



Automação de Sistemas

Fernando Mariano Bayer

Moacir Eckhardt

Renato Machado



Santa Maria - RS
2011

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Secretaria de Educação a Distância

© Colégio Técnico Industrial de Santa Maria

Este Material Didático foi elaborado pelo Colégio Técnico Industrial de Santa Maria para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec Brasil.

Comissão de Acompanhamento e Validação
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria/CTISM

Coordenador Institucional

Paulo Roberto Colusso/CTISM

Professor-autor

Fernando Mariano Bayer/CTISM

Moacir Eckhardt/CTISM

Renato Machado/CTISM

Coordenação Técnica

Iza Neuza Teixeira Bohrer/CTISM

Coordenação de Design

Erika Goellner/CTISM

Revisão Pedagógica

Andressa Rosemárie de Menezes Costa/CTISM

Francine Netto Martins Tadielo/CTISM

Marcia Migliore Freo/CTISM

Revisão Textual

Lourdes Maria Grotto de Moura/CTISM

Vera da Silva Oliveira/CTISM

Revisão Técnica

Eduardo Lehnhart Vargas/CTISM

Diagramação e Ilustração

Leandro Felipe Aguilar Freitas/CTISM

Marcel Santos Jacques/CTISM

Rafael Cavalli Viapiana/CTISM

Ricardo Antunes Machado/CTISM

Ficha catalográfica elaborada por Maristela Eckhardt, CRB 10/737,
Biblioteca Central – UFSM

B357a Bayer, Fernando Mariano
Automação de sistemas / Fernando Mariano Bayer, Moacir Eckhardt, Renato Machado. – 4. ed. – Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria ; Escola Técnica Aberta do Brasil, 2011.
100 p. : il. ; 28 cm.

1. Informática 2. Programação 3. Automação de sistemas
4. Robótica 5. Robôs industriais I. Eckhardt, Moacir II. Machado, Renato III. Universidade Federal de Santa Maria. Colégio Técnico Industrial de Santa Maria IV. Escola Técnica Aberta do Brasil
V. Título.

CDU 004.896

Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,

Bem-vindo ao e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional pública de ensino, a Escola Técnica Aberta do Brasil, instituída pelo Decreto nº 6.301, de 12 de dezembro de 2007, com o objetivo de democratizar o acesso ao ensino técnico público, na modalidade a distância. O programa é resultado de uma parceria do Ministério da Educação, por meio das Secretarias de Educação a Distância (SEED) e de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), as universidades e escolas técnicas estaduais e federais.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade e ao promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes dos grandes centros geográfica e ou economicamente.

O e-Tec Brasil leva os cursos técnicos a locais distantes das instituições de ensino e para a periferia das grandes cidades, incentivando os jovens a concluir o ensino médio. Os cursos são ofertados pelas instituições públicas de ensino, e o atendimento ao estudante é realizado em escolas-polo integrantes das redes públicas municipais e estaduais.

O Ministério da Educação, as instituições públicas de ensino técnico, seus servidores técnicos e professores acreditam que uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e da educação técnica – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!

Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação
Janeiro de 2010

Nosso contato
etecbrasil@mec.gov.br



Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



Atenção: indica pontos de maior relevância no texto.



Saiba mais: oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



Glossário: indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



Mídias integradas: sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



Atividades de aprendizagem: apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



Sumário

| | |
|---|-----------|
| Palavra do professor-autor | 9 |
| Apresentação da disciplina | 11 |
| Projeto instrucional | 13 |
| Aula 1 – Automação de sistemas | 15 |
| 1.1 Automação..... | 15 |
| 1.2 Automação x mecanização..... | 15 |
| 1.3 Desenvolvimento da automação..... | 15 |
| 1.4 Classificação dos sistemas automatizados..... | 17 |
| 1.5 O impacto da automação na sociedade..... | 20 |
| Aula 2 – Projeto de sistemas de automação | 23 |
| 2.1 O projeto..... | 23 |
| 2.2 Modelo de fases para elaboração de projetos..... | 24 |
| 2.3 Documentação..... | 26 |
| Aula 3 – Robótica industrial | 29 |
| 3.1 Robótica..... | 29 |
| 3.2 Controlador do robô..... | 32 |
| 3.3 Unidade de programação “ <i>Teach Pendant</i> ”..... | 33 |
| 3.4 Vantagens da utilização de robôs nas indústrias..... | 34 |
| Aula 4 – Robôs industriais manipuladores | 37 |
| 4.1 Robô industrial manipulador..... | 37 |
| 4.2 Estrutura dos robôs manipuladores..... | 38 |
| 4.3 Classificação dos robôs..... | 39 |
| 4.4 Especificações de um robô industrial..... | 42 |
| 4.5 Tipos de programação..... | 45 |
| Aula 5 – Controle numérico computadorizado – CNC | 49 |
| 5.1 Histórico..... | 49 |
| 5.2 O que é controle numérico?..... | 51 |
| 5.3 Componentes básicos do NC..... | 51 |

| | |
|--|-----------|
| 5.4 Máquina NC versus CNC versus DNC..... | 52 |
| 5.5 Tipos de máquinas CNC..... | 53 |
| 5.6 Estrutura e componentes de máquinas-ferramentas CNC..... | 55 |
| 5.7 Eixos e movimentos..... | 58 |
| 5.8 Configurações de algumas máquinas-ferramentas CNC..... | 59 |
| 5.9 Programação de máquinas CNC..... | 61 |
| Aula 6 – Redes industriais..... | 67 |
| 6.1 Introdução..... | 67 |
| 6.2 Redes de computadores..... | 70 |
| 6.3 Topologias das redes de comunicação..... | 71 |
| 6.4 Protocolos de comunicação..... | 73 |
| 6.5 O modelo OSI..... | 74 |
| 6.6 Meios de transmissão..... | 76 |
| 6.7 Projetos de padronização de redes industriais..... | 77 |
| 6.8 Modelo mestre-escravo (<i>Master-Slave</i>)..... | 79 |
| 6.9 Projeto PROWAY..... | 80 |
| 6.10 Projeto IEEE 802..... | 80 |
| 6.11 Projeto MAP..... | 80 |
| 6.12 Projeto TOP..... | 81 |
| 6.13 Projeto FIELDBUS..... | 81 |
| 6.14 Principais protocolos de comunicação industriais..... | 82 |
| 6.15 <i>Fieldbus</i> | 82 |
| 6.16 <i>Profibus</i> | 84 |
| Aula 7 – Supervisórios..... | 89 |
| 7.1 Introdução..... | 89 |
| 7.2 <i>Software</i> de supervisão do tipo SCADA..... | 90 |
| 7.3 Telas de supervisão..... | 92 |
| 7.4 Histórico de falhas..... | 95 |
| 7.5 Relatórios..... | 95 |
| Referências..... | 97 |
| Currículo do professor-autor..... | 99 |

Palavra do professor-autor

A disciplina de Automação de Sistemas é uma das disciplinas de conclusão do nosso curso de Técnico em Automação Industrial, e tem portanto a função de integrar os conhecimentos adquiridos até aqui. E este momento, para praticamente todos os estudantes de cursos técnicos, é um momento de reflexão e de dúvidas. Sendo recorrente uma questão:

“O curso está acabando e eu não aprendi nada?”

Esse questionamento é um sinal positivo! É uma demonstração de que o aluno efetivamente AMPLIOU OS SEUS HORIZONTES! Ou seja, agora consegue ver o grande universo de possibilidades que envolvem a sua área de formação, e isso em grande parte explica essa sensação de “não saber nada”.

A questão aqui é que, apesar de não saber especificamente como cada equipamento funciona, ou cada detalhe de cada sistema, agora você terá uma base de conhecimentos que lhe permitirão analisar, buscar as informações e aprender o que ainda não sabe. Essa iniciativa é o grande diferencial que se espera de um profissional de nível técnico.

Como reflexão, deixo um trecho do livro O Ócio Criativo, de Domenico De Masi:

“Nossa identidade depende cada vez menos da natureza, que pode nos ter feito bonitos ou feios, da estirpe, que pode nos ter feito nascer ricos ou nascer pobres, e do fato de pertencer a uma classe, seja aristocrática ou proletária. A identidade depende cada vez mais daquilo que aprendemos, da nossa formação, da nossa capacidade de produzir idéias, do nosso modo de viver o tempo livre, do nosso estilo e da nossa sensibilidade estética.”

Bons estudos.
Prof. Fernando M. Bayer



Apresentação da disciplina

A palavra Sistema vem do grego *sietemiun*, que significa “combinar”, “formar um conjunto”. Portanto definimos um sistema como um conjunto de elementos interconectados, de modo a formar um todo organizado, visando atingir um objetivo específico.

A palavra Automação, ou Automatização, no latim *Automatus*, que significa “mover-se por si”. Significa, portanto, dotar um equipamento de meios que lhe permitam realizar seu controle automaticamente, sem a intervenção humana.

Com base nesses dois conceitos, podemos entender que a disciplina de Automação de Sistemas trata dos meios utilizados para dotar sistemas de um controle automático. Esse conceito é extremamente amplo, pois atualmente utilizam-se sistemas automáticos em quase todos os ramos da sociedade. Podemos subdividir a automação em industrial, comercial, residencial.

Nessa disciplina especificamente, como parte do curso de Técnico de Automação Industrial, iremos focar na automação de sistemas de produção industrial, com uma pequena visão do projeto desses sistemas e, após estudar-se-ão alguns assuntos mais específicos, tais como a Robótica Industrial, os Sistemas de Fabricação com Controle Numérico, Redes Industriais e Sistemas Supervisórios.



Projeto instrucional

Disciplina: Automação de Sistemas (carga horária: 60h).

Ementa: Automação de sistemas. Projeto de sistemas de automação. Robótica industrial. Robôs industriais manipuladores. Controle numérico computadorizado – CNC. Redes industriais. Supervisórios.

| AULA | OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM | MATERIAIS | CARGA HORÁRIA (horas) |
|--|---|--|-----------------------|
| 1. Automação de sistemas | Diferenciar automação da mecanização. Posicionar a automação industrial no contexto histórico. Classificar os tipos de automação. Provocar reflexões sobre o impacto da automação na sociedade. | Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila. | 08 |
| 2. Projeto de sistemas de automação | Demonstrar a importância de projetar antes de fazer. Propor um modelo de fases para guiar projetos de automação. Identificar a documentação necessária em um projeto. | Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila. | 08 |
| 3. Robótica industrial | Compreender o conceito de robô industrial. Conhecer os principais componentes de um sistema robótico. Conhecer as vantagens e desvantagens desse tipo de equipamento. | Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila. | 08 |
| 4. Robôs industriais manipuladores | Identificar e classificar os robôs manipuladores. Conhecer os elementos básicos de uma instalação robótica. Conhecer os meios de programação dos robôs industriais. | Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila. | 08 |
| 5. Controle numérico computadorizado – CNC | Apresentar o histórico do CNC e as vantagens de sua utilização. Apresentar os tipos de máquinas que utilizam a tecnologia CNC. Identificar estrutura e componentes das máquinas-ferramentas CNC. Definir programação e os métodos. Conhecer e identificar os movimentos e configurações das máquinas-ferramentas CNC. Conhecer alguns códigos e funções de programação. Apresentar exemplo de programa de usinagem de peça. | Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila. | 10 |

| AULA | OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM | MATERIAIS | CARGA HORÁRIA (horas) |
|----------------------|---|--|-----------------------|
| 6. Redes industriais | <p>Classificar em níveis os diferentes processos de uma rede de comunicação industrial – pirâmide da automação.</p> <p>Apresentar os principais conceitos sobre redes de computadores e o modelo OSI.</p> <p>Estudar as topologias de redes de comunicação.</p> <p>Apresentar os diferentes meios de comunicação – canais físicos.</p> <p>Estudar os principais protocolos de comunicação em redes industriais.</p> | <p>Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i>.</p> <p>Apostila didática.</p> <p>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila.</p> | 10 |
| 7. Supervisórios | <p>Introduzir o conceito de supervisão e controle em ambientes industriais.</p> <p>Apresentar as principais características do <i>software</i> de supervisão do tipo SCADA.</p> <p>Familiarizar o estudante os diferentes tipos de telas no ambiente supervisório do tipo SCADA.</p> <p>Desenvolver um supervisório utilizando o <i>software</i> Elipse Scada.</p> <p>Testar o supervisório através do uso de um emulador de variáveis de TAGs.</p> | <p>Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i>.</p> <p>Apostila didática.</p> <p>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila.</p> | 08 |

Aula 1 – Automação de sistemas

Objetivos

Diferenciar automação da mecanização.

Posicionar a automação industrial no contexto histórico.

Classificar os tipos de automação.

Provocar reflexões sobre o impacto da automação na sociedade.

1.1 Automação

Em um contexto industrial, pode se definir automação como a tecnologia que se ocupa da utilização de sistemas mecânicos, eletroeletrônicos e computacionais na operação e controle da produção.

Diversos exemplos de automação de sistemas de produção podem ser observados nas linhas de produção industrial, nas máquinas de montagem mecanizadas, nos sistemas de controle de produção industrial realimentados, nas máquinas-ferramentas dotadas de comandos numéricos e nos robôs de uso industrial.

1.2 Automação x mecanização

Automação é diferente de mecanização. A mecanização consiste simplesmente no uso de máquinas para realizar um trabalho, substituindo o esforço físico do homem. Já a automação possibilita fazer um trabalho por meio de máquinas controladas automaticamente, capazes de se autorregular.

1.3 Desenvolvimento da automação

As primeiras iniciativas do homem para mecanizar atividades manuais ocorreram na pré-história. Invenções como a roda, o moinho movido por vento ou força animal e as rodas d'água demonstram a criatividade do homem

para poupar esforço. Porém, a automação só ganhou destaque na sociedade quando o sistema de produção agrário e artesanal transformou-se em industrial, a partir da segunda metade do século XVIII, inicialmente na Inglaterra.

Os sistemas inteiramente automáticos surgiram no início do século XX. Entretanto, bem antes disso foram inventados dispositivos simples e semi-automáticos.

Por volta de 1788, James Watt desenvolveu um mecanismo de regulação do fluxo de vapor em máquinas, mostrado nas Figuras 1.1 e 1.2. Isto pode ser considerado um dos primeiros sistemas de controle com realimentação. O regulador consistia num eixo vertical com dois braços próximos ao topo, tendo em cada extremidade uma bola pesada. Com isso, a máquina funcionava de modo a se regular sozinha, automaticamente, por meio de um equilíbrio de forças.

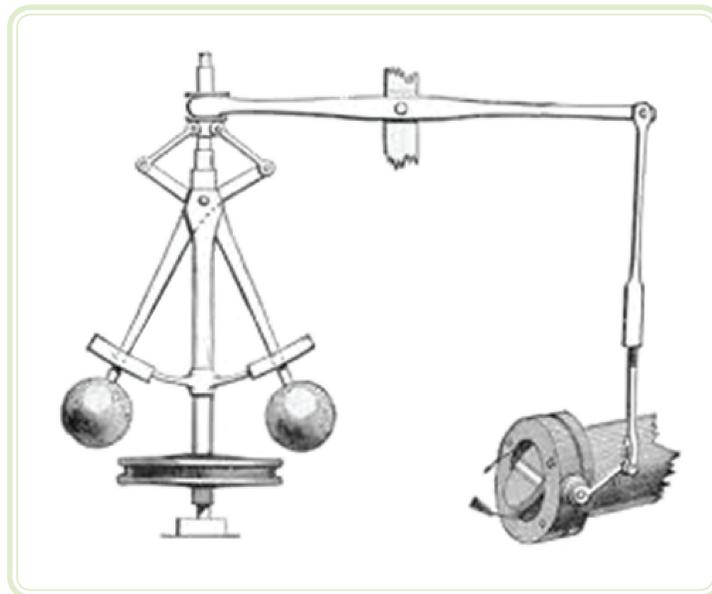


Figura 1.1: Mecanismo automático de regulação do fluxo de vapor

Fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centrifugal_governor.png

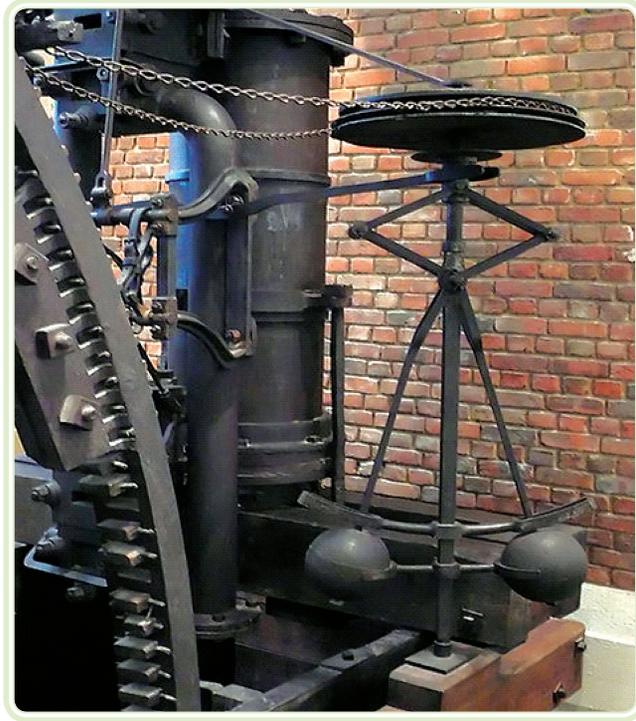


Figura 1.2: Regulador de fluxo de vapor de Watt

fonte: http://commons.wikimedia.org/wiki/file:boulton_and_watt_centrifugal_governor-mj.jpg

A partir de 1870, também a energia elétrica passou a ser utilizada e a estimular indústrias como a do aço, a química e a de máquinas-ferramenta.

No século XX, a tecnologia da automação passou a contar com computadores, servomecanismos e controladores programáveis. Os computadores são os alicerces de toda a tecnologia da automação contemporânea. Encontramos exemplos de sua aplicação praticamente em todas as áreas do conhecimento e da atividade humana.

1.4 Classificação dos sistemas automatizados

A automação pode ser classificada de acordo com suas diversas áreas de aplicação. Por exemplo: automação bancária, comercial, industrial, agrícola, de comunicações, de transportes.

A automação industrial pode ser desdobrada em automação de planejamento, de projeto, de produção.

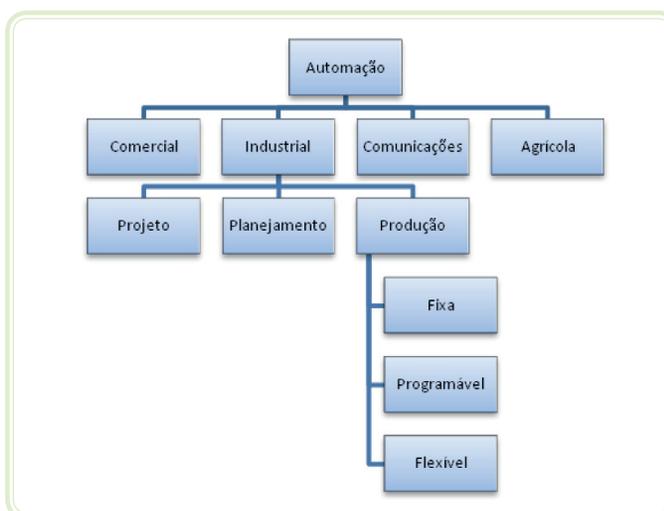


Figura 1.3: Classificação dos sistemas automatizados

Fonte: CTISM

Podemos então perceber que no universo dos sistemas automatizados, o nosso interesse recai especialmente no Sistemas Industriais de Produção Automatizados. Esses sistemas pode ainda ser classificados quanto ao seu nível de flexibilidade:

- Automação fixa.
- Automação programável.
- Automação flexível.

1.4.1 Automação fixa

Está baseada em uma linha de produção especialmente projetada para a fabricação de um produto específico e determinado. É utilizada quando o volume de produção dever ser muito elevado, e o equipamento é projetado adequadamente para produzir altas quantidades de um único produto ou uma única peça de forma rápida e eficiente, isto é, para ter uma alta taxa de produção. Como exemplo de indústrias onde a automação fixa é muito utilizada, podemos citar a produção de componentes mecânicos simples como arruelas e parafusos. O equipamento é, em geral, de custo elevado, porém devido a sua alta taxa de produção, o custo fixo é dividido numa grande quantidade de unidades fabricadas.

O risco que se enfrenta com a automação fixa é que qualquer alteração nas vendas ou alteração do produto poderá tornar a linha obsoleta, trazendo um grande prejuízo.

1.4.2 Automação programável

É baseada em um equipamento com capacidade de fabricar uma variedade de produtos com características diferentes, segundo um programa de instruções previamente introduzido. Esse tipo de automação é utilizado quando o volume de produção de cada item é baixo. O equipamento de produção é projetado para ser adaptável às diferentes características e configurações dos produtos fabricados. Essa adaptabilidade é conseguida mediante a operação do equipamento sob controle de um programa de instruções preparado para o produto em questão. Esse programa pode ser introduzido no sistema através de um teclado, por cartões de memória ou mesmo através da integração em redes de chão de fábrica. Um sistema típico de automação programável são as máquinas de usinagem com controle Código Numérico Computadorizado (CNC).

A operação do equipamento sempre dependerá das instruções indicadas por esse programa de controle. Em termos de economia, o custo do equipamento pode ser diluído num grande número de produtos, mesmo que estes tenham diferentes configurações.

1.4.3 Automação flexível

Pode ser entendida como uma solução de compromisso entre a automação fixa e a automação programável. A automação flexível também é conhecida como sistema de Manufatura Integrada por Computador (CIM) e, em geral, parece ser mais indicado para o volume médio de produção. Os sistemas de produção baseados na automação flexível têm algumas das características da automação fixa e outras da automação programável.

O equipamento deve ser programado para produzir uma variedade de produtos com algumas características ou configurações diferentes, mas a variedade dessas características é normalmente mais limitada que aquela permitida pela automação programável. Assim, por exemplo, um sistema de manufatura flexível pode ser projetado para produzir uma única peça, mas com diferentes dimensões, ou diferentes materiais. Os sistemas flexíveis automatizados consistem, em geral, de estações de trabalho autônomas com um alto grau de integração. Essas estações estão interligadas por um sistema de manuseio, transporte e armazenamento do material. Um computador central é utilizado para controlar e monitorar as diversas atividades que ocorrem no sistema, determinando a rota das diversas partes para as estações apropriadas controlando as operações previamente programadas nas diferentes estações.

Uma das características que distinguem a automação programável da automação flexível é que nos sistemas que utilizam a primeira os produtos são fabricados em lotes, enquanto na fabricação flexíveis diferentes produtos podem ser fabricados ao mesmo tempo no mesmo sistema, bastando programar o computador central para desviar as diferentes peças e materiais para as estações de trabalho adequadas. Portanto, a potência computacional do controlador é o que torna essa versatilidade possível.

1.5 O impacto da automação na sociedade

O processo de automação em diversos setores da atividade humana trouxe uma série de benefícios à sociedade. A automação geralmente reduz custos e aumenta a produtividade do trabalho. A automação pode livrar os trabalhadores de atividades monótonas, repetitivas ou mesmo perigosas.

Apesar dos benefícios, o aumento da automação vem causando também alguns problemas para os trabalhadores:

- Aumento do nível de desemprego, principalmente nas áreas em que atuam profissionais de baixo nível de qualificação.
- A experiência de um trabalhador se torna rapidamente obsoleta.
- Muitos empregos que eram importantes estão se extinguindo, como telefonistas, atualmente perfeitamente substituíveis por centrais de telefonia automáticas.

Esses impactos alteram o comportamento dos indivíduos no ambiente de trabalho, podendo aumentar as ausências, falta de coleguismo, alcoolismo ou consumo de drogas. De certa forma, esse processo de alienação deriva do sentimento de submissão do trabalhador à máquina e da falta de desafios.

Esses problemas, no entanto, podem ser solucionados com programas contínuos de aprendizagem e reciclagem de trabalhadores para novas funções. Além disso, as indústrias de computadores, máquinas automatizadas e serviços vêm criando um número de empregos igual ou superior àqueles que foram eliminados no setor produtivo.

Resumo

O universo da automação se expande em grande velocidade, devido principalmente aos avanços da microeletrônica, eletrônica de potência e da informática. Cabe ao profissional desta área o desenvolvimento da visão multidisciplinar e do constante aperfeiçoamento tecnológico. A valorização do conhecimento e da capacidade autodidata passa a ser primordial.

Atividades de aprendizagem



1. O que é automação industrial?
2. Qual a diferença entre automação e mecanização?
3. Quais os três principais tipos de automação?
4. Qual deles é considerado o primeiro sistema de controle automático industrial?
5. Qual a sua opinião sobre o impacto da automação na sociedade? Discuta este assunto no fórum da disciplina.

Aula 2 – Projeto de sistemas de automação

Objetivos

Demonstrar a importância de projetar antes de fazer.

Propor um modelo de fases para guiar projetos de automação.

Identificar a documentação necessária em um projeto.

2.1 O projeto

É normal aos profissionais de perfil técnico a tendência de, ao receber um desafio, partir diretamente para a solução final, pulando os passos iniciais do projeto. Apesar de ser uma opção válida em casos onde o tempo é o principal limitante, este tipo de prática normalmente traz problemas no futuro, pois os sistemas acabam sendo pouco otimizados, de difícil compreensão e normalmente não contam com nenhum tipo de documentação para a sua manutenção.

Para garantir os melhores resultados possíveis, tanto a curto quanto a longo prazo, um projeto de automação industrial deve:

- Ser desenvolvido sistematicamente – ou seja, deve ser desenvolvido seguindo um padrão lógico que permita o seu desenvolvimento passo a passo.
- Ser bem estruturado – ter uma organização que permita compreender o projeto facilmente.
- Dispor de documentação detalhada – todos os passos e informações necessárias para a montagem e manutenção dos sistemas devem estar disponíveis.

Para atingir estes objetivos é indispensável investir um certo tempo na análise e construção de uma solução bem estruturada e documentada. A experiência demonstra que esse tempo investido é recuperado facilmente com a obtenção de sistemas mais eficientes e, principalmente, na redução da necessidade de ajustes e correções nas fases finais do projeto.

2.2 Modelo de fases para a elaboração de projetos

Este modelo tem-se mostrado eficaz no desenvolvimento de projetos, podendo ser aplicado a todos os projetos técnicos e compõe-se das seguintes fases:

- **Especificação** – realiza-se uma descrição detalhada do sistema.
- **Projeto** – desenvolve-se a solução para o problema proposto.
- **Implementação** – é a conversão da solução encontrada no projeto detalhado.
- **Integração e instalação** – é a construção e a realização de testes dos sistemas.

Em cada uma dessas fases serão utilizados métodos e ferramentas que variam conforme o tipo de projeto que está sendo desenvolvido. Considerando como exemplo um projeto de automação com controle por CLP, teríamos:

2.2.1 Fase 1 – Especificação

É a fase de formalização da tarefa, onde ela é descrita de forma precisa e detalhada. Essa descrição deve ser feita da forma mais completa, clara e sistemática possível, possibilitando a avaliação de possíveis contradições e falhas no sistema. A descrição e os elementos gráficos deverão representar todo o sistema e suas interações, já esboçando a solução final desejada.

Ao final dessa etapa teríamos:

- Descrição verbal do sistema.
- Croqui e/ou *layout* do sistema.
- Estrutura básica do sistema de controle.

2.2.2 Fase 2 – Projeto

A solução é desenvolvida com base nas constatações feitas na fase 1. Sua descrição deve apresentar graficamente a função e o comportamento do controle, de acordo com o processo, independentemente da tecnologia.

Ao final dessa etapa teríamos:

- Representações do funcionamento do sistema, tais como diagramas trajeto-passo.
- Tabela verdade.
- Definição dos módulos do programa com os seus respectivos fluxogramas ou *flow chart*.
- Diagramas de circuitos elétricos de comando, de potência e também diagramas pneumáticos ou hidráulicos, quando necessário.
- Listas de componentes.

2.2.3 Fase 3 – Implementação

É a conversão da solução encontrada em um projeto detalhado e o desenvolvimento do programa de controle.

No caso de um sistema com o controle por CLP, seria gerado o programa em uma das linguagens definidas na normal IED 61132-3: Linguagem sequencial, diagrama de funções, diagrama *ladder*, linguagem estruturada ou lista de instruções.

As linguagens de programação diagrama *ladder*, diagrama de funções e linguagem estruturada são apropriadas para a formulação de operações básicas e para os controles simples que podem ser descritos através da lógica booleana.

A linguagem de alto nível lista de instruções é utilizada principalmente para a elaboração de módulos de *software* com conteúdo matemático.

Nessa fase também deve ocorrer, sempre que possível, a simulação dos sistemas e programas de controle, de modo a verificar e eliminar erros.

2.2.4 Fase 4 – Instalação e testes

Nessa fase são construídas as instalações, carregado o programa de controle e, após, testada a atuação conjunta do sistema de automação e da instalação conectada. Caso os controles sejam complexos, recomenda-se que a instalação seja feita sistematicamente por etapas. Seguindo este procedimento, é possível reconhecer e corrigir erros com mais rapidez, tanto na instalação quanto no programa de controle.

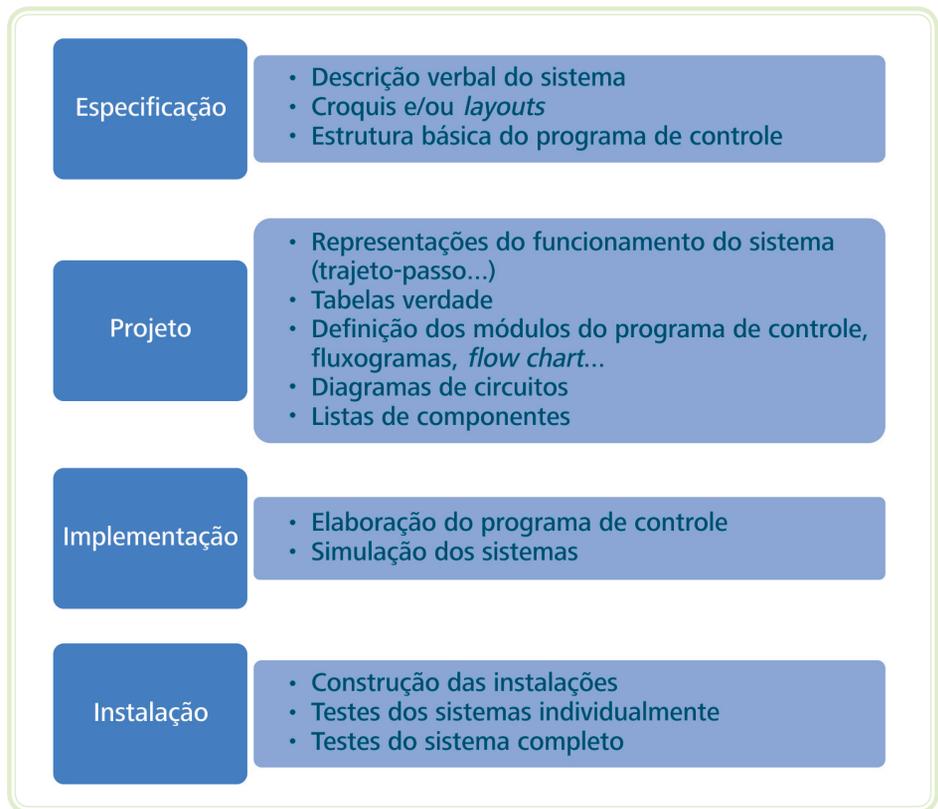


Figura 2.1: Modelo de fases de um projeto

Fonte: CTISM

2.3 Documentação

Uma parte essencial de uma instalação é a documentação. Trata-se de um requisito necessário para que uma instalação possa ser mantida e ampliada. Também a documentação do programa de controle deve estar disponível tanto em papel quanto em arquivo eletrônico.

A documentação compõe-se de referências sobre cada fase do projeto, impressão dos programas de controle e, eventualmente, também outras descrições sobre este programa. Trata-se, portanto de:

- Memorial descritivo.
- Croquis e *layouts* da planta.
- Diagramas de circuitos elétricos de comando e de potência (unifilar ou multifilar).
- Diagramas de circuitos pneumáticos e hidráulicos.

- Desenhos técnicos de detalhamento dos componentes.
- Esquemas de conexão de bornes.
- Impressão dos programas de controle.
- Listas de alocação de entradas e saídas (fazendo parte da impressão do programa de controle).
- Listas de materiais.
- Outros documentos que se fizerem necessários.

Resumo

O desenvolvimento de um sistema automatizado deve ser feito de forma consciente, estruturada. Deve-se ter sempre em mente as melhores soluções possíveis considerando, não só a sua operação mas sua futura manutenção e confiabilidade.

Nessa aula foi sugerido um modelo de fases para auxiliar nessa elaboração de projetos. Esse modelo não é estanque, devendo ser adaptado às particularidades de cada projeto.

Destaca-se também a importância da elaboração de uma documentação adequada para garantir a futura manutenção e ampliação dos sistemas.

Atividades de aprendizagem

1. Por que é importante projetar um sistema de forma detalhada antes de sua construção?
2. Quais as principais fases de um projeto?
3. O que é a documentação do projeto?
4. Qual a importância de termos uma documentação completa e abrangente, mesmo após um projeto estar concluído?



Aula 3 – Robótica industrial

Objetivos

- Compreender o conceito de robô industrial.
- Conhecer os principais componentes de um sistema robótico.
- Conhecer as vantagens e desvantagens desse tipo de equipamento.

3.1 Robótica

A humanidade sempre mostrou certo fascínio, desde tempos pré-históricos, por seres extraordinários, homens mecânicos e outras criaturas que, em geral, nunca passaram de fantasia.

A palavra robô tem a origem atribuída ao escritor tcheco Karel Capek, o qual utilizou em seus livros o termo tcheco *robot* (que significa trabalhador escravo). Esse termo, traduzido para o inglês tornou-se *robot*, e teve o seu uso popularizado pelo escritor Issac Asimov com seu livro “Eu, Robô”, de 1950, data em que pela primeira vez foi utilizado o termo robótica para denominar ciência que estuda os sistemas robóticos.

Este interesse gerou no passado vários sistemas que tentavam automatizar movimentos, mas que dificilmente passavam de sistemas mecânicos com programação fixa.

Somente nas décadas de 1940 e 1950 surgiram tecnologias que permitiriam o advento do robô industrial moderno. Essas tecnologias foram o telecomando e o comando numérico.

O telecomando, ou controle remoto, consistia em controlar um atuador a distância, através de conexões elétricas. Estes sistemas começaram seu desenvolvimento a partir da década de 1940, com o objetivo de realizar o manuseio a distância de materiais radioativos, e seguem sendo utilizados até os dias atuais. Podemos citar os sistemas de microcirurgia, em que o cirurgião opera os instrumentos remotamente, através de imagens de vídeo.

Outra tecnologia crucial para o desenvolvimento da robótica, o comando numérico, foi desenvolvido em seguida e consiste basicamente em sistemas que podem ser programados através de uma série de comandos que podem, por exemplo, representar a posição de uma ferramenta no espaço.

A primeira patente de um dispositivo robótico foi feita por um britânico, Cyril W. Kenward, em 1954. Porém o conceito moderno de robô industrial foi criado por Joseph Engelberger, que, em conjunto com o americano George C. Devol, desenvolveu o primeiro protótipo comercial chamado Unimate. A primeira instalação industrial foi realizada pela *Ford Motor Company*, que utilizou um modelo Unimate para realizar o descarregamento robotizado de uma máquina de fundição sob pressão.



Figura 3.1: Unimate, o primeiro robô industrial

Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Unimate.jpg>

Em 1974 a mesma empresa que criou o Unimate, lançou um novo robô de 6 eixos chamado PUMA, o qual foi responsável pela popularização deste tipo de equipamento. Ainda existem muitos desses modelos em atividade até os dias de hoje. PUMA são as iniciais de *Programmable Universal Machine for Assembly*, ou seja, máquina universal programável para montagem.



Figura 3.2: Robô PUMA com seu controlador

Fonte: http://wreckord.net/edwin/projects/cu/puma_560/puma_560valii_1.jpg

Os conceitos básicos dos robôs industriais modernos permanecem praticamente os mesmos, havendo, porém um grande desenvolvimento dos seus sistemas de controle, principalmente devido ao desenvolvimento dos sistemas computadorizados. Essa evolução permitiu um grande salto na velocidade de trabalho e principalmente na complexidade das tarefas realizadas pelos robôs industriais.

Os sistemas de controle dos robôs normalmente estão localizados externamente à parte mecânica do mesmo, normalmente em um gabinete metálico, o qual chamamos controlador. Esse gabinete normalmente é conectado por cabos ao atuador, podendo portanto localizar-se a uma distância segura da área de trabalho. Para completar o sistema ainda temos que contar com uma fonte de alimentação de alta potência para o acionamento dos eixos (normalmente localizada no mesmo gabinete do controlador) e da interface de programação do robô.

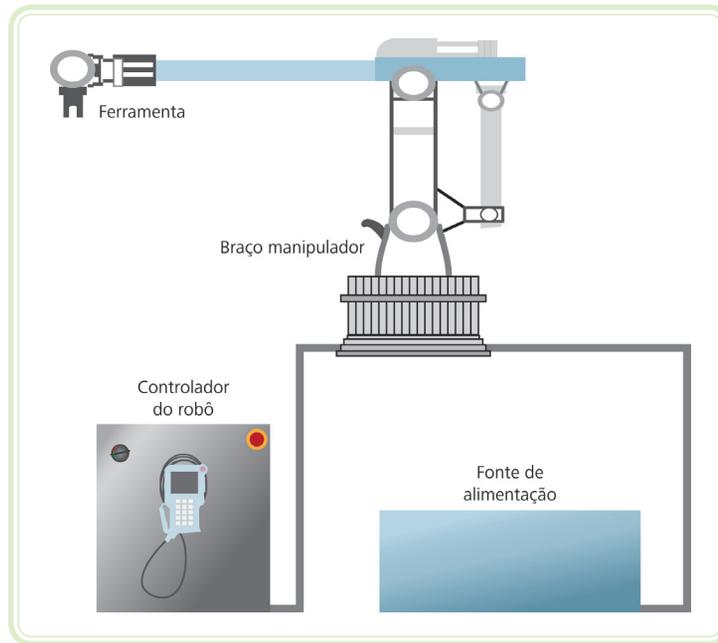


Figura 3.3: Estrutura de um robô industrial

Fonte: CTISM

3.2 Controlador do robô

É interessante que ao imaginarmos um robô industrial, pensamos logo no braço manipulador. Esse elemento é obviamente o mais importante do conjunto, pois é o responsável por realizar o trabalho útil na linha de produção. Porém, um robô industrial depende inteiramente de outro elemento, o controlador.

O controlador do robô é um sistema eletrônico que faz todo o processamento de dados, gera os comandos e alimenta os elementos do robô industrial. Normalmente é composto por um gabinete metálico dentro do qual estão:

Unidade lógica de comando – a maioria dos robôs industriais atuais utiliza um microcomputador PC como unidade de comando. Esta unidade roda o programa de comando que controla os eixos, processa os programas do usuário e controla as interfaces de comunicação do robô.

Interface de programação – são as interfaces que possibilitam a interação entre o operador e o robô, permitindo acompanhar o trabalho, realizar a programação e o diagnóstico de problemas.

Interfaces lógicas – normalmente os robôs apresentam uma placa de entrada/saída digital que permite a sua integração com outros elementos do sistema, como controlar a abertura e fechamentos dos efetadores (garras, ventosas pneumáticas, ...).

- **Sistema de potência** – os robôs normalmente são movimentados utilizando-se servomotores elétricos. Esses elementos necessitam de altas correntes de acionamento, as quais são controladas por circuitos eletrônicos de potência que chamamos “*drivers dos eixos*”.
- **O transformador de alimentação** – gera a tensão necessária para alimentar todos os elementos.



Figura 3.4: Controlador Motoman DX100 com a unidade de programação
Fonte: www.motoman.com

3.3 Unidade de programação “*Teach Pendant*”

O controlador do robô apresenta uma interface que permite o seu controle bem como a inserção e análise dos programas. Como o controlador pode estar a vários metros do manipulador, essa interface normalmente é portátil, sendo chamada de Unidade de Programação, ou “*Teach Pendant*”.

A unidade de programação normalmente possui os seguintes elementos:

- **Tela de texto** ou **gráfica** – onde são apresentados os dados ao operador. Atualmente é comum encontramos telas gráficas coloridas com função de toque na tela (*touch screen*).
- **Teclado** – para realizar a entrada de dados.
- **Botão direcional** ou **joystick** – para movimentação manual do robô.
- **Botão de emergência** – realiza a parada imediata do robô.



Figura 3.5: Unidade de programação ou “Teach Pendant”

Fonte: www.motoman.com

3.4 Vantagens da utilização de robôs nas indústrias

Existem muitas razões para a utilização de robôs na produção industrial e em outras aplicações. As mais significativas são:

3.4.1 Custo

Apesar de um investimento inicial relativamente elevado, a longa vida útil de um robô moderno permite a amortização deste valor por um período bastante longo. Essa característica tem tornado o robô industrial um equipamento bastante acessível.

Além disso, o melhor controle dos processos permite a utilização de material nas quantidades mínimas necessárias, especialmente em operações do tipo soldagem e pintura.

3.4.2 Melhoria da produtividade

Os robôs podem trabalhar muito mais rapidamente do que um operador humano, além de trabalhar continuamente. Esta maior capacidade de produção reflete-se também na redução do espaço físico necessário para a operação da tarefa.

3.4.3 Melhora da qualidade do produto

A qualidade melhora por vários motivos. Por exemplo um robô de soldagem pode posicionar a ferramenta de solda com muito mais precisão e manter velocidades de avanço mais constantes, refletindo diretamente na qualidade da solda.

Robôs manipuladores conseguem repetir uma tarefa de posicionamento de peças e componentes, sem alterações de precisão, por longos períodos, algo impossível ou extremamente desgastante para um operador humano.

3.4.4 Capacidade de operar em ambientes hostis e com materiais perigosos

Um dos primeiros usos dos robôs industriais foi a operação com metais em alta temperatura. Os operários, para realizar essas tarefas, precisam utilizar instrumentos e equipamentos de proteção pesados e de difícil manuseio; um robô, porém, pode operar sem maiores inconvenientes.

Outra aplicação bastante comum são linhas de pintura, em que as tintas são altamente tóxicas, gerando condições de grande insalubridade aos trabalhadores. O mesmo ocorre com materiais radioativos, explosivos e combustíveis.

3.4.5 Melhora no gerenciamento da produção

Essa é uma vantagem comum a todos os sistemas automatizados. Quando uma empresa de manufatura, totalmente operada por pessoas, deseja ter um efetivo monitoramento de sua produção não há outra solução além de

mandar os operários anotarem os dados, o que obviamente é demorado, impreciso e impacta a produção. Em sistemas automatizados, além dos tempos de produção serem muito mais constantes, esse controle pode ser feito facilmente, pois as informações podem ser gravadas digitalmente e portanto avaliadas com facilidade.

Resumo

Equipamentos que substituam o homem em seu trabalho é um sonho e uma busca antiga da engenharia. Porém, somente na metade do século passado alcançamos capacidade técnica para construir os primeiros robôs industriais.

Desde então o ramo da robótica vem crescendo e se desenvolvendo ininterruptamente, alavancado principalmente pelos desenvolvimentos da informática, que permitem aumentar a velocidade e a complexidade das tarefas realizadas pelos robôs.

Atualmente, os robôs são amplamente utilizados na substituição do trabalho humano, principalmente onde há trabalhos repetitivos, insalubres ou perigosos.



Atividades de aprendizagem

1. Qual foi o primeiro robô industrial comercialmente viável? Em que ano foi desenvolvido?
2. Quais os principais componentes de um robô?
3. Quais as funções do controlador do robô? Cite os componentes principais do robô.
4. Quais as funções da unidade de programação? Quais os seus componentes principais?
5. Quais as vantagens da utilização da robótica na indústria?

Aula 4 – Robôs industriais manipuladores

Objetivos

Identificar e classificar os robôs manipuladores.

Conhecer os elementos básicos de uma instalação robótica.

Conhecer os meios de programação dos robôs industriais.

4.1 Robô industrial manipulador

Na aula anterior foram apresentados os robôs industriais, conforme a Associação das Indústrias da Robótica (RIA) como:

“Um robô industrial é um manipulador reprogramável, multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais em movimentos variáveis programados para a realização de uma variedade de tarefas.”

Essa definição na verdade caracteriza os robôs manipuladores, que são os mais utilizados nas indústrias. Pela definição podemos extrair algumas conclusões:

- A tarefa a ser realizada deve estar previamente definida pelo programa.
- Os robôs manipuladores têm como principal objetivo deslocar materiais, que trabalharão sobre uma peça, sistemas de visão que irão monitorar processos entre outras possibilidades.

O tipo mais conhecido de robô industrial é o braço mecânico. Consiste em uma série de corpos rígidos interligados por juntas que permitem um movimento relativo entre si, assemelhando-se assim à forma de um braço humano, e, às vezes, quase com as mesmas possibilidades de movimentos.

Todo robô manipulador tem em algum ponto da sua estrutura física um dispositivo chamado de efetuator, ou atuador. Esse dispositivo tem como função operar sobre o objeto a ser manipulado, e pode ser uma ferramenta, como

uma tocha de solda, um dispositivo especial como uma câmera de vídeo, mas em geral, trata-se de algum tipo de garra capaz de segurar uma peça com o intuito de deslocá-la pelo espaço de trabalho do robô. Normalmente os robôs industriais permitem trocar esse dispositivo com certa facilidade e, em alguns casos, trocam-no automaticamente durante a tarefa a ser realizada.

4.2 Estrutura dos robôs manipuladores

Os robôs industriais são projetados com o intuito de realizar um trabalho produtivo de forma extremamente versátil. O trabalho é realizado quando o robô movimenta sua estrutura a fim de deslocar o objeto a ser manipulado. A estrutura do robô, conforme mostra a Figura 4.1, consiste em uma série de corpos rígidos que se denominam elos (ou *links* em inglês). Esses elos podem ter diversos tamanhos e formas, dependendo da aplicação.

Os elos são unidos por juntas motorizadas que lhes permitem um movimento relativo, com o acionamento monitorado pelo sistema de controle. Este conjunto forma então uma cadeia cinemática aberta, onde a posição do último elo depende da posição das juntas anteriores.

A primeira junta está normalmente montada sobre uma superfície fixa, que chamamos de base. No último elo existe um flange para a montagem do efetuador, que se chama punho.

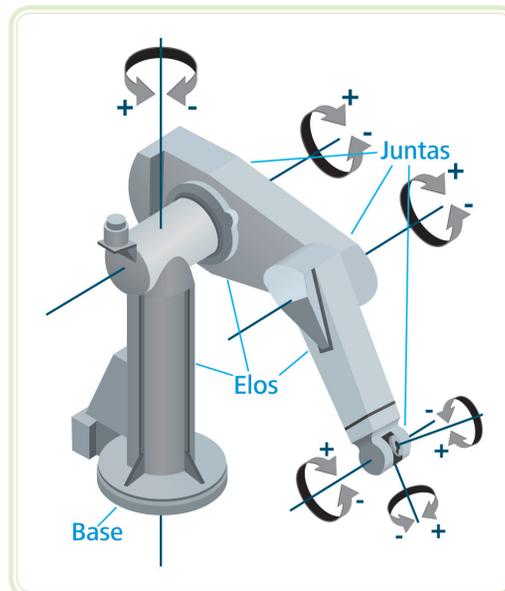


Figura 4.1: Componentes de um robô industrial

Fonte: CTISM

As juntas de um robô podem ser de dois tipos:

- **Revolução** – juntas rotativas, com movimentos angulares.
- **Prismáticas** – onde há um movimento linear entre os elos.

Obviamente não há necessidade de todas as juntas de um robô manipulador serem de um mesmo tipo, podendo compor a cadeia cinemática com qualquer combinação de juntas de revolução e prismáticas, conforme a aplicação projetada.

4.3 Classificação dos robôs

Um robô industrial pode ser classificado de diversas formas, como:

- Graus de liberdade.
- Geometria da cadeia cinemática.

4.3.1 Graus de liberdade

O número total de juntas do manipulador é conhecido com o nome de graus de liberdade ou *dof* em inglês. Um manipulador típico possui 6 graus de liberdade, ou seja, é formado por 6 juntas. Um robô de 6 graus de liberdade tem a capacidade de posicionar a peça em qualquer ponto do espaço, e com qualquer orientação. As 3 primeiras juntas são de posicionamento do efetuador dentro do espaço de trabalho (coordenadas X, Y e Z) e as outras 3 servem para obter uma orientação do efetuador adequada para segurar o objeto.

Na Figura 3.1 temos a configuração de um robô Unimate, onde as juntas 1 e 2 são de revolução e a junta 3 é prismática. Com essas 3 juntas é possível posicionar o efetuador em qualquer lugar no espaço de trabalho do robô.

Na Figura 4.2 temos as juntas de rotação 4, 5 e 6 formando o punho do robô. Podemos ver que estas 3 juntas permitem movimentar o efetuador em todas as direções, permitindo posicioná-lo em qualquer orientação desejada.

Apesar de necessitarmos 6 graus de liberdade para permitir a completa liberdade de posição do efetuador, são comuns aplicações onde são necessárias apenas 4 ou 5 graus, especialmente aplicações de pegar e posicionar peças (*pick-and-place*).

4.3.2 Geometria da cadeia cinemática

Essa classificação é definida pela anatomia do robô, ou seja, os tipos de juntas utilizados em seus três primeiros elos são:

- **Articulados**
- **Cartesianos**
- **Paralelos**
- **SCARA**

4.3.2.1 Robôs articulados

Possuem todas as juntas de revolução, conforme a Figura 4.2. São os chamados braços mecânicos. Possuem uma grande liberdade de movimentos, e apresentam um espaço de trabalho de forma complexa. Por sua versatilidade, robustez mecânica, construção relativamente 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.

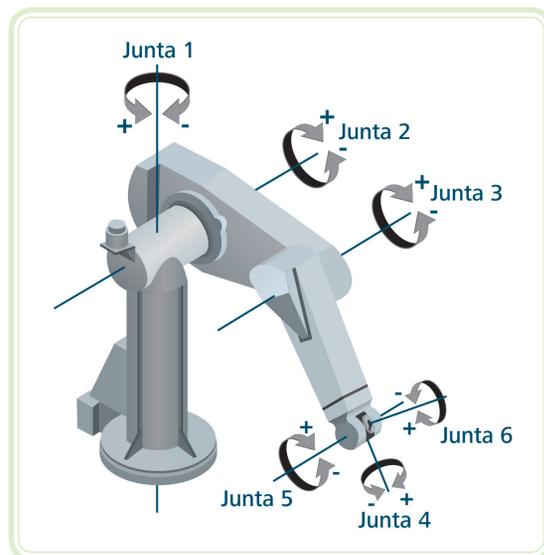


Figura 4.2: Robô articulado com 6 graus de liberdade

Fonte: CTISM

4.3.2.2 Robôs cartesianos

São caracterizados por terem três juntas prismáticas, ou seja, há três eixos lineares, formando um envelope de trabalho na forma de um cubo, conforme mostra a Figura 4.3. São utilizados onde se necessita de uma ampla área de

trabalho, podendo acessar os componentes normalmente pela parte superior, em alguns casos chegando a ser verdadeiras pontes rolantes automatizadas.

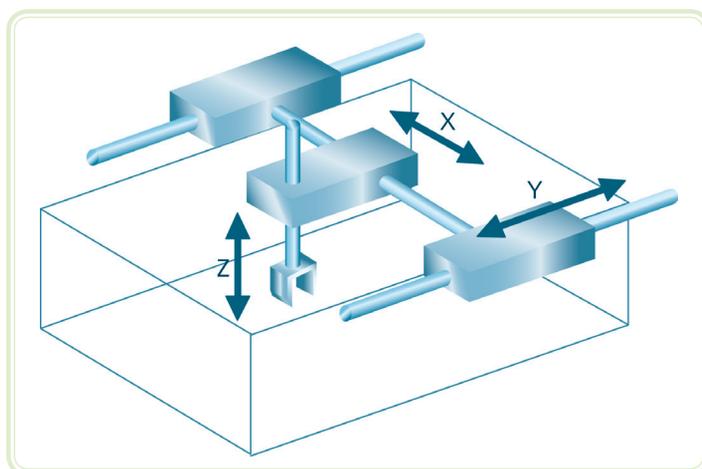


Figura 4.3: Robô cartesiano
Fonte: <http://prime.jsc.nasa.gov/rov/images/cartesian.gif>

4.3.2.3 Robôs paralelos

Possuem três ou mais eixos montados em uma configuração especial, ligados em paralelo, formando uma cadeia cinemática fechada, conforme mostra a Figura 4.4. Isto torna o controle desses robôs bastante complexo, porém também permite velocidades de trabalho muito altas. Em geral são os robôs mais rápidos. Amplamente utilizados em sistemas de "pick-and-place", ou seja, pegar componentes e posicioná-los, principalmente em linhas de embalagem.



Figura 4.4: Robô paralelo
Fonte: http://www.plantautomation-technology.com/contractor_images/adept-technology-gmbh/robotic-systems.jpg

4.3.2.4 Robôs SCARA

É uma configuração especial dedicada às atividades de montagem, normalmente com apenas 4 graus de liberdade. Nesse tipo de robô, os 3 primeiros eixos são de revolução, e o quarto eixo é prismático, todos posicionados na vertical, como mostra a Figura 4.5. Essa configuração torna o robô bastante simples e, portanto, barato, permitindo ainda grande precisão de posicionamento. Amplamente utilizado na indústria eletrônica para a montagem automática de componentes em placas de circuito impresso.



Figura 4.5: Robô SCARA

Fonte: Adaptado de http://www.eurobots.net/files/schemes/det_68_robot_system.jpg

4.4 Especificações de um robô industrial

Além das características construtivas básicas estudadas anteriormente, os robôs industriais possuem uma série de características que devem ser levadas em consideração:

Capacidade de carga – é a máxima carga que o robô consegue manipular. Deve-se considerar o peso do atuador (garra) mais o peso da peça. Leva-se em consideração não apenas a força disponível, mas também a rigidez do robô e as acelerações que ocorrem durante os movimentos. Robôs industriais podem ter capacidade de carga de até mais de uma tonelada, como podemos ver no exemplo de um robô Fanuc na Figura 4.6.

Espaço de trabalho – é a região do espaço que o punho do robô consegue alcançar, definida pelos limites de movimentos de seus elementos. Devido a

geometria das juntas e elos, normalmente é um espaço complexo. Simplificando define-se como alcance horizontal a maior distância que o robô pode alcançar, em relação ao centro de sua base.

Precisão – normalmente especificada pela repetibilidade do robô. Expressa a diferença máxima com o qual o robô consegue repetir uma posição do seu punho. Por exemplo, um robô com repetibilidade de 0,1 mm consegue posicionar uma peça em qualquer local de seu espaço de trabalho com uma variação de posição máxima de 0,1 mm entre um movimento e outro.

Velocidade – normalmente é especificada a velocidade angular máxima dos eixos do robô, em graus por segundo. Essa velocidade reflete a velocidade com que o robô consegue mover as peças.



Figura 4.6: Robô industrial com capacidade de carga de 1.200kg e alcance horizontal de 4,6m
Fonte: www.fanucrobotics.com

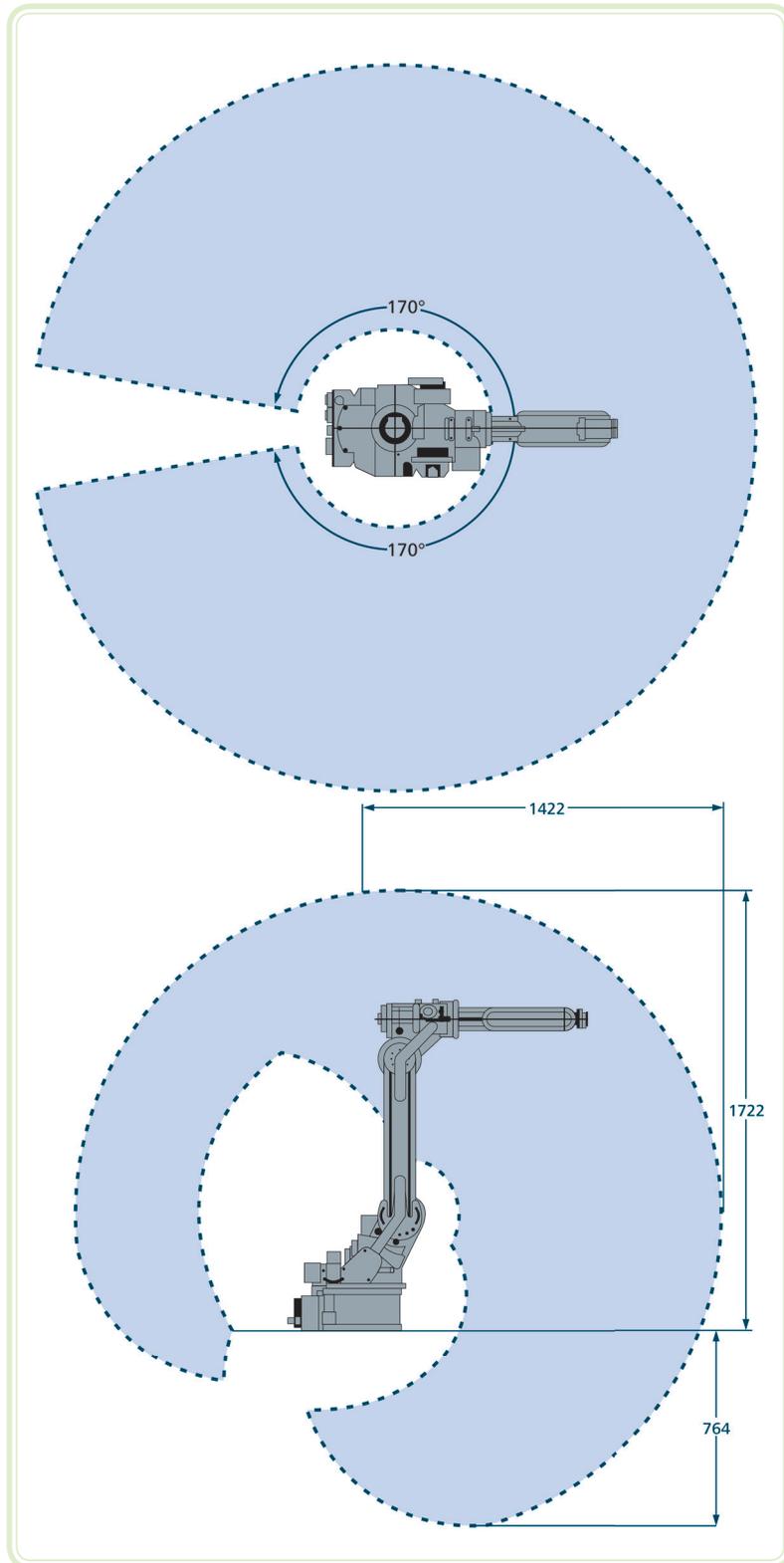


Figura 4.7: Espaço de trabalho do robô Motoman MH6-S
 Fonte: CTISM, adaptado de www.motoman.com – catálogo do produto

4.5 Tipos de programação

A grande vantagem dos robôs é a facilidade de serem reprogramados para realizar as mais variadas tarefas, porém esta reprogramação implica custos que devem ser minimizados.

O programa de um robô consta basicamente de uma sequência de pontos no espaço por onde o robô deve se mover. Esses pontos formam a trajetória do robô. Essa trajetória pode conter paradas, pontos onde o atuador deve ser ligado ou desligado (garra, tocha de solda, ...) e também pode possuir uma lógica que interaja com outros elementos da instalação através das interfaces disponíveis do robô (sensores, câmeras, comunicação em rede, ...)

Podemos citar 3 modos de programação:

- Programação *on-line*.
- Programação *off-line*.
- Programação híbrida *off/on-line*.

4.5.1 Programação *on-line*

Essa programação é feita diretamente no robô. Foi o primeiro sistema de programação e ainda é bastante utilizado, pois é o mais simples.

O robô é movimentado manualmente através de sua interface e os pontos e ações são memorizados individualmente.

Por exemplo, o programador move o robô através do *teach pendant* e memoriza as sequências de carga e descarga de peças.

Nesse modo de programação, podemos observar algumas vantagens e desvantagens:

Vantagens

- Facilmente acessável. Normalmente é um modo de controle padrão do robô.
- Pode ser realizada pelo próprio operador.

Desvantagens

- Exige parada na produção.
- É lenta, pois por questões de segurança o robô trabalha em velocidades baixas durante a programação.
- Custo da hora de programação é equivalente ao da hora de produção.
- Erros do programador podem resultar em danos ao robô.
- Operações lógicas e cálculos são difíceis de serem implementados.
- Pouca documentação sobre o programa.

Como os robôs industriais representam investimentos de alto valor é de se esperar que tenham também fatores de utilização elevados. Com isso a necessidade de parada para programação é uma desvantagem muito forte da programação *on-line*. Some-se a isso a tendência a termos programas cada vez maiores e mais complexos.

4.5.2 Programação *off-line*

Na programação *off-line* o programa é gerado fora do controlador do robô, normalmente em um PC, e, portanto, podemos ter uma série de ferramentas para auxiliar nesta programação.

Estas ferramentas podem ser desde simples editores de texto com verificação de sintaxe até complexos sistemas de simulação em 3 dimensões.

Há também uma série de vantagens e desvantagens:

Vantagens

- Não necessita parada da máquina durante a elaboração do programa.
- Custo independente da hora de produção.
- Fácil verificação do programa através de ferramentas de simulação e visualização.

- Pode ser bem documentado.
- Existem pacotes disponíveis para geração automática de trajetórias de solda, corte, etc.
- Pode-se analisar e refinar os processos de uma célula antes da instalação, ou mesmo de aquisição dos equipamentos.

Desvantagens

- Investimento em ferramentas (*software*) de programação *off-line*.
- Necessita de programadores especializados.
- Necessita de um modelo completo da célula de manufatura.
- Pontos são memorizados através do modelo, necessitando-se de um ajuste fino *on-line*, ou o uso de sensores.

Com o grande desenvolvimento da informática essas ferramentas, e principalmente o poder de processamento necessário, estão se tornando cada vez mais acessíveis. Também temos a favor o fato de que o projeto das células de manufatura estão migrando rapidamente para a modelagem em 3D, tornando disponíveis os modelos necessários para simulação.

4.5.3 Programação híbrida

É basicamente a otimização do processo de programação onde se aproveitam as vantagens de cada método, ou seja, a lógica é programada e testada *off-line* com o cuidado de permitir que os pontos possam ser adquiridos e/ou ajustados *on-line*.

Com isso obtém-se uma grande flexibilidade para ajustar o programa a qualquer mudança no *layout* da célula.

Resumo

Quando pensamos em um robô industrial, logo imaginamos um braço robótico. Vimos que um robô industrial pode possuir uma variedade muito grande de configurações, tais como robôs articulados, paralelos ou SCARA, variando conforme as necessidades de cada aplicação.

Além dos tipos de robô, vimos que eles também se caracterizam por sua capacidade de carga, espaço de trabalho, precisão e velocidade.

A programação pode ser feita de forma online, *off-line* ou híbrida. Cada um desses métodos possui suas vantagens e desvantagens.



Atividades de aprendizagem

1. Como se apresenta um robô industrial manipulador?
2. Qual é a estrutura mecânica de um robô industrial?
3. Quais os principais tipos de robôs quanto a sua cadeia cinemática?
4. Quais os métodos de programação utilizados com os robôs industriais?
5. Cite as principais características de um robô industrial.

Aula 5 – Controle numérico computadorizado – CNC

Objetivos

Apresentar o histórico do CNC e as vantagens de sua utilização.

Apresentar os tipos de máquinas que utilizam a tecnologia CNC.

Identificar estrutura e componentes das máquinas-ferramentas CNC.

Definir programação e os métodos.

Conhecer e identificar os movimentos e configurações das máquinas-ferramentas CNC.

Conhecer alguns códigos e funções de programação.

Apresentar exemplo de programa de usinagem de peça.

5.1 Histórico

No início da década de 1950 um convênio foi firmado entre a Força Aérea Norte-Americana e o Instituto de Tecnologia de Massachusetts (M.I.T.) para o desenvolvimento de uma nova máquina-ferramenta, capaz de fabricar rapidamente peças com geometria extremamente complexa. A equipe do Dr. John Pearson adaptou a uma fresadora convencional um complexo sistema eletromecânico, que controlava a movimentação das ferramentas e peças na máquina.

Esse sistema utilizava, basicamente, um grande número de relés conectados por cabos. Estava sendo desenvolvida a primeira máquina de comando numérico.

Já no final de 1962, todos os maiores fabricantes de máquinas-ferramentas estavam empenhados na fabricação de máquinas com comando numérico.

Com os recentes desenvolvimentos da microeletrônica, da automação e o aparecimento de novos tipos de computadores, em especial os microprocessadores, permitiram criar uma nova geração de sistemas de controle numérico que aumentaram necessariamente a rentabilidade do CN e seu campo de aplicação.

Esses desenvolvimentos na eletrônica tornaram viável a utilização do computador juntamente com os processos de usinagem dos metais, caracterizando a máquina de controle numérico computadorizado (CNC). A produção de máquinas-ferramentas de controle numérico computadorizado tem registrado um aumento significativo a partir de 1975. No Brasil, o primeiro torno fabricado por controle numérico data de 1971, pela empresa Romi.

Atualmente as empresas investem maciçamente em tecnologia, procurando aumentar a produtividade e a qualidade dos produtos sem aumento nos custos de fabricação, condições essenciais para a sua sobrevivência em uma economia globalizada.

O comando numérico computadorizado fornece uma série de vantagens quando comparado aos métodos de usinagem convencionais. Além da economia no processo de usinagem podem-se citar:

- Aumento na produtividade.
- Facilidade de programação e controle de produção.
- Troca automática de velocidades.
- Redução de custos em controle de qualidade, aumento da qualidade.
- Padronização de ferramentas, ferramentas intercambiáveis.
- Alta versatilidade de operações.
- Aumento do controle em operações complexas.
- Possibilidade de simulações de usinagem.
- Redução da quantidade de máquinas.
- Aumento da vida útil de máquinas e ferramentas.
- Aumento do controle sobre desgaste de ferramentas.
- Alta flexibilidade de produção.

- Aumento da repetibilidade das peças.
- Maior segurança do operador.
- Redução do custo e produção mais rápida de protótipos de peças.

5.2 O que é controle numérico?

Considera-se controle numérico (NC - *Numerical Control*) uma forma de automação programável de dispositivos capazes de dirigir os movimentos de posicionamento de um órgão mecânico em que os comandos relativos a esse movimento são elaborados de forma totalmente automática, a partir de informações numéricas ou alfanuméricas (números, letras ou outros símbolos) definidas, manualmente ou através de um programa.

5.3 Componentes básicos do NC

Um sistema de controle numérico consiste em três componentes básicos:

- Programa de instruções.
- Unidade de controle da máquina.
- Equipamentos de processamento.

A relação entre os três componentes é ilustrada na Figura 5.1. O programa é alimentado na unidade de controle que dirige o equipamento de processamento.



Figura 5.1: Componentes básicos de um sistema NC

Fonte: Adaptado de http://www.romi.com.br/fileadmin/editores/mf/catalogos/portugues/cat_linha_romi_d__d1500__po__ac_30-04-2010.pdf

O programa de instruções são comandos detalhados passo a passo que direcionam o equipamento de processamento. Na sua forma mais comum, os

comandos se referem à situação de um eixo de máquina-ferramenta com relação à mesa de trabalho na qual a peça é fixada. Instruções mais avançadas incluem a seleção de velocidades do eixo, ferramentas de corte, e outras funções. O programa é codificado em um meio adequado para a introdução na unidade de controle da máquina. Durante muitas décadas o meio mais empregado era o de uma fita perfurada. Posteriormente empregaram-se fitas magnéticas e disquetes. Atualmente as máquinas podem vir equipadas com porta PCMCIA para cartão de memória, porta serial (RS232) e comunicação via *internet*.

A unidade de controle da máquina (MCU) consiste na eletrônica e *hardware* de controle que lê e interpreta o programa de instrução e o converte em ações mecânicas da máquina-ferramenta ou outro equipamento.

O equipamento de processamento é o terceiro componente básico de um sistema NC. É o componente que realiza um trabalho útil. No exemplo mais comum de controle numérico, é aquele que executa operações de usinagem, consistindo numa mesa de trabalho e eixos, bem como de motores e controles necessários para conduzi-los.

5.4 Máquina NC versus CNC versus DNC

É importante conhecer a diferença entre os tipos de controles numéricos. O sistema NC (*Numerical Control* – Controle Numérico) surgiu por volta de 1951, com enfoque principal no controle automático dos movimentos de uma máquina-ferramenta, baseado num programa previamente definido.

Então, por volta de 1965, surgiram os sistemas DNC (*Direct Numerical Control* – Controle Numérico Direto). Por serem criados depois dos sistemas NC, sua prioridade voltava-se ao uso de computadores com grande capacidade e velocidade para controlar várias máquinas NC.

O CNC (*Computer Numerical Control* – Controle Numérico Computadorizado), o sistema atualmente mais utilizado, foi desenvolvido mais tarde, em torno de 1970 e envolve a utilização da tecnologia de computadores conjuntamente com a máquina-ferramenta. Com esse sistema é possível fazer modificações de programas nas máquinas, compensação de ferramentas, dentre outros.

5.5 Tipos de máquinas CNC

Atualmente, existem diversos tipos de máquinas CNC que são utilizadas nas mais variadas áreas e setores de produção principalmente na metalúrgica e metal-mecânica.

A gama de modelos de máquinas CNC vai desde máquinas-ferramentas de furar ou de fresar com 2 eixos, até sofisticados equipamentos capazes de controlar um determinado processo de produção. As suas dimensões e capacidades variam conforme as opções de cada máquina, mantendo, no entanto como fator comum o fato de poderem ser programadas.

Os tipos mais comuns de máquinas-ferramentas CNC utilizados na indústria são os tornos CNC, as fresadoras, os centros de usinagem, as máquinas de eletroerosão por penetração e a fio, e as injetoras CNC. Existem, no entanto, outras máquinas de controle numérico como, as retificadoras, os centros de furação, as mandriladoras, as máquinas de medir por coordenadas, as prensas, as dobradeiras de perfis e de tubos, as puncionadeiras, as máquinas de corte por laser, as máquinas de corte por água. As Figuras 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5 ilustram alguns tipos de máquinas CNC.



Figura 5.2: Torno CNC Universal Centur 35D produzido empresa ROMI

Fonte: http://www.romi.com.br/mf_centur_30d_35d000000.0.html?&l=0.



Figura 5.3: Centro de usinagem "Hexapod" M-600V, produzido pela empresa Okuma
Fonte: <http://www.okuma.com/products/machines/vmc/pm600v/pm600v/>



Figura 5.4: Injetora de polímeros Allrouder H, produzido pela empresa Arburg
Fonte: http://www.arburg.de/comBRptarburgtopicalnewsnews_item071107.jsp

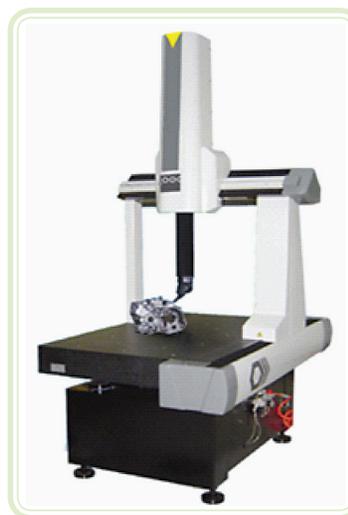


Figura 5.5: Máquina de medir por coordenadas Inspector BR, produzido pela empresa Hexagon Metrology
Fonte: <http://www.hexagonmetrology.com.br/index.jsp?conteudo=184>.

5.6 Estrutura e componentes de máquinas-ferramentas CNC

As máquinas-ferramentas CNC devem apresentar bons resultados de rigidez e absorção de vibrações, além de garantirem estabilidade térmica e geométrica. A Figura 5.6 ilustra a estrutura de um centro de usinagem onde podem ser verificados alguns dos seus componentes.



Figura 5.6: Estrutura e componentes de um centro de usinagem CNC

Fonte: Adaptado de http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/Catalogos/Portugues/cat_linha_romi_D__D1500__po_ac_30-04-2010.pdf

As máquinas CNC foram criadas a partir de máquinas convencionais. Apesar disto, muitos de seus componentes tiveram de ser reprojatados com o propósito de atender as exigências de qualidade e produtividade. Algumas máquinas CNC têm características específicas, variando em função do tipo do processo produtivo, porém algumas características são comuns.

A parte mecânica é formada por conjuntos estáticos e dinâmicos cada vez mais precisos. As guias comuns das máquinas foram substituídas por guias temperadas e de materiais especiais que possibilitam a diminuição do atrito e das folgas, pois como a produção foi aumentada, as máquinas CNC necessitaram de maior resistência ao desgaste, Figura 5.7.



Figura 5.7: Conjunto de movimentação e apoio

Fonte: Adaptado de http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/Catalogos/Portugues/cat_linha_romi_D__D1500__po_ac_30-04-2010.pdf

- As massas móveis das máquinas devem de ser diminuídas em função do aumento das velocidades do processo de usinagem.
- Maior rigidez estática e dinâmica da máquina para assegurar precisão de posicionamento e aumentar a capacidade de remoção de material.
- Existência de trocadores automáticos de ferramentas (Figuras 5.6 e 5.8).



Figura 5.8: Trocador automático de ferramentas

Fonte: http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/Catalogos/Portugues/cat_linha_romi_D__D1500__po_ac_30-04-2010.pdf

- A ação de componentes eletromecânicos (motores e transdutores) para produzir e controlar os movimentos das partes mecânicas da máquina (movimentação da ferramenta, movimentação da peça, determinação da velocidade de giro do fuso), ilustrado na Figura 5.6.

- Sistemas de medição de deslocamentos robustos de maior precisão, capazes de resistir ao ambiente industrial e a vibrações (Figura 5.9).



Figura 5.9: Réguas ópticas

Fonte: http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/Catalogos/Portugues/cat_linha_romi_D__D1500__po_ac_30-04-2010.pdf

- Motores de acionamento dos avanços e posicionamentos de baixa inércia e elevado torque.
- Motores de acionamento do eixo principal da máquina de elevada potência e capacidade de variação contínua de velocidade (Figuras 5.6 e 5.10).



Figura 5.10: Motor de acionamento do eixo principal e motor de acionamento do eixo árvore

Fonte: http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/Catalogos/Portugues/cat_linha_romi_D__D1500__po_ac_30-04-2010.pdf

- Controles de potência de avanço e velocidade.
- Previsão de local para esteira removedora de cavacos.



Figura 5.11: Transportador de cavacos

Fonte: http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/Catalogos/Portugues/cat_linha_romi_D__D1500__po_ac_30-04-2010.pdf

5.7 Eixos e movimentos

Eixo é uma direção segundo a qual se podem programar os movimentos relativos entre a ferramenta e a peça de forma contínua e controlada.

Na técnica CNC, os eixos principais são classificados como eixos geométricos. Os eixos de movimento coincidem com os eixos dos sistemas de coordenadas cartesianas (X, Y e Z), sendo que os sentidos dos eixos são determinados pela regra da mão direita (Figura 5.12), conforme DIN 66217.

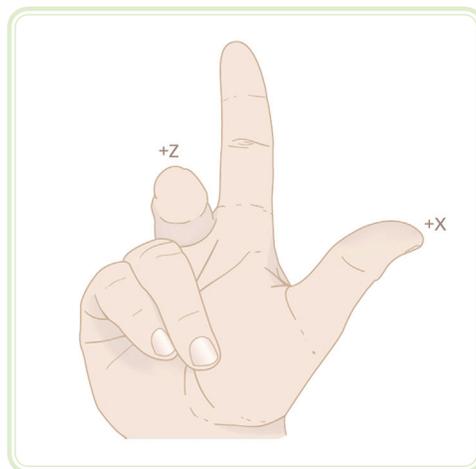


Figura 5.12: Regra da mão direita

Fonte: <http://www.faatesp.edu.br/publicacoes/CNC%20Aula5.pdf>

Para cada eixo cartesiano, foi associado um eixo de rotação, a saber:

- **Eixo A** – rotação em torno do eixo X.
- **Eixo B** – rotação em torno do eixo Y.
- **Eixo C** – rotação em torno do eixo Z.

A Figura 5.13 ilustra o sistema de coordenadas de três eixos juntamente com os eixos de rotação.

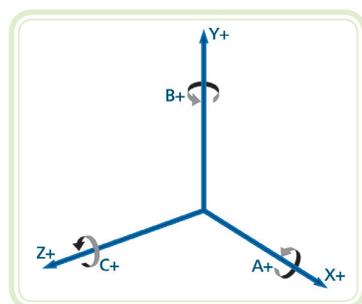


Figura 5.13: Sistema de coordenadas

Fonte: <http://www.faaatesp.edu.br/publicacoes/aula6.pdf>

Foi adotada internacionalmente a convenção de orientar o eixo Z em sentido paralelo ao eixo-árvore da máquina, contendo o movimento principal de corte. O sentido positivo do eixo Z é aquele no qual a ferramenta se afasta da peça.

5.8 Configurações de algumas máquinas-ferramentas CNC

Os movimentos das máquinas operatrizes CNC que dão origem à geometria da peça, são comandados e controlados pelo comando da máquina. Para que isso seja possível, o comando deve receber a informação que lhe permite reconhecer qual dos carros, mesas, cabeçotes ou árvores de rotação ele deve comandar e controlar num dado instante.

O programa CNC é que fornece essas informações, através de designações normalizadas das direções e sentido dos movimentos dos componentes da máquina (Figuras 5.14 e 5.15).

Muitas máquinas CNC permitem o movimento rotativo da mesa de trabalho e do cabeçote da árvore (Figura 5.16), dando maior flexibilidade à máquina que pode através disso usinar diversos lados da peça com diferentes ângulos

de posicionamento. Esses eixos rotativos da mesa e do cabeçote possuem comandos próprios e independentes dos eixos direcionais básicos dos carros.

Para peças especiais são usadas máquinas com mais eixos além dos três básicos principais (Figura 5.16). Os centros de usinagem são um exemplo disso pois, além dos eixos básicos principais de avanço, eixos rotativos da mesa e cabeçote frequentemente possuem um eixo de avanço adicional. Eixos de avanços adicionais aos eixos X, Y e Z são designados de maneira geral pelas letras U, V e W.

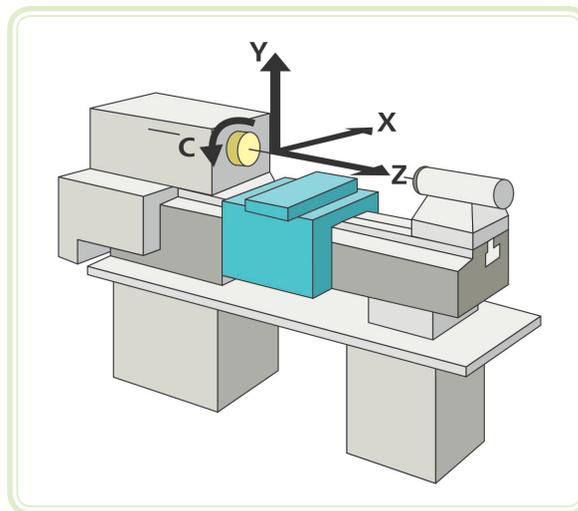


Figura 5.14: Máquina-ferramenta com dois eixos coordenados

Fonte: CTISM, adaptado de http://www.etepiracicaba.org.br/apostilas/mecanica/mecanica_3ciclo/automacao_cnc.pdf

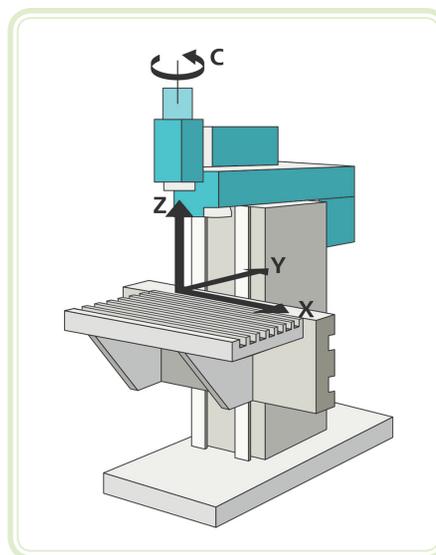


Figura 5.15: Máquina-ferramenta com três eixos coordenados

Fonte: CTISM, adaptado de http://www.etepiracicaba.org.br/apostilas/mecanica/mecanica_3ciclo/automacao_cnc.pdf

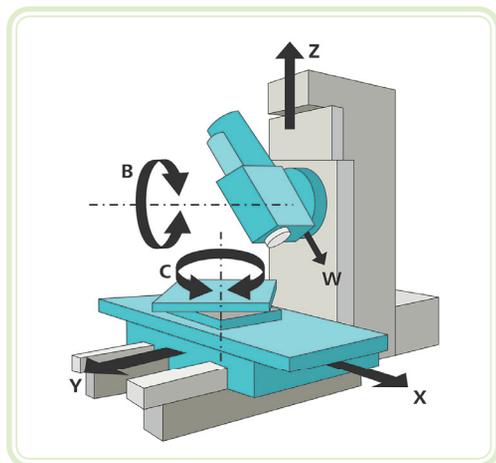


Figura 5.16: Máquina-ferramenta com seis eixos coordenados

Fonte: CTISM, adaptado de http://www.etepiracicaba.org.br/apostilas/mecanica/mecanica_3ciclo/automacao_cnc.pdf

5.9 Programação de máquinas CNC

O programador precisa conhecer todos os parâmetros envolvidos no processo de fabricação e obter uma solução adequada para cada tipo de peça. Analisando os recursos da máquina, dispositivos, ferramentas e o desenho da peça é possível determinar a sequência de operações mais apropriada para fabricação.

5.9.1 Métodos de programação e linguagens

Na programação podem ser utilizados três métodos distintos, segundo a complexidade da peça e os cálculos necessários para a obtenção do programa da peça.

- **Programação direta na máquina (MDI)** – nesse método, o programador, com a geometria à disposição, define o percurso da ferramenta e transforma-o em linguagem de máquina. É utilizado em eventuais modificações, para otimização de programas na máquina e na programação de peças relativamente simples.
- **Programação manual** – nesse caso, o programador interpreta o desenho da peça, calcula os pontos da trajetória da ferramenta, elabora o programa manualmente e o digita diretamente na máquina. Esse tipo de programação tem sido facilitado pela utilização de ciclos automáticos, sendo de fácil execução para geometrias não muito complexas.
- **Programação auxiliada por computador** – neste método, os cálculos são efetuados com o auxílio de um computador e de programas dedicados que elaboram o programa da peça. Esse método é hoje conhecido como programação *Computer Aided Manufacturing (CAM)*.

A primeira linguagem de programação utilizada foi a *Automatic Programmed Tool* (APT). Atualmente é utilizada como ferramenta auxiliar na programação de peças com geometrias muito complexas, principalmente para máquinas de 4 e 5 eixos.

A maioria dos Controles Numéricos Computadorizados seguem os códigos normalizados da *International Standard Organization* ISO 1056 (comumente chamado de código G) e da Associação Alemã de Normas Técnicas DIN 66025. Esses códigos, colocados em uma sequência lógica, permitem que a máquina-ferramenta execute os movimentos entre a ferramenta e a peça. Essa movimentação torna possível a usinagem de uma peça.

Atualmente existem diversas linguagens comerciais de programação de máquinas CNC baseadas na norma ISO, tais como Fanuc, Mach e Siemens e Mitsubishi.

Alguns códigos G utilizados na programação de máquinas-ferramentas CNC que empregam comando Fanuc Oi MC estão a seguir:

Funções preparatórias G

- G00 Posicionamento rápido.
- G01 Interpolação linear.
- G02 Interpolação circular no sentido horário.
- G03 Interpolação circular no sentido anti-horário.
- G17 Seleciona o plano de trabalho "XY".
- G21 Entrada de dados em milímetros.
- G40 Cancela a compensação de raio de ferramenta.
- G41 Ativa a compensação de raio de ferramenta (esquerda).
- G43 Ativa a compensação do comprimento da ferramenta.
- G49 Cancela compensação de comprimento de ferramenta.

- G53 Sistema de coordenadas de máquina.
- G54 1º Sistema de coordenada de trabalho.
- G73 Ciclo de furação com quebra de cavaco.
- G76 Ciclo de mandrilamento fino.
- G80 Cancela ciclos fixos do grupo 09.
- G84 Ciclo de roscamento com macho (rosca à direita).
- G90 Sistema de coordenadas absolutas.
- G91 Sistema de coordenadas incrementais.
- G95 Avanço em milímetro/polegada por rotação.

Funções miscelâneas

- M03 Sentido de rotação horário.
- M06 Libera troca de ferramenta.
- M08 Liga refrigerante de corte.
- M09 Desliga refrigerante de corte.
- M30 Fim de programa.
- M36 Abre porta automática (opcional).
- M37 Fecha porta automática (opcional).
- M98 Chamada de subprograma.
- M99 Desvio dentro do mesmo programa.

5.9.2 Exemplo de programa e usinagem de peça

O programa foi gerado para a usinagem da peça da Figura 5.17, ao lado, segundo os códigos de programação empregados pelo comando Fanuc Oi MC apresentados anteriormente.

- O0001 (Peça 0001)
- N10 G17 G21 G90 G94
- N20 G53 G00 Z0 G49
- N30 T2
- N40 M6
- N50 G54 S2500 M3
- N60 G00 X-70 Y-20
- N70 G43 H2 D2 Z5
- N80 G01 Z-10 F750
- N90 G41 X-50 Y0
- N100 Y40
- N110 X-11.36 Y84.8
- N120 G02 X11.36 R15
- N130 G01 X50 Y40
- N140 Y0 ,R5
- N150 X20
- N160 G03 X-20 R20
- N170 G01 X-45
- N180 G02 X-50 Y5 R5
- N190 G40 G01 X-70 Y-20
- N200 G53 G00 Z0 G49
- N210 M30

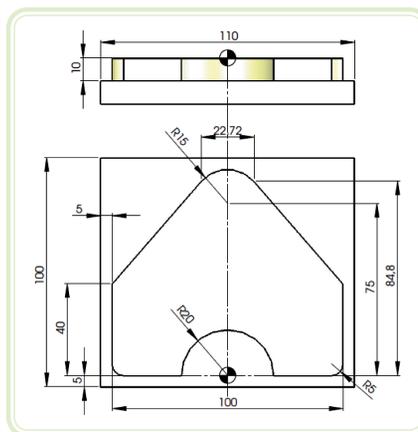


Figura 5.17: Peça exemplo O0001

Fonte: ROMI. Manual de programação e operação - Linha Romi D – CNC Fanuc Oi-Mc

A Figura 5.18 ilustra a usinagem em uma máquina-ferramenta CNC onde pode ser observada a peça que está sendo usinada, a mesa de coordenadas (eixos X e Y) e a ferramenta presa ao cabeçote, o qual possui o movimento de rotação e o movimento sobre o eixo Z.



Figura 5.18: Usinagem de uma peça em um centro de usinagem vertical

Fonte: http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/Catalogos/Portugues/cat_linha_romi_D__D1500__po_ac_30-04-2010.pdf

Resumo

O emprego de máquinas NC não é recente, mas remonta a década de 40 do século passado. Iniciou com aplicação em máquinas-ferramentas destinadas a usinagem de peças, mas se disseminaram para diversas outras áreas como a conformação e medição. Máquinas equipadas com essa tecnologia apresentam uma série de vantagens quando comparadas com as máquinas convencionais como flexibilidade e precisão. As máquinas NC foram projetadas a partir de máquinas convencionais, mas diversas partes mecânicas foram melhoradas para garantir as qualidades desejadas. Suas dimensões e capacidades variam conforme as opções de cada máquina mantendo, no entanto, como fator comum o fato de poderem ser programadas. A programação das máquinas pode ser realizada de forma direta na máquina (MDI), manual ou empregando programas dedicados (CAM).

Atividades de aprendizagem

1. Realizar uma pesquisa sobre aplicações do controle numérico em equipamentos anteriores à máquina-ferramenta desenvolvida pelo MIT.
2. Realizar uma comparação entre as características de construção das máquinas-ferramentas convencionais e das CNC, através de pesquisa.



3. Diferencie NC de CNC.
4. Pesquisa sobre DNC.
5. Fazer um trabalho sobre os tipos de linguagens comercialmente utilizados pelas máquinas-ferramentas CNC.
6. Elaborar a programação manual de uma peça torneada e outra fresada, empregando uma das linguagens pesquisadas no trabalho anterior.
7. Desenhar o esquema de uma máquina-ferramenta que emprega 6 eixos coordenados.
8. Pesquisar imagens de tipos de máquinas que são citadas mas não estão representadas na apostila.

Aula 6 – Redes industriais

Objetivos

Classificar em níveis os diferentes processos de uma rede de comunicação industrial – pirâmide da automação.

Apresentar os principais conceitos sobre redes de computadores e o modelo OSI.

Estudar as topologias de redes de comunicação.

Apresentar os diferentes meios de comunicação – canais físicos.

Estudar os principais protocolos de comunicação em redes industriais.

6.1 Introdução

Em um sistema de automação sempre encontramos elementos sensores, controladores e, atuadores e na maioria das vezes, interfaces homem máquina ou mesmo sistemas de supervisão para facilitar a comunicação entre o operador e o sistema.

A comunicação entre esses elementos é essencial para o alcance do objetivo final do processo. Chamamos de redes de comunicação industriais os diversos protocolos que viabilizam essa comunicação.

A divisão da rede industrial em diferentes níveis (Figura 6.1) tem como finalidade organizar a rede de comunicação conforme se associam os elementos principais que a compõem. Essa organização demanda algumas características particulares para cada nível.

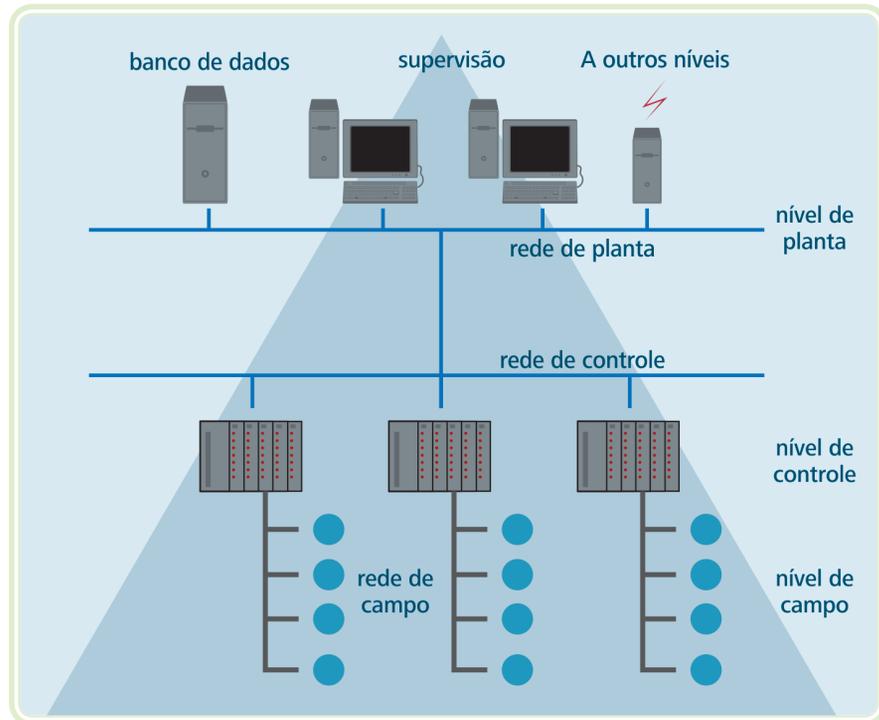


Figura 6.1: Pirâmide de automação: rede de comunicação industrial dividida em níveis
 Fonte: CTISM

No nível de supervisão, análise e otimização os elementos são, na maioria dos casos, computadores instalados em salas de controle, livres de alguns aspectos típicos de ambientes industriais, como poeira, vibração, temperaturas extremas, possibilitando o uso de soluções para redes corporativas, como os protocolos *Ethernet/TCP-IP*.

As redes de controle interligam elementos como CLPs e interfaces homem-máquina. As soluções para este nível demandam altas taxas de transmissão de dados e alta velocidade de transmissão (muitos sistemas exigem respostas em tempo real). Essas soluções tendem hoje a incorporar os protocolos *Ethernet/TCP-IP* com modificações devido ao ambiente adverso.

As redes de chão-de-fábrica cujos elementos são os sensores e atuadores, recebem várias denominações no Brasil e no exterior: barramentos de campo como uma tradução literal de *Fieldbus* ou ainda redes de barramento de entrada e saída como tradução de *I/O bus network*.

Redes são usadas para integrar os equipamentos presentes em um determinado subsistema responsável por parte do processo de produção. Cada subsistema adota o tipo de rede mais adequado para si, levando-se em conta o tipo de equipamento que é utilizado e os requisitos da atividade que são executados.

Subsistemas devem estar interligados para que sejam feitas a coordenação das atividades e a supervisão do processo produtivo como um todo.

Como resultado não há um tipo de rede que seja capaz de atender a todos os requisitos dos diversos subsistemas existentes em um ambiente industrial.

Os requisitos do ambiente industrial e seus processos de produção são geralmente diferentes daqueles presentes em redes locais de computadores. Tipos de rede específicos para o ambiente industrial podem ser necessários.

Requisitos de redes industriais

- Boa resistência mecânica.
- Resistência a chama, umidade e corrosão.
- Alta imunidade a ruídos.
- Taxa de erros baixa ou quase nula.
- Tempo de acesso e de propagação limitados.
- Tempo entre falhas baixo e tempo de reparo baixo.
- Boa modularidade e possibilidade de interconexão.

Características e requisitos básicos das redes industriais

- Comportamento temporal (tempo-real).
- Confiabilidade.
- Requisitos do meio ambiente.
- Tipo de mensagens e volume de informações.
- Conectividade/interoperabilidade (padronização).

As iniciativas mais importantes de padronização para redes industriais são:

- Projeto PROWAY.
- Projeto IEEE 802.
- Projeto MAP (MAP/EPA e MINI-MAP).
- Projeto TOP.
- Projeto FIELDBUS.

No final desta aula estudaremos alguns projetos de padronização que são mais considerados em aplicações industriais.

6.2 Redes de computadores

Podemos dizer que existe uma rede de computador quando há dois ou mais computadores interconectados e opcionalmente, um ou mais de um deles, conectados a um servidor.

Através da rede, os usuários podem executar tarefas de supervisão, controle e transferência de dados a partir de seus computadores.

Os módulos mais importantes de uma rede local são:

- Servidores.
- Estações.
- Dispositivos de rede.

6.2.1 Classificação das redes

As redes podem se caracterizar quanto à sua dispersão geográfica. Descrevem-se a seguir os quatro tipos principais:

LAN (Local Area Network) Rede Industrial Local – interconexão de computadores localizados em uma mesma sala ou em um mesmo prédio. Extensão típica: até aproximadamente 200 m. As tecnologias principais que uma LAN pode utilizar são a *Ethernet*, o *Token Ring*, o ARCNET e o FDDI.

CAN (Campus Area Network) – interconexão de computadores situados em prédios diferentes em um mesmo campus ou unidade fabril. Extensão típica: até aproximadamente 5 km.

MAN (Metropolitan Area Network) – interconexão de computadores em locais diferentes da mesma cidade. Pode usar a rede telefônica pública ou linha dedicada. Extensão típica: até aproximadamente 50 km.

WAN (Wide Area Network) Rede de Longa Distância – interconexão de computadores localizados em diferentes prédios em cidades distantes em qualquer ponto do mundo. Usa a rede telefônica, antenas parabólicas, satélites, etc. Extensão > 50 km.

6.3 Topologias das redes de comunicação

Topologia é a maneira como as estações estão associadas. Basicamente, há dois tipos de topologias: ponto-a-ponto e difusão.

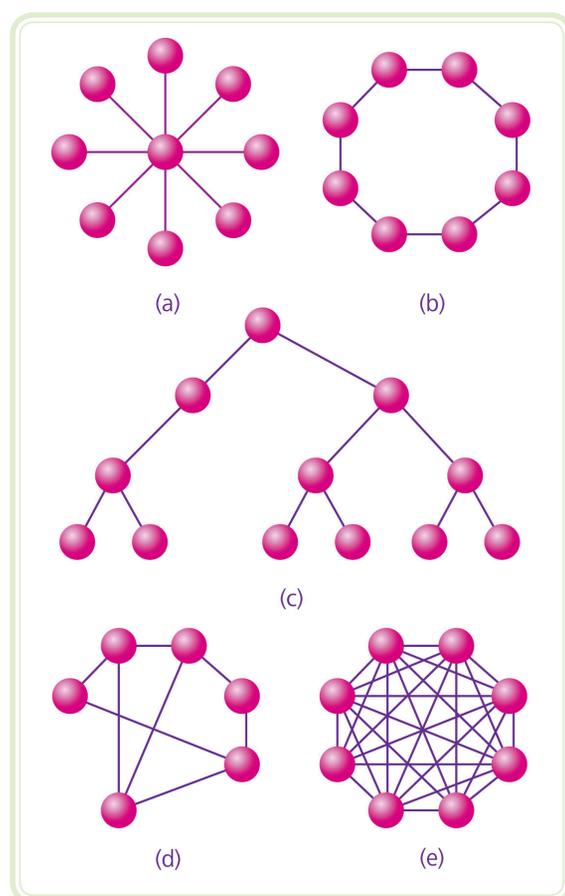


Figura 6.2: Topologias de redes ponto-a-ponto: (a) estrela, (b) anel, (c) árvore, (d) malha regular e (e) malha irregular

Fonte: CTISM

6.3.1 redes ponto a ponto

Rede composta de diversas linhas de comunicação associadas a um par de estações de cada vez.

Por exemplo, a comunicação entre estações não adjacentes é feita por estações intermediárias, política conhecida como *store-and-forward* ou “comutação de pacotes”. A maior parte das redes de longa distância é do tipo ponto a ponto.

As redes ponto a ponto podem ser concebidas segundo diferentes topologias (Figura 6.2):

- As redes locais ponto a ponto são caracterizadas normalmente por uma topologia simétrica.
- As redes de longa distância apresentam geralmente topologias assimétricas.

6.3.2 Redes de difusão

Rede composta por uma única linha de comunicação compartilhada por todas as estações (Figura 6.3).

- As mensagens são difundidas no canal e podem ser lidas por qualquer estação.
- O destinatário é identificado por um endereço codificado na mensagem.
- É possível se enviar mensagens para todas as estações (*broadcasting*) ou a um conjunto delas (*multicasting*) usando endereços reservados para estas finalidade.
- As topologias mais comuns são LAN e WAN.
- As redes de difusão requerem mecanismos de arbitragem de acesso para se evitarem congestionamentos na rede (centralizado ou distribuído).

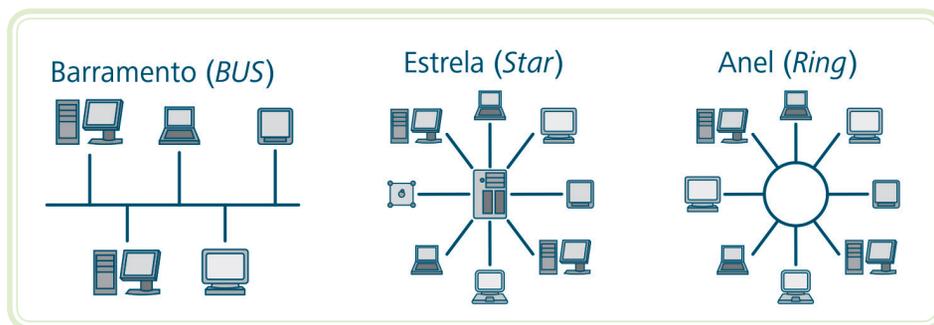


Figura 6.3: Redes de difusão: (a) barramento, (b) estrela e (c) anel

Fonte: Stemmer, 2001

6.4 Protocolos de comunicação

Estabelece as regras de como o processo de comunicação deve ocorrer para viabilizar de forma organizada a comunicação entre diferentes computadores de uma rede.

Os protocolos definem tipos de cabos de ligação, comprimentos dos cabos, tipos de conectores, métodos de acesso ao meio, tamanho de pacotes de informação, encaminhamento, detecção e correção de erros, retransmissões, compatibilidade entre sistemas, etc. Existem diversos protocolos, cada um deles mais ou menos adequado, dependendo das características da rede de comunicação. Vários protocolos trabalham em conjunto. Esse trabalho de interação entre diferentes tipos de protocolos é conhecido como pilha de protocolos (e.g., TCP/IP e IPX/SPX).

O que ocorre no computador de origem:

- Os dados são divididos em pequenos pedaços chamados pacotes para facilitar a sua manipulação.
- As informações de endereçamento são adicionadas para que o computador de destino possa ser localizado na rede.
- Os dados são preparados para o envio pela placa de rede e finalmente são lançados no meio de transmissão.
- Os pacotes chegam através de um meio físico e são lidos pelo computador através da placa de rede.

O que ocorre no computador de destino:

As informações de endereçamento são removidas dos pacotes que são rearranjados e reunidos.

Os pacotes já reunidos, na forma dos dados originais são enviados para a aplicação que esteja sendo executada nesse computador.

Os protocolos baseiam-se nas camadas do modelo OSI, sendo que a camada na qual o protocolo trabalha descreve sua função.

6.5 O modelo OSI

A crescente demanda por interconexão de computadores através de redes de comunicação resultou em uma necessidade que foi se tornando indispensável à medida que os desenvolvimentos nesse domínio foram se acentuando: a padronização das redes de comunicação.

Assim, iniciou-se uma reunião de esforços na **ISO** (*International Standards Organization*) visando à definição de uma proposta de arquitetura normalizada para as redes de comunicação.

Dada a grande diversidade de equipamentos e de soluções existentes, tornou-se necessária a padronização de um modelo (denominado Modelo de Referência) sobre o qual deveriam ser baseadas as arquiteturas de redes de comunicação, de forma a permitir a interconexão de equipamentos heterogêneos, tornando transparente ao usuário a forma como esta interconexão deveria ser implementada.

Um sistema fundamentado em tal modelo de referência é dito um sistema aberto, uma vez que este está aberto à comunicação com outros equipamentos de diferentes classes, fabricantes, modelos.

A proposta definida pela **ISO** foi denominada Modelo de Referência para a Interconexão de Sistemas Abertos ou **RM-OSI** (*Reference Model for Open Systems Interconnection*).

O modelo OSI é dividido em sete camadas funcionais, conforme ilustra a Figura 6.4, facilitando assim a compreensão de questões fundamentais sobre a rede. Na sequência, fala-se brevemente sobre cada uma dessas sete camadas.

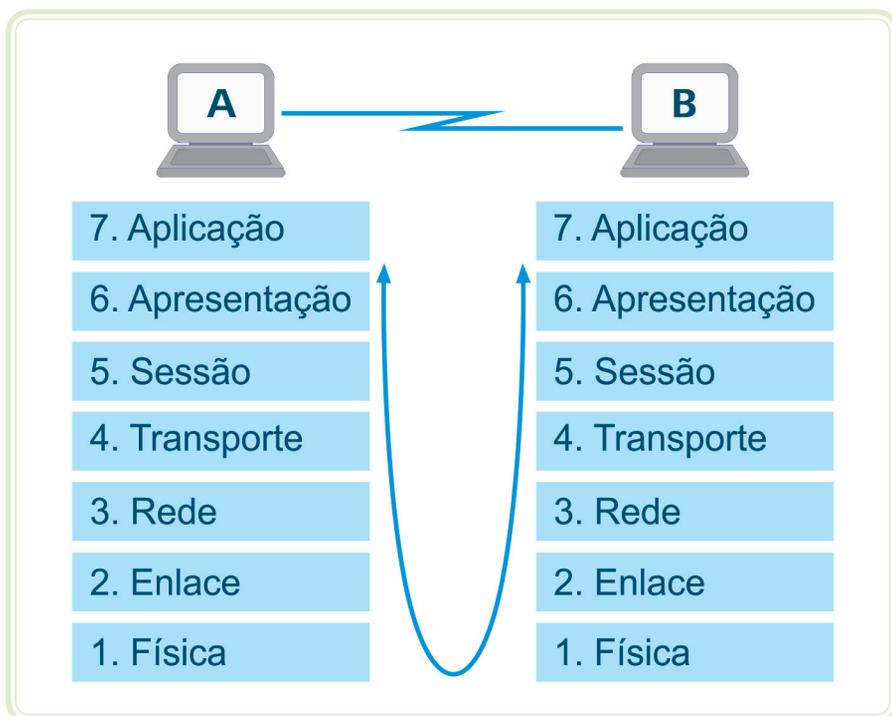


Figura 6.4: Diagrama ilustrativo do modelo OSI

Fonte: CTISM

Camada física (1) – compreende as especificações de *hardware* (eletrônicos, mecânicos, elétricos, etc.) respeitando as especificações definidas nos padrões internacionais. Nessa camada se estabelece a transmissão de *bits*, a definição de níveis de tensão, duração de um *bit*, taxa de transmissão, se a transmissão é mono ou bidirecional (*half- and full-duplex*), tipos de conectores considerados, etc.

Camada de enlace (2) – responsável pelo acesso lógico ao ambiente físico, como transmissão e detecção de erros, correção de erros, criação de limites dos quadros, reconhecimento do início e do fim de um quadro (sincronismo).

Camada de rede (3) – controla o tráfego e roteamento dos dados na rede (evita o congestionamento de dados). Permite conexão de redes heterogêneas: tradução de protocolos, endereçamento, conformação dos tamanhos dos pacotes, etc.

Camada de transporte (4) – controla a transferência dos dados e transmissões (isso depende do protocolo utilizado). Divide a mensagem em pedaços menores, envia à camada de rede e remonta no destino. Uma conexão de transporte pode gerar várias sessões de rede (para aumentar *throughput*).

Camada de sessão (5) – oferece mecanismos que permitem estruturar os circuitos oferecidos pelo nível de transporte. Gerenciamento de *token*: com o intuito de fornecer um serviço de intercâmbio de informações *half-duplex* em um circuito *full-duplex*. Ponto de sincronização: permite a retomada da transmissão de dados muito extensos (volta a transmitir do último ponto de sincronização confirmado).

Camada de apresentação (6) – transfere informações de um *software* de aplicação para o sistema operacional. Transformações típicas: compressão de dados e criptografia.

Camada de aplicação (7) – é representada pelo usuário final. Oferece aos processos de aplicação os meios para que eles utilizem os recursos OSI. Definem as funções de gerência e mecanismos de suporte à construção de aplicações distribuídas. Ex.: terminal virtual, transferência de arquivos, correio eletrônico, etc.

6.6 Meios de transmissão

Existem diferentes meios de comunicação que podem ser considerados no projeto de uma rede industrial, a saber:

6.6.1 Cabo coaxial

- Boas características elétricas.
- Resistências terminais.
- Conectores BNC fáceis de abrir.

6.6.2 Par trançado

- Usualmente usado com *HUB/Switcher*.
- Atualmente, solução mais usada para chão de fábrica.
- UTP (*Unshielded Twisted Pair*) CAT-5 / STP (*Shielded Twisted Pair*).

6.6.3 Fibra ótica

- Ótima para evitar perturbações eletromagnéticas.
- Dificuldade de realizar topologia em barramento.

- Mais usada em topologias ponto a ponto: anel, estrela, árvore.
- Emulação de bus com *HUB* ou *Switcher*.

6.6.3.1 Áreas de risco

São áreas que estão sujeitas a incêndio, explosão, presença de líquidos ou gases inflamáveis/explosivos. Nessas áreas de risco, em hipótese alguma, pode haver faiscamento.

Por essas razões é recomendável que em áreas de risco o condutor utilizado seja a fibra ótica. Afinal se um cabo de fibra ótica estoura ou rompe, a única coisa que irá sair dele é luz.

6.6.3.2 Modelo FISCO (*Fieldbus Intrinsically Safe Concept*)

Desenvolvido na Alemanha pelo PTB (*Physikalisch Technische Bundesanstalt*) e reconhecido mundialmente como modelo básico para operação de redes em áreas de risco de explosão ou incêndio.

Princípios de transmissão segundo modelo FISCO:

- Cada segmento possui uma única fonte de alimentação.
- Não se alimenta o barramento enquanto uma estação está enviando.
- Cada dispositivo de campo consome uma corrente constante em estado estacionário de pelo menos 10 mA, que alimenta o dispositivo.
- Os dispositivos de campo funcionam como uma carga passiva de corrente.
- Existe uma terminação passiva em ambos os extremos da rede.
- Topologias permitidas: linear, em árvore e em estrela.

6.7 Projetos de padronização de redes industriais

Como se sabe, as redes industriais são utilizadas para viabilizar a comunicação entre os equipamentos presentes em um determinado subsistema responsável por parte do processo de produção. Cada subsistema adota o tipo de rede mais adequado para si, levando em conta o tipo de equipamento que utiliza

e os requisitos da atividade que executa. Subsistemas devem estar interligados para que seja possível se realizar o controle, a coordenação das atividades e a supervisão do processo produtivo como um todo.

Infelizmente, não há um único tipo de rede que seja capaz de atender a todos os requisitos dos diversos subsistemas existentes em um ambiente industrial.

Geralmente, as necessidades dos processos industriais são diferentes daqueles presentes em redes de computadores. Portanto, o ambiente industrial exige que a rede tenha características específicas que atendam as necessidades do processo considerado.

Alguns tipos de requisitos normalmente encontrados em redes industriais:

- Resistência mecânica elevada.
- Resistência a chama, umidade e corrosão.
- Alta imunidade a ruídos.
- Taxa de erros baixa (próxima de zero).
- Tempo de propagação/acesso limitado.
- Tempo entre falhas/reparo baixo.
- Viabilidade de modularidade e de interconexão.

Iniciativas importantes de padronização para redes industriais:

- Projeto PROWAY.
- Projeto IEEE 802.
- Projeto MAP (MAP/EPA e MINI-MAP).
- Projeto TOP.
- Projeto FIELDBUS.

Antes de descrevermos esses projetos de padronização, uma breve explanação sobre o conceito de comunicação mestre-escravo.

6.8 Modelo mestre-escravo (*Master-Slave*)

Os mestres e escravos possuem funções distintas dentro de uma rede. O mestre tem como função principal controlar a rede de comunicação e concentrar os dados do sistema. O escravo possui a função de receber a informação do mestre e executá-la da melhor forma possível, atuando em tarefas localizadas.

Os escravos não podem dialogar entre si, toda comunicação deve passar por um mestre. O mestre pode requisitar informações de um escravo em particular e esperar sua resposta (modo requisição/resposta), ou, pode enviar mensagem comum a todos os escravos (modo difusão).

Em modo requisição/resposta, o mestre envia uma requisição em particular a um escravo, este responde se a mensagem da requisição estiver formulada corretamente. De maneira geral as trocas de informação são relativas à memória de dados dos escravos.

Como o mestre está ligado, assim como todos os escravos, sobre uma rede bidirecional, é necessário designar um endereço para cada escravo. Geralmente todos os escravos recebem as mensagens do mestre, mas só o escravo endereçado responde ao mestre.

O mestre possui quatro atribuições:

- Assegurar a troca de informação entre as ECL (Estações de Controle Local) ou EDT (Equipamentos Terminais de Dados).
- Assegurar o diálogo com o operador do sistema (Relação Homem-Máquina – IHM).
- Assegurar um diálogo com outros mestres ou com um computador para uma gestão centralizada do conjunto de processos.
- Assegurar a programação ou passagem de parâmetros para os escravos (ECL) a fim de obter a flexibilidade da produção.

6.9 Projeto PROWAY

A Proposta **PROWAY** (*Process Data Highway*) foi iniciada em 1975 pela **IEC** (*International Electrotechnical Commission*) para a normalização de redes de comunicação para controle de processos.

A Proway passou pelas fases A, B e C. Proway A e B utilizavam o protocolo HDLC da ISO na camada de enlace, com acesso ao meio tipo mestre/escravos. A Proway C adotou a técnica de *token-passing*.

A arquitetura PROWAY é composta de quatro camadas do modelo OSI:

- “*Line*” (camada física).
- “*Highway*” (camada de enlace).
- “*Network*” (camada de rede).
- “*Application*” (camada de aplicação).

6.10 Projeto IEEE 802

O IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) iniciou em 1980 o projeto 802, que definiu normas para as camadas física e de enlace do modelo de referência OSI.

A camada de enlace é subdividida em duas subcamadas:

LLC (*Logical Link Control*) – montagem dos quadros, controle de erros, controle de fluxo, estabelecimento de conexões, serviços às camadas acima.

MAC (*Medium Access Control*) – controle de acesso ao meio. Proposta IEEE virou norma internacional: ISO/IEC 8802. Norma atual composta de 12 partes.

6.11 Projeto MAP

O MAP (*Manufacturing Automation Protocol*) foi iniciativa da GM (1980), com a finalidade de definir uma rede voltada para automação da manufatura (baseada no RM-OSI).

O MAP é bem adaptado para comunicação entre equipamentos de chão de fábrica, tais como: Robôs, CNC, CLP, terminais de coleta de dados, computadores, etc.

Para aplicações com tempos críticos foi definida a versão MAP/EPA (*Enhanced Performance Architecture*).

O MAP/EPA apresenta duas pilhas de camadas: arquitetura MAP completa (7 camadas) e uma arquitetura simplificada (camadas 1, 2 e 7). A versão mais simplificada: MINI-MAP considera somente as camadas 1, 2 e 7 do modelo OSI.

6.12 Projeto TOP

Technical Office Protocol foi desenvolvido pela BOEING a partir de 1983. Esse projeto foi desenvolvido com a finalidade de atender as redes para automação de áreas técnicas e administrativas. O TOP foi baseado no modelo OSI de 7 camadas.

Os tipos de serviços previstos para esse projeto foram os seguintes: correio eletrônico; processamento de textos, acesso a base de dados distribuída, transferência de arquivos, CAD/CAM distribuído, troca de documentos e transações bancárias.

A partir de 1986 o MAP e TOP foram fundidos (projeto MAP/TOP).

6.13 Projeto FIELDBUS

O projeto FIELDBUS (Barramento de Campo) foi uma proposta de solução de comunicação para os níveis hierárquicos mais baixos dentro da hierarquia fabril.

Esse projeto previa a interconexão de dispositivos primários de automação (sensores, atuadores, chaves, etc.) e os dispositivos de controle de nível imediatamente superior (CLP, CNC, RC, PC, etc.).

Os principais grupos envolvidos nos trabalhos de padronização do projeto FIELDBUS foram:

- IEC, ISA, EUREKA, NEMA como avaliadores do projeto.
- PROFIBUS, FIP, ISA-SP50 como proponentes do projeto.

6.14 Principais protocolos de comunicação industriais

Há vários tipos de protocolos de comunicação que são considerados em diferentes tipos de equipamentos industriais. A função dos protocolos é viabilizar a comunicação entre um dispositivo eletreletrônico e um computador da maneira mais confiável e eficiente possível.

As possíveis configurações são:

- *Multi-master*.
- *Master-slave*.
- Ponto a ponto.

6.14.1 Hierarquia num barramento industrial

Enterprise bus (*Ethernet*).

Control bus (*HSE – High Speed Ethernet, ControlNet*) – redes intermediárias para facilitar a ligação à *internet*.

Fieldbus (*Foundation Fieldbus, Profibus PA*) – redes especializadas em variáveis analógicas e de controle.

Device bus (*DeviceNet, Profibus DP, Interbus-S*) – interligam dispositivos “inteligentes” mais complexos. As mensagens aqui são orientadas ao *byte*.

Sensor bus (*CAN, ASI, Seriplex, LonWorks*) – normalmente utilizadas para interligar sensores e atuadores discretos. Basicamente transmitem estados e bits de comando.

Dos protocolos de comunicação citados anteriormente, iremos concentrar nossa atenção nos protocolos *Fieldbus* e *Profibus*. Conteúdos bibliográficos sobre vários outros protocolos podem ser encontrados nas referências citadas no final desse capítulo.

6.15 Fieldbus

Fieldbus (barramento de campo): solução de comunicação para os níveis hierárquicos mais baixos dentro da hierarquia fabril.

Interconecta dispositivos primários de automação (sensores, atuadores, chaves, etc.) e os dispositivos de controle de nível imediatamente superior, como por exemplo, um CLP (Controlador Lógico Programável).

Fieldbuses eliminam a necessidade de se utilizar várias interfaces ponto-a-ponto, uma para cada equipamento. *Fieldbuses* substituem as interfaces digitais ponto-a-ponto (RS232, RS422, etc.) por um barramento ao qual todos os equipamentos são conectados.

Os *Fieldbuses* são geralmente usados na comunicação em ambiente industrial e veicular.

Algumas vantagens em se considerar o *Fieldbus*:

- Redução do número de interfaces.
- Redução do número de canais de comunicação entre os processos de controle e o equipamento industrial.
- Maior modularidade da rede, facilitando sua expansão, instalação e manutenção.

Três classes distintas de aplicação:

Sistemas "Stand-Alone" – a comunicação ocorre somente entre dispositivos ligados em um mesmo segmento de rede (ex.: sensores e atuadores ligados a um CNC dentro de uma máquina).

Sistemas em cascata – os dispositivos conectados a segmentos distintos podem trocar informações por meio de uma "bridge" (ex.: **SDCD** – Sistema Distribuído de Controle Digital).

Sistemas hierárquicos – o *Fieldbus* está interligado via "gateway" a um nível hierárquico superior da automação fabril (ex.: estrutura CIM).

Ilustram-se, na Figura 6.5, as diferenças básicas entre um sistema de controle tradicional e um sistema de controle que utiliza o protocolo *Fieldbus*.

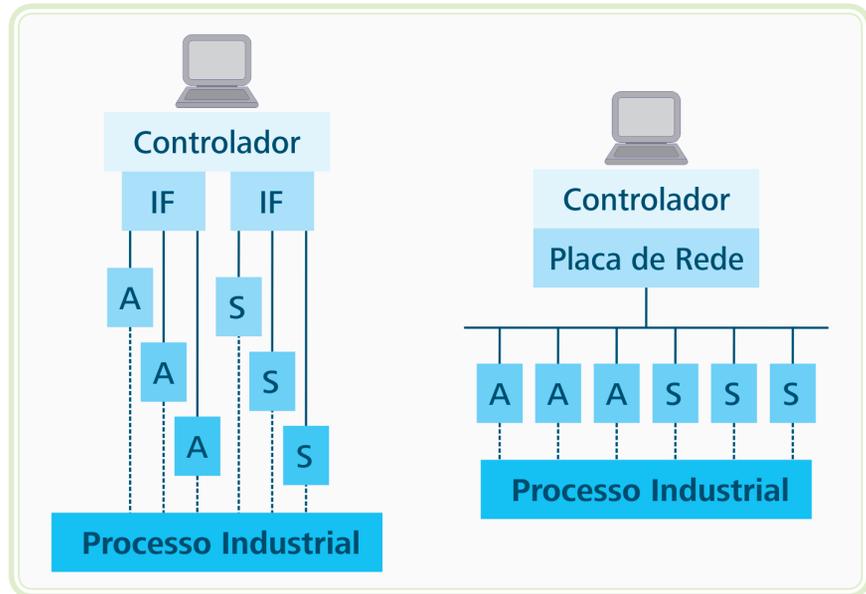


Figura 6.5: Diferenças básicas entre um sistema de controle tradicional e um sistema de controle com *Fieldbus*

Fonte: Stemmer, 2001

6.16 Profibus

Profibus (*PROcess FieId BUS*) desenvolvido na Alemanha, inicialmente pela Siemens em conjunto com a Bosch e Klockner-Moeller em 1987. Em 1988 tornou-se um “*Trial Use Standard*” no contexto da norma DIN (DIN V 19245, parte 1), que define as camadas física e de enlace. Posteriormente, um grupo de 13 empresas e 5 centros de pesquisa propuseram alterações nas camadas física e de enlace e definiram a camada de aplicação (norma DIN V 19245, parte 2). Esta proposta é, atualmente, apoiada por mais de 300 empresas européias e internacionais (<http://www.profibus.com>).

A camada física do *Profibus* baseia-se no padrão **EIA RS-485** (*Electronic Industries Association*). Considera a topologia barramento, utilizando como meio um par trançado blindado. Permite a interligação de até 32 elementos (estações ativas, passivas ou repetidoras) por segmento. São permitidos até 4 segmentos, totalizando um máximo de 128 estações. A Figura 6.6 ilustra um exemplo de aplicação que faz uso do protocolo *Profibus*.

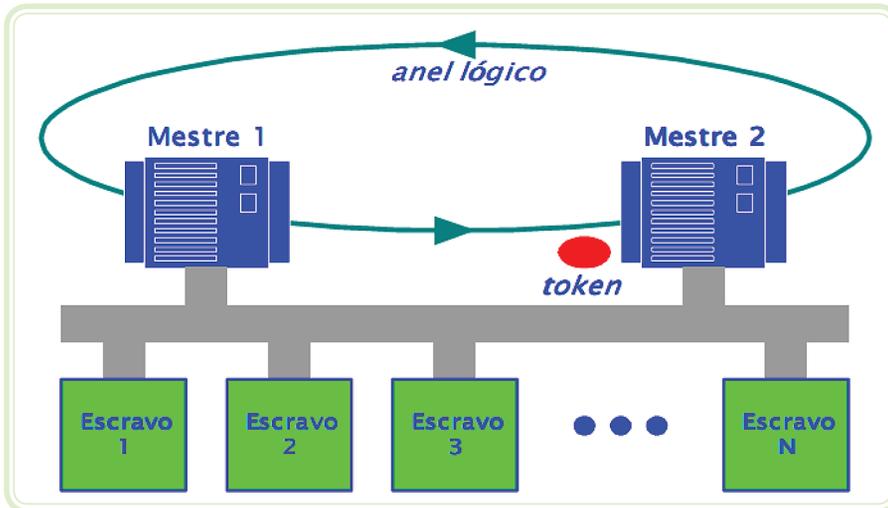


Figura 6.6: Exemplo de aplicação do protocolo Profibus

Fonte: <http://www.omron-ap.com/>

A codificação utilizada é a NRZ, podendo ser implementada com uma USART simples (assíncrona). As taxas de transmissão podem ser de: 9.6, 19.2, 93.75, 187.5, 500 Kbps, 1.5 Mbps, 12 Mbps.

O *Profibus* agrupa quadros em duas classes:

Quadros longos – para transmissão entre estações mais complexas (ativas, mestres).

Quadros curtos – para dispositivos de campo mais simples (passivas, escravos).

Resumo

Redes industriais são necessárias devido à crescente informatização das indústrias. Todas as etapas do processo produtivo devem ser informatizadas:

- O projeto do produto.
- A produção em escala industrial.
- O controle de qualidade.
- O controle do compra e/ou estoque de peças ou da matéria-prima usada para produção.

O objetivo final é aumentar a eficiência, reduzindo os custos de produção, venda e distribuição do produto. O processo de produção passa por várias etapas executadas por diferentes elementos presentes no ambiente industrial. A tendência no ambiente industrial é de se ter vários subsistemas com certa autonomia, sendo cada um responsável por parte do processo de produção.

Os tipos de equipamento presentes em cada subsistema do ambiente industrial são bastante diversificados. Dentre eles podemos citar:

- Computadores usados para projeto e supervisão.
- Controladores com alta capacidade de processamento coordenam todo o processo de produção.
- No chão de fábrica são usados robôs, esteiras, tornos, sensores, atuadores, etc.

Dentre as diferentes possíveis topologias para interconexão de dispositivos de automação (ex.: estrela, árvore), a mais utilizada é a de barramento. A conexão usando barramento traz uma série de vantagens:

- Maior flexibilidade para estender a rede e adicionar módulos na mesma linha.
- Alcance de maiores distâncias quando comparada com conexões tradicionais.
- Diminuição significativa da quantidade de cabeamento e consequente redução de custos.
- Maior facilidade para o manuseio de ferramentas para instalação, diagnóstico e reparos.
- Dispositivos de diferentes fabricantes sejam conectados em um mesmo barramento.

Uma vez definido um padrão internacionalmente aceito, o *Fieldbus* deverá revolucionar o setor de instrumentação.

Esta tecnologia permite que a inteligência seja totalmente distribuída pelo campo e favorece o surgimento de dispositivos com capacidades locais de processamento cada vez mais sofisticadas.

A integração total dos equipamentos permitirá alterações nos procedimentos de operação das plantas industriais.

O *Fieldbus* deverá também propiciar a intercambiabilidade em termos de sensores, atuadores, transmissores e controladores, trazendo ao usuário uma maior flexibilidade na compra de produtos e abrindo espaço para novos fabricantes.

Atividades de aprendizagem



1. Qual foi a finalidade em se propor o modelo OSI? Os protocolos de comunicações industriais seguem a risca o modelo OSI? Justifique sua resposta.
2. Quais são as principais diferenças entre redes ponto-a-ponto e redes de difusão. Quando devemos considerar o uso de uma ou de outra topologia? Há exemplos de redes híbridas? Justifique sua resposta.
3. Fazer uma pesquisa sobre áreas de risco em ambientes industriais e as soluções encontradas para contornar os esse problema.
4. Descreva, resumidamente, os diferentes níveis de hierarquia de uma rede de comunicação industrial considerando o modelo da pirâmide de automação.
5. Faça um trabalho sobre os protocolos TCP/IP. Apresente ao menos um exemplo de aplicação.
6. Fazer uma pesquisa sobre alguma aplicação industrial que considere os protocolos *Fieldbus* ou *Profibus*.
7. Documentar a pesquisa no formato de relatório: capa, índice, resumo, introdução, desenvolvimento do tema, conclusão, referências e anexos.

Aula 7 – Supervisórios

Objetivos

Introduzir o conceito de supervisão e controle em ambientes industriais.

Apresentar as principais características do *software* de supervisão do tipo SCADA.

Familiarizar o estudante os diferentes tipos de telas no ambiente supervisório do tipo SCADA.

Desenvolver um supervisório utilizando o *software* Elipse Scada.

Testar o supervisório através do uso de um emulador de variáveis de TAGs.

7.1 Introdução

Na indústria tem-se a necessidade de centralizar as informações de forma a termos o máximo de informação no menor tempo possível. Embora a utilização de painéis centralizados venha a cobrir esta necessidade, muitas vezes a sala de controle possui grandes extensões com centenas ou milhares de instrumentos tornando o trabalho do operador uma verdadeira maratona.

Os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) são os sistemas de supervisão e controle de processos industriais que coletam dados do processo através de remotas industriais, principalmente controladores lógicos programáveis (CLP), formatam estes dados, e os apresentam ao operador em uma multiplicidade de formas.

O objetivo principal dos sistemas SCADA é propiciar uma interface de alto nível do operador com o processo, informando-o “em tempo real” todos os eventos de importância da planta, permitindo ao operador atuar e monitorar o processo, conforme ilustra a Figura 7.1.

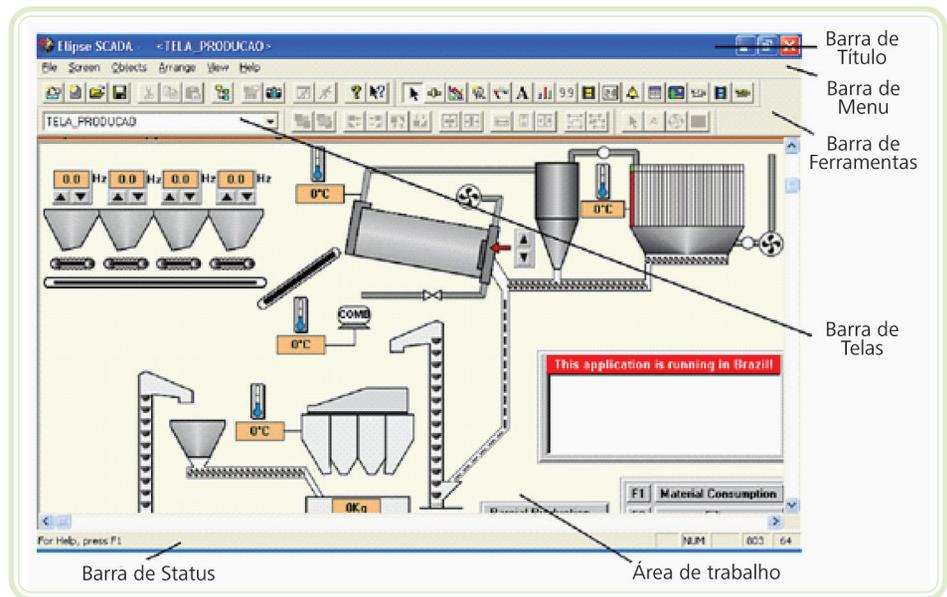


Figura 7.1: Tela principal do SCADA quando uma aplicação está aberta, no módulo configurador, identificando seus elementos
 Fonte: <http://www.elipse.com.br/>

7.2 Software de supervisão do tipo SCADA

O *software* de supervisão, localizado no nível de controle do processo das redes de comunicação, é o responsável pela aquisição de dados diretamente dos controladores lógicos programáveis – CLP para o computador, pela sua organização, utilização e gerenciamento dos dados. Poderá ser configurado para taxas de varredura diferentes entre CLP's e inclusive, entre pontos de um mesmo CLP.

Os dados adquiridos devem ser condicionados e convertidos em unidades de engenharia adequadas, em formato simples ou de ponto flutuante, armazenando-os em um banco de dados operacional. A configuração individual de cada ponto, supervisionado ou controlado, permite ao usuário definir limites para alarmes, condições e textos para cada estado diferente de um ponto, valores para conversão em unidade de engenharia, etc.

O *software* deve permitir que estratégias de controle possam ser desenvolvidas utilizando-se de funções avançadas, através de módulos dedicados para implementação de funções matemáticas e booleanas, por exemplo. Através destes módulos, poderá ser feito no *software* aplicativo de supervisão, o controle das funções do processo.

Os dados adquiridos podem ser manipulados de modo a gerar valores para parâmetros de controle como "set-point's". Os dados são armazenados em arquivos de dados padronizados. Estes arquivos poderão ser acessados por

programas de usuários para realização de cálculos, alteração de parâmetros e dos seus próprios valores, conforme ilustra a Figura 7.2.

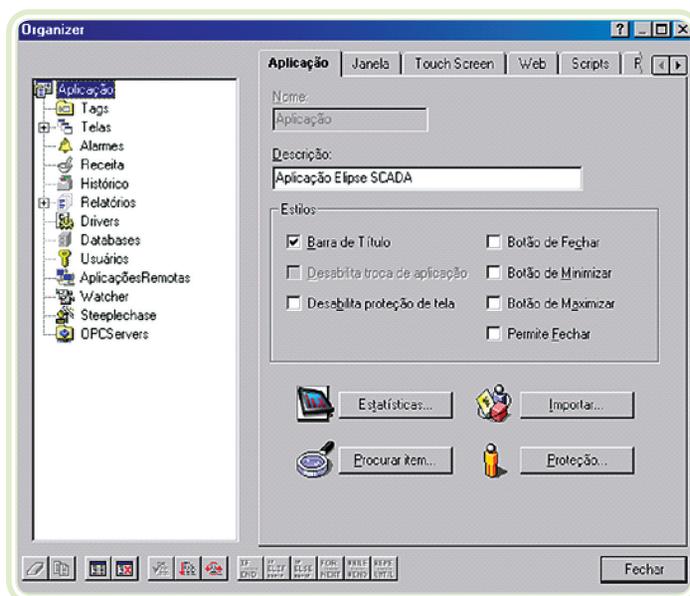


Figura 7.2: Exemplo de interface entre o usuário e o software SCADA

Fonte: <http://www.elipse.com.br/>

Os dados da estratégia são gerais, afetando todo o banco, como por exemplo, a configuração de impressoras, os tipos de equipamentos conectados, as senhas, etc. Os dados referentes aos pontos são individuais e abrangem os “TAGs” (variáveis de entrada/saída – I/O), as descrições, os limites de alarme, a taxa de varredura, etc. A Figura 7.3 apresenta uma tela típica de seleção de TAGs.

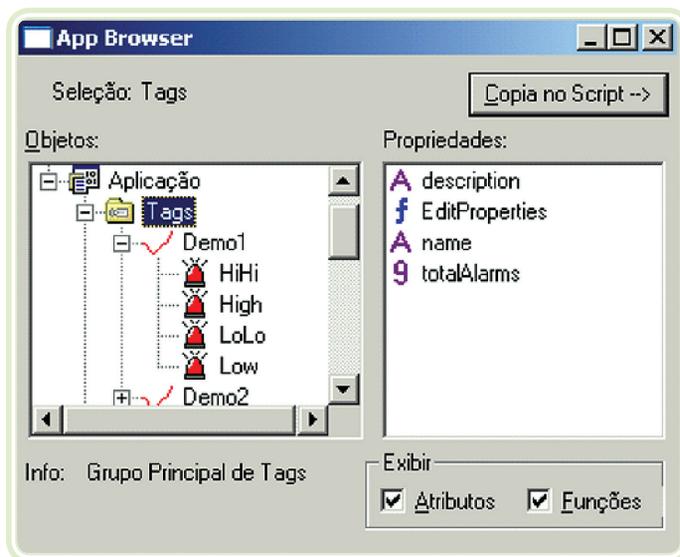


Figura 7.3: App Browser é um exemplo de atalho para seleção de TAGs

Fonte: <http://www.elipse.com.br/>

Alterações podem ser realizadas com o sistema "on-line" (ligado ou à quente). Após a estratégia configurada, o *software* básico deve executar, gerenciar e armazenar o resultado de cálculos e operações realizadas, o estado dos pontos e todas as informações necessárias neste banco de dados.

O conjunto de telas do *software* de supervisão deve permitir aos operadores, controlar e supervisionar completamente toda a planta. As telas deverão ser organizadas em estrutura hierárquica do tipo árvore, permitindo um acesso seqüencial e rápido.

7.3 Telas de supervisão

Descrevem-se, a seguir, as principais telas que o aplicativo do tipo SCADA deve conter.

7.3.1 Telas de visão geral

São telas que apresentarão ao operador uma visão global de um processo, sob visualização imediata na operação da planta. Nestas telas são apresentados os dados mais significantes à operação e objetos que representam o processo. Os objetivos devem ser dotados de características dinâmicas, representando o estado de grupos de equipamentos e áreas dos processos apresentados. Os dados devem procurar resumir de forma significativa os principais parâmetros a serem monitorados (e/ou controlados) do processo específico. A Figura 7.4 ilustra um exemplo de tela de visão geral.

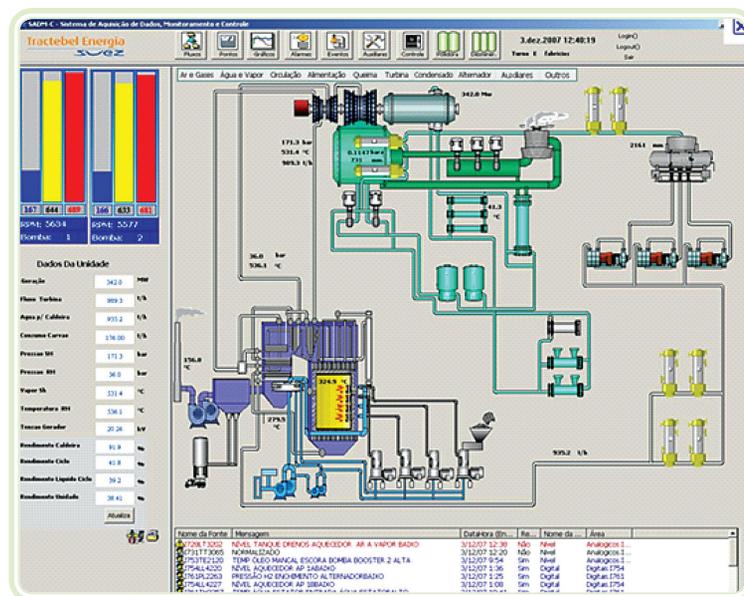


Figura 7.4: Tela de visão geral do processo

Fonte: <http://www.elipse.com.br/>

7.3.2 Telas de grupo

São telas representativas de cada processo ou unidade, apresentando objetos e dados de uma determinada área de modo a relacionar funções estanques dos processos. Os objetos devem ser dotados de características dinâmicas representando o estado e/ou condição dos equipamentos da área apresentada. Os dados apresentados devem representar valores quantitativos dos parâmetros supervisionados (ou controlados). As telas de grupo também permitem ao operador, acionar os equipamentos da área através de comandos do tipo abrir/fechar ou ligar/desligar. Além disso, o operador poderá alterar os parâmetros de controle ou supervisão, tais como "set-point's", limites de alarme, modos de controle, etc.

7.3.3 Telas de detalhe

São telas que atendem a pontos e equipamentos controlados (ou monitorados) individualmente. Serão compostas, quando possível, por objetos com características dinâmicas, representando o estado do equipamento. Os dados apresentam todos os parâmetros do ponto supervisionado (ou monitorado). As telas devem possibilitar ao operador alterar os parâmetros do equipamento, seus limites, os seus dados de configuração, etc.

7.3.4 Telas de malhas

São telas que apresentam o estado das malhas de controle. Todas as telas devem apresentar os dados das variáveis controladas exibidas, como "set-point's", limites e condição dos alarmes, valor atual e valor calculado, etc., em forma de gráfico de barras e em valores numéricos. A Figura 7.5 ilustra um exemplo em que se considera o uso de telas de malhas.

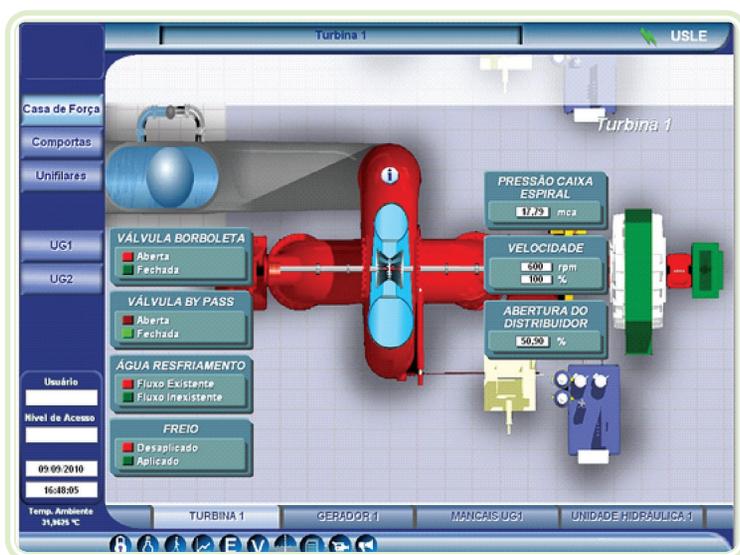


Figura 7.5: Exemplo ilustrando o uso de telas em malhas

Fonte: <http://www.elipse.com.br/>

7.3.5 Telas de tendência – histórica e real

São telas normalmente padrão do *software* básico de supervisão. Estas telas apresentam várias (em média seis) variáveis simultaneamente, na forma gráfica, com valores coletados em tempo real (“*on-line*”), na forma de tendência real e na forma histórica “*off-line*” – valores de arquivos pré-armazenados em disco. Estas tendências podem ser apresentadas em forma de gráficos ou em forma tabular, em função dos últimos valores coletados para cada variável, conforme ilustra a Figura 7.6.

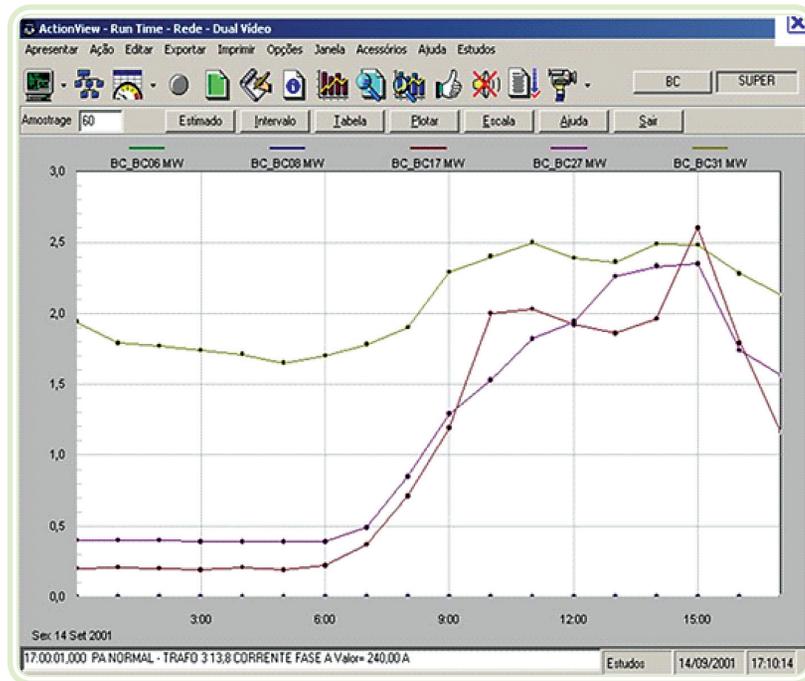


Figura 7.6: Exemplo de tela de tendência

Fonte: <http://www.elipse.com.br/>

7.3.6 Telas de manutenção

São compostas por informações de problemas, alarmes, defeitos e dados de manutenção das diversas áreas referentes ao processo e equipamentos destes, incluindo o próprio sistema de controle. As informações são do tipo histórico de falhas, programa de manutenção dos equipamentos (corretiva e preventiva), e informações gerais dos equipamentos (comerciais assistências técnicas, etc.). A Figura 7.7 ilustra um exemplo de tela de manutenção. Nesse exemplo, trata-se de uma tela de controle de uma turbina.

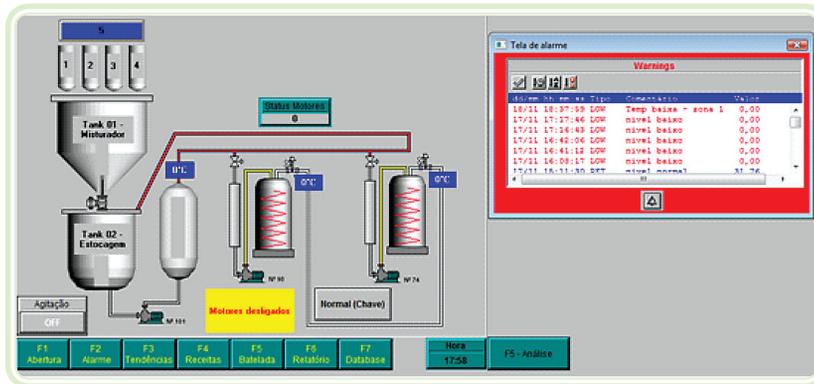


Figura 7.7: Exemplo de tela de manutenção

Fonte: <http://www.elipse.com.br/>

7.4 Histórico de falhas

O documento de histórico de falhas por equipamento ou área fica armazenado em arquivos no banco de dados do *software* de supervisão, possibilitando o tratamento destas informações através de telas orientadoras à manutenção, ou através de programas de usuário para estatísticas de utilização e defeitos.

7.5 Relatórios

O *software* básico de supervisão possui um módulo para desenvolvimento de relatórios. Criados em formatos padrão, para os relatórios do tipo históricos, permitem ao operador a escolha de quais variáveis deseja visualizar. Os dados podem ser apresentados nas telas das estações com campos de identificação para "TAG", data, hora e descrição do ponto.

Os relatórios poderão ser solicitados manualmente pelo operador e destinados para impressoras ou terminais de vídeo. Os dados históricos são armazenados em arquivos de modo que podem ser acessados pelos programas de relatórios, para serem trabalhados e apresentados à operação. Deste modo, os arquivos podem ser armazenados em meios magnéticos para utilização futura.

Resumo

O *software* de supervisão e controle (parte integrante do sistema SCADA) recebe as informações dos controladores concentrando todos os eventos ocorridos.

Permite que um operador visualize imediatamente o que está acontecendo em cada processo. Isto faz com que seja possível alterar os parâmetros de controle de acordo com a necessidade.

Além disso, o *software* de supervisão e controle permite armazenar todas as informações recebidas possibilitando ao usuário a análise dos acontecimentos com:

- Correção de desvios.
- Otimização do processo.
- Documentação.

Isto implica em:

- Mais segurança operacional.
- Melhor qualidade.
- Menor curso operacional.



Atividades de aprendizagem

1. Quais são as principais vantagens em se utilizar um *software* do tipo supervisão em um ambiente industrial?
2. Quais são os tipos de telas quando se considera o uso de um supervisão do tipo SCADA? Descreva, sucintamente, a função de cada uma delas.
3. Qual é a importância do histórico de falhas?
4. Desenvolver um supervisão do tipo SCADA para o problema passado na última aula. Considerar a versão demo do *software* Elipse SCADA.
5. Verificar o funcionamento do supervisão através do uso de um emulador com de variáveis (TAGs).

Referências

- BERNARDI, L. A. **Manual de empreendedorismo e gestão**. São Paulo: Atlas, 2003.
- BIGATON, CLAUDINEI. **Automação CNC**. Curso Técnico em Mecânica. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. Apostila.
- CURY, José Eduardo Ribeiro. **Apostila de supervisorio de sistemas a eventos discretos**. Universidade Federal de Santa Catarina. Novembro, 2001.
- DANTAS, Mario. **Tecnologias de redes de comunicação e computadores**. Axcel books, 2002 .
- DANTAS, Mario. **Computação distribuída de alto desempenho: redes, clusters e grids computacionais**. Axcel books, 2005.
- DORF, R. C. **Sistemas de controle modernos**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- E-TEC Cel. Fernando Febeliano da Costa, Piracicaba/SP. Disponível em: <http://www.etepiracicaba.org.br/apostilas/mecanica/mecanica_3ciclo/automacao_cnc.pdf>.
- GOZZI, Giuliano. **Aula 5 – Introdução ao comando numérico**. Disponível em: <<http://www.faatesp.edu.br/publicacoes/CNC%20Aula5.pdf>>.
- GOZZI, Giuliano. **Aula 6 – Funções de programação**. Disponível em: <<http://www.faatesp.edu.br/publicacoes/aula6.pdf>>.
- GROOVER, Mikell P. **Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1980.
- KIEF, Hans B.; WATERS, T. Frederick. **Computer numerical control – a CNC reference guide**. Singapore: Macmillan/McGraw-Hill, 1992.
- MACHADO, Arioldo. **O comando numérico aplicado às máquinas-ferramenta**. São Paulo: Ícone, 1986.
- NATALE, F. **Automação Industrial**. São Paulo: Editora Érica, 1996.
- NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- PAZOS, F. **Automação de sistemas & robótica**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002.
- RELVAS, Carlos. **Controlo numérico computadorizado: conceitos fundamentais**. Porto: Publindústria, 2002.

ROMI. Centros de Usinagem vertical – Linha Romi D. **Catálogo**. Disponível em: <http://www.romi.com.br/fileadmin/Editores/MF/Catalogos/Portugues/cat_linha_romi_D__D1500__po_ac_30-04-2010.pdf>.

ROMI. Manual de programação e operação – Linha Romi D – CNC Fanuc Oi-Mc. **Manual**. Santa Bárbara do Sul: 2010.

SILVEIRA, P. R. da; SANTOS, W. E. dos. **Automação e controle discreto**. 2. ed. São Paulo: Editora Érica, 1999.

SILVEIRA, Paulo R.; SANTOS, Winderson E. **Automação e controle discreto**. 9. ed. São Paulo: Érica, 2007.

STEMMER, Marcelo Ricardo. **Sistemas distribuídos e redes de computadores para controle e automação industrial**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2001. Apostila.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. Tradução da 4. ed., 2003.

Tutorial sobre o Elipse SCADA. **HMI/SCADA Software**. Elipse Software Ltda., 2004.

Currículo do professor-autor

Fernando Mariano Bayer possui formação como Técnico Mecânico pelo Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (1992), graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Maria (2000) e mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2004). Atualmente ocupa o cargo de Professor Assistente no Colégio Técnico Industrial de Santa Maria. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Projeto e Controle de Sistemas de Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: projetos, automação e programação.



Moacir Eckhardt é graduado em Engenharia Industrial Mecânica pela Fundação Missioneira de Ensino Superior (1988), tem Mestrado (1993) e Doutorado (2003) em Fabricação realizados na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) atuando nos cursos Técnicos de Mecânica, Eletromecânica e Automação Industrial onde ministra as disciplinas de Programação de Comando Numérico Computadorizado e Produção Mecânica – Usinagem do Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (CTISM). Também é professor e coordenador do curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do CTISM/UFSM.



Renato Machado possui Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho (UNESP) – 2001. Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – 2004 e Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) com estágio sanduíche na Arizona State University (ASU) – 2008. Atuou como pesquisador no Instituto Nokia de Tecnologia (INdT) entre os anos de 2007 e 2008. É membro da Sociedade Brasileira de Telecomunicações (SBRT) e membro do *Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.* (IEEE). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Processamento de Sinais e Telecomunicações, atuando principalmente nos seguintes temas: códigos corretores de erro, códigos de dispersão linear, comunicação cooperativa, comunicações sem fio e comunicação via rede elétrica. Dr. Renato Machado atuou como Professor visitante no Departamento de Engenharia Elétrica e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Juiz de Fora entre agosto de 2008 a Julho de 2009. Desde agosto de 2009, Dr. Renato é Professor Adjunto da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria - RS.



