conheçam os símbolos padronizados. Nesta seção, serão apresentados os principais símbolos aplicados em representações gráficas de sistemas hidráulicos, padronizados conforme a norma internacional ISO 1219 (que no Brasil, tem sua equivalência na NBR 8896).

Figura 154 – Simbologia de linhas de escoamento e conexões em sistemas hidráulicos.

Linhas de escoamento		
Conexão das linhas de escoamento (união)	Cruzamento de linhas não conectadas	Linha flexível (mangueira)
Conexões		
Sangria (purga) de ar para desaeração contínua	Sangria (purga) de ar para desaeração temporária, com conexão aberta	Sangria (purga) de ar para desaeração temporária, com saída bloqueada
Engate rápido sem válvula de retenção (conectado e desconectado)	Engate rápido com válvula de retenção (conectado e desconectado)	
Conexão rotativa: união das linhas permite movimento de operação angular ou rotativa		
Com uma via	Com duas vias	

Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Figura 155 – Simbologia de tipos de acionamento em sistemas hidráulicos.

Acionamento muscular			
Símbolo geral (sem indicação do tipo de acionamento)	Botão de empurrar	Botão de puxar	Botão de puxar/ empurrar
Alavanca	Pedal (com um sentido de operação)	Pedal (com dois sentidos de operação)	
Acionamento mecânico			
Pino ou apalpador	Mola	Rolete	Rolete escamoteável
Acionamento elétrico			
Conversor eletromagnético linear com uma bobina			
Solenoide	Solenoide proporcional		
Conversor eletromagnético linear com duas bobinas			
Duas bobinas de atuação oposta unidas em uma única montagem	Duas bobinas de atuação proporcional aptas a operarem alternadamente e progressivamente		
Motor elétrico			

Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Figura 155 – Simbologia de tipos de acionamento em sistemas hidráulicos. (continuação)

Acionamento hidráulico ou pneumático		
Acionamento direto		
Por pressão ou despressurização/alívio (genérico)	Por acréscimo de pressão hidráulica	Por acréscimo de pressão pneumática
Por despressurização hidráulica	Por despressurização pneumática	
Acionamento indireto (por pilotagem interna)		
Piloto pneumático interno	Piloto hidráulico interno	
Acionamento composto		
Conversor eletromagnético acionando piloto hidráulico com suprimento externo	Piloto pneumático e piloto hidráulico com suprimento interno e dreno externo	

Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Figura 156 – Simbologia de unidades de conversão e armazenamento de energia em sistemas hidráulicos.

Conversores rotativos de energia		
Bomba hidráulica com um sentido de escoamento, deslocamento fixo e um sentido de rotação	Bomba hidráulica com dois sentidos de escoamento e deslocamento fixo	Motor hidráulico com um sentido de escoamento e deslocamento variável
Bomba-motor hidráulico com um sentido de escoamento e deslocamento fixo	Bomba-motor hidráulico com dois sentidos de escoamento, deslocamento variável, acionamento muscular e dreno externo.	Oscilador com ângulo limitado de rotação e dois sentidos de rotação
Unidade de acionamento hidráulico com um sentido de rotação, bomba com deslocamento variável	Bomba hidráulica com compensação de pressão, com 1cm de rotação e um sentido de escoamento, mola regulável e dreno externo	Bomba-motor variável com dois sentidos de rotação, mola centralizadora para deslocamento nulo, pilotada externamente com dreno
Conversores lineares de energia		
Cilindro de ação simples e retorno por força externa	Cilindro de ação simples e retorno por mola	Cilindro de ação simples e avanço por mola
Cilindro hidráulico de ação dupla	Cilindro hidráulico de ação dupla com amortecimento ajustável nos dois lados	Cilindro hidráulico de ação dupla e haste dupla

Figura 156 – Simbologia de unidades de conversão e armazenamento de energia em sistemas hidráulicos (continuação).

Conversores lineares de energia	
Cilindro hidráulico telescópico de ação simples	Cilindro hidráulico telescópico de ação dupla

Armazenamento de energia (acumuladores e garrafa de gás, sempre na posição vertical)		
Acumulador (sem indicação da natureza da carga)	Acumulador por mola	Acumulador por peso
Acumulador carregado por gás	Acumulador com bexiga	Acumulador com membrana
Acumulador com pistão	Garrafa de gás auxiliar	

Fontes de energia			
Fonte de energia hidráulica	Fonte de energia pneumática	Motor elétrico	Motor de acionamento não elétrico

Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Figura 157 – Simbologia de unidades de distribuição e regulagem de energia em sistemas hidráulicos.

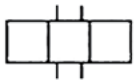
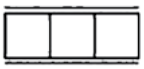
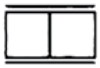
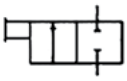
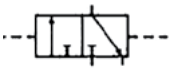
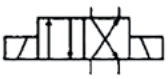
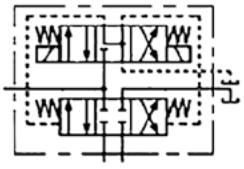
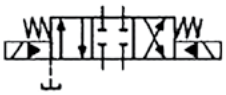
Regras gerais	
Símbolos para os componentes acionados são compostos de uma ou mais caixas adjacentes desenhadas uma ao lado das outras, onde cada caixa (quadrado) corresponde a uma posição. Por exemplo, dois retângulos adjacentes representam uma válvula com duas posições definidas.	
Nos circuitos, as conexões são normalmente representadas no quadrado que indica a posição não operada.	
Quando uma condição transitória entre duas posições definidas for representada, esta será indicada por um quadrado adicional de linhas horizontais tracejadas, conforme indicado.	
Para válvulas com duas ou mais posições distintas de operação em um número infinito de posições intermediárias que provocam níveis variáveis de abertura, faz-se a indicação através de duas linhas paralelas ao longo do comprimento do símbolo, conforme mostrado.	 
Válvulas de controle direcional	
Válvula direcional, duas vias e duas posições (2/2) NF, acionamento manual.	
Válvula direcional, com três vias e duas posições (3/2) NF, acionada por pressão.	
Válvula direcional quatro vias e duas posições (4/2), operada por duplo solenoide.	
Válvulas direcional quatro vias e três posições	
Estágio piloto. Válvula direcional 4/3 vias centradas por mola, acionada por solenoides com dreno do piloto externo.	 Símbolo detalhado
Estágio principal. Válvula direcional 4/3 vias centradas por mola, centro fechado acionamento interno por pressão hidráulica.	 Símbolo detalhado

Figura 157 – Simbologia de unidades de distribuição e regulagem de energia em sistemas hidráulicos (continuação).

Válvulas direcional quatro vias e três posições		
Válvula direcional proporcional, 4/3 vias, centro fechado, dois estágios, com acionamento por solenoide proporcional.		
Servoválvula, 4/3 vias, centro fechado, acionado por motor torque, operada proporcionalmente em sentidos opostos.		
Válvulas de retenção		
Válvulas de retenção sem mola	Válvula de retenção com mola	Válvula de retenção pilotada para abrir
Válvula de retenção pilotada para fechar	Símbolo simplificado Símbolo simplificado Válvula de retenção pilotada dupla ou geminada	
Válvulas de controle de pressão		
Válvula de alívio (limitadora de pressão), diretamente operada	Válvula de descarga com piloto externo	Válvula de sequência atuada diretamente e com dreno externo
Válvula redutora de pressão	Válvula de contrabalanço com retenção integrada	Símbolo detalhado Símbolo detalhado Válvula de alívio pré-operada
Válvulas de controle de vazão		
Válvula redutora de vazão fixa (restrição fixa)	Válvula redutora de vazão variável (restrição variável)	Válvula redutora de vazão com retorno livre (restrição unidirecional)

Figura 157 – Simbologia de unidades de distribuição e regulagem de energia em sistemas hidráulicos (continuação).

Válvulas de controle de vazão		
Válvula redutora de vazão com compensação de pressão	Válvula redutora de vazão com compensação de pressão e temperatura	Válvula divisora de vazão
Válvula de bloqueio (fechamento)		

Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Figura 158 – Simbologia de unidades de armazenamento e condicionamento de fluidos em sistemas hidráulicos.

Reservatórios hidráulicos		
Reservatório atmosférico	Reservatório a pressão atmosférica, com linha de retorno abaixo do nível do fluido e filtro de ar	Reservatório pressurizado
Filtros		
Símbolo geral	Filtro com elemento magnético adicional	Filtro com indicador de contaminação

Trocadores de calor			
Resfriador sem indicação das linhas de escoamento do fluido refrigerante	Resfriador com indicação das linhas de escoamento do líquido refrigerante	Aquecedor	Controlador de temperatura (calor pode ser tanto introduzido quanto dissipado

Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

Figura 159 – Simbologia de instrumentos de medição e indicadores em sistemas hidráulicos.

Instrumentos de medição e indicadores		
Indicador de pressão (símbolo genérico)	Manômetro/vacuômetro	Manômetro diferencial
Indicador de nível do fluido	Termômetro	Indicador de vazão
Medidor de vazão (rotâmetro)	Medidor de vazão cumulativo (totalizador)	Tacômetro
Medidor de torque (dinamômetro)	Pressostato (fornece sinal elétrico a uma pressão pré-ajustada)	Chave de fim de curso
Chave de nível	Fluxostato (fornece um sinal elétrico a uma vazão predeterminada)	Termostato (fornece um sinal elétrico a uma temperatura pré-ajustada)
Transdutor de pressão hidráulica (gera um sinal elétrico analógico a partir de uma entrada de pressão)	Transdutor de vazão (gera um sinal elétrico analógico a partir de uma entrada de vazão)	Termopar (gera um sinal elétrico analógico a partir de uma entrada de temperatura)

Fonte: PARKER-HANNIFIN, 2001.

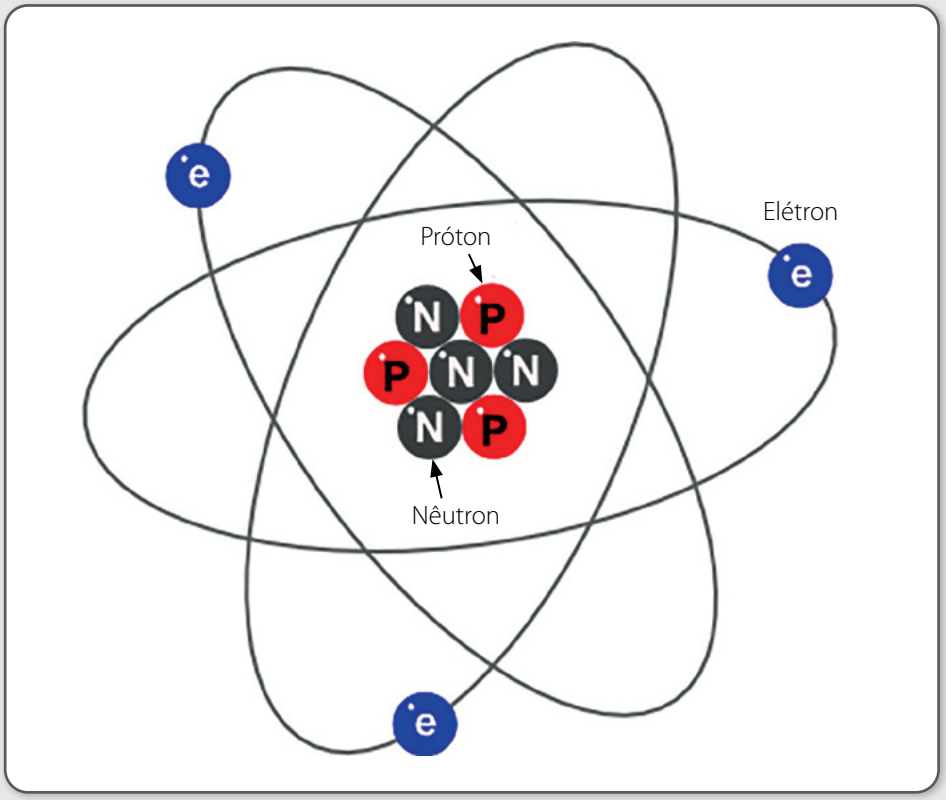
5 PRINCÍPIOS DE ELÉTRICA

5.1 CONCEITOS BÁSICOS DE ELÉTRICA

Elétrica é o ramo da ciência que estuda interações entre corpos que possuam em si ou fluindo através de si cargas elétricas. A origem das cargas elétricas remonta às partículas fundamentais da matéria: os átomos. Todo átomo é formado por partículas subatômicas de três tipos diferentes: prótons, elétrons e nêutrons. Os átomos são formados, basicamente, por um núcleo que contém prótons e nêutrons. Os prótons possuem cargas elétricas positivas (+), enquanto que os nêutrons não possuem carga elétricas (são neutros, possuem somente massa). Ao redor desse núcleo, estão os elétrons, que são partículas com cargas elétricas negativas (-), que se encontram orbitando ao redor do núcleo.

A melhor forma de imaginar um átomo é associar a figura do Sistema Solar. O núcleo do átomo é como o Sol, ocupando a posição central do átomo. Ao seu redor, como se fossem os planetas, estão os elétrons, orbitando em camadas eletrônicas diferentes e em quantidades diferentes de acordo com as camadas eletrônicas em que se encontrem, mais próximas ou mais distantes do núcleo. A Figura 160 ilustra um átomo como o conhecemos, com o núcleo e a eletrosfera (nome dado às camadas onde os elétrons se encontram orbitando ao redor do núcleo).

Figura 160 – Ilustração típica de um átomo .



Fonte: Ilustração, s.d.

A quantidade de elétrons que os átomos de cada elemento possuem é o que determina suas cargas elétricas. Esses elétrons podem se movimentar, se desprendendo de uns átomos e se prendendo a outros átomos, que ficam instáveis e acabam por desprender o elétron excedente para o átomo vizinho, e assim sucessivamente. Desse modo, a eletricidade flui entre os átomos de um determinado elemento.

Em alguns elementos químicos, como nos metais, esta transferência de elétrons entre átomos vizinhos ocorre com maior intensidade. Por isso, diz-se que os metais apresentam alta condutibilidade elétrica, ou seja, são ótimos condutores de eletricidade. Mesmo entre os metais, há aqueles que possuem maior ou menor condutibilidade elétrica. Por outro lado, há outros elementos em que essas transferências de elétrons ocorrem com dificuldade, são os elementos que possuem baixa condutibilidade elétrica. São, portanto, maus condutores de eletricidade, e são empregados como isolantes elétricos. Exemplos de isolantes elétricos são os elementos orgânicos e suas combinações (plásticos, borrachas, etc.).

A eletricidade também pode ser produzida através de magnetismo. Por magnetismo, pode-se entender a propriedade de certos materiais de atrair ou repelir partículas de outros materiais (os chamados ímãs). A eletricidade e o magnetismo são fenômenos correlacionados, cuja unificação é chamada de eletromagnetismo, e explica como o movimento de um campo elétrico pode gerar um campo magnético, e como o movimento de um campo magnético pode gerar um campo elétrico.

5.1.1 Grandezas elétricas

Para poder estudar a eletricidade e os fenômenos a ela relacionados, é preciso qualificar as diferentes grandezas elétricas, compreendendo seus conceitos e também quantificá-las, com as devidas unidades de medida, para facilitar a compreensão do assunto. O estudo da eletricidade é, via de regra, considerado mais difícil do que outras áreas da ciência, principalmente pelo fato de que não se pode ver a eletricidade, apenas seus efeitos. Assim, é necessário compreender bem os conceitos das grandezas elétricas para, na prática, poder medir corretamente e interpretar os resultados de medições das diferentes grandezas, e quando cada uma delas está presente.

Quando se fala mais especificamente em **eletricidade automotiva**, objeto principal do nosso estudo, três grandezas elétricas merecem atenção especial: a tensão (ou potencial elétrico), a corrente elétrica e a resistência elétrica. Os conceitos de outras grandezas elétricas serão necessários quando se pretender avançar do estudo da eletricidade para a eletrônica, por exemplo.

Tensão elétrica (V)

Antes de entender o que é tensão elétrica é preciso entender o que é potencial elétrico. Por potencial elétrico, entende-se a capacidade que um determinado corpo energizado possui de gerar trabalho. Para melhor entender o que é potencial, associemos ao conceito físico de energia potencial. Energia potencial é a forma de energia que pode ser armazenada num corpo e transformada em energia cinética (de movimento).

Uma das formas de energia potencial é a energia potencial elástica, que é aquela que uma mola armazena quando é comprimida, sendo depois transformada em força, que pode provocar o movimento do corpo ao qual esta mola estiver conectada. Voltando ao ramo da elétrica, o potencial elétrico é a energia armazenada num determinado componente, que poderá ser transformada em trabalho.

A tensão elétrica é a diferença de potencial (ddp) elétrico existente entre dois pontos de um determinado corpo, componente ou circuito elétrico. A tensão elétrica é expressa na unidade denominada **volt** (**V**), em homenagem ao físico italiano Alessandro Volta (inventor da pilha elétrica). Por isso, é também conhecida, embora impropriamente, como voltagem.

Corrente elétrica (I)

A corrente elétrica é a quantidade de carga que flui através de um componente ou elemento de um sistema elétrico que possua diferença de potencial (ddp) entre suas extremidades. Portanto, para existir corrente elétrica fluindo em um determinado sistema elétrico, é necessário que haja uma tensão entre as extremidades deste. A corrente elétrica é expressa na unidade conhecida como **ampère** (**A**), em homenagem ao físico francês André-Marie Ampère. Da mesma forma que a tensão elétrica, a corrente elétrica é conhecida, embora de maneira imprópria, como amperagem.

Resistência elétrica (R)

A resistência elétrica, como o próprio conceito sugere, indica a propriedade que um determinado corpo, elemento ou componente de um sistema elétrico possui de resistir à passagem da corrente elétrica, quando possui uma diferença de potencial (ddp) entre suas extremidades. A resistência elétrica é expressa na unidade conhecida como **ohm** (Ω – letra "ômega" do alfabeto grego), em homenagem ao físico alemão Georg Simon Ohm.

5.1.2 Lei de Ohm

Segundo a lei de Ohm, para um condutor a uma temperatura constante, a resistência elétrica é definida como sendo a razão entre a tensão elétrica (ddp) entre as extremidades de um condutor e a corrente elétrica que o percorre.

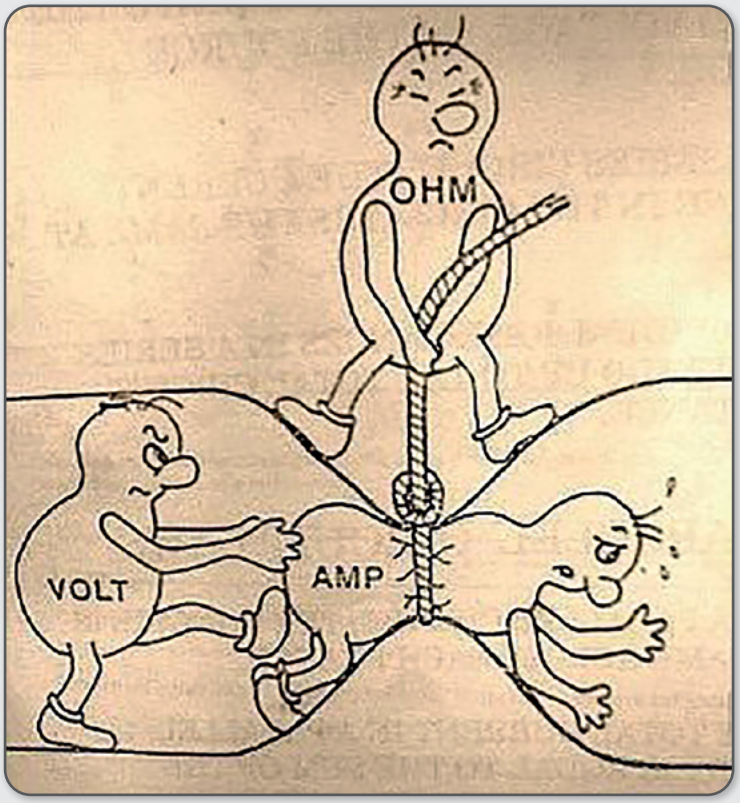
Matematicamente, temos:

$$R = V/I$$

A fórmula representada acima é da primeira lei de Ohm, a mais conhecida. Há uma outra, a segunda lei de Ohm que estabelece que a resistência elétrica de um condutor homogêneo de seção transversal uniforme, mantido à temperatura constante, é função de seu comprimento, área de seção transversal e de uma propriedade do material de que é feito chamada de resistividade.

Portanto, a primeira lei de Ohm define o conceito de resistência, enquanto que a segunda usa o conceito de resistência definido na primeira lei para inserir o conceito de resistividade. Esses são conceitos diferentes, e que não devem ser confundidos. A Figura 161 ilustra, de forma lúdica, a primeira lei de Ohm.

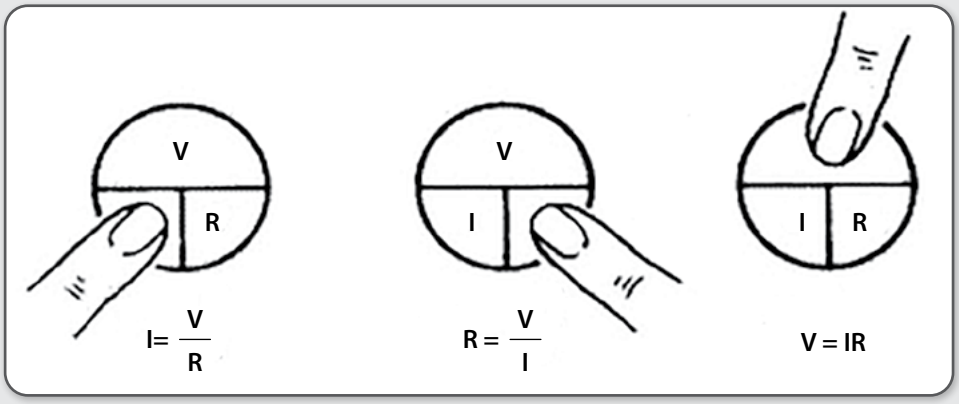
Figura 161 – Caricatura da Primeira Lei de Ohm.



Fonte: CARICATURA, s.d.

Para melhor entendimento das correlações matemáticas da lei de Ohm, existe também o círculo da lei de Ohm (Figura 162), que ajuda a compreender a formulação matemática para se encontrar uma das grandezas desconhecidas em termos das duas demais grandezas conhecidas.

Figura 162 – Círculo da lei de Ohm.



Fonte: CÍRCULO, s.d.

Recordando as regras de matemática básica para análise de razões e proporções, e considerando as equações do círculo da lei de Ohm, da esquerda para a direita, temos que:

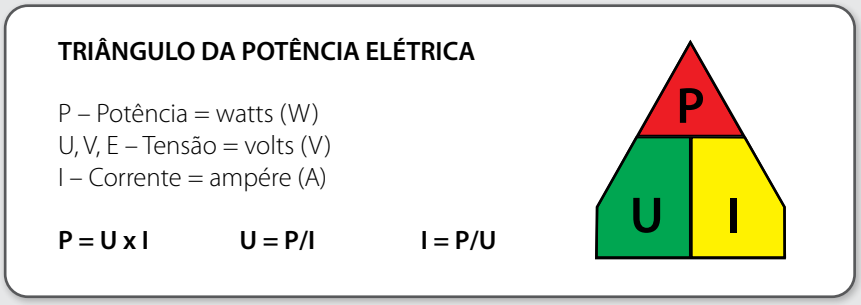
a) Para uma corrente elétrica (I) constante num circuito, a tensão (V) e a resistência (R) são diretamente proporcionais. Ou seja, para uma corrente elétrica constante, se a tensão aumenta, a resistência elétrica também aumenta. Se a tensão diminui, a resistência elétrica também diminui.

b) Para uma resistência elétrica constante, a corrente e a tensão elétricas são também diretamente proporcionais. Ou seja, para uma resistência constante, se a tensão aumenta, a corrente também aumenta. Se, por outro lado, a tensão diminui, a corrente elétrica também diminui.

c) No caso de uma tensão constante, a corrente e a resistência elétricas são inversamente proporcionais. Assim, para uma mesma tensão, se a corrente elétrica aumenta, a resistência diminui. Também, se a corrente diminui, a resistência aumenta.

De maneira similar ao do círculo da lei de Ohm, podem ser deduzidas as equações e analisadas as razões e proporções para cálculo da potência elétrica através do chamado triângulo da potência elétrica. A Figura 163 ilustra o triângulo da potência elétrica, com as equações deduzidas a partir dele e as unidades de medida das grandezas aplicadas.

Figura 163 – Triângulo da potência elétrica.



Fonte: TRIÂNGULO, s.d.

5.2 INSTRUMENTO UNIFICADO DE MEDIÇÕES ELÉTRICAS - MULTÍMETRO

Por definição, o instrumento destinado a medir tensão elétrica, em volts, é chamado de **voltímetro**. O instrumento destinado a medir corrente elétrica, em amperes, é chamado de **amperímetro**. E, finalmente, o instrumento destinado a medir resistência elétrica, em ohms, é chamado de **ohmímetro**.

Considerando-se que o estudo básico da eletricidade envolve as três grandezas fundamentais correlacionadas pela primeira lei de Ohm (tensão, corrente e resistência), e também para maior praticidade e portabilidade de instrumentos de medida elétrica, os instrumentos que medem estas três grandezas elétricas são agrupados pela maioria dos fabricantes num único instrumento, denominado **multímetro**.

Figura 164 – Multímetro digital básico.

Fonte: MULTÍMETRO, s.d.

Na Figura 164, é possível visualizar as diferentes medidas realizadas por um multímetro. Considerando que estamos girando o *dial* (chave rotativa para selecionar as diferentes funções do instrumento) em sentido horário. O primeiro campo, onde está o símbolo **ACV** (iniciais de ***a****lternated* ***c****urrent* ***v****oltage* = voltagem em corrente alternada), indica a função para medição de tensão gerada em corrente alternada, em faixas cujo valor máximo seja de 750 V e 200 V, respectivamente.

ATENÇÃO

A **corrente contínua** é o fluxo ordenado de elétrons sempre numa mesma direção. Um exemplo de corrente contínua é a gerada a partir de pilhas e baterias, por transformação da energia química em energia elétrica. Num circuito elétrico em corrente contínua, há sempre um polo positivo e um polo negativo.

A **corrente alternada**, por sua vez, é a corrente gerada a partir de eletromagnetismo, pela alteração constante do sentido da corrente, conforme varia a polaridade dos polos magnéticos se movendo. Esse campo magnético em movimento, conforme citado anteriormente, gera campo elétrico. Essa é a corrente elétrica gerada por geradores e alternadores, de modo geral. Assim, diferentemente da corrente contínua, que é polarizada, a corrente alternada não tem polaridade fixa.

Um exemplo típico de energia gerada em corrente alternada é a eletricidade disponível nas tomadas elétricas residenciais. A variação da polaridade da corrente ocorre muito rapidamente, razão pela qual não é percebida. Prova disso é a frequência da eletricidade gerada e distribuída no sistema elétrico brasileiro, que opera a frequência de 60 Hz (*Hertz* = ciclos por segundo). Assim sendo, a polaridade positiva e negativa da corrente alternada muda 60 vezes a cada segundo, ou 3600 vezes por minuto.

O segundo campo, onde está o símbolo **DCA** (iniciais de ***d**irect **c**urrent **a**mperage* = amperagem em corrente contínua), indica a função para medir corrente contínua, em faixas cujos valores máximos sejam de 200 μA (duzentos microampères), 2000 μA (dois mil microampères = 2 mA – dois miliampères), 20 mA (vinte miliampères) e 200 mA (duzentos miliampères), respectivamente.

O terceiro campo, com contorno vermelho, é indicado para medir corrente contínua na faixa de até 10 A (dez amperes).

O quarto campo, onde está o símbolo **hFE** é para selecionar a função de medição de ganho (fator β – "beta") em transístores. Com essa função selecionada, os terminais dos transístores são encaixados nos orifícios azuis, no canto inferior esquerdo do multímetro, conforme seu tipo (PNP – positivo-negativo-positivo ou NPN – negativo-positivo-negativo), de acordo com seus terminais (E – emissor; B – base; C – coletor).

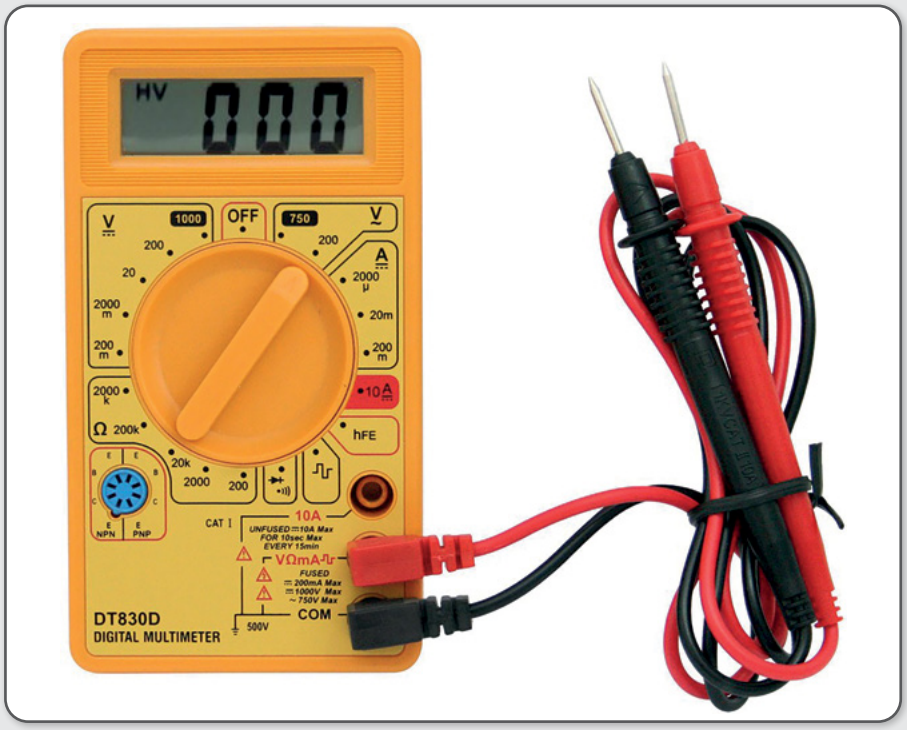
O quinto campo é destinado à medição de diodos (teste de continuidade). Um diodo é um componente eletrônico simples, cuja função é retificar corrente elétrica (transformar corrente alternada em corrente contínua). A principal característica de um diodo é que ele permite à corrente elétrica fluir num sentido e impede que ela flua em sentido contrário. O multímetro permite verificar este comportamento do diodo, permitindo identificar se um diodo está em curto (quando a corrente flui nos dois sentidos) ou aberto (quando a corrente não flui em nenhum dos dois sentidos). Também permite identificar o tipo de diodo que se tem em mãos pela leitura no *display* do multímetro da chamada "tensão de joelho" (tensão de queda de potencial), que é de cerca de 700 mV (0,7 V) para diodos de silício e de cerca de 300 mV (0,3 V) para diodos de germânio.

O sexto campo é o destinado às medições de resistência de componentes elétricos, em diferentes faixas, cujos valores máximos são de: 200 Ω (duzentos ohms); 2000 Ω (dois mil ohms ou 2 kΩ - dois quilo-ohms); 20 kΩ (vinte quilo-ohms); 200 kΩ (duzentos quilo-ohms); 2000 kΩ (dois mil quilo-ohms, ou 2 MΩ – dois megaohms) e 20000 kΩ (vinte mil quilo-ohms, ou 20 MΩ – vinte megaohms).

O sétimo e último campo, com o símbolo **DCV** (iniciais de ***d**irect **c**urrent **v**oltage* = voltagem em corrente contínua) é para medir tensões geradas em corrente contínua, cujas faixas possuem valores máximos de: 200 mV (duzentos milivolts), 2000 mV (dois mil milivolts, ou 2 V – dois volts); 20 V (vinte volts); 200 V (duzentos volts) e 1000 V (mil volts, ou 1 kV – um quilovolt).

Os acessórios básicos de qualquer multímetro, seja ele analógico (de ponteiro) ou digital (com *display* LCD) são as pontas de teste (Figura 165), identificadas pelas cores vermelho (em geral, para ser ligada ao polo negativo dos circuitos de corrente contínua que se pretendam avaliar) e preta (para ser ligada ao polo positivo, identificado como COM – comum).

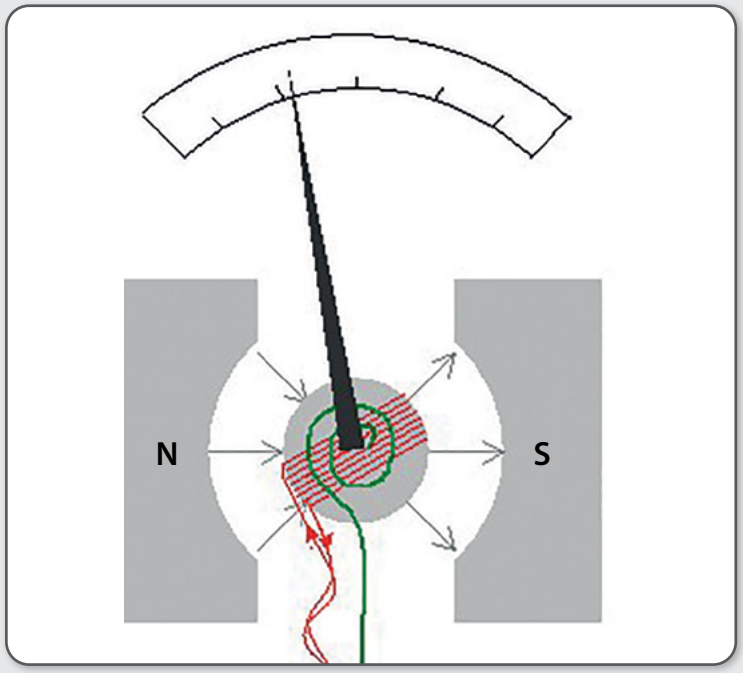
Figura 165 – Multímetro digital com pontas de teste.



Fonte: MULTÍMETRO, s.d.

O multímetro tem como seu princípio de funcionamento o instrumento chamado **galvanômetro**. Trata-se de uma bobina de fio muito fino, instalada num eixo móvel com um ponteiro, e colocada entre os polos de um ímã fixo.

Figura 166 – Galvanômetro de bobina móvel.



FONTE: GALVANÔMETRO, s.d.

Associadas ao galvanômetro existem várias resistências e também uma bateria. As resistências são associadas ao circuito do galvanômetro para as medidas de tensão e corrente, enquanto que a bateria é associada ao circuito do galvanômetro para medidas de resistência.

Para se efetuar medições de tensão, é necessário que o instrumento de medição possua uma resistência muito mais alta da que do circuito que pretendemos medir, para que a corrente elétrica não passe através do instrumento quando desejamos medir tensão. Para se efetuar medição de corrente, vale o contrário: a resistência elétrica do instrumento deve ser muito mais baixa do que a do circuito medido, para permitir que a corrente passe com menor impedimento possível pelo instrumento. Para medição de resistência, a bateria do instrumento fornecerá uma tensão conhecida ao circuito que se pretende medir, de modo que o instrumento medirá a corrente elétrica do circuito e, a partir daí, será exibida a resistência do circuito medido (lembrando-se que a resistência é o resultado da divisão da tensão pela corrente, $R = V/I$).

ATENÇÃO

Há critérios básicos que devem ser obedecidos para configurar corretamente o instrumento de medição (o multímetro) ao circuito ou componente que se pretende medir para garantir a correta medição:

a) Para se medir a **tensão** (**V**) de um determinado circuito, as pontas de prova do multímetro devem ser posicionadas entre dois pontos de um determinado trecho do circuito no qual se deseja saber a tensão, ou entre as extremidades de um determinado componente do circuito, para se medir a tensão (ddp) nesse componente. Logo, o multímetro, quando configurado para operar como voltímetro, deverá ser ligado em paralelo ao circuito ou componente que se pretenda medir. Em outras palavras, o multímetro, operando como voltímetro, deverá ser ligado ao circuito fechado, ficando ele fora do circuito.

b) Para se medir a **corrente** (**I**) que flui num determinado circuito, as pontas de prova do multímetro devem ser ligadas ao circuito de modo que a corrente entre por uma das pontas e saia pela outra. Logo, o multímetro, quando configurado para operar como amperímetro, deverá ser ligado em série ao circuito. Em outras palavras, o circuito deverá ser aberto e o multímetro, operando como amperímetro, inserido como mais um componente do circuito que se pretenda medir, para que a corrente elétrica flua através dele para ser medida.

c) Para se medir a **resistência** (**R**) de um determinado componente do sistema elétrico ou de um determinado trecho de um circuito elétrico, deverá se permitir que o multímetro, através de sua bateria interna, crie uma diferença de potencial conhecida no circuito ou componente (a tensão da sua própria bateria interna), para que pelo registro da corrente elétrica gerada no sistema com esta tensão, possa exibir como saída o valor da resistência do componente ou trecho do circuito. **Em resumo, só se mede resistência elétrica de componente ou circuito desenergizado (desligado)!**

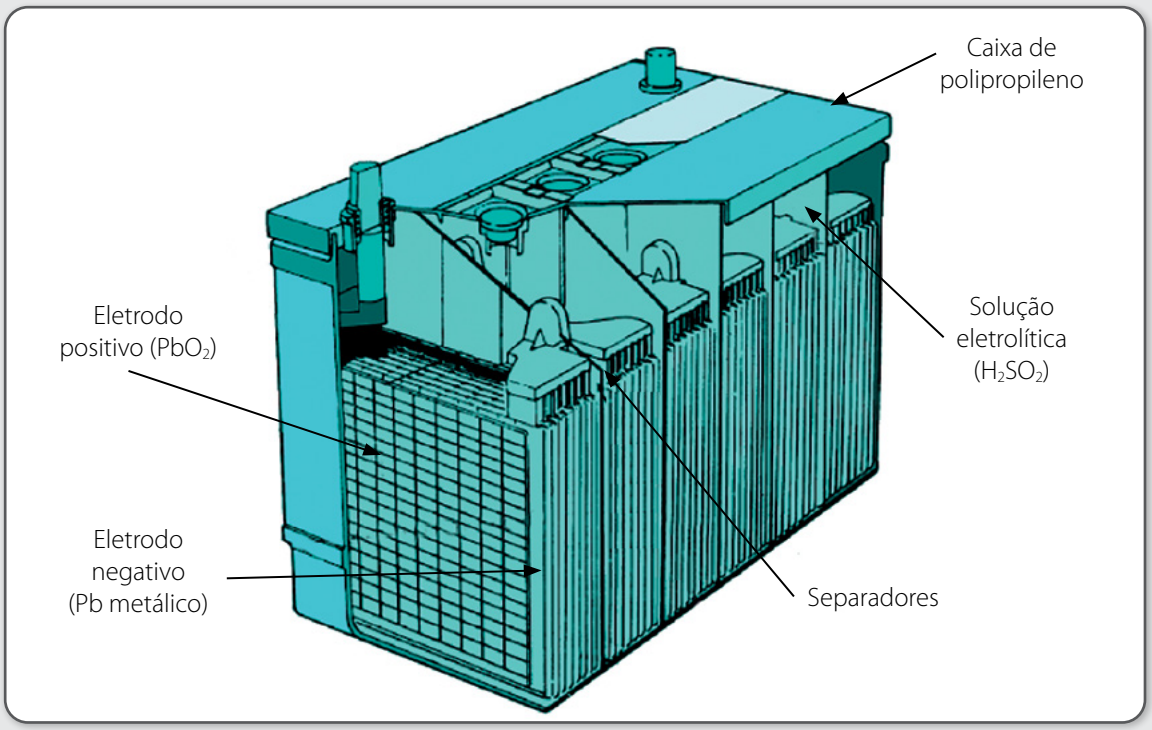
5.3 COMPONENTES DE SISTEMAS ELÉTRICOS

5.3.1 Bateria

A bateria é um dos principais elementos de um sistema elétrico automotivo. É responsável por prover a energia elétrica necessária para fazer funcionar alguns componentes automotivos, como iluminação e acessórios. Entretanto, a principal função da bateria é fornecer a energia elétrica necessária para a partida de motores de combustão interna.

Uma vez iniciado o movimento do motor, o próprio sistema elétrico vinculado ao motor (aternador) irá fornecer a energia elétrica necessária para suprir todos os componentes do veículo. Por isso, é importante que motoristas ou operadores de máquinas e veículos tenham cuidado para não utilizar acessórios elétricos do veículo (como luzes, ventiladores, rádios de comunicação ou rádios AM/FM) por muito tempo com os motores dos veículos desligados. Isso reduzirá a carga (energia acumulada) da bateria, que poderá ser insuficiente no momento em que se desejar utilizar o sistema de partida do motor. A Figura 167 ilustra uma bateria automotiva típica, chamada também de bateria chumbo-ácido, devido aos elementos que a compõem.

Figura 167 – Bateria chumbo-ácido, em corte.



Fonte: BATERIA, s.d.

Uma bateria chumbo-ácido é formada por várias pilhas (placas de chumbo puro, que atuam como eletrodos negativos, ou ânodos; e placas de óxido de chumbo, que atuam como eletrodos positivos, ou cátodos), associadas em série. Cada uma das pilhas gera uma diferença de potencial de 2 V (dois volts), sendo que nas baterias em geral, são associadas seis pilhas em série, o que totaliza uma diferença de potencial (tensão) entre os polos da bateria de 12 V.

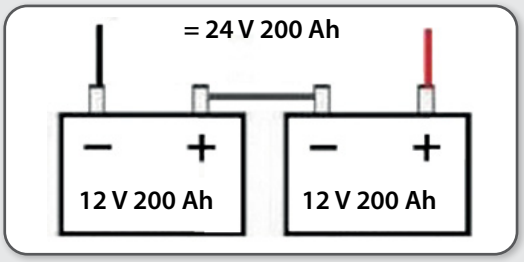
As baterias automotivas funcionam pelo princípio químico conhecido como **oxirredução**. Quando o circuito elétrico a que ela está ligada é fechado, ocorre a oxidação do ânodo de chumbo e a redução do cátodo de óxido de chumbo. A oxidação do ânodo de chumbo leva à formação de sulfato de chumbo e o desprendimento de elétrons. Esses elétrons vêm da dissociação iônica do ácido sulfúrico em ânions sulfato (SO_4^{2-}) e cátions de hidrogênio (H_2^+). O eletrólito passa a ter a concentração de ácido sulfúrico reduzida, ao passo que aumenta a concentração de sulfato de chumbo na solução. Esses elétrons desprendidos da reação química é que geram a corrente elétrica. Quando a bateria está sendo carregada por uma fonte de energia externa, o processo se inverte, e o ânodo de chumbo passa a ser regenerado com os cátions Pb^{2+} do sulfato de chumbo.

Bateria automotivas costumam também ser associadas em sistemas elétricos automotivos onde a tensão elétrica é maior e também onde há a maior necessidade de corrente para partida. Também podem ser associadas baterias automotivas para sistemas *no-break* (sem parada, neste caso por falta de eletricidade) em sistemas de informação de escritórios, circuitos fechados de televisão para segurança patrimonial ou sistemas supervisórios de operação e controle de processos industriais, nos quais é desejável que o fornecimento de eletricidade nunca seja interrompido.

As baterias poderão ser associadas de três modos diferentes: em série, em paralelo ou em série-paralelo.

Associação em série: as baterias são ligadas entre si por polos contrários, ou seja, o polo positivo de uma é ligado ao polo negativo da outra, quantas quer que sejam (Figura 168). Desse modo, a tensão de uma associação de baterias em série é a soma das tensões de cada uma das baterias que a compõem. A corrente da associação é a mesma de cada uma das baterias individualmente.

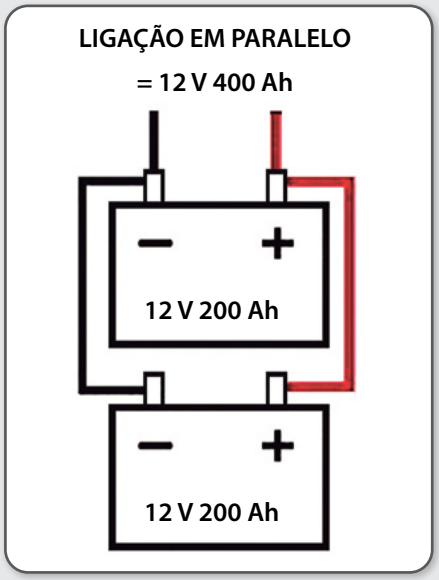
Figura 168 – Associação de baterias em série .



Fonte: LIGAÇÃO, s.d.

Associação em paralelo: as baterias que a compõem são ligadas entre si por polos iguais, ou seja, o polo positivo de uma é ligado ao polo positivo da outra, e o polo negativo de uma é ligado ao polo negativo da outra (Figura 169). Nesse caso, a corrente da associação de baterias em paralelo será igual à soma das correntes de cada uma das baterias, enquanto que a tensão da associação será igual à tensão de cada uma das baterias.

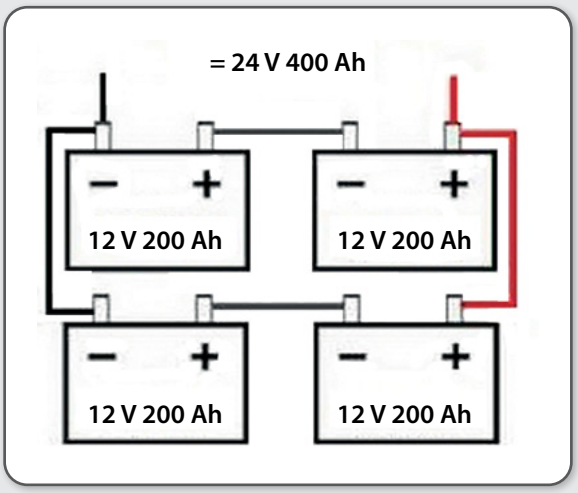
Figura 169 – Associação de baterias em paralelo.



Fonte: LIGAÇÃO, s.d.

Associação em série-paralelo: ocorre uma combinação dos dois tipos anteriores, associando-se duas ou mais séries em paralelo ou dois ou mais paralelos em série. Nesse caso, obtém-se os benefícios de ambas as associações, de modo que para uma associação de quatro baterias (duas séries associadas em paralelo ou dois paralelos associados em série), a corrente da associação resultante será o dobro da corrente de cada bateria; e a tensão da associação resultante será o dobro da tensão de cada bateria. A Figura 170 mostra uma associação em série-paralelo com quatro baterias, associadas duas a duas.

Figura 170 – Associação de baterias em série-paralelo.



Fonte: LIGAÇÃO, s.d.

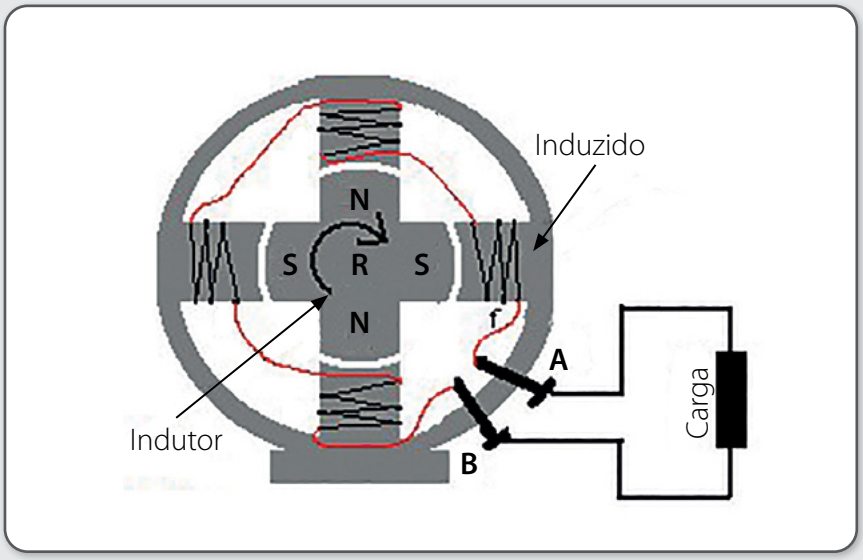
ATENÇÃO

Nos exemplos apresentados, foram consideradas associações com somente duas baterias na série e paralelo e quatro na série-paralelo. As associações podem ser estendidas conforme a necessidade, para 3, 4 ou 5 baterias em série ou em paralelo, e com 9, 16, ou 25 baterias associadas em série-paralelo, para que se tenha, conforme a aplicação desejada, a corrente ou tensão triplicada, quadruplicada ou quintuplicada, ou ambas, no caso da associação série-paralelo.

5.3.2 Alternador

O alternador, como o próprio nome sugere, é um gerador de energia elétrica em corrente alternada. É constituído por um rotor (indutor) que é feito para girar por dentro de um estator (induzido). Fazendo-se circular uma corrente elétrica no rotor, e este girando ao redor do estator, criará, por indução eletromagnética, uma força eletromotriz (f.e.m.) nas bobinas do estator, que resultará em corrente elétrica alternada.

Figura 171 – Esquema básico de um alternador.



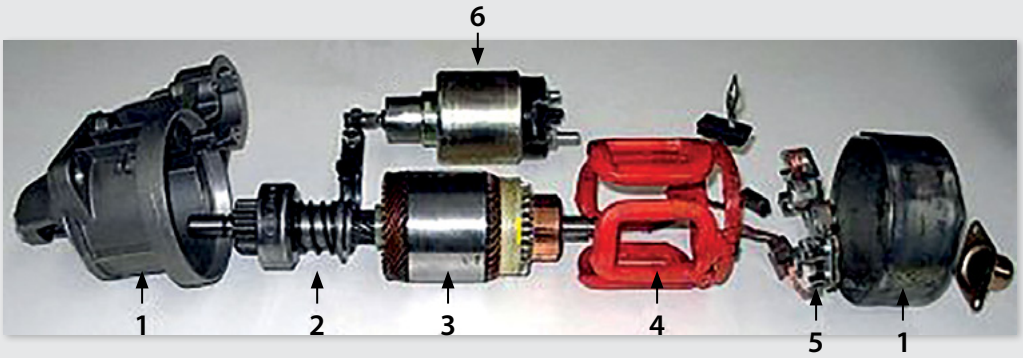
Fonte: ALTERNADOR, s.d.

O alternador automotivo, empregado nos sistemas elétricos dos veículos, possui um retificador e um regulador de tensão. O retificador é necessário porque, conforme já mencionado anteriormente, o alternador gera corrente elétrica. Porém, o sistema elétrico veicular opera em corrente contínua (por conta da bateria, que gera corrente contínua por se tratar de um "gerador eletroquímico"). Desse modo, para compatibilizar a corrente gerada pelo alternador com a corrente que carrega a bateria, há um retificador fixado ao alternador que transforma a corrente alternada gerada em corrente contínua. Do mesmo modo, o regulador de tensão é necessário para que a tensão de saída do alternador seja mantida dentro da especificada para o sistema elétrico onde se aplica. No caso dos sistemas elétricos automotivos de 12 volts, a tensão de saída do alternador é da ordem de 13 a 14 volts.

5.3.3 Motor de partida

O motor de partida (Figura 172), também conhecido como motor de arranque, é um motor elétrico de corrente contínua (alimentado pela bateria, colocada temporariamente em curto-circuito), e cuja função é fazer girar o motor de combustão interna do veículo até que atinja uma velocidade suficiente para iniciar o próprio movimento (cerca de 50 RPM – rotações por minuto).

Figura 172 – Motor de partida em vista explodida.



1 – Mancais
2 – Roda livre ("bendix")
3 – Rotor (induzido)
4 – Estator (bobina)
5 – Escovas
6 – Solenoide

Fonte: MOTOR, s.d.

O funcionamento do motor de arranque ocorre da seguinte maneira: ao comando do motorista/operador pela chave de ignição, o solenoide é energizado e realiza duas funções ao mesmo tempo: puxa para trás o garfo fazendo com que a roda livre (ou "bendix") deslize para a frente e acople na cremalheira do volante; e energiza o induzido e a bobina através das escovas, dando início ao movimento de rotação do motor elétrico em si. A parada de funcionamento depende do motorista/operador deixar retornar a chave de ignição da posição de partida assim que o motor entrar em funcionamento.

5.3.4 Lâmpadas

As lâmpadas elétricas são dispositivos destinados a transformar energia elétrica em luz. A princípio, as lâmpadas elétricas eram as lâmpadas incandescentes, que funcionam pela passagem de uma corrente elétrica através de um filamento metálico preservado dentro de uma ampola com gás inerte.

Uma variação das lâmpadas incandescentes convencionais são as chamadas lâmpadas halógenas, que contém um elemento químico da classe dos halogênios (iodo ou bromo) misturado ao gás inerte. Esse halogênio promove a regeneração contínua do filamento, de forma cíclica, pela associação do vapor do tungstênio ao iodo ou bromo, formando iodeto (ou brometo) de tungstênio, que fica em suspensão no gás dentro do bulbo da lâmpada e que por corrente de convecção se aproxima novamente, decompondo o sal e depositando tungstênio metálico na superfície do filamento.

Figura 173 – Lâmpada halógena automotiva.

FONTE: LÂMPADA, s.d.

Atualmente, tem sido desenvolvidas lâmpadas de LED (diodo emissor de luz) para aplicações automotivas (ainda como faróis auxiliares). Estas apresentam vantagens em relação às lâmpadas incandescentes halógenas pela sua maior durabilidade e baixo consumo de energia.

5.3.5 Fusíveis

Fusíveis são elementos de sistemas elétricos projetados para protegerem circuitos elétricos. São formados por filamentos de metais de baixo ponto de fusão, que, quando percorridos por corrente elétrica maior do que a projetada, em função da área de seção da lâmina, fundem por efeito Joule (cuja definição é: "todo condutor percorrido por corrente elétrica se aquece"). Esse aquecimento provoca a fusão e a ruptura do elemento, abrindo o circuito e evitando dano permanente a outros componentes, bem como evitando sobreaquecimento de outros componentes do sistema elétrico, com risco de incêndio. A Figura 174 mostra um fusível automotivo de lâmina, tipo mais empregado em sistemas elétricos veiculares atualmente.

Figura 174 – Fusível automotivo tipo lâmina.

Fonte: FUSÍVEL, s.d.

Normalmente, os fusíveis do tipo lâmina são identificados pelo número inscrito na sua face superior, que corresponde ao valor da sua corrente de ruptura, em ampères. Além dessa inscrição, auxilia na identificação a cor do invólucro plástico do fusível. A Tabela 19 apresenta a correlação entre as cores de invólucro plástico e corrente de ruptura para fusíveis automotivos tipo lâmina.

Tabela 19 – Correntes de ruptura de fusíveis tipo lâmina de acordo com a cor do invólucro.

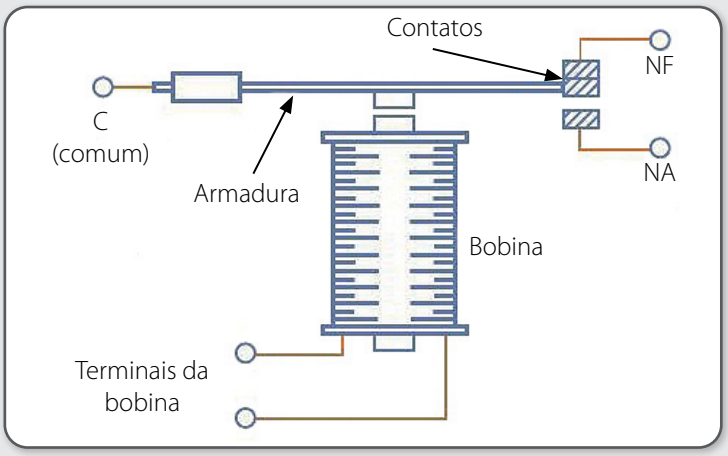
Cor do invólucro	Corrente de ruptura [A]
Violeta	3
Rosa	4
Bege	5
Marrom	7,5
Vermelho	10
Azul	15
Amarelo	20
Cristal	25
Verde	30
Laranja	40

Fonte: CORRENTES, s.d.

5.3.6 Relés

O relé (também conhecido como relê) é um dispositivo eletromecânico muito comum em circuitos elétricos, sejam industriais ou automotivos. Basicamente, um relé é uma chave comutadora (muda a ligação e a direção da corrente elétrica num circuito) operada por corrente elétrica, através de um solenoide (Figura 175). Em outras palavras, é uma chave elétrica pilotada. Uma das principais aplicações do relé em circuitos elétricos é para atuar circuitos elétricos de alta capacidade usando-se uma baixa corrente. Também é um elo importante para automação de sistemas elétricos, pois, com ele, sinal elétrico comanda sinal elétrico.

Figura 175 – Esquema de um relé.



Fonte: RELÈ, s.d.

A alternância entre ligações é realizada quando a bobina está energizada ou não. Enquanto a bobina do relé estiver energizada, o núcleo da bobina estará puxando a chave para direcionar a

corrente para um circuito. Quando cessar a corrente elétrica que puxa o núcleo da bobina, uma mola alterna a corrente para passar para outro circuito. Esta descrição corresponde a um relé típico de cinco pinos. Há ainda relés de quatro pinos, que somente ligam um determinado circuito caso seja energizada a bobina, permanecendo o circuito desligado caso a bobina não esteja energizada. Essas são somente duas das várias aplicações de relés em sistemas elétricos.

5.3.7 Diodos

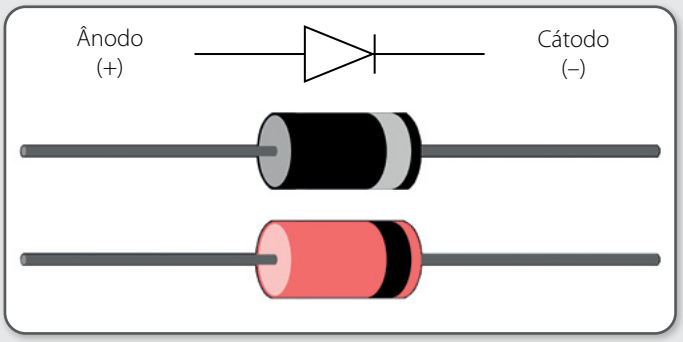
O diodo semicondutor é o elemento de circuito eletrônico mais simples que existe (Figura 176). Em circuitos elétricos, é aplicado, por exemplo, para retificar a corrente elétrica (transformar corrente alternada em corrente contínua).

Basicamente, um diodo é um componente que, quando operando em corrente contínua, permitem que a corrente, nos circuitos onde instalados, flua somente num sentido, impedindo que passe no outro sentido. Na situação em que permite a passagem de corrente (quando se diz que está em polaridade direta), ocorre nele uma pequena queda de corrente, que é de 0,7 V quando o diodo é feito de silício e de 0,3 V quando o diodo é feito de germânio.

O silício e o germânio são semimetais, conforme a tabela periódica dos elementos, por isso, os diodos feitos destes materiais são chamados de diodos semicondutores.

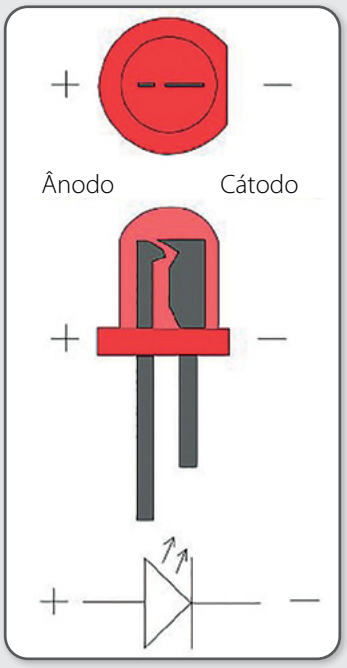
Uma das aplicações mais conhecidas do diodo é o LED (iniciais de *light emitting diode* – diodo emissor de luz). A Figura 177 ilustra o esquema de um LED.

Figura 176 – Diodo semicondutor.



Fonte: DIODO, s.d.

Figura 177 – Diodo emissor de luz (LED).



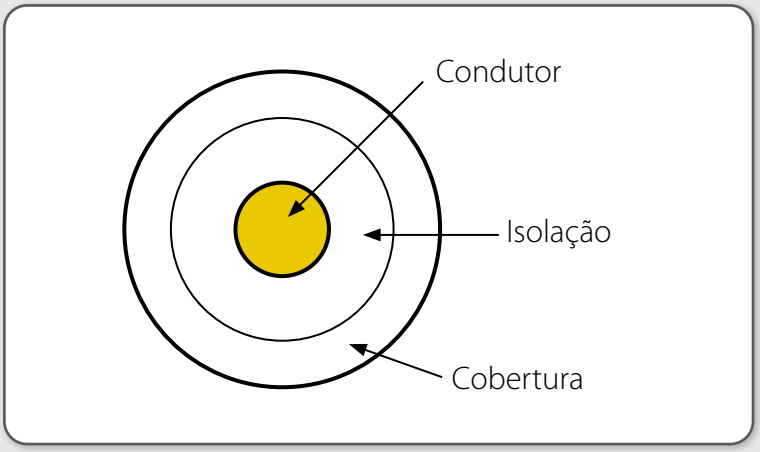
Fonte: LED, s.d.

5.3.8 Condutores e conectores elétricos

Todo e qualquer componente elétrico, para desempenhar sua função, precisa estar conectado a outros componentes, bem como a uma fonte de alimentação. E é para conduzir corrente elétrica entre os diferentes elementos de sistemas elétricos que existem os condutores elétricos, como fios e cabos.

Por definição, fio elétrico é o condutor formado por um elemento único e rígido. Cabo, por sua vez, é um condutor elétrico flexível formado por vários elementos.

Figura 178 – Cabo elétrico típico.



Fonte: CABO, s.d.

Em sistemas elétricos automotivos, os cabos elétricos são agrupados em **chicotes**, que são formados por diversos fios elétricos dentro de uma mesma capa de proteção. Os chicotes elétricos são agrupados em suas extremidades por conectores padronizados, com identificações que permitem identificar as extremidades de cada cabo de um chicote.

Um cabo elétrico é designado pela sua área de seção transversal. Assim, não basta medir o diâmetro de um cabo sem isolação para determinar seu tamanho. Por exemplo: um fio 2,5 (com 2,5mm^2 de área de seção) possui, na realidade, 1,78 mm de diâmetro, se medido diretamente. Os cabos elétricos para uso automotivo normalmente são cabos de cobre com têmpera mole, flexíveis, com isolamento de PVC (policloreto de vinila), projetados para resistir a temperatura de trabalho de até 70 ºC e com isolação para tensão de até 300 V.

Os conectores para sistemas elétricos automotivos devem possuir características distintas de conectores industriais. Além de trabalharem com tensões bem menores (de até 28 V, considerando-se a tensão fornecida pelos alternadores de veículos com sistemas elétricos de 24 volts), devem possuir vedações especiais das extremidades, para resistir a intempéries (umidade, poeira e ambientes agressivos) e também ter travas seguras para resistir às vibrações provocadas pelos tipos de pavimento e pelo deslocamento dos veículos. Existem conectores com diferentes números de terminais (desde 1, para ligação de cabos individuais, até 36, para chicotes elétricos), injetados em materiais plásticos diversos (poliacetal, ABS) e de diferentes tipos.

Figura 179 – Modelos de conectores para sistemas elétricos automotivos.

Porta terminal fêmea 6 vias tipo *Super Seal*.

Porta terminal macho 6 vias tipo *Super Seal*.

Porta terminal fêmea 7 vias passo 5mm tipo *Bulldog*.

Alojamento macho 7 vias passo 5mm tipo *Bulldog*.

Conector CPC tipo receptáculo 14 vias.

Conector CPC tipo plug 14 vias.

Fonte: CONECTORES, s.d.

5.4 SIMBOLOGIA DE COMPONENTES E CIRCUITOS ELÉTRICOS

Assim como nos componentes de sistemas hidráulicos, para a representação gráfica de sistemas elétricos automotivos são empregados símbolos para representar componentes do circuito, bem como os conectores e condutores elétricos. Os diagramas elétricos formados pela combinação dos diferentes símbolos são de suma importância para trabalhos de reparação de circuitos elétricos veiculares em conformidade com as especificações dos fabricantes das máquinas e veículos, garantindo maior confiabilidade também no diagnóstico de avarias nos sistemas elétricos. A Figura 180 apresenta a simbologia padrão empregada em diagramas de sistemas elétricos automotivos.

Figura 180 – Simbologia de componentes elétricos automotivos.

Bateria	Alternador com regulador de tensão incorporado	Comando eletrônico
Alto	Motor de partida	Bobina de ignição
Interruptor manual	Motor do limpador de para-brisa	Distribuidor eletrônico
Condensador	Relé temporizador eletrônico	Antena mecânica
Reostato	Motor	Válvula solenoide
Acendeddor de cigarros	Buzina	Conector

Figura 180 – Simbologia de componentes elétricos automotivos (continuação).

Relé	Indicador de consumo	Vidro traseiro com desembaçador
Conector	Indicador	Medidor de combustível
Interruptor térmico	Interruptor de pressão	Interruptor mecânico
Lâmpada	Lâmpada de duplo filamento lanterna	Lâmpada LED
Resistor	Lâmpada de duplo filamento farol	Sensor
Relógio de horas	Relógio eletrônico digital	Terminal
Lâmpada do interior	Rádio toca fitas	Antena elétrica
Cruzamento de fios	Ligação de fios (desconectáveis)	Ligação de fios (ponto de solda)
Fusível	Seção transversal do fio ou condutor	Fio elétrico ou condutor
	Diodo	

Fonte: SENAI-PR, 2002.

6 PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO CORRETIVA

Manutenção corretiva pode ser definida como o conjunto de técnicas e práticas adotadas para corrigir falhas que já tenham provocado a parada de máquinas, equipamentos ou veículos. Entre as modalidades de manutenção, é a que apresenta maiores custos e provoca maior tempo de indisponibilidade de equipamentos, considerando-se que só é realizada depois que a falha está instalada no equipamento, quando não há mais tempo para planejar ou executar qualquer ação senão para reestabelecer o funcionamento do equipamento.

Outras modalidades de manutenção incluem a manutenção preventiva (quando há um conjunto de ações planejadas e programadas para sanar defeitos que poderão vir a causar falhas nos equipamentos) e a preditiva (quando se realiza análises ao longo da operação do equipamento visando prever a ocorrência de falhas, acompanhando a evolução destes sintomas, intervindo-se quando essa tendência se tornar potencialmente sujeita de falha).

ATENÇÃO

Trabalhar com **manutenção corretiva** significa correr atrás das falhas, agindo-se somente depois que estas se manifestaram de forma a paralisar a operação normal do equipamento.

Trabalhar com **manutenção preventiva** é caminhar junto com as falhas, acompanhando a evolução dos sintomas e cercando o equipamento dos cuidados necessários para impedir que as anomalias observadas evoluam para falhas.

Trabalhar com **manutenção preditiva** é caminhar à frente das falhas, monitorando os pequenos indícios delas desde suas primeiras manifestações no equipamento e observando-se, através de técnicas avançadas, a evolução destas até um estágio considerado preocupante para se intervir ou verificando se as anomalias regridem, até o ponto de não serem consideradas mais críticas ao funcionamento do equipamento.

6.1 OS 7 PASSOS PARA DIAGNÓSTICO DE PROBLEMAS

A abordagem sistemática dos passos a seguir permitirá a descoberta segura das causas que podem ter levado a falhas em equipamentos, direcionando-as para uma solução rápida e eficaz.

1. **Conhecer o sistema**

O primeiro passo para um diagnóstico correto e uma solução eficaz consiste em se conhecer o sistema onde a falha está instalada. O profissional de manutenção deverá ter, ou buscar, informações confiáveis sobre o funcionamento dos mais diferentes sistemas de máquinas (mecânicos, hidráulicos, elétricos, pneumáticos e eletrônicos) para identificar anomalias que possam levar a falhas que paralisem um equipamento.

2. **Perguntar para o operador**

O operador do equipamento é um profissional que, embora não tenha conhecimento dos sistemas da máquina com que trabalha de modo tão aprofundado quanto o profissional de manutenção, na maioria das vezes, tem extrema familiaridade com o equipamento. Conhece as condições e parâmetros normais de operação deste e identifica com facilidade anomalias e parâmetros anormais de operação que precedem as falhas. Essas percepções do operador são fundamentais para o diagnóstico das falhas e não ter estas informações fará com que o profissional de manutenção perca tempo investigando indícios visíveis (se existirem) da falha, sem conhecer possíveis eventos imediatamente anteriores a ela que poderiam ser fundamentais para o diagnóstico correto.

3. **Inspecionar a máquina**

Somente as informações do operador e o conhecimento do sistema, juntos, não levam o profissional de manutenção ao diagnóstico correto diretamente. Deve-se inspecionar o equipamento para compreender exatamente os fatos causadores da falha, bem como outros pontos que, indiretamente, tenham contribuído para a ocorrência desta. Uma inspeção permite enxergar além da falha em si e de suas causas, permitindo ao profissional de manutenção abordar outras anomalias potenciais que poderão levar à ocorrência de outras falhas, ou mesmo à recorrência da falha em análise.

4. **Operar a máquina (se possível)**

Quando as condições permitirem (desde que a falha em análise não tenha provocado a interrupção de funcionamento do equipamento de forma drástica), e se o profissional de manutenção tiver familiaridade com a operação do equipamento, ele poderá analisar os aspectos que provocaram a falha em questão pela operação do equipamento, tomando cuidado para evitar aumentar a criticidade da falha ou instalar outra falha em consequência da falha avaliada.

5. **Listar as causas possíveis**

Não existe somente uma causa que leve a uma falha. Existem algumas causas, sendo que dentre elas há uma causa potencial que tenha provocado a falha em análise. Além do mais, uma falha raramente é igual a outra, sendo que não se pode associar sempre a mesma falha a uma mesma causa potencial. Assim, é necessário elencar as diversas situações que possam ter contribuído com a falha em análise, para se criar um conhecimento mais abrangente, bem como hipóteses variadas para a mesma falha em outra ocasião, com vistas à aplicação de técnicas de manutenção preventiva e/ou preditiva que evitem a ocorrência da mesma falha novamente.

6. Chegar a uma conclusão

De posse das hipóteses formuladas no passo anterior, é o momento de se analisar uma a uma e descartar as que, nas circunstâncias presentes, não tenham colaborado com a falha em análise. Assim, do sucessivo descarte de hipóteses, restará somente a causa que realmente ocasionou a falha (**causa raiz**). Conforme mencionado no passo anterior, as hipóteses ora descartadas não deverão ser totalmente negligenciadas, podendo ser no futuro causas raízes da mesma falha ou de falhas semelhantes.

7. Testar sua conclusão

Por fim, resta testar a veracidade da conclusão atingida, que estando correta levará à solução da falha em questão. No entanto, se o teste da conclusão não apontar a causa exata da falha investigada, não há de se esmorecer. O teste da conclusão que não resultar na causa raiz da falha agregará experiência ao profissional de manutenção, que evitará este caminho crítico numa situação similar no futuro. E os sucessivos testes infrutíferos refinarão o senso crítico do profissional, fazendo dele um melhor avaliador de problemas e mais do que um mero trocador de peças, mas um **solucionador de problemas**.

REFERÊNCIAS

ABNT. **Projeto de revisão da norma NBR 10123**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfT0gAL/proj-rev-nbr-10123>. Acesso em: 16 dez. 2014.

AGCO. **Manual de serviço SisuDiesel 320 / 420 / 620 / 634**. Manual utilizado em treinamentos de mecânica de motores de tratores agrícolas do SENAR-AR/PR.

ALTERNADOR. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Alternador>. Acesso em: 17 ago. 2015.

BATERIA chumbo-ácido em corte. Disponível em: <www.tecbike.com.br>. Acesso em: 17 ago. 2015.

CABO elétrico típico. Disponível em: <www.digel.com.br>. Acesso em: 18 ago. 2015.

CARICATURA da primeira Lei de Ohm. Disponível em: <http://www.zonavaper.com/index.php?topic=4485.0>. Acesso em: 11 ago. 2015.

CATÁLOGO componentes automotivos BM Eletro. Disponível em: <http://www.bmeletro.com.br/site2010//admin/upload/download/19Cat%C3%A1logo%20Linha%20Eletro-Eletr%C3%B4nicos%20Automotivo.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2015.

CESTARI. **Manual de fórmulas técnicas WEG-Cestari**. Disponível em: <http://www.wegcestari.com.br/index.php/pt/downloads/download-institucional>. Acesso em: 15 dez. 2014.

CÍRCULO da Lei de Ohm. Disponível em: <http://sabereletrico.com/leituraartigos.asp?valor=28>. Acesso em: 12 ago. 2015.

CONECTORES elétricos tipos "Super Seal" e "Bulldog". Disponíveis em: <www.amsterminais.com.br>. Acesso em: 18 ago. 2015.

CORRENTES de ruptura de fusíveis tipo lâmina. Disponível em: <slnautopecas.com>. Acesso em: 18 ago. 2015.

COSTA, P. G. **A bíblia do carro**. 2001-2002, S/E. Disponível em: <https://www.rastrum.com.br/dir_smb/manuais/automotivos/Mecanica%20Automotiva.PDF>. Acesso em: 19 dez. 2014.

DIFERENCIAL. Disponível em: <http://www.envenenado.com.br/howwork/diferencial/diferencial.html>. Acesso em: 19 dez. 2014.

DIODO semicondutor. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Diodo_semicondutor>. Acesso em: 18 ago. 2015.

EMBREAGEM multidiscos. Disponível em: <www.brasilautomatico.com.br>. Acesso em: 19 dez. 2014.

ESAB. **Apostila de eletrodos revestidos**. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2014.

ESAB. **Apostila regras de segurança em soldagem, goivagem e corte ao arco elétrico**. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/apostila_seguranca_na_soldagem_rev1.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2015.

EUTECTIC&CASTOLIN. **Catálogo do eletrodo XUPER 4712**. Disponível em: <http://www.eutectic.com.br/folhetos_tecnicos/ec_xuper_4712.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2014.

FLUXOS de potência numa transmissão de engrenamento constante. Disponível em: <http://movimentomecanico.blogspot.com.br/>. Acesso em: 19 dez. 2014.

FUSÍVEL automotivo tipo lâmina. Disponível em: <www.pilhaecia.com.br>. Acesso em: 18 ago. 2015.

GADANHA JR., C.D. **Transmissão em tratores agrícolas**. Piracicaba, 2010. Disponível em: <http://www.ler.esalq.usp.br/disciplinas/Casimiro/leb332/Transmis_Tratores.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2014.

GALVANÔMETRO de bobina móvel. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Galvan%C3%B4metro>. Acesso em: 10 ago. 2015

ILUSTRAÇÃO típica de um átomo. Disponível em: <www.eletronpi.com.br>. Acesso em: 10 ago. 2015.

INCON. **Catálogo eletrônico fluxômetro TEKFLUX.** Disponível em: <http://www.incon.com.br/arquivos/catalogo/incon-625b78e441cd2af1ee083426881354ba_TEKFLUX-COMPLETO.pdf>. Acesso em: 8 maio 2015.

JOHN DEERE BRASIL. **Manual de operação colhedoras de cana 3520 e 3522 preparadas para AUTOTRAC™.** Disponível em: <http://manuals.deere.com/omview/OMCXT12603_54/?tM=FR>. Acesso em: 07 nov. 2015.

LÂMPADA halógena automotiva. Disponível em: <http://img.dxcdn.com/productimage/sku_372452_1.jpg>. Acesso em: 18 ago. 2015.

LED, diodo emissor de luz. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Diodo_emissor_de_luz>. Acesso em: 18 ago. 2015.

LIGAÇÃO em série; ligação em paralelo; ligação em série-paralelo. Disponíveis em: <www.mpptsolar.com>. Acesso em: 17 ago. 2015.

MASSEY FERGUSON. **Manual de treinamento série 7000 Dyna-6**. Canoas, 2012.

MOTOR de partida. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_de_arranque>. Acesso em: 17 ago. 2015.

MULTÍMETRO digital. Disponível em: <www.aliexpress.com>. Acesso em: 14 ago. 2015.

MULTÍMETRO digital com pontas de teste. Disponível em: <www.varejoar.com.br>. Acesso em: 14 ago. 2015.

MÚLTIPLOS e submúltiplos do metro. Disponível em: <http://www.escolakids.com/multiplos-e-submultiplos-do-metro.htm>. Acesso em: 15 dez. 2014.

MWM Motores Diesel. **Sistema de injeção Common Rail**. 2005.

PARKER-HANNIFIN. **Manual de treinamento – mangueiras**. Jacareí, s/d. Disponível em: < http://www.parkerstoretaubate.com.br/catalogos/Treinamento/4400-4%20BR%20Manual.pdf>. Acesso em: 14 maio 2015.

PARKER-HANNIFIN. **Tecnologia hidráulica industrial**. Jacareí, 2001. Disponível em: < http://www.parkerstoretaubate.com.br/catalogos/Treinamento/M2001-2%20Apostila.pdf>. Acesso em: 4 maio 2015.

REDUTOR planetário (ou epicíclico). Disponível em: <www.brasilautomatico.com.br>. Acesso em: 19 dez. 2014.

RELÉ. Disponível em: <www.sabereletronica.com.br>. Acesso em: 18 ago. 2015.

SANTOS, A. M. **Injeção diesel**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABv50AA/motores-diesel>. Acesso em: 19 dez. 2014.

SANTOS FILHO, A.G.; SANTOS, J.E.G.G. **Apostila de máquinas agrícolas**. Bauru, 2001. Disponível em: < http://wwwp.feb.unesp.br/abilio/maqagri.pdf>. Acesso em: 19 dez. 2014.

SENAI-BA. **Sistema elétrico de carga e partida**. Salvador, 2006.

SENAI; CST. **Ferramentas e seus acessórios**. Disponível em: <ftp://www.ufv.br/dta/disciplinas/tal420/2002/MANUTEN%C7%C3O/PNQC/Ferramentas.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2014 (a).

SENAI; CST. **Noções básicas de processos de soldagem e corte**. Disponível em: <http://www.abraman.org.br/arquivos/73/73.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2014 (b).

SENAI-PR. **Eletricidade automotiva – esquemas e circuitos elétricos**. Curitiba, 2002, 30p. Disponível em: <http://ava.mecatronica.org.br/claroline/claroline/backends/download.hp?url=L0VzcXVlbWFzX2Vs6XRyaWNvcy9lc3F1ZW1hc19lbOl0cmljb3MucGRm&cidReset=true&cidReq=INS323>. Acesso em: 19 ago. 2015.

SENAR-PR. **Trabalhador na operação e na manutenção de tratores agrícolas**. Curitiba: SENAR-PR, 2004. 116 p.

SISTEMA de Admissão de Ar. Disponível em: <www.joaoapmilbauer.blogspot.com.br>. Acesso em: 19 dez. 2014.

SISTEMA de arrefecimento. Disponível em: < http://k2centroautomotivo.com/>. Acesso em: 19 dez. 2014.

STARRETT. **Calibrador de folga tipo leque**. Disponível em: <http://www.starrett.com.br/produtodetalhe.asp?prodnome=Calibrador-de-Folga-Tipo-Leque&cat=1&linha=69&subdiv=30&subsubdiv=8&codprod=202>. Acesso em: 16 dez. 2014.

STAUFF. **Catálogo Diagtronics™**. Disponível em: <http://www.vhl.com.br/stauff/diagnosticos.pdf>. Acesso em 12 maio 2015.

TAGOUT Bloqueio e Etiquetagem. **Etiqueta ET3SF para bloqueio**. Disponível em: <http://www.tagout.com.br/item-portfolio/2780/>. Acesso em: 07 nov. 2015.

TÉCNICA Operatória na soldagem oxiacetilênica. Disponível em: <http://blog.mvsoldas.com.br/super-dica-tecnica-operatoria-na-soldagem-oxi-acetilenica-parte2/>. Acesso em: 18 dez. 2014.

TELECURSO 2000 profissionalizante – elementos de máquinas. Disponível em: <http://www.essel.com.br/cursos/material/01/elementos.htm>. Acesso em: 17 dez. 2014 (a).

TELECURSO 2000 profissionalizante – metrologia. Disponível em: <http://www.essel.com.br/cursos/material/01/metrologia.htm>. Acesso em: 16 dez. 2014 (b).

TEXACO. **Fundamentos da lubrificação**. 2005. Disponível em: < http://www.ebah.com.br/content/ABAAABbwUAF/apostila-texaco-fundamentos-lubrificacao>. Acesso em: 19 dez. 2014.

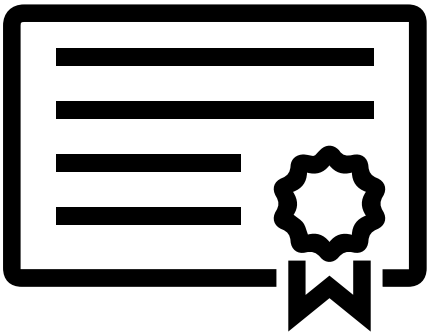
TRIÂNGULO da potência elétrica. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/tonyranthum/eletricidade-captulo-04>. Acesso em: 13 ago. 2015.

TURBOCOMPRESSOR. Disponível em: <www.joaoapmilbauer.blogspot.com.br>. Acesso em: 19 dez. 2014.

VALTRA DO BRASIL. **Manual de serviço Valtra BH geração II**. S/E, Mogi das Cruzes, 2010.

_____. **Manual de serviço Valtra BH geração III**. S/E, Mogi das Cruzes, 2014.

CERTIFICADO DO CURSO



O certificado de conclusão é emitido, no mínimo, 30 dias após encerramento do curso, tempo necessário para o instrutor realizar a análise de desempenho de cada aluno, para que, posteriormente, a área de certificação do Sistema FAEP/SENAR-PR realize a emissão.

Você pode acompanhar a emissão de seu certificado em nosso site ***sistemafaep.org.br***, na seção Cursos SENAR-PR > Certificados ou no QRCode ao lado.

Consulte o catálogo de curso e a agenda de datas no sindicato rural mais próximo de você, em nosso site ***sistemafaep.org.br***, na seção Cursos ou no QRCode abaixo.

Esperamos encontrar você novamente nos cursos do SENAR-PR.

ANOTAÇÕES

ANOTAÇÕES

ANOTAÇÕES

SISTEMA FAEP

Rua Marechal Deodoro, 450 - 16º andar
Fone: (41) 2106-0401
80010-010 - Curitiba - Paraná
e-mail: senarpr@senarpr.org.br
www.sistemafaep.org.br

Facebook
Sistema Faep

Twitter
SistemaFAEP

Youtube
Sistema Faep

Instagram
sistema.faep

Linkedin
sistema-faep

Flickr
SistemaFAEP