

Automação Industrial

Pedro Henrique Chagas Freitas

Luciane Janice Venturini da Silva

INFORMAÇÕES SOBRE O AUTOR

Pedro Henrique Chagas Freitas

- Mestrado em Gestão do Conhecimento e Tecnologia da Informação;
- Pós-graduado em Gestão de Sistemas;
- Graduado em Engenharia da Computação.

Sobre o Autor

É mestre em Gestão do Conhecimento e Tecnologia da Informação pela Universidade Católica de Brasília – UCB (2018). Pós-graduado em Gestão de Sistemas pela Faculdade JK (2015). Graduado em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Computação pela Centro Universitário de Brasília – UniCEUB (2014). Foi aprovado na primeira e na segunda fase da seleção de Subcontrolador de Governo Aberto do Estado de Minas Gerais. Aprovado e nomeado nos concursos do Ministério da Economia (ME), Ministério da Educação (MEC), Fundação Universidade de Brasília (UNB) e 1º colocado no concurso de Professor de Informática da Secretaria de Educação do Distrito Federal.

Luciane Janice Venturini da Silva

- Pós-doutora em Física;
- Doutora em Física;
- Mestra em Física;
- Graduada em Física - Licenciatura;
- Graduada em Física - Bacharelado, com ênfase em Física Médica.

Sobre o Autor

É Pós-doutora em Física pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (2016). Doutora em Física da Matéria Condensada Experimental pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (2015). Mestra em Física da Matéria Condensada Experimental pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (2010). Graduada em Física - Licenciatura, pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM (2018). Graduada em Física - Bacharelado, Universidade Franciscana – UFN (2007). Tem formação complementar em elaboração de materiais didáticos, bem como cursos de extensão em docência no Ensino Superior, Moodle para docentes e tutores, formação docente, didática no ensino superior, dentre outros. Tem experiência na elaboração de materiais/livros didáticos e docência no Ensino Superior. Atualmente, é docente substituta no Ensino Superior na Universidade Federal do Pampa – Unipampa, Campus Caçapava do Sul.

INTRODUÇÃO DO LIVRO

Este livro abordará, de forma didática, os principais conceitos de Automação Industrial, dentre eles: Introdução à Automação Industrial, Sistemas Dinâmicos, Controle de Eventos e Controles Lógicos, Arquitetura da Automação e Projeto de Automação.

Além disso, serão vistos os principais conceitos do hardware e software, abarcando: sensores analógicos e sensores digitais, sensores de presença, sensores ópticos, sensores de temperatura, sensores de pressão, sensores de nível e sensores de vazão, além de atuadores elétricos e pneumáticos e transmissores.

Por fim, trataremos a respeito da Integração de Plantas de Processos Industriais, em que serão apresentados conceitos específicos do controle dos processos industriais, o que resultará em condições para que você se familiarize com diversos processos na indústria.

Na sequência, serão apresentados os Sistemas de Processos Supervisórios, destacando as principais características do software de supervisão do tipo SCADA e a interface IHM.

Para finalizar, estudaremos sobre robótica industrial; mais especificamente, abordaremos sobre o surgimento da robótica industrial, o conceito de robô industrial, os principais componentes de um sistema robótico e as vantagens e desvantagens desse tipo de equipamento.

Desejamos a você bons estudos.

UNIDADE I

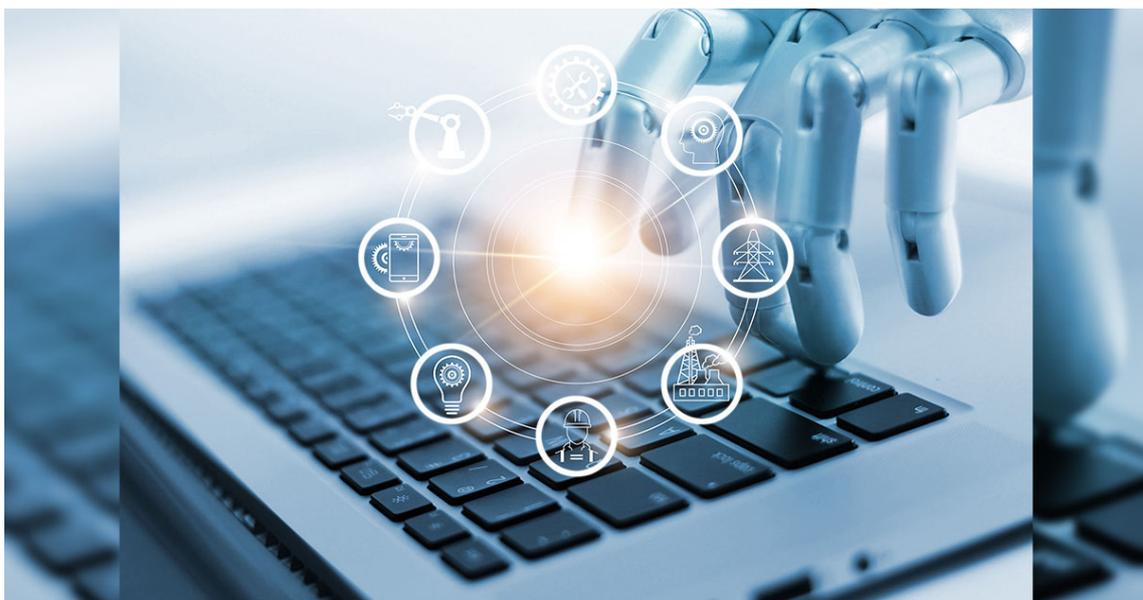
Conceitos de Automação Industrial

Pedro Henrique Chagas Freitas

Introdução

Nesta unidade, abordaremos a temática de Automação Industrial, explicitando os conceitos introdutórios. Inicialmente, será apresentado, ao leitor, um panorama sobre a automação industrial e os sistemas dinâmicos, abarcando controles de eventos ou controles lógicos e, por fim, analisaremos a arquitetura da automação industrial e exemplificaremos os conceitos aprendidos por meio de um projeto de automação industrial. Por conseguinte, teremos, então:

1. introdução à automação industrial.
2. sistemas dinâmicos.
3. arquitetura da automação industrial.
4. projeto de automação.



Fonte: Pop Nukoonrat / 123RF.

Introdução à Automação Industrial

Neste capítulo introdutório, apresentaremos uma visão contextual-histórica do percurso de desenvolvimento da indústria até a automação industrial, com seus principais marcos e, a partir disso, mostraremos o panorama atual da automação industrial.

Histórico da Automação Industrial

A história da automação industrial está ligada à instrumentação analógica, a qual nem sempre teve automação na indústria. Historicamente, esta passou por diversos desafios para realizar os processos industriais, dentre eles: transmitir, medir, cortar, carregar, etc. Dessa forma, o que levou à automatização das indústrias foram os processos industriais, que precisavam tornar-se mecânicos para operar em larga escala (MAMEDE FILHO, 2017). A própria competitividade e a necessidade de produzir em larga escala levou a indústria a assumir processos industrializados.

Com a competitividade na criação de produtos e serviços, a indústria enfrentou um grande aumento da complexidade na virada entre os processos rústicos e analógicos (Revolução Industrial - 1760) para os processos automatizados, que marcaram o desenvolvimento econômico de muitos países, principalmente da indústria de base, onde a produção e automatização dos processos de produção de commodities culminou no aumento da riqueza e da competitividade de vários países. Dentre esses países está o Brasil, que, por meio da automação da indústria de base, principalmente no campo da agropecuária, representou grandes avanços no último século (FIALHO, 2014).

FIQUE POR DENTRO

A Automação está associada diretamente ao controle automático de processos industriais, por meio do monitoramento de tarefas, com operações lógicas de sequência e execução, bem como a um altíssimo nível de produção atrelada ao desenvolvimento tecnológico. Isto é, automação industrial é um processo tecnológico em constante mudança e adaptação, o qual depende diretamente do tipo de indústria, do porte e do serviço vinculado a esta, tendo em vista que os processos industriais, principalmente brasileiros, são de base. Para saber mais sobre esta temática, acesse a reportagem do site G1, sobre o impacto econômico da indústria de base brasileira, disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/producao-da-industria-fecha-2017-com-alta-de-25-diz-ibge.ghtml>>. Acesso em: 23 set. 2019.

A automação industrial teve um interessante marco, que foi o controle. O controle era imprescindível para o desenvolvimento dos processos industriais. A qualidade dos produtos começou a gerar competitividade em conjunto com a demanda em larga escala, o que fez da automação industrial uma revolução econômica, onde as indústrias menos adaptadas começaram a ficar para trás e as indústrias cada vez mais automatizadas foram quebrando monopólios históricos, em que os mais adaptados (mais automatizados) começaram a tomar a frente na corrida do desenvolvimento econômico (MAMEDE FILHO, 2017).

Hoje, temos três principais fomentadores da indústria que refletem diretamente a automação:

- aumento da qualidade;
- aumento da quantidade;
- redução do desperdício.

Ambos os fomentadores são autoexplicativos, todavia vale ressaltar que a transferência de tarefas analógicas para tarefas automatizadas também fomentaram a adaptação da mão de obra humana, ou seja, onde antes realizavam-se operações manuais, houve automatização, o que colaborou para a mudança do paradigma industrial do trabalho. Passou-se a ter na indústria mão de obra mais capacitada, ao invés de mão de obra com baixo nível de capacitação.

REFLITA

O desenvolvimento tecnológico promove a criação ou a extinção de empregos da indústria?

Com o advento da revolução industrial, a indústria foi vista como base para a criação de empregos e, conseqüentemente, para o desenvolvimento econômico. Por sua vez, a evolução tecnológica tem substituído, dentro da indústria, a mão de obra menos capacitada pela automação dos processos industriais.

O maior reflexo disso ocorre no emergir da indústria 4.0, em que tecnologias, como *machine learning*, tem promovido a extinção de vários empregos e oportunamente a criação de outros empregos de maior complexidade, como o cientista de dados. O fato é que, para alguns menos capacitados, o desenvolvimento tecnológico tem promovido a exclusão da entrada de mão de obra, enquanto, para os mais capacitados, novas áreas têm sido criadas.

Ao longo da história humana, tivemos um longo processo de redução do esforço humano no trabalho (CAPELLI, 2007), em que os principais graus de automação industrial foram:

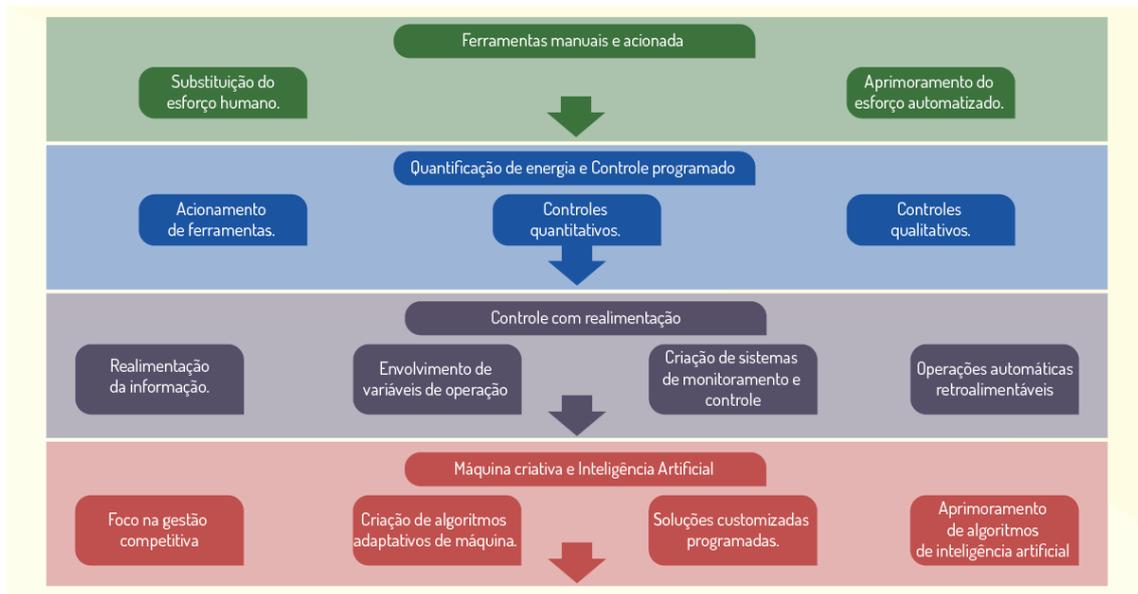


Figura 1.1 - Os principais graus de automação

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ferramentas manuais e acionadas: o processo de redução do esforço humano desencadeou, gradativamente, o abandono de ferramentas manuais e acionadas, em que a substituição das mãos humanas, por controles programados, demonstrou maior eficiência nos processos industriais (NATALE, 2007). Paralelamente, o emprego de energia humana foi substituído por eletricidade, água, ar comprimido, vapor de água, nuclear, dentre outras formas de produção de energia nas indústrias.

Quantificação de energia e controle programado: a quantificação de energia foi o início dos processos automatizados de controle, em que, por exemplo, cronômetros foram utilizados para verificar o tempo de fluidez de substâncias, termômetros foram utilizados para avaliar o início e o fim de reações químicas e etc. Após as medições, foi possível delimitar controles programados, nos quais não era mais necessário que, no instante T, tivéssemos alguém comandando a abertura de uma caldeira industrial, mas sim teríamos um sistema que reagiria a um determinado impulso, o que, por sua vez, orquestrou os processos de automatização, no qual as máquinas eram programadas para obedecer sequências automáticas e predeterminadas (MAMEDE FILHO, 2017).

Controle com realimentação: a realimentação visava corrigir os processos automatizados, em que sistemas realizavam comparação entre dois processos ou dois resultados esperados após a automatização, o que, por sua vez, serviu de indicativo periódico para análise de proximidade e periodicidade, aumentando, assim, os conceitos derivados de qualidade na produção industrial de larga escala, ou seja, quanto maior a produção, maior a chance de erros; e logo maior a realimentação e correção de erros nos processos industriais (CAPELLI, 2007).

Máquina criativa e Inteligência Artificial: desde a revolução digital, a automatização tem se aprimorado por meio de diversos projetos de circuitos inteligentes, algoritmos de alta complexidade e cálculos de controle de tempo real. Hoje, dispomos, na indústria, de técnicas robustas, adaptativas e preditivas (MAMEDE FILHO, 2017). O próximo passo esperado e já empregado em alguns contextos é a máquina criativa, que procura soluções para o programador que não consegue realizar verificações por meio da inteligência artificial (IA).

Indústria 4.0 ou Quarta revolução industrial

A indústria 4.0, também conhecida como Quarta revolução industrial, é a expressão utilizada para englobar as novas tecnologias que estão surgindo para a indústria, tais como: sistemas ciberfísicos, internet das coisas, computação em nuvem, inteligência artificial, máquinas de aprendizagem, dentre outros. A quarta revolução industrial tem, como objetivo, criar fábricas inteligentes, com estruturas modulares, monitoramento a distância e decisões descentralizadas em tempo real, aumentando, assim, a cadeia de valor produtiva, bem como inúmeras oportunidades para agregação de valor a clientes e aumento da produtividade e qualidade, reduzindo, também, desperdícios.

ATIVIDADES (Introdução à automação industrial)

1) Até a chegada da quarta revolução industrial, muitos passos foram dados, para que a mão de obra humana fosse substituída, dentro dos processos industriais, por algoritmos preditivos de controle, tendo em vista que a principal premissa de automatização de processo na indústria era o controle que, por sua vez, fomentou a produção industrial de larga escala. Dentre os principais fomentadores da automatização de processos industriais, tivemos:

- a) o aprimoramento de novas técnicas e a orquestração de soluções e produtos inovadores.
- b) o aumento da qualidade, o aumento da quantidade e a redução de desperdícios.
- c) o crescimento da mão de obra, a evolução da legislação trabalhista e a simplificação de processos.
- d) a demanda por produtos com maior simplicidade e agregação de tecnologias disruptivas.
- e) o aumento da competitividade, o aumento de riscos e a mão de obra mais barata.

Sistemas Dinâmicos

Para compreender o conceito de sistemas dinâmicos na indústria, será necessário entender o conceito por trás de sistema. Um sistema é, por definição, um aglomerado de componentes ordenados, os quais intercambiam-se, a fim de promover um fim específico, convenientemente, por quem idealiza o sistema.

Logo, um sistema pode ser de qualquer dimensão e ter, em seu escopo, diferentes funções, componentes ou, até mesmo, outros sistemas formando agregados de subsistemas. Por exemplo, o sistema elétrico de um condomínio é uma dimensão do sistema elétrico da cidade, enquanto que o sistema elétrico da cidade é uma dimensão do sistema elétrico do estado e, por conseguinte, do país. Mas o que difere um sistema de outro sistema?

Esta pergunta é interessante, porque remete-nos a identificar duas características. Primeiro, o modelo do sistema que, em nosso caso, estamos estudando os sistemas dinâmicos. Outra característica é a fronteira do sistema, ou seja, a fronteira determina os elementos do mundo real e, respectivamente, os processos que são parte do sistema, fazendo diferenciação entre o sistema e o meio externo. Por exemplo, um sistema hidráulico industrial completo, que engloba motores, bombas, válvulas, cilindros, etc., terá o seu escoamento interno (funcionamento) definido por meio da fronteira de interação do sistema. Isso ocorre para que, no momento de criação de um sistema, fique clara a separação entre meio externo e interno (MAMEDE FILHO, 2017).

Agora, voltemos a compreender o significado de dinâmica empregado a sistemas. Na engenharia, a dinâmica é o estudo do comportamento de variáveis em função do tempo. Logo, um sistema dinâmico é um sistema variável e que opera em função do tempo. Os sistemas dinâmicos dividem-se academicamente dentro do campo da engenharia em subáreas:

1. vibrações: vibrações de estruturas de máquina operatriz, vibração de estruturas de aeronaves, etc.
2. sistemas de controle de eventos: direção hidráulica de automóveis, robôs, sistemas de carregamento industrial, etc.
3. sistemas de medição: medidores de tensão, medidores de deformação, medidores de ruído, etc.
4. sistemas específicos: sistemas de análise molecular em usinas nucleares, sistemas de conversão atômica, etc.

Ambos os tipos de sistemas dinâmicos têm, como características, operadores de entrada e saída em suas fronteiras.

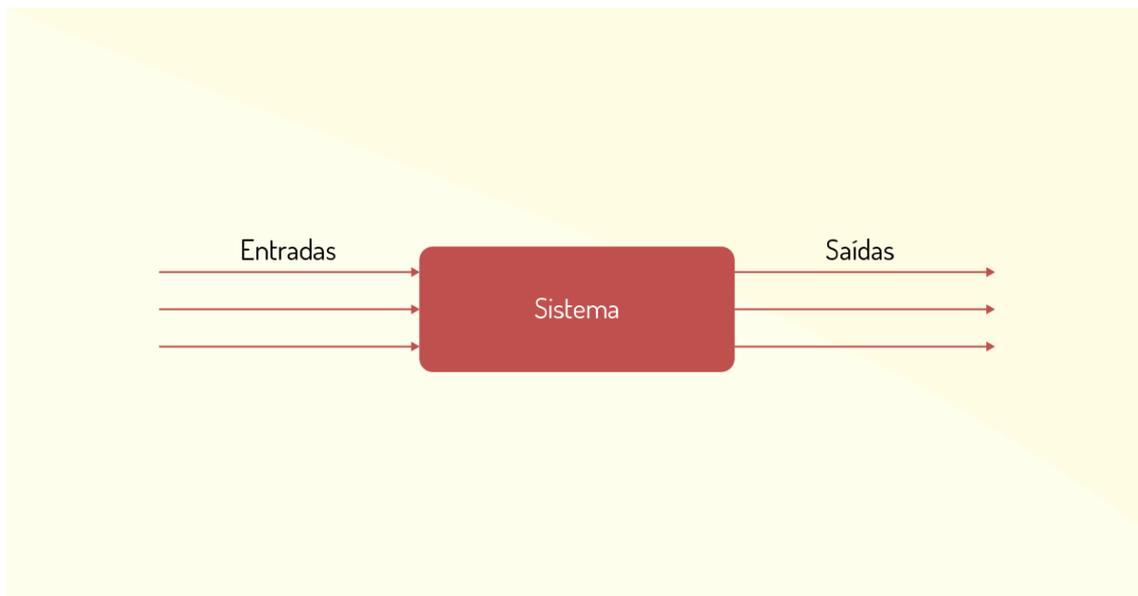


Figura 1.2 - Sistemática de entradas e saídas em um Sistema

Fonte: Elaborada pelo autor.

Nos sistemas dinâmicos, uma entrada é qualquer coisa que pode vir a modificar o estado do sistema. Em dinâmica, o comportamento de uma entrada é independente do sistema, ou seja, estamos partindo do pressuposto de que a entrada, seja qual for, não sofre interferência do sistema. É importante destacar que não temos unicidade sobre a entrada e a saída, ou seja, podemos ter várias saídas em função de uma entrada ou uma saída em função de várias entradas (CAPELLI, 2007).

Por exemplo, um sistema dinâmico de molas para amortecedores terá, como entrada, uma força $f(t)$ sobre a massa, porém poderá ter, como saída, diversas variáveis, tais como:

- temperatura da mola;
- variação das propriedades do material;
- viscosidade do óleo do amortecedor;
- posição da massa, etc.

No exemplo, perceba que o sistema de amortecimento é dinâmico no tempo (instante 0, 1, 2, 3, etc.) e seu comportamento pode derivar de várias saídas a partir de entradas únicas em temos distintos. De acordo com Natale (2007), isso abre caminho para a apresentação de dois conceitos fundamentais:

- **sistemas lineares:** temos mais de uma entrada variando e consideramos, para a saída, uma entrada por vez. Logo, a resposta total do sistema é obtida por meio do somatório das respostas individuais;
- **sistemas não lineares:** por meio de uma única entrada ou de múltiplas entradas, não é possível concretizar regras gerais para o sistema. Logo, a complexidade entre entrada e saída envolve diversos cenários, além da entrada e da saída.

Controle de Eventos

Os tipos de sistemas dinâmicos mais empregados na indústria são os sistemas de controles de eventos, porque, para que ocorra a automação industrial, é necessário que mecanismos de controles sejam empregados. Por esta razão, serão nossos objetos de estudo e aprofundamento, que serão os sistemas de controle de evento, subgrupo dos sistemas dinâmicos (FIALHO, 2014).

Temos diversos tipos de sistemas de controle de eventos, porque “evento” é qualquer ação ou reação dentro de um ambiente em que se deseja controlar por meio de sistemas. Logo, temos:

- sistemas de controle de temperatura;
- sistemas de controle de tensão;
- sistemas de controle de fluxo;
- sistemas de controle de potência;
- sistemas de controle de radiação, etc.

Como são inúmeros os tipos de sistemas de controles de eventos, vamos aprofundar-nos nas características em comum dos sistemas de controle e os principais empregos destes. Sistemas de controle de eventos são denominações que descrevem um conjunto de componentes interconectados, que tem, como função principal, a realização de uma ou mais ações, segundo a lógica pré-determinada e em resposta ao estado em que se encontra um equipamento e à ocorrência de eventos determinados. Os eventos descrevem sinais decorrentes do término de uma atividade/tarefa ou de uma mudança de estado de um dispositivo.

Tipos de Controle

Temos dois tipos de controle industrial:

1. controle contínuo.
2. controle discreto.

Ambos têm, como finalidade, controlar os processos industriais, a fim de prover qualidade e avaliação de desempenho, a depender do que se deseja controlar. O controle contínuo fundamenta-se em avaliar e controlar processos contínuos, como quando a matéria prima entra em um lado de um sistema e o produto final sai do outro lado continuamente. Contínuo é o termo utilizado para definir um dado período de tempo ininterrupto ou de longa duração. Exemplo: mineração, indústria petroquímica, siderúrgica, etc.

Já os controles discretos envolvem operações binárias ou operações booleanas, isto é, ligado-desligado, verdadeiro-falso, sim-não, 1-0, etc. O controle, neste caso, baseia-se na binariedade, em que os estados dos equipamentos e processos industriais só poderão assumir dois valores ou duas condições possíveis: aceso-apagado e energizado-desenergizado. Os processos discretos são altamente dependentes de controles lógicos e podem ser dimensionados por meio de sistemas de eventos discretos.

Podemos, então, concluir que os processos industriais necessariamente são sensíveis a controles, que podem ser do tipo contínuo ou discreto, a depender das peculiaridades dos sistemas, processos e máquinas industriais. Por meio dos controles contínuos, as variáveis manipuladas têm natureza contínua, ou seja, de duração continuada, caso, por exemplo, de processos químicos industriais. Os controles discretos já são oriundos de variáveis (sistemas, processos e máquinas) que terão natureza discreta, isto é, que terão duas respostas, somente, ou respostas autoexcludentes (sim e não, 0 e 1, ligado e desligado, etc.).

Sistemas de Controle

Temos dois tipos de sistemas de controle dentro da indústria, que podem ser combinados, a depender dos tipos de solução industrial:

1. sistemas de controle de malha aberta (MA).
2. sistemas de controle de malha fechada (MF).

Os sistemas de controle de malha aberta utilizam dispositivos atuadores para controlar os processos de forma direta, ou seja, sem a utilização de realimentação. Por exemplo, com relação a uma máquina de lavar roupas. Nesta máquina, todos os ciclos do processo (lavar, enxaguar, centrifugar, etc.) são controlados por meio do tempo de duração de cada tarefa. Logo, não temos, necessariamente, uma variável para mensurar e controlar a qualidade do processo. Já os sistemas de controle em malha fechada utilizam uma medida de saída e uma realimentação para realizar uma comparação com a saída (resposta) desejada, a qual que pode ou não ser um valor de referência. Abaixo, temos um desenho que visa elucidar as diferenças dos dois tipos de sistemas MA e MF.

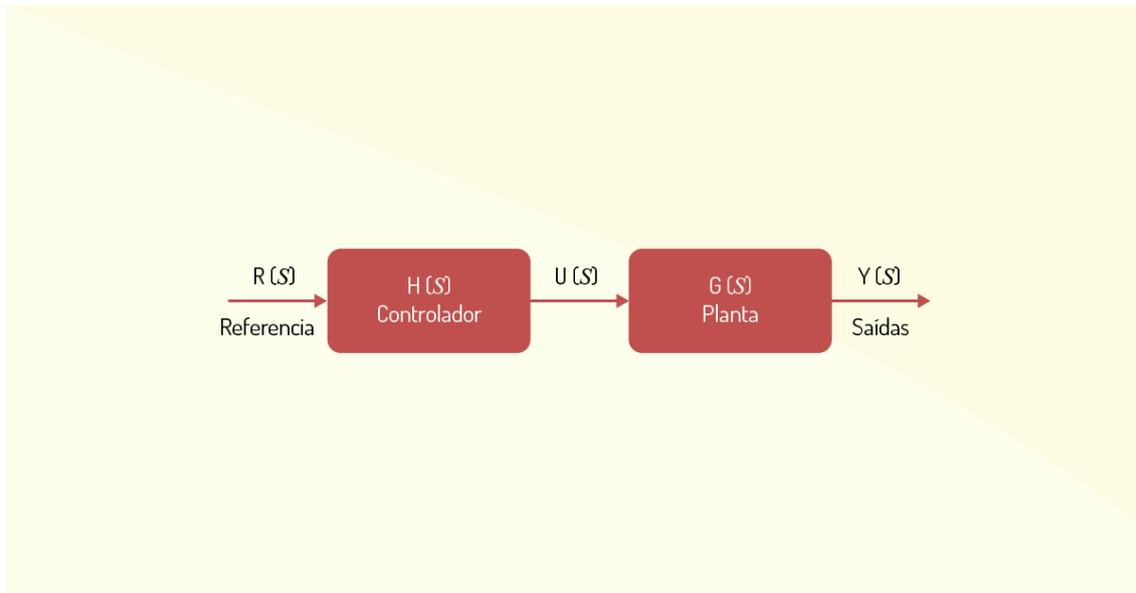


Figura 1.3 - Ilustração SMA (Sistema de Malha Aberta)

Fonte: Voltolini (2010, p. 10).

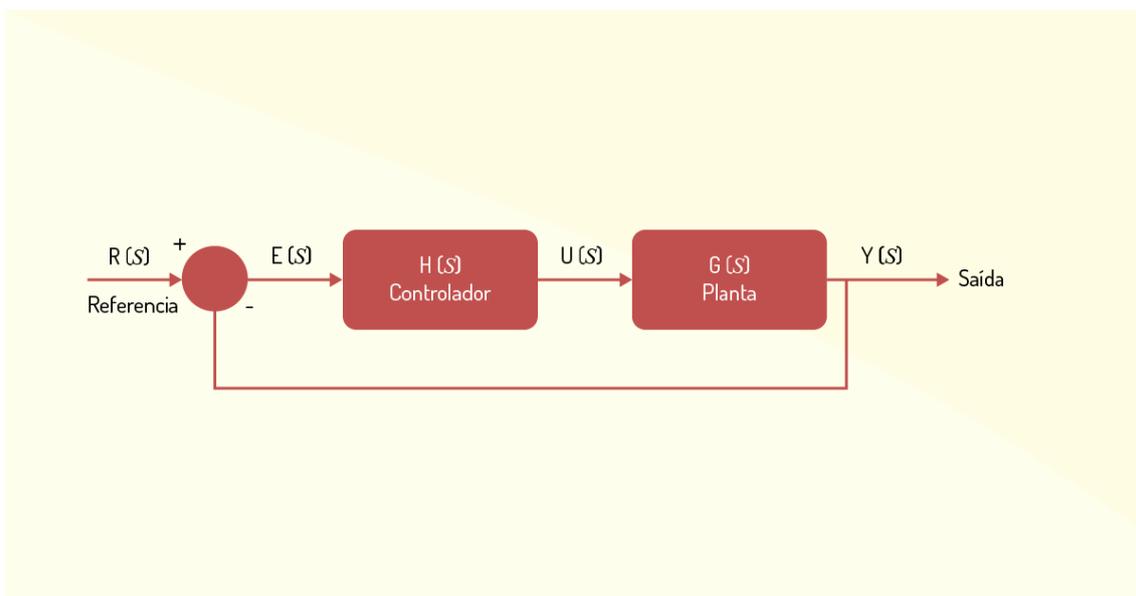


Figura 1.4 - Ilustração SMA (Sistema de Malha Fechada)

Fonte: Voltolini (2010, p. 10).

Também é possível controles de malha fechada ou aberto realizados de forma manual. A título de curiosidade, temos a direção de um automóvel, em que a informação de realimentação, que faz o motorista conduzir o veículo, é retroalimentada por meio da própria visão humana.

As principais vantagens de empregar sistemas de controle de malha aberta (MA) são:

1. simplicidade na construção e manutenção.
2. menos dispendioso em relação a um sistema correspondente de MF.
3. alto nível de estabilidade, dado que não temos retroalimentação.
4. indicados quando existem dificuldades de avaliação da saída ou quando a medição que precisa da saída não é economicamente indicada.

As principais desvantagens dos sistemas de controle de malha aberta (MA) são:

1. distúrbios e mudanças na calibração podem vir a causar erros e, logo, a saída pode vir a apresentar diferenças em relação ao esperado.
2. é necessário regulagem periódica para que a saída mantenha a qualidade requerida.

Quanto às vantagens e desvantagens de um sistema de controle de malha fechada (MF), vai depender diretamente do tipo de sistema e da respectiva retroalimentação que este terá. Todavia, como é comum a necessidade de avaliação e controle da saída, fora os sistemas com baixo nível de complexidade, indica-se, sempre, utilizar malha fechada para o controle, conforme a complexidade do sistema aumenta.

Requisitos de um Sistema de Controle

Os requisitos que podem abarcar um sistema de controle de malha fechada são os mesmos que podem ser empregados em um sistema de controle de malha aberta, variando diante da não necessidade de realimentação de um sistema de malha aberta. Logo, temos, na figura a seguir, um diagrama que ilustra os requisitos de um sistema de controle de malha fechada, que define, então, os seguintes requisitos:

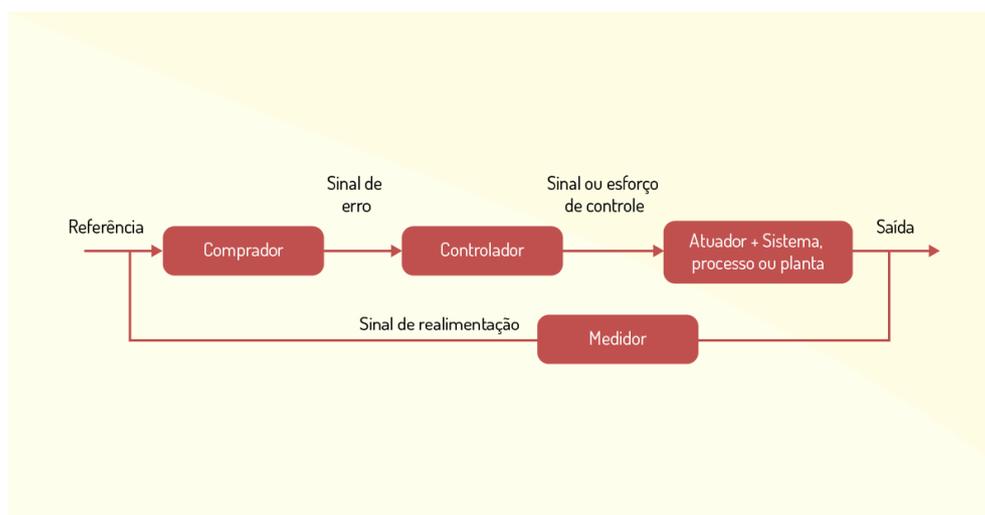


Figura 1.5 - Requisitos de um sistema de controle

Fonte: Voltolini (2010, p. 14).

- Referência: valor desejado da variável a ser controlada.
- Comparador: dispositivo que constrói o sinal do erro entre o valor desejado e o obtido.
- Controlador: dispositivo que manipula o sinal de erro, gerando um sinal de controle, que será aplicado no sistema, a fim de corrigir a variável a ser controlada.
- Atuador: dispositivo que recebe o sinal de controle e gera um sinal com potência suficiente para atuar sobre o sistema.
- Medidor: sensor que registra a variável que se deseja controlar e realimenta o comparador com o valor de referência esperado.

Controle de Processos por Computador

Hoje em dia, cada vez mais os processos industriais são controlados a distância por computadores que, em tempo real, registram e fazem a comparação com os sistemas controlados, a fim de garantir segurança, estabilidade, qualidade, etc.

Dentro dos processos industriais, a indústria 4.0 tem se difundido cada vez mais e, com a chegada de IA, IOT e *Machine Learning*, esta tem utilizado mais computadores para realizar o monitoramento e o controle dos processos industriais. A seguir, temos, por exemplo, a ilustração do controle de processos em um sistema de temperatura utilizando um computador.

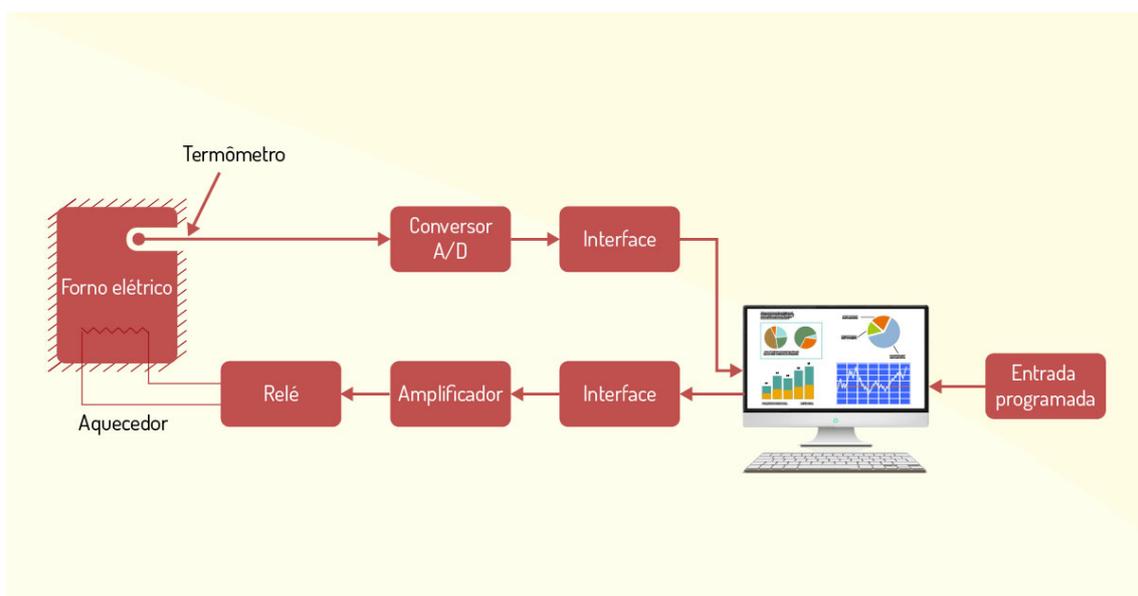


Figura 1.6 - Controle de processo por computador

Fonte: Voltolini (2010, p. 19).

ATIVIDADES (Sistemas dinâmicos)

2) Caso tivéssemos o objetivo de utilizar controles de malha para comparar a variável controlada (temperatura) com um valor de referência pré-ajustado (ponto de fusão), para saber o momento exato de fusão do metal e executar o seu resfriamento, qual tipo de controle de malha deve ser empregado?

- a) Controle de malha aberta.
- b) Microcontrolador.
- c) Controle de malha misto parcialmente aberto ou fechado.
- d) Controle de malha aberta em processo.
- e) Controle de malha fechada.

Arquitetura da Automação Industrial

A arquitetura de automação industrial é baseada em equipamentos, máquinas e dispositivos que, interligados aos processos industriais, recebem informações e enviam-nas para sistemas de controle hierarquicamente superiores, nos quais são tratados os dados e, por conseguinte, podem ser disponibilizados ou não em monitores, papéis, etc. Dependendo da decisão da unidade de supervisão e controle, podemos ter mensagens retornando para a unidade de aquisição de dados, que é o principal artefato arquitetural da automação industrial, que pode desempenhar inúmeras funções, a depender do tipo de projeto industrial (FIALHO, 2014).

As unidades de Aquisição de Dados (UAD) compreendem dois diferentes módulos em uma estrutura de automação:

- Unidades de Aquisição de Dados e Controle (UADCs);
- Unidades Dedicadas (UDs).

As UADCs são constituídas pelos CLPs e pelas UTRs (Unidades Terminais Remotas). As UD's (Unidades dedicadas) são constituídas por relés digitais, unidades de intertravamento, dentre outros. As unidades de aquisição de dados descrevem funções como comandar a manobra de máquinas e equipamentos utilizando os meios de (MAMEDE FILHO, 2017):

- entrada de dados analógicos: as entradas de dados analógicos são variáveis presentes no processo e caracterizadas por tensão, corrente, frequência, vazão, pressão, etc.;

- saída de dados analógicos: as saídas de dados analógicos são variáveis fornecidas aos componentes do sistema para ajuste de sua lógica, tais como sinais para medidores de energia, controladores de velocidade, etc.;
- entrada de dados digitais: a entrada de dados digitais são representações de informações recebidas dos equipamentos, as quais refletem seu estado operacional, aberto ou fechado, tais como disjuntores, chaves seccionais, etc.;
- saída de dados digitais: a saída de dados digitais são representações de informações de ocorrências desejadas de mudança de estado de equipamentos, aberto ou fechado, de forma que se possa atuar a distância sobre estes.

Dessa forma, as unidades de aquisição de dados e controle são, em suas concepções, compostas por um conjunto de cartões eletrônicos, cada um acompanhado de funções específicas, além de outras unidades de lógica e memorização que podem ser visualizadas pelo diagrama de bloco a seguir.

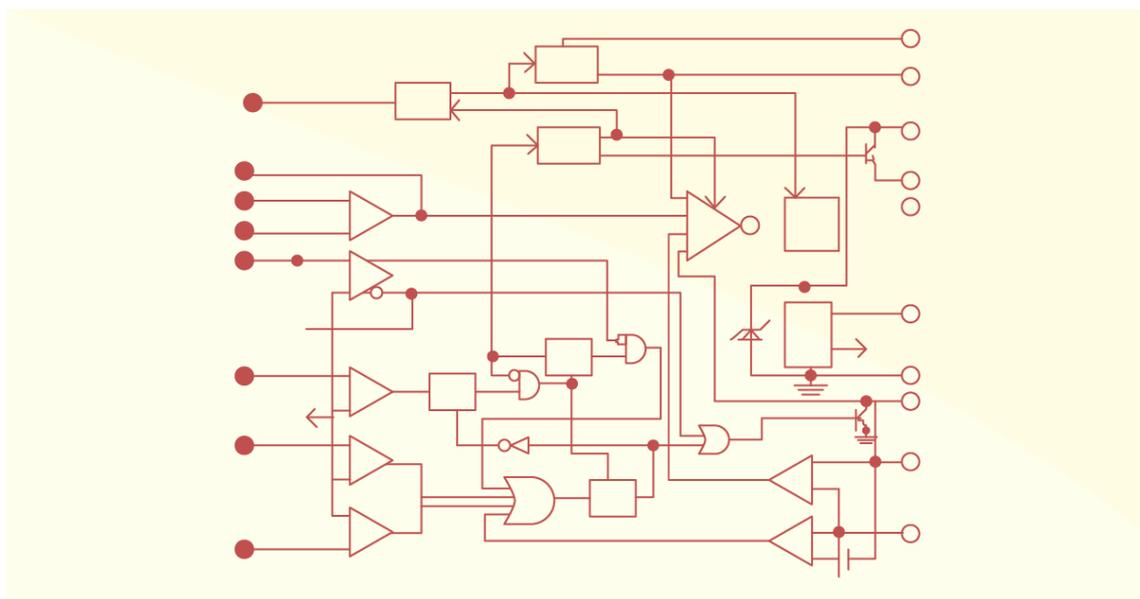


Figura 1.7 - Diagrama de bloco demonstrando as unidades lógicas

Fonte: Circuitos... (on-line).

Normalmente, temos no desenho arquitetural de automação industrial:

- a) fonte (F): representa a alimentação externa de uma unidade de aquisição de dados e controle, podendo ser feita por meio de uma fonte de corrente alternada ou de uma fonte de corrente contínua.

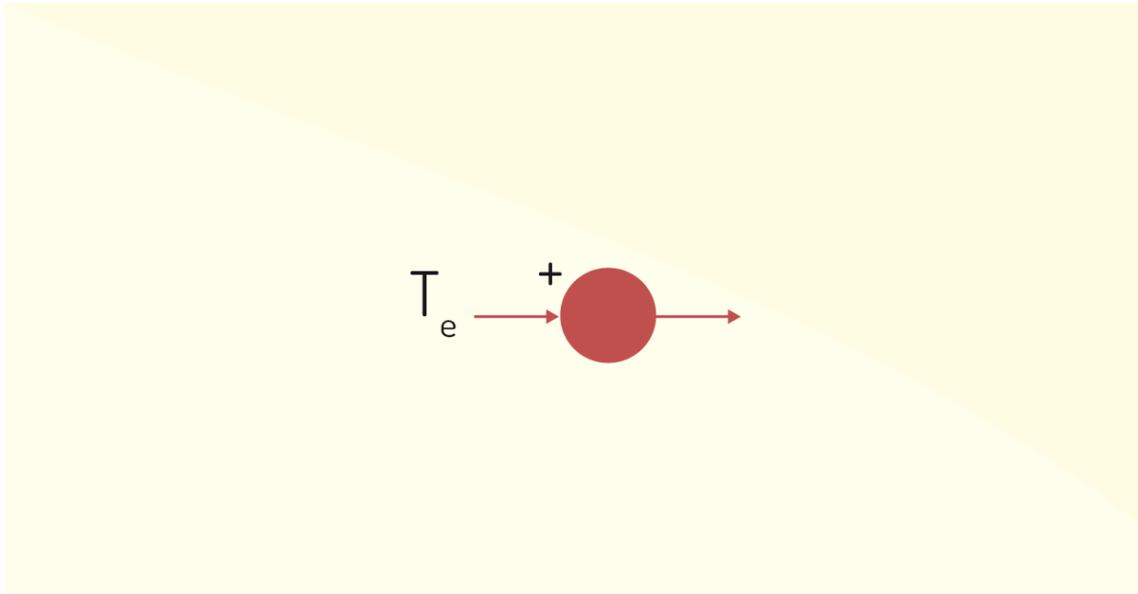


Figura 1.8 - Fonte

Fonte: Elaborada pelo autor.

- b) memória ROM (*Read Only Memory*): são memórias cujo processador só consegue ler seus dados quando introduzidos pelo próprio fabricante do chip, sendo apenas de leitura, ou seja, os dados inseridos não podem ser alterados.

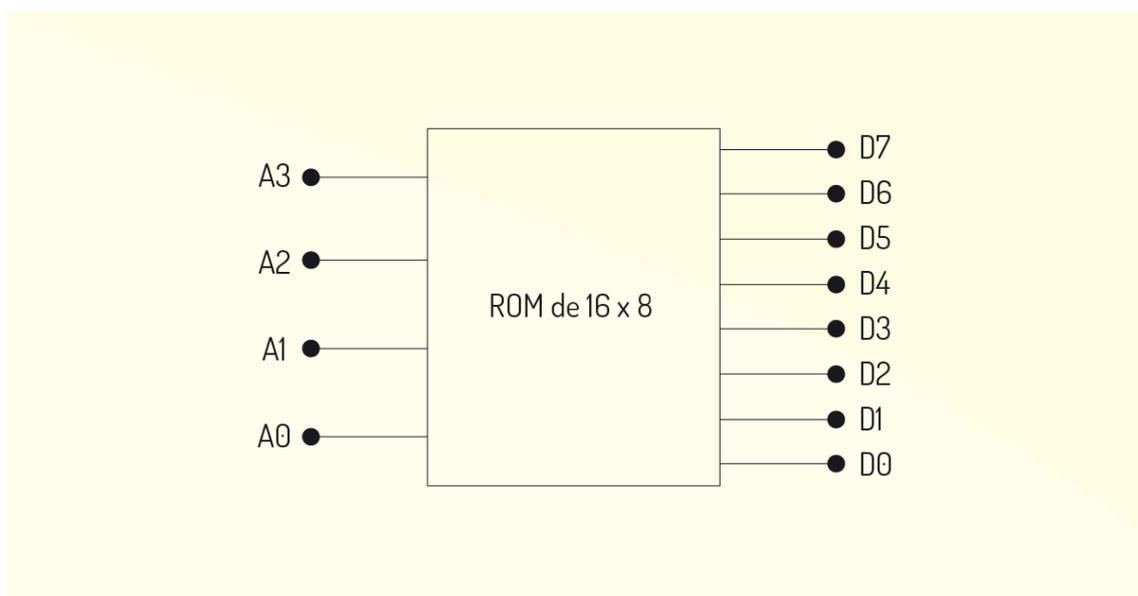


Figura 1.9 - Arquitetura de memória ROM

Fonte: Mamede Filho (2017, p. 51).

- c) memória EPROM: é uma memória ROM, a qual pode ser programável eletricamente diversas vezes e seu conteúdo pode ser apagado usando raios ultravioletas. Contudo, os dados permanecem gravados, quando há perda da fonte auxiliar de alimentação.

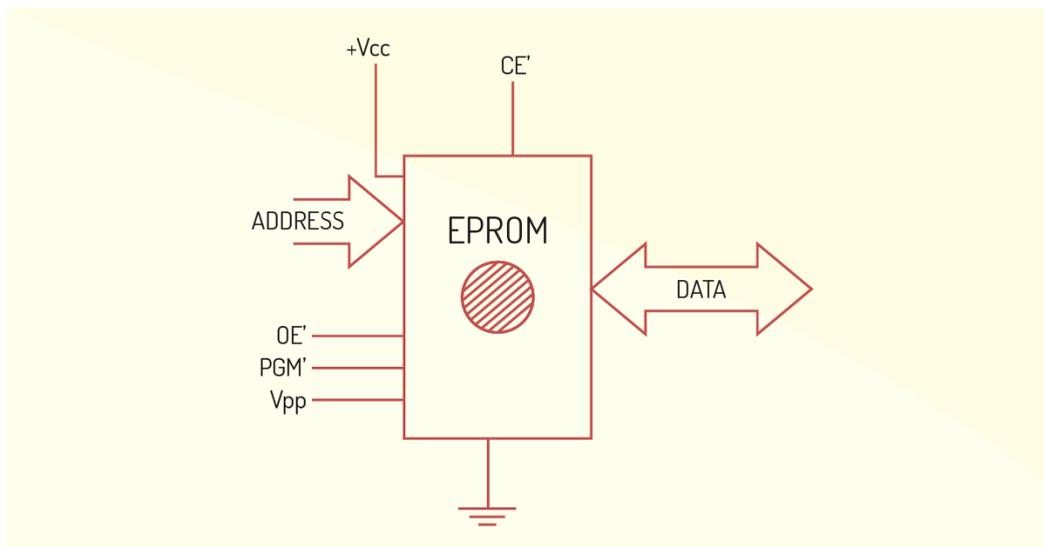


Figura 1.10 - Arquitetura memória EPROM

Fonte: Mamede Filho (2017, p. 51).

- d) entrada e saída serial: são pontos de entrada e saída por meio dos quais os dados do sistema, escritos em forma de comando, podem ser recebidos ou transmitidos para uso ou leitura remotos.

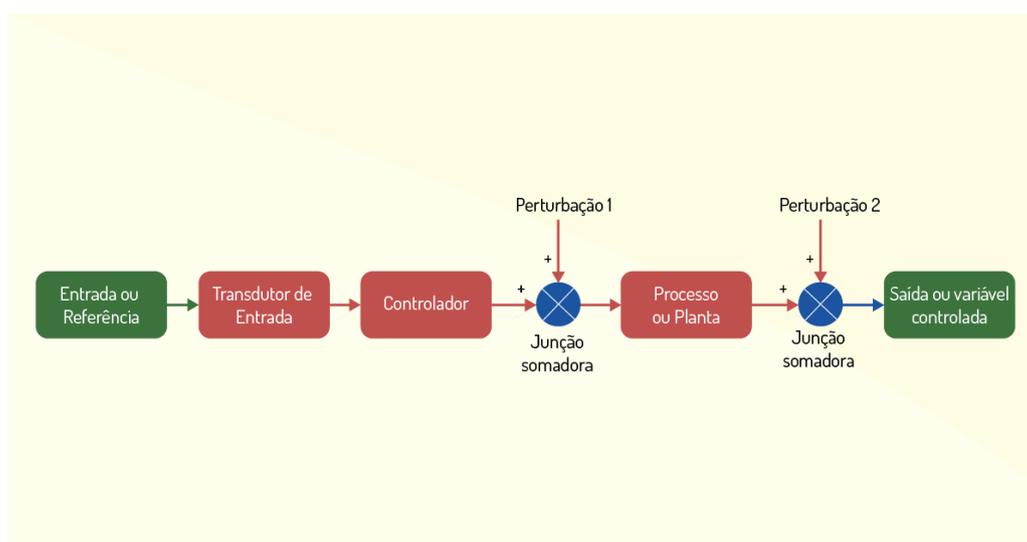


Figura 1.11 - Demonstração de lógica de entrada e saída entre dispositivos

Fonte: Mamede Filho (2017, p. 57).

- e) isolamento galvânico: é o isolamento entre o circuito elétrico, em geral, a alimentação de energia do equipamento, e o circuito eletrônico, geralmente a sua saída, agregado a uma proteção contra interferências e transientes da rede.

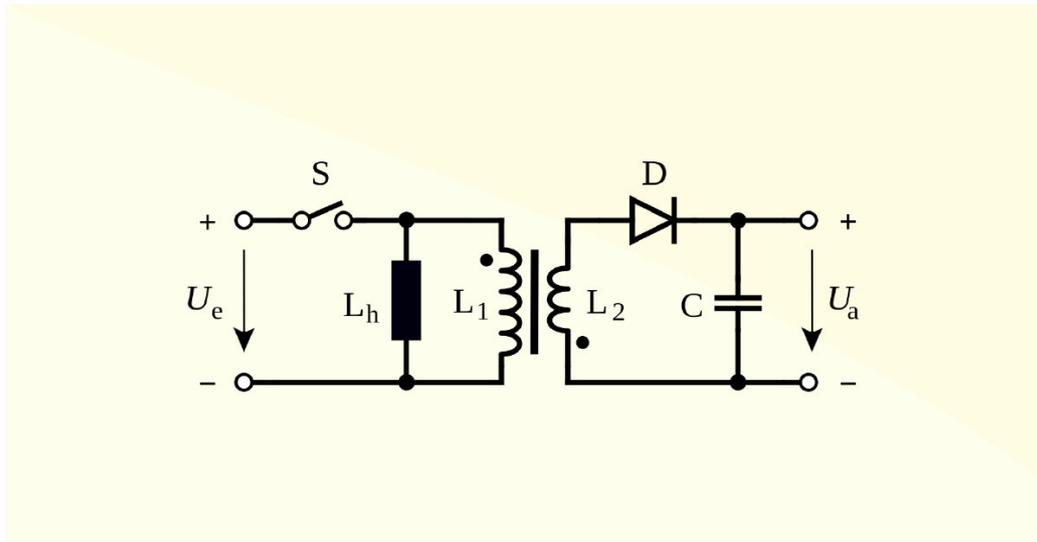


Figura 1.12 - Exemplo de isolamento galvânico entre circuitos elétricos

Fonte: Mamede Filho (2017, p. 63).

- f) conversão analógica/digital: é o processo de conversão em que, após o condicionamento do sinal, deve ser tratado eletronicamente para ser convertido da forma analógica à forma digital.

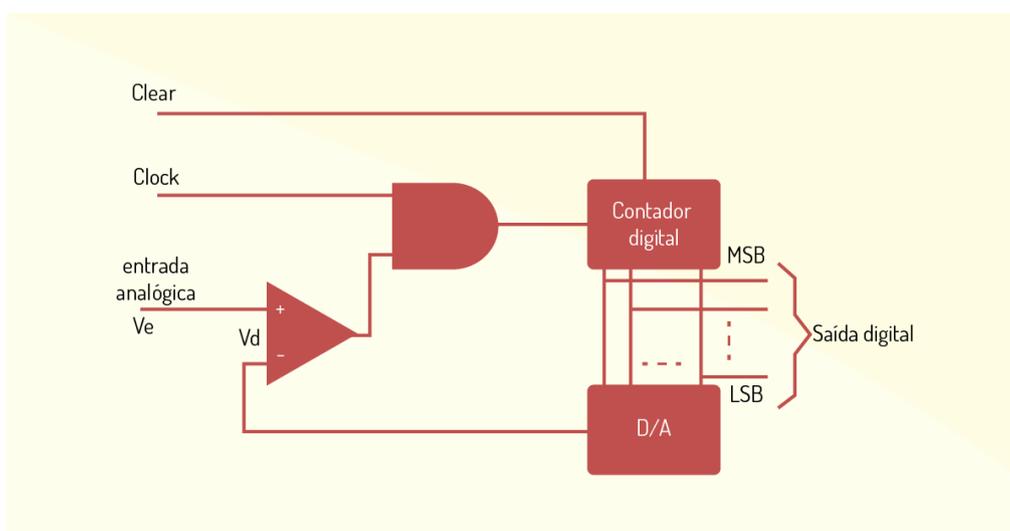


Figura 1.13 - Conversão analógica/digital

Fonte: Mamede Filho (2017, p. 64).

- g) condicionamento de sinal: consiste na interface entre o processo elétrico e o ambiente eletrônico em ambientes galvanicamente isolados. Os sinais devem ser reduzidos a valores compatíveis com os circuitos eletrônicos.

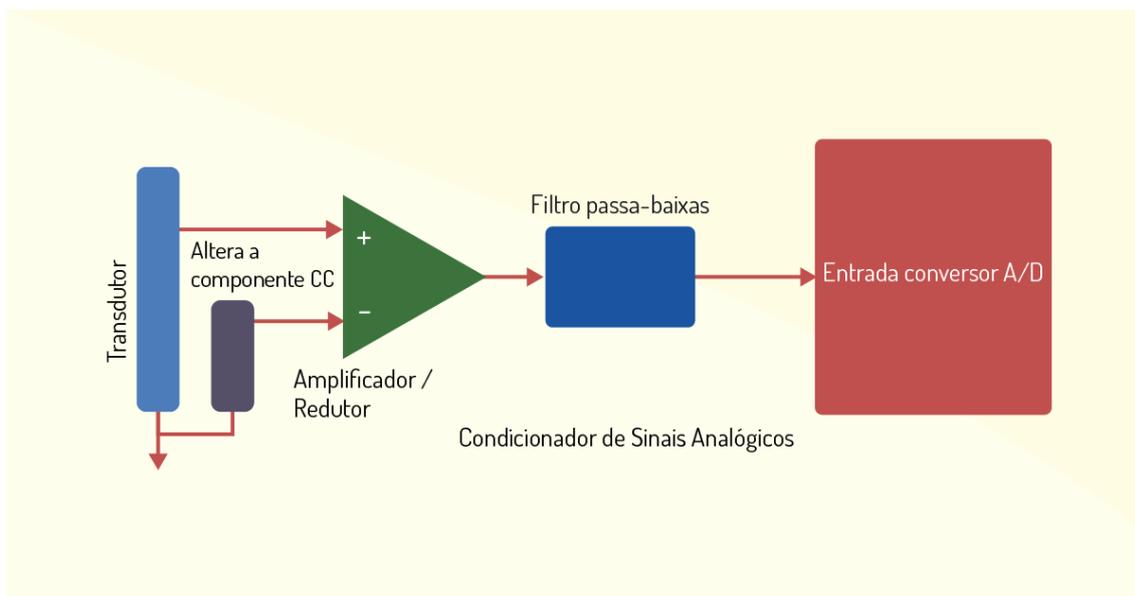


Figura 1.14 - Condicionamento de sinal

Fonte: Mamede Filho (2017, p. 64).

- h) multiplexador: componente que possui diversos canais de entradas e saídas e conecta, ordenadamente, cada um desses canais a um conversor analógico/digital.

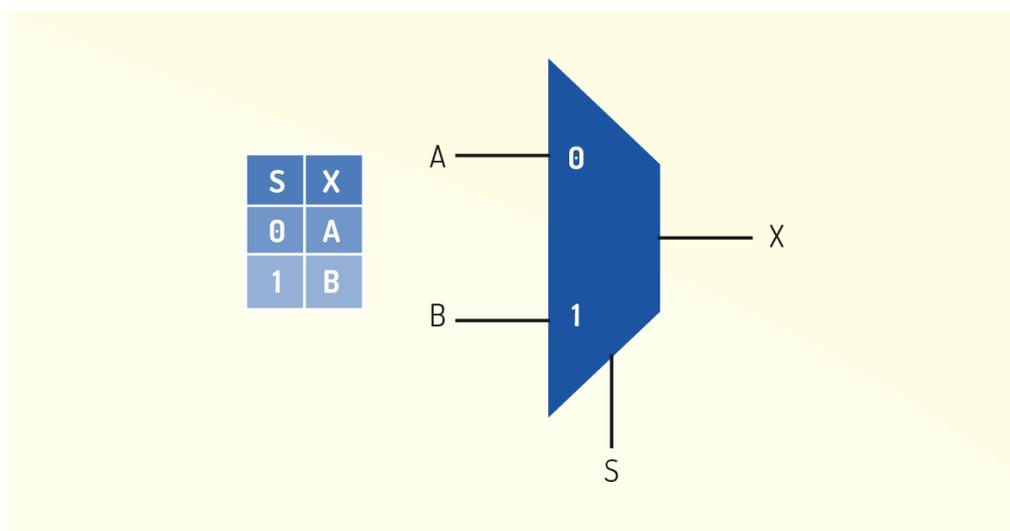


Figura 1.15 - Lógica de um multiplexador

Fonte: Mamede Filho (2017, p. 57).

- i) conversor analógico/digital: é um componente que processa a conversão de uma grandeza analógica em uma sequência numérica, sendo conectado diretamente a um microprocessador.

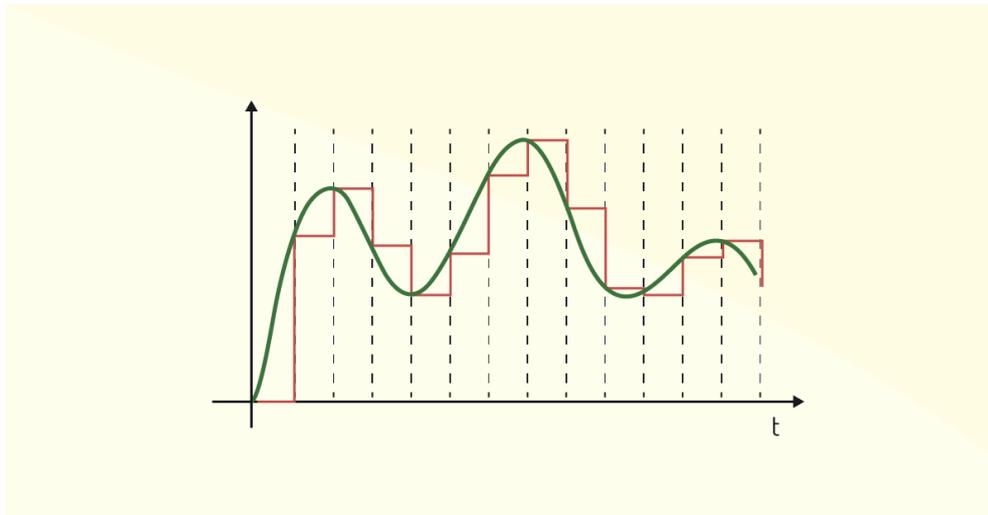


Figura 1.16 - Conversor Analógico Digital

Fonte: Mamede Filho (2017, p. 69).

- j) memória RAM (*Random Access Memory*): são memórias que armazenam os dados variáveis e temporários, tais como correntes, tensão, alarmes, etc., que podem ser eliminados a partir da perda da fonte de tensão auxiliar, sem que isso venha a comprometer o seu desempenho.

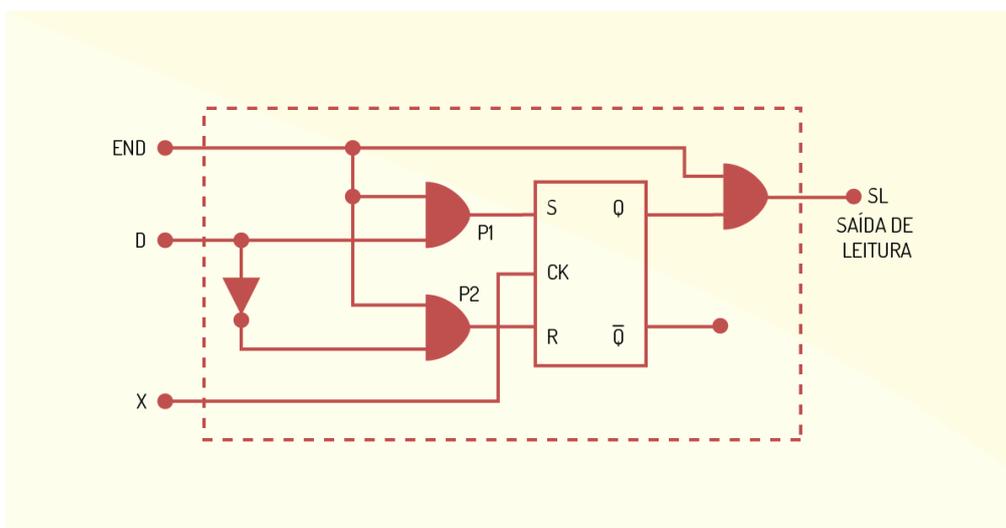


Figura 1.17 - Memória RAM

Fonte: Mamede Filho (2017, p. 69).

Temos vários outros componentes que poderiam ser citados no desenho arquitetural, todavia cada um destes dependeria diretamente do tipo de indústria, bem como do nível de complexidade de automação industrial.

Podemos concluir, então, que a arquitetura de automação industrial tem invadido os ambientes industriais, tornando-se cada vez mais complexa, à medida que procura substituir o homem em todas as tarefas que era de seu domínio na produção, principalmente tarefas repetitivas, lógicas e sistemáticas. Nos últimos 10 anos, houve um investimento acima de 6 bilhões de reais em sistemas de automação industrial, o que, economicamente, representa um grande fomento para o desenvolvimento da indústria brasileira. O portfólio industrial brasileiro tem crescido tanto no cenário econômico que diversas ações do Governo Federal Brasileiro estão buscando desenvolver tecnologicamente a indústria brasileira, tendo em vista que uma indústria mais desenvolvida é, também, mais competitiva, gerando mais empregos e lucro ao país, o que impacta investimentos em diversas áreas, como a agropecuária.

Elementos Básicos de Um Sistema Automatizado

O primeiro trabalho envolvendo um sistema automatizado ocorreu na Escócia, por James Watt (1736-1819), que construiu, no século XVIII, um controle centrífugo para o controle de velocidade de uma máquina a vapor. Muitas coisas mudaram de lá para os dias atuais, entretanto alguns elementos essenciais permeiam a criação de um sistema automatizado, conforme veremos a seguir.

- Planta: qualquer objeto físico a ser controlado (como um componentes mecânicos, um reator nuclear, etc.).
- Processo: toda operação a ser controlada. Exemplo: processos nucleares, processos químicos, etc.
- Sistema: é a combinação do escopo de componentes que agem em conjunto para atingir um determinado objeto, como sistemas industriais de fusão em cervejarias.
- Controle com retroação (retroalimentação): trata-se da operação de retroalimentar, isto é, o sinal de referência a partir do sinal de saída de um sistema, verificando e validando a diferença dos valores esperados.
- Automação: pode ocorrer com sistemas de controle de malha aberta ou fechada, mas sempre empregando uma lógica analógica ou digital ao processo que se deseja automatizar.

- Variável controlada: é o valor do processo que se deseja avaliar na saída.
- Variável de controle: é a variável que atua na entrada do processo, ou seja, é a própria entrada do processo automatizado.
- *Setpoint* ou valor padrão: é o valor de referência definido na entrada do sistema de controle. Este é o valor usado para comparar e avaliar o valor medido, traduzindo, assim, a conclusão do processo, um erro ou o tratamento do erro.
- Erro: é um evento inesperado, mas possível de que seja a diferença entre o valor de referência (*setpoint*) e a variável controlada, o que colabora com a verificação do controle.

Como exemplos simples de sistemas básicos de controle automatizados, temos as máquinas elétricas, usinas de conversão de combustível em eletricidade e circuitos RC (Resistor-Capacitor), respectivamente, nos diagramas de blocos a seguir.

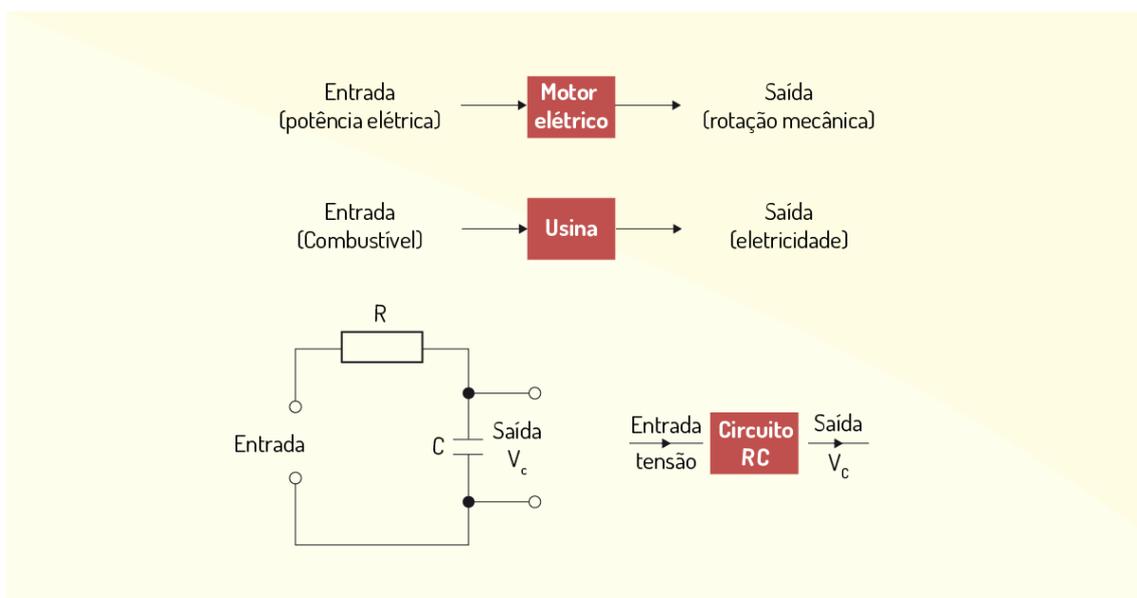


Figura 1.18 - Ilustração de sistemas básicos de automatização

Fonte: Voltolini (2010, p. 41).

Conforme visto, os elementos que permeiam um sistema de automação variam conforme a sua finalidade, tendo, como fundamentais, a planta, o processo, o sistema, etc., conforme citamos. É importante, também, destacar que cada elemento pode ser empregado em propósitos diversos tanto dentro quanto fora da indústria.

ATIVIDADES (Arquitetura da automação industrial)

3) Em um projeto arquitetural de uma válvula para escoamento de água em barragens, foi utilizado um componente arquitetural fundamental para receber os dados analógicos de força (F) e de área (A), por meio de um _____, necessitando, assim, de um _____ para processar as grandezas lógicas em sequência numérica, para armazenar na _____, tendo em vista o objetivo de armazenar, nas válvulas, dados variáveis e temporadas.

- a) Microcontrolador, multiplexador, memória ROM.
- b) Microprocessador, conversor digital/analógico, memória EPROM.
- c) Alternativa: Multiplexador, conversor analógico/digital, memória RAM.
- d) Fonte, memória ROM, entrada e saída.
- e) Microprocessador, multiplexador, memória RAM.

Projeto de Automação

Neste tópico veremos o projeto de automação, bem como seu sistema de automação de manufatura, de gerenciamento de energia e de gerência de energia industrial. Vamos lá?

Sistema de Automação de Manufatura

Um sistema de manufatura pode ser configurado de diversas formas, para atender às necessidades diferentes de produção dos produtos, de acordo com os processos necessários, além da demanda.

A produção é o processo de transformação que converte material bruto (matéria-prima) em produtos acabados, os quais possuem valor no mercado. O processo de transformação usualmente envolve uma sequência de passos; cada passo transforma o produto mais próximo do produto final. Os passos, individualmente, são as operações de produção (GROOVER, 2007). Podemos ter três tipos principais de sistemas de manufatura:

1. sistema de manufatura *job shop*: os sistemas de produção *job shop* são recomendados para produzir uma alta variedade de produtos em lotes pequenos, normalmente atendendo a pedidos específicos.
2. sistema de produção em lote: a produção por lotes ou batelada está voltada à fabricação de lotes médios, mas ainda com certa variedade de produtos.

3. sistemas dedicados: os sistemas dedicados ou produção em massa é o sistema de manufatura, que é especializado em produtos idênticos e com alta demanda. Os equipamentos e máquinas, bem como a planta da fábrica, são completamente dedicados à manufatura de um produto em particular.

Adotaremos, como exemplo de projeto de automação, um sistema de manufatura genérico, que pode ser empregado nos três tipos de manufatura.

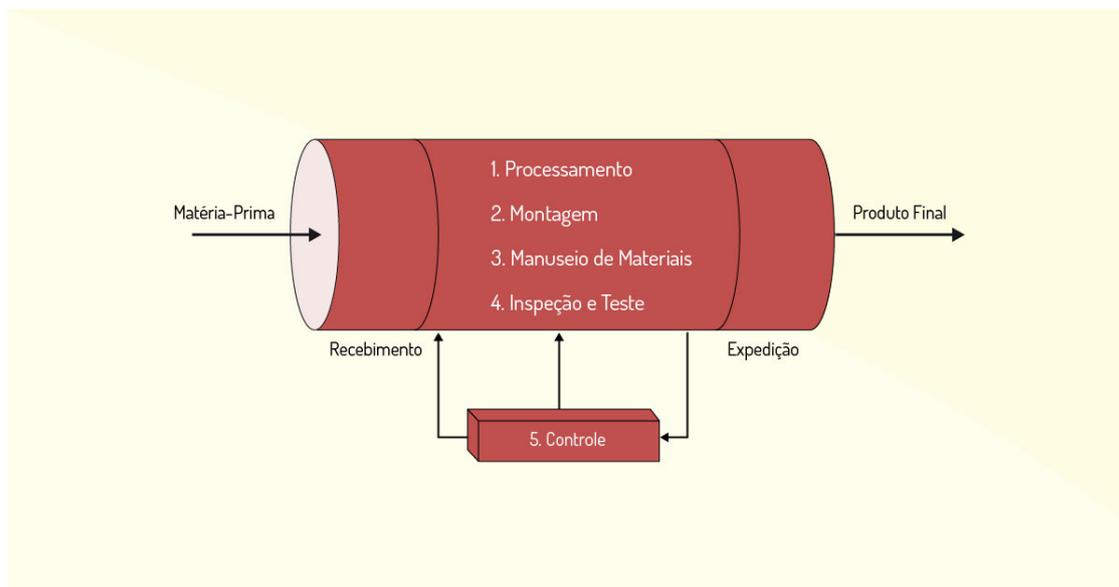


Figura 1.19 - Sistema de automação genérico de manufatura

Fonte: Elaborada pelo autor.

Logo, um projeto de sistema de automação de manufatura tem as principais funções, segundo Groover (2007): (1) processamento, (2) montagem, (3) manuseio e armazenagem do material, (4) inspeção e teste e, por fim, o (5) controle, o qual é responsável por coordenar todas as atividades anteriores.

As operações de processamento (1) transformam o produto de um estado para outro estado mais avançado. Nenhum material é adicionado ou montado, ao invés disso, energia (mecânica, calor, elétrica, química, dentre outras) é adicionada para alterar o estado do produto, seja removendo o material ou alterando as propriedades físicas (LAWLOR, 1978). Alguns exemplos de operações de processamento são usinagem e furação. A operação de montagem (2) é a união de partes do produto que foram produzidas separadamente; esta união pode ser feita por meio de adição de parafusos ou rebites, por processo de soldagem ou brasagem, dentre outros (WECK; BIBRING, 1984).

As atividades de manuseio de materiais (3) são relacionadas tanto aos produtos em processo quanto às ferramentas e aos estoques. Segundo Moreira (2008), entende-se, por estoque, quaisquer quantidades de bens físicos que sejam conservados de forma improdutiva por algum intervalo de tempo. Constituem estoques tanto os produtos acabados quanto matérias-primas e componentes que aguardam utilização na produção. Na maioria das plantas, os materiais consomem mais tempo sendo carregados e armazenados em estoque do que sendo processados (GROOVER, 2007). As atividades de inspeção (4) são realizadas para assegurar que o produto esteja dentro dos padrões e normas estabelecidas no projeto. Os testes podem ser realizados em produtos que necessitem de uma verificação quanto ao seu funcionamento. Estas áreas pertencem ao controle da qualidade (HOPP; SPEARMAN, 2013).

Por fim, o controle (5) é o responsável pela gestão de todas as atividades no nível do chão de fábrica, incluindo operações de montagem e processamento, utilização dos recursos, insumos físicos e mão de obra, além da programação e dos planos de fabricação. Assim, o processamento, a montagem, o manuseio, a inspeção e o controle são as principais funções de um sistema de manufatura.

Sistemas de Automação de Gerenciamento de Energia

Para o projeto de automação industrial, trataremos de um sistema de automação de gerenciamento de energia bastante empregado nas indústrias. No geral, a eficiência do uso de energia em uma planta industrial utiliza ferramentas de supervisão e controle que podem ser otimizadas por meio de um sistema de informação.

A energia consumida em uma indústria geralmente provém de fornecimento externo, como energia elétrica, gás natural, carvão, etc., bem como interna, como gases de alto-forno, ar comprimido, dentre outros.

O preço das diferentes formas de energia consumida pela indústria pode variar pela quantidade e pelo período de uso no ano (uso sazonal). Mais recentemente, o preço de energia vem sendo negociado entre indústrias e as concessionárias, considerando, também, o fator qualidade. Esta prática ainda é muito tímida no Brasil, mas de uso em alguns países mais desenvolvidos, como o Canadá, EUA e países Europeus (MAMEDE FILHO, 2017).

O uso racional dessas diferentes formas de energia pode resultar em uma redução do custo operacional da indústria. Para atingir um sistema de supervisão e controle eficiente, é necessário substituir os procedimentos manuais pelo uso dos processos automáticos que implicam nos seguintes benefícios econômicos:

- redução de mão de obra: nos processos de automatização na indústria, o número de pessoas no acompanhamento da supervisão e controle de processo será reduzido, ou seja, necessita-se de poucas pessoas;
- aumento da segurança: é comprovado que os sistemas mecanizados produzem resultados mais seguros que os processos manuais. O cansaço resultante da repetição de uma mesma tarefa compromete a segurança do processo quando a tarefa depende da atenção do ser humano;
- redução dos poluentes: supervisão e controle automáticos produzem melhores resultados no controle da poluição ambiental pelo uso de diferentes técnicas;
- aumento da regularidade do processo: é fácil entender que qualquer processo industrial necessita de regularidade no fornecimento de energia elétrica, o que pode ser alcançado por meio de equipamentos específicos, tais como *nobreak* de potência associada à geração de emergência para circuitos preferenciais.

Funções de Um Sistema de Gerência de Energia Industrial

Existem, no mercado, dezenas de mecanismos para o gerenciamento de energia em prédios residenciais, comerciais e industriais. No caso de instalações industriais, a complexidade dos sistemas é dada em função dos requisitos do processo, da quantidade de fontes energéticas consideradas e da natureza tecnológica dos equipamentos de produção. As principais funções que um sistema de gerência de energia pode oferecer são (MAMEDE FILHO, 2017):

- **administração das fontes de energia:** considerando que a indústria tenha uma unidade geradora de energia elétrica própria, o Sistema de Gerência de Energia (SGE) deve ser alimentado de todos os parâmetros técnicos, econômicos e financeiros que lhe permitam decidir quais os períodos de tempo durante o dia, mês e ano mais vantajoso a substituir ou não a geração própria pela geração da empresa supridora.

O SGE (Sistema de Gerência de Energia) calcula o custo da geração própria em diferentes períodos do ano e decide qual fonte produz energia mais econômica e financeiramente satisfatória.

A título de ilustração, são listadas algumas informações necessárias a um Sistema de Gerência de Energia, a partir das quais possa ser tomada decisão:

- tarifa de demanda e consumo da supridora, na ponta e fora da ponta, na ponta seca e na ponta úmida;
- condições de *take-or-pay* do combustível previsto no contrato com a empresa fornecedora e suas implicações financeiras;
- curva de carga esperada da indústria;
- valores dos preços de energia praticados no mercado de curto prazo (mercado spot);
- fluxograma do processo para interação com outras formas de energia produzidas secundariamente, tais como vapor, gases de alto-forno, etc.

Em seguida, temos o monitoramento de um Sistema de Gerência de Energia, a título de curiosidade.

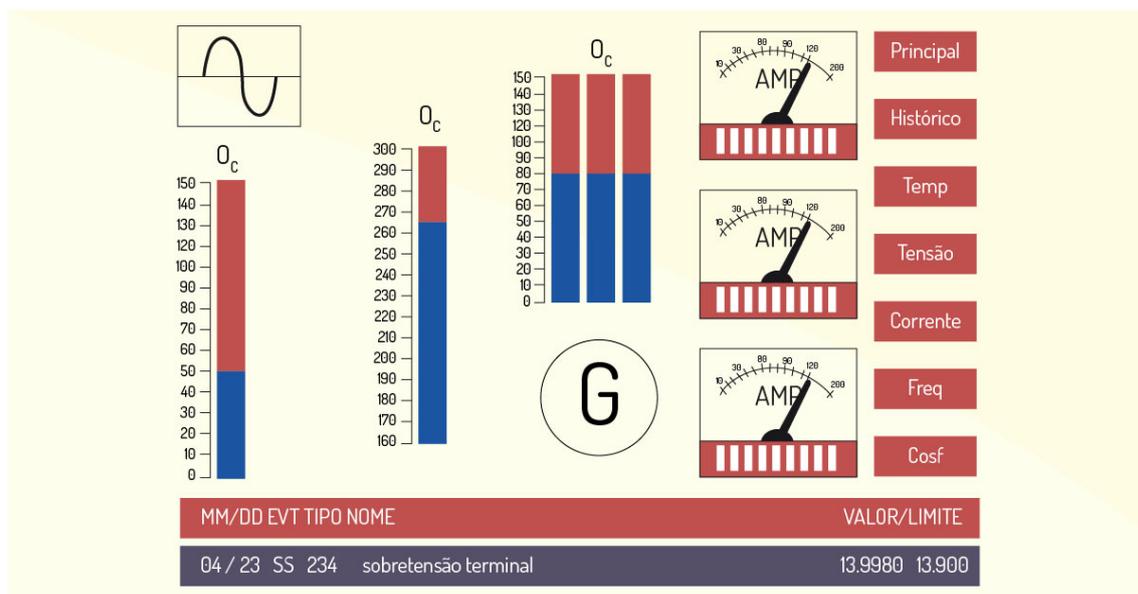


Figura 1.20 - Monitoramento de um sistema de gerência de energia (SGE)

Fonte: Mamede Filho (2017, p. 131).

A figura a seguir ilustra uma planta industrial com autoprodução de energia elétrica e respectivamente suas chaves.

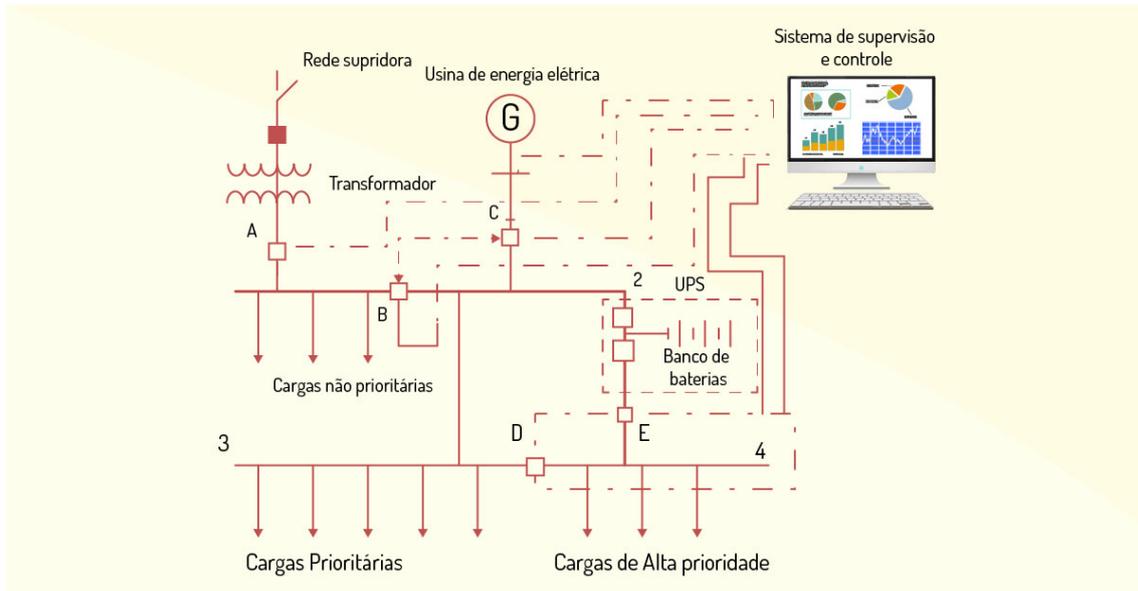


Figura 1.21 - Planta industrial com autoprodução de energia elétrica

Fonte: Mamede Filho (2017, p. 134).

- **seleção de cargas elétricas prioritárias:** normalmente, qualquer gerente industrial conhece, com detalhes, o nível de comprometimento de cada máquina com o processo produtivo, além das cargas cujo desligamento pode provocar acidentes pessoais. Nesse caso, é natural que se faça uma seleção de cargas consideradas prioritárias, isto é, aquelas que não podem sofrer interrupção por mais que poucos minutos; por exemplo, extrusoras de alta prioridade em que, ocorrendo qualquer flutuação de tensão, haja perda do processo, tais como computadores ou máquinas de controle numérico.

O diagrama a seguir apresenta uma configuração básica, enfocando as chaves de comando e sua interligação com o SSC (Sistema de Supervisão e Controle), conforme a seguinte lógica por cenários apresentada na imagem acima (planta industrial com autoprodução de energia elétrica):

- a unidade de autoprodução operando em paralelo com o sistema da concessionária:
 - chaves A, B, C e E na posição ligada;
 - chave D na posição desligada.
- a unidade de autoprodução operando sozinha por falha do sistema da concessionária:
 - chaves A, B e D na posição desligada;
 - chaves C e E na posição ligada.

- rede de concessionária ligada e autoprodução fora de operação:
 - chaves C e D na posição desligada;
 - chaves A, B e E na posição ligada.
- durante um regimento transitório, isto é, flutuações acentuadas de tensão e frequência que provoquem interrupção das duas fontes de geração:
 - chaves A, B e C são desligadas;
 - chaves D e E são ligadas (opção 1);
 - chave D desligada e chave E ligada (opção 2).

A título de curiosidade, conseguimos, abaixo, ver um SGE em funcionamento para uma indústria têxtil, abarcando demanda, fator de potência e outras informações gerais.

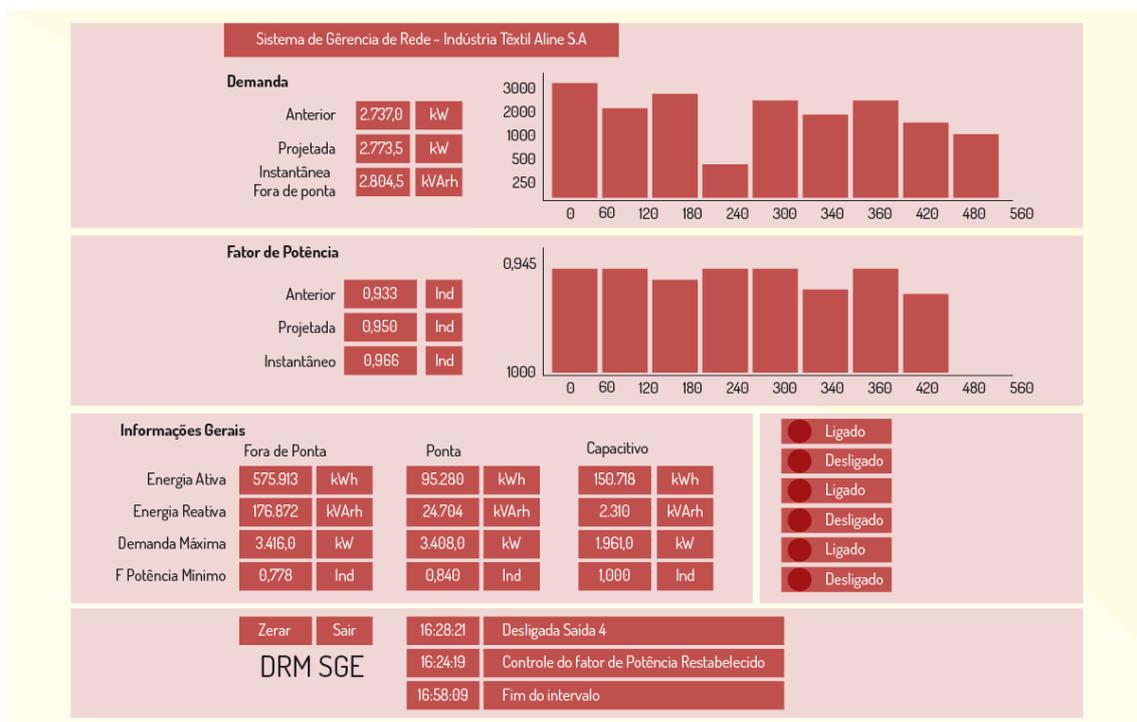


Figura 1.22 - Funcionalidades de um SGE

Fonte: Mamede Filho (2017, p. 141).

- **controle de fator de potência:** de acordo com a legislação em vigor, o fator de potência apresenta uma avaliação horária e seu valor não deve ser inferior a 0,92 indutivo ou capacitivo, dependendo da hora, durante o período de 24 horas. Ainda mais, a avaliação do fator de potência é feita com base na energia e demanda reativas. Se os valores avaliados estiverem fora dos limites supracitados, a indústria será penalizada, conforme foi amplamente explanado.

- **controle de tensão:** a tensão pode ser controlada pelo SGE, que atua nos tapes dos transformadores de potência ou, no caso de autoprodução, no controle de campo das unidades de geração.
- **controle de frequência:** o sistema de Gerência de Energia tem, como função, monitorar a frequência da rede durante transitórios resultantes de perda de cargas ou fenômenos equivalentes.
- **reaceleração de motores:** após os transitórios não controlados, muitos motores podem ser desligados por insuficiência de tensão aplicada. Normalizadas as condições operativas, esses motores poderiam ser manobrados simultaneamente, ocasionando uma queda de tensão acentuada e provocando um novo distúrbio na rede. O SGE tem a função de iniciar a aceleração de cada motor, de forma a evitar qualquer queda de tensão prejudicial por partida simultânea de duas ou mais unidades.
- **osciloperturbografia:** esta função adiciona e memoriza seus valores antes, durante e depois de uma perturbação qualquer do sistema, registrando os valores pontuais de tensão, corrente e frequência, de forma a dar subsídios à equipe técnica sobre as possíveis causas da ocorrência, bem como limites atingidos pelas grandezas elétricas envolvidas.

ATIVIDADES (Projeto de automação)

4) Suponha que você é um gerente industrial e conhece, em detalhes, o nível de comprometimento de cada máquina com o processo produtivo industrial. Por meio da planta elétrica industrial e de acordo com esta, temos a autoprodução de energia e a configuração básica de chaves de comando e interligações, isto é, o SSC (Sistema de Supervisão e Controle) deverá apresentar, pelo menos, alguns pontos. Assim, assinale a alternativa que aborda os seguintes cenários.

- a) A unidade de autoprodução operando em paralelo com o sistema da concessionária e a unidade de autoprodução operando sozinha por falha do sistema da concessionária.
- b) Rede de concessionária ligada e autoprodução fora de operação, a unidade de autoprodução operando em paralelo com o sistema da concessionária, a unidade de autoprodução operando sozinha por falha do sistema da concessionária e regime transitório de energia.
- c) Rede de concessionária ligada e autoprodução fora de operação, a unidade de autoprodução operando em paralelo com o sistema da concessionária e regime transitório de energia.
- d) A unidade de autoprodução operando em paralelo com o sistema da concessionária e o regime transitório de energia.
- e) Regime transitório de energia e a unidade de autoprodução operando em paralelo com o sistema da concessionária.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Instalações Elétricas Industriais

Editora: LTC

Autor: João Mamede Filho

ISBN: 9788521612865

Comentário: O livro *Instalações Elétricas Industriais* é uma referência à exploração dos conhecimentos de Engenharia Elétrica, abordando conceitos importantes da área, o que deve ser considerado para qualquer pessoa que seja atuante nesta temática de conhecimento.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos

Editora: Erica

Autor: Alexandre Capelli

ISBN: 9788536501178

Comentário: o livro *Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos* é uma ótima referência à exploração do conhecimento do ciclo de vida da automação industrial, o que deve ser de conhecimento de todo profissional que lide com esta área.

REFERÊNCIAS

CAPELLI, A. **Automação industrial**: controle do movimento e processos contínuos. São Paulo: Erica, 2007.

CIRCUITOS integrados dedicados ao acionamento e controle de fontes chaveadas. **Unicamp**. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/htmlfile/CAP11/cap11.html>>. Acesso em: 24 set. 2019.

FIALHO, A. B. **Automação hidráulica**: projetos, dimensionamento e análise de circuitos. São Paulo: Erica, 2014.

GROOVER, M. P. **Automation, production systems and computer integrated manufacturing**. São Paulo: Prentice Hall Press, 2007.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. **A ciência da fábrica**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LAWLOR, A. **O Processo de Produção, Sistemas e Métodos**. São Paulo: Atlas, 1978.

MAMEDE, J. F. **Instalações elétricas industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

NATALE, F. **Automação industrial**. São Paulo: Erica, 2007.

VOLTOLINI, H. **Teoria do Controle**. Curitiba: Universidade Federal Tecnológica do Paraná, 2010.

WECK, M.; BIBRING, H. **Handbook of Machine Tools**: Types of Machines, Forms of Construction and Applications. Nova Jersey: John Wiley and Sons, 1984.

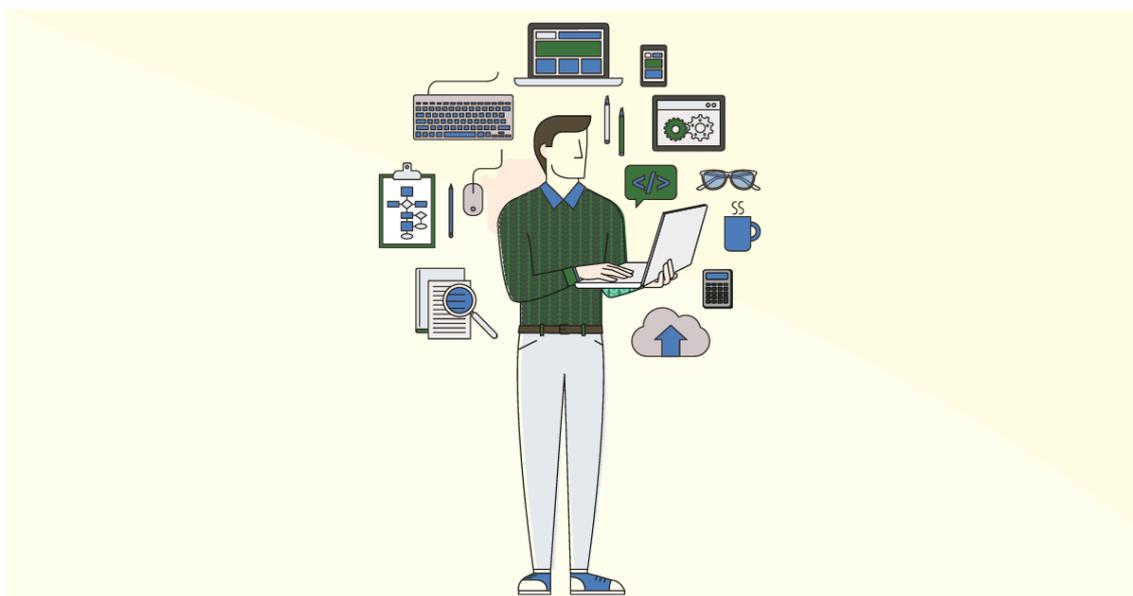
UNIDADE II

Hardware e Software

Pedro Henrique Chagas Freitas

Introdução

Nesta unidade, abordaremos, como temática principal, hardware e software, explicitando os sensores analógicos e digitais, como sensores de presença, sensores ópticos, sensores de velocidade, sensores de temperatura, sensores de pressão, sensores de nível e sensores de vazão, além de abordar atuadores elétricos e pneumáticos e transmissores. Inicialmente, será apresentado, ao(a) aluno(a), um panorama geral sobre hardware e software, abrangendo sensores analógicos e digitais e descrevendo os principais tipos de sensores já citados. Por fim, analisaremos a funcionalidade e utilização dos atuadores elétricos e pneumáticos, bem como dos transmissores. Por conseguinte, teremos, então: as descrições de hardware e software e o fluxo de evolução dos sensores analógicos para os digitais, passando dos dispositivos mecânicos até chegar aos circuitos integrados.



Fonte: Elenabs1 / 123RF.

Hardware e Software: Sensores Analógicos

Todo conhecimento gerado na área de tecnologia teve, inicialmente, a seguinte divisão: hardware e software. A divisão ocorreu com o intuito de segmentar dois eixos que, hoje, são altamente interdependentes, ou seja, cada dia mais, a fronteira entre hardware e software tem diminuído, mas, no princípio, a ideia era segmentar os eixos, a fim de dividir dois tipos de atividades: o armazenamento de dados (hardware) e o processamento de dados (software).

Desde os primeiros séculos pós-revolução industrial, o ser humano desejou automatizar e, por conta disso, o avanço tecnológico transformou os dados em informações e os sistemas começaram a existir, transformando informações em conhecimento e em tomada de decisão. Segundo a definição dada por Mário Monteiro (2007), autor do livro *Introdução à Organização de Computadores*, um sistema é a conjugação de hardware e um software em uma máquina capaz de, sistematicamente, coletar, manipular e fornecer os resultados da manipulação de informações para um ou mais objetivos.

Tendo isso em mente, perceba que o processamento de dados (software) consiste, simplesmente, em uma série de atividades ordenadamente realizadas, com o objetivo de produzir um arranjo determinado de informações a partir de outras obtidas inicialmente, enquanto o armazenamento de dados (hardware) consiste em uma série de atividades ordenadas, com o objetivo de alocar e gerenciar dados de forma lógica (TANENBAUM, 2007).

Após o surgimento do conceito de hardware e software, a indústria passou por mudanças sensíveis no *core business* de produção, ou seja, a demanda em larga escala, acompanhada do alto nível sempre crescente de adaptabilidade e o combate ao desperdício, abriu caminho para que eventos fossem monitorados, garantindo um maior controle sobre os processos industriais (MAMEDE, 2017).

A partir da utilização de hardware e software na indústria, começamos a empregar a automação, que demandou softwares altamente sincronizados com hardwares industriais, o que colaborou com o emprego de sensores nos mais variados processos industriais, a fim de garantir o controle dentro da indústria (NATALE, 2007).

Segundo Monteiro (2007), a ignição entre o desenvolvimento de hardware e software permeou uma linha do tempo entre atividades mecânicas até a automação. Dentro deste processo, tivemos o desenvolvimento de sensores analógicos até os digitais de alta precisão, conforme a linha do tempo a seguir.

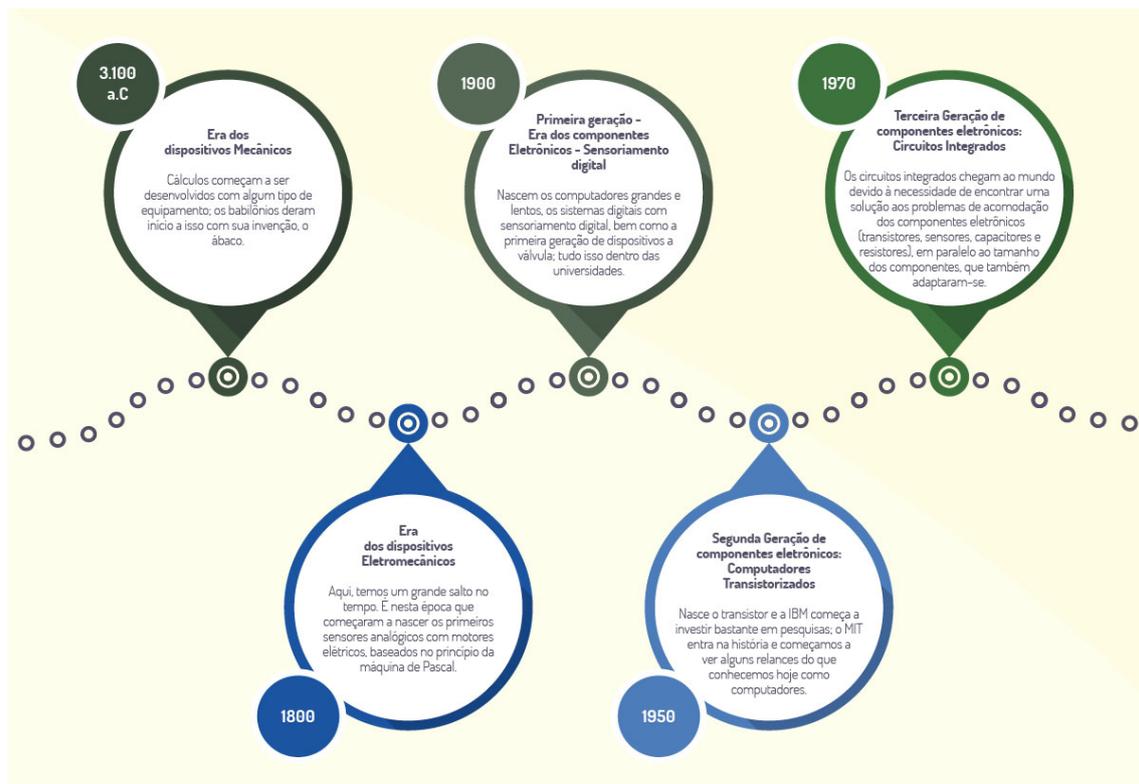


Figura 2.1 - O desenvolvimento de sensores, de hardwares e softwares na automação

Fonte: Elaborada pelo autor.

Hoje, estamos presenciando, a cada dia, a continuidade desta revolução, a qual começou a 3100 anos antes de Cristo, com os Babilônios. O maior desafio atual é conseguir, de forma sustentável, refletir todo o desenvolvimento tecnológico como fonte de equilíbrio econômico em um mundo em constante mudança, onde tecnologias são reformuladas diariamente. Com o advento da nanotecnologia e da inteligência artificial, é grande a chance de estarmos, talvez, vivendo a maior revolução da história da humanidade.

REFLITA

Hoje, estamos prestes a entrar na **quarta geração ou quarta revolução industrial ou indústria 4.0**, com a nanotecnologia, internet das coisas, computação quântica e inteligência artificial. Será que um novo conceito, após o analógico e o digital, está surgindo?

Semicondutores

Antes de irmos mais fundo nos sensores, vale a pena compreendermos do que estes são feitos. O material que compõe os sensores, em sua grande maioria, são os semicondutores, sendo um tipo de material ou composto eletrônico ou sólido capaz de alterar a sua condição de isolante para condutor com relativa facilidade (FIALHO, 2014). Na engenharia de automação temos três divisões para os materiais: os condutores, os semicondutores e os isolantes.

O princípio de funcionamento dos sensores envolve a utilização de materiais semicondutores, tendo em vista que os elétrons dos materiais semicondutores conseguem transmitir energia, saindo da camada de valência para a camada de condução. Na prática, isso significa que, por meio dos materiais semicondutores, temos alteração na condição de isolantes para condutores (CAPELLI, 2007). Esta alteração também modifica a temperatura, o que faz com que eles atinjam uma condutividade semelhante à dos metais. Temos, então, uma excitação térmica, que faz a condutividade dos semicondutores variar até atingir uma condutividade semelhante a dos metais (TANENBAUM, 2007).

FIQUE POR DENTRO

Leia o artigo que apresenta o Silício e o Germânio enquanto fatores fundamentais para a criação dos semicondutores, por exemplo, os chips, no link: <https://www.tecmundo.com.br/processadores/82257-processadores-outras-chips-feitos-silicio.htm>. Acesso em: 25 set. 2019.

Esta variação ajuda-nos a utilizar este material nos sensores que, por definição, têm a função de medir ou mensurar algum dado que varia. Temos, basicamente, duas classes de semicondutores no mercado: o **silício** e o **germânio**. Estes são utilizados na fabricação e produção de diversos componentes eletrônicos, como os sensores, os chips, os microprocessadores, os diodos, os capacitores, os transistores, dentre outros, inclusive em nanocircuitos utilizados em nanotecnologia.



Figura 2.2 - Germânio

Fonte: Jurii / Wikimedia Commons.

Respectivamente, tanto o Germânio como o Silício são fundamentais para o desenvolvimento da indústria de tecnologia, desde máquinas de toneladas até nanochips. Hoje, estuda-se o emprego de outros metais para substituí-los. Todavia, mais de 95% dos equipamentos disponíveis hoje no mercado utilizam tanto o Germânio quanto o Silício como semicondutores.



Figura 2.3 - Silício

Fonte: Saperaud-commonswiki / Wikimedia Commons.

Por fim, é importante destacar a incremental evolução durante as fases que permearam o desenvolvimento tecnológico. A quarta revolução industrial não é por acaso; ela é fruto de um processo constante de estudo e evolução tecnológica que culminou no emprego tanto do germânio como do silício como semicondutores fundamentais.

Sensores Analógicos

Nos estudos sobre automação industrial, temos que os processos que envolvem os sistemas industriais derivam-se de variáveis de sistema, as quais precisam ser monitoradas, ou seja, com o advento da tecnologia e da modernidade, é impensável conceber uma indústria que não se utilize de sensores para prover controle aos processos industriais. Dessa forma, é fundamental prospectar os valores das variáveis físicas do ambiente a ser monitorado; esta é a razão principal de utilizar os sensores dentro da indústria (THOMAZINI, 2005).

Os sensores analógicos podem ter, como função, informar um circuito eletrônico a respeito de um evento externo e prover a tomada de decisão, por exemplo, uma ação, de acordo com o evento detectado pelo sensor (MONTEIRO, 2007).

Há dois elementos que permearão a utilização de sensores dentro da indústria:

- **atuadores:** os atuadores são responsáveis por executar comandos, modificando as variáveis que são controladas. Recebem, por exemplo, um sinal proveniente de um sensor e atuam sobre o sinal recebido;
- **variáveis de controle dos sensores:** são fenômenos que devem ser controlados e que variam, por exemplo, em temperatura.

Tendo contextualizado os dois elementos, podemos compreender que um sensor é a designação de um elemento (analógico ou digital) sensível a alguma parâmetro, podendo ser: temperatura, luz, pressão, velocidade, tensão, etc.

Um sensor é utilizado para controle em processos industriais, em diversas frentes e em diferentes contextos, a depender do tipo de indústria e da variável que se deseja controlar, bem como da ação que se deseja tomar a partir desse controle, tendo em vista que é comum que vários sensores sejam empregados, a fim de garantir o conhecimento e controle do maior número possível de variáveis (TANENBAUM, 2007).

Um sensor analógico é um tipo de sensor que tem dado lugar, cada vez mais, aos sensores digitais, obviamente, a depender de cada caso, pois tanto um sensor digital quanto um analógico possui a mesma função, logo, não necessariamente o analógico é inferior ao digital (CAPELLI, 2007).

Os sensores analógicos podem assumir qualquer valor em seu sinal de saída, com relação ao tempo, dentro de sua faixa de operação. As variáveis nos sensores analógicos podem ser analisadas por meio de semicondutores, os quais controlam as variáveis que se almejam mensurar. A seguir, temos a temperatura variando de maneira analógica ao longo do tempo e, respectivamente, sendo medida por sensores analógicos de temperatura.

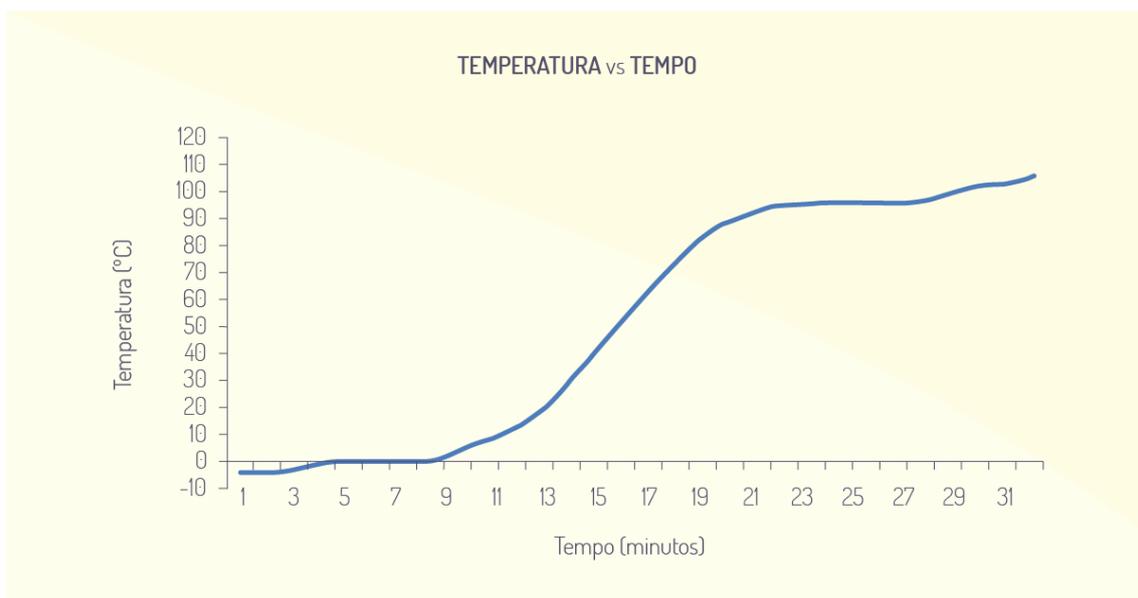


Figura 2.4 - Variação de temperatura no tempo

Fonte: Silva (*on-line*).

Outra forma muito comum de diferenciar um sensor analógico de um sensor digital é pelo sinal. Conforme veremos a seguir, o sinal digital é encadeado de forma diferente do sinal analógico, o que contribui para análises diferenciadas dos dados.

ATIVIDADES (Hardware e Software: Sensores analógicos)

1) Ao longo do tempo, tivemos, no desenvolvimento de hardware e software, a migração de atividades mecânicas que, gradativamente, foram sendo automatizadas. Diante disso, marque a alternativa que melhor representa os momentos que permearam o surgimento dos sensores analógicos e dos sensores digitais, em ordem cronológica, até a chegada da indústria 4.0.

- a. 1. Era dos dispositivos eletromecânicos. 2. Era dos dispositivos mecânicos. 3. Segunda geração de componentes eletrônicos. 4. Sensoriamento digital. 5. Circuitos integrados. 6. Indústria 4.0.
- b. 1. Dispositivos mecânicos. 2. Dispositivos eletromecânicos. 3. Sensoriamento digital. 4. Computadores transistorizados. 5. Circuitos integrados. 6. Indústria 4.0.
- c. 1. Sensoriamento digital. 2. Dispositivos eletromecânicos. 3. Dispositivos mecânicos. 4. Computadores transistorizados. 5. Circuitos integrados. 6. Indústria 4.0.
- d. 1. Dispositivos eletromecânicos. 2. Sensoriamento digital. 3. Dispositivos mecânicos. 4. Circuitos integrados. 5. Computadores transistorizados. 6. Indústria 4.0.
- e. 1. Circuitos integrados. 2. Dispositivos eletromecânicos. 3. Computadores transistorizados. 4. Sensoriamento digital. 5. Dispositivos mecânicos. 6. Indústria 4.0.

Hardware e Software: Sensores Digitais

Antes de mais nada, um sensor emite um sinal digital, ou seja, só pode produzir um sinal com dois valores de saída ao longo do tempo, diferentemente do sensor analógico, que pode produzir N tipos de valores ao longo do tempo (FIALHO, 2014).

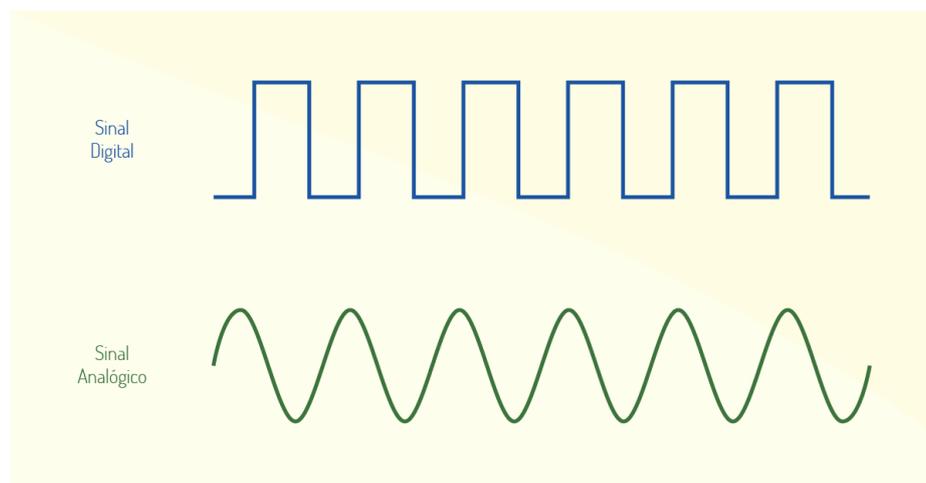


Figura 2.5 - Comparativo entre sinal digital e analógico

Fonte: Elaborada pelo autor.

Intuitivamente, como um sensor digital só pode assumir dois valores no seu sinal ao longo do tempo, estes valores podem ser interpretados como zero e um. Por que isso é importante?

Por meio dos comparadores empregados nos circuitos elétricos industriais, podemos verificar os dados oriundos dos sensores digitais nos sistemas de controle. Por exemplo, sensor digital de presença que, ao sentir qualquer alteração no seu fluxo de controle, dispara um alarme (NATALE, 2007).

Os sensores digitais costumam apresentar, em seus circuitos eletrônicos, os transdutores. A função dos transdutores serve para transformar uma variável em outra variável que, por sua vez, pode ser empregada em dispositivos de controle. Os transdutores servem, então, como interface para as formas de energia e, eventualmente, para fazer o papel de mediador entre o atuador e controle. Os transdutores são responsáveis por transformarem variáveis físicas em sinais elétricos, os quais podem ser interpretados pelos sistemas de controle. Normalmente, temos, então, transdutores e sensores sendo utilizados paralelamente. Nesta situação, o transdutor engloba o sensor industrial.

A seguir, temos a ordem lógica de funcionamento de um transdutor.

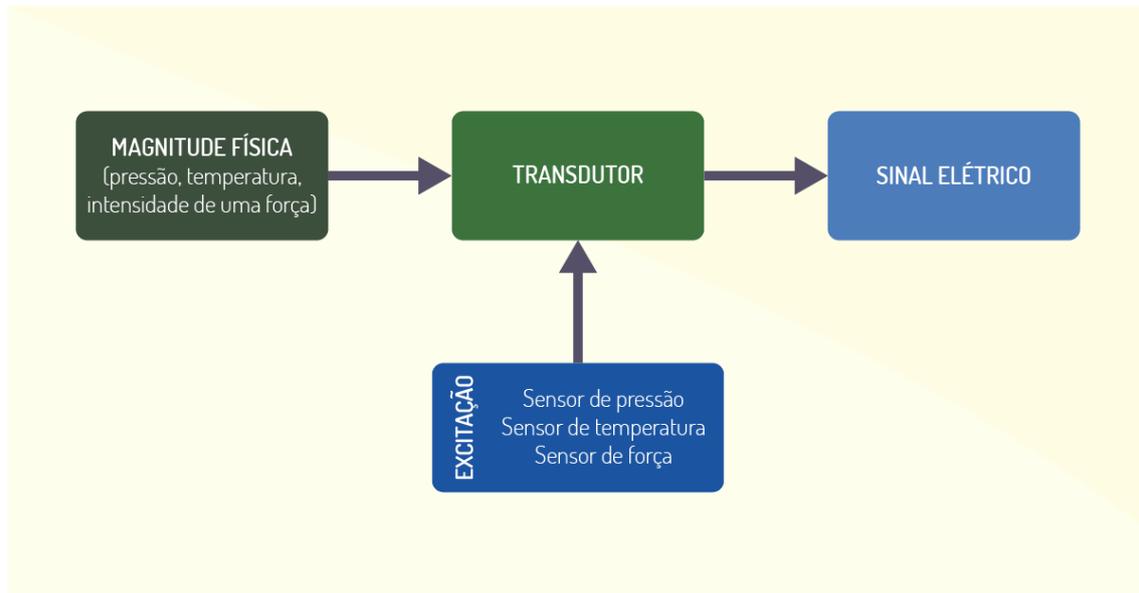


Figura 2.6 - Ordem lógica de funcionamento de um transdutor com os sensores de pressão, temperatura e força

Fonte: Elaborada pelo autor.

No âmbito industrial, temos várias características que podem ser levadas em consideração sobre os sensores digitais, conforme o objetivo que se deseja verificar ou o evento que se deseja controlar. Temos, então, os tipos de entrada e saída de sinais, que podem assumir os valores 0 e 1. No caso, podemos ter valores predeterminados na saída, conforme a variação das entradas, conforme veremos a seguir.

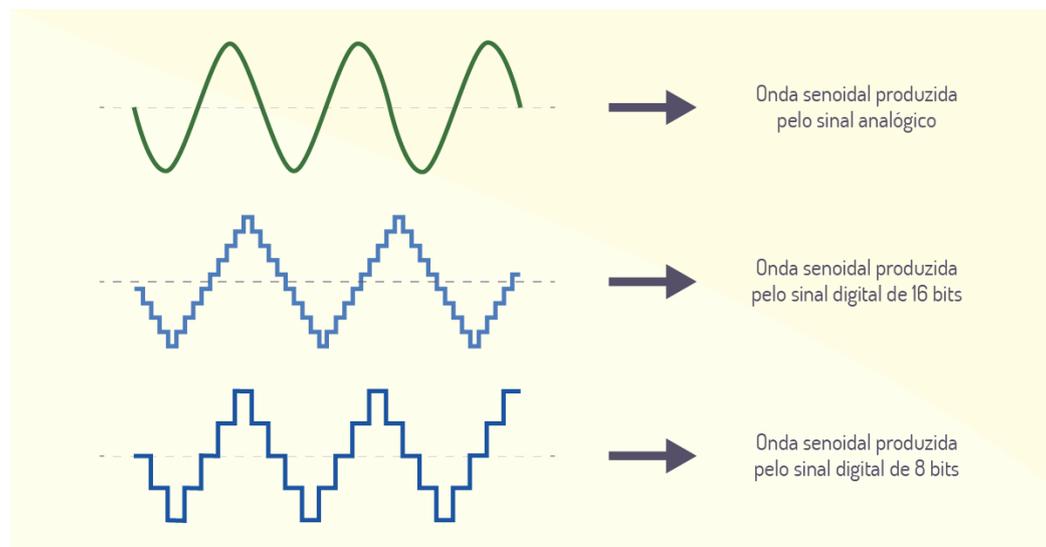


Figura 2.7 - Comparação entre as diferentes ondas senoidais de um sinal analógico até um sinal digital de 8 bits

Fonte: Elaborada pelo autor.

Velocidade de resposta e range: o range é a faixa ou alcance dos valores de entrada de um sensor, ou seja, até qual ponto pode ser medido. Já a velocidade é o tempo em que o sensor fornece determinado valor de variável controlada. Obviamente, o ideal é que haja uma resposta instantânea, a fim de que o sistema de controle seja eficiente.

Sensores de Presença

O sensor de presença industrial é bastante difundido na indústria, tendo em vista a capacidade de verificação de alterações no meio onde estão inseridos, no caso, podemos utilizar para monitorar a presença de componentes em linhas de montagem (CAPELLI, 2007).

Para mensurar o tamanho dos componentes de uma determinada máquina industrial, podemos analisar o estado em que a máquina está. Neste caso em específico, é utilizado o sensor de presença, para garantir a segurança dos equipamentos e operadores durante os processos, tendo em vista que a redução de componentes, em razão do calor, por exemplo, pode ocasionar acidentes ou erros inesperados no processo produtivo de uma indústria (MAMEDE, 2017).

Os sensores de presença utilizados em sistemas industriais podem ter inúmeras variações, as quais adequam-se de acordo com o tipo de processo ou equipamento industrial que se deseja monitorar. Os modelos mais comuns que temos são:

sensores de presença indutivos: têm um núcleo de ferrite, com um oscilador em volta, um circuito de saída, uma bobina e um circuito de comando.

sensores de presença capacitivos: são projetados para encontrar alterações nos campos eletrostáticos em um determinado ambiente, ou seja, quando algum objeto aproxima-se do sensor, temos uma alteração nos campos eletrostáticos, e o sensor de presença capacitivo registra esta alteração.

sensor de presença fotoelétrico: é utilizado para encontrar feixes de luz e reage à variação na intensidade de luz, ou seja, reage à presença do feixe.



Figura 2.8 - Sensor de presença

Fonte: Saiba... (2019, *on-line*).

Dessa forma, caracteriza-se, como fundamental para a indústria, o emprego dos sensores de presença ao longo dos processos industriais.

Sensores Ópticos

O sensor óptico industrial é utilizado para verificar a presença de objetos em superfícies ou materiais em geral. Para automação industrial, temos, como exemplo de emprego, a verificação de objetos em esteiras de rolagem de cargas, o que varia de acordo com o tipo de indústria. Os sensores ópticos também apresentam uma grande variação, a depender do tipo de objetivo que se visa atingir com o controle óptico e o tipo de indústria (NATALE, 2007).

O tipo mais comum é o LDR (*Light Dependent Resistor*) ou fotorresistor, que é a composição de uma célula de sulfeto de cádmio, conforme mostrado a seguir.

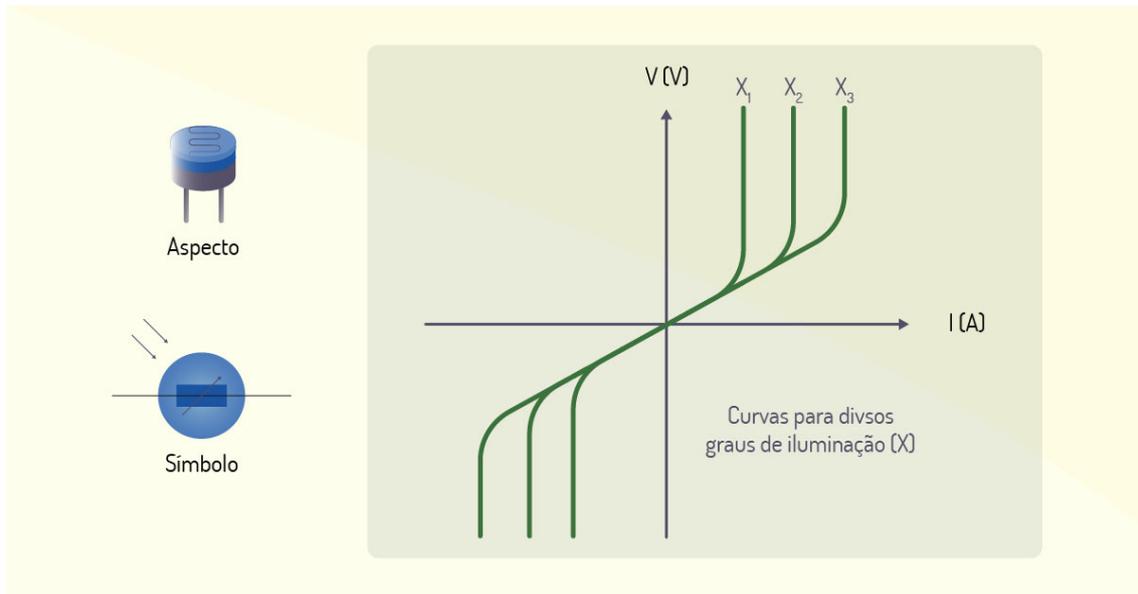


Figura 2.9 - Curvas do LDR para resistência

Fonte: Como... (*on-line*).

A curva característica do LDR demonstra que a sua resistência cai à medida que a intensidade de luz aumenta. A figura a seguir ilustra esta característica do LDR.



Figura 2.10 - Gráfico: Intensidade Luminosa vs Resistência

Fonte: Elaborada pelo autor.

A vantagem do uso do LDR na indústria está em sua utilização conjunta com os sensores fotoelétricos, o que simplifica o projeto de diversos tipos de circuitos elétricos industriais (FIALHO, 2014).

Todavia, temos a desvantagem da velocidade de resposta, pois, normalmente, os LDRs são lentos e não costumam funcionar em velocidades maiores do que algumas dezenas de quilohertz.

Isso significa que esse tipo de sensor costuma funcionar mais adequadamente como um detector de passagem de baixa velocidade, uma chave de fim de curso ou como um elemento de segurança que impede o acionamento de uma máquina. Ele não costuma servir, por exemplo, como sensor de velocidade de uma máquina que opera com alta rotação (THOMAZINI, 2005).

É possível, também, elucidar a curva de respostas do LDR quanto à sua proximidade da curva de resposta do olho humano, o que permite a sua operação com fontes de luz, como luzes de LEDs.

Sensores de Velocidade

A velocidade é uma variável presente em quase todos os processos industriais, logo é natural que haja o emprego de sensores de controle e mensuração de velocidade.

A medição da velocidade de forma eficiente está diretamente ligada à qualidade de muitos produtos industriais. Os erros em sensores de velocidade podem acarretar em deformidades nos produtos finais. Em teoria, quanto maior a velocidade de um processo ou de uma linha de produção, maior será a produtividade, logo, os sensores de velocidade também são empregados para mensurar a produtividade dentro da indústria (MONTEIRO, 2007).

Antes de mais nada, velocidade é uma grandeza que depende do tempo e varia de diferentes formas, por exemplo, a velocidade linear, a velocidade angular, a velocidade rotacional, etc.

A velocidade também tem, como característica, ser uma grande mecânica. Uma das formas de medir a velocidade é utilizar algum dispositivo que transforme a grandeza mecânica em grandeza elétrica. Este dispositivo é o nosso sensor de velocidade, que pode ser encontrado, também, como Tacogerador.

Além deste, podemos realizar a medição da velocidade por meio do deslocamento (linear ou angular) pelo tempo. Para isso, temos o Encoder, que é um dispositivo empregado na indústria para mensurar o deslocamento. Na prática, temos o Encoder como dispositivo capaz de mensurar o tempo e calcular a velocidade. O Tacogerador e o Encoder são os dois principais métodos de medição de velocidade existentes na indústria.

O Tacogerador é um sensor de velocidade, o qual funciona como um gerador DC com um imã acoplado no eixo para medir a velocidade. Este é utilizado para medir a velocidade angular de máquinas rotativas, como os automóveis.

Já o Encoder é um sensor de velocidade eletromecânico que conta os pulsos elétricos por meio dos movimentos rotacionais em torno do eixo. Por meio do Encoder, temos um pulso incremental na rotação do eixo (Encoder rotativo) ou um pulso de distância linear (Encoder linear).

Sem os sensores de velocidade seria impossível realizar boa parte das tarefas do dia a dia das grandes cidades, como os radares que mensuram a velocidade dos veículos nas pistas, o que, obviamente, também impactaria na maioria da produção da indústria, uma vez que sensores de velocidade estão diretamente ligados à qualidade da produção.

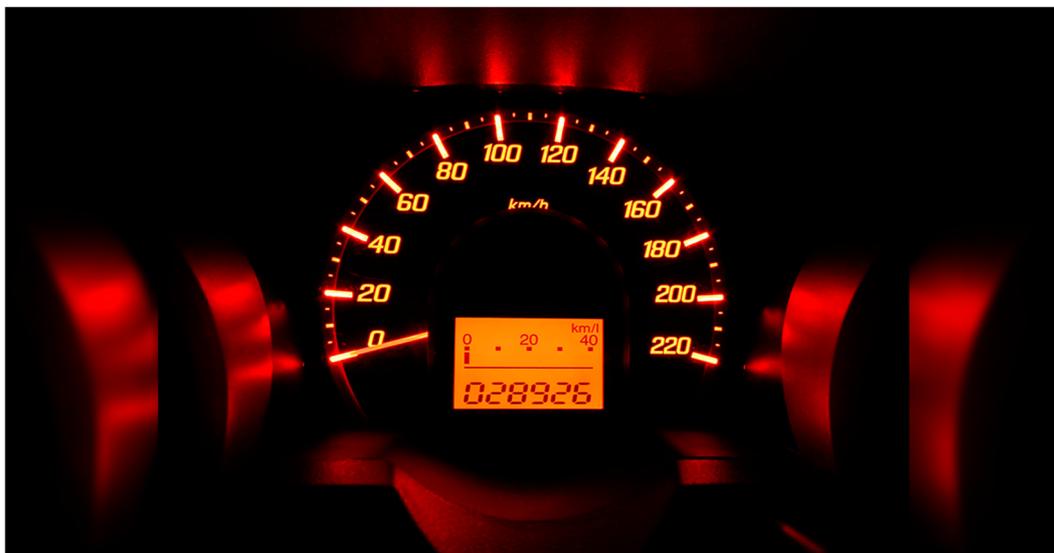


Figura 2.11 - Sensor de velocidade

Fonte: KAMONTAD PEUMMONTHIANKAEW / 123RF.

Sensores de velocidade também são utilizados em diversas aplicações fora da indústria, como nos veículos em geral, nos carros, trens, motos, aviões, dentre outros.

Sensores de Temperatura

Os sensores de temperatura são sensíveis ao calor, frio e variações de temperatura no geral, podendo, assim, evitar superaquecimentos de máquina na indústria, o que prolonga a vida útil dos equipamentos.

Nos processos industriais, é fundamental monitorar o nível da temperatura em caldeiras, principalmente quando a qualidade do produto está diretamente ligada a pontos de fusão entre agentes químicos (MONTEIRO, 2007).



Figura 2.12 - Sensor de temperatura

Fonte: Flaperval / 123RF.

Podemos ter diferentes tipos de sensores de temperatura industriais, mas os principais são:

- **termistores:** são sensores semicondutores, dentre os quais a resistência varia conforme a temperatura e são utilizados, principalmente, para medir e controlar a temperatura de equipamentos industriais. São dois tipos: NTC (*Negative Temperature Coefficient*) e PTC (*Positive Temperature Coefficient*);

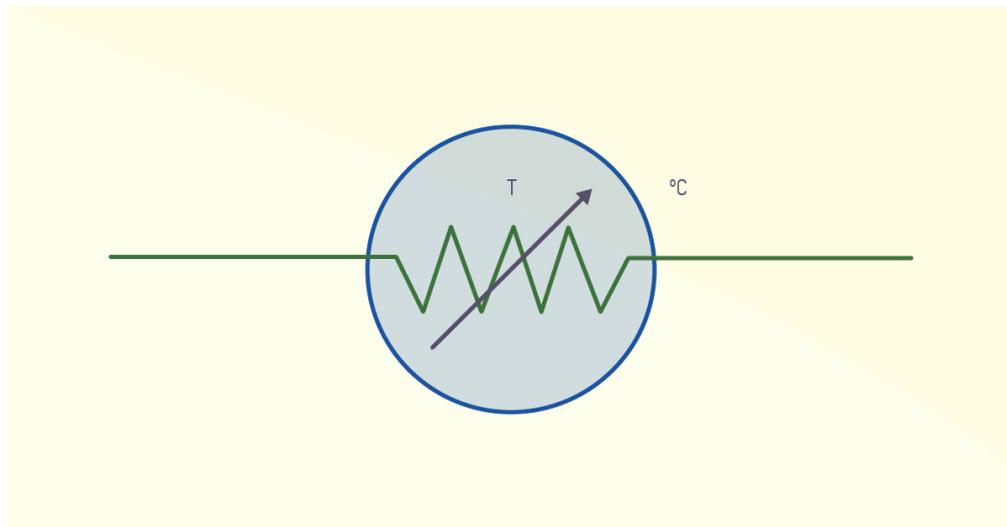


Figura 2.13 - Símbolo do Termistor

Fonte: Elaborada pelo autor.

- **termopares:** são sensores elétricos de baixo custo, constituídos por dois metais unidos por suas extremidades. Quando temos uma diferença de temperatura entre as hastes, ocorre uma diferença de potencial medida por meio de um voltímetro;

- **termorresistores:** diferenciam-se pela alta precisão, tendo uma larga faixa de utilizações na indústria e opera com a verificação da resistência elétrica de uma material e sua respectiva temperatura;
- **sensores eletrônicos:** diferenciam-se pela maior complexidade e são projetados para detectar vários aspectos quantitativos de um meio além da própria temperatura, como campos magnéticos, tensão, pressão, etc.;
- **pirômetros:** são sensores que medem a temperatura sem contato com o meio do qual pretende-se monitorar e, por esta vantagem, normalmente são utilizados com temperaturas muito elevadas.

Sensores de Pressão

A pressão é a relação entre força por área, dessa forma, os sensores de pressão são dispositivos que podem converter uma forma de energia em outra, fazendo a conversão das grandezas força e área (THOMAZINI, 2005). A força, por sua vez, pode ser descrita como uma saída elétrica (corrente ou tensão). Dentre os tipos de sensores de pressão, temos:

- **strain gage:** é um tipo de sensor de pressão que avalia a mudança da resistência elétrica com a deformação como resultado da pressão aplicada;
- **piezo-elétrico:** é um tipo de sensor que acumula cargas elétricas em áreas de estrutura cristalina, a fim de monitorar quando ocorre uma deformação física por ação de uma pressão;
- **ressonante:** é um tipo de sensor que utiliza uma mola de fio magnético; ao ser submetida a um campo magnético, esta poderá ser percorrida por uma corrente elétrica, que gerará uma oscilação. A frequência dessa oscilação é utilizada para monitorar a pressão, porque é proporcional ao quadrado da tensão (expansão/compressão) do fio;
- **capacitivo:** é um tipo de sensor baseado em transdutores onde a pressão aplicada aos sensores faz com que se tenha uma variação da capacitância, para que possa ser monitorada a pressão;
- **ótico:** é um tipo de sensor de pressão construído com o emprego de uma membrana móvel em uma das extremidades da fibra ótica, o que aumenta a sensibilidade à pressão.

Sensores de Nível

Os sensores de nível são dispositivos utilizados na indústria, com o objetivo de controlar líquidos armazenados em reservatórios e tanques. O sensor de nível é utilizado para detectar o nível de fluídos (líquidos) em reservatórios por meio do movimento dos flutuadores, que geram um sinal magnético, o qual é transmitido para o controle (MONTEIRO, 2007).

Suas aplicações são voltadas para o controle de fluxo e para a medição contínua. Existem vários tipos de sensores de nível para medição de líquidos, podendo ser empregados em diversos ramos industriais. O controle de nível de líquidos é fundamental aos processos industriais, tendo em vista que vários equipamentos precisam do controle de nível em tempo real.

Para verificar, quantificar ou controlar volumes em reservatórios industriais, os sensores de nível fazem com que o volume permaneça em um intervalo tolerado e, caso haja uma alteração, notificam o operador sobre o nível de variação. Logo, isso colabora para que os processos operacionais industriais realizem-se de forma correta (CAPELLI, 2007). As aplicações são inúmeras, dentre elas, a detecção do nível de água em processos químicos, nível de cisternas, dentre outros.

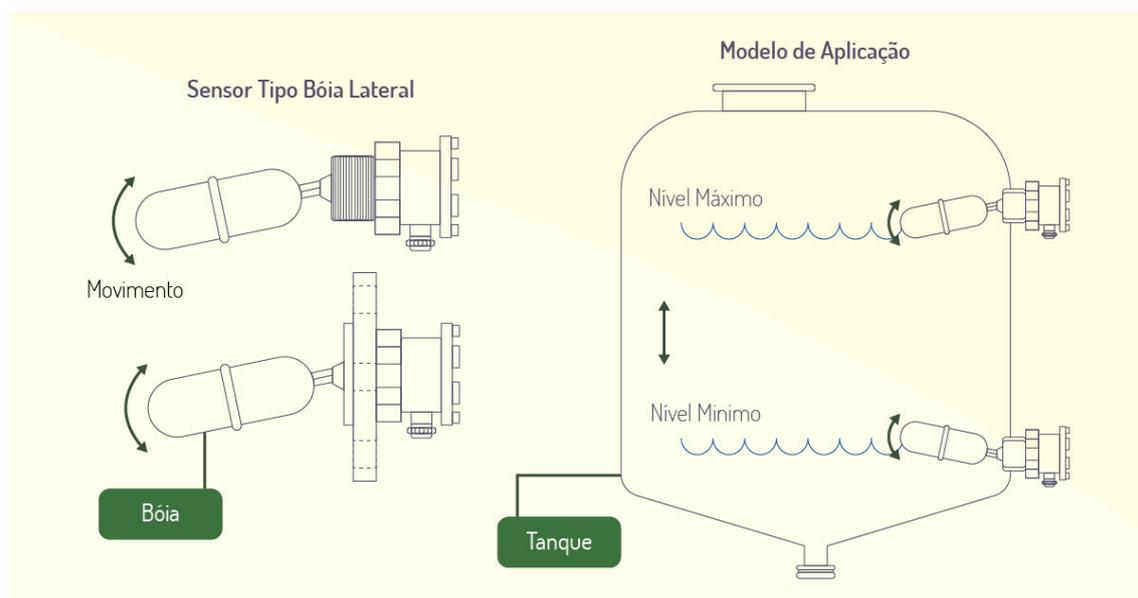


Figura 2.14 - Sensor de nível

Fonte: Sensores... (on-line).

A presença de tanques e reservatórios dentro da indústria é fundamental para o desenvolvimento industrial, o que só foi possível mediante a utilização dos sensores de nível.

Sensores de Vazão

Os sensores de vazão têm, como razão, medir e controlar o fluxo/vazão de material. Logo, temos que os sensores de vazão atuam para verificar a quantidade de fluido passando de um ponto a outro em determinado tempo.

Normalmente, os sensores de vazão são empregados quando temos a presença de substâncias, como gases ou líquidos, que fluem por meio de tubos.

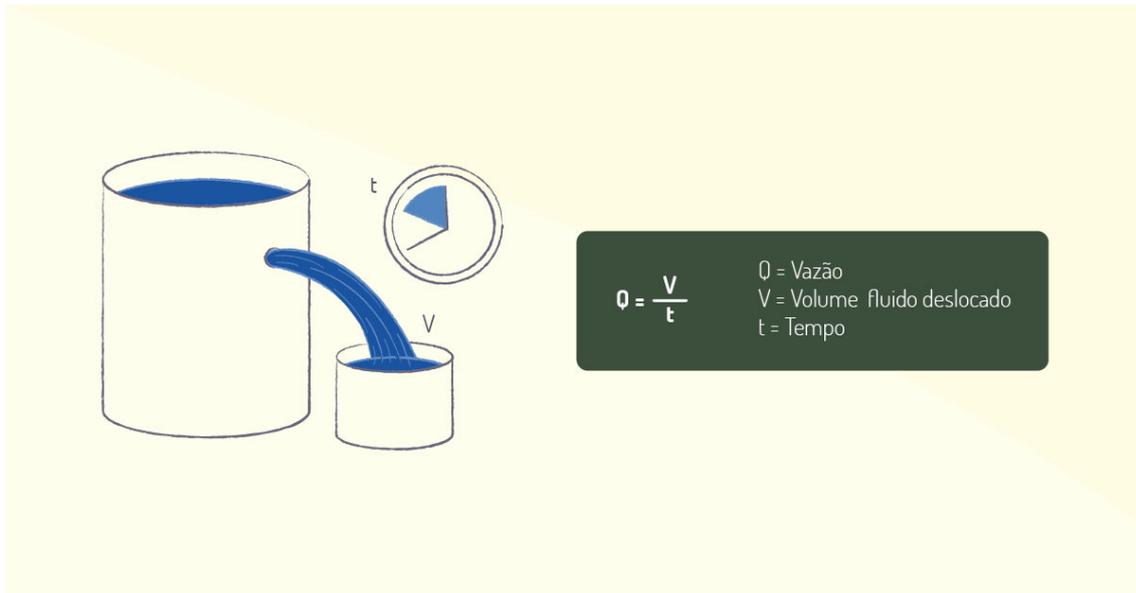


Figura 2.15 - Mensuração do cálculo de vazão realizado pelo sensor de vazão

Fonte: Elaborada pelo autor.

Podemos ter diferentes formas de escoamento, logo, temos vários sensores de vazão:

- **sensor de venturi:** o sensor de venturi mensura uma bifurcação gradativa em um tubo, aumentando, assim, a velocidade que os fluidos passam;

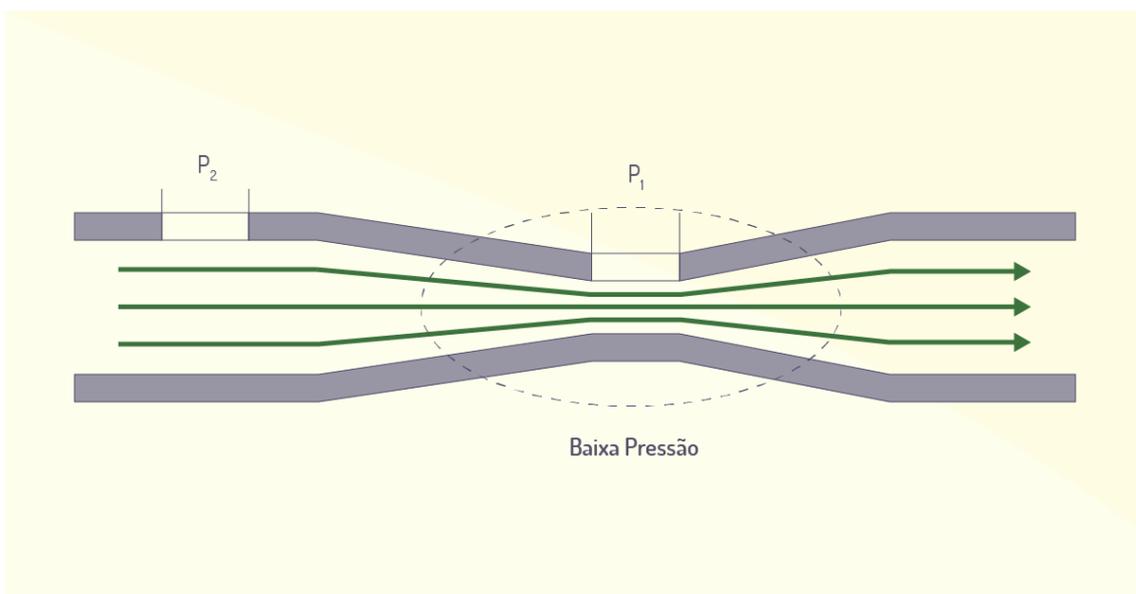


Figura 2.16 - Ilustração de emprego do sensor de venturi

Fonte: Machado (*on-line*).

- **sensor de pitot:** o sensor do tubo pitot fundamenta-se na verificação do escoamento da pressão;

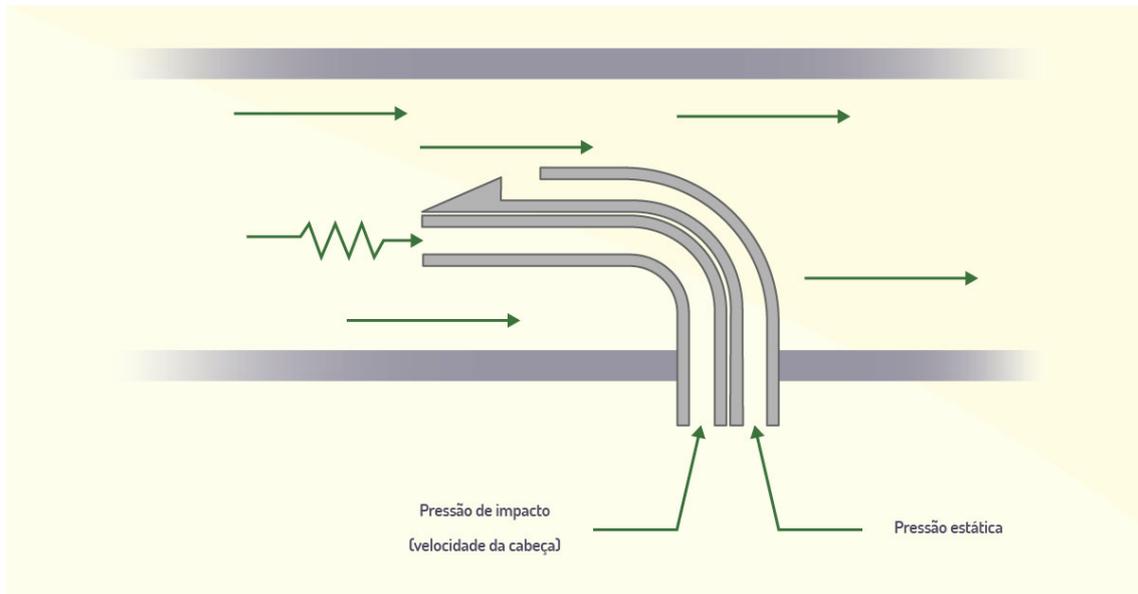


Figura 2.17 - Ilustração de emprego do sensor de venturi

Fonte: Machado (*on-line*).

A pressão de impacto costuma ser maior que a pressão estática, o que significa que a diferença entre estas é proporcional à velocidade, ou seja, proporcional à vazão.

sensor por turbina: sensores de vazão por turbinas, também conhecidas por *flowmeters*, empregam uma hélice instalada na direção da vazão.

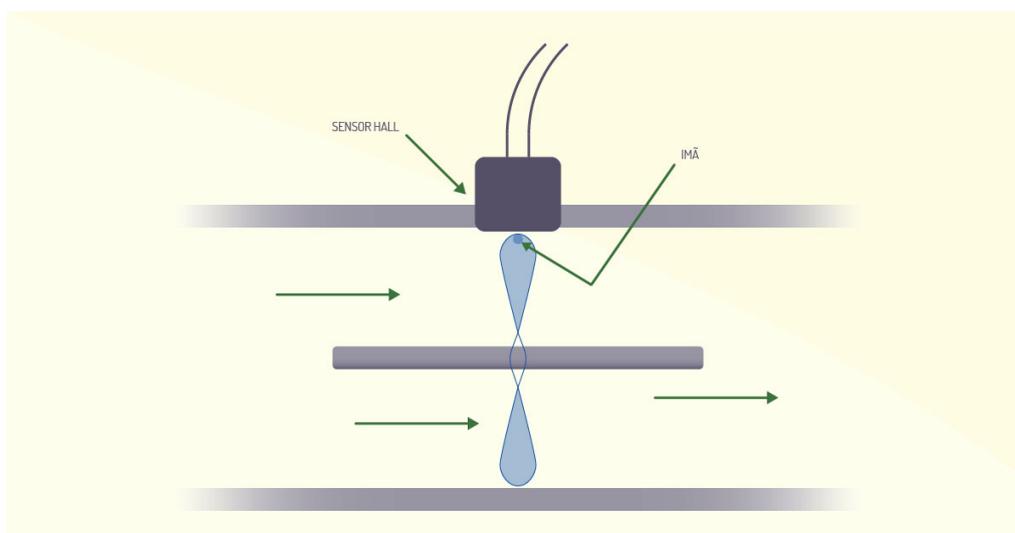


Figura 2.18 - Ilustração do sensor por turbina

Fonte: Machado (*on-line*).

Neste tipo de sensor, a velocidade de rotação da hélice é proporcional à velocidade de escoamento do fluido.

ATIVIDADES (Hardware e Software: Sensores digital)

2) Um sensor digital pode produzir um sinal com dois valores de saída ao longo do tempo, diferentemente do sensor analógico, que pode produzir N tipos de valores ao longo do tempo, só podendo assumir dois valores ao longo do tempo, que são:

- a. -1 e 1.
- b. 1 e 2.
- c. 0 e 1.
- d. 1 e 10.
- e. 0 e -1.

Atuadores Elétricos e Pneumáticos

Atuadores são mecanismos de automação utilizados para o acionamento com ou sem sensores. Os atuadores podem ser implementados utilizando dois tipos de energia: pneumática e hidráulica (MAMEDE, 2017).

A utilização de sensores na indústria, conforme apresentamos, abarca uma grande quantidade de funções, porém existem situações em que somente a energia pneumática, por exemplo, pode ser empregada, oferecendo uma solução mais eficiente. Além disso, em alguns contextos industriais, não é permitida a ocorrência de faíscas elétricas (exemplo: indústria de armamentos), não sendo interessante, neste caso, utilizar máquinas elétricas.

Assim, atuadores hidráulicos são utilizados quando temos cargas de centenas de toneladas, como por exemplo com guindastes, com as máquinas de usinagem, que normalmente não podem ser utilizar sistemas elétricas. Logo, temos que os atuadores pneumáticos são utilizados para aportar cargas com peso altíssimo ou quando tempos altíssimas rotações, como é o caso das fresadoras pneumáticas. Por conseguinte, também temos a combinação entre os atuadores pneumáticos e os hidráulicos.

Por exemplo, em sistemas eletropneumáticos temos atuadores pneumáticos acionados por controladores e atuadores elétricos ou eletrônicos, bem como, sensores elétricos ou pneumáticos. O mesmo ocorre em sistemas eletro hidráulicos. Em equipamentos de automação industrial, em particular, nas máquinas SMD que inserem componentes eletrônicos em placas de circuito impresso, nas quais encontramos principalmente sistemas com atuadores elétricos e pneumáticos.

A Pneumática é o ramo da engenharia que estuda a aplicação do ar comprimido para a tecnologia de acionamento e comando (THOMAZINI, 2005, p. 184).

O uso de ar comprimido como fonte de energia data de 2550 antes de cristo. Em meado do século 19, tivemos as primeiras máquinas com atuadores pneumáticos complexos, que deram origem as locomotivas. No século 20 os estudos de pneumática passaram a ser aplicados na automação industrial, hoje temos várias aplicações da pneumática, entre elas:

- prensas pneumáticas;



Figura 2.19 - Prensa pneumática

Fonte: Máquinas... (*on-line*).

- dispositivos de fixação de peças em máquinas, ferramentas e esteiras;

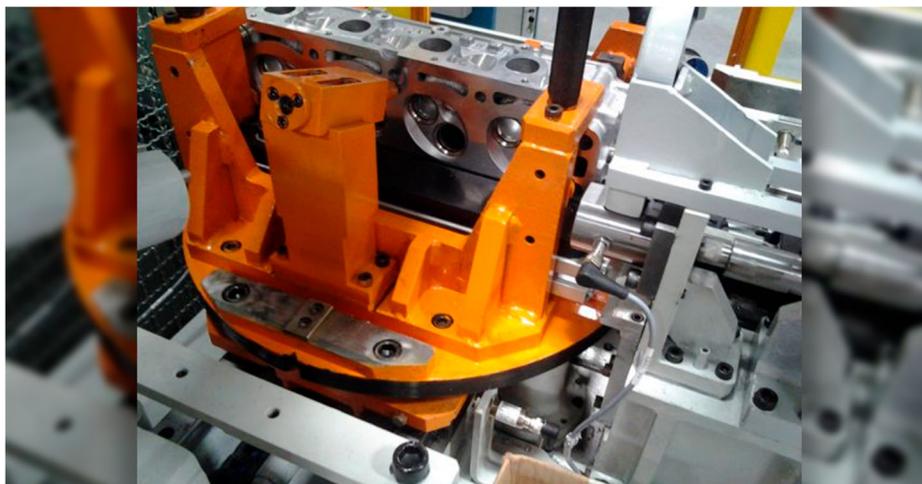


Figura 2.20 - Dispositivo pneumático de fixação

Fonte: Máquinas... (*on-line*).

- acionamento de portas de um ônibus urbano ou dos trens do metrô;



Figura 2.21 - Acionamento de portas de elevador

Fonte: Elena Pyshnograï / Dreamstime.

- robôs industriais para aplicações que não exijam posicionamento preciso;

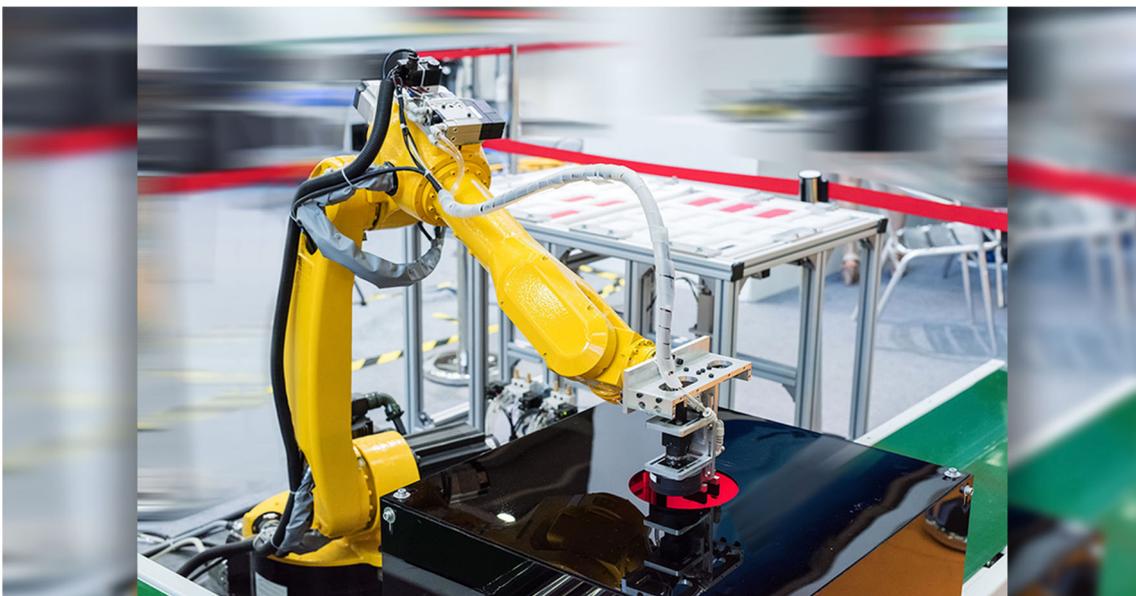


Figura 2.22 - Robôs industriais

Fonte: Wklzzz / 123RF.

- freios de caminhão;



Figura 2.23 - Disco de freio de carro

Fonte: Wanich Sirilon / 123RF.

- broca de dentista;



Figura 2.24 - Broca de dentista

Fonte: Allan Swart / 123RF.

Como vimos, os atuadores são fundamentais não só na indústria, mas também no nosso dia a dia, representando, assim, boa parte dos aparelhos eletromecânicos que usamos.

ATIVIDADES (Atuadores elétricos e pneumáticos)

3) Atuadores são mecanismos de automação utilizados em combinação com sensores, a fim de automatizar tarefas para o acionamento de máquinas industriais, por exemplo. Os atuadores podem ser implementados utilizando dois tipos de energia. Quais são?

- a. Pneumática e hidráulica.
- b. Eólica e nuclear.
- c. Química e hidráulica.
- d. Pneumática e térmica.
- e. Hidráulica e elétrica.

Transmissores

Os transmissores permitem a leitura de diversas variáveis industriais: pressão, temperatura, vazão, velocidade, dentre outras. Como temos inúmeros tipos de transmissores, vamos concentrar nosso estudo nos transmissores mais empregados na indústria, isto é, os transmissores de pressão, que podem ser transmissores de pressão relativa, diferencial, absoluta, fluidos, etc. (NATALE, 2007).

Os parâmetros analisados por meio dos transmissores de pressão são a exatidão, o coeficiente térmico do *span* e do *offset*, a variação de erro (*error band*) e o desvio de tempo (a curto ou longo prazo) (FIALHO, 2014). O principal tipo de transmissor empregado na indústria é o transmissor de pressão diferencial, que é o tipo mais básico dado ao seu grande número de cenários de utilização dentro da automação industrial.

O transmissor de pressão diferencial é utilizado para medir vazão e nível de fluidos dentro da indústria de automação. O transmissor de pressão diferencial também pode ser utilizado para a medição de pressões relativas, diferenciais e absolutas de fluidos.



Figura 2.25 - Transmissor de pressão diferencial

Fonte: Witoon Muenhong / 123RF.

É importante lembrar que a pressão e a expressão da força requerida para deter a expansão de um fluido por área são dependentes da força empregada por unidade de área. Dependendo do referencial utilizado, as modalidades de pressão medidas pelo transmissor são, por exemplo, a pressão diferencial e a pressão de vácuo.

A pressão de vácuo é medida por meio da medição da pressão diferencial, quando a pressão absoluta apresenta-se menor que a pressão atmosférica. Assim, a pressão de vácuo verifica o quanto a pressão encontra-se abaixo da pressão atmosférica. Já a pressão diferencial é a diferença entre magnitude e o valor de pressão de referência medido.

Os transmissores podem ser usados ou não em conjunto com os sensores de pressão. Logo, um pode servir de parâmetro de validação para o outro (MONTEIRO, 2007). Lembre-se de que o sensor de pressão costuma gerar um sinal elétrico relacionado à pressão exercida. Este sinal é normalmente do tipo digital ou analógico.

Por fim, os transmissores de pressão são utilizados em uma grande quantidade de cenários e processos de controle e monitoramento industriais. Os transmissores de pressão podem ser utilizados para medir indiretamente outras variáveis, por exemplo, a velocidade do ar em túneis de vento.

ATIVIDADES (Transmissores)

4) O transmissor de pressão diferencial tem aplicações na medição de pressões diferenciais, relativas e absolutas de fluidos. O transmissor de pressão diferencial é um dispositivo utilizado para medir:

- a. pressão, vazão e área.
- b. eletricidade, temperatura e pressão.
- c. nível, área e força.
- d. temperatura, pressão e vazão.
- e. vazão, nível e estanqueidade de fluidos.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Instalações elétricas industriais

Editora: LTC

Autor: J. Mamede Filho

ISBN: 978-85-216-3372-3 1

Comentário: Um livro referência em todo o mundo sobre projetos industriais envolvendo instalações elétricas.

REFERÊNCIAS

CAPELLI, A. **Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos**. São Paulo: Erica, 2007.

COMO funcionam os sensores ópticos. **Instituto NCB**. Disponível em: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/7841-como-funcionam-os-sensores-opticos-art1051>>. Acesso em: 26 set. 2019.

FIALHO, A. B. **Automação hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. São Paulo: Erica, 2014.

MACHADO, M. Sensores de Vazão. **Webnode**. Disponível em: <<http://files.moacirmachado.webnode.com.br/200000044-824a98344a/Sensores%20Vazao.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2019.

MAMEDE, J. F. **Instalações elétricas industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MÁQUINAS / Equipamentos / Serviços & Soluções. **MSMP**. Disponível em: <<http://www.msmp.com.br/>>. Acesso em: 26 set. 2019.

MONTEIRO, M. A. **Introdução à organização de computadores**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

NATALE, F. **Automação industrial**. São Paulo: Erica, 2007.

SAIBA o que considerar ao escolher sensores de proximidade. **Balluff**, 2019. Disponível em: <<https://balluffbrasil.com.br/saiba-o-que-considerar-ao-escolher-sensores-de-proximidade/>>. Acesso em: 26 set. 2019.

SENSORES de nível. **Engelogic**. Disponível em: <<https://www.engelogic.com.br/download/sensores-nivel.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2019.

SILVA, W. P. da. Propriedades físicas – Temperaturas de fusão e ebulição. **Webeduc**. Disponível em: <http://webeduc.mec.gov.br/portaldoprofessor/quimica/cd2/conteudo/aulas/8_aula/aula.html>. Acesso em: 26 set. 2019.

TANENBAUM, A. S. **Organização estruturada de computadores**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2005.

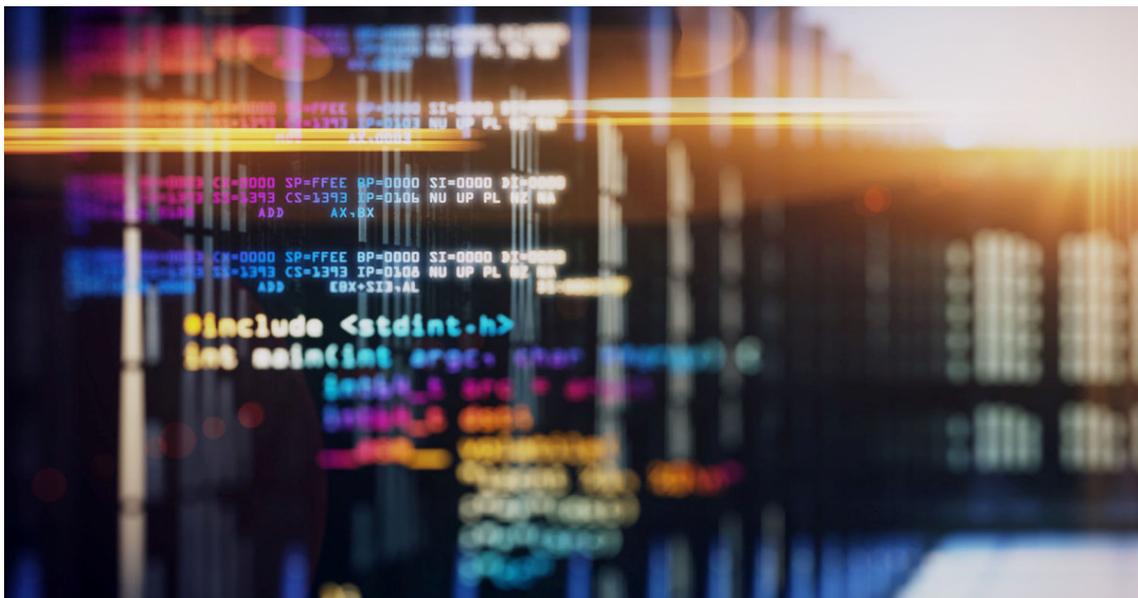
UNIDADE III

Configuração e Especificação de Controladores Programáveis

Pedro Henrique Chagas Freitas

Introdução

Nesta unidade, abordaremos, como temática principal, a configuração e especificação de controladores programáveis, explicitando os sistemas numéricos: decimal, binário, octal e hexadecimal, além de abordar o funcionamento dos circuitos lógicos, dos circuitos combinacionais e dos circuitos sequenciais. Por conseguinte, abordaremos os controladores lógicos, as linguagens de programação e os comandos de automação.



Fonte: Daniil Peshkov / 123RF.

Sistemas Numéricos: Decimal, Binário, Octal e Hexadecimal

Os sistemas numéricos são representações de conjuntos de números. Um conjunto de cinquenta e duas maçãs, por exemplo, pode ser representado pelos algarismos:

- 52 em decimal (base 10);
- por 110100 em binário (base 2);
- por 64 em octal (base 8);
- por 34 em hexadecimal (base 16).

Isso ocorre, porque a linguagem computacional empregada nos controladores e dispositivos eletrônicos precisa comunicar-se por meio de conjuntos numéricos (CAPELLI, 2007).

Estamos acostumados a um só sistema, todavia os controladores, computadores e circuitos lógicos utilizam os sistemas decimal, octal, binário e hexadecimal. Como estamos tratando de bases numéricas, temos, como base principal, o binário, que é fundamentalmente empregado em praticamente todos os sistemas numéricos, ou seja, controladores, circuitos lógicos, máquinas industriais, computadores etc.

Temos, também, o octal e o hexadecimal, que são dois sistemas bastante empregados, pelo fato de utilizarem bases que são potências de 2 ($2^3 = 8$ e $2^4 = 16$). Os sistemas numéricos possuem características em comum na representação dos números (FIALHO, 2014). A partir da compreensão dessas regras simples, torna-se bem mais simples converter números de uma base para outra. A partir de um número XYZ, ABC qualquer, em um sistema numérico com base n qualquer, temos as seguintes regras:

- Z unidades da base n elevada a 0, ou seja, $n^0 = 1$;
- Y unidades da base n elevada a 1, ou seja, $n^1 = n$;
- X unidades da base n elevada a 2, ou seja, n^2 ;
- A unidades da base elevado a -1, ou seja, $1/n$;
- B unidades da base elevado a -2, ou seja, $1/n^2$;
- C unidades da base elevado a -3, ou seja, $1/n^3$.

Podemos verificar a potência passando de positiva, na parte inteira do respectivo número, para negativa, na parte fracionária após a vírgula. Como exemplo, temos, na base 10, o número 431.975. Faremos a decomposição deste, em que cada algarismo que faz parte do número terá uma potência, como pode-se ver no exemplo abaixo.

4	3	1	9	7	5
4×10^2	3×10^1	1×10^0	9×10^{-1}	7×10^{-2}	5×10^{-3}

Tabela 3.1 - Conversão de base numérica - Parte 1

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ou, então, aplicando as potências:

4	3	1	9	7	5
4×100	3×10	1×1	$9/10$	$7/100$	$5/1000$

Tabela 3.2 - Conversão de base numérica - Parte 2

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para um número binário que usa a base 2, teremos, similarmente, a regra anteriormente aplicada.

A decomposição do número 110,111 ficaria:

1	1	0,	1	1	1
1×2^2	1×2^1	0×2^0	1×2^{-1}	1×2^{-2}	1×2^{-3}

Tabela 3.3 - Decomposição de bases

Fonte: Elaborada pelo autor.

Dessa forma, o número 110,111 é representado por: $(4+2) = 6$, na parte inteira, e $(1/2+1/4+1/8) = 0,875$, na parte fracionária. Assim, 110,111 em binário (base 2) é o mesmo que 6,875 em decimal (base 10).

No sistema decimal, temos 10 algarismos diferentes para representar os números (0 a 9). Este é o sistema que costumamos ver com maior clareza no dia a dia. Já o sistema binário utiliza 2 algarismos diferentes para representar os números 0 e 1 (MONTEIRO, 2007).

Ambos são empregados em controladores, máquinas industriais e computadores, mas o sistema numérico é mais utilizado nas linguagens de máquina, que é composto por dois estados (aberto e fechado, ligado e desligado, sim e não etc.), sendo representado, respectivamente, por 0 e 1. Em outras representações, poderemos ter a base subscrita após o número binário, por exemplo, 110101_2 (base 2) ou 110101_{bin} .

Já o sistema octal utiliza 8 algarismos diferentes para representar os números de 0 a 7. Este é muito utilizado para representar números binários de forma mais compacta, tendo em vista que, a cada dígito octal, temos a representação de três *bits*. Muitas vezes, números do sistema octal são representados com um pequeno "o". Exemplo: 4701_o ou 4701_{oct} ; 1572_o ou 1572_{oct} ; 1057_o ou 1057_{oct} ; 721_o ou 721_{oct} .

O sistema hexadecimal, que utiliza a base 16, apresenta 16 algarismos diferentes, os quais representam números. No caso, então, não temos algarismos que representam números maiores que nove, logo, precisamos utilizar letras do alfabeto (NATALE, 2007).

No hexadecimal, temos letras que representam os números acima de nove até o quinze, respectivamente, sendo A, B, C, D, E e F. Na base 16, temos a precedência do "0x", que representa um número na base 16, por exemplo, 0xFA. Se desejamos converter um dado número decimal para binário, realizamos a decomposição do número da base 10 em potência de 2. Assim, temos que um número decimal X poderá ser decomposto em uma soma de potências de 2; com isso, X será igual a $x_1 \times 2^0 + x_2 \times 2^1 + x_3 \times 2^2 + x_4 \times 2^3$ etc. Exemplo: 567, 2043, 57283 e 12839696.

Nesse sentido, x_i é sempre zero ou um. Exemplo: a decomposição do número 486 é realizada da seguinte maneira:

- 1) Verificamos a maior potência de 2 que seja menor que o número 486.
- 2) As potências de dois são 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048 etc.
- 3) Temos que 256 é menor que 486; esta é a maior potência de 2 menor que o número decomposto, tendo em vista que o próximo número seria 512, que é maior que 486.
- 4) Logo, $486 = 256 + 230$. Dessa forma, continuamos a decomposição. Vamos decompor 230.
- 5) Qual a maior potência de 2 que seja menor que o número 230? A maior potência de 2 é o 128.
- 6) $128 + 102 = 230$. Temos, então, que 102 pode ser decomposto como $64 + 38$; 38 pode ser decomposto como $32 + 6$; $6 = 4 + 2$.
- 7) Logo, 486 pode ser decomposto em binário, como $256 + 128 + 64 + 32 + 4 + 2 = 1 \times 2^8 + 1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0$.

A partir da decomposição, temos o número no sistema binário a seguir.

Potência de 2	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
Decomposição	1	1	1	1	0	0	1	1	0

Tabela 3.4 - Decomposição para sistema binário de potência 2

Fonte: Elaborada pelo autor.

O número decimal (base 10) 48, convertido em binário (base 2), portanto, é 111100110.

Já a conversão de octal (base 8) para binário (base 2) dá-se a partir da tradução de cada algarismo em octal para um conjunto de três *bits* ($2^3 = 8$ possibilidades), começando sempre pela direita (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005). Desse modo, o número 25173 em octal pode ser convertido em binário.

FIQUE POR DENTRO

Como material complementar, indicamos explorar mais o conteúdo por meio do vídeo “Resumão: Conversão de Bases”, disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=KNCS8OwiEmE>>. Acesso em: 21 out. 2019.

Octal	2	5	1	7	3
Binário	010	101	001	111	011

Tabela 3.5 - Decomposição de base octal

Fonte: Elaborada pelo autor.

Vemos que 25173 (Octal) é 010101001111011 (Binário). O contrário também será verdadeiro, isto é, um binário poderá ser separado de três em três *bits*, para ser convertido em octal, da direita para a esquerda. O número 010101001111011 está em binário e será convertido para octal, como exemplo apresentado na sequência.

Binário	010	101	001	111	011
Octal	2	5	1	7	3

Tabela 3.6 - Composição de base binária para octal

Fonte: Elaborada pelo autor.

Da mesma forma, podemos converter hexadecimal para binário por meio de um conjunto de 4 *bits* ($2^4 = 16$ possibilidades). Dessa forma, o número ADC02 poderá ser convertido em binário, com cada posição em hexadecimal, conforme podemos ver a seguir.

Hexadecimal	A	F	C	0	2
Binário	1010	1111	1100	0000	0010

Tabela 3.7 - Conversão de base hexadecimal para binário

Fonte: Elaborada pelo autor.

Por continuação, o número AFC02 em hexadecimal é convertido em 10101111110000000010. Em hexadecimal, a conversão inversa pode ser utilizada para cada 4 algarismos binários, então teremos a conversão para o seu respectivo algarismo hexadecimal. Temos, também, que as conversões de decimal para octal são simples, caso utilizemos o sistema binário para intermediar, ou seja, esta é a melhor maneira de converter o número decimal em binário e de binário para octal.

Agora, iremos converter o número 3289 em decimal para octal. Decompondo o número 3289 em potências de 2, temos que $3289 = 2048 + 1024 + 128 + 64 + 16 + 8 + 1$, ou seja, 3289 em binário é igual a:

Potência de 2	2^{11}	2^{10}	2^9	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
Decomposição	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1

Tabela 3.8 - Decomposição de base para binário

Fonte: Elaborada pelo autor.

Dessa vez, converteremos de binário para octal. Os *bits* serão agrupados de três em três, da direita para a esquerda, do número 110011011001.

Binário	110	011	011	001
Octal	6	3	3	1

Tabela 3.9 - Conversão de base binária para octal

Fonte: Elaborada pelo autor.

Por conseguinte, o número 3289, em decimal, é representado pelo número 6331, em octal; a conversão de decimal (base 10) para hexadecimal (base 16). O número 861, em decimal, pode ser, então, convertido em hexadecimal:

$$\S 861 = 512 + 256 + 64 + 16 + 8 + 4 + 1 = 1101011101;$$

Separando o número binário de quatro em quatro *bits*, sempre começando pela direita, temos:

Binário	0011	0101	1101
Hexadecimal	3	5	D

Tabela 3.10 - Conversão de binário para hexadecimal

Fonte: Elaborada pelo autor.

Podemos perceber, com isso, que o número decimal 861 é igual a 35D em hexadecimal. As conversões de octal para decimal e hexadecimal para decimal são triviais, quando utilizamos o sistema binário como intermediário. Por exemplo, vamos converter 634 octal e 9FA para decimal:

Octal	6	3	4
Binário	110	011	100

Tabela 3.11 - Conversão de base octal para binário

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para converter de binário para decimal, basta somar as potências de 2.

Potência de 2	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
Número binário	1	1	0	0	1	1	1	0	0

Tabela 3.12 - Decomposição para base binária

Fonte: Elaborada pelo autor.

REFLITA

Temos, então, que 110011100 (binário) em decimal é igual a $2^8 + 2^7 + 2^4 + 2^3 + 2^2 = 256 + 128 + 16 + 8 + 4 = 412$. Logo, o número 634, em octal, é 412, em decimal.

Ao converter o número hexadecimal 1FA em binário, temos:

Hexadecimal	9	F	A
Binário	1001	1111	1010

Tabela 3.13 - Conversão de base hexadecimal para binário

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para converter de binário para decimal, basta somar as potências de 2.

Potência de 2	2^{11}	2^{10}	2^9	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
Número binário	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0

Tabela 3.14 - Decomposição de base para binário

Fonte: Elaborada pelo autor.

O número 9FA, em hexadecimal, é igual a 100111111010, em binário, que, por sua vez, é igual ao número em decimal $2^{11} + 2^8 + 2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^1 = 2048 + 256 + 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 2 = 2554$.

ATIVIDADES (Sistemas numéricos: Decimal, Binário, Octal e Hexadecimal)

- 1) A conversão do sistema de numeração binário para o sistema de numeração hexadecimal é bastante empregada nas representações computacionais que trabalham com um conjunto de 4 *bits*. Diante disso, converta 11001111 na base binária para seu respectivo correspondente na base hexadecimal e assinale a alternativa correta.
 - a) AC.
 - b) CF.
 - c) FC.
 - d) AD.
 - e) DF.

Circuitos Lógicos

Em 1854, foi apresentado um sistema de análise lógica, pelo matemático George Boole, conhecido como álgebra de Boole. A álgebra de Boole foi utilizada ao longo do tempo para implementar os circuitos lógicos. Nas funções lógicas, temos apenas dois estados: Estado 0 e Estado 1.

No caso, então, o Estado 0 representará, por exemplo: portão fechado, aparelho desligado, ausência de tensão e chave aberta. O Estado 1 representará: portão aberto, aparelho ligado, presença de tensão, chave fechada etc. Em 1938, o Engenheiro Claude Shannon, por meio das teorias de Boole, encontra a solução de problemas de circuitos de telefonia com relés - interruptores comandados com sinais elétricos - e que podiam, portanto, ligar ou desligar circuitos muito rapidamente. Até hoje, os relés são empregados. Aqui, começou a implementação das funções lógicas que compõem os circuitos lógicos (E, OU, NÃO E, NOU etc.).

Os circuitos lógicos derivam da álgebra de Boole, sendo as variáveis e expressões chamadas de variáveis e expressões booleanas. Nossa primeira função é o E (AND). Para demonstrar seu funcionamento em um circuito lógico, nada melhor do que apresentar um circuito lógico que utiliza a função E.

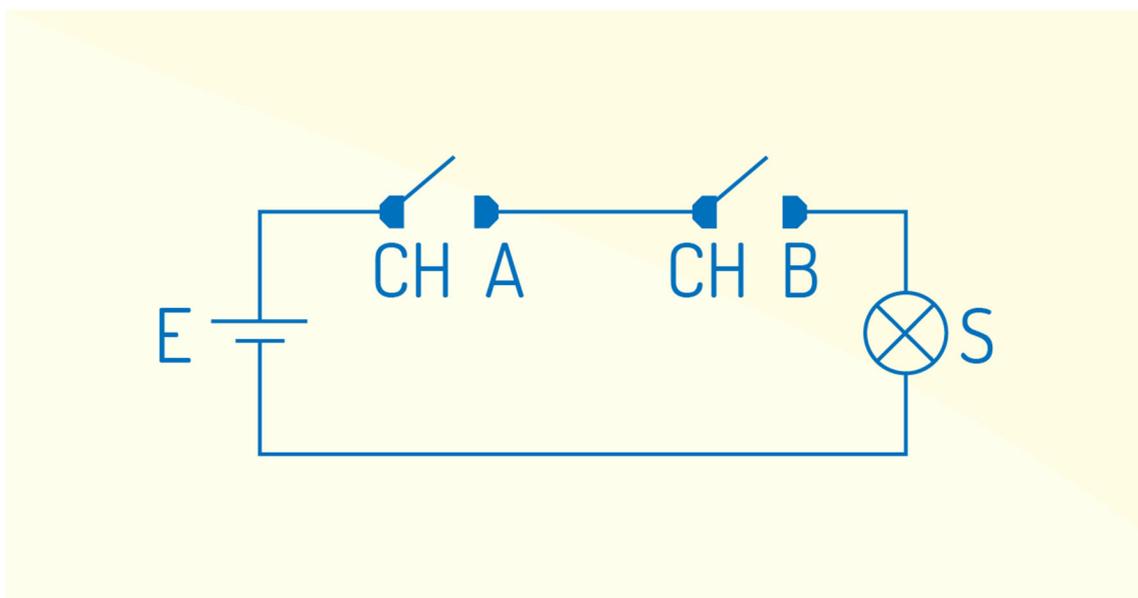


Figura 3.1 - Exemplo de circuito AND

Fonte: Elaborada pelo autor.

O circuito apresentado Figura 3.1 demonstra que a lâmpada

somente acenderá SOMENTE SE ambas as chaves estiverem fechadas e, seguindo a convenção, tem-se: CH A=1, CH B=1, resulta em S=1. Pode-se, desta forma, escrever todas as possíveis combinações de operação das chaves na chamada Tabela da Verdade, um mapa onde se depositam todas as possíveis situações de entrada com seus respectivos resultados de saída, logo podemos verificar que o número de possíveis combinações é 2^n , onde n é o número de variáveis de entrada (CAPELLI, 2007, p. 135).

As portas lógicas são representadas na lógica de Boole, respectivamente, pelos símbolos a seguir.

NOME	Símbolo Gráfico	Símbolo Algébrico
NOT		$S = \bar{A}$ ou $S = A'$
AND		$S = A \cdot B$ ou $S = AB$
OR		$S = A + B$
NAND		$S = \overline{(A \cdot B)}$
NOR		$S = \overline{(A + B)}$
XOR		$S = (A \oplus B)$

Figura 3.2 - Portas Lógicas

Fonte: Adaptada de Piropo (2005, *on-line*).

Temos, também, a função OU (OR), que determina dois possíveis caminhos para o fluxo de um circuito lógico. No circuito lógico apresentado na sequência, o sinal de saída irá para nível lógico 1, se qualquer uma das entradas estiver em nível lógico 1 (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005).

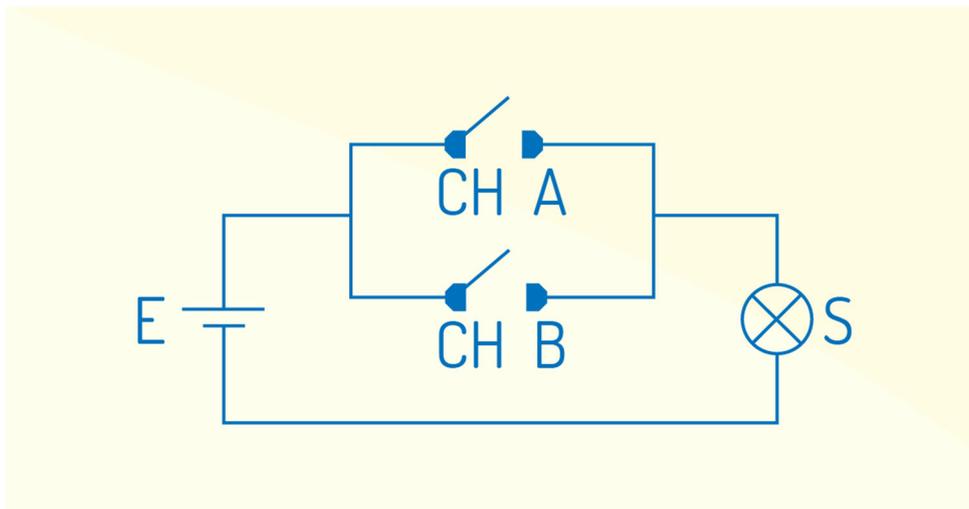


Figura 3.3 - Exemplo de circuito OR

Fonte: Elaborada pelo autor.

Dessa forma, temos o circuito demonstrado na Figura 3.3, que apresenta a lâmpada acendendo, quando qualquer uma das chaves estiver fechada, e permanece apagada, se ambas estiverem abertas, ou seja, $CH A=0$, $CH B=0$ resulta em $S=0$.

Temos, também, a função NÃO (NOT) ou função inversora. No circuito lógico a seguir, o sinal de saída irá para o nível lógico 1, se a entrada for 0 e vice-versa.

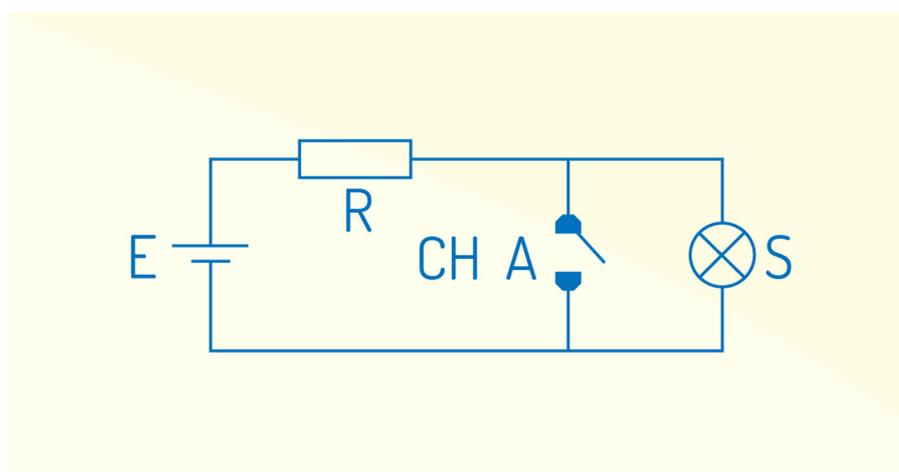


Figura 3.4 - Exemplo de função NOT

Fonte: Elaborada pelo autor.

Podemos verificar, ao observar os circuitos, que a lâmpada estará acesa somente se a chave estiver aberta ($CH A=0$, $S=1$). Quando a chave fecha, a corrente desvia por ela e a lâmpada apaga ($CH A=1$, $S=0$). O inversor é o bloco lógico que executa a função NÃO.

Temos, também, a função NÃO E (NAND), que é a combinação da função NÃO e da função E. No circuito lógico a seguir, o sinal de saída irá para o nível lógico 1, se, pelo menos, uma das entradas estiver em nível lógico 0.

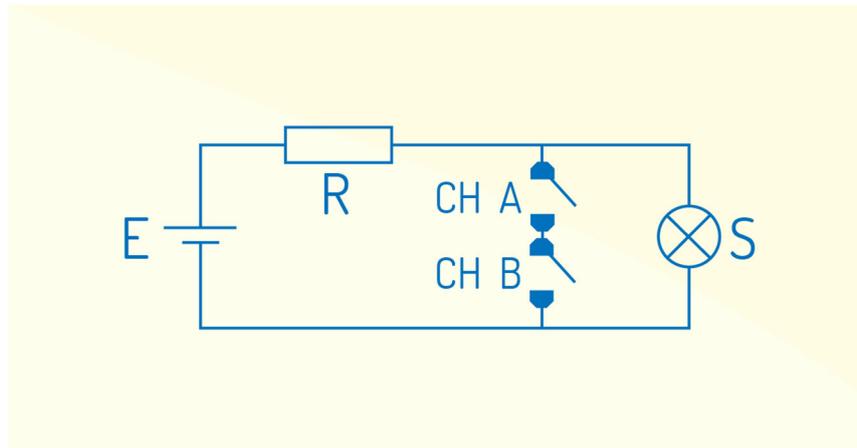


Figura 3.5 - Exemplo de circuito NAND

Fonte: Elaborada pelo autor.

Observa-se que a lâmpada apaga somente quando ambas as chaves são fechadas, ou seja, CH A=1, CH B=1 implica em S=0.

Temos, também, a função NÃO OU (NOR), que é a combinação de uma porta NÃO e de uma OU. No circuito demonstrado na Figura 3.6, temos que o sinal de saída irá para o nível lógico 1, SOMENTE SE as entradas estiverem em nível lógico 0.

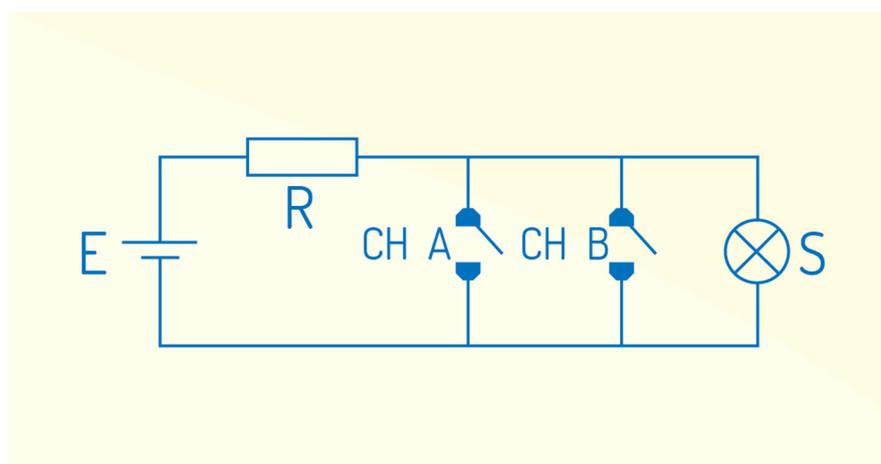


Figura 3.6 - Exemplo de circuito NOR

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao analisar este circuito, é possível concluir que a lâmpada fica acesa somente quando as duas chaves estão abertas. Assim, $CH A=0$, $CH B=0$ resulta em $S=1$.

Ademais, tem-se a função OU EXCLUSIVO (XOR), que é a combinação das portas E e OU e Inversoras. No circuito lógico a seguir, o sinal de saída irá para o nível lógico 1, SOMENTE SE as entradas forem diferentes.

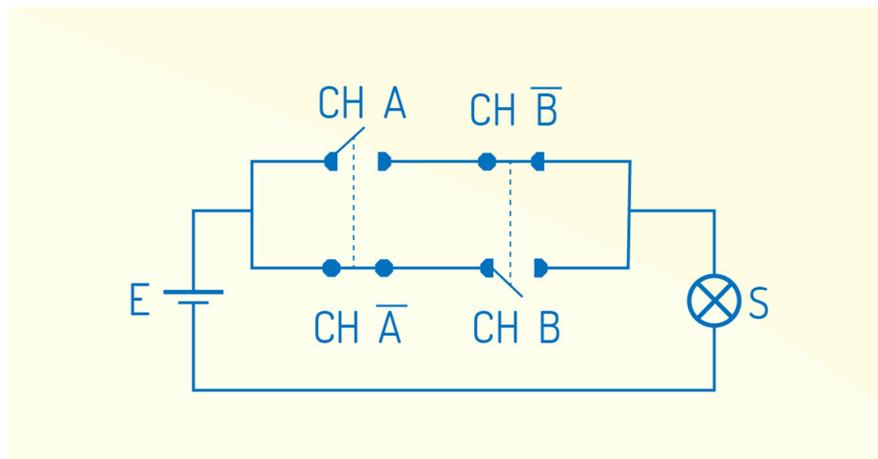


Figura 3.7 - Exemplo de circuitos XOR

Fonte: Elaborada pelo autor.

Podemos verificar que as chaves $CH A_$ e $CH B_$ estão abertas (há caminho para a corrente circular e a lâmpada não acende; a respectiva lâmpada continua apagada, quando as chaves $CH A$ e $CH B$ estão fechadas, pois quando estão abertas, interrompem o fluxo de corrente).

Por fim, temos a função NÃO OU EXCLUSIVO, conhecida, também, como função coincidência, que é uma combinação das funções E e OU e INVERSORAS. No circuito lógico a seguir, podemos identificá-la.

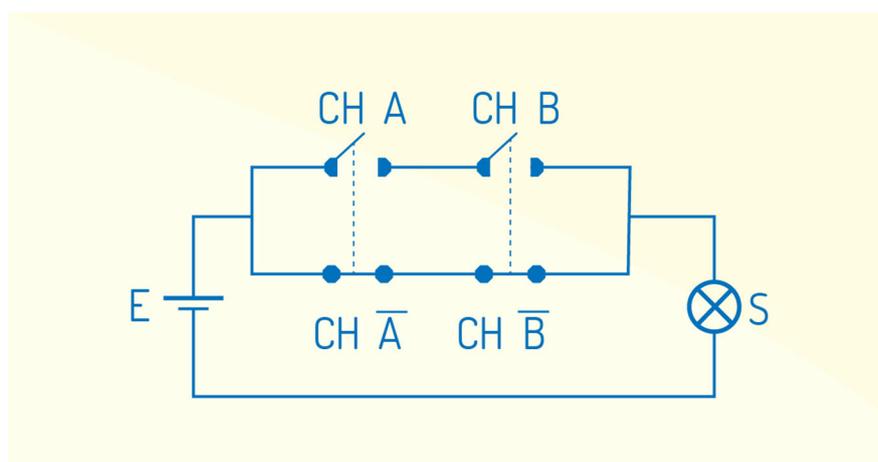


Figura 3.8 - Exemplo de circuito coincidência

Fonte: Elaborada pelo autor.

Quando as chaves CH A_ e CH B_ estão abertas na linha superior, e estão fechadas na linha inferior do circuito, a corrente circula pela lâmpada, que será acesa.

Observe a figura a seguir.

BLOCOS LÓGICOS BÁSICOS																			
PORTA	Símbolo Usual	Tabela da Verdade	Função Lógica	Expressão															
E AND		<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	Função E: Assume 0 quando todas as variáveis forem 1 e 0 nos outros casos.	$S = A \cdot B$
A	B	S																	
0	0	0																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	1																	
OU OR		<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	Função O: Assume 0 quando todas as variáveis forem 0 e 1 nos outros casos.	$S = A + B$
A	B	S																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	1																	
NÃO NOT		<table border="1"> <tr><td>A</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	S	0	1	1	0	Função NÃO: Inverte a variável aplicada a sua entrada.	$S = \bar{A}$									
A	S																		
0	1																		
1	0																		
NE NAND		<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	S	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	Função NE: Inverso da função E	$S = \overline{A \cdot B}$
A	B	S																	
0	0	1																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	0																	
NOU NOR		<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	S	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	Função NOU: Inverso da função OU	$S = \overline{A + B}$
A	B	S																	
0	0	1																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	0																	
OU Exclusivo		<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	Função OU Exclusivo: Assume 1 quando as variáveis assumirem valores diferentes entre si.	$S = A \oplus B$ $S = \bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B}$
A	B	S																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	0																	
Coincidência		<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	S	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	Função Coincidência: Assume 1 quando houver coincidência entre os valores das variáveis.	$S = A \odot B$ $S = \bar{A} \cdot \bar{B} + A \cdot B$
A	B	S																	
0	0	1																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	1																	

Figura 3.9 - Blocos lógicos básicos de circuitos

Fonte: Reis (2010, *on-line*).

Temos, então, os seguintes blocos lógicos básicos nos circuitos lógicos, como apresentado na Figura 3.9.

ATIVIDADES (Circuitos Lógicos)

2) As funções de um circuito lógico são responsáveis por implementarem o desenho para a solução que o circuito visa representar. Assinale qual expressão matemática apresenta as respectivas funções lógicas: OR.

- a) $S = A + B$.
- b) $S = A \cdot B$.
- c) $S = A > B$.
- d) $S = A < B$.
- e) $S = (- A.B)$.

Circuitos Combinacionais e Sequenciais

Podemos dividir os circuitos lógicos em: circuitos combinacionais ou circuitos sequenciais.

Um circuito combinacional é a representação de um aglomerado de portas lógicas, as quais determinam os valores de saídas a partir dos valores de entrada. Cada combinação booleana de valores na entrada gerará uma determinada saída, conforme mostrado a seguir.

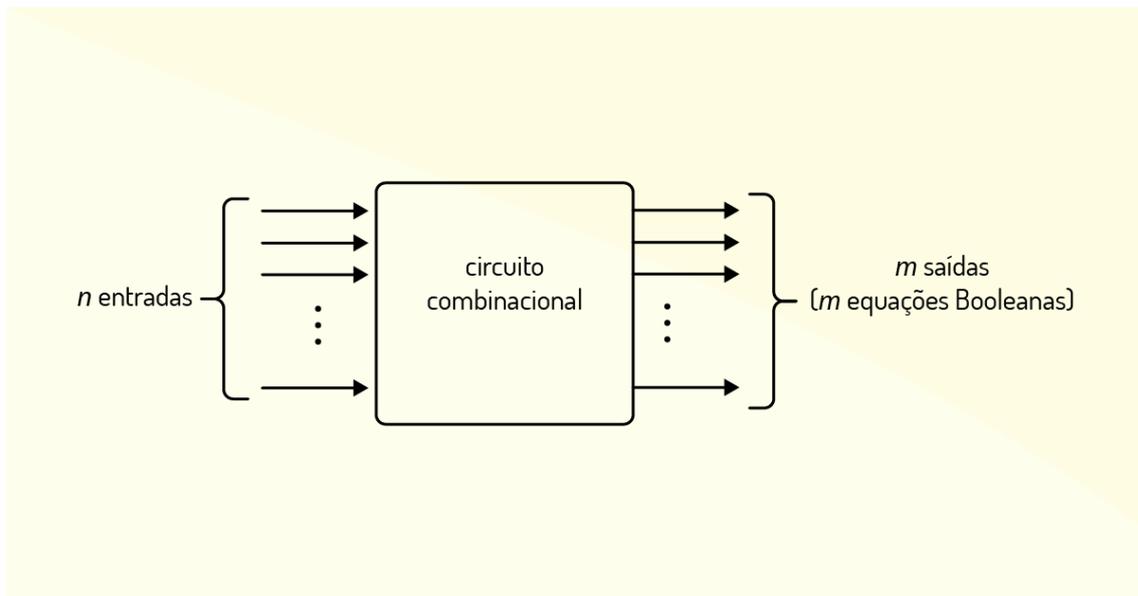


Figura 3.10 - Diagrama simples de entrada e saída

Fonte: Elaborada pelo autor.

Já um circuito sequencial consistirá em elementos de armazenamento conhecidos como *flip-flops* e portas lógicas. Os valores das saídas do circuito dependem dos valores das entradas e dos estados dos *latches* ou *flip-flops* utilizados. Como os estados dos *latches* e *flip-flops* são funções dos valores anteriores das entradas, diz-se que as saídas de um circuito sequencial dependem dos valores das entradas e do histórico do próprio circuito. Logo, o comportamento de um circuito sequencial é especificado pela sequência temporal das entradas e de seus estados internos. Assim, o comportamento do circuito sequencial está diretamente ligado à sequência temporal das entradas e de seus estados internos. Dentre os exemplos de circuitos sequenciais, temos um circuito de um relógio que informa e quadra dados da hora, como um cronômetro, enquanto um circuito combinacional não guarda dados, logo, pode ser somente o circuito de um relógio, que apenas mostra as horas.

Um circuito sequencial é composto por um circuito combinacional e elementos de memória. As entradas e saídas do circuito sequencial estão conectadas somente ao circuito combinacional. Um exemplo comum é o seu emprego em sistemas com portas lógicas, como elevadores que abrem e fecham suas portas por meio de sensores de presença ou de temporizadores.

A informação armazenada nos elementos de memória em um dado instante determina o estado em que se encontra o circuito sequencial. O circuito sequencial recebe informação binária das entradas que, juntamente com a informação do estado atual, determina os valores das saídas e os valores do próximo estado.

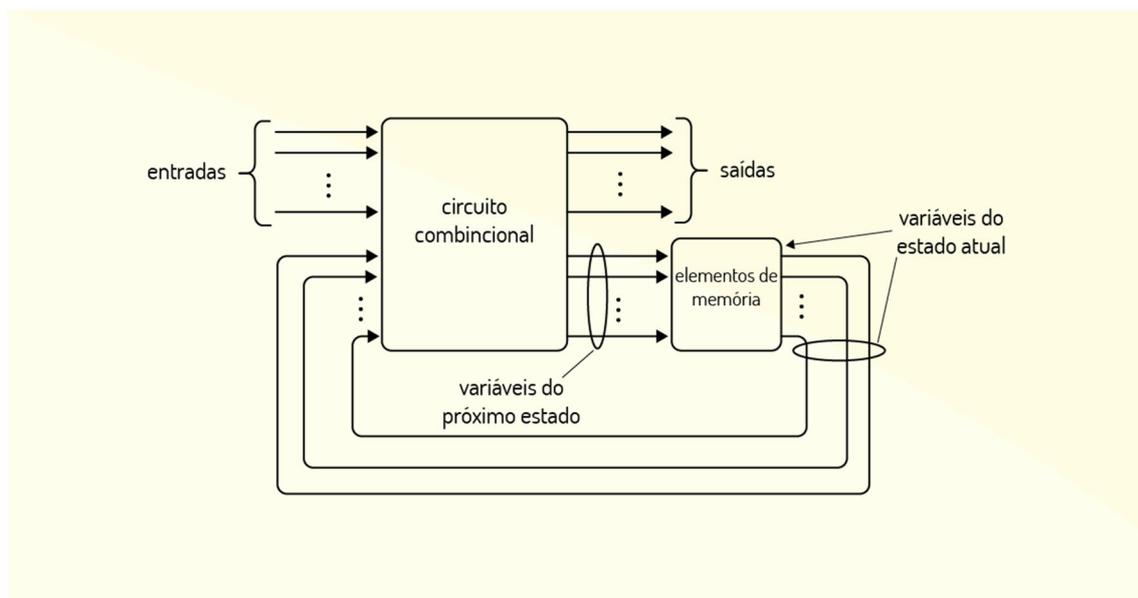


Figura 3.11 - Diagrama com circuito combinacional

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os circuitos sequenciais podem ser divididos em dois tipos, conforme o comportamento temporal de seus sinais: síncronos e assíncronos.

Um circuito assíncrono é dependente da ordem em que as entradas mudam e o estado do circuito pode alterar-se a qualquer tempo, como consequência de uma mudança de suas entradas. Os elementos de memória utilizados nos circuitos sequenciais assíncronos apresentam uma capacidade de armazenamento que está associada diretamente ao atraso de propagação dos circuitos que os compõem. Os circuitos assíncronos têm, também, as portas lógicas, que provêm de um atraso de propagação, com valor adequado para o funcionamento do circuito. Então, um circuito sequencial assíncrono pode ser visto como um circuito combinacional com realimentação.

A principal dificuldade provém do fato de que os componentes apresentam atrasos não fixos, podendo ser diferentes mesmo para exemplares com mesma função e de um mesmo fabricante. Dessa forma, os circuitos sequenciais assíncronos têm sido evitados, sempre que possível, em favor do uso de circuitos sequenciais síncronos.

Os circuitos sequenciais síncronos utilizam um sinal denominado relógio (*clock*, em inglês), o qual tem a função de cadenciar uma eventual troca de estado. O tempo que decorre para o sinal repetir-se é denominado período e é representado por T. Por exemplo, o tempo entre duas bordas de subida sucessivas é igual a T. Da mesma forma, o tempo entre duas bordas de descida sucessivas é igual a T. Exemplos comuns de sistemas síncronos são as transmissões de dados. Quando é ao vivo, temos sistemas síncronos atuando com o envio e recebimento de dados; já quando acessamos uma transmissão gravada, temos sistemas assíncronos atuando, pois não temos, nesse caso, necessidade de sincronização no tempo.

ATIVIDADES (Circuitos combinacionais e sequenciais)

- 3) Os circuitos lógicos podem ser divididos em circuitos sequenciais e circuitos combinacionais. Os circuitos sequenciais também podem ser divididos em dois tipos, conforme o comportamento temporal dos seus sinais, que são:
- a) digital e analógico.
 - b) aberto e semiaberto.
 - c) síncrono e assíncrono.
 - d) temporal e atemporal.
 - e) completo e incompleto.

Controladores Lógicos, Linguagem de Programação e Comandos de Automação

Originado em 1968, o Controlador Lógico Programável (CLP) é derivado do nome do seu primeiro fabricante, Modular Digital Controller, com o nome de MODICON, idealizado e criado por Richard Morley. Sua ideia inicial era projetar um equipamento mais robusto, adaptável, confiável e de fácil manuseio e modificação (BEGA, 2006).

Os CLPs são componentes amplamente difundidos nos sistemas dinâmicos industriais. São dispositivos que permitem o comando de máquinas e equipamentos de maneira simples e flexível, de forma a possibilitar alterações rápidas no modo de operá-los, por meio de aplicação de programas dedicados e armazenados em memória EPROM (MAMEDE, 2017).

Os CLPs podem substituir, com grandes vantagens, os tradicionais comandos de máquinas e equipamentos industriais, tais como botoeiras, chaves comutadoras, contadores e relés. Existe, no mercado, uma grande diversidade de CLPs destinados a diferentes níveis de automação e controle, em conformidade com a complexidade de cada aplicação (FIALHO, 2014).

Os CLPs são constituídos por um gabinete contendo um determinado número de cartões, cada um desempenhando funções específicas, ou seja:

- **fontes de alimentação:** os CLPs podem ser alimentados em diferentes tipos de tensões (V), com corrente alternada ou em corrente contínua, dependendo do tipo de máquina ou equipamento industrial. Normalmente, apenas a unidade fundamental precisa de alimentação. É comum que os CLPs que variam de 110 a 220 V recebam alimentação por meio de um circuito de uma única fase (monofásico), respectivamente com os condutores de proteção, o neutro e a fase, ambos vinculados à terra do sinal eletrônico;
- **componentes de entrada e saída:** nos componentes de entrada e saída, temos cartões responsáveis pela interface entre os periféricos e o processador lógico. Na entrada, os circuitos tratam os sinais das fontes externas e enviam estes para a unidade de processamento. O componente de saída é descrito por amplificadores de chaveamento utilizados no controle dos periféricos, que costumam ser constituídos por bobinas, lâmpadas de sinalização, contadores etc., conforme exemplo a seguir.

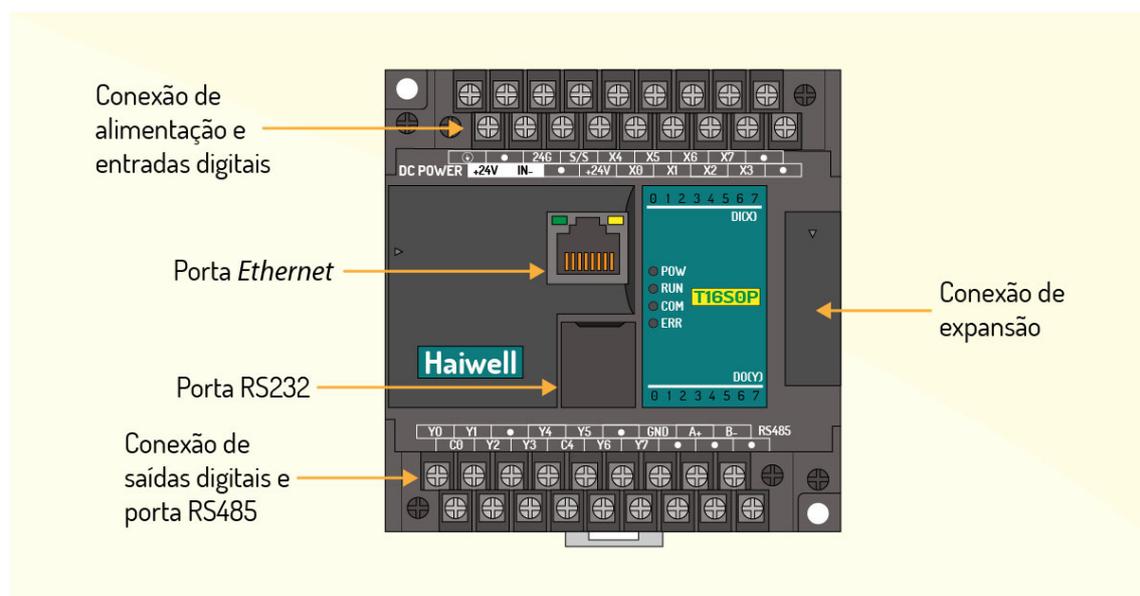


Figura 3.12 - Controlador lógico programável e suas entradas de componentes

Fonte: Elaborada pelo autor.

Cada CLP tem uma quantidade determinada de terminais de entrada e saída, que dependem da capacidade, conforme a função da máquina ou do próprio componente industrial. Cada terminal costuma, também, ter um LED, o qual é utilizado para o monitoramento do sinal lógico (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005). Os sinais de saída utilizados para a comutação de cargas indutivas são compostos de dispositivos, como diodos e varistores, que são protegidos por fusíveis.

- **Temporizadores e contadores:** os contadores e os temporizadores contêm circuitos dedicados por meio de *hardware*. A quantidade de temporizadores e de contadores pode mudar, conforme a capacidade dos cartões dos CLPs. Já nos temporizadores, temos ajustes de 1ms a 1.020s, que são realizados por meio de chaves binárias ou com potenciômetros. Os contadores realizam a contagem de eventos de 0 a 999, com ajustes de chaves com indicadores que variam de 0 a 9.
- **Memórias:** os CLPs possuem *cards* de memória que auxiliam nos processadores lógicos. Já os sistemas operacionais utilizam-nos para o armazenamento dedicado. Podemos ter dois tipos principais de memória: as memórias RAM e as memórias EPROM. Normalmente, as memórias classificam-se em diferentes tipos, por exemplo, a memória de trabalho, que é utilizada para o armazenamento de aplicações utilizadas pelo processador lógico, que costuma ser uma memória RAM, com velocidade e capacidade vinculada a CLP. Por sua vez, a memória de programa é utilizada para o armazenamento de programas em linguagem lógica, sendo, normalmente, memórias EPROM, com velocidade e capacidade vinculadas ao CLP. Quanto à memória de programa, que é utilizada para o armazenamento dos programas por meio de linguagem lógica, costuma ser EPROM, com velocidade e capacidade vinculada ao CLP. Em memória de sinal, que é utilizada para o sistema operacional e para o armazenamento de dados dos contadores, componentes e temporizadores, consuma-se ser uma memória RAM.

Os CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) são utilizados em vários tipos de aplicações industriais, sendo possível a sua utilização sozinha ou acoplada a outras unidades. Nos projetos em áreas muito extensas, como esteiras rolantes, utilizadas no transporte de minérios, com processos de carga e descarga de materiais, é fundamental a utilização de inúmeros CLPs acoplados, para sincronizar todo o processo de controle (NATALE, 2007).

Nesta situação, a arquitetura da automação é descentralizada e divide-se a responsabilidade com várias unidades de CLPs, que estão localizadas em vários pontos estratégicos.

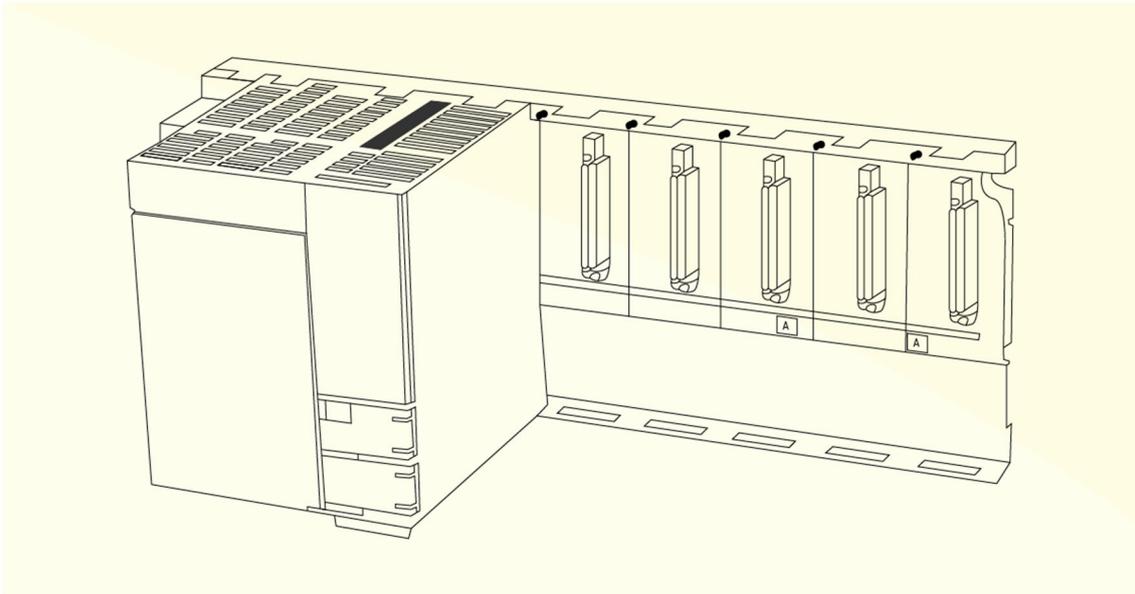


Figura 3.13 - Rack para acoplamento de vários CLPs dedicados

Fonte: Andrade e Silva (2018, *on-line*)

Ao intercâmbio de informações entre CLPs dá-se o nome de acoplamento, sendo que a hierarquia é gerenciada por *software* dedicados, em que os CLPs ficam dedicados.

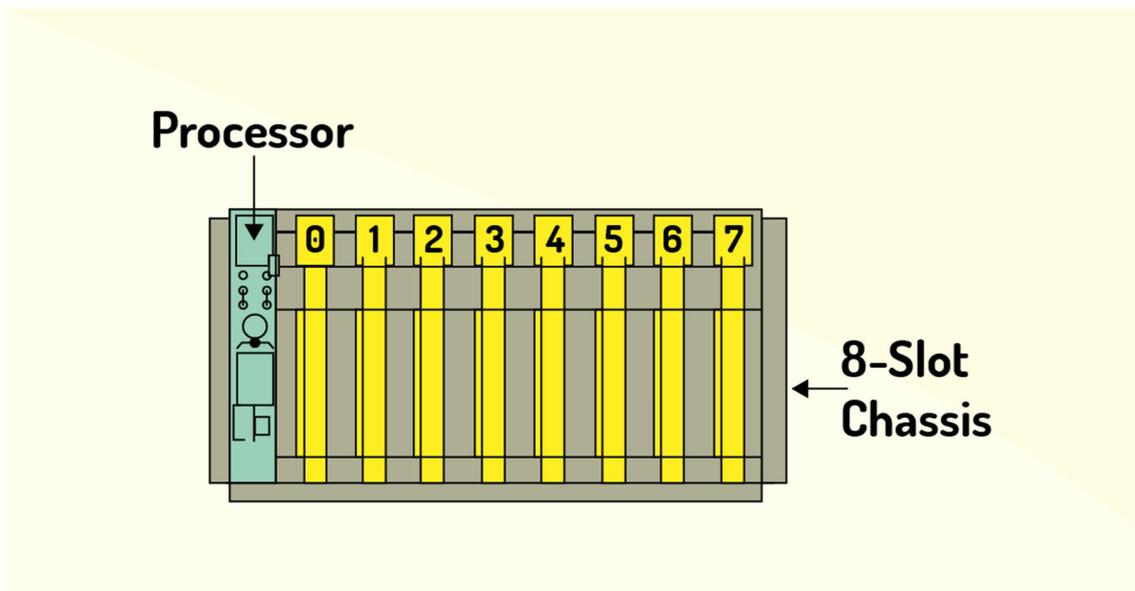


Figura 3.14 - Ilustração de vários slots em rack para acoplamento de CLPs dedicados

Fonte: Florence (*on-line*).

Dessa forma, caso um CLP de processo necessite realizar intercomunicação com outro CLP, a comunicação parará pelo CLP mestre. É possível, também, implementar configurações de acoplamento de CLPs, a depender da solução atribuída ao processo. Com as facilidades obtidas com o acoplamento, podemos utilizar estações remotas, com distância de cerca de 1.000 m, sem o emprego de um *modem* específico, lembrando que, com o emprego do *modem*, não temos limite de distância (CAPELLI, 2007). O acoplamento também permite a implementação de uma arquitetura de sistema funcional e distribuída. Na indústria, empregamos os CLPs para:

- microprocessamento: o microprocessamento é uma das funções dos CLPs e destina-se a executar operações aritméticas, armazenando e transmitindo informações. As operações aritméticas são processos de soma, subtração, multiplicação, divisão, totalização e comparação. O recurso de transmissão e armazenamento é comum dentro da automação de sistemas industriais;
- sinalização: a sinalização permite que o CLP realize o monitoramento de eventos. Com programas dedicados, a função de sinalização é vinculada a anunciar alarmes, o que permite a identificação de sequência de eventos;
- controle de malha: temos dois tipos de controle de malha na produção industrial: malha aberta e malha fechada, conforme podemos ver no fluxograma a seguir.

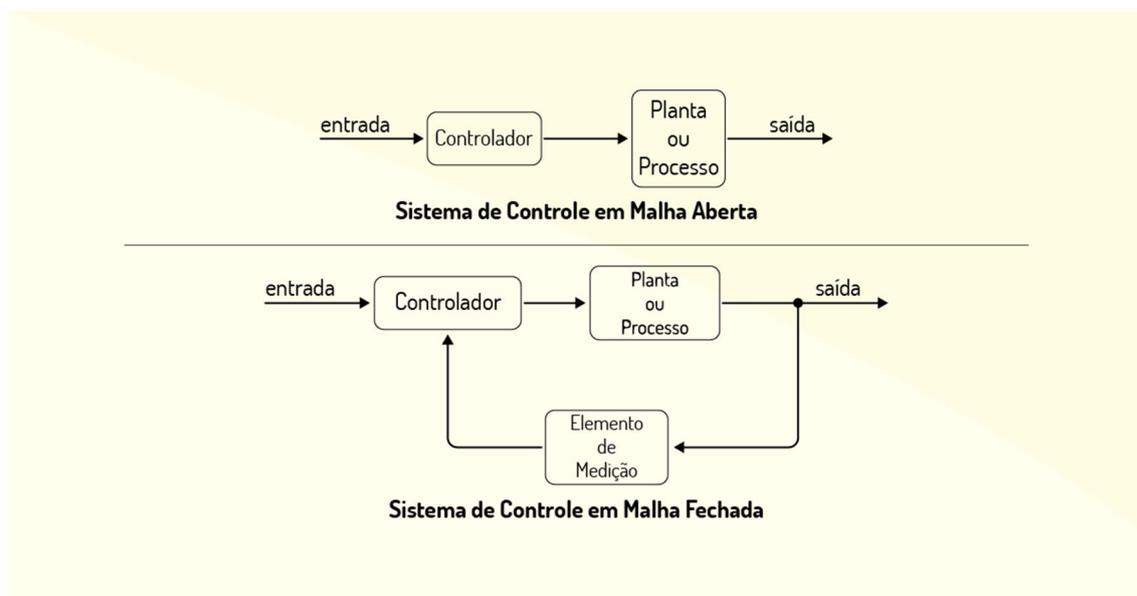


Figura 3.15 - Sistemas de controle em malha aberta e fechada

Fonte: Fundamentos... (on-line).

Temos o controle de malha aberta, que é utilizado nos processos de produção que não têm necessidade de comparar a variável controlada com os valores de referência pré-ajustados. Por exemplo, caso quiséssemos comparar a variável controlada com um outro valor de referência, nesse caso, a ideia é identificar um processo industrial de verificação automática de engarrafamento de bebida. A condição assumida é, então, engarrafada ou não engarrafada. Ou seja, temos uma variável digital: sim e não. A verificação de qualidade de enchimento da garrafa, ou seja, se a garrafa está 50% cheia ou 100% cheia, deve-se ocorrer em outra malha de produção. Já o controle de malha fechada é utilizado nos processos de produção. Nestes, a variável de controle é constantemente comparada a um valor de referência. No caso, temos uma correspondência biunívoca entre a variável controlada e o sistema de controle.

O controle da malha fechada implica na utilização de interfaces de sinais analógicos ou conversores analógicos/digitais e digitais/analógicos. Podemos, ainda, para melhorar a compreensão, dividir dois tipos básicos: controle de malha fechada em máquina operatriz e controle de malha fechada em processo.

No controle de malha fechada em máquinas operatrizes, utilizam-se dispositivos de alta sensibilidade para controle dimensional do produto, fazendo as correções necessárias, de forma a manter, dentro de uma faixa de precisão já definida, as dimensões do produto final. No controle de malha fechada, uma quantidade de sensores posicionados ao longo do processo retroalimenta o sistema de controle, com sinais analógicos transformados em variáveis controladas. Esses sinais são permanentemente comparados a um padrão de referência, gerando um sinal de desvio que atua sobre os dispositivos de controle do processo, reconduzindo as variáveis controladas aos valores predefinidos, estabelecendo-se, assim, um controle em malha fechada.

Trataremos, agora, sobre linguagem de programação e comandos de automação. Inicialmente, precisamos compreender o que é a linguagem de programação, que nada mais é que o emprego da lógica computacional sob uma determinada linguagem. Para que isso funcione e tenhamos comandos de automação, é necessária uma sequência de ações para alcançar um determinado objetivo.

Descrito o contexto, podemos conhecer os comandos de linguagem de programação que realizam a automação de tarefas por meio de instruções computacionais (MONTEIRO, 2007).

Comando de automação: decisão e repetição.

As estruturas de seleção ou decisão são empregadas para interferir na sequência lógica das instruções, conforme podemos verificar a seguir:

Se (Temperatura \geq 40.0) **Então**

Alerta = Ligado

Senão

Alerta = Desligado

Temos, também, além do “Se/Então”, a estrutura de decisão *case* ou múltipla escolha, em que são testadas condições de decisão:

Selecione (Número do elevador)

Caso 1: Andar = “Primeiro”

Caso 2: Andar = “Segundo”

Caso 3: Andar = “Terceiro”

Caso 4: Andar = “Quarto”

Caso 5: Andar = “Quinto”

Caso 6: Andar = “Sexto”

Caso Outro: Andar = “Nulo”

Fim Selecion

Temos, também, as estruturas de repetição, que são muito utilizadas para automatizar processos computacionais e industriais. Essas estruturas são utilizadas quando se deseja que um determinado conjunto de instruções ou comandos sejam executados mais de uma vez, conforme podemos ver a seguir.

Enquanto (Água $<$ 1.000) **Faça**

Tanque = Tanque + 1

Fim-Enquanto

No primeiro tipo de estrutura de repetição, realiza-se um teste antes de executar qualquer instrução dentro de seu bloco. Temos, também, a repetição com variáveis de controle *While Do*.

Para Pressão de 1 até 1000 **Faça**

reduzir (pressão)

Fim-Enquanto

Podemos ter outras estruturas mais complexas para automatizar cenários mais arrojados, como a recursividade. Entretanto, dentro dos cenários de automação comum, estas são as instruções de controles mais comuns. Destacam-se, também, as linguagens *Ladder* e *Grafcet*, como exemplos de linguagens específicas para a implementação de instruções em CLPs. A *Ladder* foi a primeira linguagem a ser desenvolvida para CLPs e é similar aos diagramas utilizados para lógica de relés, baseando-se em interruptores e bobinas, a fim de orquestrar circuitos lógicos. A seguir, temos um exemplo simples de acionamento de motor, em que um CLP acionando o motor, com um botão de partida, respectivamente, tem-se outra chave que, quando acionada, desliga o motor, com base na linguagem *Ladder*.

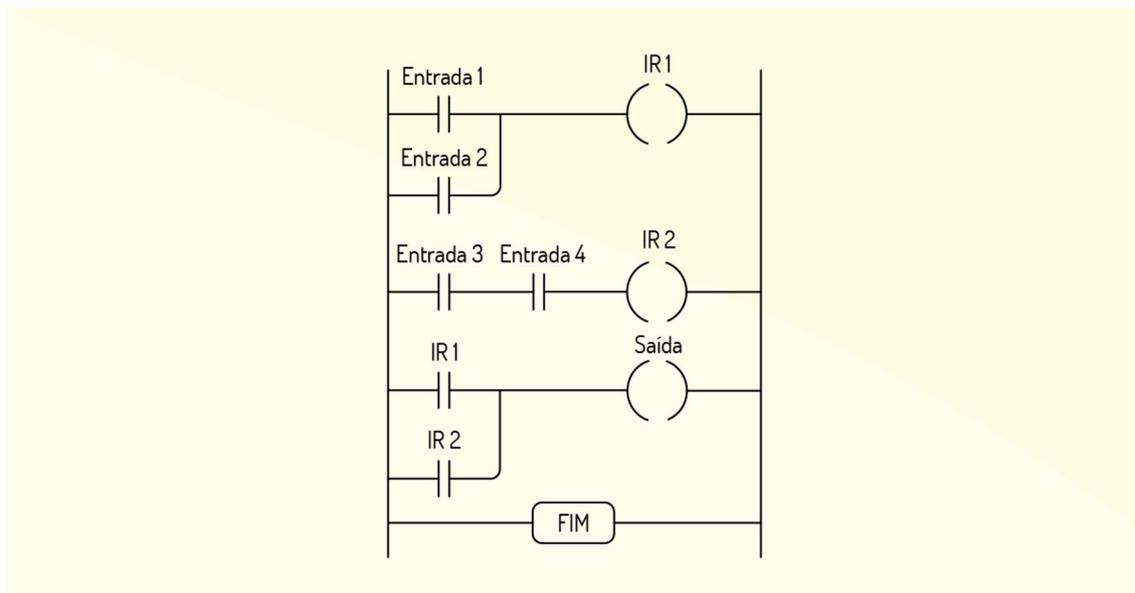


Figura 3.16 - Programação de motor com linguagem *Ladder*

Fonte: Silva Junior (*on-line*).

Já a linguagem *Grafcet* tem a mesma finalidade de trabalho com CLPs da linguagem *Ladder*, a fim de ilustrar circuitos lógicos. Todavia esta foi pensada para a criação de processos com várias etapas simultâneas, utilizando linguagens comuns de programação, sendo, então, uma linguagem de modelagem de sistemas sequenciais.

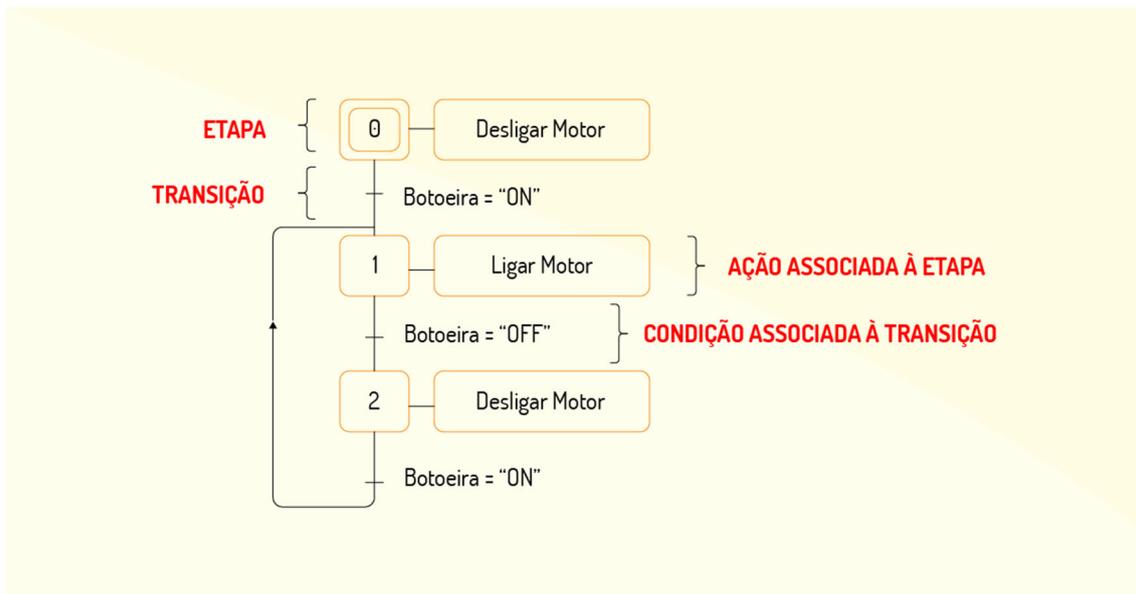


Figura 3.17 - Acionamento de motor modelado com *Grafcet*

Fonte: Casillo (*on-line*).

O *Grafcet* apresenta três estruturas: etapas (ações), transições (condições) e ligações orientadas (conexões entre etapas e transições). Se, por exemplo, quisermos acionar um motor e, respectivamente, desligar o motor, teremos a modelagem com *Grafcet*, exibida na Figura 3.17.

ATIVIDADES (Controladores lógicos, linguagem de programação e comandos de automação)

- 4) As estruturas de seleção são utilizadas para interferir na lógica sequencial que está sendo executada. Além destas, temos, também, as estruturas de repetição. Assim, assinale a alternativa que utiliza a sintaxe correta para automação.
- Enquanto, então.
 - Se, faça.
 - Selecione, caso.
 - Se, então.
 - Enquanto, faça.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Instalações elétricas industriais

Editora: LTC

Autor: J. Mamede Filho.

ISBN: 978-85-216-3372-3 1

Comentário: O livro é referência em todo o mundo sobre projetos industriais envolvendo instalações elétricas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. C. D.; SILVA, T. N. Estudo e viabilidade de implantação do Arduino em praças de pedágios. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, ano 03, v. 05, p. 59-90, out. 2018. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/arduino-em-pracas>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

BEGA, E. A. **Instrumentação industrial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

CAPELLI, A. **Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos**. São Paulo: Érica, 2007.

CASILLO, D. Automação e controle: aula 03 - Grafcet. **UFERSA**. Disponível em: <http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/166/arquivos/Automacao%20e%20Controle%202011_1/Aula%2003%20-%20Grafcet.pdf>. Acesso em: 23 out. 2019.

FIALHO, A. B. **Automação hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. São Paulo: Érica, 2014.

FLORENCE, H. M. CLPs: Interfaces de E/S. **Docplayer**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/75057260-Universidade-federal-do-rio-grande-do-norte-departamento-de-engenharia-de-computacao-e-automacao-clps-interfaces-de-e-s.html>>. Acesso em: 23 out. 2019.

FUNDAMENTOS de controle de processo. **USP**. Disponível em: <<http://www.dequi.eel.usp.br/~felix/Controle.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2019.

MAMEDE, J. F. **Instalações elétricas industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MONTEIRO, M. A. **Introdução à organização de computadores**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

NATALE, F. **Automação industrial**. São Paulo: Érica, 2007.

PIROPO, B. Computadores XI: Diagramas Lógicos. **Bpiropo**, 2005. Disponível em: <<https://www.bpiropo.com.br/fpc20051003.htm>>. Acesso em: 23 out. 2019.

REIS, M. Portas lógicas, Notas de estudo de Engenharia Elétrica. **Docsity**, 2010. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/portas-logicas-14/4797912/>>. Acesso em: 23 out. 2019.

SILVA JUNIOR, A. G. da. CLP - Linguagens de programação. **IFRN**. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/andouglassilva/disciplinas/clp/aula-2-programacao-ladder>>. Acesso em: 23 out. 2019.

TANENBAUM, A. S. **Organização estruturada de computadores**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais – fundamentos e aplicações**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2005.

UNIDADE IV

Controle e Supervisão de Processos Industriais

Luciane Janice Venturini da Silva

Introdução

Esta unidade de ensino está dividida em quatro tópicos correlacionados, que objetivam apresentar o controle e a supervisão de processos industriais, de uma forma que favoreça o entendimento e promova o conhecimento.

Para isso, iniciaremos os nossos estudos apresentando, a você, a integração de plantas de processos industriais e os sistemas supervisórios. Na sequência, abordaremos os subconjuntos IHMs e os sistemas SCADA, contemplando, por fim, nesta unidade, a robótica industrial e suas particularidades. Este material didático agregado às leituras complementares sugeridas ao longo dos textos nos fornecerão a base necessária para conhecer e compreender os aspectos gerais do controle de processos industriais.



Fonte: Andrew J.Kurbiko / Wikimedia Commons.

Integração de Plantas de Processos Industriais

Este tópico será dedicado à familiarização de alguns conceitos importantes, os quais contemplam a Automação Industrial, bem como o nível das máquinas dos dispositivos e componentes das plantas. Também serão descritos e exemplificados os conceitos básicos do controle dos processos industriais, gerando condições para que você diferencie e categorize os mais diversos processos na indústria.

Considerações Iniciais

Processos Industriais são identificados como procedimentos envolvendo processos químicos ou mecânicos que constituem parte da manufatura de um ou vários itens na fabricação em grande escala. Surgiram para a evolução e fortalecimento da qualidade, otimização de tempo, custo e outras variáveis. A expressão planta industrial, ou planta, expressa uma unidade industrial e é empregada no setor químico dentro de uma indústria, que gere algum composto químico característico. A utilização de controladores microprocessados e computadores ajustados ao controle automático salienta a necessidade do conhecimento prático, no que diz respeito ao comportamento do sistema controlado e aos métodos para atingir o desempenho desse sistema.

Podemos fragmentar a mudança contínua do trabalho humano para as máquinas automatizadas em três momentos históricos. O primeiro período, que aconteceu de maneira intensa em meados do século XVII, é conhecido como Revolução Industrial, podendo ser identificado pela criação das máquinas movidas por agentes naturais. O período posterior é marcado pelo emprego de fontes de energia, como o petróleo e a eletricidade. O desenvolvimento da robótica e da cibernética marcou a terceira revolução, utilizados nos mais diversos processos industriais (SANTOS, 2005).

Além de proporcionar uma melhor segurança operacional, a automação proporciona uma ascensão da eficiência do processo de produção industrial, um custo reduzido de energia e impede o desperdício de matérias-primas (CASSIOLATO, 2011). Dessa forma, a competitividade das empresas está embasada na qualidade dos produtos ou dos serviços possibilitados pelo mercado e requerem, continuamente, a avaliação de suas estratégias de ação, em termos de qualidade do produto (MARINO, 2006).

Os sistemas de controle e automação exercem papel fundamental na realização de processos industriais, transcorrendo em uma elevação na produtividade, decréscimo na incidência de erro humano, diminuição de desperdícios e, por consequência disso, maximização do

desenvolvimento econômico, o que causa uma competição no mercado, propiciando um avanço contínuo na produtividade das plantas industriais (CAMPOS, 2012). Os sistemas de controle digital utilizados na atualidade, em detrimento dos controladores eletromecânicos empregados no passado, são implementados via programação de dispositivos, assim, não são visualizados no mundo real. Porém as ações decorrentes da malha de controle provocam expressivos impactos no controle das operações geradas em processos industriais.

O conceito contemporâneo de automação possibilita incorporar a utilização de técnicas computadorizadas, as quais permitem o aumento de produtividade com baixo custo de energia; em outras palavras, o emprego de uma mão de obra em atividades de baixa geração de valor, desperdício, tempo, dentre outras (CAMPANA, 2011). Outro diferencial é que a estrutura de redes propagou-se para o ambiente industrial, possibilitando acessar os equipamentos de campo com os de TI (Tecnologia da Informação) nos seus mais variados setores, sendo imprescindíveis para a automação na atualidade (LUGLI, 2014).

Automação Industrial, Nível das Máquinas, dos Dispositivos e dos Componentes da Planta

É perceptível que, a todo momento, a sociedade está continuamente entrelaçada com sistemas automáticos, os quais fazem parte do nosso cotidiano e foram desenvolvidos para facilitar a vida. As transformações que ocorrem em função do advento da automação industrial e o conseqüente progresso da automatização das fábricas faz-se presente nos bancos e no comércio, otimizando o atendimento (VILELA; VIDAL, 2003).

Assim como discutido na unidade anterior desta disciplina, a automação de processos industriais utiliza, como controlador de seus sistemas, o CLP (Controlador Lógico Programável), com o objetivo de aumentar a qualidade do produto e diminuir custos com manutenção. Este é um computador dedicado ao modelo de aplicação, inicialmente com entradas e saídas inteiramente digitais, porém apresenta tratamento de variáveis analógicas e multivariáveis. Os CLPs empregados na automação de processos industriais dizem respeito a um computador industrial moderno, construído para realizar tarefas diversas, constantemente, de forma cíclica. Os CLPs foram pensados para resistir aos desafios da indústria. É um computador digital, cuja função é controlar as máquinas, sendo capaz de efetivar aplicações, como cálculos, contagem, temporização, comparação e processamento de sinais analógicos. No mercado, existem disponíveis, atualmente, uma variedade de marcas e modelos de CLPs.

Processo Industrial Contínuo

Conforme mencionado, os CLPs são bastante disseminados nas áreas de controle de processos, em que sua aplicação se dá nas indústrias, de forma contínua, como produtoras de líquidos, materiais gasosos e outros produtos.

Petrolíferas, químicas, petroquímicas, de papel e celulose, alimentícia, cimenteira, metalúrgica, de tratamento de água, geração e distribuição de energia elétrica, serviços de aquecimento e ar condicionado, bem como de limpeza contínua; estes são exemplos a serem citados como indústrias de processos contínuos (ALVES, 2005). Podemos citar empresas que trabalham com processos contínuos, tais como: Votorantin, Petrobras, Suzano, Ultrafertil, Sitrosuco, dentre outras.

Processos Discretos ou Manufaturas

Nos processos discretos ou manufaturas, como já discutido nas unidades anteriores, a produção é considerada em unidades produtivas, como a indústria automobilística e fábricas em geral. Empresas como Fiat, GM, Ford, Renault, Citroen, Metaltex e Bosch têm processos discretos.

Estudos de um Processo

Processos industriais são atividades ou operações utilizadas para transformar matéria-prima e convertê-las em diferentes classes de produtos. Consideraremos um processo simples, nesta unidade, como em um trocador de calor, mostrado na Figura 4.1.

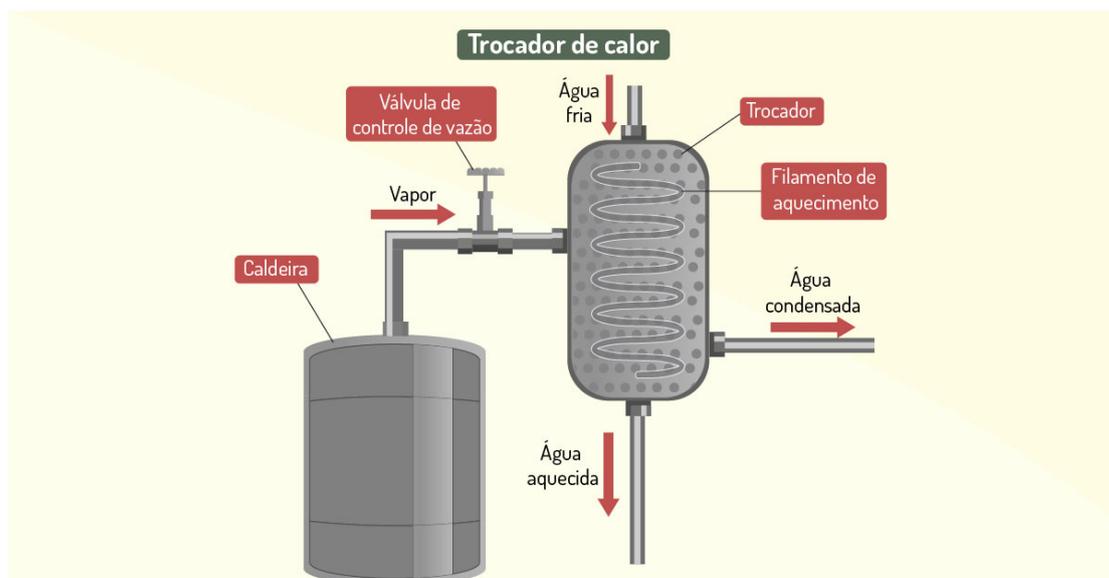


Figura 4.1 - Trocador de calor

Fonte: Gonçalves (2011, p. 16).

A atividade de acrescentar energia calorífica à água é um processo. Já o circuito, no qual o processo de aquecimento é realizado, é composto pelo vapor, reservatório, tubulações e válvulas. As principais variáveis do processo são a temperatura da água quente, e a vazão de vapor são as variáveis do processo (TEIXEIRA; FARIA, 2006).

Antes de falarmos sobre controle automático de processos, é importante lembrarmos alguns exemplos de processos industriais contínuos, como refinarias de petróleo, fábricas de refrigerantes, indústrias químicas, fabricação de cimento e processos industriais discretos, como células de manufatura.

Controle Automático de Processos (CAP)

A definição do termo Controle Automático de Processos foi determinada no momento em que os procedimentos de controle de automação tornaram-se aplicáveis, de forma mais eficiente e segura, à manufatura de produtos. A otimização e a qualificação dos processos de produção ocorridos nas últimas décadas são de responsabilidade do CAP, cujo exemplo podemos citar as indústrias petrolíferas e automotivas. O principal objetivo do CAP é o controle de uma variável dinâmica. Em nosso caso, podemos supor que a temperatura da água, na saída do trocador de calor, não varie, mantenha-se constante e com um valor bem determinado. O sistema mede a temperatura da água na saída e confronta com o valor desejado, enviando indicações para a válvula de controle de vazão, informando sobre abrir ou fechar e fornecendo quantidades de vapor, possibilitando, assim, o controle da temperatura próxima do almejado. As variáveis do processo indicam o valor desejado do produto. A variável controlada é a grandeza determinada e controlada. A variável manipulada é a grandeza modificada pelo controlador, alterando o valor da variável controlada. Normalmente, a saída do sistema é a variável controlada do sistema.

Por fim, resta-nos salientar a você, caro(a) aluno(a), que um dos grandes responsáveis pela evolução da indústria, nos últimos anos, é o termo Controle Automático de Processo, definido no momento em que os procedimentos de controle automático começaram a ser aplicados de forma eficaz e estável.

FIQUE POR DENTRO

A Revolução Industrial teve início de maneira pioneira, na Inglaterra, no século XVIII, sendo um período de grande desenvolvimento tecnológico, causando grandes transformações nas relações de trabalho e no sistema de produção. Esta transformação incluiu a transição de técnicas de produção artesanal para a produção por máquinas, a produção de produtos químicos inovadores, o uso contínuo de energia a vapor, o desenvolvimento das máquinas-ferramentas, além da substituição da madeira e de outros biocombustíveis pelo carvão. Para aprofundar seus estudos sobre a Revolução Industrial, convido você a assistir ao vídeo indicado no *link*: <https://www.youtube.com/watch?v=eVDwSkyLskg>. Acesso em: 22 nov. 2019.

REFLITA

Nas últimas décadas, a evolução tecnológica embasada na eletrônica e na computação dinamizaram a Automação Industrial, fazendo com que alcançasse o ápice de tecnologia estratégica em todos os sistemas de gestão, no que diz respeito aos processos industriais. O processo antigo, que se baseava no trabalho do homem, essencialmente, cedeu espaço para os sistemas automatizados, avançando graus de produtividade, qualidade e otimização altos elevados, determinantes para uma economia globalizada e de muita competitividade.

ATIVIDADES (Integração de Plantas em Processos Industriais)

1) Atualmente, é possível encontrar disponíveis, no mercado, uma diversidade de modelos e marcas de computadores industriais modernos - CLPs. Qual das seguintes normas, descritas a seguir, foi estabelecida pela comunidade industrial, com o objetivo de uniformizar os procedimentos de fabricação dos CLPs?

- a. ISO 10218, referente à Organização Internacional de Padronização.
- b. IEC-61131, referente à Comissão Eletrotécnica Internacional.
- c. IEC-61131, referente à Comissão Nacional de Eletrotécnica.
- d. IEC-61131, referente à Comissão de Robótica Internacional.
- e. ISO 10218, referente à Organização Nacional de Padronização.

Sistemas Supervisórios

Este tópico contempla uma breve introdução a respeito do conceito de supervisão e controle em ambientes industriais. Trataremos de algumas definições primordiais que envolvem os sistemas supervisórios, bem como os componentes físicos em um ambiente industrial.

Definição e Alguns Conceitos Fundamentais

Os sistemas supervisórios são essencialmente sistemas de supervisão, controle e aquisição de dados de uma ou mais máquinas que empregam um *software* para o monitoramento e gerenciamento de parte ou de um processo completo, seja ele industrial, de facilidades ou de infraestrutura (VIANNA, 2008). Como o nome sugere, os sistemas de supervisão e controle de dados não constituem um sistema de controle completo, focando-se no nível de supervisão (DANIELS; KUMAR, 1999). Assim, trata-se de um pacote constituído unicamente por *software*, posicionado acima do *hardware*, que está interligado por meio de interfaces. Esses “sistemas também são chamados de SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition – Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados*)” (VIANNA, 2008, p. 5).

O principal objetivo é permitir, por meio de uma interface de alto nível (uma IHM), que um operador administre e verifique determinados eventos de uma planta industrial, coletando informações dos dados referentes aos processos conectados ao sistema de supervisão em tempo real. A Figura 4.2 mostra uma tela de um sistema supervisório.

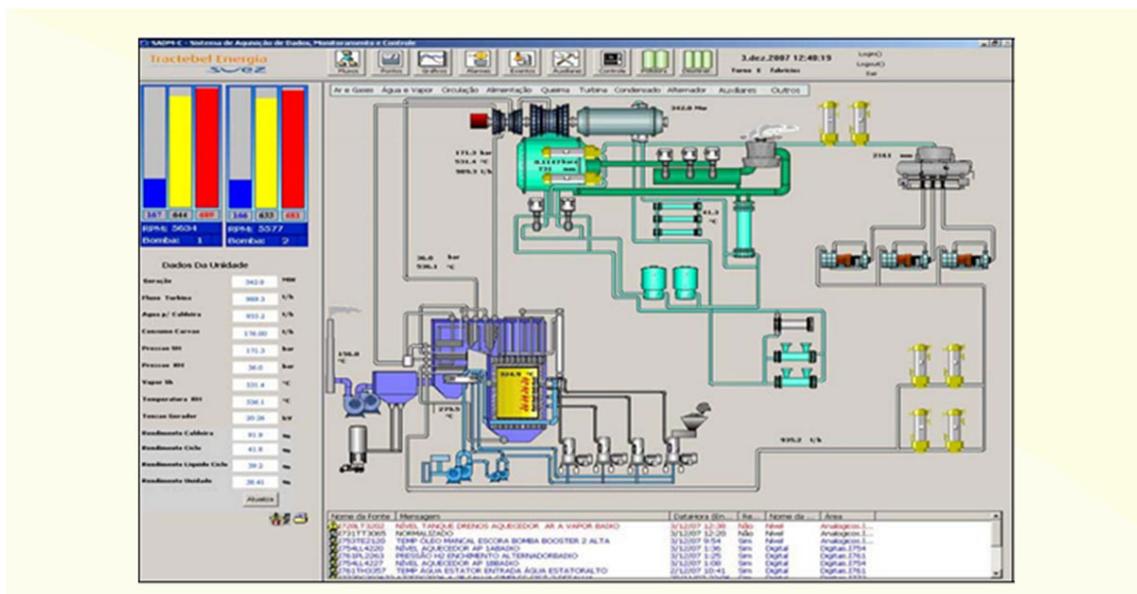


Figura 4.2 - Interface de um sistema supervisório (SCADA)

Fonte: Queiroz (2010, p. 22).

Os sistemas supervisórios deixaram de ser vistos como ferramentas meramente operacionais ou de engenharia, passando a serem vistos como fontes de informação essenciais, tornando-se de fundamental relevância na estrutura de gestão das empresas. Como você já percebeu, os sistemas de supervisão de processos industriais automatizados são responsáveis por executar três atividades básicas: supervisão, operação e controle (SAFI UDDIN *et al.*, 2000).

Todas as funções de monitoramento de processos, como relatórios em vídeo e impressora, gráficos de tendências de variáveis analógicas/digitais, dentre outras, contemplam a supervisão (DOUGLAS, 1988).

A operação supervisória no sistema SCADA tem o benefício de deslocar as funções da mesa de controle, otimizando os procedimentos de acionar/desligar equipamentos e/ou sequências de equipamentos e, ainda, alterar a forma de operação dos equipamentos de controle. No controle supervisório, o sistema de supervisão é responsável somente por ajustar os *set-points* do mecanismo de forma dinâmica, em concordância com o comportamento global do processo, já que os algoritmos de controle são executados em uma unidade de processamento autônomo (CLP) no controle supervisório.

O sistema SCADA será abordado mais especificamente no próximo tópico. Contudo, antecipamos que a execução das atividades fundamentais, em um sistema SCADA, são seguradas pelas seguintes características, que contemplam um sistema de supervisão (MARCUSE *et al.*, 1997), demonstradas a seguir.

1. Realizar a aquisição de dados do processo – procedimento que engloba a coleta e a transmissão de dados, desde as instalações das indústrias, ocasionalmente remotas, às estações centrais de monitoramento (RYSZARD *et al.*, 1999). O procedimento começa solicitando informações sobre os dados do processo. A solicitação do local ocorre quando a demanda de informações sobre o processo é realizada via computador do processo. Neste caso, os dados são utilizados no controle do processo pelo CLP. Caso a requisição de informações sobre o processo seja realizada por alguma estação da Rede Local de Supervisão, processa-se a solicitação remota. Os dados, neste caso, são transmitidos remotamente, via Rede de Campo, até a estação central, responsável por manter as informações em uma base de dados e deixá-las disponíveis por meio da Rede Local de Supervisão. Uma unidade de processamento autônomo, que pode ser um CLP ou uma Unidade de Transmissão Remota – RTU), na ocorrência de uma solicitação, realiza a leitura dos dados do processo por meio de dispositivos sensores.

2. Deixar os dados disponíveis visualmente – a visualização de dados compreende a apresentação de informações via interfaces ser humano-máquina, normalmente utilizando animações aptas a simular a evolução dos estados do processo controlado na indústria (SOUMITRA, 1996). Os dados lidos durante a aquisição são observados no sistema SCADA, que, paralelo a isso, fornece previsões e tendências do processo, embasado nos valores dos dados e valores parametrizados pelo operador, exibindo gráficos e relatórios referentes aos dados atuais e/ou existentes em histórico.

3. Processar eventos e acionar alarmes – um sistema de supervisão é capacitado para programar alarmes, com o objetivo de manter a segurança, a partir da ocorrência de algum evento distinto (QIZHI, 1998). Aos alarmes relativos às questões de segurança (pela gravidade), é designada a prioridade mais elevada. Os sistemas SCADA, fazendo uso de informações contidas no *login* de acesso ao sistema, detectam os operadores, de forma a filtrar e direcionar os alarmes, de acordo com sua área de competência. As informações referentes a todos os alarmes gerados são armazenadas em arquivos, pelo sistema SCADA, de forma que seja permitido um estudo posterior mais detalhado das circunstâncias que os gerou.

4. Admitir flexibilidade a falhas – para admitir níveis de tolerância aceitáveis a falhas, é comum a existência de informações excessivas na rede de comunicação e de máquinas utilizadas como fontes de sistemas de recuperação (*backup*) localizadas interna e externamente às instalações das indústrias.

Os sistemas de automação industrial utilizam, atualmente, tecnologias de computação e comunicação para tecnicizar a fiscalização e controle dos processos industriais, realizando coleta de dados em ambientes complexos, ocasionalmente afastados geograficamente, e a respectiva exposição para o operador, por meio de conteúdo multimídia e recursos gráficos elaborados (interfaces homem-máquina). Nesse sentido, a detecção de variáveis numéricas ou alfanuméricas inseridas na aplicação via *tags*, a designação dos pontos de entrada/saída de dados do processo que está sendo controlado, bem como o desempenho de funções computacionais (operações matemáticas, lógicas, com vetores ou *strings*, dentre outros) são funções que competem ao sistema SCADA.

Nesse caso, condizem com as variáveis do processo real (por exemplo: temperatura, nível, vazão etc.), comportando-se como a conexão entre o controlador e o sistema. Os dados reunidos são expostos ao usuário com base nos valores das *tags*.

A partir do momento em que a monitoração e o controle de um processo são feitos com o auxílio de um sistema supervisão, a velocidade do processamento das variáveis de campo aumenta e o processamento torna-se mais eficaz. A detecção e alterações nos *set-points*, no intuito de restabelecer a situação, são rapidamente providenciadas pelo sistema supervisão para qualquer evento inesperado. Ao operador, é elencada a incumbência de inspecionar o processo de controle da planta, minimizando interferências, exceto em situações que sejam necessárias tomadas de decisão de responsabilidade exclusivas do operador.

Uma forma teórica de classificar o grau de automação nos processos industriais é a pirâmide da automação industrial, composta de cinco níveis. Esta pirâmide proporciona uma compreensão mais simplificada de todos os níveis de comunicação em uma solução de automação industrial completa. Além disso, expõem todos os equipamentos, instrumentos de medição e controladores que constituem a pirâmide da automação industrial. A Figura 4.3 ilustra os níveis de automação, seguindo a especificação adotada.

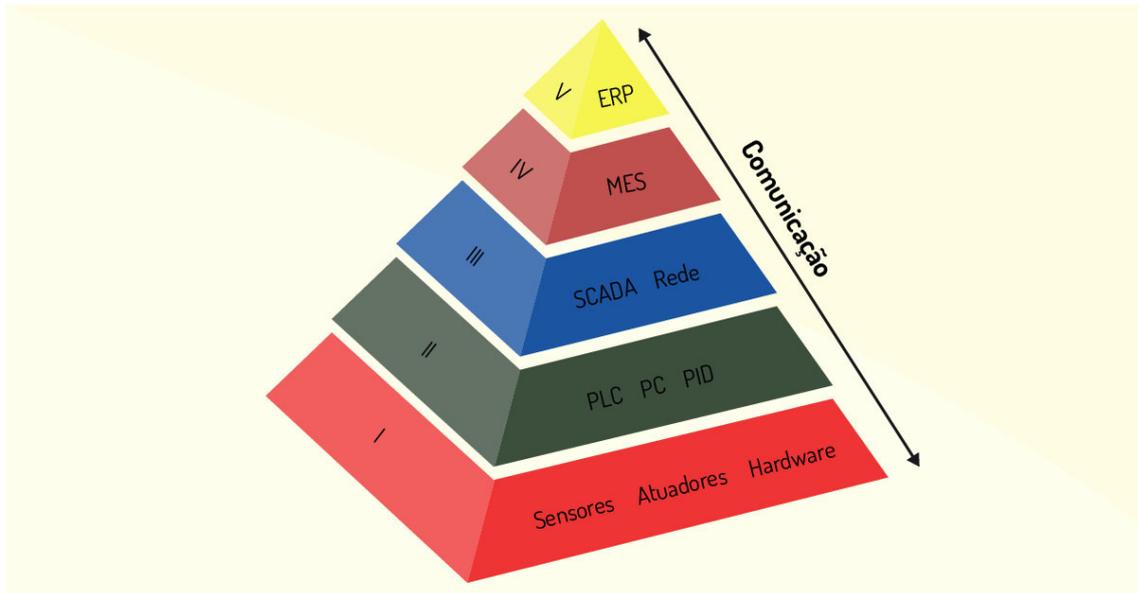


Figura 4.3 - Os cinco níveis de controle industrial

Fonte: Elaborada pela autora.

Os cinco níveis da pirâmide de automação estão descritos a seguir.

Nível 1 - Dispositivos de campo, instrumentos de medição e atuadores: também conhecido como "chão de fábrica" da automação industrial, simboliza o nível de aquisição de dados e controle manual. É composto por máquinas e dispositivos de campo com inteligência baixa.

Nível 2 - Controle de processo: também conhecido como o "cérebro da planta", comporta equipamentos com elevado nível de inteligência. A este nível, atribui-se a responsabilidade de monitorar, de forma automatizada, as atividades da planta, como CLPs (Controlador Lógico Programável), SDCD's (Sistema Digital de Controle Distribuído) e relés (chaves eletromecânicas). Assim, todos os controles de processos são realizados por este nível, fazendo uso de equipamentos sofisticados para otimizar as estratégias de controle.

O volume de informação trocada neste nível, dentre outros sistemas de controle, é muito maior do que no campo. Por este motivo disso, existem alguns protocolos diferenciados para aplicação neste nível, como *PROFIBUS DP*, *FOUNDATION Fieldbus HSE*, *EtherNet-IP*, *PROFINET* etc.

Nível 3 - Supervisão: é dedicado a soluções para realizar a supervisão do processo industrial, tendo, como foco, índices de produtividade, algoritmos de otimização e demais informações. A camada do Nível 3 comporta soluções como SCADA, IHM e Workstation. Para assegurar a operabilidade dos sistemas, utilizam-se OPC, OPC UA e Modbus como fontes de conversores ou protocolos, estabelecendo a conexão entre o sistema de controle e o sistema de supervisão.

Nível 4 - Gerenciamento da planta industrial: antecedendo o quarto nível, temos em mente que todo controle de processos está sendo realizado nos níveis anteriores, você concorda? Como já mencionado, os instrumentos de medição, controladores e sistemas de supervisão são encontrados nos primeiros níveis.

Para a consolidação dos dados coletados no Nível 3, ou seja, para realizar a gestão dos suprimentos, aqui, são utilizadas ferramentas como MÊS e PIM. Na produção, é fundamental o controle e gestão da matéria-prima, quantidade que deve ser produzida e demais recursos, ou seja, o Nível 4 é responsável pelo planejamento, controle e logística dos suprimentos.

Nível 5 - Gerenciamento corporativo: estamos no último nível da pirâmide da automação industrial. Aqui, deixamos a visão de produção, controle de processos etc. O famoso ERP é o nível de planejamento estratégico e gerenciamento corporativo, responsável pela área de vendas e gestão de recursos, contando com *software* para auxiliar na tomada de decisões.

A partir de agora, voltaremos para as estruturas funcionais que compõem um sistema supervisório.

Estruturação Funcional

Os componentes físicos de um sistema de supervisão em um ambiente industrial podem ser resumidos de forma simplificada, conforme apresentaremos a seguir, com base em Kritkritzell (2013).

Processo Físico: caracteriza-se como o elemento principal do sistema, atribui-se a ele a padronização de características elétricas, conexões, cabos e fios primordiais para a correlação entre instrumentos e equipamentos.

Hardware de Controle: é empregado na interface física com o processo e, normalmente, na administração deste.

Hardware de Supervisão: designado para a aquisição, tratamento e distribuição dos dados.

Rede de Comunicação: é responsável pela circulação das informações, normalmente envolvendo duas sub-redes, chamadas rede de campo e rede local de supervisão.

A aquisição dos dados do processo é de responsabilidade da rede de campo. As redes de campo normalmente fazem uso de uma arquitetura mestre/escravo, a fim de articular uma comunicação determinística. Nesta forma de rede, os controladores acatam somente as solicitações feitas pelo controlador mestre. Os controladores que exercem a função das estações escravas nunca iniciam a comunicação. Implantações mais simples de redes, como *modbus* e *profibus*, utilizam esta arquitetura.

Tornar disponíveis e compartilhar os dados do processo em uma LAN (Rede de Área Local) é de competência da rede local de supervisão (TANENBAUM, 1997). Os sistemas de supervisão fazem uso, neste caso, geralmente, de arquiteturas do tipo cliente/supervisor, a fim de conectar-se com informações do processo dispostos na rede de campo. Por meio da Figura 4.4, é possível observar a disposição física dos elementos de um sistema supervisório.

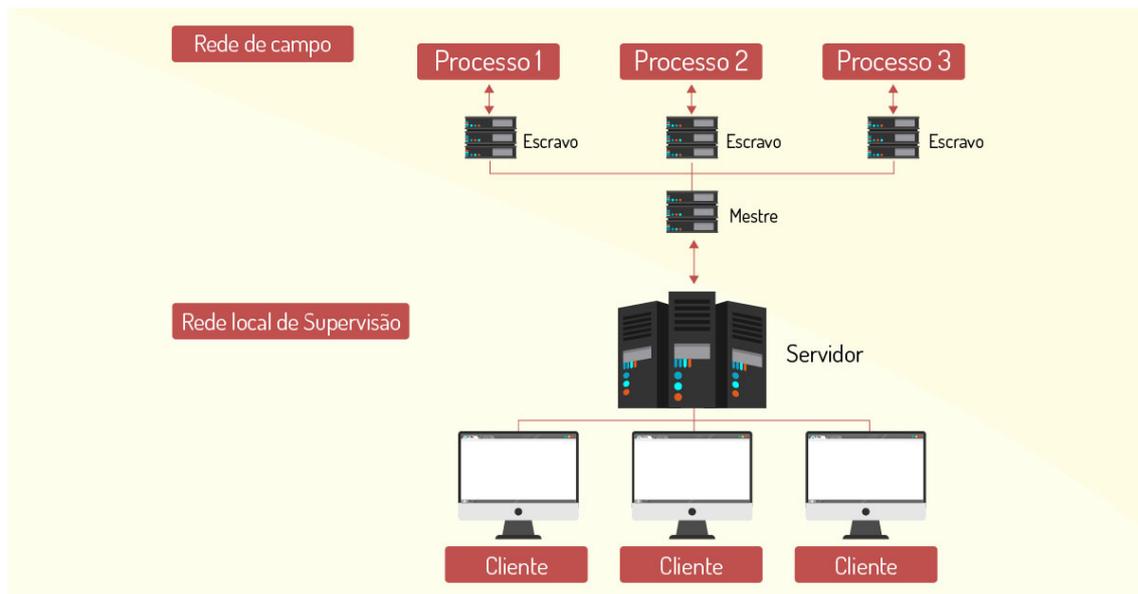


Figura 4.4 - Estruturação física de um sistema supervisório

Fonte: Souza (2005, p. 8).

Resta-nos enfatizar que os sistemas supervisórios são sistemas com capacidade de exercer controle sobre um dado sistema físico e verificar o seu desempenho de acordo com a ação pretendida.

FIQUE POR DENTRO

Atualmente, os sistemas SCADA modernos fazem uso de tecnologias de redes industriais, capturam informações em proporção digital, concedem a racionalização da utilização de recursos energéticos, possibilitam eficaz segurança operacional corporativa, gerência de alarmes e estações de controle central e remota. A estabilidade e conformidade de todos esses fatores é dependente de um atual e, ao mesmo tempo, conhecido elo de ligação, cujo papel indispensável em sua importância é representar a conexão na ascensão dos sistemas de supervisão. Tal competência é promovida exclusivamente pela Engenharia de Controle e Automação com suas interferências no controle dos processos industriais. O *link* a seguir é uma sugestão de *site* para a busca de livros que ajudarão você a enriquecer os seus estudos. Consulte: <<http://www.livrosgratis.com.br/busca/Automa%E7%E3o/1>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

REFLITA

A pirâmide de automação industrial consiste em um recurso que demonstra graficamente e hierarquicamente os cinco níveis de controle e trabalho existentes no setor industrial. Essa pirâmide torna possível a identificação de certos requisitos de infraestrutura, assim como o tipo e a consistência de informação contida em cada nível. De fato, a proposta da pirâmide de automação industrial é expor que a sua base compreende o máximo de itens e informações em comparação ao topo. Entretanto, à medida que a pirâmide evolui, as informações vão sendo trabalhadas e o fluxo de dados vai aumentando em qualidade, apesar de diminuir.

ATIVIDADES (Sistemas Supervisórios)

2) Os sistemas SCADA fornecem previsões e tendências do processo embasados nos valores dos dados e parametrizados pelo operador. Além disso, eles permitem, também:

- a. a leitura de dados processo.
- b. visualizar os dados lidos na fase de aquisição.
- c. a coleta e a transmissão dos dados.
- d. processar eventos e ativar alarmes.
- e. fazer aquisição de dados do processo.

IHM e SCADA

Apresentaremos, neste tópico, as principais características do *software* de supervisão do tipo SCADA; você ficará familiarizado(a) com os diferentes tipos de telas no ambiente supervisório do tipo SCADA.

Para isso, temos de ter em mente que, na indústria, há a necessidade de centralizar as informações, de maneira a possuímos o máximo de informação em um curto espaço de tempo possível. Assim, embora os painéis centralizados contemplem esta necessidade, a sala de controle, muitas vezes, tem grandes extensões com centenas ou milhares de instrumentos, deixando o trabalho do operador uma rotina exacerbada.

Como já mencionamos no tópico anterior, os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) são definidos como sistemas de supervisão e controle de processos industriais responsáveis por coletar os dados do processo por meio de remotas industriais, principalmente Controladores Lógicos Programáveis (CLP), pois formatam esses dados e os expõem ao operador, em uma multiplicidade de formas.

Em outras palavras, o sistema SCADA atua como uma interface entre o usuário e o sistema real, constituindo um componente básico de controle, uma IHM (*Interface Homem-Máquina*). São utilizados de forma ampla na indústria, com o objetivo de monitorar e controlar processos industriais, como usinas de cana-de-açúcar, petroquímicas, frigoríficos, mineradoras, centros de distribuição etc.

A meta fundamental dos sistemas SCADA é oportunizar uma interface de alto nível do operador com o processo, comunicando todos os eventos de importância da planta em tempo real, permitindo, ao operador, executar e controlar o processo, conforme ilustra a Figura 4.5.

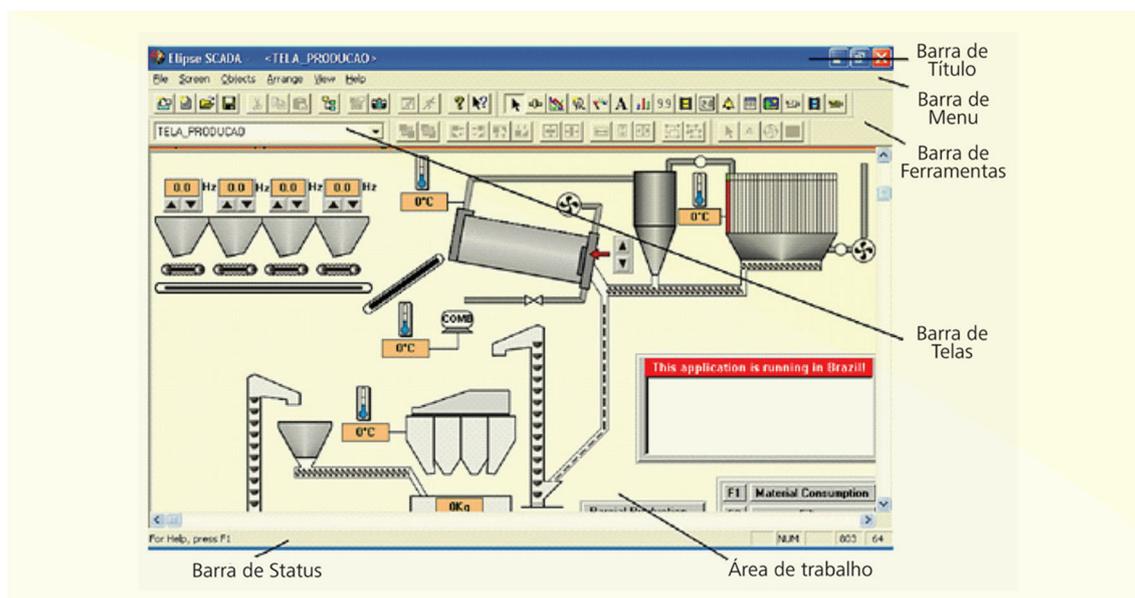


Figura 4.5 - Tela principal do SCADA, quando uma aplicação está aberta, no módulo configurador, especificando seus elementos

Fonte: Bayer (2011, p. 90).

Os sistemas SCADA contemplam funções fundamentais no monitoramento de problemas, como parada de máquinas por problemas mecânicos ou ausência de matéria-prima, tradicionalmente conhecidos por motivos de parada da produção. Vejam que a produção pode manifestar gargalos persuadidos por um processo vagaroso ou por máquinas que apresentam problemas frequentes (MARTINS, 2002).

Software de Supervisão SCADA

Em conformidade com a afirmação de Rosário (2005), um *software* supervisorio deve ser compreendido como um agregado de programas estabelecidos e configurados em um *software* básico de supervisão, em que as estratégias de controle e supervisão com telas de interface homem-máquina programam-se, expondo, ao operador, as etapas diversas de um processo, favorecendo o tratamento e a gerência dos dados do processo.

O *software* de supervisão torna possível a recepção das informações dos módulos de controle e aquisição de dados em campo, dividindo e coordenando o fluxo dessas informações para os demais módulos. Em outras palavras, uma boa comunicação com equipamentos de campo é fundamental para um bom funcionamento de um sistema de supervisão (SALVADOR; SILVA, 2005). Existem três atribuições básicas em um sistema SCADA que não podem deixar de estar presentes no *software*: supervisão, operação e controle (ALBUQUERQUE, 2007).

Localizado no nível de controle do processo das redes de comunicação, o *software* de supervisão conduz a aquisição de dados diretamente dos controladores lógicos programáveis – CLP para o computador, pela sua disposição e aplicação e gerenciamento dos dados. Esses dados obtidos devem ser armazenados em um banco de dados operacional, em formato simples ou de ponto flutuante, assim, ficam condicionados e convertidos em unidades apropriadas de engenharia.

A configuração peculiar de cada ponto, supervisionado ou controlado, admite, ao usuário, determinar limites para alarmes, condições e textos para cada estado diferente de um ponto, valores para conversão em unidade de engenharia etc.

O *software* deve admitir que estratégias de controle possam ser desenvolvidas utilizando-se de funções avançadas, por meio de módulos dedicados, por exemplo, para implementação de funções matemáticas.

Por meio desses módulos, poderá ser feito o controle das funções do processo no *software* aplicativo de supervisão. Os dados obtidos podem ser alterados, gerando valores para parâmetros de controle, como “*set-point's*”.

Os dados da estratégia são generalizados, interferindo sobre todo o banco, as senhas, a configuração de impressoras e os modelos de equipamentos conectados, são alguns exemplos. Os dados relativos aos pontos envolvem os “TAGs” (variáveis de entrada/saída – I/O), as descrições, os limites de alarme, a taxa de varredura etc., e são característicos. A Figura 4.6 ilustra uma tela típica de seleção de TAGs.



Figura 4.6 - Exemplo de atalho para seleção de TAGs: *AppBrowser*

Fonte: Bayer (2011, p. 91).

Quando o sistema estiver “*on-line*”, poderão ser feitas alterações. Depois de configurada a estratégia, o *software* básico permite a execução, o gerenciamento e a armazenagem do resultado de cálculos e operações efetuadas, além de todas as informações contidas neste banco de dados.

O controle e a supervisão de toda a planta são realizados pelos operários, possíveis por meio do conjunto de telas do *software* de supervisão. Essas telas são dispostas em estrutura hierárquica do tipo árvore, consentindo em um acesso sequencial e acelerado.

Telas de Supervisão

São telas que apresentam uma janela para acompanhamento de um processo, nas quais serão acrescentados todos os objetos que constituem a interface entre o operador e o sistema. O número de telas é indeterminado para cada aplicação. As telas são o ponto inicial para a construção da interface de sua aplicação. A utilização dos recursos acrescentados à aplicação e uma percepção minuciosa do processo supervisionado são asseguradas pelo desenho da tela. Uma breve descrição a respeito das principais telas que o aplicativo do tipo SCADA deve ter é feita a seguir.

Telas de visão geral

São telas que demonstram um campo de visão de mais de um processo ao operador, sob observação direta na operação da planta. Os dados mais relevantes da operação e objetos que representam o processo estão expostos nessas telas.

Os objetivos devem ser dotados de características dinâmicas, interpretando o estado de grupos de equipamentos e áreas dos processos apresentados.

Telas de Grupo

As telas de grupo também concedem, ao operador, ativar os equipamentos da área via comandos do tipo abrir/fechar ou ligar/desligar. Além disso, ao operador é permitido mudar os parâmetros de controle ou supervisão, como “*set-point's*”, limites de alarme, modos de controle etc.

Vale destacar que são telas características de cada processo ou unidade, expondo objetos e dados de uma área específica, de forma a associar funções estanques dos processos. Os objetos devem ser constituídos de efeitos dinâmicos, representando o estado e/ou condição dos equipamentos da área apresentada. Os dados expostos devem apresentar valores quantitativos dos parâmetros supervisionados ou monitorados.

Telas de Detalhe

Telas de detalhe examinam pontos e equipamentos individualmente controlados ou monitorados. Quando possível, são constituídas por objetos dinamicamente estruturados, retratando o estilo do equipamento. Em todos os parâmetros do ponto supervisionado, a alteração dos parâmetros do equipamento, limites e dados de configuração são possíveis por meio desta tela.

Telas de Malhas

As telas de malhas representam o estado das malhas de controle. Salientamos que todas as telas devem conter, em forma de gráfico de barras e em quantidades numéricas, os dados das variáveis controladas demonstradas, como “*set-point's*”, limites e condição dos alarmes, bem como valor atual e valor calculado etc.

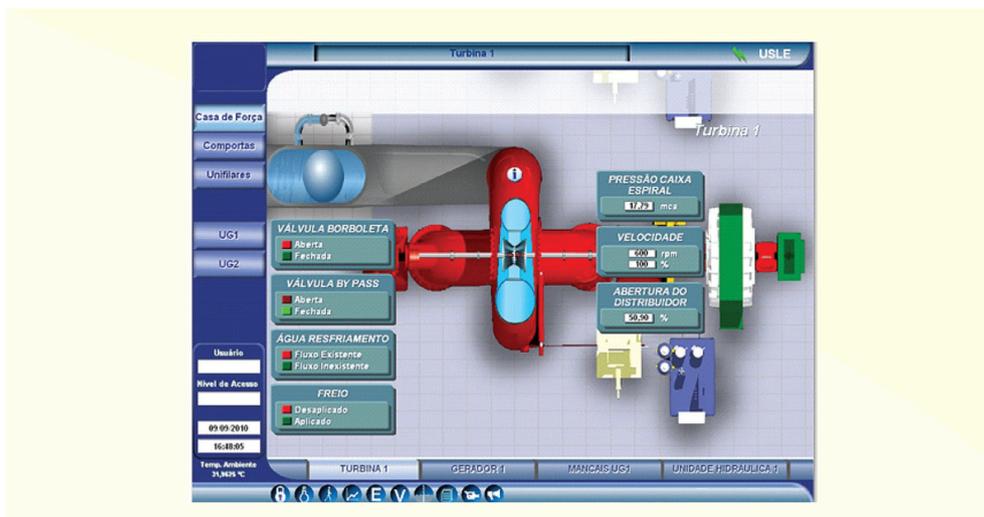


Figura 4.7 - Exemplo de uma tela de visão geral do processo

Fonte: Bayer (2011, p. 93).

Observe que a Figura 4.7 exemplifica o uso de telas de malhas.

Telas de tendência – histórica e real

Usualmente, são telas padrão do *software* básico de supervisão. Variáveis diversas, ao mesmo tempo, graficamente, são representadas por meio dessas telas, com grandezas numéricas obtidas em tempo real (*on-line*), na forma de tendência real, e na forma histórica, *off-line* – quantidades de arquivos pré-acomodados em disco.

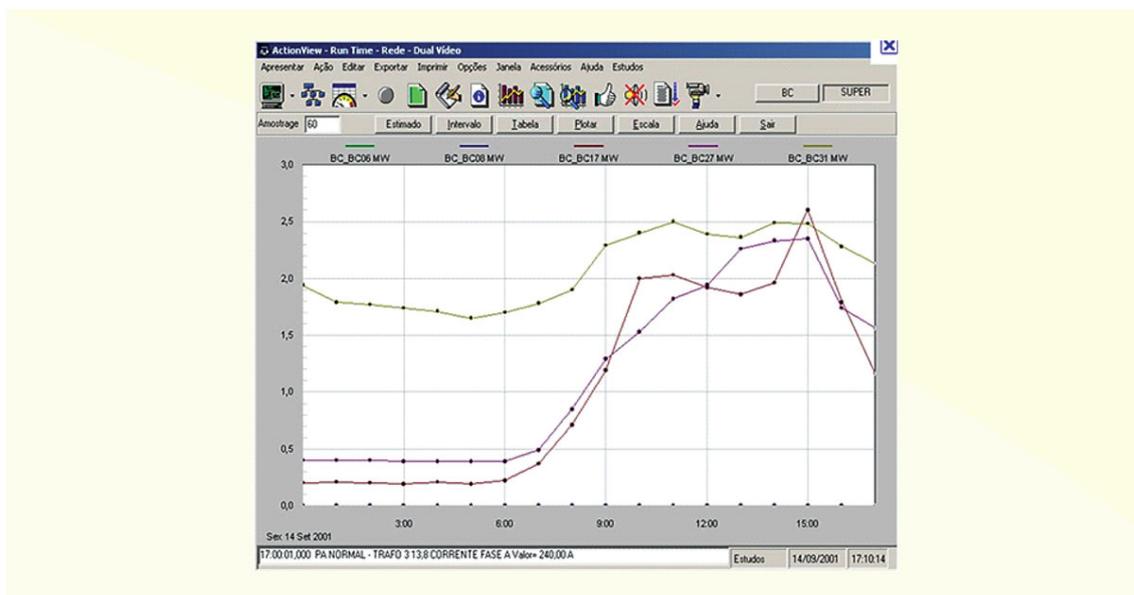


Figura 4.8 - Tela de tendência

Fonte: Bayer (2011, p. 94).

Vemos que a Figura 4.8 ilustra uma tela de tendência.

Telas de Manutenção

São aquelas que incluem informações de problemas (histórico de falhas, programa de manutenção dos equipamentos, incluindo corretiva e preventiva, bem como informações gerais dos equipamentos, incluindo comerciais, assistências ou técnicas), alarmes, defeitos e dados.

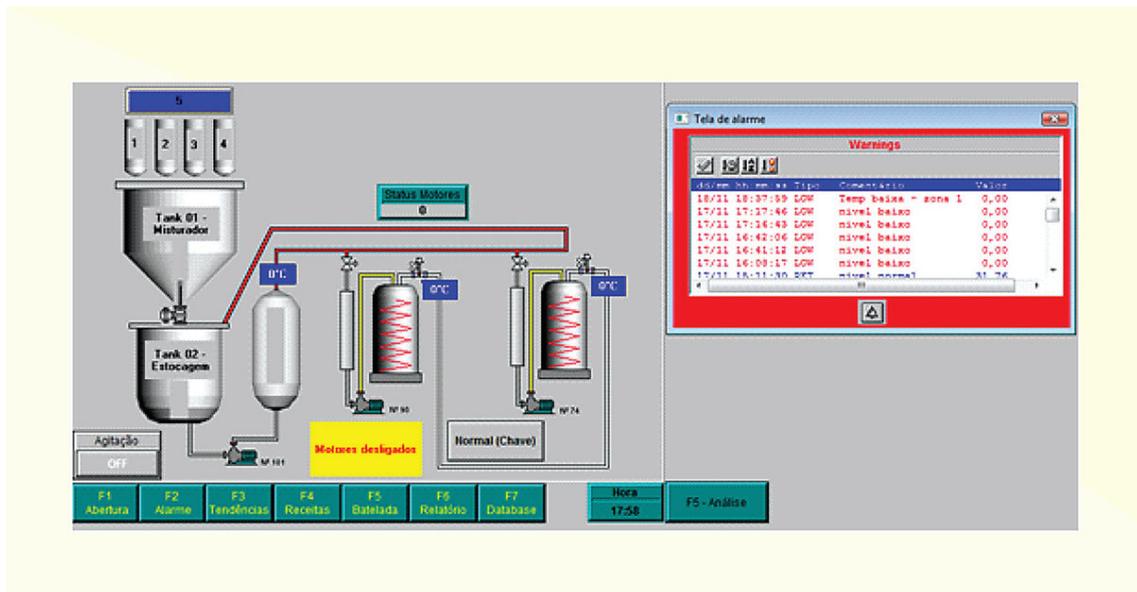


Figura 4.9 - Exemplo de tela de manutenção

Fonte: Bayer (2011, p. 95).

A Figura 4.9 retrata um exemplo de tela de controle de manutenção de uma turbina.

Histórico de falhas

Em arquivos no banco de dados do *software* de supervisão, fica mantido o documento de histórico de falhas por equipamento ou área, o que torna possível o tratamento dessas informações via telas orientadoras à manutenção ou pelos programas de usuário para estatísticas de utilização e defeitos.

Relatórios

O *software* básico de supervisão apresenta um módulo para desenvolvimento de relatórios. Ademais, concedem, ao operador, a seleção de quais variáveis deseja visualizar e são criados em formatos padrão para os relatórios do tipo históricos. Os dados podem ser expostos nas telas das estações com campos de identificação para “TAG”, data, hora e descrição do ponto.

É importante enfatizar que os dados históricos são unidos em arquivos, de forma que podem ser acompanhados pelos programas de relatórios, para que sejam trabalhados e apresentados à operação. Assim, os dados podem ser arquivados em meios magnéticos para futura aplicação.

Por fim, vimos, neste tópico, que o *software* de supervisão e controle, que constitui parte integrante do sistema SCADA, capta as informações dos controladores, centralizando todos os eventos ocorridos. Ademais, possibilita que um operador tenha acesso imediato ao que está ocorrendo em cada processo, o que autoriza a alteração dos parâmetros de controle, de acordo com a demanda. Além do mais, o *software* de supervisão e controle possibilita que todas as

informações sejam armazenadas, proporcionando, ao usuário, a observação de acontecimentos, com correção de desvios, otimização do processo e documentação, o que acarreta em uma qualidade mais sensata, mais segurança operacional e um custo operacional baixo.

FIQUE POR DENTRO

Supervisão móvel do Sistemas SCADA: ao levarmos todo o potencial de um sistema SCADA para uma arquitetura móvel (*Tablet* ou *Smartphone*), temos de ter em mente, que a habilidade computacional disponibilizada por estes dispositivos é incomparável ao disponível para a arquitetura PC. Assim, algumas funcionalidades não estarão disponíveis. Cabe ao desenvolvedor representar o que poderá ser necessário para o operador, não havendo um protótipo a ser guiado no instante em que se estabelece qual funcionalidade será demonstrada. Seus estudos podem ser aprofundados por meio do *link*: <http://www.azautom.com.br/engenharia/Livro%20KLS%20Controle%20e%20Automacao%20de%20Processos%20Industriais.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2019.

ATIVIDADES (Sistema Supervisório SCADA)

3) O principal objetivo dos sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) é propiciar uma interface de nível elevado entre operador-processo, informando, “em tempo real”, todos os eventos de importância da planta, permitindo, ao operador, atuar e monitorar o processo. Dessa forma, sobre os sistemas SCADA, analise as alternativas e assinale a afirmação condizente com o sistema supervisório SCADA.

- a. O sistema SCADA normalmente não é um sistema que controla o processo em tempo real.
- b. São os sistemas de supervisão e controle de processos industriais que coletam dados do processo, por meio de remotas industriais, principalmente Controladores Lógicos Programáveis (CLP), que formatam esses dados e os apresentam ao operador em uma multiplicidade de formas.
- c. Não é de competência dos sistemas SCADA a verificação de alarmes, ativação de som, mensagem, mudança de cores, envio de mensagens por *pager*, *e-mail*, celular etc.
- d. O sistema supervisório SCADA é uma tecnologia pouco utilizada para o gerenciamento e controle de unidades industriais, nas quais os elementos do processo encontram-se distribuídos ao longo de grandes distâncias.
- e. A desvantagem do sistema SCADA é que os dados não são armazenados automaticamente em uma forma, que pode ser retornada para análise mais tarde sem erro ou para um trabalho adicional.

Robótica Industrial

Neste tópico, abordaremos o surgimento da robótica industrial, realizando um breve contexto histórico. Também será apresentado o conceito de robô industrial e os conceitos fundamentais de robótica, associados aos sistemas robóticos. Conheceremos, também, os principais componentes de um sistema robótico e classificaremos os diferentes tipos de robôs.

Nosso objetivo é capacitá-lo a compreender o que é um sistema robótico, em termos de sua funcionalidade e estrutura, com o intuito de que este seja um recurso para aumentar a produtividade nas indústrias.

Breve Contexto Histórico

No início do século XX, com o objetivo de aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos, a produção de robôs começou a ganhar proporções cada vez maiores. A origem da palavra *robô* é atribuída ao escritor tcheco, Karel Capek (GROOVER, 2011), que empregou, em seus livros, a palavra *robot* (atividade forçada), dando origem à palavra *robot*, em inglês, e traduzida para o português como “robô”. A popularização deste termo foi feita pelo escritor Isaac Asimov, em seu livro “Eu, Robô”, de 1950, data que é registrada, pela primeira vez, a utilização do termo robótica, com o intuito de denominar a ciência que estuda os sistemas robóticos (BAYER, 2011).

Atualmente, a robótica percorre uma época de contínuo desenvolvimento, que favorecerá, em um reduzido espaço de tempo, o desenvolvimento de robôs inteligentes, em função dos inúmeros recursos que os sistemas de microcomputadores nos fornecem. Quatro leis simples foram estabelecidas para a robótica, pelo escritor americano de ficção científica Asimov (1969, p. 3):

1ª lei: Um robô não pode ferir um ser humano ou, deixá-lo vulnerável ao perigo, conservando-se permanecendo apático.

2ª lei: O robô, salvo se em contradição com a primeira lei, deve acatar às regras impostas pelos seres humanos.

3ª lei: Salvo a contradição com a primeira e a segunda lei, um robô deve preservar sua existência.

4ª lei: Um robô não pode ocasionar mal à humanidade nem admitir que ela própria o faça.

O surgimento de tecnologias que impulsionaram o advento do robô industrial moderno ocorreu entre as décadas de 1940 e 1950. Essas tecnologias foram o telecomando e o comando numérico.

O telecomando ou controle remoto consistia em monitorar um atuador a distância, via conexões elétricas. O desenvolvimento desses sistemas começou na década de 1940, com a meta de proceder o manuseio de materiais radioativos a distância, que são utilizados até os dias atuais.

O comando numérico foi outra tecnologia fundamental para o desenvolvimento da robótica. Este baseia-se em sistemas que podem ser programados por meio de um conjunto de comandos capazes de representar a posição de uma ferramenta no espaço, por exemplo. Uma combinação de telecomando e comando numérico formam a base do robô moderno.

A primeira patente de um dispositivo robótico foi criada por um britânico, Cyril W. Kenward, em 1954. O conceito de robô industrial moderno foi estabelecido por Joseph Engelberger, que, juntamente com o americano George C., criou o primeiro protótipo comercial, chamado *Unimate*. A primeira instalação industrial foi realizada pela Ford Motor Company, que fez uso de um modelo *Unimate* para efetuar o descarregamento robotizado de uma máquina de fundição sob pressão (BAYER, 2011).

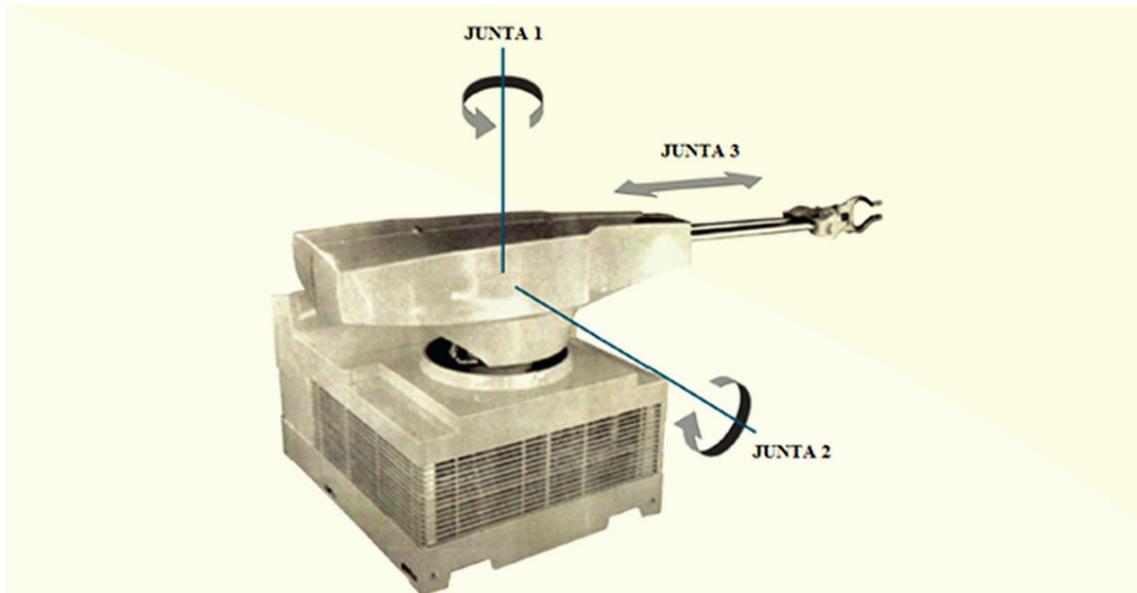


Figura 4.10 - O primeiro robô industrial UNIMATE

Fonte: Bayer (2011, p. 30).

A década de 70 foi marcada pelo surgimento de uma série de robôs manipuladores, dos quais destaca-se o PUMA, em 1978, um novo robô de 6 eixos, criado pela mesma empresa que projetou

o *Unimate*, o qual foi responsável pela propagação deste tipo de equipamento. PUMA são as iniciais de *Programmable Universal Machine for Assembly*; em outras palavras, máquina universal programável para montagem. Atualmente, existem muitos desses modelos em uso.



Figura 4.11 - Robô PUMA com seu controlador

Fonte: Bayer (2011, p. 30).

Um significativo crescimento na indústria da robótica, com o contínuo surgimento de novas empresas e robôs, foi registrado no início dos anos 80. Uma ampla aplicação de robôs na indústria de automóvel, bem como nas demais indústrias, foi registrada nesta década (PAZOS, 2002).

A partir da década de 90, os robôs deixam de ter caráter somente industrial, expandindo-se para outras aplicações. Esta amplificação deve-se, em especial, ao avanço tecnológico e à investigação no campo da robótica, sendo possível a cooperação de robôs com seres humanos em residências, locais de trabalho, prestação de serviços, entretenimento, educação, saúde etc.

É perceptível que o ramo de aplicação dos robôs passou por uma significativa expansão ao longo dos anos, sendo expectável que a utilização alastre-se a mais aplicações. A introdução de robôs em todos os campos de aplicação será provável em um futuro próximo, em decorrência da evolução verificada nos últimos anos.

Definição do Conceito de Robô Industrial

Como já descrevemos aqui, Isaac Asimov redigiu um protocolo de ética e conduta, que estabelece as leis de atuação de um robô. A oficialização da definição dada pela Associação das Indústrias de Robótica – AIR (conhecida, anteriormente, como *Robot Institute of America* – RIA) é a seguinte: robô é um manipulador reprogramável, multifuncional, projetado com o objetivo de movimentar peças, ferramentas ou dispositivos eletrônicos específicos, por meio de trajetórias variadas planejados para executar diversificadas tarefas.

A seguinte definição foi proposta pela Organização Internacional para Padronização (*International Standard Organization*) - ISO 10218: “robô é um manipulador reprogramável com graus de liberdade diversos com base fixada ou móvel, com habilidade para manipular materiais, peças, ferramentas, que permitam efetuar trabalhos variados partir de diversos deslocamentos” (RIASCOS, 2010, *on-line*).

Embora existam robôs com outras funcionalidades, pela determinação da norma ISO, está estabelecido que um robô deve ser um manipulador, ainda que tenha havido um constante progresso no conceito. Assim, é essencial compreendermos que a robótica é um ramo em contínuo progresso, bem como que sua definição avança paralelamente.

Considera-se que a definição atual de robô transpõe atividades orientadas para a autonomia, percepção de sensações, capacidade de planejamento e determinação de estratégias para interagir no mundo físico (SANTOS; GORGULHO JÚNIOR, 2015).

Fundamentos e Conceitos

A competitividade de um sistema de produção está diretamente entrelaçada aos requisitos de produtividade alta perante baixo custo, flexibilidade e particularidades. Se levarmos em conta que um Sistema de Produção é composto por Unidades de Produção - UPs, em que uma variedade de produtos pode ser manufaturada, desde a divisão de matéria-prima até a aquisição de um produto posterior, propriamente dito, é plausível atestar que estas UPs precisam de dispositivos com eficiência para desempenhar as seguintes tarefas:

- alimentação das UPs – dispositivos eficazes para conduzir tarefas de manipulação de itens, para a carga e descarga em cada UP;
- locomoção entre UPs – dispositivos capazes de suceder tarefas de transporte de itens entre UPs para a condução dos processos de produção, que formam os processos de fabricação de qualquer item a ser produzido;

- processamento – a própria UP pode desempenhar o papel de um robô, dependendo da atividade desempenhada na UP. Como exemplo, se for uma UP de montagem, pintura etc.

Os robôs são utilizados nas mais diversas situações na indústria:

Podemos dizer que a maioria das aplicações se encontra na indústria de manufatura e, neste contexto, vamos considerar que um Sistema de Produção (SPr) é um sistema de manufatura, que apresenta pessoas e equipamentos (dentre eles pode possuir robôs), que são recursos para a condução do processo de produção ligados aos processos de fabricação dos produtos originados nesses sistemas (GROOVER, 2011, p. 3).

Nesse sentido, quais são as principais atividades presentes em um SPr, para que você consiga desempenhar o seu processo de fabricação? Podemos dizer, de uma forma ampla, que existem quatro tipos de atividades, conforme apresentado no quadro a seguir.

- | |
|---|
| <p>a) Atividades de processamento: desempenham as funções de transformação do produto.</p> <p>b) Atividades de distribuição: executam as funções de manipulação e locomoção de produtos.</p> <p>c) Atividades de agrupamento e desagrupamento: realizam as funções de montagem (paletização) e desmontagem (despaletização) de itens.</p> <p>d) Atividades de inspeção: cumprem as funções de aferição e controle de qualidade.</p> <p>Devem ser analisadas, para cada tipo de atividade, a possível aplicação de sistemas robóticos. O método USA (Understand, Simplify, Automate) é apropriado para apresentar soluções de automação e melhorias, levando em conta a perspectiva do uso de robôs.</p> |
|---|

Quadro 4.1 - Tipos de atividades

Fonte: Adaptado de Groover (2011, p. 212).

Assim, podemos dizer, de uma forma ampla, que existem quatro tipos diferentes de atividades.

Principais Componentes De Um Sistema Robótico

Muito embora os conceitos fundamentais dos robôs industriais modernos encontram-se praticamente inalterados, há um avanço significativo dos seus sistemas de controle, principalmente como consequência do desenvolvimento dos sistemas computadorizados. Esta evolução impulsionou um grande salto na rapidez de trabalho e, em especial, na complexidade das tarefas efetuadas pelos robôs industriais.

Normalmente, a localização dos sistemas de controle dos robôs é externa à parte mecânica, em um gabinete metálico chamado controlador. Esse gabinete geralmente localiza-se a uma distância segura da área de trabalho, sendo conectado via cabos ao atuador. O sistema conta, ainda, com uma fonte de alimentação de alta potência, necessária para a ativação dos eixos (localizada no mesmo gabinete do controlador) e da interface de programação do robô. A Figura 4.12 ilustra o sistema estrutural de um robô industrial.

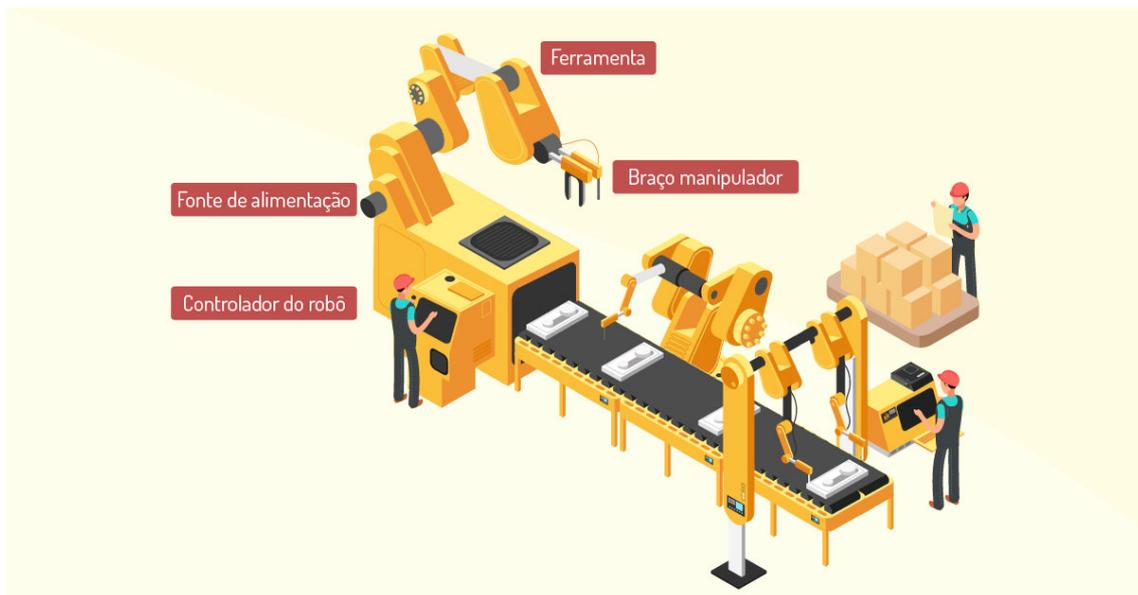


Figura 4.12 - Estrutura de um robô industrial

Fonte: Bayer (2011, p. 3).

Um dos elementos fundamentais do conjunto de um robô industrial é, sem dúvidas, o braço manipulador. O trabalho útil na linha de produção é de sua responsabilidade. Entretanto um robô industrial depende completamente de outro elemento: o controlador.

O controlador do robô industrial é composto por um sistema eletrônico responsável por todo o processamento de dados, gerando os comandos e alimentando os elementos do robô industrial. Este é constituído por um gabinete metálico internamente, no qual estão:

- **unidade lógica de comando** – grande parte dos robôs industriais da atualidade utiliza, como unidade de comando, um microcomputador PC. Esta unidade roda o programa de comando, que mantém os eixos controlados, processando os programas do usuário e supervisionando as interfaces de comunicação do robô;
- **interface de programação** – são responsáveis por proporcionar a comunicação entre o operador e o robô, permitindo acompanhar o trabalho, executando a programação e o diagnóstico de problemas;

- **interfaces lógicas** – os robôs apresentam, geralmente, uma placa de entrada/saída digital, que libera a sua inserção com outros elementos do sistema, como examinar a abertura e fechamentos dos efetadores (garras e ventosas pneumáticas);
- **sistema de potência** – os robôs são movimentados, geralmente, pelo uso de sensores elétricos. Estes elementos são controlados mediante circuitos eletrônicos de potência de chamados “*drivers* dos eixos”, os quais precisam de altas correntes de acionamento;
- **o transformador de alimentação** – gera a tensão essencial para alimentar todos os elementos.

Classificação dos Robôs

Os robôs industriais podem ser classificados, considerando seis tópicos de fundamental relevância (RIASCOS, 2010; SANTOS; GORGULHO JÚNIOR, 2015), que estão descritos na sequência.

1º. Em concordância com o sistema de controle – o sistema de controle terá um grau de autonomia necessário para comandar os diversos graus de liberdade que precisam ser controlados para efetuar uma determinada tarefa que lhe foi determinada.

2º. Em concordância com a mobilidade da base – existem robôs fixos ou móveis; os robôs móveis podem ser terrestres, aquáticos ou aéreos.

3º. Em concordância com a estrutura cinemática – são divididos em robôs de cadeia cinemática fechada (em que as diversas cadeias abertas são usadas de forma paralela, a fim de sustentar uma plataforma) ou aberta (em que os diversos elementos têm conexões com ligações, compondo a maioria dos manipuladores usados na indústria).

4º. Em concordância com os graus de liberdade – o número total de juntas do manipulador é denominado graus de liberdade. Um robô com grau seis de liberdade, ou seja, um manipulador tradicional, composto por 6 juntas, possui a capacidade de posicionar uma ferramenta com qualquer orientação e em qualquer local do espaço. As 3 primeiras juntas (coordenadas X, Y e Z) são de posicionamento do efetador inseridas no espaço de trabalho. As demais juntas são úteis para a obtenção de uma orientação do efetador ajustada, de forma a segurar o objeto. Robôs que possuem número inferior a 6 GdL são intitulados limitados.

Um robô pode ser categorizado de acordo com os pontos que pode atingir no espaço, conforme o espaço ou volume de trabalho. Isso é realizado levando em conta os três primeiros GdL; os demais são designados para controlar a orientação do efetador. Em detrimento desta categoria e em função da estrutura e aplicação de cada robô, podemos fazer a seguinte classificação.

- Cartesiano (PPP):** robô com alta precisão, controle simplificado, porém, em função das três ligações prismáticas perpendiculares, apresenta volume de trabalho restrito. É caracterizado por possuir três juntas prismáticas, ou seja, há três eixos lineares compondo um envelope de trabalho na forma de um cubo, como mostra a Figura 4.13. São utilizados, normalmente, em locais onde necessita-se de uma ampla área de trabalho, podendo acessar os componentes pela parte superior.

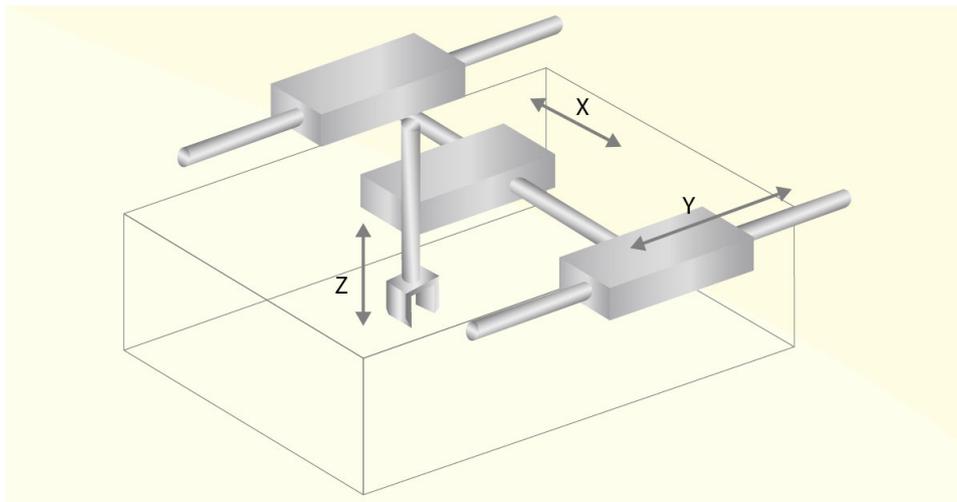


Figura 4.13 - Robô cartesiano

Fonte: Bayer (2011, p. 20).

- Cilíndrico (RPP):** apresenta média precisão, controle simplificado e seu volume de trabalho é mais alto que o do cartesiano, em função da junta rotacional.

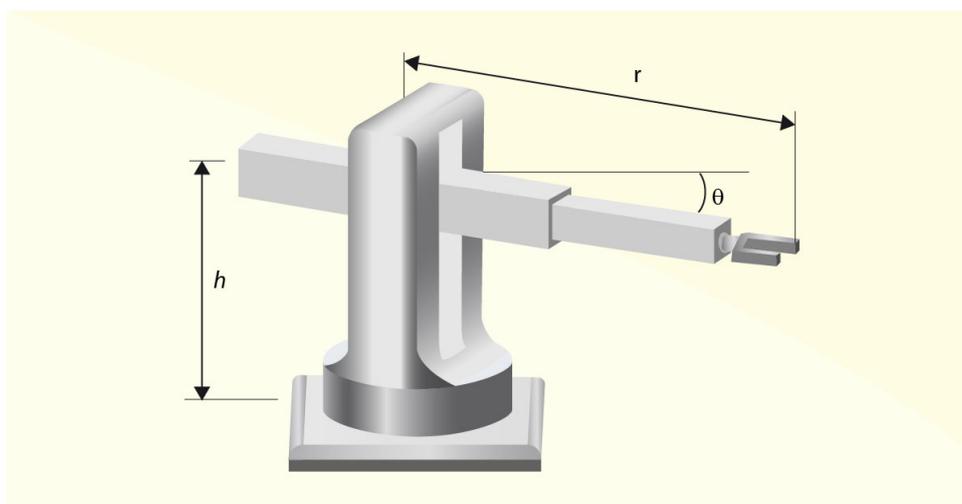


Figura 4.14 - Estrutura de um robô cilíndrico.

Fonte: Riascos (2010, *on-line*).

- **Esférico:** robô com seu volume de trabalho em formato esférico, mas com pouca precisão. Seu espaço de trabalho é relativamente grande, podendo-se até inclinar para pegar objetos do chão, mas com pouca precisão; apresenta um modelo cinemático complexo. Esta classificação quanto a anatomia do robô, pode ser visualizada na Figura 4.15.

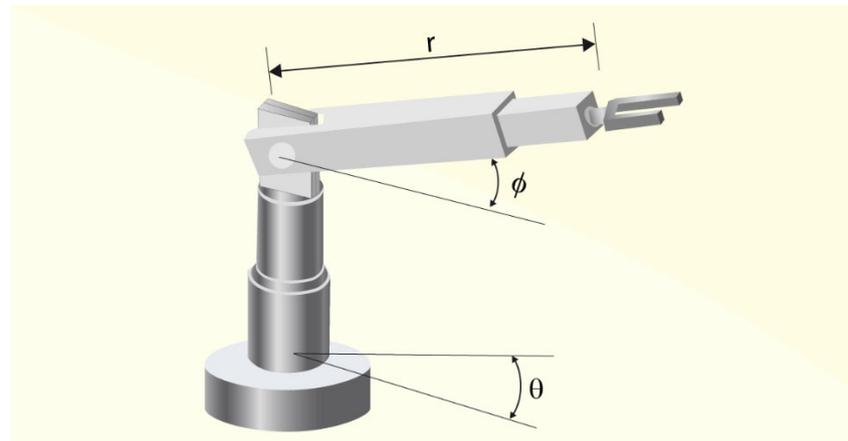


Figura 4.15 - Estrutura de um robô esférico

Fonte: Riascos (2010, *on-line*).

- **Articulado ou antropomórfico:** apresentam todas as juntas de revolução, como pode ser visualizado na Figura 4.16. Têm grande liberdade de deslocamento e apresentam um espaço de trabalho de forma complexa. Sua versatilidade, robustez mecânica, construção um tanto simples e fácil controle é o modelo mais utilizado na indústria, realizando tarefas como manipulação de componentes, solda, pintura e automação de linhas de fabricação.

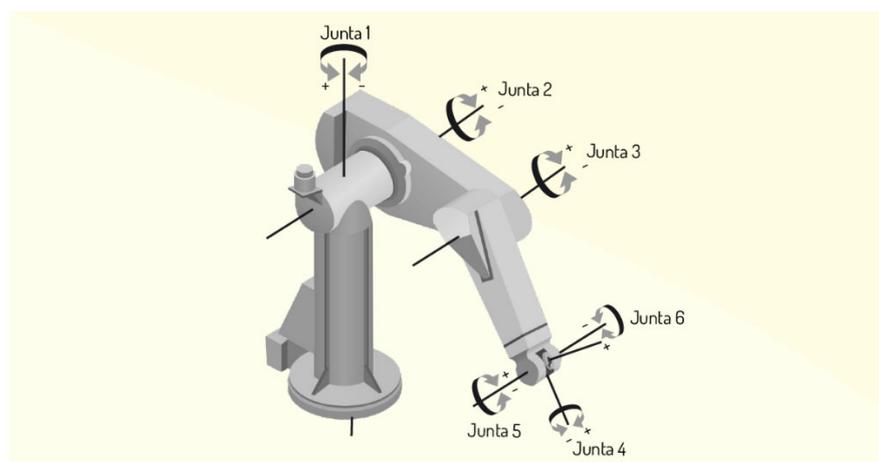


Figura 4.16 - Robô industrial articulado com 6 graus de liberdade

Fonte: Bayer (2011, p. 40).

- **SCARA:** apresenta alta precisão, alta velocidade e é muito utilizado em operações de montagem de pequenas peças. É uma configuração particular, geralmente utilizada para as atividades de montagem com apenas 4 graus de liberdade. Nesse tipo de robô, como pode ser visto na Figura 4.17, os 3 primeiros eixos são de revolução, e o quarto eixo é prismático, todos posicionados na vertical. Esta configuração permite, ao robô, uma grande precisão de posicionamento, tornando-o, ainda, bastante simples e, por consequência, barato. Ademais, é bastante utilizado na indústria eletrônica para a confecção automática de componentes em placas de circuito impresso.



Figura 4.17 - Robô SCARA

Fonte: Bayer (2011, p. 42).

Em concordância com o espaço de trabalho categorizado, de acordo com a configuração das juntas que compõem o seu sistema de articulação. As juntas de um robô podem ser classificadas em dois tipos:

- revolução – juntas rotativas, com movimentos angulares;
- prismáticas – ocorre um movimento linear entre os elos.

Por certo, todas as juntas de um robô manipulador podem constituir a cadeia cinemática, com combinação qualquer de juntas de revolução e prismáticas, de acordo com a aplicação projetada, não havendo a necessidade de todas as juntas de um robô manipulador serem de um mesmo tipo.

Em concordância com o tipo de acionamento, geralmente, são utilizados servos-sistemas que podem ser motores elétricos, pneumáticos e hidráulicos. Antecedendo o final deste tópico, façamos um apanhado geral do que tratamos até aqui.

O termo robô foi utilizado, inicialmente, com a finalidade de representar um dispositivo mecânico, projetado para cumprir um determinado conjunto de afazeres, auxiliando o ser humano.

A partir disso, o campo da robótica vem evoluindo constantemente, fomentado, em especial, pelo fortalecimento da informática, que maximizou a rapidez e expandiu o número de atividades realizadas pelos robôs. Os robôs são largamente utilizados, hoje em dia, em substituição do trabalho humano, em especial em ambientes onde há trabalhos recorrentes, insalubres ou de risco.

Esses dispositivos caracterizam-se pela intensa flexibilidade funcional e operacional, além de serem amplamente utilizados na substituição do trabalho humano, aplicados em uma variedade de situações na indústria atual.

FIQUE POR DENTRO

Ao longo dos últimos anos, o número de robôs industriais instalados vem crescendo progressivamente, em destaque nas regiões industriais do mundo, como Japão e Estados Unidos (CRAIG, 2012). O custo dos robôs diminuiu, no decorrer da década de 1990, ao passo que a mão de obra humana aumentou. Os robôs estão, também, constantemente mais habilidosos, ágeis, rápidos, adaptáveis e integrantes. Estes são alguns dos motivos pelos quais o uso de robôs industriais vem aumentando consideravelmente. Para você aprofundar o seu estudo, seguem, a seguir, algumas páginas da internet que tratam de robótica industrial: <<http://pal-robotics.com/collaborative-projects/enrichme/>>. Acesso em: 7 out. 2019. <<https://www.rethinkrobotics.com/>>. Acesso em: 7 out. 2019. <<https://www.robotics.org/>>. Acesso em: 7 out. 2019. <https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_robot>. Acesso em: 7 out. 2019.

FIQUE POR DENTRO

Isaac Asimov (1920-1992) foi um dos autores mais populares e representativos não somente da Ficção Científica do século XX mas também de obras científicas, publicando mais de 500 livros e contos ao longo de sua carreira, incluindo, dentre eles: "Eu, Robô" e "Manual de Robótica". Suas obras incentivaram diversos escritores e futuros cientistas, alimentando o imaginário popular sobre Ciência e Tecnologia.

O seu primeiro livro da série Robô, intitulado “Eu, Robô”, foi publicado em 1950 e tornou-se um clássico da ficção científica, em que o autor narra o desenvolvimento progressivo dos robôs, ao longo do seu início na fase natural, por volta do século XX, até a fase de perfeição completa, na qual a sociedade torna-se conduzida e governada por robôs em seu próprio interesse. Estão incluídas, nesta obra, as três leis fundamentais da robótica formuladas por ele.

Acesse os *links* a seguir e saiba mais sobre este assunto, que é muito interessante:

<<https://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2008/12/26/42780-cientista-propoe-criacao-de-codigo-de-etica-para-robos.html>>. Acesso em: 7 out. 2019.

<<https://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2008/12/26/42780-cientista-propoe-criacao-de-codigo-de-etica-para-robos.html>>. Acesso em: 7 out. 2019.

ATIVIDADES (Robótica Industrial)

4) Podemos nomear os robôs industriais considerando alguns aspectos fundamentais, como graus de liberdade, mobilidade da base, estrutura cinemática, sistema de controle, espaço de trabalho e forma de acionamento. No que diz respeito à classificação do espaço de trabalho de um robô industrial cartesiano, assinale a alternativa correta.

- a. O robô cartesiano apresenta duas juntas prismáticas e uma rotacional.
- b. O robô cartesiano apresenta três juntas prismáticas e uma rotacional.
- c. O robô cartesiano apresenta três juntas prismáticas.
- d. O robô cartesiano apresenta duas juntas rotacionais e uma prismática.
- e. O robô cartesiano apresenta três ligações rotacionais.

INDICAÇÕES DE LEITURA

Nome do livro: Robótica industrial: fundamentos, tecnologias, programação e simulação

Editora: Érica; Saraiva

ISBN: 9788536512044

Autor: SANTOS, W. E.; GORGULHO JÚNIOR, J. H. C

Comentário: O livro, inicialmente, faz uma apresentação breve da nomenclatura técnica relativa aos robôs industriais, bem como dos aspectos históricos e conceituais, introduzindo os princípios e fundamentos tecnológicos da área. Por meio de motores elétricos, aborda o sistema de servoacionamento e expõe modelos matemáticos, tratando da programação de robôs, incluindo um estudo de caso de equacionamento cinemático do robô SCARA. Finaliza explorando a utilização de um *software*, com o qual é possível a prática de técnicas de programação via comandos da linguagem AML.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. U. B.; ALEXANDRIA A. R. **Redes Industriais**. Ceará: Livro Técnico, 2007.
- ALVES, J. L. L. **Instrumentação, controle e automação de processos**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- ASIMOV, I. **Eu, Robô**. Tradução de Luiz Horácio da Matta. 1969.
- BAYER, F. M. **Automação de sistemas**. 4. ed. Santa Maria, 2011.
- CAMPANA, G. A.; OPLUSTIL, C. P. Conceitos de automação na medicina laboratorial: revisão de literatura. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, v. 47, n. 2, p. 119-127, 2011.
- CAMPOS, M. C. M. M. de.; TEIXEIRA, H. C. G. **Controles Típicos de equipamentos e processos industriais**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2012.
- CASSIOLATO, C. **Redes Industriais**. Smar, 2011. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/redes-industriais>>. Acesso em: 25 nov. 2019.
- CRAIG, J. J. **Robótica**. 3. ed. São Paulo: Editora Pearson Education do Brasil, 2012.
- DANIELS, M. W., KUMAR, P. R. Racing with the sun: the optimal use the solar powered automobile, **IEEE Control Systems**, v. 19, n. 3, p. 12-22, 1999.
- DOUGLAS, L. C. How customer need focused the development of a new remote terminal unit line. **IEE Computer Applications in Power**, v. 1, n. 1, p. 9 - 11, jan. 1988.
- FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. de. **Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos**. 2. ed. Tatuapé: Érica, 2014.
- GONÇALVES, M. A. F. **Processos Industriais**. 3. ed. Santa Maria, 2011.
- GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2011.
- KRITKRITZEL, P. **Desenvolvimento de um sistema supervisório e lógicas de CLP no ambiente de Geração de Energia**. 2013. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.
- LUGLI, A. B.; SANTOS, M. M. D. **Redes industriais: características, padrões e aplicações**. São Paulo: Saraiva, 2014.

- MARCUSE, J. *et al.* Servers in SCADA applications. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 33, n. 5, p. 1295-1299, out. 1997.
- MARINO, L. H. F. de C. Gestão da qualidade e gestão do conhecimento: fatores-chave para produtividade e competitividade empresarial. *In*: Simpósio de Engenharia de Produção, 13., 2006, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2006.
- MARTINS, V. Proposta de uma Ferramenta de Integração entre Sistema ERP-SCADA. *In*: Encontro Nacional de Engenharia de produção, 22., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2002.
- PAZOS, F. **Automação de sistemas & robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002.
- QIZHI, C. Optimization of a SCADA system based on client/server mode. **International Conference on Powercon' 98**, v. 2, p. 18-21, ago. 1998.
- QUEIROZ, R. J. N. **Implantação de um centro de operação em tempo real de um agente de transmissão do sistema interligado nacional**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010.
- RIASCOS, L. A. M. **Fundamentos de robótica**: manipuladores e robôs móveis. São Paulo: Pleiade, 2010. Disponível em: <<https://graduacao.ufabc.edu.br/eiar/conteudo/ensino/disciplinas/Robotica/FundamentosRobotica.html>>. Acesso em: 25 nov. 2019.
- ROSÁRIO, J. M. **Princípios de Mecatrônica**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005.
- RYSZARD, K. *et al.* A data acquisition and processing system. **IEEE Africon'99**, 1999.
- SAFI UDDIN *et al.* Integration technique for na expect system on to a real-time system. **Proceedings of the Tencon' 2000**, fev. 2000.
- SALVADOR, M.; SILVA, A. P. G. **O que são sistemas supervisórios?** 2005. Disponível em: <<http://www.centralmat.com.br/artigos/mais/oquesaosistemassupervisorios.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2019.
- SANTOS, M. T. L. F. dos. Automatização da produção humana e desemprego estrutural. **Prim@Facie**: Revista da Pós-Graduação em Ciências Jurídicas, João Pessoa, v. 4, n. 7, 2005.
- SANTOS, W. E.; GORGULHO JÚNIOR, J. H. C. **Robótica industrial**: fundamentos, tecnologias, programação e simulação. São Paulo: Érica, 2015.
- SOUMITRA, K. G. Changing role of SCADA in manufacturing plant. **Thirty-First IAS Annual Meeting**, out. 1996.

SOUZA, R. B. **Uma arquitetura para sistemas supervisórios industriais e sua aplicação em processos de elevação artificial de petróleo.** 2005. 53 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores.** Rio de Janeiro: Editora Campus, 1997.

TEIXEIRA, P. R. F.; FARIA, R. A. **Instrumentista de sistemas:** fundamento de controle. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006.

VIANNA, W. da S. **Sistema SCADA Supervisório.** Instituto Federal Fluminense de Educação Ciência e Tecnologia, Campos dos Goytacazes, 2008.

VILELA, P. S. da C.; VIDAL, F. J. T. Automação Industrial. **Redes para Automação Industrial,** maio 2003.

CONCLUSÃO DO LIVRO

As unidades apresentadas de automação industrial tiveram como principais objetivos expor a importância da automação dentro dos conceitos fundamentais que permeiam a indústria, dentre eles: os conceitos introdutórios de arquitetura industrial; a abstração de *hardware* e *software*; e a configuração e especificação de controladores programáveis, demonstrando, assim, a robustez do assunto diante da transformação que vem ocorrendo na indústria com a chegada da indústria 4.0 e o desenvolvimento de tecnologias disruptivas.

Por fim, demonstramos ser imprescindível ter conhecimentos basilares, como os citados, a fim de que se reflita acerca da evolução que vem ocorrendo na indústria, que tem como principal pilar a automação.

Além disso, foram abordados, nesta obra, tópicos relacionados à integração de plantas de processos industriais, em que se demonstrou a importância de alguns conceitos que contemplam a Automação Industrial, bem como dos componentes das plantas.

Em seguida, desenvolvemos uma breve introdução a respeito do conceito de supervisão e controle em ambientes industriais, com definições essenciais que permeiam os sistemas supervisórios, bem como os componentes físicos em um ambiente industrial foram expostos ao tópico.

Também apresentamos um breve histórico da robótica industrial, conceitos fundamentais de robótica e os principais componentes de um sistema robótico.