

# Informática industrial I

# Informática industrial I

Marcosiris Amorim de Oliveira Pessoa

#### © 2017 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

#### Presidente

Rodrigo Galindo

#### Vice-Presidente Acadêmico de Graduação

Mário Ghio Júnior

#### Conselho Acadêmico

Alberto S. Santana
Ana Lucia Jankovic Barduchi
Camila Cardoso Rotella
Cristiane Lisandra Danna
Danielly Nunes Andrade Noé
Emanuel Santana
Grasiele Aparecida Lourenço
Lidiane Cristina Vivaldini Olo
Paulo Heraldo Costa do Valle

# Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro Revisão Técnica

Alessandra Cristina Santos Akkari Marcelo Barboza Silva

#### Editorial

Adilson Braga Fontes
André Augusto de Andrade Ramos
Cristiane Lisandra Danna
Diogo Ribeiro Garcia
Emanuel Santana
Erick Silva Griep
Lidiane Cristina Vivaldini Olo

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pessoa, Marcosiris Amorim de Oliveira
P475i Informática industrial I / Marcosiris Amorim de Oliveira
Pessoa. – Londrina : Editora e Distribuidora Educacional
S.A., 2017.
184 p.

ISBN 978-85-522-0184-7

1. Informática. I. Título.

CDD 338

# Sumário

Unidade 1   Automação de sistemas	7
Seção 1.1 - Sistemas de automação industrial	9
Seção 1.2 - SED, SVC e a norma IEC 61131	21
Seção 1.3 - Princípios e funcionamento de CLPs	34
Unidade 2   Programação de dispositivos de controle	47
Seção 2.1 - A norma IEC 61131-3	49
Seção 2.2 - Programação CLP - lógica combinacional	63
Seção 2.3 - Programação de CLP - elementos de sequenciamento	77
Unidade 3   Pirâmide da automação e sistemas supervisórios	91
Seção 3.1 - Gerência do sistema produtivo	93
Seção 3.2 - Sistemas SCADA IHM	106
Seção 3.3 - Programação de supervisórios	119
Unidade 4   Redes de comunicação industrial	135
Seção 4.1 - Sistemas distribuídos	137
Seção 4.2 - Classificação das redes de automação	150
Seção 4.3 - Comunicação de dados	163

# Palavras do autor

Bem-vindo à disciplina *Informática Industrial I.* É importante que você saiba que ela faz parte do núcleo profissionalizante que determina a sua formação como engenheiro. Antes de iniciá-la, é essencial que você queira aprender o que significa "informatizar a indústria".

Como vivemos uma intensa evolução dos recursos computacionais em todas as áreas do mercado, a indústria não poderia ficar de fora. Imagine como esses recursos poderiam ser utilizados para controlar dispositivos, integrar subsistemas, facilitar a interface do homem com os sistemas produtivos, auxiliando as atividades de verificação de falhas e melhorando a segurança dos sistemas.

A partir de agora, você começará a fazer parte do que podemos chamar de Quarta Revolução Industrial, na qual conviverá com: Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Indústria 4.0. Para que um dia você possa desenvolver soluções tecnológicas dessa complexidade, você precisa aprender, inicialmente, duas coisas: a) tudo começa a partir do entendimento do que vem a ser automação; b) a peça estratégica desse conceito é o Controlador Lógico Programável (CLP) - que será o objeto de estudo da Unidade 1.

Uma vez que esses dispositivos que controlam uma infinidade de coisas são programáveis, na Unidade 2 você aprenderá como desenvolver programas para que esses controladores atuem em sistemas, tornando-os completamente automáticos e sem a necessidade de intervenção humana, se assim o desejar.

Você também verá que os sistemas produtivos podem ser complexos o suficiente para exigir o desenvolvimento de sistemas automáticos que o supervisionem. Para isso, na Unidade 3, você aprenderá como esses sistemas supervisórios são desenvolvidos e verá também que existe um modelo na forma de pirâmide, chamado Pirâmide da Automação, que organiza os diversos níveis de informação para controlar os processos em um sistema produtivo.

Na Unidade 4, você verá como as redes industriais são fundamentais para integrar os diversos subsistemas que compõem os sistemas produtivos. Será destacada a questão de que esses sistemas apresentam uma característica fundamental, que é o fato de pertencerem à classe de sistemas distribuídos em sua grande maioria.

Entretanto, vale um alerta: lembre-se de que o sucesso dos seus estudos dependerá da sua disciplina para estudar. Nesse sentido, o autoestudo será fundamental, visando ainda a assimilação e à compreensão do conteúdo, além da aplicação das melhores práticas empregadas no mercado de trabalho.

Permita que suas horas de estudo sejam gratificantes. Para isso, foque-se na realidade que você viverá adiante: atuando como engenheiro e modificando a realidade! Bom trabalho!

# Automação de sistemas

### Convite ao estudo

Nesta unidade, você aprenderá sobre como lidar com a questão de automação de sistemas. O objetivo é ajudá-lo a desenvolver a competência de observar um sistema produtivo e abstrair modelos desse sistema, para que você verifique a sua estrutura e o seu comportamento. O ponto de partida será familiarizar-se com o conceito de automação, saber como ele está presente nos sistemas e como vem evoluindo ao longo do tempo. Você verá como é importante o engenheiro desenvolver sua visão sistêmica para que possa desenvolver modelos da realidade e, a partir deles, propor soluções de engenharia. Essa visão capacita o engenheiro a entender que para obter uma solução para um problema é necessário identificar qual é a fronteira que delimita o seu objeto de estudo. Dessa forma, ele poderá aplicar técnicas para programar um dispositivo que sejam capazes de impor o comportamento desejado para esse sistema.

Considerando o contexto de constante avanço tecnológico e de globalização no qual vivemos, imagine que você tem que desenvolver um projeto de modernização de uma planta industrial voltada para a manufatura, para que ela seja capaz de reposicionar-se no mercado, em termos de competitividade. Para isso, você precisará avaliar as condições tecnológicas da indústria em termos de níveis de automação presentes nos processos de fabricação. Além disso, para que a indústria possa pertencer a uma determinada cadeia produtiva, terá de adequar o seu projeto de automação às normas vigentes, tanto para melhorar sua produtividade como para melhorar a qualidade do processo, uma vez que apresenta problemas de paradas repentinas sem diagnóstico de falha em seus dispositivos físicos. Acrescentase ainda que se faz necessário desenvolver modelos formais

que possam justificar as sugestões tecnológicas que serão apresentadas por você, para que possam ser documentadas e sirvam de especificação inicial para as fases subsequentes de desenvolvimento do projeto de automação em questão. Portanto, como engenheiro responsável pelo desenvolvimento desse projeto, como você avaliaria a necessidade de melhorias nos níveis de automação, associados aos processos de fabricação existentes, para incrementar o índice de produtividade? Como você abordaria o problema de modelagem do sistema a ser automatizado para que fosse representado como uma especificação inicial formal? Como você padronizaria os procedimentos para que o processo de automação tivesse êxito? Como você avaliaria a ocorrência de travamentos repentinos em determinadas linhas de produção que não apresentam defeitos em seus dispositivos físicos?

De forma cadenciada, você construirá o conhecimento necessário para desenvolver o seu estudo de forma eficaz e com ótimos resultados.

Então, vamos dar o nosso primeiro passo?

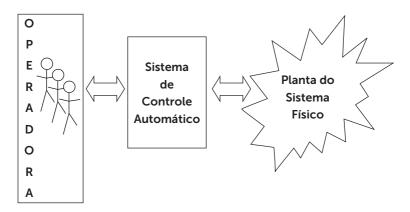
# Seção 1.1

## Sistemas de automação industrial

### Diálogo aberto

Os sistemas de automação industrial representam uma classe de sistemas que apresentam um determinado nível de autonomia, ou seja, que de alguma forma eles são capazes de realizar um conjunto de ações, operações ou funções sem que seja necessária a intervenção humana direta para a sua realização. A Figura 1.1 ilustra como a estrutura fundamental de um sistema de automação industrial pode ser interpretada.

Figura 1.1 | Elementos básicos de um Sistema de Automação



Fonte: elaborada pelo autor.

Nesse contexto, conforme já foi apresentado na introdução desta unidade, sabe-se que, com o constante avanço tecnológico e a globalização em que se vive, você precisa refletir sobre a questão de ter de desenvolver um projeto de modernização de uma planta industrial voltada para a manufatura, tendo em vista o seu reposicionamento em termos de competitividade no mercado. Para isso, a primeira coisa a ser feita será avaliar as condições tecnológicas da indústria em termos de níveis de automação presentes nos processos de fabricação.

Além disso, para que a indústria possa pertencer a uma determinada cadeia produtiva, você deverá adequar o seu projeto de automação

as normas vigentes, tanto para melhorar sua produtividade como para melhorar a qualidade de seus processos, considerando que essa indústria apresenta problemas de paradas repentinas, sem diagnóstico de falhas em seus dispositivos físicos. Acrescenta-se ainda a importância de serem desenvolvidos modelos adequados, que possam justificar as sugestões tecnológicas que serão apresentadas por você. Dessa forma, essas sugestões poderão ser documentadas e servir de especificação inicial para as fases subsequentes do desenvolvimento do projeto de automação em questão.

Por conseguinte, nesta seção, você deverá se focar na questão inicial de fazer uma análise do cenário de automação presente em um sistema produtivo. Como engenheiro responsável pelo desenvolvimento desse projeto, como você avaliaria a necessidade de melhorias nos níveis de automação associados aos processos de fabricação existentes para obter um índice de produtividade desejável?

### Não pode faltar

### O que são e para que servem os sistemas de automação?

Você já deve ter ouvido falar que automação é sinônimo de desemprego. Será que isto é verdade?

A automação surgiu como uma solução para melhorar dois aspectos fundamentais em sistemas produtivos: a questão da qualidade e a questão da produtividade. A partir desses aspectos, derivam-se vários outros, como: redução de custos, segurança, mudança de setor de atuação no mercado de trabalho, dentre outras.

Podemos definir automação como uma tecnologia desenvolvida com o propósito de controlar a produção em sistemas produtivos por meio de recursos associados à Mecânica, à Eletrônica, à Computação e ao Controle (LAMB, 2015).

Enquanto utilizarmos o elemento humano para realizar operações repetitivas para a fabricação de itens, corre-se o risco de as operações não serem executadas exatamente da mesma maneira durante todo o tempo por todos os trabalhadores. Por sua vez, é humanamente impossível manter um nível elevado de produtividade que seja homogêneo envolvendo diversos trabalhadores que vivem a cada dia diferentes circunstâncias em termos de saúde, intelecto e emoções em suas vidas



Em tempos de crise, como será o impacto da automação no setor produtivo?

Uma vez que vivemos em um mundo globalizado, os termos competitividade e concorrência assumem uma proporção gigantesca.

As opções de mercado são muito grandes para atender a demanda de um determinado cliente.

Se você representa uma empresa que fornece um determinado produto, pense sobre o que seria uma vantagem frente aos seus concorrentes para obter êxito no mercado.

Um produto confiável e com custo reduzido é o grande diferencial que todas as empresas almejam alcançar e aprimorar dia após dia.

Como a automação pode ser uma alternativa viável para que uma determinada empresa ocupe um patamar de competitividade no mercado, de modo a ser projetada como líder em um determinado segmento?

Pense a respeito e conclua sobre a importância da estratégica da automação na sobrevivência de uma empresa.

Para avançarmos, precisamos entender melhor a evolução da automação ao longo do tempo.

### As fases de automação de sistemas

Uma vez que o propósito da automação é aplicar recursos tecnológicos para melhorar o desempenho e a qualidade dos sistemas produtivos, precisamos entender que existem fases para essa evolução tecnológica. Esse princípio precisa ser entendido para que você possa analisar o cenário de automação em que se encontram as empresas que você conhece ou na qual atua ou atuará em breve, como engenheiro formado.

O primeiro momento em que se atuou para automatizar as coisas aconteceu em termos de desenvolvimento de mecanismos. Um exemplo clássico foi o desenvolvimento de James Watt no século XVIII de uma máquina a vapor capaz de controlar a pressão do vapor em seu interior a partir do uso de um mecanismo de válvula de alívio que mantinha a pressão constante, dentro de um patamar desejável. Isso nos revela que um primeiro contexto de automação está presente a partir de mecanismos que são

projetados de forma engenhosa para controlar o movimento, a aplicação de momentos e forças que resultam na transformação de energia e realização de trabalho, conforme estudado nas leis da Física (MIYAGI, 2011).

O segundo momento aconteceu com o desenvolvimento da eletrônica de estado sólido, em que os transistores foram desenvolvidos para a implementação de circuitos eletrônicos. Isso alavancou o desenvolvimento de circuitos digitais e permitiu o avanço no projeto de computadores digitais, o que revolucionou o controle de sistemas pela utilização dessas máquinas de processamento. Dessa forma, uma nova fase da automação surgiu, na qual dispositivos programáveis poderiam ser utilizados para automatizar sistemas. Nesse contexto, precisamos ficar atentos para uma evolução importante causada pela eletrônica: o desenvolvimento de controladores programáveis - tema que será objeto de estudo de uma seção específica em nossa disciplina.

A evolução dos recursos computacionais ocorre de forma exponencial e percebemos um avanço na integração de dispositivos programáveis por meio de redes de comunicação. O cenário passa a ser de sistemas produtivos complexos que podem ser constituídos por várias partes, que, por sua vez, constituem subsistemas de sistemas maiores, interligados de alguma forma para que as metas de produção de uma enorme variedade de produtos seja fabricada. Nesse contexto, observa-se que o setor produtivo é formado a partir do conceito de cadeias produtivas, representantes de conjuntos de empresas, constituindo sistemas produtivos que colaboram entre si para a fabricação dos mais variados produtos.



### Exemplificando

Para exemplificar como os recursos computacionais evoluíram nos últimos dez anos, recomendamos a leitura do artigo - 10 tendências tecnológicas para os próximos 10 anos - , de Alexandre Guiss (2010).

Disponível em: <a href="https://www.tecmundo.com.br/futuro/6157-10-tendencias-tecnologicas-para-os-proximos-10-anos.htm">https://www.tecmundo.com.br/futuro/6157-10-tendencias-tecnologicas-para-os-proximos-10-anos.htm</a>. Acesso em: 17 maio 2017.

Trata-se de uma previsão que Alexandre Guiss documentou em 27 de outubro de 2010 a respeito de como iria evoluir a tecnologia na próxima década, ou seja, até 2020.

Como estamos em 2017, veja se as previsões tornaram-se realidade. É

cada vez mais incalculável a possibilidade de conceber-se um sistema produtivo sem que o fundamento seja o uso de recursos computacionais.

Perceba que os dispositivos que compõem um sistema produtivo podem ser classificados, fundamentalmente, como:

- Dispositivos de processamento, que constituem estações de trabalho que causam mudança de estado no item que está sendo processo, agregando valor a ele.
- Dispositivos de montagem, que constituem estações de trabalho que resultam na agregação ou junção de partes para composição de um produto. Os robôs são largamente utilizados para este fim.
- Dispositivos para manipulação de itens, realizando operações de carga e descarga deles nas estações de processamento, e de armazenamento e descarga, por exemplo. Estas atividades costumam ser realizadas por robôs manipuladores.
- Dispositivos para inspeção e testes de qualidade, que verificam se os itens produzidos estão dentro das especificações estabelecidas.
- Dispositivos de transporte, que movimentam os itens que estão sendo fabricados entre as estações que constituem o sistema produtivo. Podem ser formados por esteiras transportadoras, robôs móveis do tipo manipuladores aéreos ou, até mesmo, veículos autônomos de transporte (VATs).
- Dispositivos de controle, que podem estar presentes nos diversos dispositivos citados anteriormente (embarcados) e que podem ser utilizados para a integração deles, para que haja um controle adequado de execução das diversas funções pertinentes a um sistema produtivo.

Considerando esse contexto, percebe-se nitidamente que a questão de os dispositivos de controle serem programáveis ratifica o fato de os recursos computacionais permearem de forma contundente as arquiteturas de sistemas produtivos em vigência.

Portanto, assim que você se deparar com um sistema produtivo, você deve compreender que (MIYAGI, 2011; LAMB, 2015):

- Existem mecanismos que garantem o controle automático de máquinas.
- Existem sistemas eletroeletrônicos programáveis e reprogramáveis capazes de controlar máquinas, robôs e transportadores, que podem ser agrupados para constituírem sistemas produtivos.
- Existem sistemas computacionais que podem estar embarcados nos elementos que constituem os sistemas produtivos. Esses sistemas

computacionais podem ser utilizados como controladores para automatizar todo um sistema complexo, que pode estar integrado por redes de comunicação e é capaz de produzir uma série de produtos diversificados.

Dessa forma, observa-se que a automação pode estar inserida por meio de mecanismos, por meio de dispositivos eletroeletrônicos e por meio de dispositivos computacionais em um sistema produtivo com seus elementos constituintes. Essa visão de sistema é fundamental para que o engenheiro possa resolver problemas de automação.



#### A Visão Sistêmica

Um ponto importante a respeito do perfil de um engenheiro que você precisa aprender é sobre a forma como ele pensa para resolver os problemas que aparecem em sua vida profissional. Primeiramente, é preciso entender que para a solução de um problema é necessário representá-lo de alguma forma. Essa representação deve ser feita a partir da construção de um modelo.

Por exemplo, se eu pedir para você representar uma bola de futebol, como você procederia? Poderia fazer um desenho esquemático mostrando em detalhes a superfície e as costuras dessa bola, certo? Você iria desenhar o campo de futebol? E as traves? E a torcida na arquibancada?

Certamente, você pararia para pensar e se depararia com a necessidade de delimitar "quem" e "o quê" participaria de sua representação.

Veja a definição de sistema, descrita a seguir:

Um sistema é formado por um conjunto de elementos que interagem entre si para realizar um determinado comportamento.

Portanto, você deve assimilar duas questões:

- (i) Um sistema é formado por um conjunto de elementos.
- (ii) Só pertencem a esse conjunto os elementos que efetivamente estão envolvidos com a realização das atividades que o sistema deve executar.

Se você retirar um elemento de um sistema e ele continuar funcionando como antes, então esse elemento nunca pertenceu ao sistema.

Quando você for resolver um problema de engenharia, o primeiro desafio consiste no estabelecimento de uma fronteira e na definição de qual é o sistema que constitui o seu problema. Feito isso, você deverá selecionar os elementos que fazem parte dele e estará pronto para construir um modelo do seu sistema.

Em outras palavras, você estaria aplicando uma visão sistêmica.

### Compreendendo o cenário de automação

De uma forma tradicional, podemos classificar a automação em três contextos: fixa, programável e flexível. O objetivo dessa classificação é capacitá-lo a interpretar em qual contexto tecnológico ocorreu ou ocorrerá a implantação da automação em um determinado sistema produtivo.

Inicialmente tem-se a automação fixa, que corresponde a um cenário de sistema produtivo no qual sua produção é focada em um determinado produto, sem variações em sua especificação, ou seja, são produtos consagrados que podem ser produzidos de forma rígida sem haver preocupação com novos lançamentos, que exigem uma inovação constante. Imagina que você resolva fabricar parafusos. Certamente você não precisará manter uma equipe de engenharia focada em inovar o seu produto a cada sessenta dias. Dessa forma, observa-se que os dispositivos utilizados nesses sistemas produtivos automatizados podem ser de baixa flexibilidade, ou seja, dedicados a executar um determinado conjunto de operações que são mantidas de forma padronizada por longos períodos de tempo e que refletem o ciclo de vida desses produtos. As máquinas e dispositivos utilizados nesse tipo de sistema produtivo são as mais rígidas possíveis e não se deve investir em flexibilidade operacional para esses elementos.

Por sua vez, a automação programável está presente em sistemas que necessitam trabalhar com lotes de produção que podem ser constituídos por famílias de peças a serem fabricadas. Famílias de peças são agrupamentos de peças com semelhanças em termos dos processos de fabricação que devem sofrer para gerar um determinado produto final. Por exemplo, eu posso colocar cinco tipos de peças em um mesmo grupo porque essas peças devem sofrer um mesmo processo de usinagem - torneamento, por exemplo - e que podem ser processadas por uma mesma máquina flexível (torno, no caso), que possua troca automática de ferramenta. Esse contexto de produção está associado à necessidade de fabricação de lotes de produtos. Quando for necessário fabricar um novo lote diferente de peças, deve-se reprogramar as máquinas de forma adequada (GROOVER, 2011).

Por fim, tem-se a automação flexível. Esse tipo de automação envolve a presença de máquinas altamente flexíveis, capazes de atuar na execução de diferentes processos de forma simultânea, sem que haja a necessidade de segmentar a produção por meio de lotes. Nesse

cenário, não é necessário gastar um tempo adicional para reprogramar as máquinas para a fabricação de produtos diferentes. Nitidamente, é preciso entender que as máquinas constituintes desses sistemas produtivos precisam ser de grande flexibilidade operacional, o que provoca um aumento do investimento para aquisição e manutenção desses recursos, o que refletirá diretamente no custo final dos produtos que estiverem sendo fabricados (GROOVER, 2011).

Uma vez entendido esse contexto de automação, é necessário que você aprenda a avaliar as características associadas à natureza do sistema produtivo. Podemos ter sistemas de produção para grandes volumes, nos quais o que importa é a alta produtividade de produtos que exigem máquinas extremamente dedicadas e sincronizadas para que a produtividade seja altíssima, barateando o custo desses produtos. Existem também os sistemas produtivos que são voltados para a produção em lotes, que exigem um preparo do sistema para diferentes lotes, não por causa da limitação tecnológica de seus dispositivos de produção, mas por causa da natureza dos produtos que são fabricados, que podem exigir descontaminação da linha de produção, por exemplo, antes de iniciar um novo lote. Existem ainda os sistemas produtivos voltados para a produção em pequenos volumes e que envolvem grande variedade de produtos a serem fabricados, porque o ciclo de vida deles é muito curto e necessitam de intervenções freguentes de inovação nos processos de produção.

Portanto, quando for analisar o contexto de automação de um sistema produtivo, aprenda a verificar a natureza do sistema em primeiro lugar para depois avaliar qual é a melhor solução de automação.



Reflita

Agora que você aprendeu sobre os vários tipos de automação, como você decidirá a respeito de qual deles deve ser empregado em um determinado sistema produtivo?

Lembre-se de que automação é uma característica que você acrescenta a um sistema produtivo para obter uma vantagem competitiva em termos de produtividade e qualidade em termos gerais. Entretanto, essa característica implica em investimento, que reflete diretamente no custo do produto final.

Como resolver este dilema?

Agora que estamos concluindo esta seção, você já deve estar apto a pensar a respeito de como associar uma visão sistêmica com a questão da natureza de um sistema produtivo e a questão da decisão do tipo de

automação que deve ser agregada para que este sistema apresente um diferencial competitivo.

Para finalizar, aprofunde o seu conhecimento a respeito da evolução tecnológica que norteia a automação.

# Pesquise mais

Os assuntos que mais são discutimos em automação nos últimos anos são Indústria 4.0, Internet Industrial e Manufatura Avançada.

Trata-se de uma nova fase de evolução tecnológica em que o objetivo é manter uma empresa competitiva diante do cenário de evolução tecnológica exponencial dos recursos que são utilizados em sistemas produtivos. Esse novo panorama exige um novo perfil de profissional e será cada vez mais necessário um perfil de formação profissional especialista em lidar com sistemas complexos.

Se a Primeira Revolução Industrial, que ocorreu entre os séculos XVIII e XIX, marcou o início de uma geração de máquinas movidas pela correnteza da água e pela pressão do vapor de água, a Segunda Revolução já aponta para o surgimento das máquinas elétricas, propiciando a evolução para a Terceira Revolução Industrial, graças à evolução dos recursos computacionais e da Tecnologia da Informação aplicados à indústria. Esse avanço tecnológico presenciado atualmente está nos lançando para a Quarta Revolução Industrial, fundamentada no conceito de Sistemas Ciber-Físicos - sistemas que possuem elevada capacidade de processamento computacional distribuída em seus diversos dispositivos, que os constituem de tal forma que existe algum tipo de colaboração entre eles para a realização dos processos presentes nesses sistemas produtivos complexos.

Para entender melhor a evolução da Revolução Industrial no mundo e em qual estágio desse processo evolutivo você terá que atuar como engenheiro, leia os artigos <a href="http://w3.ufsm.br/fuentes/index\_arquivos/rev.pdf">http://w3.ufsm.br/fuentes/index\_arquivos/rev.pdf</a>. (acesso em: 22 maio 2017) e <a href="http://www.bbc.com/portuguese/geral-37658309">http://www.bbc.com/portuguese/geral-37658309</a>». (acesso em: 22 maio 2017).

### Sem medo de errar

Como engenheiro, você deve aplicar um procedimento para a solução do seu problema. Uma vez que o problema proposto foi descrito de uma forma genérica, vamos apresentar uma sistemática que poderá ser utilizada sempre que você se deparar com um problema real em sua vida profissional, no qual detalhes de especificação do sistema e do seu comportamento estarão explicitados e que poderão ser claramente declarados de acordo com o procedimento a seguir:

#### 1º Passo: Visão Sistêmica

Na situação-problema, apresentada inicialmente, existe um sistema produtivo. Portanto, em primeiro lugar, você deverá separar quais são os elementos que fazem parte do seu sistema produtivo para, então, fazer uma análise de necessidades. Isso evita que você incorra em um dos seguintes erros:

- Erro do aquém: simplificação da solução, desconsiderando partes do sistema que não deveriam ser ignoradas.
- Erro do além: complicação da solução, considerando partes do sistema que não deveriam ser consideradas, porque não estão funcionalmente envolvidas na execução dos processos que ocorrem no sistema produtivo.

2º Passo: Análise da natureza do sistema produtivo

Você deve descrever exatamente a natureza dos processos que são executados no sistema, identificando o volume de produção envolvido, a necessidade de realização de produção segmentada em lotes e a possibilidade de execução simultânea de diferentes processos, se for o caso.

3º Passo: Análise dos tipos de automação

Com base nos levantamos realizados nos passos anteriores, verifique qual é o tipo adequado de automação que deve ser aplicado. Não esqueça que se exagerar na rigidez perderá a flexibilidade para inovações futuras; e se exagerar na flexibilidade irá gerar um custo agregado ao produto que pode comprometer a competitividade da empresa.

Aplicando esse método, você será capaz de propor soluções de automação que sejam condizentes com a necessidade de seu problema.

### Avançando na prática

# Implantação de uma indústria farmacêutica para a produção de remédios contra o câncer de pulmão

### Descrição da situação-problema

Considere que você já atua em uma indústria farmacêutica e que, agora, você está envolvido na implantação de uma nova linha de produção de medicamentos de alto custo para o controle de câncer de pulmão. Qual tipo de automação você associaria a essa linha?

### Resolução da situação-problema

Aplicando o procedimento visto anteriormente, temos:

1º Passo: Visão Sistêmica

Inicialmente você deve considerar a hipótese de que o desenvolvimento de drogas para o câncer envolve altos investimentos e que, até que uma droga ser aprovada para aplicação nos seres humanos, há um tempo de minimamente dez anos para esse ciclo de desenvolvimento.

Nesse contexto, você entenderá que não deve envolver fabricação de forma compartilhada com outras drogas, para finalidades diferentes, e também não deve excluir a possibilidade de fabricação de forma compartilhada com outras drogas, mas para outros tipos de câncer, que apresentem similaridades.

2º Passo: Análise da natureza do sistema produtivo

O sistema produtivo deve envolver um controle crítico de qualidade e isso implica na utilização de autoclaves (equipamento utilizado para esterilização) para que não haja risco de contaminação. Nesse contexto, a produção em lotes para o controle do medicamento é essencial.

3º Passo: Análise dos tipos de automação

A partir do contexto apresentado, podemos considerar a decisão de implementar um sistema de automação com a flexibilidade de um sistema de automação programável. Dessa forma, será possível reprogramar o sistema para diferentes lotes e, ao mesmo tempo, será respeitada a questão do controle de qualidade da fabricação de cada lote.

### Faça valer a pena

- **1.** Para que um engenheiro possa definir de forma adequada as necessidades para a solução de um problema de engenharia, é necessário que ele aplique um procedimento que se baseie no conceito de visão sistêmica. Leia as afirmações I, II, III, IV e V, sobre essa questão, e identifique aquelas que são Verdadeiras (V) e aquelas que são Falsas (F):
- I. Um sistema é formado por elementos que interagem entre si.
- II. Um sistema apresenta um comportamento desejado.
- III. Um sistema tem comportamento associado.
- IV. Um sistema é formado por um conjunto de elementos.
- V. Os elementos de um sistema não estão, necessariamente, envolvidos com o comportamento desejado para esse sistema.

Pensando na visão sistêmica, com base nas afirmativas de I a V, assinale a

alternativa que apresenta a ordem correta de Verdadeiro (V) e de Falso (F).

- a) V, V, V, V, V.
- b) F, F, F, F, F.
- c) F, V, F, F, V.
- d) V, V, V, F, F.
- e) V, V, V, V, F.
- **2.** Quando você avalia a natureza de um sistema produtivo, um aspecto fundamental a ser verificado é o volume de produção associado aos processos produtivos que devem ser realizados para a fabricação de seus produtos.

Considerando os tipos de produção em um sistema produtivo, assinale a alternativa correta

- a) A produção em grande escala exige reprogramação das máguinas.
- b) A produção em lotes permite que haja um tempo para que as máquinas sejam reprogramadas.
- c) As máquinas podem ser reprogramadas durante a produção em sistemas produtivos que trabalham em lotes de produção, sem que haja necessidade de interrupções.
- d) A fabricação de vários produtos de forma simultânea deve envolver máquinas altamente dedicadas a uma determinada operação associada a uma função presente nos processos.
- e) Todas as alternativas são falsas.
- **3.** Para que um engenheiro determine qual é a complexidade do sistema de automação que deve ser implantado em um sistema produtivo, é essencial que ele compreenda como o conceito de flexibilidade deve estar presente em diferentes contextos de aplicação. Sobre essa questão, considere as afirmações a seguir.
- I. A automação fixa não é recomendada para pequenos volumes de produção.
- II. A automação programável é voltada para produção em lotes.
- III. A automação flexível exige máquinas dedicadas.
- IV. A automação flexível não necessita parar a produção para a reprogramação das máquinas.
- V. A automação flexível é mais adequada para pequenos volumes de produção.

Com base nas afirmativas lidas, assinale a alternativa correta.

- a) Somente I e IV estão corretas.
- b) III e IV estão incorretas.
- c) Somente III está incorreta.
- d) III. IV e V estão corretas.
- e) Todas as afirmativas estão corretas.

# Seção 1.2

### SED, SVC e a norma IEC 61131

### Diálogo aberto

Vamos iniciar a Seção 1.2 para dar continuidade àquilo que você está aprendendo na Unidade 1. Na seção anterior, você aprendeu como é importante, antes de definir um sistema de automação para um sistema produtivo, conhecer as diferentes formas de automação e saber identificar qual é a real necessidade que apresenta um sistema produtivo para que ele seja automatizado. Para isso, você aprendeu que, em sua formação de engenheiro, é fundamental dominar o conceito de visão sistêmica para ser capaz de analisar dois cenários: a questão voltada para entender que existe um sistema de automação que envolve diferentes níveis de flexibilidade, constituindo diferentes níveis de automação (fixa, programável ou flexível); e a questão associada ao comportamento do sistema produtivo que você deseja automatizar, especificando como é o volume de produção e a diversificação de processos simultâneos que são realizados.

Vencido esse desafio inicial, convidamos você a avançar nesta seção para resolver o problema associado ao contexto de desenvolvimento de modelos que serão fundamentais para entender como se desenvolvem representações baseadas no conceito formal de modelagem.

Conforme descrito no item *Convite ao Estudo* desta unidade, você precisa modernizar uma planta industrial de manufatura para que ela se torne competitiva. Você já aprendeu a fazer uma análise do sistema de automação e do sistema produtivo. O próximo passo é aprender como deve ser sua postura para resolver o seguinte desafio:

- Como deve ser tratado o problema de modelagem do sistema a ser automatizado para que seja representado como uma especificação inicial formal?
- Como você padronizaria os procedimentos para que o processo de automação tenha êxito?

Essas questões irão capacitá-lo a aplicar princípios de modelagem para a solução de problemas em engenharia e a reconhecer a importância de conhecer as normas que estabelecem diretrizes para padronizar o desenvolvimento dessas soluções.

Vamos avançar?

### Não pode faltar

Para resolver um problema de engenharia, o requisito inicial é que o engenheiro seja capaz de representar a realidade referente ao seu problema para que ele possa estudar e propor soluções a partir dessa representação.

Já pensou se o engenheiro não tivesse esse recurso para desenvolver os seus projetos? Se ele não tivesse como representar o seu problema, ele precisaria ir direto para a sua solução e teria de construir uma solução baseando-se em um processo de tentativa e erro. Já imaginou você falando para o diretor da empresa em que você atua para ele investir em diversos equipamentos para automação porque você precisa fazer testes para ver o que dará certo? Pior, se não desse certo, você seria obrigado a descartar e solicitar a compra de novos itens

Com essa reflexão é possível perceber a importância da representação da realidade para a solução de problemas.

### Identificando a classe dos sistemas produtivos de manufatura

Antes de vermos a questão da representação, vamos aprender algo fundamental: identificar a classe de um sistema produtivo. Para isso, nosso estudo inicial será a respeito de duas classes de sistemas: Sistemas a Eventos Discretos (SED) e Sistemas de Variáveis Contínuas (SVC).



Se inicialmente foi estudada a definição de sistema, agora é o momento de você estudar o comportamento de um sistema. Basicamente, um sistema pode ser instantâneo ou dinâmico.

Um sistema instantâneo é caracterizado por sua saída, em um determinado instante, depender unicamente de sua entrada.

Um sistema dinâmico é aquele em que a sua saída depende da entrada e do estado em que ele se encontra.

Podemos definir um SED como um sistema dinâmico em que a ocorrência de ações provoca mudanças em seu estado. Essas ações são caracterizadas como eventos, ou seja, algo que ocorre durante um intervalo de tempo finito e que provoca uma mudança no estado do comportamento do sistema.

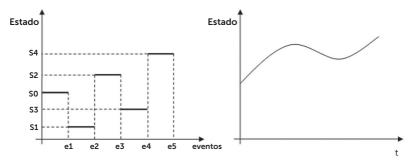
A Figura 1.2 ilustra como procede a evolução de estados em cada uma das classes de sistemas aqui abordadas. Para o caso dos SED, observa-se que na Figura 1.1 (a) os eventos são representados de forma instantânea e, conforme eles ocorrem, levam o sistema para outro estado (SO para S1, S1 para S2, etc.). Portanto, as entradas, os estados e as saídas são variáveis discretas.

Outra observação importante sobre SED é que os eventos não têm uma determinação sobre o instante em que devem ocorrer. Por esse motivo, o gráfico mostrado na Figura 1.2 (a) apresenta em seu eixo x uma representação da ocorrência dos eventos, sem que haja qualquer informação relacionada ao tempo. Dessa forma, a largura do segmento desenhado no gráfico, que representa o estado em que o sistema se encontra após a ocorrência de um determinado evento, não está associada à representação do tempo de duração em que o sistema permaneceu naquele estado. Essa informação é geralmente indeterminada e não é possível utilizar o tempo como uma variável que possa ser utilizada para controlar o disparo de eventos. Existem casos específicos em que isso poderá ser realizado de forma local e implica no uso de temporizadores. Esse assunto será tratado mais a frente, quando nos aprofundarmos nas técnicas de programação de controladores programáveis.

Por sua vez, podemos definir um SVC como um sistema em que as entradas variam continuamente no tempo, causando uma mudança contínua de estado (MIYAGI, 2011). Classicamente, referese a sistemas que representam o controle de sistemas contínuos e que não será abordado nesta disciplina. A Figura 1.2 (b) ilustra a evolução de estados nessa classe de sistemas. Nesse caso, as entradas, os estados e as saídas são variáveis contínuas.

O comportamento dinâmico do sistema é dirigido pelo tempo e os modelos matemáticos utilizados para representar o comportamento dessa classe de sistemas baseiam-se em equações diferenciais.

Figura 1.2 | Evolução de estados em SED (a) e em SVC (b)



Fonte: elaborada pelo autor.

Uma vez que os sistemas produtivos a serem estudados são sistemas de manufatura, uma característica marcante deles é o fato de serem dirigidos por eventos. Dessa forma, identificaremos os sistemas produtivos de manufatura, que são objeto de estudo desta disciplina, como sendo pertencentes à classe de SED.



Muitas vezes fica difícil compreender o conceito de sistema dinâmico aplicado na prática do dia a dia.

Por exemplo, suponha que você possui um motor elétrico e dois botões para acioná-lo: um botão para ligar (L) e outro para desligar (D). Quando você pressionar o botão L ele deve ligar e quando pressionar o botão D, ele deve desligar, certo?

E quando você soltar o botão L? Ele precisa permanecer ligado, certo?

Essa última observação indica que o seu sistema precisa ter uma memória interna. Quando você pressiona L, ele liga e deve permanecer ligado até que o D seja pressionado. Assim, a saída para ligar o motor depende da entrada e do estado do sistema. Se a entrada L for ativada, o motor vai para o estado LIGADO. Se a entrada L estiver ativa ou se o estado for LIGADO, então a saída deve ativar o motor.

Todas as vezes em que a saída de um sistema depende da entrada e do estado, esse sistema é considerado dinâmico.

### **Modelos Estruturais**

O ato de representar um sistema consiste na construção de modelos para tal fim. Como todo sistema tem elementos e descreve

um comportamento, será necessário definir uma sistemática para a construção de modelos estruturais e comportamentais.

Inicialmente, vamos abordar a questão da modelagem estrutural.

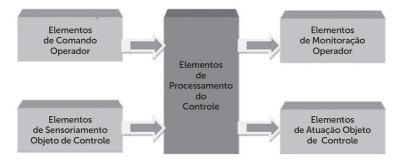
Um modelo estrutural é aquele que representa a lógica de relacionamento entre os elementos. No caso dos sistemas produtivos do tipo SED, podemos estabelecer que exista um sistema de controle formado por cinco tipos fundamentais de elementos (MIYAGI, 2011; SOLOMAN, 2012):

- **1. Elementos de processamento do controle:** são os dispositivos que desempenham a função de controladores, capazes de processar a lógica de controle que irá identificar e gerar eventos para a mudança de estado do sistema produtivo. Esses elementos são controladores programáveis, em sua maioria, ou elementos de controle sequencial do tipo memória, temporizadores e contadores auxiliares.
- **2. Elementos de comando:** são dispositivos que servem de interface com o usuário/operador, que permitem o envio dos sinais, para comandar o sistema produtivo, aos elementos de processamento do controle. Podem ser interfaces homem-máquina (IHM) ou botoeiras e chaves específicas para esse fim.
- **3. Elementos de monitoração:** são dispositivos que servem de interface para que o usuário/operador possa receber as informações dos controladores e identifiquem o estado do sistema produtivo. Também podem ser IHMs, displays digitais, alarmes e sinalizadores de leds, por exemplo.
- **4. Elementos de atuação:** são dispositivos que recebem sinais dos controladores e servem de interface para o sistema produtivo. Essa parte do sistema produtivo é denominada objeto de controle. Podem ser servomotores, válvulas, contatores, por exemplo, para acionar o objeto de controle.
- **5. Elementos de sensoriamento:** são os sensores utilizados para informar aos elementos de processamento do controle o estado em que o objeto de controle está, para que o sistema possa evoluir. Podem ser sensores de chaveamento óticos, indutivos, capacitivos, de fibra óptica, cortinas de luz, identificação de cor, proximidade e fim de curso.

A vantagem de utilizar essa abordagem é que nela os modelos estruturais passam a ser padronizados e podem utilizados como especificações para aplicação de uma metodologia de projeto de sistemas de automação.

A Figura 1.3 ilustra como fica estabelecida a lógica de relacionamento entre esses elementos, constituindo uma espécie de diretriz para a construção de modelos estruturais de sistemas produtivos.

Figura 1.3 | Modelo estrutural dos elementos de um sistema produtivo com automação



Fonte: elaborada pelo autor.

### O modelo do comportamento e a norma IEC61131

Uma vez que ficou estabelecido que os sistemas produtivos focados nesta disciplina são SED, vimos que para representá-los precisamos de um modelo estrutural. No entanto, isso não é suficiente. Precisamos de um modelo capaz de representar o comportamento dinâmico da ocorrência de eventos e as estratégias de controle, de modo a intervir na ativação para ocorrência desses eventos e também na detecção associada ao sensoriamento para reconhecer a ocorrência deles, ou seja, matematicamente dizemos que esses modelos precisam ser interpretados (capazes de representar a interação com o meio físico).

A primeira questão a ser analisada é o fato de esses sistemas produtivos serem classificados como SED, ou seja, são sistemas dinâmicos do tipo condição-evento. Isso significa que a evolução dinâmica ocorre considerando que:

- a) O estado em que o sistema está, em um determinado instante, representa a sua condição.
- b) A mudança de estado acontece a partir da ocorrência de eventos que levam o sistema para uma nova condição.

Nesse contexto, a ocorrência de uma sequência de eventos provocará uma sequência de transições de estado que representarão o comportamento dinâmico do sistema.

Para modelar esse comportamento dinâmico, podem ser utilizadas ferramentas para modelagem baseadas em grafos orientados, que não serão estudadas nesta disciplina.

Uma vez que a soluções de controle a serem programadas nos controladores podem ser complexas, teve-se a iniciativa de organizar equipes para que o trabalho pudesse ser sistematizado, envolvendo a parte de instalação, hardware, programação, comunicação, testes e documentação.

Se de um lado auxiliou o profissional a projetar sistemas de controle para automação de sistemas sem que a qualidade do projeto dependesse unicamente de sua experiência profissional, de outro foi fundamental para estabelecer diretrizes aos fabricantes de controladores programáveis para que os usuários não corressem o risco de passarem por sérios problemas de incompatibilidade por causa dos diferentes recursos de programação que poderiam ser lançados, dependendo do fabricante.

A partir desta iniciativa proposta pela *International Electrotechnical Commission* (IEC), foi especificada a norma IEC 61131, contendo oito partes.

## Pesquise mais

A norma IEC 61131 é constituída por oito partes, sendo que uma delas é a Parte 3, que estudaremos com mais detalhes nas próximas seções, dada a sua importância no suporte ao desenvolvimento dos programas de controle a serem executados nos controladores programáveis.

Faça uma pesquisa online a respeito dessas outras partes, para que você possa ter uma visão geral da norma. Como sugestão veja o link <a href="https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1881421/mod\_resource/content/0/Aula2\_1131.pdf">https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1881421/mod\_resource/content/0/Aula2\_1131.pdf</a>>. Acesso em: 20 maio 2017.

Apesar da abrangência, verifica-se que a maior preocupação dos fabricantes tem sido quanto à Parte 3 da norma, que cuida da questão de padronização das linguagens e contempla aspectos voltados para a definição da estrutura dos programas de controle e a forma de execução do processamento do código em tempo real. Nesse contexto, é importante observarmos que é fundamental que se conheça essa

norma, pois um dos seus aspectos mais importantes é que ela fornece orientações sobre como programar os controladores para que seja especificado de forma adequada o comportamento que se deseja para o funcionamento de um sistema produtivo, que faz uso de controladores programáveis.

O programa de controle gerado representa um modelo formal de como deve ser o comportamento do sistema quando o código for executado.

Para que você obtenha êxito em seu projeto de automação é necessário basear-se na norma IEC 61131-3, que:

- 1) Prevê a aplicação de linguagens de programação específicas para desenvolver os programas de controle que garantirão o comportamento desejado de sistemas produtivos (maiores detalhes sobre essas linguagens serão tratados na Seção 1.3).
- 2) Permite o estabelecimento de um critério para decompor o programa em módulos para facilitar e otimizar o desenvolvimento de acordo com a decomposição funcional do sistema produtivo, ou seja:
- a) Controle das operações: desenvolvimento do módulo de sequenciamento das ações a serem executadas, envolvendo os atuadores locais para executar as operações necessárias.
- b) Controle das funções: desenvolvimento do módulo de sequenciamento das operações a serem executadas, para compor cada função presente nos processos.
- c) Controle dos processos: desenvolvimento do módulo de definição das funções a serem executadas, para executar cada processo presente no sistema produtivo.

Aplicando esse princípio você poderá realizar o projeto do programa de controle para o seu sistema produtivo de forma distribuída, além de poder fazê-lo utilizando uma sistemática de desenvolvimento de baixo para cima, conhecida como *botton-up*, quanto uma de cima para baixo, conhecida como *top-down*.



Reflita

Nesse ponto de sua aprendizagem é importante que você possa refletir sobre dois aspectos: a natureza instantânea ou dinâmica de um sistema e o princípio de dividir para conquistar.

#### Instantâneo ou Dinâmico?

Para que você possa evoluir na solução de um problema de automação, a primeira coisa a fazer é classificar o sistema produtivo, que é objeto de seu estudo, em instantâneo ou dinâmico. Por exemplo, se você tiver um alarme que soa quando você pressiona um determinado botão, a entrada do seu sistema de segurança será a botoeira e a saída será o alarme. Quando você pressiona o botão, o alarme soa e isso não depende de mais nada.

Considere, agora, que você precisa desenvolver um projeto de um sistema de automação para um sistema produtivo.

Qual é a probabilidade desse sistema ser instantâneo?

Você acredita que o fato de considerar que os SED são sistemas dinâmicos foi uma hipótese adequada? Não se esqueça de que os sistemas produtivos de manufatura fazem parte dessa classe e isso implica em dizer que você não projetará sistemas instantâneos.

Dividir para conquistar?

Outro aspecto importante, que foi mencionado como procedimento previsto pela norma IEC 61131, é a questão de desenvolvimento modular de um programa de controle. Para isso, foi proposto interpretar que em um sistema produtivo você realiza um conjunto de processos. Você pode interpretar cada um desses processos você pode interpretar como sendo constituídos por um conjunto de operações. Por sua vez, cada operaçõe está associada a um conjunto de ações.

Nesse contexto, que tipo de abordagem é mais oportuna: *top-down* ou *botton-up*?

Pense a respeito.

### Sem medo de errar

Avançando em seu projeto de modernização de uma planta industrial voltada para a manufatura, a fim fazê-la reposicionar-se em termos de competitividade no mercado, como você abordaria o problema de modelagem do sistema a ser automatizado para que fosse representado como uma especificação inicial formal e como você padronizaria os procedimentos para que o processo de automação tivesse êxito?

Em primeiro lugar, você deve se acostumar com o fato de que nesta disciplina não existem fórmulas a serem aplicadas para a

resolução de um determinado problema, a partir da realização de algum cálculo. Projetar sistemas de controle para automação implica no desenvolvimento de modelos de procedimentos de controle e você está sendo capacitado a construir esses modelos. Por isso, você precisa aprender os procedimentos e, sabendo isso, você poderá desenvolver soluções para diferentes problemas de forma sistemática.

O problema de modelagem que você aprendeu a tratar aqui pode ser aplicado da seguinte forma:

1º Passo: Modelagem Estrutural

Considere a situação-problema apresentada inicialmente e imagine que você está diante de um sistema produtivo. O procedimento para obter o modelo estrutural é listar cada uma das classes de elementos e lembrar que eles estão conectados logicamente, de acordo com a Figura 1.2.

Assim, temos:

- a) Liste os elementos de processamento do controle, ou seja, todos os controladores presentes em seu sistema produtivo.
- b) Liste todos os elementos de comando que servem de interface para o operador.
- c) Liste todos os elementos de sensoriamento que servem de interface para o objeto de controle.
- d) Liste todos os elementos de monitoração que servem de interface para o operador.
- e) Liste todos os elementos de atuação que servem de interface para o objeto de controle.
  - 2º Passo: Modelagem comportamental

Para que você possa iniciar o processo de especificação do comportamento de seu sistema produtivo com êxito, aplique a abordagem modular e distribuída listando os módulos previstos de acordo com a seguinte nomenclatura:

- a) Controle dos processos: liste os processos que estão presentes no sistema produtivo e que estão associados à fabricação de produtos. Para cada produto, associe um processo específico. Liste todas as funções necessárias para compor cada um dos processos.
- b) Controle das funções: liste todas as funções necessárias para compor o(s) processo(s) presente(s) no sistema produtivo.

c) Controle das operações: liste todas as operações pertinentes às funções já definidas.

Aplicando esse método você desenvolverá as especificações que estão associadas com a descrição da estrutura e comportamento desejável para o sistema produtivo e será capaz de desenvolver seu projeto de automação com êxito.

### Avançando na prática

### Fabricação de medicamento líquido: xarope emulsificante

### Descrição da situação-problema

Considere que você, como engenheiro responsável pela automação de processos, tenha de desenvolver um relatório técnico com a especificação inicial de um sistema produtivo para a fabricação de um novo xarope, do tipo emulsificante, sendo necessário realizar um processo que implica em três etapas: dosagem de três componentes, mistura deles em um misturador e armazenamento temporário para envasamento em frascos de 150 ml. Esse relatório deve conter: (i) determinação das funções presentes no sistema; (ii) descrição das operações presentes na etapa de operação do misturador; e, considerando o misturador, a (iii) descrição dos elementos de seu modelo estrutural.

A respeito da etapa de mistura, suponha que existe um misturador com três níveis de detecção de líquido para medir a dosagem dos componentes. Considere que existem três válvulas para a entrada dos respectivos componentes e uma válvula de saída para a mistura pronta. O misturador possui um motor para agitar as hélices que realizam a mistura.

### Resolução da situação-problema

- (i) Inicialmente, para o desenvolvimento do relatório solicitado pelo seu gestor, você deve refletir sobre as funções presentes no sistema. Perceba que o processo contém cinco funções:
  - a) Dosagem.
  - b) Mistura.
  - c) Descarregamento.
  - d) Armazenamento em tanque.
  - e) Envasamento.

- (ii) O misturador é utilizado para a realização de três funções: dosagem + mistura + descarregamento. Logo, as operações pertinentes são:
  - a) Abrir Válvula 1 até sensor S1.
  - b) Abrir Válvula 2 até sensor S2.
  - c) Abrir Válvula 3 até sensor S3.
  - d) Acionar motor Mm do misturador, durante um tempo Tm.
  - e) Abrir Válvula de saída Vs até sensor S0.
- (iii) Por fim, a descrição dos elementos:
- a) Processamento do controle: um controlador programável é esperado.
  - b) Comando: nada foi descrito.
  - c) Sensoriamento: So, S1, S2, S3, S4.
  - d) Monitoração: nada foi descrito.
  - e) Atuação: V1, V2, V3, Vs, Mm.

### Faça valer a pena

- **1.** O conhecimento da norma IEC 61131 é fundamental para o projeto de sistemas de automação.
- A Parte 3 da norma IEC 61131 trata de questões voltadas para:
- a) Instalações elétricas e pneumáticas.
- b) Programação do controlador.
- c) Teste de contatos elétricos.
- d) Comunicação.
- e) Manutenção dos dispositivos.
- **2.** Para a solução de um problema de automação de sistemas, é essencial conhecer a classe de sistemas à qual pertence o sistema em estudo. Considere as seguintes afirmações e identifique aquelas que são Verdadeiras (V) e aquelas que são Falsas (F):
- I. Um SED é um sistema dinâmico dirigido por eventos.
- II. Um SVC é um sistema dinâmico dirigido pelo tempo.
- III. Um SVC muda de estado continuamente.

Assinale a alternativa que mostra a ordem correta de Verdadeiro (V) e de Falso (F).

- a) V, V, V.
- b) F, F, F.
- c) V, F, V.
- d) F, V, V.
- e) V, V, F.
- **3.** O modelo estrutural de um sistema é fundamental para que se possa compreender a conexão lógica entre seus elementos.

Quais são os elementos estruturais que estão presentes em um modelo estrutural de um sistema produtivo com automação e que são entradas para o elemento de processamento do controle?

- a) Comando e monitoração.
- b) Comando e atuação.
- c) Monitoração e sensoriamento.
- d) Sensoriamento e comando.
- e) Controle e ativação.

# Seção 1.3

### Princípios e funcionamento de CLPs

### Diálogo aberto

Nas seções anteriores desta unidade, você aprendeu a analisar um sistema produtivo aplicando uma visão sistêmica para desenvolver um projeto de automação de um sistema.

Inicialmente, você aprendeu a analisar o nível de automação presente (fixa, programável ou flexível) relacionado ao volume de produção que o sistema demanda

Na sequência, você aprendeu como desenvolver o modelo estrutural, representando os elementos de comando, monitoração, de processamento do controle, de atuação e sensoriamento; e o modelo comportamental, representando de forma modular e distribuída o controle de processos, das funções e das operações a serem executadas.

Aplicando esses procedimentos, você aprendeu que é capaz de fazer a especificação inicial de um projeto de automação adequado às necessidades do cliente e que tenha a estrutura e o comportamento desejáveis, para que o sistema produtivo automatizado resulte em um projeto de automação exitoso.

O terceiro desafio que você irá enfrentar agora é o de ser capaz de avaliar a causa de uma ocorrência estranha em um sistema produtivo. O cenário que você terá de enfrentar, como responsável pelo projeto, é o de travamentos no processo. O que será que está provocando a ocorrência de travamentos repentinos em determinadas linhas de produção de um sistema produtivo?

Considere que a equipe de manutenção já realizou o comissionamento da planta (teste de integridade de cada um dos elementos da estrutura do sistema produtivo, no qual está sendo executado um determinado processo) e não foi diagnosticado nenhum problema de mal funcionamento dos elementos de atuação, sensoriamento, comando ou monitoração. Testando-se as entradas e saídas do controlador, também não foi observada nenhuma irregularidade.

Para poder resolver essa classe de problemas, você precisará aprender novos conceitos.

Então, vamos em frente!

### Não pode faltar

#### Introdução aos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs)

A ideia de utilizar sistemas computadorizados para o controle de máquinas começou em 1960, com a empresa New England, que era especialista no controle de máquinas-ferramenta. Um de seus sócios, Richard England, foi o primeiro a especificar o que era um CLP, em 1968. Com isso, quebrou-se o paradigma de que para que a lógica de um sistema de controle fosse implementada era necessário utilizar dispositivos eletromecânicos do tipo relés. Isto foi uma revolução, pois, observando a Figura 1.4, podemos ter uma ideia de como era complexo fazer o cabeamento das ligações entre os relés para representar uma determinada lógica (PETRUZELLA, 2013). Imagine se fosse necessário alterar a lógica - dependendo da complexidade do painel, seria melhor descartar e produzir um novo!

Surgiu, assim, a primeira alternativa para implementar lógica por outro meio que não fosse os relés: utilizando os CLPs.



Inicialmente, é de suma importância você entender o que é CLP. Podemos definir CLP como um tipo de computador industrial capaz de controlar máquinas e processos, com recursos necessários ao armazenamento de instruções para implementar lógica combinatória, sequenciamento, temporização e operações aritméticas, utilizando entradas e saídas digitais e/ou analógicas (GROOVER, 2011).

No mesmo ano em que Richard England especificou o primeiro CLP, a General Motors desenvolveu um conjunto de especificações: (1) ser programável e reprogramável; (2) ser capaz de operar em ambiente industrial; (3) ser compatível com sinais de 120Vac; (4) possuir saídas para acionar motores e relés; e (5) preço e custo de instalação competitivos.

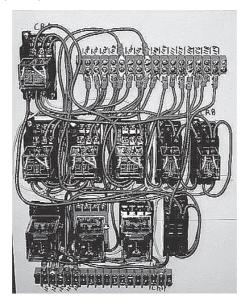
Isso norteou o desenvolvimento de CLPs, que foram os responsáveis pelo avanço da automação que existe hoje.

Os principais benefícios oferecidos pelos CLPs são:

- Maior confiabilidade para se programar um CLP do que cabear um painel de relés.
- Maior flexibilidade para ser programado ou reprogramado, quantas vezes for necessário um recabeamento pode ser inviável de ser realizado.

- Facilidade de comunicação com outros dispositivos.
- Maior capacidade de processamento de diferentes funcionalidades de controle.
- Manutenção mais simples, o que impacta em redução de custo.
- Maior agilidade e tamanho compacto, com a capacidade de operar em tempo real.
- Emissão de sinais de 24 V para garantir a segurança dos usuários.

Figura 1.4 | Exemplo de painel de controle utilizando relés



Fonte: Petruzella (2013).

#### Elementos de um CLP

Podemos dizer que um CLP é formado pelos seguintes elementos (Figura 1.5):

1. Módulos de Entrada e Saída (E/S): podem ser dispostos em um CLP de duas formas: (i) por meio de uma arquitetura centralizada em que as entradas e saídas são fixas e fazem parte da estrutura de hardware do CLP; (ii) por meio de uma estrutura modular expansível, em que módulos de E/S são plugados dando flexibilidade ao conjunto. Um aspecto importante a ser destacado é o fato das entradas e saídas serem isoladas eletricamente do ambiente externo. Todos os acoplamentos são realizados por meio de

foto-transistor e diodo, para que surtos de corrente não danifiquem o CLP (GROOVER, 2011; PETRUZELLA, 2013).

- **2. Unidade de Processamento:** constitui a CPU (Unidade Central de Processamento) do CLP, que tem como função gerar os sinais de saída adequados mediante o processamento de operações lógicas de sequenciamento envolvendo os sinais de entrada e os sinais que foram armazenados internamente para manter o registro do estado do sistema. Podem ser utilizados vários processadores para um mesmo CLP, que são capazes de operar em tempo real. É importante observar que esses processadores possuem proteção para que não sofram interferências causadas por ruído eletromagnético, que comumente existe nesses ambientes industriais em que correntes elevadas são chaveadas constantemente (GROOVER, 2011; PETRUZELLA, 2013).
- **3. Unidade de memória:** está diretamente conectada à CPU e contém duas diferentes naturezas de dados armazenados:
- a) Os dados associados ao programa desenvolvido pelo usuário, contendo as instruções de operação para que a lógica de controle seja executada e os arquivos de dados associados às entradas e às saídas que estão conectadas ao CLP. Além de estruturas de armazenamento auxiliares, para manter o armazenamento das variáveis de estado que forem necessárias. Esses dados constituem a memória de aplicação.
- b) Os dados associados ao sistema operacional e suas funções, para manter o funcionamento do CLP. Essa área não é acessível para o usuário e somente o fabricante do dispositivo tem acesso (GROOVER, 2011; PETRUZELLA. 2013).
- **4. Fonte de alimentação:** fornece uma tensão contínua para alimentar os elementos internos do CLP. Recebe como entrada uma tensão alternada (115 Vac) que é convertida em contínua. Hoje os CLPs normalmente são alimentados com 24 Vdc, sendo que as fontes do painel podem ser 110 Vac, 127 Vac, 220 Vac, 400 Vac monofásico, ou ainda 400 Vac Trifásico Para CLPs de maior porte, a alimentação não costuma ser fornecida para os dispositivos que compõem o objeto de controle (GROOVER, 2011; PETRUZELLA, 2013).
- **5. Dispositivo de programação:** é o meio pelo qual o CLP pode ser programado. Existem painéis simplificados para dispositivos de pequeno porte, entretanto, o computador pessoal (PC) é o mais utilizado. Os fabricantes oferecem recursos computacionais para editar os programas off-line, validá-los e depois descarregar no CLP (GROOVER, 2011; PETRUZELLA, 2013).

Você já estudou que um SED é um sistema dirigido por eventos e que um SVC é um sistema de variáveis contínuas.

Para realizar o controle de um SVC, utilizamos o computador digital, o que requer que o sinal contínuo seja discretizado por meio da coleta de amostras. O Teorema de Nyquist determina que se um sinal contínuo for amostrado utilizando uma frequência de amostragem que tenha pelo menos o dobro da maior frequência presente em seu espectro, então esse sinal pode ser recuperado por filtragem, utilizando-se um filtro passa-baixa.

Portanto, se um CLP pode receber sinais contínuos e sinais digitais por meio das suas entradas analógicas e digitais, é importante que você reflita para responder duas questões fundamentais:

- Quando você controla um SED e utiliza um CLP, você utiliza entradas digitais? Existe a necessidade de fazer alguma amostragem?
- Quando você utiliza um CLP para controlar um SVC, você utiliza entradas analógicas? É necessário transformar essas entradas em sinais digitais? O CLP precisa fazer alguma amostragem?

Reflita sobre essas questões, lembrando que um SED não precisa ter a sequência de eventos descrita em função do tempo.

Módulo da fonte Módulo de Módulo de alimentação entrada de saída Módulo do processador Dispositivo Unidade central Dispositivo sensor de de processamento de saída entrada (CPU) de carga Memória Programa Dados Isolamento Isolamento óptico óptico

Figura 1.5 | Elementos de um CLP

Fonte: Petruzella (2013).

#### Princípio de Funcionamento de um CLP

De uma forma geral podemos dizer que um ciclo de varredura

(scan) de um CLP pode ser dividido em três etapas (Figura 1.6):

- Aquisição das entradas: durante esta fase, as entradas físicas são lidas pelo CLP e o estado dessas entradas é armazenado em uma memória interna no formato de um arquivo de dados de entrada.
- Execução do programa: de forma procedural, o programa armazenado internamente é executado. Os valores de entrada armazenados em memória são utilizados nos cálculos para que as saídas apropriadas sejam geradas. Além dos dados associados às entradas, podem existir dados armazenados internamente, denominados flags internos, que representam variáveis de estado para manter o comportamento dinâmico desejado para o sistema controlado pelo CLP. Conforme as saídas são processadas, seus valores são armazenados na memória que constitui o arquivo do estado das saídas físicas
- Atualização das saídas: o arquivo de saída é mapeado nas saídas físicas para que o CLP possa atuar de forma adequada, controlando o objeto de controle.

Esse processo de varredura acontece de forma cíclica e intermitente e depende (GROOVER, 2011; PETRUZELLA, 2013):

- Do número de entradas que precisam ser verificadas.
- Do número de saídas que precisam ser atualizadas.
- Da complexidade do programa de controle que precisa ser processado.

Tipicamente é da ordem de 1 a 20 ms.

Figura 1.6 | Ciclo de varredura de um CLP



Fonte: Petruzella (2013).



Vimos que o princípio de funcionamento de um CLP está baseado no conceito de tempo de varredura ou *scan-time*. Esse é um parâmetro importante quando você for especificar um CLP para controlar um determinado processo.

Entretanto, quais são as formas de você dimensionar esse parâmetro?

Uma forma tradicional é observar as constantes de tempo associadas às operações que são realizadas e observar qual seria a mais rápida. Essa será considerada a operação crítica que seu CLP deve observar, com uma determinada taxa de varredura que seja minimamente cinco vezes mais rápida que esse valor. Esse critério dará uma margem de segurança para que você não corra o risco de perder o controle do processo por seu controlador ter ignorado uma sequência de eventos que ocorreu durante ciclos consecutivos de varredura.

Uma vez identificada a constante de tempo crítica de seu processo, como você poderá avaliar se um determinado CLP atende aos requisitos de velocidade de processamento?

Uma forma de fazer essa avaliação seria calculando o esforço computacional necessário para que o seu programa de controle seja executado. Como isso pode ser feito?

Procedendo da seguinte forma:

- Considere o pior caso em que TODAS as instruções de seu programa serão processadas.
- Consulte o manual do fabricante, compute o tempo de processamento para cada tipo de instrução e calcule o tempo total de processamento.

Além disso, some os tempos para a aquisição dos dados de entrada e de atualização dos dados de saída. Se esse tempo total for suficiente para atender ao requisito estabelecido pela constate de tempo crítica do processo, então você escolheu corretamente; caso contrário, você terá de fazer uma nova análise utilizando um CLP com maior velocidade de processamento ou aplicar técnicas para gerar interrupções.

#### CLPs e PCs

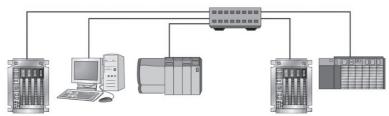
De uma forma geral, podemos dizer que um CLP funciona como um PC (computador pessoal) em que são acrescentados recursos para a comunicação com os elementos físicos, classificados como elementos de comando, monitoração, sensoriamento e atuação (GROOVER, 2011; PETRUZELLA, 2013). No entanto, é importante destacar algumas características fundamentais do CLP:

- É construído com a robustez necessária para operar em ambientes industriais. Dessa forma, pode resistir a temperaturas elevadas, umidade, ambientes agressivos envolvendo ataques de agentes corrosivos, entre outros.
- Tem um sistema de isolamento utilizando dispositivos optoisoladores em cada um dos circuitos que são utilizados para constituir os módulos de E/S.
- Existe a norma técnica (IEC 61131-3) especificamente voltada para a questão de definição de linguagens de programação, que auxiliam o projetista a programar os algoritmos de controle utilizando representações gráficas, como diagramas de relés que serão estudadas na próxima unidade.
- Foram projetados de forma a facilitar o processo de diagnóstico e tratamento de falhas durante o seu funcionamento, graças à sua arquitetura na forma de slots, modular e distribuída.
- Sua arquitetura rígida de varredura pode diminuir a sua flexibilidade de aplicação, quando comparada aos PCs.

Com a crescente complexidade dos sistemas produtivos, observa-se a necessidade de estruturar arquiteturas de controle distribuída, em que PCs e CLPs podem coexistir para implementar sistemas e controle supervisório, além de arquiteturas hierárquicas e distribuídas que determinam protocolos de comunicação entre os dispositivos de controle integrados por uma rede de comunicação.

A Figura 1.7 exemplifica um modelo de sistema de controle utilizando PCs e CLPs, em que o processo global é segmentado em subprocessos a serem controlados por CLPs localmente distribuídos e que recebem tarefas para serem executadas via comunicação com controlador de nível superior.

Figura 1.7 | Sistema de controle distribuído



Fonte: Petruzella (2013).

# Pesquise mais

Nesta seção, vimos uma série de características a respeito dos CLPs. Uma evolução importante são os Controladores Programáveis para Automação (PACs), que juntam os aspectos positivos de um CLP com a capacidade de processamento de um PC.

Pesquise sobre essa classe de dispositivos e sobre como se comporta a filosofia para a programação desses dispositivos, com relação aos CLPs. Acesse o link a seguir para ler sobre o assunto: <a href="http://www.ni.com/white-paper/10839/pt/">http://www.ni.com/white-paper/10839/pt/</a>>. Acesso em: 20 maio 2017.

#### Sem medo de errar

Vamos continuar avançando para concluir o seu projeto de modernização de uma planta industrial voltada para a manufatura que precisa ser reposicionada em termos de competitividade no mercado. Para isso, você aprendeu a abordar o problema de modelagem do sistema a ser automatizado, a fim de representá-lo como uma especificação inicial formal, e aprendeu uma forma de padronizar os procedimentos envolvidos no processo de produção, para que o projeto de automação tivesse êxito. Entretanto, há um problema adicional que é a ocorrência de falhas repentinas durante a operação do sistema, que não estão associadas com defeitos nos elementos que compõem o sistema de controle.

Se não existe defeito nos elementos de comando, monitoração, sensoriamento e atuação e se o CLP está funcionando, ou seja, suas E/S não apresentam defeito e a lógica de controle já foi testada anteriormente, então, precisamos avaliar cuidadosamente o dimensionamento do tempo de varredura.

Para isso, basta pegar os levantamentos realizados anteriormente e seguir os passos a seguir:

- 1. Acesse o levantamento da descrição do modelo estrutural, contendo todos os elementos de E/S.
- 2. Utilizando todas as E/S levantadas, compute o tempo necessário para leitura das entradas e atualização das saídas.
- 3. Considerando as funções e operações listadas no modelo comportamental, liste as instruções que poderão estar associadas

a esses procedimentos e compute o tempo necessário para processar esse programa. Não se preocupe se você ainda não consegue imaginar como será a estrutura desse programa, pois na segunda unidade você aprenderá a programar CLPs.

- 4. Some os tempos levantados nos itens (2) e (3) esse será o tempo de varredura total. Esse tempo será a base para você verificar os pontos críticos do processo que sejam mais rápidos e que possam passar desapercebidos para o CLP.
- 5. A solução será gerar interrupções que forcem o CLP a verificar as E/S em ciclos de varredura mais curtos, ou então, o CLP deve ser substituído por outro mais rápido.

#### Avançando na prática

#### Controle de câmara de descompressão

#### Descrição da situação-problema

Considere que, em uma multinacional, você é o responsável por automatizar o controle de operação de uma câmara de compressão/ descompressão, utilizada por mergulhadores que trabalham na manutenção de tubulações que transportam óleo em alto-mar. Antes de mergulhar, esses homens precisam permanecer 24 horas nessas câmaras. A velocidade de compressão é controlada de forma gradual. Quando é detectado um problema, o operador muda a velocidade. A temperatura deve ser mantida em 30° C, pois o gás utilizado acelera a perda de calor. As comportas não devem ser abertas durante a operação, a não ser em caso de emergência.

O gestor de processos e operações solicitou-lhe um relatório, a fim de explicar como seria o procedimento para você determinar o CLP mais apropriado para o controle do processo, para evitar o risco de falhas inesperadas causadas por tempo de varredura inadequado. Vamos refletir sobre isso?

#### Resolução da situação-problema

Ao iniciar o relatório, atente-se a um erro que precisa ser evitado: o de mal dimensionamento do tempo de varredura, pois este tipo de problema invalida a operação do sistema de controle.

Portanto, vamos estabelecer um procedimento para o

dimensionamento correto do tempo de varredura, a fim de verificar se ele é suficiente para controlar o processo em questão.

- 1. Verifique o número de entradas e saídas presentes no sistema de controle da câmara.
  - 2. Faça o levantamento do tempo de leitura das entradas.
  - 3. Marque o tempo de atualização das saídas.
  - 4. Liste as instruções que foram utilizadas no programa de controle.
  - 5. Levante o tempo de processamento associado à cada instrução.
  - 6. Calcule o tempo de processamento do programa.
- 7. Some os tempos levantados nos itens (2), (3) e (6). Esse será o tempo de varredura.

Avalie se esse tempo está de acordo com a dinâmica do processo, ou seja, se permite que o sistema de controle interaja em tempo real, sem colocar em risco a vida dos mergulhadores.

Geralmente, os CLPs atuais são muito rápidos e fornecem tempo de varredura em torno dos 20 ms para esse tipo de aplicação. De uma forma geral, o tempo padrão para o CLP interromper um ciclo de varredura é em torno dos 150 ms.

## Faça valer a pena

- **1.** Os CLPs são dispositivos de controle essenciais para a automação de sistemas. Assim, considere as afirmações de I a III e identifique aquelas que são Verdadeiras (V) e aquelas que são Falsas (F).
- I. O CLP é um computador pessoal usado na indústria.
- II. O CLP tem recursos para processar lógica combinatória.
- III. O CLP tem recursos para processar sequenciamento.

Assinale a alternativa que mostra a ordem correta de Verdadeiro (V) e de Falso (F).

- a) V, V, V.
- b) F, V, V.
- c) V, F, V.
- d) V, V, F.
- e) F, F, F.

**2.** O conhecimento da função dos elementos de um CLP é de extrema importância na área de controle.

Assinale a afirmativa que apresenta, de forma correta, as funções de um ou mais elementos de um CLP.

- a) Os módulos de entrada e de saída devem ser dispostos em um CLP apenas de uma única forma fixa.
- b) Não é possível a utilização de vários processadores para um mesmo CLP.
- c) A fonte de alimentação sempre alimenta os dispositivos do objeto de controle.
- d) A unidade de memória está conectada diretamente à CPU do CLP.
- e) O dispositivo de programação pode ser um painel de controle simplificado.
- **3.** É necessário o entendimento do funcionamento de um CLP para processamento do controle. \_\_\_\_\_\_ pode ser dividido em três etapas: aquisição das entradas, execução do programa e atualização das saídas.

Marque a alternativa que contém o termo que preenche corretamente a frase anterior:

- a) O controle de processos.
- b) A fonte de alimentação.
- c) O dispositivo de programação.
- d) O conjunto de dados de aplicação.
- e) O ciclo de varredura.

# Referências

GUIS, A. **10 tendências tecnológicas para os próximos 10 anos**. Tecmundo. 27 out. 2010. Disponível em: <a href="https://www.tecmundo.com.br/futuro/6157-10-tendencias-tecnologicas-para-os-proximos-10-anos.htm">https://www.tecmundo.com.br/futuro/6157-10-tendencias-tecnologicas-para-os-proximos-10-anos.htm</a>. Acesso em: 17 maio 2017.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**, São Paulo: Pearson, 2011

LAMB, F. Automação industrial na prática. Série Tekne. Porto Alegre: AMGH, 2015.

MIYAGI, P.E. **Controle programável** – Fundamentos de Controle a Eventos Discretos. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de automação industrial**. Río de Janeiro: LTC, 2007.

PETRUZELLA, F. D. Controladores lógicos programáveis. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2013

SOLOMAN, S. Sensores e sistemas de controle na indústria. São Paulo: LTC, 2012

# Programação de dispositivos de controle

#### Convite ao estudo

Iniciamos agora uma nova unidade que trata da questão da programação de dispositivos de controle.

Para tornar um parque industrial competitivo, você foi capacitado, na unidade anterior, a propor um projeto de automação para inovação. Agora, você está pronto para uma nova etapa: aprender a desenvolver os algoritmos de controle que forem necessários para o controle do seu sistema produtivo.

Para isso, você aprenderá detalhes sobre a norma IEC 61131-3 e sobre como estão disciplinadas as linguagens de programação que podem ser utilizadas para programar CLPs industriais. Além disso, irá avançar na compreensão de lógicas combinatórias e lógicas sequenciais para o desenvolvimento dos programas de controle.

Considerando que seu projeto de automação para inovação do parque industrial, que tinha como objetivo torná-lo competitivo, foi aprovado, você precisa evoluir para uma nova fase. Nela, você desenvolverá os algoritmos de controle na forma de programas para CLPs, que serão utilizados como dispositivos de controle para os vários processos de fabricação existentes na indústria de manufatura em questão.

Dada a dimensão dos trabalhos de programação de CLPs a ser executada, como engenheiro, você irá dispor de uma equipe de técnicos capacitados para o auxiliar nessa tarefa. Considerando o perfil de sua equipe, que tipo de linguagem você escolheria? É importante que você saiba justificar a sua resposta para a equipe sentir-se confiante para enfrentar o desafio proposto, pois há várias opções de linguagem previstas na norma.

Uma vez definida a linguagem, como você estabeleceria um método para que todos pudessem desenvolver seus programas? Explique como você abstrairia os processos produtivos e classificaria a natureza de cada parte que compõe o problema e a questão de manter-se aderente à norma IEC 61131-3.

Por fim, é bastante comum deparar-se com situações em que não há dispositivos de sensoriamento para realimentar o controlador para a mudança de estado. Explique para a equipe como deve ser o procedimento para programar as soluções de controle envolvendo esses cenários.

No decorrer desta unidade, você desenvolverá a competência de conhecer, compreender e programar CLPs para o controle de plantas industriais.

Vamos em frente?

# Seção 2.1

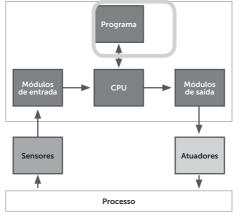
#### A norma IEC 61131-3

#### Diálogo aberto

O foco da unidade que se inicia está na programação de dispositivos de controle

Até o momento, você estudou o que é automação e como ela pode ser inserida em um sistema produtivo. Para isso, sua atenção foi concentrada na investigação dos princípios e funcionamento dos CLPs. A Figura 2.1 recorda a função de um CLP: dispositivo de controle que interage com o processo ocorrido em um sistema produtivo para que este permaneça funcionando conforme desejado.

Figura 2.1 | Interação de um CLP com os processos de um sistema produtivo



Fonte: adaptada de Camargo (2014, p. 62).

Nesta seção vamos nos dedicar à questão do desenvolvimento de um PROGRAMA, conforme destacado na Figura 2.1.

Dado o constante avanço tecnológico e a globalização em que vivemos, considere que o seu projeto de modernização de uma planta industrial voltada para a manufatura, que tem como objetivo permitir o seu reposicionamento em termos de competitividade, foi aprovado. Agora, a sua próxima demanda é desenvolver os algoritmos de controle na forma de programas para CLPs que serão utilizados como dispositivos de controle para os vários processos de fabricação existentes na indústria de manufatura em questão. Se você está sendo

desafiado para desempenhar a função de engenheiro para coordenar uma equipe técnica que deve desenvolver os programas de controle de um sistema produtivo, então você precisa ter uma conduta técnica para fazer isso. Considerando o perfil de sua equipe, que tipo de linguagem você escolheria?

Inicialmente, você deve ser capaz de avaliar o perfil de conhecimento tecnológico e experiência da equipe. Isso vai orientálo a respeito do tipo de linguagem que você deve utilizar, de acordo com a norma IEC 61131-3.

É importante que você saiba justificar a sua decisão para a equipe sinta-se confiante para enfrentar o desafio proposto, pois há várias opções de linguagem previstas na norma.

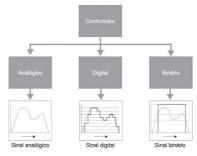
Como fazer isso sem conhecer as linguagens de programação reconhecidas pela norma IEC 61131-3?

#### Não pode faltar

Os controladores podem ser classificados levando-se em consideração a natureza dos sinais que eles recebem como entrada e geram como saída. Na Figura 2.2 ilustram-se os três tipos de sinais presentes em plantas industriais (CAMARGO, 2014), que são:

- Sinais contínuos ou analógicos: presentes em dispositivos e partes do sistema, podem ser classificados como SVC (visto na Seção 1.2).
- Sinais discretizados ou digitais: são sinais contínuos que passaram por um processo de amostragem e que foram quantificados por meio de sinais digitais de n bits.
- Sinais binários: são os sinais que podem ser interpretados como variáveis lógicas presentes nos sistemas produtivos.

Figura 2.2 | Segmentação dos controladores de acordo com a natureza dos sinais controlados



Fonte: Camargo (2014, p. 64).

Os CLPs são grandemente utilizados como controladores porque são versáteis e capazes de controlar as três diferentes naturezas de sinais.

No caso da presente disciplina, vamos controlar os sinais binários ou lógicos. Esse entendimento é vital para que você possa compreender como devem ser as linguagens de programação para manipular esses sinais.

#### Classificação das linguagens de programação

De uma forma geral, a norma IEC 61131-3 define uma classificação das linguagens de programação de CLPs em três instâncias (MIYAGI, 2011): linguagens textuais, tabulares e gráficas.

#### 1. Linguagens textuais

As linguagens textuais são aquelas que utilizam símbolos algébricos e expressões matemáticas para representar as operações que devem ser executadas para a realização do procedimento de controle desejado. Existem três tipos de linguagem que se encaixam nesse contexto (GEORGINI, 2009; MIYAGI, 2011):

- a) Álgebra boolena: a lógica é expressa por meio de equações algébricas que contêm os operadores lógicos do tipo *AND* (E "."), *OR* (OU "+") e *NOT* (NÃO "-").
- b) Lista de Instruções (IL): é uma linguagem de baixo nível, considerada como linguagem de máquina com baixo nível de abstração. Os programas escritos nessa linguagem permitem uma operação por linha de instrução e precisam de variáveis internas para armazenarem os valores que são computados.
- c) Texto Estruturado (ST): é uma representação em linguagem estruturada de alto nível, que é capaz de expressar declarações mais complexas envolvendo variáveis de dados de diferentes tipos, como: variáveis analógicas, digitais, dados do tipo variáveis de tempo e data. Por ser estruturada, suporta instruções do tipo loop controlado, ou seja, *REPEAT UNTIL* (REPITA ATÉ QUE) ou *DO WHILE* (FAÇA ENQUANTO;) e condicionais do tipo *IF-THEN-ELSE* (SE-ENTÃO-SENÃO).

Considere a expressão algébrica booleana  $V_s = \left(LS_1 + LS_2\right) \overline{V_e}$  .

Como essa expressão poderia ser representada utilizando as linguagens Lista de Instruções (IL) e Texto Estruturado (ST)?

Caso 1: Utilizando IL

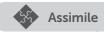
Endereço	Instrução	Variável
01	LD	LS1
	(leia)	
02	OR	LS2
03	ANDN	Ve
04	STR	Vs
	(armazene)	

Caso 2: Utilizando ST

$$V_s := ((LS1)AND(LS2))AND(NOT(V_e))$$

#### 2. Linguagens tabulares

São linguagens que descrevem o procedimento de controle por meio de tabelas, nas quais são descritas as condições e as ações relacionadas com cada transição de estado, representadas por meio de colunas (MIYAGI, 2011).



A linguagem Tabela de Decisões é muito útil para verificação e validação da lógica de transição de estados e seus efeitos. Para sistematizar a construção de tabelas de decisão, podemos considerar o seguinte procedimento:

- Cada coluna da tabela representa um step (passo).
- Na linha topo da tabela representa-se o step atual, enquanto na última linha, representa-se o próximo step.
- Essas linhas são divididas em duas áreas na tabela: as linhas da área superior representam as condições e as linhas da área inferior representam as ações.

A Figura 2.1 exemplifica essa estrutura da tabela, na qual V é verdadeiro e F é falso.

Figura 2.1 | Exemplo de tabela de decisão

Step	S0	S1	S2	S3	Sn
а	V			V	
b		V	V		
с		-	V	v	
A1		ON			
A2			ON		
А3		ON		ON	
Step	S1	S2 S4	<b>S</b> 3	\$7	
	a b c A1 A2 A3	a V b c A1 A2 A3	a V V F C C C C C C C C C C C C C C C C C	a V V V F V A1 ON A2 ON Step S1 S2 S3	a V V V b V F V V A1 ON ON ON A3 ON ON ON Step S1 S2 S3 S7

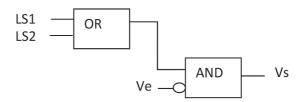
Fonte: elaborada pelo autor.

#### 3. Linguagens gráficas

São linguagens de fácil visualização e identificação do fluxo de informações de controle e, por causa de sua representação visual, facilitam o projeto, a depuração e a manutenção. Existem quatro tipos de linguagem que se encaixam nesse contexto (GEORGINI, 2009; MIYAGI, 2011):

a) Diagrama de Blocos de Função (Function Block Diagram – FBD): essa linguagem representa as operações lógicas por meio de blocos que podem ser conectados entre si. Como exemplo, vamos retomar a expressão  $V_s = \left(LS_1 + LS_2\right).\overline{V_e}$ . A Figura 2.3 representa o diagrama de blocos de função equivalente.

Figura 2.3 | Exemplo de diagrama de blocos de função



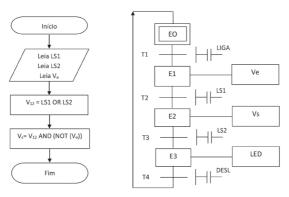
Fonte: elaborada pelo autor.

- b) Fluxograma: é equivalente à técnica já conhecida amplamente para o desenvolvimento de programação que está exemplificada na Figura 2.5 (a).
- c) SFC (Sequential Function Chart): é uma linguagem baseada no conceito de que um sistema de controle é caracterizado pela ocorrência de uma sequência de eventos gerados de modo automático ou por meio de intervenção de uma ação humana ou em função do tempo. Trata-se de um grafo orientado que possui os seguintes elementos:
- Etapas: representam o estado de uma condição em que o sistema se encontra.
- Transições: representam eventos que podem provocar uma mudança de estado.
- Receptividades: associadas às transições, representam a condição de disparo da transição.
- Ações: associadas às etapas, representam uma operação a ser executada no objeto de controle.
  - Arcos orientados: conectam as etapas às transições e vice-versa.

Cada elemento do SFC pode ser programado em qualquer uma das linguagens definidas na própria norma IEC 61131-3 (Lista de Instruções, Texto Estruturado, Ladder, Blocos de Função, além do SFC). Na Figura 2.4 (b), ilustra-se um modelo SFC.

Essa linguagem não será abordada em detalhes nesta disciplina, podendo ser focada em outra que dê continuidade a esta.

Figura 2.4 | Exemplos de linguagens gráficas



Fonte: elaborada pelo autor.

Por fim, temos ainda a linguagem Ladder, que é mais um tipo de linguagem gráfica, que será tratada em detalhes no próximo tópico.



Reflita

A linguagem SFC é uma ótima ferramenta para representar sistemas de controle sequencial.

Para o grafo mudar de estado são definidas as seguintes regras:

- A princípio, o sistema está no estado inicial, representado por uma Etapa com moldura.
- O grafo deve ser construído sempre mantendo a alternância entre os elementos etapa—transição.
- Para uma transição disparar, a receptividade associada a ela deve estar ativa, assim como todas as etapas diretamente conectadas a ela.
- O disparo de uma transição desativa todas as suas pré-condições e ativa as pós-condições, representadas pelas respectivas Etapas.
- Enquanto uma etapa estiver ativa, as ações conectadas a ela estarão ativadas.

A partir dessas informações, como você poderia interpretar a dinâmica do grafo SFC da Figura 2.5?

Se for o controle de um tanque de medição, quais seriam os elementos de comando, monitoração, atuação e sensoriamento?

#### A linguagem Ladder

É importante você aprender alguns fundamentos da linguagem Ladder que são necessários para o desenvolvimento de programas e que valem, genericamente, a todos os CLPs. O termo Ladder vem do fato de o diagrama parecer-se com uma escada. Por sua vez, a lógica de controle é expressa por meio de linhas e colunas contendo as entradas que estão conectadas à coluna de saída na extremidade esquerda, conforme a Figura 2.5, e cada linha presente no diagrama que aciona uma determinada saída recebe o nome de rung (degrau). As entradas são representadas pelos contatos normalmente abertos (NA) - entradas X0 e X2 - ou contatos normalmente fechados (NF) - entrada  $\overline{X1}$ .

Vale ressaltar que se trata de uma linguagem de programação e não de um digrama elétrico. O processamento é procedural, ou seja, de acordo com a Figura 2.5 (b) o processamento do programa ocorre computando a lógica de cada rung, da esquerda para a direita, e atribuindo o resultado para a saída correspondente. Por sua vez, os rungs são processados de cima para baixo.

# Pesquise mais

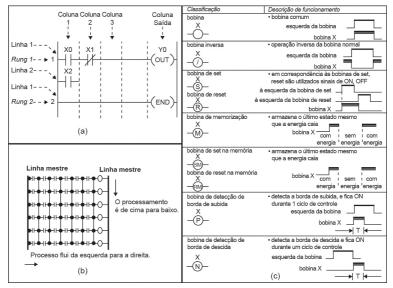
Acesse o link a seguir, e faça download do programa CodeSys, que contém as linguagens de programação previstas na norma IEC 61131-3. Você poderá instalá-lo gratuitamente em sua máquina.

Disponível em: <a href="https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/Supportal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/Supportal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/Supportal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/Su

Na Figura 2.5 (c), é possível observar os tipos de bobina (MIYAGI, 2011), que são:

- Bobina comum: fica em 1 enquanto estiver ativada.
- Bobina inversa: fica em 0 enquanto estiver ativada.
- Bobina Set (Reset): uma vez ativada, seu valor é mantido em 1 (0), mesmo após desativada.
- Bobina sensível à borda: é ativada quando ocorre uma borda de subida (ou de descida) e permanece ativada durante um ciclo de varredura.
- Bobina com memória: mantém seu último estado memorizado, mesmo quando a energia elétrica é cortada.

Figura 2.5 | Exemplo de diagrama Ladder



Fonte: (a): Georgine (2009, p.100); (b): Miyagi (2011, p. 38); (c): Miyagi (2011, p.41-2).

Apresentam-se, assim, os conceitos fundamentais para que possamos avançar a respeito de programação utilizando a linguagem Ladder. Nas próximas seções, estudaremos vários detalhes dessa linguagem.

#### Sistemas combinacionais

São sistemas que apresentam um comportamento que pode ser representado por lógica combinatória que utiliza a álgebra booleana para representar o seu modelo matemático. É importante lembrar que uma variável binária é o caso específico de uma variável discreta que só pode assumir dois valores: O ou 1. Para controlar esses sistemas, ou seja, impor um determinado comportamento desejado, será necessário estabelecer um sistema de controle lógico capaz apenas de elaborar ações de controle do tipo: "abre" ou "fecha"; "liga" ou "desliga", por exemplo. Será possível ligar ou desligar um motor; abrir ou fechar uma válvula e demais ações que forem necessárias envolvendo saídas digitais (CAMARGO, 2014).

Portanto, conforme visto na Seção 1.2, o foco de estudo desta disciplina é o SED e, nesse contexto, as ações de controle provocam eventos específicos que só podem assumir dois valores lógicos, conforme previsto na álgebra booleana.

#### Sistemas sequenciais

São sistemas que apresentam um comportamento dinâmico que, a cada instante determinado, depende dos sinais presentes nas entradas e também do estado atual em que o sistema se encontra (CAMARGO, 2014). Portanto, esses sistemas dependem de uma memória capaz de armazenar o estado do sistema para que ele seja computado. Desta forma, uma mudança nas entradas poderá ativar uma transição para um novo estado.

Enquanto esse processo dinâmico de mudança de entradas e de estado acontece, o sistema realiza uma sequência de operações correspondente ao que era desejado que ele realizasse. Fazer com que o sistema realize uma sequência de tarefas a partir da ocorrência de eventos é o que se denomina controle sequencial do sistema.

# Pesquise mais

#### Controle por realimentação versus malha fechada

Já vimos que um modelo estrutural utilizado para o controle de SED baseia-se no princípio de controle de malha fechada. É o caso em que são utilizados sensores para realimentar o controlador para que ele possa utilizar essas informações, a fim de poder computar uma transição de estado nele mesmo, que provocará uma mudança de estado no objeto de controle.

Entretanto, muitas vezes confundimos controle de malha fechada com controle por realimentação.

Pesquise nas técnicas de controle clássico o significado de controle por realimentação em SVC e faça uma avaliação para o caso dos SED. Leia o capítulo um do livro *Controle automático* (CASTRUCCI; BITTAR; SALES, 2010) para entender como é o esquema de automação de um processo. Lembre-se de que esse livro está disponível em sua biblioteca virtual!

Conclui-se, assim, esta primeira seção. Nela, você compreendeu que, para desenvolver um programa que representa um algoritmo de controle, é necessário o conhecimento das linguagens de programação prescritas pela norma IEC 61131-3.

Fixe os conceitos fundamentais vistos nesta seção para que você possa avançar programando CLPs!

#### Sem medo de errar

Sua necessidade é desenvolver os algoritmos para a programação de CLPs que serão utilizados para controlar os vários processos de fabricação existentes na indústria de manufatura em que você atua.

Como engenheiro, você deve coordenar uma equipe técnica que deve desenvolver os programas de controle de um sistema produtivo e, para isso, deverá ter uma conduta técnica.

Além disso, considerando o perfil de sua equipe, que tipo de linguagem você escolheria?

Para resolver essa questão, você precisa aplicar a visão sistêmica aprendida anteriormente e entender que o seu sistema é composto por dois conjuntos de elementos:

a) Os processos a serem controlados.

b) A equipe de desenvolvedores.

Passo 1 – Avaliação da complexidade dos processos:

- Nesta etapa você já deverá ter avaliado a natureza do sistema produtivo e o tipo de automação associado, conforme visto na Seção 1.1.
- Para cada produto a ser fabricado, associe um processo específico a ser controlado, conforme visto na Seção 1.2.
- Quanto maior a complexidade da sequência de operações, a melhor opção será utilizar SFC.
- Caso predomine a questão de estabelecer lógicas combinacionais para controlar a ocorrência de eventos, podem ser utilizados diagramas Ladder.

Passo 2 – Avaliação da competência técnica da equipe:

- A partir das necessidades levantadas, selecionar os mais aptos para liderar times de desenvolvimento dos programas.
- Caso seja necessário, providenciar cursos de treinamento que sejam rápidos e eficazes para o aprendizado das linguagens. Não se esqueça do seguinte: é mais sábio treinar uma equipe do que usar linguagens de nível mais baixo que comprometam a reutilização de projetos.

A linguagem diagrama Ladder é tradicional e dominada pela maioria das equipes técnicas e engenheiros. Essa cultura facilita o desenvolvimento de projetos e, futuramente, você poderá aprender, em disciplinas que dão continuidade a esta, a utilizar modelos baseados em grafos orientados e marcados (a exemplo do SFC) que podem ser traduzidos para essas linguagens de forma sistemática (MIYAGI, 2011).

#### Avançando na prática

# Controle de segurança de processo químico — parte I Descrição da situação-problema

Suponha que você precise desenvolver um sistema de controle para manter a segurança em um processo industrial e que, para isso, existem três compartimentos que devem estar vedados antes de iniciar o conjunto de reações químicas. Entretanto, a vedação deve ocorrer de dentro para fora, ou seja, do compartimento 1 para o compartimento 3, conforme descrito a seguir:

- Atuador CP1 veda compartimento COMP1.
- Sensor S1 identifica se COMP1 está vedado: se S1=1 então COMP1 OK.
  - Se S1 = 1 então Atuador CP2 veda compartimento COMP2.
- Sensor S2 identifica se COMP2 está vedado: se S2=1 então COMP2 OK
  - Se S1 = 1 e S2 = 1 então Atuador CP3 veda compartimento COMP3.
- Sensor S3 identifica se COMP3 está vedado: se S3=1 então COMP3 OK.

A respeito do seu projeto desse sistema de controle, o seu gestor questiona se você terá de desenvolver uma solução de controle lógico ou sequencial e se álgebra booleana seria adequada para a sua solução. Sua demanda é apresentar os esclarecimentos em formato de relatório para o seu gestor.

#### Resolução da situação-problema

A fim de desenvolver o relatório para o seu gestor, apresentando as reflexões em relação aos pontos levantados, inicialmente você precisa avaliar qual deve ser o comportamento desejado para o sistema.

- O acionamento para vedação do primeiro compartimento é um sistema de controle lógico.
- Entretanto, o segundo compartimento só pode ser vedado após o primeiro, e assim sucessivamente.
  - Portanto:
- Para vedar o COMP2 é necessário que COMP1 esteja no estado OK.
- Para vedar o COMP3 é necessário que COMP2 esteja no estado OK.
  - $\bullet \, \mathsf{Esse} \, \mathsf{comportamento} \, \mathsf{caracteriza} \, \mathsf{um} \, \mathsf{sistema} \, \mathsf{de} \, \mathsf{controle} \, \mathsf{sequencial}.$

Como a álgebra boolena foi apresentada como uma técnica para modelar sistemas de controle lógico, ela não é uma boa opção. Por sua vez, percebe-se que SFC seria uma boa alternativa para representar um sistema de controle sequencial.

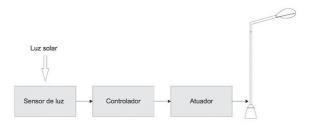
Você pensaria em algo a mais para o seu relatório?

## Faça valer a pena

- a) SFC; eventos; tempo.b) FBD; ações; sistema.c) FBD; eventos; tempo.d) SFC; ações; sistema.e) Ladder; eventos; tempo.
- **2.** Considere a linguagem Ladder e as características associadas às bobinas de saída:
- I. Bobina inversa: fica em 1 enquanto estiver ativada.
- II. Bobina Set (Reset): uma vez ativada, seu valor é mantido em 1 (0), mesmo após desativada.
- III. Bobina sensível a borda: é ativada quando ocorre uma borda de subida (ou de descida) e permanece ativada.

Considere as afirmativas de La III e assinale a alternativa correta:

- a) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- b) Somente a afirmativa I é verdadeira.
- c) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
- **3.** Um exemplo de um sistema de controle de iluminação pública é ilustrado na figura a seguir:



Fonte: Camargo, (2014, p. 64).

O autor da figura explica que "Pela manhã, quando o Sol nasce, o sensor começa a receber luz; quando a luz é superior a determinado valor, o sensor envia um sinal ao controlador, informando tal condição". Enunciado: Considerando o sistema em questão, é correto afirmar que:

- a) Trata-se de um sistema de controle contínuo.
- b) As ações de controle não são binárias.
- c) O sistema de controle utiliza variáveis de comando que vêm do controlador.
- d) O sistema de controle é inteligente.
- e) O sistema de controle é lógico.

# Seção 2.2

## Programação CLP - lógica combinacional

#### Diálogo aberto

Iniciamos agora mais uma seção da unidade sobre programação de dispositivos de controle, na qual vamos aprender a programar CLPs.

Para tanto, vamos retomar o contexto de aprendizagem. Considerando que seu projeto de automação para inovação do parque industrial a fim de torná-lo competitivo foi aprovado, você precisa evoluir para uma nova etapa na qual desenvolverá os algoritmos de controle, na forma de programas para CLPs, que serão utilizados como dispositivos de controle para os vários processos de fabricação existentes na indústria de manufatura em questão.

De acordo com o perfil da equipe técnica que participa do desenvolvimento do projeto, uma boa opção é usar a linguagem Ladder para a programação de CLPs, para os vários processos de fabricação existentes na indústria de manufatura que você é responsável por inovar.

Para sistematizar o processo de programação de um CLP existe um pacote de programação, geralmente compatível com o Windows. No caso da Allen-Bradley, está disponível o programa RSLogix, que é um ambiente de programação para programar CLPs desta marca (Figura 2.6).

\*# RSLogix 500 Pro - IC500DMO.R55 \_ | D | X | Ele Edit Yew Search Comms Iools Window Help - BB B B B Q Q □ 0 > 4 OFFLINE ■ No Forces 
■ ₩ □ 38 38 ↔ ↔ No Edits Forces Disabled 🛎 Node: 1d User (Bit ( Timer/Counter ( Input/Output ( Compare Driver: AB\_DF1-1 ■回区 [ RELAD 2 -- MAIN\_LADDE \_UX Project Help gs in this section perform a diagnostic check at start up Controller Toggle Switch 1 on I/O Sim Mod. 1 Controller Properties CTRL\_ENABLED TOGGLE\_SW\_1 Processor Status III IO Configuration ⊕-ME Channel Configuration Multipoint Monitor 1746-IA4 Program Files SYS0-First Start Up SYS1. Check with I/O Sim Switch A LAD 2 - MAIN LADOR A LAD 3 - PID\_SUB\_RT START UP CHECK LAD 4 - SUB RT 2 ALAD 5 - SUB\_RT\_3 MAIN\_LADDR PD\_SUB\_RT / 2:0000 APP READ Disa For Help, press F1

Figura 2.6 | Programa RSLogix: ambiente de programação para programar CLPs

Fonte: Petruzella (2013, p. 97)

Portanto, uma vez definida a linguagem, como você estabeleceria um método para que todos os técnicos de sua equipe pudessem desenvolver seus programas, definindo os diagramas Ladder necessários?

Explique como você abstrairia os processos produtivos, classificaria a natureza de cada parte que compõe o problema e falaria sobre importância de manter-se aderente à norma IEC 61131-3. Reflita sobre essas indagações e apresente os pontos levantados em um relatório, conforme solicitado pelo seu gestor.

Para que você possa solucionar esse desafio, nesta seção, você aprenderá a sistematizar a programação baseando-se em determinados fundamentos, a programar lógica combinacional, verá como é realizado o endereçamento das entradas e saídas e sua representação em arquivos de dados internos.

#### Não pode faltar

#### Programação de CLPs - ambiente de programação

Para controlar o comportamento de um sistema produtivo pode-se estabelecer um procedimento em que se projete um sistema de controle distribuído, estabelecendo-se a lógica de controle de cada processo presente no sistema, que pode ser denominado como intertravamento de processo, representativo das regras para controlar a sequência de eventos que executarão o processo.

Para que o sistema seja posto em seu estado inicial, é necessário projetar o programa de controle de partida do processo, denominado intertravamento de partida.

Por sua vez, para controlar o funcionamento do sistema, é necessário controlar as condições de cada recurso, para que operem em seu modo normal, sem falhas. Esse programa é denominado intertravamento de funcionamento.

Para implementar cada um dos intertravamentos indicados, podem ser utilizados elementos de lógica combinacional (envolvendo operadores lógicos do tipo *AND*, *OR* e *NOT* da álgebra booleana) e elementos de lógica sequencial (como memórias e temporizadores).

Quando você acessa o ambiente de programação, depara-se com uma tela principal com menu e uma série de barras de ferramentas e janela para programação. Esses recursos permitem que você sistematize um procedimento para programar CLPs baseado nos seguintes fundamentos:

• Seleção do tipo de processador: o ambiente de programação precisa

saber qual é o tipo de processador que você está utilizando.

- Configuração das entradas e saídas: I/O.
- Tela de arquivos de dados: contém os dados utilizados, associados às instruções do diagrama Ladder, além dos arquivos das entradas e saídas, entre outros.
- Ambiente de programação: geralmente permite que você simule o seu programa para que os testes que você for realizar possam validá-lo.
- Transmissão do diagrama Ladder: uma vez validado, você poderá transmitir o diagrama Ladder programado para o CLP. O CLP apresenta os seguintes modos de funcionamento, que também podem ser considerados padrões:
- Modo de programação: serve para inserir um programa no CLP. Durante esse modo, todas as saídas do CLP são desativadas e o ciclo de varredura é interrompido.
- Modo de execução (*Run*): serve para executar o programa em Ladder que foi desenvolvido.
- Modo de teste: nesse modo, o programa desenvolvido pode ser monitorado sem energizar as saídas.
- Modo remoto: permite chavear os modos programação/execução por meio do terminal de computador conectado ao processador do CLP.

Na sequência você vai aprender detalhes de programação para desenvolver diagramas Ladder.

#### Aplicações de operadores lógicos

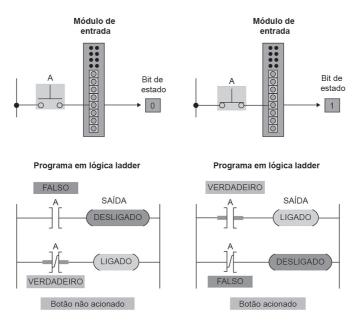
Vimos que a norma IEC61131-3 estabelece um padrão para as linguagens de programação e o foco desta unidade será a linguagem Ladder. Um diagrama Ladder representa um programa descrito por meio da linguagem Ladder para representar funções lógicas, por meio de contatos que ativam instruções de saída por meio de bobinas. Como esses contatos podem estar abertos ou fechados, então associamos um bit para representar cada um deles, já que um bit é composto por dois valores (0 ou 1), conforme o número de estados de um contato.

Detalhando o que foi apresentado na Seção 2.1, de acordo com a Figura 2.8, os contatos podem ser:

- Normalmente abertos (NA):
- Se bit = 0 então contato aberto
- Se bit = 1 então fecha contato.

- Normalmente fechado (NF):
- Se bit = 0 então contato permanece fechado.
- Se bit = 1 então abre contato.

Figura 2.7 | Representação de contatos NA e NF



Fonte: Petruzella (2013, p. 97).

É importante você saber que fabricantes como Siemens, Allen-Bradley, entre outros, estão caminhando para aderirem plenamente à norma, mas cada fabricante ainda tem alguma liberdade para implementação, o que causa pequenas mudanças nos símbolos gráficos que cada um utiliza. A Figura 2.8 mostra alguns exemplos de representações de contatos e a Figura 2.9, alguns exemplos de representações de bobinas. Uma bobina normal permanece em 0 até que a função lógica que a ativa for 1, provocando uma mudança em seu estado para 1. Por sua vez, uma bobina negada permanece em 1 até que a função lógica que a ativa for 1, provocando uma mudança em seu estado para 0. É importante frisar que a mudança de estado dessas bobinas só se mantém enquanto a função lógica for 1. Se a função lógica voltar para 0, então a bobina volta para seu estado anterior imediatamente.

Figura 2.8 | Exemplos de representações de contatos

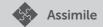
Fabricante	Contato Normalmente Fechado (NF)	Contato Normalmente Aberto (NA)
IEC 61131-3	$\rightarrow \nearrow$	+
Allen-Bradley	-}{-	-][-
Siemens S7	$\dashv$ / $\vdash$	-
GE Fanuc	$\rightarrow \nearrow$	-

Fonte: Franchi; Franchi (2008, p. 112).

Figura 2.9 | Exemplos de representações de bobinas

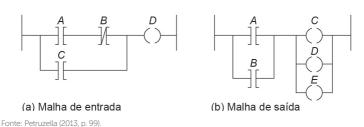
Fabricante	Bobina	Bobina negada
IEC 61131-3	-( )-	-(/)-
Allen-Bradley	-( )-	Não disponível
GE Fanuc	<b>→</b>	-(/)-
Modicon Quantum	-0-	-0-
Siemens S7	<del>-( )-</del>	Não disponível

Fonte: Franchi; Franchi (2008, p. 113).



É importante observar que você pode implementar os operadores da álgebra booleana utilizando diagramas Ladder e, dessa forma, funções lógicas podem ser implementadas por meio de sistemas combinacionais (que nesta seção serão denominados malhas) utilizando contatos. Nesse sentido, é possível obter-se malhas lógicas na parte de entrada de cada rung e malhas lógicas na parte de saída dos rungs (Figura 2.10).

Figura 2.10 | Exemplo de malhas no rungs de um diagrama Ladder



Entretanto, você precisa saber que existem fabricantes que limitam certas construções nos digramas, conforme indicado a seguir:

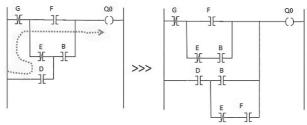
- Pode ser imposto um número máximo de elementos que podem ser conectados em um rung e o número máximo de malhas paralelas.
- Pode ser imposta a condição de apenas uma saída por rung.
- É possível que não seja permitida a programação de contatos na vertical (ver o quadro *Reflita*).

#### Fluxo reverso, repetição de contatos e bobinas

Chama-se fluxo reverso aquele que acontece da direita para esquerda em uma linha do diagrama Ladder. Entretanto, esse fluxo só seria possível se fosse um circuito elétrico por onde passa uma corrente elétrica (FRANCHI; FRANCHI, 2008).

Se a lógica exige que o fluxo reverso seja processado, é necessário efetuar uma mudança no diagrama Ladder conforme ilustrado na Figura 2.11.

Figura 2.11 | Reprogramação do fluxo reverso



Fonte: elaborada pelo autor.

Outro aspecto importante é que, embora em um painel de relés eletromagnéticos exista um limite físico disponível, em um diagrama Ladder não existe essa limitação para contato, ou seja:

- Cada conjunto de bobinas e contatos disponíveis em um CLP são identificados por um determinado endereço que é referência única (veremos a questão de endereçamento no próximo item desta seção).
- Um mesmo contato pode ser repetido quantas vezes forem necessárias, na forma de NA ou NF.
- Por sua vez, não se recomenda a repetição de uma bobina em rungs diferentes, pois isto poderá confundir a lógica do programa e a sua manutenção.



Um dos grandes problemas que acontece quando se programa utilizando a linguagem Ladder é que não é possível construir contatos verticais, conforme descrito na Figura 2.12.

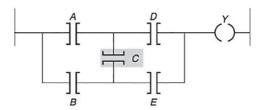
Será que essa é uma limitação de software por ser difícil desenhar na tela contatos verticais?

Será que a questão tem relação com a forma como o diagrama é executado computacionalmente?

É importante você refletir sobre essa questão, avaliar se essa restrição tem algo relacionado com o tempo de varredura.

Existe uma solução para esse problema?

Figura 2.12 | Estrutura proibida de contato na vertical



Fonte: Petruzella (2013, p. 100).

#### Relés internos e endereçamento

Os relés internos representam as bobinas auxiliares ou memória interna. São elementos utilizados para armazenamento temporário de dados.

No diagrama Ladder, são utilizados no programa como sendo contatos e bobinas capazes de representar a lógica de acionamento da mesma forma que as entradas e saídas físicas.

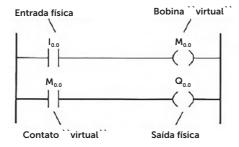
A Figura 2.13 ilustra essa questão (FRANCHI; FRANCHI, 2008):

- Se for fechado o contato da entrada 10.0, a bobina de memória interna M0.0, que não está ligada fisicamente a nada, será energizada.
- Para que a saída física seja ativada, pode-se utilizar um de seus contatos para ligar a bobina Q0.0, que é uma saída física, conforme desejado.

Para diferenciar as memórias internas das entradas e saídas físicas, são dados endereços diferentes para cada tipo.

Quanto ao endereçamento, observa-se que cada fabricante utiliza uma codificação própria. Como exemplo, podemos considerar que as entradas são identificadas pela letra I - de Input - e as saídas pela letra Q - de Quit

Figura 2.13 | Exemplo de utilização de memória interna.



Fonte: Franchi; Franchi (2008, p. 119).



Observe o diagrama Ladder da Figura 2.14. Para que você possa se familiarizar com o potencial que esses diagramas têm de representar lógicas combinatórias, escreva a equação algébrica correspondente à  $\it Q0$ .

- Inicialmente, temos:

$$(\overline{A} + G)$$
, em série com  $B : (\overline{A} + G) \cdot B$ .

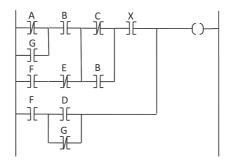
- Depois, em paralelo com  $F \in \overline{E}$ :  $(((\overline{A} + G) \cdot B) + (F \cdot \overline{E}))$
- Depois, em serie com  $(\overline{C} + B).X$

$$\left(\left(\left(\left(\overline{A}+G\right)\cdot B\right)+\left(F.\overline{E}\right)\right)\cdot\left(\overline{C}+B\right).X\right)$$

- Depois, em paralelo com  $F.(D+\overline{G})$ , o que resulta em:

$$Q0 = \left(\left(\left(\left(\overline{A} + G\right) \cdot B\right) + \left(F \cdot \overline{E}\right)\right) \cdot \left(\overline{C} + B\right) \cdot X\right) + F \cdot \left(D + \overline{G}\right)$$

Figura 2.14 | Exemplo de diagrama Ladder

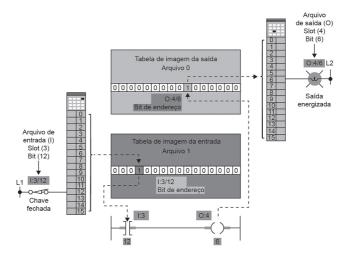


Fonte: elaborada pelo autor.

Cada CLP deve ter uma área de sua tabela de dados que represente uma imagem virtual das entradas físicas, ligadas aos cartões de entrada, e outra área na tabela de dados que represente uma imagem virtual das saídas físicas, ligadas aos cartões de saída.

Normalmente os CLPs são modulares para permitir expansões de acordo com as necessidades do projeto de automação. Nesse contexto, o endereçamento envolve as seguintes questões: (i) formato decimal, octal ou hexadecimal, de acordo com o sistema numérico do CLP; (ii) identificação da função de uma instrução para ser ligada a um determinado bit na parte da tabela de dados da memória; (iii) apresentação do número do slot do módulo em que os dispositivos de entrada/saída estão conectados; (iv) formatação de acordo com o tipo de arquivo, número do slot e bit. A Figura 2.15 apresenta um exemplo do endereçamento para o controlador SLC 500 da Allen-Bradley (PETRUZELLA, 2013).

Figura 2.15 | Exemplo de formato de endereçamento



Fonte: Petruzella (2013, p. 98).

## Pesquise mais

A memória de um CLP é mapeada em duas partes: arquivos de programas e arquivos de dados. Os arquivos de programas apresentam uma estruturação interessante, na qual a programação em linguagem Ladder está armazenada. Por sua vez, os arquivos de dados são organizados de acordo com o tipo de dado que contêm.

Para saber mais sobre esse assunto, recomendamos a leitura do

capítulo cinco, seção 5.1, de *Controladores Lógicos Programáveis*, de Petruzella (2013).

É importante que você compreenda como é a organização da memória de um processador de um CLP.

Boa leitura.

## Sem medo de errar

Você já passou por um processo de decisão em que escolheu a linguagem Ladder para a programação dos CLPs.

Entretanto, não basta conhecer uma linguagem para programar os controladores. Você precisa definir uma diretriz baseada em um método para que todos os técnicos de sua equipe possam desenvolver os seus programas, de modo que haja um padrão de documentação do projeto.

É necessário que você explique, por meio de um relatório solicitado pelo seu gestor, como abstrairia os processos produtivos, classificaria a natureza de cada parte que compõe o problema e falaria sobre a importância de manter-se aderente à norma IEC 61131-3.

Para começar o seu relatório, o método proposto é baseado no conceito de intertravamento.

## 1º passo:

- Liste todos os processos que você precisa controlar.
- A cada processo, associe um intertravamento de processo.
- Desenvolva um diagrama Ladder para cada processo, conforme indicado a seguir:
- Faça o diagrama de acordo com a sequência de ações que precisam ser realizadas no processo, estabelecendo a lógica para a transição de estado adequada.
- Conforme aprendido na Seção 1.2, de acordo com a norma IEC 61131, é possível modelar o comportamento do sistema considerando a sua decomposição funcional, ou seja:
  - Controle das ações para a execução de cada operação.
  - Controle das operações associadas à execução de cada função.
  - Controle das funções associadas à execução de cada processo.

## 2º passo:

- $\bullet$  Programe o intertravamento de funcionamento do sistema, conforme segue:
- Avalie as condições que precisam ser controladas para que o bom funcionamento do sistema seja mantido.
- Faça a lógica de detecção de mau funcionamento e das ações que devem ser tomadas para corrigir a falha ou levar o sistema para um estado seguro.
- Implemente as estratégias de controle no diagrama de processo ou utilize um outro diagrama, que deve ser processado de forma prioritária a cada ciclo de varredura.

## 3º passo:

- Programe o intertravamento de partida do sistema:
- Todo sistema dinâmico tem um estado inicial.
- Para realizar os processos em um sistema produtivo, por ele ser dinâmico, a primeira coisa a fazer é inicializar o sistema para que ele ocupe o seu estado inicial.
- Deve ser programado um diagrama Ladder que estabeleça uma lógica e um sequenciamento adequado de acionamento das partes do sistema produtivo para que ele seja conduzido para o estado inicial.

É importante observar que essa é uma sugestão de sequência de passos para a equipe modelar, inicialmente, o programa de controle do processo (intertravamento de processo). Com isso, desenvolve-se na equipe o conhecimento sobre o processo e sobre o sistema produtivo com seus recursos, de forma automática. Esse conhecimento é fundamental para cada programador entender como deve atuar para conduzir o sistema ao estado inicial (intertravamento de partida) e como atuar para manter o sistema em pleno funcionamento (intertravamento de funcionamento).

Por sua vez, o método sugerido está em concordância com a norma IEC 61131, conforme detalhado anteriormente no  $1^{\circ}$  passo.

## Avançando na prática

## Controle de Segurança de Processo Químico - Parte II Descrição da situação-problema

Considere o estudo de caso da Seção 2.1 em que um sistema de controle deve ser projetado para manter a segurança em um processo

industrial e que, para isso, existem três compartimentos que devem estar vedados antes de iniciar o conjunto de reações químicas. Entretanto, a vedação deve ocorrer de dentro para fora, ou seja, do compartimento 1 para o compartimento 3, que é o externo:

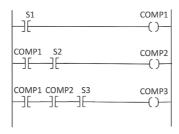
- Atuador CP1 veda compartimento COMP1.
- Sensor S1 identifica se COMP1 está vedado: se 11S= então COMP1 OK
  - Se 11S= então Atuador CP2 veda compartimento COMP2.
- Sensor S2 identifica se COMP2 está vedado: se 21S= então COMP2 OK.
  - Se 11S= e 21S= então Atuador CP3 veda compartimento COMP3.
- Sensor S3 identifica se COMP3 está vedado: se 31S= então COMP3 OK.

Baseado no caso apresentado, seu gestor solicita que você construa um rung que estabeleça a lógica para ativar o sinal COMP1, COMP2 e COMP3 de monitoração e que faça uma apresentação com os resultados. O gestor lhe questiona sobre a existência de uma ordenação entre esses rungs e pede para você explicar esse ponto na apresentação.

## Resolução da situação-problema

Para iniciar a sua apresentação ao gestor, você deve mostrar o diagrama Ladder que represente apenas as condições para monitoração do estado das comportas (Figura 2.16):

Figura 2.16 | Solução do problema apresentado



Fonte: elaborada pelo autor.

Na sequência, explique que existe uma ordenação entre os rungs por causa da forma como é processado o diagrama. Por exemplo, a ativação da saída COMP2 depende de COMP1, se a relação causaefeito for desobedecida, os resultados serão afetados.

## Faça valer a pena

- **1.** Quando você acessa o ambiente de programação, depara-se com uma tela principal com menu, uma série de barras de ferramentas e janela para programação. Esses recursos permitem que você sistematize um procedimento para programar CLPs, baseado nos seguintes fundamentos:
- I. Ambiente de programação: geralmente não permite que você simule o seu programa
- II. Seleção do tipo de processador: o ambiente de programação precisa saber qual é o tipo de processador que você está utilizando.
- III. Configuração das entradas e saídas: I/O.

Considerando as afirmações I, II e III, assinale a alternativa que que apresenta a sequência correta de Verdadeiro (V) ou Falso (F).

- a) V, V, V.
- b) F. V. V.
- c) V, F, F.
- d) V, V, F.
- e) F, F, V.
- **2.** Existem determinadas lógicas que exigem que sejam feitas alterações no diagrama Ladder para que a lógica de controle seja processada corretamente. Nesse sentido, denomina-se \_\_\_\_\_\_ aquele que acontece da direita para esquerda em uma linha do diagrama Ladder. Entretanto, este \_\_\_\_\_ só seria possível se fosse um \_\_\_\_\_ por onde passasse uma corrente elétrica.

Assinale a alternativa que preencha as alunas na ordem correta:

- a) Fluxo reverso; fluxo; reator.
- b) Fluxo reverso; fluxo; relé.
- c) Fluxo NA; fluxo; circuito elétrico.
- d) Fluxo NF: fluxo: relé.
- e) Fluxo reverso; fluxo; circuito elétrico.
- **3.** No diagrama Ladder, existem elementos que são utilizados no programa como sendo contatos e bobinas capazes de representar a lógica de acionamento, da mesma forma que as entradas e saídas físicas. Esses elementos podem ser:
- I. Bobinas auxiliares.
- II. Memória externa.
- III. Memória interna.

Assinale a alternativa correta sobre as afirmações de I, II e III:

- a) Somente a afirmativa I é verdadeira.
- b) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- c) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- d) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- e) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.

## Seção 2.3

## Programação de CLP - elementos de sequenciamento

## Diálogo aberto

Considerando que seu projeto de automação para inovação do parque industrial para torná-lo competitivo foi aprovado, você precisa evoluir para uma nova fase para desenvolver os algoritmos de controle na forma de programas para CLPs, que serão utilizados como dispositivos de controle para os vários processos de fabricação existentes na indústria de manufatura em questão.

Você começou a ter contato com as técnicas de programação de CLPs e isso foi fundamental para que você pudesse orientar a sua equipe técnica a adotar um procedimento padrão para programação de diagramas Ladder.

Nessa primeira fase, a equipe foi capacitada para resolver problemas em que lógicas do tipo combinatória são apropriadas para implementar certa classe de soluções.

Entretanto, precisam aprender a solucionar problemas de controle sequencial, que envolvem a questão de estabelecer uma sequência de transição de estados, de acordo com a ocorrência de eventos no sistema produtivo.

Dessa forma, conforme o objeto de controle muda de estado, o CLP precisa interpretar essa transição e gerar eventos para que uma nova transição ocorra. Em muitas situações é bastante comum deparar-se com sistemas produtivos que apresentem determinados processos sendo executados e que não têm dispositivos de sensoriamento para realimentar o controlador para a mudança de estado.

Você está sendo desafiado para explicar para a sua equipe como deve ser o procedimento para programar as soluções de controle nos CLPs em que esses cenários estejam presentes.

Nesta seção, você terá a oportunidade de aprender como trabalhar com realimentação de saídas para manter estados anteriores, bem como utilizar memórias e temporizadores para concluir a questão de programação de CLPs.

Bom trabalho!

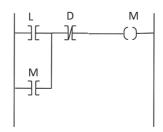
## Não pode faltar

#### Contatos selo

Os contatos selo devem ser implementados quando for necessário manter a saída ativa, mesmo quando a entrada estiver desativada.

Um caso típico que exemplifica essa necessidade é quando temos dois botões, L e D, para acionar um motor de tal forma que ao pressionar o botão L, o motor deve ser acionado e mantido ativo, mesmo que L seja liberado. Por sua vez, quando D for pressionado o motor deve parar imediatamente. Será utilizado o símbolo M para representar o acionamento do motor. A Figura 2.17 ilustra o diagrama Ladder que realiza esse tipo de controle no motor M.

Figura 2.17 | Controle de acionamento do motor  $\emph{M}$  utilizando selo



Fonte: elaborada pelo autor.

Essa realimentação da saída que se transforma em um sinal de entrada é o que se denomina de autorretenção. Observe que esse tipo de diagrama tem a propriedade de armazenar a saída anterior, ou seja, ela se transforma em uma entrada. É nesse aspecto que esse diagrama se transforma em um meio de memorizar a saída. Assim, é possível concluir que uma das formas de memorizar o estado de uma saída é por realimentação. Dessa forma, você pode tratar o aspecto do sistema ser dinâmico, ainda que esteja utilizando recursos de lógica combinacional.

Na prática, esse tipo de digrama é chamado de selo.



Observe que o diagrama Ladder ilustrado na Figura 2.18 apresenta prioridade ao apertar os botões  $L\,$ e  $D\,$ .

Reflita sobre a seguinte situação: suponha que você aperte os dois botões simultaneamente. O que acontecerá?

## $\bigcirc M$ irá ligar ou desligar?

Se ele estiver ligado, continuará assim ou irá desligar?

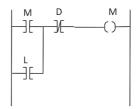
Observe que as instruções no diagrama Ladder serão processadas da esquerda para direita e de cima para baixo. Portanto, uma vez que L=1 foi processado, o que definirá o acionamento da saída M será a condição de D. Se  $D=1 \Rightarrow D=0$ , então M=0, ou seja, o motor desliga mesmo que permaneça L=D=1.

Isso significa que essa solução dá prioridade ao comando para desligar o motor ( $D=1\Rightarrow \overline{D}=0$ ).

Como poderia ser programada uma solução com prioridade no comando de ligar?

Essa solução está ilustrada na Figura 2.18.

Figura 2.18 | Acionamento de motor M com prioridade no comando de ligar



Fonte: elaborada pelo autor.

Observe que o comando ligar predomina porque está atuando diretamente na saída que passa a ser comandada pela seguinte expressão lógica  $M=L+\left(M\cdot\overline{D}\right)$ .

## Instruções set e reset

Outra forma de implementar a autorretenção é por meio das instruções set e reset.

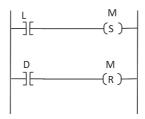
Uma instrução set aciona uma saída e mantém essa saída acionada, mesmo que a lógica de ativação da saída em questão seja desativada.

Para se desligar uma saída que foi ativada por set, necessita-se de uma instrução reset para desativá-la.

Portanto, as instruções set e reset devem sempre ser utilizadas em conjunto.

A Figura 2.19 ilustra um exemplo de como essas instruções podem ser representadas em um diagrama Ladder para acionar um motor M. É importante observar que diferentes fabricantes podem utilizar diferentes sintaxes para essas instruções.

Figura 2.19 | Acionamento de motor M com set e reset



Fonte: elaborada pelo autor.

É importante esclarecermos alguns aspectos sobre os tipos de bobinas que foram mencionadas anteriormente na Seção 2.1, de uma forma geral. Em projetos de automação que envolvem a programação de CLPs, quando essas instruções são utilizadas, é importante que você saiba a diferença entre bobina com autorretenção ou bobina retentiva (FRANCHI; FRANCHI, 2008):

- As bobinas autorretentivas são aquelas nas quais as instruções set e reset são aplicadas.
- As boninas retentivas são aquelas em que, após a ocorrência de uma falha, queda de energia, é possível recuperar o estado no qual estava antes da referida ocorrência.

A Figura 2.20 mostra uma síntese das principais bobinas mais utilizadas, de acordo com a norma IEC 61131-3.

Figura 2.20 | Principais bobinas com memória de acordo com a norma IEC 61131-3

Bobina set A bobina é ativada só pode ser destivada pela instrução reset.	(S)
Bobina reset A bobina é desativada e permanece nesse estado até ser ativada novamente pela instrução set	( R )
Bobina retentiva (com memória). O estado atual é mantido em caso de falha de alimentação do CLP.	( M)
Bobina set retentiva (com memória).	( SM )
Bobina reset retentiva (com memória).	( RM )

Fonte: Franchi; Franchi (2008, p. 129).



O diagrama de acionamento do motor  ${\cal M}$  , representado na Figura 2.20, apresenta prioridade no comando liga ou no comando desliga?

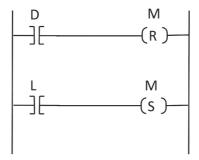
Uma vez que um digrama Ladder é processado de cima para baixo, a

última instrução a ser processada é a de desligar. Portanto, prevalece o comando desliga.

Como você implementaria um sistema com prioridade no comando liga?

Bastaria que você invertesse os rungs, conforme a Figura 2.21.

Figura 2.21 | Acionamento de motor  ${\it M}$  com prioridade no desliga



Fonte: elaborada pelo autor

## Detecção de eventos

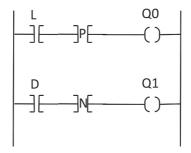
Lembre-se de que evento é uma ação que ocorre durante um intervalo finito de tempo e que provoca uma transição de estado.

Para que um evento seja detectado, deve-se observar a ocorrência de uma das duas situações possíveis:

- O sistema muda de um estado inativo para ativo, ou seja, ocorre a transição do estado desligado para o estado ligado. Esse evento está associado à borda de subida em que houve a transição de desligado para ligado.
- O sistema muda de um estado ativo para inativo, ou seja, ocorre a transição do estado ligado para o estado desligado. Esse evento está associado à borda de descida em que houve a transição de ligado para desligado.

Existem contatos especiais que são colocados em série com a lógica de acionamento de uma saída e ele só permanece ativo durante um ciclo de varredura. Existem também as bobinas de detecção de borda, que só ficam ativas por um ciclo de varredura, conforme mencionado na Seção 2.1. A Figura 2.22 ilustra um contato detector de borda de subida (tipo P) e outro detector de borda de descida (tipo N).

Figura 2.22 | Contatos auxiliares de detecção de borda de subida (P) e de descida (N)



Fonte: elaborada pelo autor.

## Pesquise mais

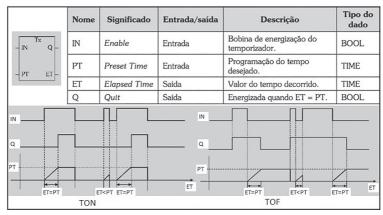
A questão de uso de soluções de controle que precisam detectar sinais sensíveis à borda possui uma grande variedade de aplicações.

Caso você não tenha o recurso de contatos auxiliares ou bobinas sensíveis à borda, é importante você pesquisar a respeito de como seria possível desenvolver uma lógica para detectar uma borda de subida ou de descida. Leia a respeito na Seção 3.10 da obra *Automação e controle discreto*, de Silveira & Santos (2009, p. 104).

## Temporizadores e contadores

Os temporizadores são instruções utilizadas para a contagem de tempo e seguem o modelo geral de diagrama de blocos da Figura 2.23.

Figura 2.23 | Bloco temporizador padrão e as cartas de tempo de TON e TOF



Fonte: Franchi; Franchi (2008, p. 203, 206 e 211).

Veja a seguir, três tipos de temporizadores:

- $\bullet$  Temporizador de pulso (TP): quando a entrada IN é ativada ( $I\!N=1$ ) , a saída Q vai para o valor lógico 1 e fica travada nesse valor até que o tempo programado em PT seja atingido, independentemente do que venha a acontecer com a entrada  $I\!N$ . Passado o tempo PT, a saída Q volta para o nível lógico 0. Nesse caso, o termo Tx é substituído por TP no bloco da Figura 2.23.
- Temporizador do tipo On Delay (TON): nesse caso, o temporizador funciona conforme ilustra a carta de tempos da Figura 2.23:
- $\bullet$  Inicialmente, deve-se estabelecer um intervalo de tempo programado em  ${\it PT}$  .
- A contagem de tempo é iniciada quando a entrada for  $I\!N=1$  e será mantida enquanto essa condição for preservada. Nessa condição, podem ocorrer duas situações:
- Se, antes da contagem de tempo finalizar, ou seja, se enquanto ET < PT a entrada for desativada, então, a contagem de tempo será interrompida e zerada, voltando-se à condição ET=0 até que haja uma nova ativação da entrada.
- Se a contagem de tempo finalizar, ou seja, a condição ET=PT for atingida, então a saída Q será ativada, ou seja, Q=1 será estabelecido na saída, enquanto IN=1. Isso significa que a saída Q copia a entrada IN com um atraso programado em PT, sendo essa a justificativa para o nome desse temporizador TON  $Timer\ On\ Delay$  (temporizador de retardo no ligar).
- Temporizador do tipo *Off Delay* (TOF): neste caso, o temporizador funciona provocando um atraso no desligamento da saída, conforme pode ser visto na carta de tempos da Figura 2.23:
- Analogamente, deve-se estabelecer um tempo programado em PT e iniciar a contagem de tempo quando a entrada IN estiver desativada, ou seja, passar da condição IN=1 para a condição IN=0. A partir de então, podem acontecer duas situações:
- Se enquanto ET < PT a entrada for ativada, então a contagem de tempo será interrompida e zerada, ou seja, voltará à condição ET = 0 até que haja uma nova desativação da entrada. Neste caso, a saída  $\mathcal Q$  continuará ativa
- Se a contagem de tempo finalizar, ou seja, a condição ET=PT for atingida, então, assim que a saída Q for desativada (Q=0), a saída Q continuará mantendo a saída ativa por um intervalo de tempo PT,

após a desativação de  $\it{IN}$ , sendo essa a justificativa para o nome deste temporizador –  $\it{TOF}$  –  $\it{Timer}$  Off  $\it{Delay}$  (temporizador de retardo no desligar).

Os contadores são outra instrução que tem uma variedade de aplicações, porque existe uma necessidade natural de contagem de itens nos processos de manufatura automatizada.

Na Figura 2.24 apresenta-se o bloco padrão de um contador do tipo Up (CTU), que conta de forma incremental, de acordo com a norma IEC 61131-3. Seu funcionamento ocorre da seguinte forma:

- ullet O valor máximo de contagem é programado por meio de PV .
- $\bullet$  A entrada CU é sensível à borda de subida, sendo a que detecta o evento que deve ser contado.
- ullet Quando a entrada CU é ativada, o valor da variável CV será incrementado com uma unidade.
  - Quando a condição  $CV \ge CU$  for verdadeira, a saída Q é ativada.
  - É importante você saber que:
  - ullet Para zerar a contagem, você deve impor a condição  $R=1 \Longrightarrow CV=0$
- Assim que essa condição for imposta, a contagem será interrompida e zerada.

Figura 2.24 | Bloco contador incremental padrão



Símbolo	Nome	Entrada/ Saída	Descrição	Tipo do dado
сυ	COUNT UP	ENTRADA	Entrada de contagem crescente (borda de subida)	BOOL, R_EDGE
R	RESET	ENTRADA	Entrada de reset do contador (faz CV = 0)	BOOL
PV	PRESET VALUE	ENTRADA	Valor de limite superior desejado de contagem	INT
cv	COUNTER VALUE	SAÍDA	Contém o valor acumulado da contagem	INT
Q	QUIT	SAÍDA	É energizada quando CV >=PV	BOOL

Fonte: Franchi; Franchi (2008, p. 196).

De forma análoga, você tem o contador que decrementa, conhecido como sendo do tipo Down (CTD), que está ilustrado na Figura 2.25.

Figura 2.25 | Bloco contador decremental padrão



Símbolo	Nome	Entrada/ Saída	Descrição	Tipo do dado
сυ	COUNT UP	ENTRADA	Entrada de contagem crescente (borda de subida)	BOOL, R_EDGE
R	RESET	ENTRADA	Entrada de reset do contador (faz CV = 0)	BOOL
PV	PRESET VALUE	ENTRADA	Valor de limite superior desejado de contagem	INT
cv	COUNTER VALUE	SAÍDA	Contém o valor acumulado da contagem	INT
Q	QUIT	SAÍDA	É energizada quando CV >=PV	BOOL

Fonte: Franchi; Franchi, 2008, p. 197.

Seu funcionamento é semelhante ao do anterior, exceto pelo fato de decrementar, ou seia:

- ullet O valor máximo de contagem é programado por meio de PV .
- $\bullet$  Quando a entrada LD=1 , então será feita a operação de atribuição CV=PV .
- ullet A entrada CD é sensível à borda de subida, sendo a que detecta o evento que deve ser contado. Quando ativada, decrementa CV com uma unidade.
  - ullet Quando a condição  $\mathit{CV}$  " 0 for atingida, a saída  $\mathcal Q$  será ativada.

Com essas instruções, temporizadores e contadores, torna-se possível agregar novas funcionalidades ao sistema de controle sequencial que está sendo programado com diagramas Ladder.



Em muitas situações em chão de fábrica, utilizam-se botoeiras que não têm autorretenção e isso exige a utilização de um par de botoeiras para que um determinado sistema seja ligado ou desligado.

Como você resolveria o problema se fosse imposto que você realizasse o comando liga/desliga por meio de um único botão?

Como você programaria essa lógica utilizando um diagrama Ladder?

## Sem medo de errar

Existem diversas situações em que é possível utilizar sistemas de sensoriamento para determinar o estado do objeto de controle e então informar o controlador para que ele possa evoluir de estado.

Essa técnica de controle utilizando sensores é denominada técnica de controle de malha fechada. Entretanto, quando não for possível utilizar sensores para detectar os eventos que ocorrem no objeto de controle, será necessário adotar o conceito de sistema de controle de malha aberta. Nesse caso, deve-se modelar como o evento deveria ser gerado.

Uma das formas de se fazer essa modelagem é utilizando a instrução de temporização. Assim, em vez dos eventos serem identificados por transdutores, que seriam sensores específicos relacionados à natureza do processo que está sendo controlado, a solução é gerar esses eventos de forma temporizada.

Para fazer isso, você deve programar essas instruções com um tempo equivalente ao tempo gasto para o processamento da operação que está sendo controlada.

Com esse tempo estimado, na maioria das aplicações, você poderá programar um temporizador do tipo TON que retarda o início da próxima operação, durante um intervalo de tempo suficiente para que a operação que está sendo executada seja finalizada. Após esse tempo passar, prevê-se que a operação foi concluída e, de forma automática, será gerado um evento temporizado indicando a hipótese que foi assumida.

Por exemplo, uma máquina de lavar roupa para de lavar em função de eventos temporizados que ocorrem. Ela não interrompe o processo somente quando a roupa estiver limpa.

De forma análoga, você precisa estimar o tempo de execução de determinadas operações, consultar manuais de fabricantes de equipamentos que são utilizados no processo, por exemplo, e estipular um intervalo de tempo para que a operação que utiliza esses recursos seja concluída.

Dessa forma, você estará implementado soluções e controle de malha aberta quando o sensoriamento não for viável.

## Avançando na prática

#### Controle automático de bombeamento

#### Descrição da situação-problema

Considere que você, como profissional capacitado para automatizar sistemas, seja convidado para avaliar um projeto de automação para uma cidade metropolitana em que haja problemas de abastecimento de água em tempos de estiagem. Para realizar essa avaliação, há um sistema de sensoriamento instalado na represa principal, capaz de registrar quatro níveis diferentes:

- L1: nível máximo.
- L2: nível intermediário.
- L3: nível baixo.
- L4: nível crítico.

Existem dois sistemas de bombeamento automático, B1 e B2, e um sistema de alarme AL, que devem ser controlados da seguinte forma:

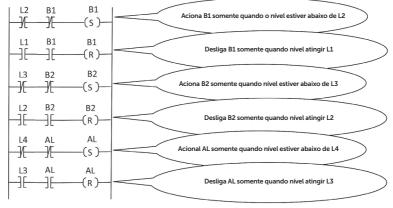
- B1 deve ser ativado quando o nível da represa estiver abaixo de L2 e desativada quando ativar L1.
- B2 deve ser ativado quando o nível estiver abaixo de L3 e desativado quando estiver acima de L2.
- O alarme deve ser ativado quando o nível estiver abaixo de L4 e desativado quando estiver acima de L3.

O gestor geral da empresa, nessa avaliação do projeto, solicitou que você desse uma sugestão de programação de controladores, esboçando um diagrama Ladder de controle das bombas e do alarme desse sistema.

## Resolução da situação-problema

O diagrama Ladder para o controle das bombas B1 e B2 e do alarme AL que você poderia apresentar ao gestor está representado pela Figura 2.26:

Figura 2.26 | Diagrama Ladder para o controle das bombas B1 e B2 e do alarme AL

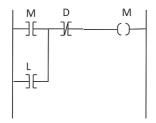


Fonte: elaborada pelo autor.

## Faça valer a pena

**1.** Contatos do tipo selo devem ser implementados quando for necessário manter a saída ativa, mesmo que a entrada seja desativada. Considere o digrama a seguir:

Diagrama Ladder



Fonte: elaborada pelo autor.

O acionamento de motor M possui \_\_\_\_\_ no comando de \_\_\_\_\_

Assinale a alternativa que complete as lacunas corretamente:

- a) Prioridade; ligar.
- b) Lógica; ligar.
- c) Borda de descida; desligar.
- d) Prioridade; desligar.
- e) Borda de subida, desligar.

**2.** Outra forma de implementar a autorretenção é por meio das instruções set e reset.

A respeito das instruções de set e reset é possível afirmar que:

- I. Uma instrução set aciona uma saída e mantém essa saída acionada.
- II. Mesmo que a lógica de ativação da saída em questão seja desativada, set manterá a saída em 1.
- III. Para desligar uma saída que foi ativada por set, é necessária uma instrucão reset.

Considerando as afirmações I, II e III, assinale a alternativa que que apresenta a sequência correta de Verdadeiro (V) ou Falso (F).

- a) F, V, F.
- b) F, V, V.
- c) V. V. V.
- d) V, V, F.
- e) V, F, V.
- **3.** Evento é uma ação que ocorre durante um intervalo finito de tempo e que provoca uma transição de estado.

Sobre a detecção de um evento, é correto afirmar que:

- a) Nunca existe a necessidade de considerar a borda de subida.
- b) Deve-se sempre utilizar um temporizador.
- c) Nunca existe a necessidade de considerar a borda de descida.
- d) Um evento pode ser sensível à borda de subida ou de descida.
- e) Um evento nunca é sensível à borda.

## Referências

CAMARGO, V. L. A. Elementos de automação. São Paulo: Érica, 2014.

CASTRUCCI, P. B. L.; BITTAR, A.; SALES, R. M. **Controle Automático**. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

FESTO. [S.l.], 2017. Disponível em: <a href="https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx?cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">https://www.festo.com/net/sr\_rs/SupportPortal/default.aspx.cat=2476&tab=4&s=t>">h

FRANCHI, M. F.; FRANCHI, V. L. A. Controladores lógicos programáveis sistemas discretos. São Paulo: Érica, 2008.

GEORGINI, M. **Automação Aplicada** - Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs. 9. ed. São Paulo: Érica, 2009.

MIYAGI, P. E. Controle programável – Fundamentos de controle a eventos discretos. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.

PETRUZELLA, F. D. **Controladores lógicos programáveis**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

SILVEIRA, P.; SANTOS, W. E. **Automação e controle discreto**. 9. ed. São Paulo: Érica, 2009.

# Pirâmide da automação e sistemas supervisórios

#### Convite ao estudo

Iniciamos agora uma nova unidade que tratará sobre a Pirâmide da Automação e a programação de sistemas supervisórios. A seguir, apresentamos uma situação hipotética que irá ajudá-lo a assimilar os conteúdos estudados nas três seções desta unidade.

Para tornar um parque industrial competitivo, nas unidades anteriores você já foi capacitado em dois contextos: já propôs um projeto de automação para inovação e desenvolveu os algoritmos de controle necessários para controlar um sistema produtivo. Agora que você já está capacitado nesses dois contextos, outro desafio que precisa enfrentar é o de como auxiliar a equipe de operadores responsável por manter o funcionamento do sistema produtivo sem que haja interrupções ou paradas que causam prejuízo e que podem causar falhas no cumprimento de prazos de entrega para os clientes. Para isso, você irá aprender detalhes sobre a Pirâmide da Automação e seus cinco níveis, saberá o que é uma camada MES e como são integrados diferentes sistemas voltados para a gestão da produção. Na sequência, você aprenderá como é um sistema SCADA, seus principais elementos e funções. Por fim, você verá conceitos básicos de programação de sistemas supervisórios.

Você está convidado a estender a sua visão a respeito de automação e começar a enxergar que existe uma organização de sistemas para a automação das informações que fluem para realizar a gestão de um sistema produtivo. Entre o planejamento da produção e o controle de chão de fábrica existe uma camada de integração chamada MES (Manufacturing Execution System) que preenche uma lacuna entre o planejamento e a produção em si.

Conforme já informado, outro desafio que você precisa enfrentar é o de como auxiliar a equipe de operadores responsável por manter o funcionamento do sistema produtivo sem que haja interrupções ou parados que causam prejuízo e que podem causar falhas no cumprimento de prazos de entrega para os clientes.

Neste contexto, você será capacitado para responder as seguintes questões:

- Como você avaliaria a situação do sistema de gerenciamento presente no sistema produtivo que você precisa modernizar?
- Como você procederia para levantar uma especificação inicial de sistema supervisório para dar suporte à equipe de operadores?
- Como você procederia para planejar o sistema supervisório adequado às necessidades de seu cliente?

Dessa forma, conforme você evoluir nesta unidade, você irá desenvolver a competência de conhecer, compreender e programar sistemas supervisórios para o controle de plantas industriais

Vamos em frente?

## Seção 3.1

## Gerência do sistema produtivo

## Diálogo aberto

Iniciamos agora uma nova seção e o objetivo é aprofundar o conhecimento sobre o conceito de automação para lidar com a automação de informações de uma forma específica.

Isto significa que, se você considerar que um sistema de realização do controle tem, de um lado, o objeto de controle a ser controlado e, de outro, um operador que pode comandar e monitorar o sistema produtivo, o foco neste momento é investir em um sistema que auxilie o operador a gerenciar a produção utilizando sistemas de supervisão.

Para avançar no processo de inovação do sistema produtivo que está sob a sua responsabilidade, você, como gestor de automação, deve saber que tudo o que poderia ser feito em termos de automação utilizando CLPs e programas Ladder já foi feito. Então, você deve gerar um relatório que apresente uma sistemática a respeito de como proceder para continuar a aprimorar o sistema.

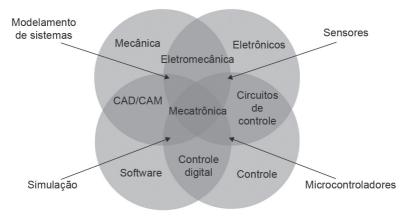
O seu desafio agora é responder à questão de como você avaliaria a situação do sistema de gerenciamento presente no sistema produtivo que você precisa modernizar. Para isso, serão apresentados novos conceitos sobre quais as áreas de conhecimento que estão envolvidas em automação e controle. Ciente disso, você aprenderá o que é a pirâmide da automação e como os diversos sistemas de controle e planejamento existentes em um sistema produtivo estão integrados.

Por fim, você irá iniciar sua aprendizagem focando-se em sistemas SCADA.

## Não pode faltar

O conceito de automação e controle abordado nesta disciplina aplica-se a processos de manufatura e, para o projeto de sistemas que se baseiam neste contexto, utilizam-se dispositivos como sensores, atuadores, controladores programáveis, sistemas de supervisão e aquisição de dados que envolvem uma grande área do conhecimento denominada mecatrônica (colaboração entre eletricidade, eletrônica, mecânica e computação, conforme ilustrado na Figura 3.1).

Figura 3.1 | As áreas de conhecimento envolvidas em automação e controle



Fonte: Santos (2014, p. 17).

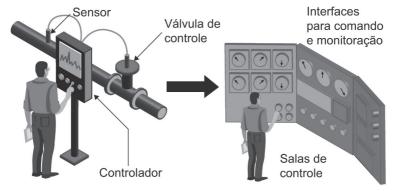
Considerando essa diversidade de tecnologias que são integradas para a automação de um sistema produtivo, observa-se que há uma evolução constante na estrutura desses sistemas e a tendência atual é que o comando e monitoramento deles ocorram de forma remota, em virtude da evolução dos recursos computacionais.

Assim, os operadores de malhas de controle de campo deixaram de realizar suas funções localmente e passaram a realizá-las por meio de salas de controle. A Figura 3.2 representa uma caricatura desse cenário que é bastante ilustrativa para você entender essa quebra de paradigma. A seta entre as duas imagens indica o sentido da evolução tecnológica.

A justificativa para que a tecnologia evolua nesse sentido é a de que se a aquisição de dados for automatizada, os tempos de monitoração dos processos se tornarão adequados para o acompanhamento do comportamento dinâmico de cada um deles e, dessa forma, o operador será capaz de intervir no sistema de forma apropriada. Portanto, se nas duas primeiras unidades vimos a questão da automação e programação de controladores para que os processos ocorram de forma automática, a questão a ser tratada nesta seção é a da interface de comunicação do operador com esses sistemas.

Uma vez que não estamos lidando com uma fábrica totalmente automatizada em que dispositivos de comando e monitoração sejam desnecessários, o problema a ser tratado nesta seção é o de entender como o operador pode gerenciar o sistema produtivo de uma forma adequada, ou seja, eficaz e eficiente.

Figura 3.2 | Automação aplicada às atividades de comando e monitoração



Fonte: adaptada de Santos (2014, p. 19).

## Pirâmide da automação: integração com sistemas

De uma forma geral, a norma ANSI/ISA 95 (ANSI, 2000) define uma arquitetura na forma de pirâmide para representar a comunicação entre os sistemas de controle presentes em um sistema produtivo (leia mais a respeito no item *Pesquise mais*).

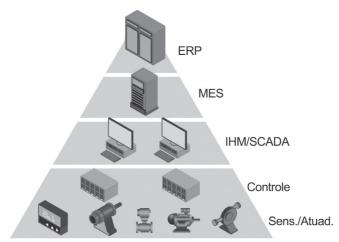
Para aplicação em sistemas de produção, existem muitas propostas de pirâmides da automação envolvendo um número diferente de níveis. Nesta disciplina, vamos considerar os modelos de pirâmides mostrados por Santos (2014). Ele se baseia em duas visões para as pirâmides da automação: (i) visão orientada a componentes; e (ii) visão orientada a funções.

A Figura 3.3 ilustra o modelo orientado a componentes. Nesse caso, o foco é representar um modelo estrutural da pirâmide e mostrar como os componentes se comunicam. Sobre a forma de comunicação, é importante observar que em cada nível existe uma rede de comunicação compatível em que os componentes de mesma natureza podem se comunicar. Por sua vez, na vertical é necessário integrar redes de comunicação que são diferentes, o que exige o uso de gateways apropriados. Gateways são componentes de software capazes de integrar diferentes tecnologias (você verá maiores detalhes sobre esse termo na Unidade 4). Portanto, a estrutura da pirâmide pode ser interpretada da sequinte forma:

- Nível 4: contém o sistema ERP (Enterprise Resource Planning).
- Nível 3: contém sistemas como MES (*Manufacturing Execution System*).

- Nível 2: contém os sistemas SCADA de supervisão para se comunicarem com os elementos do nível 1.
  - Nível 1: contém as remotas, os CLPs e PACs.

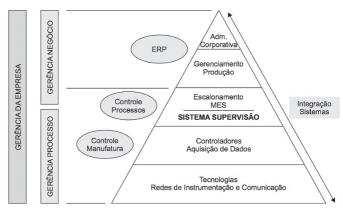
Figura 3.3 | Modelo estrutural de uma pirâmide da automação



Fonte: Santos (2014, p. 28).

Em termos de componentes, a pirâmide da automação da Figura 3.3 apresenta uma hierarquia entre eles, de tal forma que o sistema ERP é o de maior hierarquia. Para entender como esses componentes atuam, é necessário recorrer à visão orientada a funções. A partir dessa visão, Santos (2014) mostra a pirâmide com as funções pertinentes a cada nível, conforme apresentado na Figura 3.4.

Figura 3.4 | Funções associadas a uma pirâmide de automação



Fonte: Santos (2014, p. 28).

De acordo com Camargo (2014), as funcionalidades presentes nos níveis são:

- No nível superior de maior hierarquia, está o ERP que tem como função integrar as diferentes informações que são associadas ao financeiro, RH, planejamento da produção, vendas, requisição de materiais, etc. Portanto, envolve a administração corporativa e o gerenciamento da produção para atender às demandas do mercado, associando-se, então, à gerência do negócio de um sistema produtivo.
- No nível imediatamente inferior, estão os sistemas MES e PIMS (*Process Information Management Systems*), sendo que:
- MES: é o sistema responsável pela execução da manufatura e tem como objetivo centralizar todas as informações associadas à produção, proporcionando uma ponte de conexão entre o que está sendo realizado no chão de fábrica no nível superior e o que foi planejado no nível superior, para que as datas de entrega previstas para os produtos que estão sendo fabricados sejam cumpridas.
- PIMS: é um sistema que gerencia as informações geradas durante a execução dos processos. Além de coletar e armazenar os dados, é capaz de analisá-los e fornecer gráficos e tabelas, por exemplo, para que possam ser interpretados.
- O próximo nível hierarquicamente inferior contém os sistemas SCADA, que realizam a coleta de dados, o que pode ser denominado controle supervisório dos processos. Assim, esses sistemas são capazes de:
- Representar graficamente o estado dos equipamentos, máquinas e instrumentos existentes no chão de fábrica.
- Comandar remotamente os recursos mencionados anteriormente por meio de dispositivos de comando programados na tela de supervisão.
- Reconfigurar os parâmetros, alterando-se o valor de *setpoints* desejados para determinadas variáveis de processo conforme seja necessário.
- Na sequência, tem-se o nível de controle automático em que estão presentes: (i) CLPs que já foram estudados para o controle sequencial de sistemas produtivos; (ii) Máquinas CNC (Computer Numeric Control) programadas para realizare processos de usinagem; (iii) PCs computadores adequados para a execução de programas de controle em ambientes industriais; (iv) SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído) utilizam computadores digitais para processar os programas

de controle, em que as estações podem estar distribuídas fisicamente no sistema produtivo.

• Por fim, tem-se no nível básico as redes de campo, nas quais estão presentes os instrumentos e equipamentos que constituem o arranjo físico do chão de fábrica. Exemplos: válvulas de controle de fluxo, motores elétricos, cilindros hidráulicos e pneumáticos, transdutores para medida de pressão, temperatura, força, aceleração, velocidade, posição, entre outros.

## Pesquise mais

A norma ANSI/ISA 95 estabelece cinco níveis para representar a Pirâmide da automação presente nas arquiteturas de controle das indústrias.

Sugerimos a leitura do artigo A pirâmide da Automação Industrial, para conhecer uma descrição objetiva e de fácil entendimento sobre o tema.

Disponível em:

<a href="http://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial/>">http://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial/>">http://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.">http://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacaoindus

Uma vez compreendido o conceito de Pirâmide da Automação, seus vários componentes e funcionalidades, você está apto a avançar no estudo do nível de sistemas de supervisão.

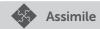
## Sistemas SCADA: atuação, detecção e controle

Vamos começar a estudar de forma específica a questão dos Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados, ou seja, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Eles são conhecidos como softwares supervisórios que utilizam recursos computacionais para realizar a aquisição de dados e, a partir das informações coletadas, realizar funções de monitoração e controle voltados para o comando e tomada de decisão.

Uma característica marcante desses sistemas é a comunicação que ele precisa estabelecer com outros componentes do sistema de controle do sistema produtivo. Assim, conforme Santos (2014), tem-se que:

• CLPs: conforme visto nas unidades anteriores, os CLPs são controladores programáveis capazes de se comunicar diretamente com os dispositivos de comando e sensoriamento dispostos em chão de fábrica, conforme ficou ilustrado na pirâmide de automação. Esses controladores são responsáveis pela execução dos programas de controle que atuam diretamente na planta.

- PACs: foi citado anteriormente, na Seção 1.3, apenas a questão de que esses dispositivos existem e você recebeu um convite para pesquisar mais sobre o assunto. Agora, veremos um pouco mais de detalhes a respeito desses controladores que podem estar em comunicação com o sistema SCADA (PETRUZELLA, 2013):
- Esses dispositivos surgiram como uma alternativa para quem deseja conciliar a vantagem de um sistema de controle utilizando CLP com os recursos de processamento de instruções de um sistema de controle baseado no uso do computador em chão de fábrica (PC).
  - Mantém os índices de confiabilidade e robustez de um CLP.
- Agregam diversas funcionalidades do PC para o processamento de programas de controle avançados utilizando técnicas de comunicação para a transmissão de dados e processamento de sinais.
- **RTUs**: sua sigla significa *Remote Terminal Unit*, ou seja, são unidades remotas de telemetria, controladas por microprocessador, que são capazes de fazer a interface com elementos de chão de fábrica para que se comuniquem com o sistema SCADA.



A realidade de sistemas supervisórios deve modificar o entendimento de como deve ser feito o gerenciamento de um sistema produtivo. Uma nova sistemática deve ser proposta, que tem, quatro aspectos fundamentais a serem contemplados:

- Aprimoramento contínuo da qualidade a partir do momento em que o operador pode monitorar as variáveis de processo de uma planta industrial, será possível controlar os parâmetros para manter um funcionamento otimizado da planta que gera como consequência direta a constituição de uma malha de controle otimizada envolvendo o operador: (i) programação de alertas para realimentar o operador, associados à prevenção de tendências para o desvio do ponto de operação desejado, para os processos que estão sendo monitorados e; (ii) programação de recursos de intervenção nos processos para atualização de parâmetros para manter o comportamento desejado para o sistema produtivo. Desta forma, evita-se o risco de produzir peças fora de uma faixa aceitável.
- Redução contínua dos custos operacionais eliminação contínua de estações de trabalho monitoradas localmente por meio de operador que necessita de instrumentação local instalada em painéis físicos alocados junto aos processos e que envolvem o preenchimento de planilhas susceptíveis a erros humanos.

- Aprimoramento contínuo do desempenho da produção quando ajustes são necessários envolvendo setups de máquinas para produção em lotes, por exemplo, o procedimento torna-se mais ágil, seguro e preciso. O mesmo se aplica quando a questão é para regenerar o sistema após parada súbita provocada por falhas no processo ou defeitos nas máquinas e dispositivos. Uma vez detectada, os setups podem ser rapidamente realizados.
- Integração com outros sistemas a base de dados gerada deve estar compatível com os modelos de dados para integração com os demais sistemas de gestão previstos na pirâmide da automação.

Na Figura 3.5 ilustra-se um exemplo de solução tecnológica para a supervisão de sistemas produtivos que são controlados por CLPs e que têm remotas para integrar os elementos físicos aos sistemas de controle (SANTOS, 2014).



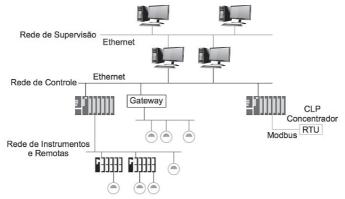
## Exemplificando

Como você aplicaria um procedimento para melhorar continuamente o gerenciamento de um sistema produtivo?

Baseado no contexto dos quatro aspectos vistos anteriormente, ou seja, qualidade, custo, desempenho e integração, deve-se estabelecer um procedimento de gerenciamento para periodicamente programar a avaliação do estado atual do sistema, a fim de planejar melhorias no sistema de produção, considerando como diretrizes as ações a seguir:

- Substituir painéis de controle analógicos que ainda existirem no chão de fábrica.
- Planejar a programação da implementação de painéis de controle digitais e virtuais onde existir a necessidade.
- Disponibilizar base de dados para a geração de relatórios, histórico de falhas e integração com demais sistemas previstos na pirâmide da automação.
- Disponibilizar dados em tempo real para cálculo de estimativas a fim de controlar a produção.
- Programar/reprogramar recursos avançados de monitoração global do processo.
- Programar/reprogramar recursos para comando remoto das unidades de produção.
- Programar/reprogramar recursos avançados para inspeção virtual, diagnóstico e planejamento da manutenção.

Figura 3.5 | Exemplo de planta física controlada por CLP e sistema SCADA



Fonte: Santos (2014, p. 21).



Nesta seção você estudou um novo contexto de automação e aprendeu a dar uma interpretação formal para os níveis de automação presentes em um sistema produtivo.

Quando você estudou as razões para inserir automação em um sistema produtivo você aprendeu que existem algumas questões que são chave para justificar a automação de um sistema.

E para o caso de implantar um sistema de supervisão, qual ou quais são as questões que passam a ser chave?

## Sem medo de errar

Você está avançando no propósito de inovar um sistema produtivo para torná-lo competitivo. Outro desafio que você precisa enfrentar é o de como auxiliar a equipe de operadores responsáveis por manter o funcionamento do sistema produtivo sem que haja interrupções ou paradas que causem prejuízo e que possam causar falhas no cumprimento de prazos de entrega para os clientes.

Portanto, o seu desafio é avaliar a situação do sistema de gerenciamento presente no sistema produtivo que você precisa modernizar.

Para que você possa fazer essa avaliação e identificar o que pode ser feito para inovar o gerenciamento do sistema produtivo, considere a sistemática exemplificada durante a aula. Dessa forma, você deve analisar quatro dimensões:

- 1ª Dimensão qualidade
- Diretrizes para análise:
- Verificar se existe a necessidade de programação de alarmes em algum processo.
- Verificar a necessidade de programar a intervenção do operador para reconfiguração de *setpoints* em algum processo.
- Diretrizes para atuação:
- Programar/reprogramar recursos avançados de monitoração global do processo.
- Programar/reprogramar recursos para comando remoto das unidades de produção.
- 2ª Dimensão redução de custos
- Diretrizes para análise:
- Verificar se existe algum processo que ainda é supervisionado localmente, de forma manual, por meio de operador humano especializado e instrumentação específica.
- Diretrizes para atuação:
- Substituir os painéis de controle analógicos que ainda existirem no chão de fábrica.
- Planejar a programação da implementação de painéis de controle digitais e virtuais onde houver essa necessidade.
- 3º Dimensão desempenho
- Diretrizes para análise:
- Verificar se existem *setups* sendo realizados de forma manual para mudança de lote.
- Verificar se existem *setups* realizados de forma manual em situações de falhas ou defeitos de máquinas ou dispositivos.
- Diretrizes para atuação:
- Programar/reprogramar recursos avançados de monitoração global do processo.
- Programar/reprogramar recursos para comando remoto das unidades de produção.
- Programar/reprogramar recursos avançados para inspeção virtual, diagnóstico e planejamento da manutenção.

- 4ª Dimensão integração com outros sistemas
- Diretrizes para análise:
- Verificar se existem dados que não estão sendo reportados para sistemas de gestão industrial como MES, ERP.
- Verificar se existem dados que poderiam ser disponibilizados em tempo real para estimativas úteis para o controle da produção.
- Diretrizes para atuação:
- Disponibilizar base de dados para a geração de relatórios, histórico de falhas e integração com demais sistemas previstos na pirâmide da automação.
- Disponibilizar dados em tempo real para cálculo de estimativas para o controle da produção.

No caso em questão, o problema citado é o de gerenciar interrupções ou paradas que prejudicam o desempenho do sistema produtivo. Portanto, a indicação é focar a análise da 3ª Dimensão, ou seja, o desempenho, e aplicar as diretrizes descritas para análise e atuação.

## Avançando na prática

## Gerência da qualidade

## Descrição da situação-problema

Considere que você precisa atuar para melhorar a gerência de um sistema produtivo no qual tem ocorrido variações no processo de fabricação, causando a rejeição de um número inaceitável de peças.

Como você é o gestor de automação e tecnologia para inovação, como você estabeleceria um método para solucionar esse tipo de problema?

## Resolução da situação-problema

Para melhorar o processo de gerência, você sabe que pode atuar em quatro dimensões: qualidade, custo, desempenho e integração.

Como o problema envolve controle de qualidade no processo de fabricação, você deve focar a 1ª Dimensão, que é a da qualidade, e proceder da seguinte forma:

- Diretrizes para análise:
- Verificar se há a necessidade de programação de alarmes em algum processo.

- Verificar se é necessário programar a intervenção do operador para reconfiguração de setpoints em algum processo.
- Diretrizes para atuação:
- Programar/reprogramar recursos necessários de monitoração do processo.
- Programar/reprogramar recursos para comando remoto das unidades de produção.

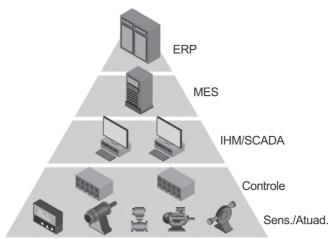
## Faça valer a pena

- **1.** O projeto de sistemas para o controle de sistemas produtivos envolve a utilização de dispositivos como sensores, atuadores, controladores programáveis, sistemas de supervisão e aquisição de dados. A respeito do desenvolvimento desse projeto, analise as afirmações a seguir.
- I. É necessário aplicar técnicas de modelagem de sistemas.
- II. É necessário aplicar técnicas de simulação.
- III. É necessário aplicar sistemas CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). Após analisar as afirmações, assinale a alternativa que contém a sequência correta de verdadeiro (V) ou falso (F).
- a) V-V-V.
- b) F-F-V.
- c) F-V-V.
- d) V-V-F.
- e) F-V-F.
- **2.** De uma forma geral, a norma ANSI/ISA 95 define uma arquitetura na forma de pirâmide para representar a comunicação entre os sistemas de controle presentes em um sistema produtivo.

Assinale a alternativa correta a respeito das pirâmides da automação:

- a) Existe apenas uma pirâmide da automação na literatura.
- b) Uma das visões de pirâmides da automação baseia-se no cálculo de complexidade.
- c) Uma das visões de pirâmides da automação baseia-se na orientação a processos.
- d) Uma das visões de pirâmides da automação baseia-se na orientação a produto.
- e) Uma das visões de pirâmides da automação baseia-se na orientação a funções.

**3.** Considere o modelo de pirâmide da automação, representado na figura a seguir.



Fonte: Santos (2014, p. 28).

Observando a figura em questão, assinale a alternativa correta.

- a) A figura representa as funções da pirâmide.
- b) O ERP tem como função integrar as diferentes informações que são associadas à gestão do sistema produtivo.
- c) O ERP não envolve a gestão corporativa.
- d) O ERP é responsável pela gerência do processo.
- e) A questão de planejamento da produção não faz parte do ERP.

## Seção 3.2

## Sistemas SCADA IHM

## Diálogo aberto

Nesta seção você vai aprofundar o seu conhecimento sobre o sistema de controle supervisório. Esse conceito de sistema de controle é fundamental para que você possa atuar no projeto de sistemas de grande porte, nos quais há uma hierarquia de controle em que vários controladores são utilizados de forma distribuída para controlar uma série de processos que ocorrem em um sistema produtivo.

Uma vez que você é o responsável pela automação do sistema produtivo, tendo o objetivo de auxiliar os operadores para que não haja interrupção no processo produtivo, sua primeira atitude foi verificar como o sistema de gerenciamento do sistema produtivo poderia ser aperfeiçoado, considerando como base o conceito da pirâmide da automação.

Feito isto, seu desafio atual é o seguinte: como você poderia proceder para definir uma especificação inicial de um sistema supervisório a fim de dar suporte à equipe de operadores que atua no sistema produtivo?

Você está inserido na realidade de uma empresa que está inovando o controle de seus processos por meio da automação. Aos poucos você tem inserido projetos de automação e melhorado a qualidade e eficiência dos processos produtivos, tornando a empresa mais competitiva.

Para que você possa responder à questão proposta, nesta seção você aprenderá a respeito de como se organiza um sistema de supervisão, seus principais elementos e funções. Você também compreenderá quais são as funcionalidades presentes nesse sistema de controle e como é projetada uma IHM para que os operadores possam interfacear com o sistema de controle supervisório e, por fim, você terá o conhecimento a respeito do que é uma arquitetura de sistema SCADA com CLPs.

Rom trabalhol

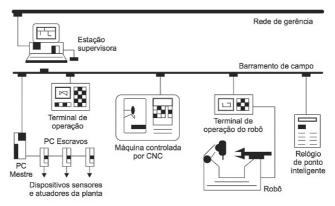
## Não pode faltar

## **Fundamentos gerais**

Na Seção 3.1 você aprendeu a respeito da pirâmide da automação e como essa estrutura define claramente os níveis de controle e

planejamento de processos em sistemas de produção. Vamos avançar observando a Figura 3.6, que representa a arquitetura de um sistema de automação que possui um sistema SCADA.

Figura 3.6 | Arquitetura de um sistema SCADA

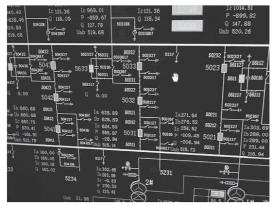


Fonte: Santos (2014, p. 29).

Um sistema SCADA é um ambiente de software que suporta diferentes sistemas operacionais (Windows, IBM AIX, HP-UX etc.), em que é possível (SANTOS, 2014):

- Monitorar os processos:
- Criando telas que representem modelos esquemáticos das plantas industriais em que ocorrem seus processos. Essas telas são conhecidas pelo nome de sinóticos. Um exemplo pode ser visto na Figura 3.7, que representa um sinótico de um sistema elétrico.

Figura 3.7 | Exemplo de sinótico de um sistema elétrico

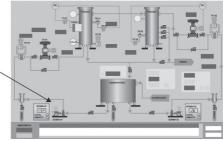


Fonte: Santos (2014, p. 33).

- Gerando gráficos de tendência de variáveis analógicas e digitais (será visto em detalhes na próxima seção).
- Gerando relatórios na forma de planilhas que descrevem detalhes da produção e o estado de equipamentos para manutenção, durante um determinado período de tempo que se deseja analisar.
- Comandar os processos:
- Programando interfaces de comando para gerenciar as plantas industriais que estão sendo controladas por CLPs e/ou RTU (*Remote Terminal Unit*), conforme visto na seção anterior. A Figura 3.8 mostra um exemplo de sinótico com interface de comando.

Figura 3.8 | Tela de comando para operação de um exemplo de sinótico





Fonte: Santos (2014, p. 82).

- Programar as funções de controle de processos:
- Existem sistemas supervisórios que permitem a programação direta dos algoritmos de controle dos processos. Entretanto, toda a questão de tempo de varredura estudada para CLPs precisa ser considerada para sistemas a eventos discretos, ou então, a questão de tempo de amostragem para o uso de controladores PID.

#### Características funcionais

Os sistemas SCADA agrupam as suas funcionalidades de forma modular para implementar as soluções de controle supervisório e de sistemas produtivos.

De acordo com Santos (2014), as principais características desses sistemas supervisórios são:

- Têm um núcleo central de processamento para executar os programas de controle.
  - Utilizam uma interface de comunicação para integrar-se com o

objeto de controle por meio de CLPs e UTRs.

- Executam o gerenciamento de alarmes.
- Utilizam uma arquitetura de banco de dados para disponibilizar históricos associados ao gerenciamento da produção.
- Permitem a especificação de lógicas de programação para executar o controle do sistema produtivo.
  - Têm uma IHM para integrar o operador no sistema de supervisão.
  - Oferecem os recursos de geração de relatórios gerenciais.
- Disponibilizam recursos de comunicação para integração com outras estações SCADA no nível de supervisão.
- Disponibilizam recursos para integração com o nível de gestão, ou seja, com sistemas corporativos via MES, conforme foi visto na seção anterior.

Uma vez que essas características estão presentes em um sistema supervisório, o sistema de controle em questão consiste em utilizar programas de controle que realizam a aquisição de dados associados aos dispositivos de detecção presentes na planta, ou seja (SANTOS, 2014):

- A cada dado sensoriado na planta, associa-se uma variável física do processo, denominada *tagname*.
  - A cada tagname é possível associar a seguinte configuração:
- Um tagname discreto: é representado por meio de uma variável binária associada a objetos físicos para representar seu estado. A cada estado, pode ser associada uma cor.
- Um tagname contínuo: é representado por meio de uma variável analógica que representa o valor de uma variável ou grandeza física presente no processo (pode ser velocidade, temperatura, vazão etc.).

Além disso, a partir do conceito de *tagnames*, é possível você realizar as sequintes operações (SANTOS, 2014):

- Botões de comando: é possível associar tagnames discretos a esses elementos para que o operador possa comandar equipamentos presentes na planta.
- Campos de *setpoints*: podem ser associados *tagnames* contínuos para que o operador edite os valores adequados para fazer setup dos equipamentos.
  - Programação de animações: podem ser utilizados tagnames

contínuos ou discretos para representar o comportamento de equipamentos presentes nos processos.

- Gráficos de tendências: utilizar *tagnames* contínuos para representação da geração desses gráficos.
- Integração via OPC: uma das formas de se integrar os componentes de um sistema produtivo é via OPC (OLE (Object Linking and Embedding) for Process Control, que significa Incorporação e Vinculação de Objetos para o Controle de Processos). Os tagnames são gerados para identificar endereços específicos para cada um dos dispositivos da planta. Dessa forma, você pode integrar os dispositivos físicos da planta com a base de dados do sistema.

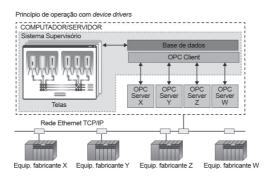


Quando é estabelecida a comunicação via OPC entre o supervisório e os dispositivos físicos da planta, o procedimento é o seguinte (SANTOS, 2014):

- Cada fabricante pode disponibilizar um software denominado OPC Server.
- O OPC Server tem uma série de protocolos de comunicação com outros dispositivos. Seus dados são disponibilizados via OLE e podem ser acessados pelo OPC Client.
- O sistema de supervisão será o OPC Client, que tem como função solicitar ou enviar informações ao OPC Server. Os dados são disponibilizados no banco de dados.
- Dessa forma é estabelecida uma conexão cliente/servidor entre o supervisório e os dispositivos, em que o supervisório pode enviar e receber dados via OLE.

A Figura 3.9 ilustra um exemplo de sistema supervisório conectado via OPC.

Figura 3.9 | Conexão OPC em um sistema supervisório



Fonte: Santos (2014, p. 37).

#### Características de sistemas IHM

A IHM é uma parte fundamental que permite que ao operador interfacear com o sistema de supervisão. Ela está interligada com o banco de dados que armazena as informações geradas durante a atuação do supervisório sobre o sistema produtivo. Conforme citado anteriormente, essas informações são de caráter administrativo para o gerenciamento do sistema e têm como objetivo sistematizar a sua manutenção, logística e operação otimizada. Por sua vez, o foco, nesse momento, será estudar o fato de a IHM fornecer sinóticos, que representam os processos que ocorrem no sistema (SANTOS, 2014).

Os sinóticos são modelos esquemáticos da planta, contendo o objeto de controle associado aos dispositivos de atuação e sensoriamento, que permitem o controle do processo de produção em execução. O operador pode se comunicar por meio da IHM que monitora o processo e de algoritmos de controle que podem estar programados no sistema de supervisão e ser acionados e reconfigurados por meio de dispositivos de comando e recursos de setup de parâmetros existentes na própria IHM (SANTOS, 2014).

Por meio de sinóticos, os operadores podem ter uma visão detalhada do que está acontecendo no sistema produtivo em tempo real. Para isso, há três abordagens básicas (SANTOS 2014):

- Utilizando o recurso de subsinóticos, aplicando o conceito de hierarquia.
- Acessando visões de diferentes camadas de um mesmo sinótico, para ter uma visão dos equipamentos presentes nesse contexto, baseado no conceito de sistemas *multilayer*.
- Utilizando sinóticos do tipo plano infinito para representação geral de processos geograficamente distribuídos (oleodutos, redes ferroviárias, etc.), utilizando o conceito *full-graphics*.

Em termos estruturais, cada janela de um sinótico caracteriza-se por (SANTOS 2014):

- Uma parte fixa que forma a máscara ou fundo.
- Campos que podem ser atualizados em tempo real, relacionados com os sinais de atuação e detecção.
  - A construção do modelo geométrico da tela, que utiliza os

elementos geométricos básicos, como retas, retângulos, círculos, arcos, caixas de texto indexadas, etc.

- O sinótico pode ser orientado à geometria, ou seja, seus símbolos são armazenados em uma biblioteca e a sua representação corresponde à descrição das entidades geométricas.
- Quando o símbolo que é armazenado corresponde a um mapa de bits, tem-se um editor bitmapeado.
- Os editores podem ser orientados a objeto para representar cada equipamento que pode ser configurado, de acordo com as necessidades. Dessa forma, os objetos podem ter seus atributos alterados e, além disso, podem ser atribuídas funções dirigidas por eventos, o que permite que o sistema seja de natureza totalmente orientada a eventos



Caro aluno, você observou que um tagname tem uma série de aplicações em sistemas supervisórios. Um dos piores cenários que existe em sistemas produtivos é quando a produção é interrompida subitamente por falhas.

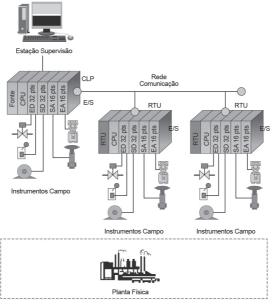
Com a possibilidade de utilizar recursos computacionais avançados, é possível projetar IHMs complexas, com várias ferramentas de análise para o operador poder acompanhar a evolução dinâmica de um sistema produtivo.

Como você planejaria as diretrizes para desenvolver uma forma de rastreamento da evolução de falhas, a fim de evitar o travamento em um determinado sistema produtivo?

# Integração CLP - Sistema Supervisório

Uma das possibilidades de uso de um sistema SCADA é guando ele se comunica com um CLP por meio de uma interface de comunicação, conforme apresentado na Figura 3.10.

Figura 3.10 | Sistema SCADA com CLP e RTUs



Fonte: Santos (2014, p. 53).

De acordo com Santos (2014), as principais características que podem ser observadas nessa configuração são:

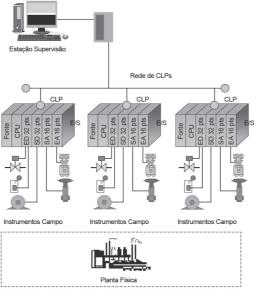
- Os pontos de conexão entre entradas e saídas estão conectados remotamente ao CLP por meio de RTUs que permitem uma aproximação desses pontos com relação à localização física dos elementos finais de controle (sensores e atuadores).
- As RTUs podem ser interligadas por meio de uma rede Fieldbus e são independentes e configuráveis.
- Essa arquitetura pode ser reconfigurada para suportar sistemas de maior complexidade em que seja necessário trabalhar com o conceito de redundância para tolerância à ocorrência de falhas. Nesse caso, outras CPUs podem ser adicionadas para a monitoração de dados.



Um exemplo de utilização de uma rede de comunicação para interligar diferentes CLPs pode ser visto na Figura 3.11. Neste caso, além da vantagem de utilizarem-se RTUs para a conexão remota das entradas e

saídas físicas, há a vantagem de distribuir o sistema de controle em vários CLPs, evitando a fragilidade de um sistema de controle centralizado. A interação entre o sistema supervisório e os CLPs é do tipo mestre-escravo. Neste contexto, observa-se o aprimoramento que existe em termos de flexibilidade e interoperabilidade (SANTOS, 2014).

Figura 3.11 | Sistema SCADA com rede de CLPs



Fonte: Santos (2014, p. 54).

# Pesquise mais

Os sistemas SCADA podem ser configurados de diferentes formas, constituindo diferentes arquiteturas. A melhor solução dependerá de qual será a aplicação.

Você viu nesta seção como se comporta uma arquitetura de um sistema SCADA com CLP. Existem outros exemplos clássicos de arquiteturas de sistemas SCADA com Barramento Fieldbus, com SingleLoop / MultiLoop e com CDD (Sistemas de Controle Digital Direto). Leia na página 49 da obra a seguir, detalhes sobre estas outras arquiteturas de sistemas SCADA.

Santos, Max Dias. **Supervisão de sistemas – funcionalidades e aplicações**. São Paulo: Érica, 2014. p. 49

#### Sem medo de errar

Uma vez que você é o responsável pela automação do sistema produtivo, tendo o objetivo de auxiliar os operadores para que não haja interrupção ou degradação no processo produtivo, sua primeira atitude foi verificar como o sistema de gerenciamento do sistema produtivo poderia ser aperfeiçoado, considerando como base o conceito da pirâmide da automação.

Feito isto, seu desafio atual é o seguinte: como você poderia proceder para definir uma especificação inicial de um sistema supervisório, a fim de dar suporte à equipe de operadores que atua no sistema?

Neste momento, a questão é mudar o modelo de se trabalhar com controladores locais utilizando CLPs e começar a entender que há uma diferença entre uma arquitetura de controle simplesmente distribuída e hierárquica, em que vários CLPs são usados para controlar a produção, e uma arquitetura de controle SCADA.

Portanto, neste momento o seu desafio será instalar uma nova cultura na empresa!

- 1ª Fase levantamento dos pontos que precisam de supervisão:
- Discuta com a equipe a respeito de quais são os processos que precisam ser acompanhados com mais rigor para manter a eficiência sem paradas súbitas no processo.
- 2ª Fase SCADA no controle:
- Você deve deixar claro para a equipe que o sistema de controle supervisório é capaz de realizar controle direto sobre a planta, controle de reconfiguração de parâmetros sobre o sistema de controle local.
- Dessa forma, o sistema de controle vai manter o nível de produtividade mediante alterações nos parâmetros dos processos que forem necessárias.
- É importante que você discuta a questão do conceito de tagname.
- 3ª Fase SCADA melhorando a monitoração:
- Novo potencial de monitoração, é preciso refletir sobre os seguintes quesitos:

- O que é uma IHM.
- O conceito de sinótico.
- Os alarmes.
- O que é um gráfico de tendência.
- O que é um relatório.

#### 4ª Fase – SCADA melhorando o comando:

- Novo potencial de comando.
- Fim da filosofia de painéis locais de comando que dependam de especialistas andando pelo chão de fábrica e coletando dados de forma off-line.

#### 5ª Fase – Arquitetura de um sistema SCADA:

- O conceito básico da arquitetura: Supervisório >>> CLP >>> Planta.
- Incluindo RTUs na arquitetura.
- Incluindo vários CLPs na arquitetura.

Após essas reflexões, a equipe estará apta a desenvolver um planejamento adequado para implantação de um sistema SCADA.

# Avançando na prática

# Supervisão de uma câmara de descompressão

## Descrição da situação-problema

Vamos retomar um problema que foi analisado na Seção 1.3. Você foi responsável por automatizar o controle de operação de uma câmara de compressão/descompressão utilizada por mergulhadores que trabalham na manutenção de tubulações que transportam óleo em alto-mar. Antes de mergulhar, esses homens precisam permanecer 24 horas nessas câmaras. A velocidade de compressão é controlada de forma gradual. Quando é detectado um problema, o operador muda a velocidade. A temperatura deve ser mantida em 30 °C, pois o gás utilizado acelera a perda de calor. As comportas não devem ser abertas durante a operação, a não ser em caso de emergência.

O gestor técnico solicita que você esclareça, em um relatório, qual seria o procedimento para você refletir sobre o uso de um sistema de supervisão nesse processo.

#### Resolução da situação-problema

Para a elaboração do seu relatório, é interessante seguir alguns passos, que são:

- 1ª Fase levantamento dos pontos que precisam de supervisão:
  - Já está determinado o processo que se deseja supervisionar.
- 2º Fase SCADA no controle:
- Avaliar a possibilidade de o sistema realizar o controle direto em caso de emergência.
- 3ª Fase SCADA melhorando a monitoração:
- Devem ser programados alarmes para perturbações na temperatura, comporta aberta e pressão dos mergulhadores.
- 4ª Fase SCADA melhorando o comando:
- Para supervisionar o processo é necessário ter um controle para reprogramar velocidade de variação da pressão. Comando para reprogramar *setpoint*.
  - Comando para operação de emergência.
- 5ª Fase arquitetura de um sistema SCADA:
  - Arquitetura básica: Supervisório >>> CLP >>> Câmara.

Analise as informações fornecidas sobre o que deveria ser contemplado em seu relatório e verifique se você acrescentaria algo a mais nele.

# Faça valer a pena

**1.** Um sistema SCADA é um ambiente de software que suporta diferentes sistemas operacionais.

Assinale a alternativa correta sobre monitoração de processos:

- a) As telas não representam modelos esquemáticos.
- b) Sinóticos representam os dispositivos de atuação.
- c) Sinóticos são utilizados para representar os dispositivos de sensoriamento.
- d) Sinóticos não representam modelos esquemáticos.
- e) Telas são conhecidas pelo nome de sinóticos.

- 2. As principais funcionalidades presentes nos sistemas supervisórios são:
- I. Um núcleo central de processamento para executar os programas de controle.
- II. Uma interface de comunicação para integrar-se com o objeto de controle por meio de PLCs, sem a presença de UTRs.
- III. Gerenciamento de alarmes.

Assinale a alternativa correta a respeito das afirmações acima.

- a) Somente a afirmação I está correta.
- b) Somente a afirmação II está correta.
- c) Somente a afirmação III está correta.
- d) Somente as afirmações I e II estão corretas.
- e) Somente as afirmações I e III estão corretas.

<b>3.</b> Em termos estruturais, cada	janela de um sinótico	caracteriza-se por
---------------------------------------	-----------------------	--------------------

- ( ) Uma parte SCROLL que forma a máscara ou o fundo.
- ( ) Campos que só podem ser atualizados off-line, relacionados com os sinais de atuação e detecção.
- ( ) A construção do modelo geométrico da tela utiliza os elementos geométricos básicos, como: retas, retângulos, círculos, arcos, caixas de texto indexadas, etc.

Assinale a alternativa que atribui V (Verdadeiro) ou F (Falso) para as afirmações lidas, na ordem correta.

- a) V-V-V.
- b) F-F-F.
- c) F-V-V.
- d) F-F-V.
- e) V-F-V.

# Seção 3.3

# Programação de supervisórios

#### Diálogo aberto

Uma vez que você já tem um entendimento sobre o que é um sistema SCADA e que já conhece a mudança de cultura a respeito do que é um sistema de controle supervisório, vamos avançar para que você conclua essa questão de projetar sistemas de supervisão para automação de sistemas produtivos.

Você foi responsabilizado pela automação de um sistema produtivo. A sua função é a de auxiliar os operadores para que não haja prejuízo na eficiência e na qualidade da produção que esteja sendo executada por meio de processos produtivos.

Depois que você verificou como o sistema de gerenciamento do sistema produtivo poderia ser aperfeiçoado, baseado na pirâmide de automação, você buscou definir uma especificação inicial de um sistema supervisório para dar suporte à equipe de operadores que atuam no sistema.

Portanto, você deve ter gerado as condições necessárias para que seja possível responder ao seguinte desafio: como você procederia para planejar um sistema supervisório que esteja adequado às necessidades de seu cliente? Essa resposta deve ser apresentada à alta gerência, na forma de relatório, conforme solicitado por eles.

Para que você possa responder a essa questão, nesta seção você aprenderá a respeito de como se planeja um sistema de supervisão, sobre quais são as principais etapas desse planejamento, além de conhecer detalhes sobre algumas delas, tais como: definição de um processo de navegação para estabelecimento de hierarquia entre as telas da IHM, os critérios para definição dos alarmes e seus acionamentos e um método para especificar os gráficos de tendência.

Ao final desta seção, além de finalizar mais uma unidade de estudos, você será capaz de participar de projetos de sistemas SCADA para a automação de sistemas produtivos.

Bons estudos!

# Não pode faltar

O planejamento do sistema supervisório envolve duas partes: o sistema IHM e o sistema SCADA.

A IHM deve evitar que o operador se sinta cansado por estar diante de uma tela que não é inspirativa para ele manter-se atento ao processo. Isso acontece quando faltam elementos que representem a dinâmica do processo para motivar o operador a ficar conectado ao sistema. O operador precisa sentir-se útil e como parte do controle do processo. Para isso, deve existir uma animação na tela, sem exagero na quantidade de informações, o que dificulta o acompanhamento do estado do sistema produtivo.

De acordo com Santos (2014), em termos de ergonomia, a visão da tela que o operador acessa deve apresentar os seguintes recursos:

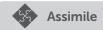
- Capacidade de se mover de uma imagem maior para uma menor.
- Avançar de uma cor brilhante, saturada e colorida para uma cor pastel, não saturada e monocromática.
- Capacidade de se mover de formas simétricas para formas assimétricas.
- Capacidade de alterar a imagem do processo em ação para uma imagem estática.

Quando se projeta um sinótico, as telas devem ser grandes, ou seja, de pelo menos 20 polegadas. A Figura 3.12 ilustra um exemplo de sistema supervisório em uso.

Figura 3.12 | Sistema supervisório de uma caldeira em uma sala de controle da usina



Fonte: Santos (2014, p. 33).



Planejamento detalhado passo a passo

De uma forma geral, existem nove aspectos que você deve levar em consideração para o planejamento de um sistema supervisório (SANTOS, 2014). São eles:

- 1. Estudo e entendimento do processo que será automatizado.
- 2. Mapeamento dos dados e definição das variáveis envolvidas nos processos.
- 3. Planejamento da arquitetura do banco de dados.
- 4. Planejamento cuidadoso dos alarmes.
- 5. Planejamento do controle de hierarquia de navegação entre as telas, de acordo com os processos industriais.
- 6. Planejamento do desenho das telas.
- 7. Planejamento dos gráficos de tendências associados a cada uma das telas.
- 8. Planejamento de um sistema de segurança para controlar o acesso.
- 9. Desenvolvimento de acordo com os padrões impostos por normas técnicas vigentes que estejam associadas aos processos industriais supervisionados.

#### **Alarmes**

Para planejar o sistema de alarmes, em primeiro lugar, você precisa saber quais as funções atribuídas a esses dispositivos, que são:

- Colocar o operador em alerta por causa de alguma alteração no estado dos processos industriais.
- Sinalizar as ocorrências, indicando o estado global dos processos industriais que estiverem sendo executados.
- Identificar e monitorar o recurso ou parte do objeto de controle que estiver sofrendo algum dano.

De acordo com Santos (2014), como pré-requisito para se planejar os alarmes é necessário levantar as seguintes informações, de forma antecipada:

• Condições nas quais os alarmes serão acionados.

• Forma pela qual os operadores devem ser notificados e estabelecimento de um protocolo para isso, que envolva a definição do processo de transmissão de mensagens e definição dos controles, isto é, das ações que devem ser providenciadas.

Quanto ao modo de intervenção associada ao disparo de alarme, tem-se que:

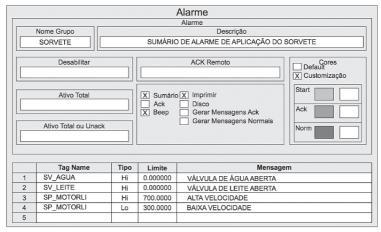
- Existem os alarmes normais ou pré-alarmes, que são aqueles que não requerem ações de intervenção quando acionados, mas apenas despertam a atenção do operador sobre algum evento ocorrido que não seja perigoso.
- Por sua vez, quando for necessário intervir no alarme, existem quatro modos padrões de intervenção:
- 1. Quando o operador atua suprimindo o sinal do alarme, sinalizando que ele foi reconhecido.
- 2. O operador pode realizar a intervenção direta na tela da IHM e, também, sinalizar que ele foi reconhecido.
- 3. O operador pode indicar que está ciente da ocorrência do alarme, mas que não tem como intervir no processo. Esse tipo de intervenção é a de aceitação.
  - 4. Quando o operador não reconhece o sinal de alarme.

Uma vez compreendido o processo de intervenção do operador, você verá que existem pontos críticos associados aos sistemas de alarmes, que podem estar associados ao disparo simultâneo de vários alarmes ou ao problema de repetição de alarmes.

Essas questões podem ser complexas, dependendo de quanto é crítico o processo industrial que for supervisionado. Por isso, para estabelecer um sistema de controle para filtragem dos alarmes, é necessário tomar uma série de cuidados e envolver toda a equipe responsável pelo controle dos processos na planta. No item *Exemplificando* você verá que é possível estabelecer prioridades para os alarmes. Essas prioridades devem ser estabelecidas por uma convenção que exige o bom senso da equipe para atribuí-las.

A Figura 3.13 mostra um exemplo de tela de configuração de alarmes.

Figura 3.13 | Exemplo de tela de configuração de alarmes



Fonte: Santos (2014, p. 93).



No âmbito da priorização dos alarmes, vamos exemplificar a questão de como tratar a complexidade associada ao projeto do sistema de alarmes.

Uma forma de estruturar esse sistema consiste em aplicar o princípio da hierarquização. Uma consequência imediata desse tipo de abordagem é diminuir a possibilidade de repetição de alarmes por efeito cascata.

Inicialmente, você precisa prever essa atividade no projeto do sistema supervisório de forma detalhada. A arquitetura hierárquica de alarmes será definida a partir de informações que você deve coletar das equipes que estão envolvidas com os processos industriais que serão supervisionados.

Uma das formas mais eficazes de realizar esse levantamento é por meio de questionários.

De acordo com Santos (2014), uma boa diretriz para elaborar esse questionário é a seguinte:

- 1. Levante um conjunto de indicadores que são necessários para alarmar os processos.
- 2. Levante as configurações necessárias para que um conjunto de alarmes seja capaz de gerar os indicadores desejados.
- 3. Levante a lógica de acionamento de cada alarme para que esteja vinculado a orientar o operador sobre possíveis trajetórias de transição de estados para os quais os processos industriais possam estar evoluindo.
- 4. Associe o conjunto de indicadores a uma interpretação do estado

global do sistema para que o operador possa decidir entre diferentes hipóteses.

Dessa forma, você poderá orientar o processo de hierarquização dos alarmes como se estivesse percorrendo diferentes caminhos de uma árvore de possibilidades de ocorrência de alarmes associados a comportamentos não desejados. A forma de se realizar essa hierarquização é estabelecendo prioridades para os alarmes. Dessa forma, você poderá implementar filtros que só permitem a visualização dos alarmes de maior prioridade.

#### Hierarquia de navegação entre telas

A hierarquia de navegação entre telas consiste em estabelecer uma sequência de acionamento de telas, a partir de uma tela principal, para que se possa detalhar, de forma cadenciada, informações de monitoração dos processos industriais que são supervisionados.

A forma de se realizar essa tarefa é a partir da organização do desenho das telas. Esse processo de elaboração deve obedecer aos seguintes princípios:

Consistência:

Os botões de comando que apresentam uma mesma semântica devem estar no mesmo espaço geométrico das telas subsequentes, para não confundir o operador.

- Deverá haver consistência no uso de símbolos e cores.
- Deverá haver consistência no uso de nomenclaturas para os botões de comando.
  - Clareza:
  - Padronize o uso de símbolos de acordo com a norma ISA.
  - Não use excesso de informações.
  - Evite abreviações que dificultam o entendimento do operador.
- Use princípios da Semiótica para a escolha das cores dos botões. Por exemplo, verde e vermelho.
  - Template para as telas:
- Estabeleça um padrão para a colocação de informações em cada tela.
- Quando desenvolver uma nova tela, tenha referenciais, tais como:

- Título de cada subprocesso que está sendo supervisionado.
- Nomes-chave para as tags associadas aos diferentes elementos.
- Botões de navegação para transitar entre as diferentes telas.



Quando você se depara com diferentes padrões de desenvolvimento de diferentes fornecedores, isso pode levá-lo a inconsistências quando precisar integrar as partes para uma determinada solução de automação.

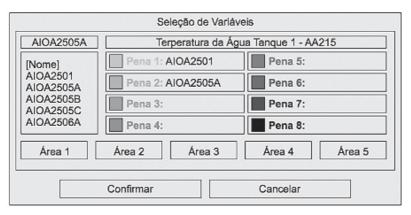
Como você se posicionaria frente ao desafio de precisar instituir uma forma de planejar soluções de automação que sejam aderentes à realidade de se poder utilizar diferentes fornecedores de tecnologias como um meio para oferecer ao cliente final vantagens em termos de acesso a melhorias operacionais, manutenção e independência de fornecedores?

Reflita sobre isso, pois é a realidade na qual você estará inserido como profissional.

#### Gráficos de tendência

O gráfico de tendência permite que o operador analise as tendências históricas de uma determinada variável analógica projetada no tempo. Para o desenho desse gráfico você poderá selecionar o conjunto de variáveis que deseja representar de forma simultânea. A Figura 3.14 representa uma tela de seleção de variáveis para configuração de um gráfico de tendência.

Figura 3.14 | Tela para configuração de gráfico de tendência



Fonte: Santos (2014, p. 96).

Além disso, você também pode definir a frequência de amostragem das varáveis, de acordo com a constante de tempo requerida. Nesse caso, o tempo de amostragem pode variar, de uma forma geral, de 10 ms até 1 h. Portanto, o critério adotado para escolher a taxa deve ser de acordo com a velocidade com que o comportamento dinâmico do processo varia.

É por esse motivo que, como cada variável apresenta um comportamento diferente, aconselha-se associar uma taxa de amostragem específica para cada variável.

Se o objetivo for armazenar o comportamento de variáveis por longos períodos de tempo (por volta de um ano costuma ser o limite), então os períodos de amostragem podem ser maiores e é necessário utilizar o recurso de registro histórico de dados. Caso contrário, será feito o registro de tendência real ou instantânea (associada a alguns minutos de observação). A Figura 3.15 mostra a janela de um gráfico de tendência.

Dependendo do sistema supervisório que você tiver, pode existir o recurso de concatenar a visualização de gráficos de tendência instantânea e histórica em um único sistema de coordenadas no tempo, distinguindo-as por meio de cores.

É importante você saber que os recursos de software nesses sistemas de supervisão permitem que, conforme você movimenta o cursor sobre o gráfico, receba informações sobre a leitura dos pontos em que ele intercepta as curvas, o que permitirá a avaliação dos pontos críticos de forma automática.

Existe também o recurso de paginação horizontal do gráfico para permitir a visualização de pontos associados ao histórico das variáveis plotadas.

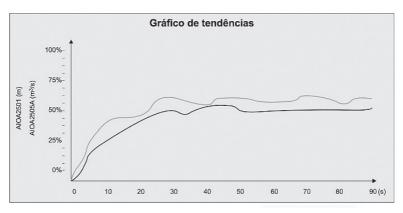
Outro aspecto interessante é que você pode utilizar o efeito zoom sobre os eixos do gráfico.

Existe a possibilidade de uso do software PIMS (*Process/Plant Information Management System*) para gerenciar e ampliar a capacidade de armazenamento de dados históricos. Esse ambiente utiliza técnicas de compressão de dados e permite armazenar históricos de cerca de cinco anos de operação da planta. Os principais benefícios obtidos a partir do uso do PIMS são:

• Fácil importação, por meio de browser específico, de variáveis associadas aos processos físicos. Por exemplo, o usuário pode selecionar uma variável do dicionário de dados e imputá-la no sinótico, utilizando recursos de programação visual.

- Configuração dos gráficos de tendência, sendo possível especificar de forma personalizada a forma desses modelos para avaliação dos processos.
- Executar funções de zoom para que seja possível incluir múltiplos cursores no gráfico a fim de visualizar as variáveis associadas ao controle da planta industrial.
- Capacidade de conexão com a internet para envio de dados dos processos que podem ser inclusos nos sinóticos. Essas mensagens podem ser enviadas por meio eletrônico a especialistas, que precisam apenas estar conectados a uma rede de acesso à internet para que possam efetuar uma análise dos dados coletados.
  - Gerenciamento da impressão por tempo indeterminado.

Figura 3.15 | Gráfico de tendências com duas variáveis



Fonte: Santos (2014, p. 83).

Por fim, fica claro que com o potencial desses gráficos, você pode realizar tarefas importantes de supervisão, tais como:

- Analisar tendências de comportamento dos processos industriais.
- Acompanhar a eficiência da produção em tempo real.
- Manter um banco de dados com históricos que podem ser utilizados para garantir e aprimorar a confiabilidade do processo de produção.

# Pesquise mais

É importante você saber que os sistemas supervisórios têm evoluído nas últimas cinco décadas de uma forma muito interessante, passando pelas seguintes gerações:

- Geração "monolítico".
- Geração "distribuído".
- Geração "rede".
- Geração "Internet of things".

Pesquise mais a esse respeito lendo a partir da página 45 da obra a seguir:

SANTOS, Max Dias. **Supervisão de sistemas**: funcionalidades e aplicações. São Paulo: Editora Érica, 2014.

#### Sem medo de errar

Você é o responsável pela automação do sistema produtivo e o seu objetivo é auxiliar os operadores para que não ocorram eventos que possam degradar o comportamento do processo produtivo.

Você fez uma atividade prévia para desenvolver a cultura de supervisão na equipe técnica que está responsável por desenvolver novas soluções de automação no sistema produtivo.

Feito isto, seu desafio passa a ser o seguinte: como você procederia para planejar um sistema supervisório que esteja adequado às necessidades da empresa?

Incialmente, para desenvolver o relatório para a alta gerência, é importante que você considere que existem nove aspectos a serem considerados para o planejamento de um sistema supervisório:

- 1. Estudo e entendimento do processo que será automatizado.
  - a) O que deve ser feito?
  - b) Qual a visão dos operadores?
  - c) Qual a visão da gerência?
  - d) Detalhar os processos aplicando visão sistêmica.
- 2. Mapear os dados e definir as variáveis envolvidas nos processos.
  - a) Estruturar os dados que devem ser monitorados.
- b) Estruturar os dados que devem ser enviados como comando e reconfiguração.
- 3. Planejar a arquitetura do banco de dados.
  - a) Usar o diagrama de instrumentação do processo.
  - b) Usar a lista de tagnames.
  - c) Usar a lista de alarmes.

- 4. Fazer o planejamento cuidadoso dos alarmes.
  - a) Levantar um conjunto de indicadores para alarmar os processos.
- b) Levantar as configurações necessárias para que um conjunto de alarmes seja capaz de gerar os indicadores desejados.
  - c) Levantar a lógica de acionamento de cada alarme.
- d) Associar o conjunto de indicadores a uma interpretação do estado global do sistema para que o operador possa decidir entre diferentes hipóteses.
- 5. Planejar o controle de hierarquia de navegação entre as telas, de acordo com os processos industriais.
  - a) Definir uma tela principal.
- b) Estabelecer uma sequência de acionamento de telas para que o detalhamento ocorra de forma cadenciada.
- 6. Planejar o desenho das telas.
  - a) Estabelecer padrões de consistência.
  - b) Estabelecer padrões de clareza.
- c) Estabelecer um padrão para colocação de informações em cada tela.
- 7. Planejar os gráficos de tendência associados a cada uma das telas.
  - a) Analisar tendências de comportamento dos processos industriais.
  - b) Acompanhar a eficiência da produção em tempo real.
- c) Manter um banco de dados históricos que podem ser utilizados para garantir e aprimorar a confiabilidade do processo de produção. Avaliar o uso do PIMS.
- 8. Planejar um sistema de segurança para controlar o acesso.
  - a) Cadastrar usuários.
  - b) Cadastrar senhas.
  - c) Definir áreas de acesso.
- O desenvolvimento deve estar de acordo com os padrões impostos por normas técnicas vigentes que estejam associadas aos processos industriais, que estão sendo supervisionados. Portanto, deve-se considerar:
  - a) A influência do sistema operacional.
  - b) O sistema de gerenciamento do banco de dados.
  - c) O padrão OPC.

Perseguindo essas diretrizes e adaptando-as para o caso particular da empresa, você poderá planejar de forma adequada o sistema de supervisão indicado para as suas necessidades.

## Avançando na prática

#### Supervisão baseada em histórico de eventos

#### Descrição da situação-problema

Você foi responsável por avaliar como poderia ser supervisionado o controle de operação de uma câmara de compressão/ descompressão, utilizada por mergulhadores que trabalham na manutenção de tubulações que transportam óleo em alto-mar. Antes de mergulhar, esses homens precisam permanecer 24 horas nessas câmaras. A velocidade de compressão é controlada de forma gradual. Quando é detectado um problema, o operador muda a velocidade. A temperatura deve ser mantida em 30 oC, pois o gás utilizado acelera a perda de calor. As comportas não devem ser abertas durante a operação, a não ser em caso de emergência.

Como consultor, como você planejaria os gráficos de tendência para apresentar para a empresa?

#### Resolução da situação-problema

Considerando que existe a necessidade de acompanhamento crítico da questão de variação de pressão e temperatura dentro da câmara, uma vez que isso afeta diretamente o estado de saúde dos mergulhadores, é importante planejar um gráfico de tendência para orientar o operador e isso, como consultor, você deve deixar bem claro para a empresa.

Esse gráfico envolve o planejamento das seguintes questões básicas:

- Definição das variáveis a serem monitoradas:
- Pressão e temperatura.
- Frequência das amostras:
- É necessário avaliar o tempo de resposta da pressão e temperatura e mostrar a uma taxa que seja suficiente para registrar as alterações, a fim de garantir que o operador possa atuar de forma satisfatória.
  - O período de amostragem pode variar entre 100 ms até 1

hora. Geralmente, para pressão, a amostragem pode ser a cada 10 s e para temperatura, a cada 0,5 s.

• Definir as cores para desenho dos gráficos.

Reflita sobre essa situação-problema e veja se você acrescentaria outras questões básicas a serem planejadas.

# Faça valer a pena

- **1.** Em termos de ergonomia, a visão da tela que o operador acessa deve apresentar alguns recursos. A respeito desses recursos, analise as afirmativas a seguir e identifique se elas são Verdadeiras (V) ou Falsas (F):
- ( ) Capacidade de se mover de uma imagem maior para uma menor.
- ( ) Avançar de uma cor brilhante, saturada e colorida para uma cor pastel, não saturada e monocromática.
- ( ) Capacidade de se mover de formas simétricas para formas assimétricas. Assinale a alternativa que atribui a ordem correta de V (Verdadeiro) ou F (Falso) às afirmativas apresentadas.
- a) F-V-F.
- b) F-F-V.
- c) V-V-V.
- d) F-V-V.
- e) V-V-F.
- **2.** De uma forma geral, existem nove aspectos que você deve levar em consideração para o planejamento de um sistema supervisório. Três deles são:
- I. Estudo e entendimento do processo que será automatizado.
- II. Mapeamento dos dados e definição das variáveis envolvidas nos processos.
- III. Planejamento da arquitetura do banco de dados.

Analise os aspectos apresentados nas afirmações. Em seguida, assinale a alternativa correta a respeito delas.

- a) Somente a afirmação I está correta.
- b) Somente a afirmação II está correta.
- c) Somente a afirmação III está correta.
- d) Todas as afirmações estão corretas.
- e) Somente as afirmações II e III estão corretas.

<b>3.</b> Sobre o	, existe a possibilidade de uso do
software	para gerenciar e ampliar a capacidade de
de dado	s históricos. Esse ambiente utiliza técnicas
de compressão de dados e perr	mite armazenar históricos de cerca de cinco
anos de operação da planta.	
Assinale a alternativa com os te	ermos que preenchem as lacunas na ordem
correta.	

- a) Gráfico de tendências; PIMS (Process/Plant Information Management System); armazenamento.
- b) Gráfico de tendências; PIMS (Process/Plant Information Management System); dispersão.
- c) IHM; PIMS; dispersão.
- d) IHM: SIS: armazenamento.
- e) Gráfico de tendências; SCADA; armazenamento.

# Referências

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - **ANSI/ISA 95**: Enterprise-Control System Integration, 2000.

CAMARGO, Valter Luís de. **Elementos de automação**. São Paulo: Érica, 2014.

PETRUZELLA, Frank D. Controladores lógicos programáveis. Porto Alegre: AMGH, 2013.

SANTOS, Max Dias. **Supervisão de sistemas - funcionalidades e aplicações**. São Paulo: Editora Érica, 2014.

# Redes de comunicação industrial

#### Convite ao estudo

Vamos iniciar a última unidade da disciplina Informática Industrial I, que trata da questão de conhecimento de sistemas distribuídos e redes industriais.

Com o objetivo de desenvolver a automação de sistemas produtivos e torná-los competitivos, você foi capacitado para saber propor um projeto de automação para inovação. Nesse projeto, você deverá desenvolver os algoritmos de controle que forem necessários para controlar um sistema produtivo. Além disso, deverá saber como integrar o chão de fábrica com o sistema de gestão utilizando o conceito de sistema SCADA.

Uma vez que você está avançando no propósito de inovar um sistema produtivo para torná-lo cada vez mais competitivo, um dos paradigmas que você precisa dominar é a questão de que não é adequado insistir em sistemas informatizados centralizados. Se você é responsável por inovar um parque industrial, é fundamental que possa trabalhar com equipamentos distribuídos para compor um sistema de automação. Nesse sentido, como você deve proceder para especificar uma rede industrial adequada para atender às necessidades de um sistema produtivo? E como você enumeraria os componentes fundamentais dessa rede?

Por sua vez, como você resolve o desafio de precisar integrar dispositivos e equipamentos de diferentes fabricantes?

Finalizando, como você poderia atuar de forma eficiente para facilitar a manutenção e garantir flexibilidade de configuração e leitura de dados de diagnóstico dos dispositivos conectados via rede no sistema produtivo?

Para responder a esses desafios você aprenderá, inicialmente,

sobre os sistemas distribuídos e como as redes de comunicação estão inseridas nesse contexto.

Na sequência você verá como são classificadas as redes de automação e como são efetuadas as comunicações por meio das principais redes existentes em chão de fábrica.

Dessa forma, conforme avançar nesta unidade, você desenvolverá a competência de conhecer sistemas distribuídos e as características de redes industriais voltadas para a automação de sistemas produtivos.

Vamos em frente?

# Seção 4.1

# Sistemas distribuídos

#### Diálogo aberto

Uma vez que você é o responsável por inovar um parque industrial, para que você possa trabalhar com equipamentos distribuídos compondo um sistema de automação, você precisará atentar-se aos pontos que devem ter sua estrutura de produção centralizada revista.

Nesse sentido, como você especificaria uma rede industrial adequada para atender às necessidades de um sistema produtivo distribuído? E como você enumeraria os componentes fundamentais dessa rede?

Para enfrentar esse desafio, você aprenderá sobre como são especificadas as características de uma rede industrial, além de conhecer um método para levantar as necessidades de um sistema produtivo com relação ao projeto de uma rede de comunicação.

Em termos de topologia das redes, você irá refletir a respeito do que é uma topologia física e poderá compreender as limitações de cada modelo.

Na sequência, você conhecerá os elementos fundamentais que compõem uma rede e terá a oportunidade de acessar um material que faz um comparativo das diferentes redes industriais presentes atualmente e que poderá servir de orientação para projetos de redes industriais.

## Não pode faltar

#### Histórico

A evolução das redes de comunicação passou por alguns marcos, que são:

• Inicialmente, o uso de microprocessadores na indústria permitiu o desenvolvimento de soluções de controle centralizadas utilizando fios de pares trançados para conexão. Entretanto, essas soluções eram limitadas pela questão do alto custo de cabeamento para conexão das inúmeras entradas e saídas associadas aos dispositivos de campo distribuídos fisicamente. Outra limitação era a falta de flexibilidade para atualização e colapso do sistema caso o controlador deixasse de funcionar.

• A primeira evolução foi estabelecer um barramento de campo para transmissão de dados digitais utilizando os padrões RS232, RS485 (Figura 4.1).

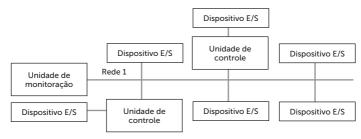
Figura 4.1 | Barramento de campo



Fonte: Moraes; Castrucci (2007, p. 157).

• A próxima evolução foi no sentido de desenvolver um barramento de campo distribuído com microcontroladores em vários pontos do barramento (Figura 4.2).

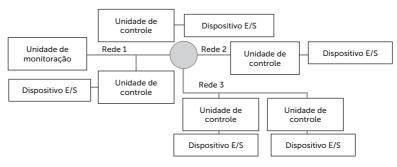
Figura 4.2 | Barramento de campo distribuído



Fonte: Moraes; Castrucci (2007, p. 157).

• Atualmente, esses sistemas foram aprimorados para o desenvolvimento dos chamados sistemas de controle distribuídos com vários meios de comunicação, permitindo sistemas abertos além dos proprietários e flexibilidade adequada para as diferentes topologias de rede (Figura 4.3).

Figura 4.3 | Sistema de controle distribuído



Fonte: Moraes; Castrucci (2007, p. 158).

Portanto, devido ao grande avanço tecnológico, as redes de automação são amplamente utilizadas e, por usarem protocolos de comunicação padronizados, tornou-se possível o emprego de dispositivos de diferentes fabricantes que puderam ser integrados por um avanço tecnológico conhecido como sistemas abertos.

#### Sistemas distribuídos e redes de comunicação industrial

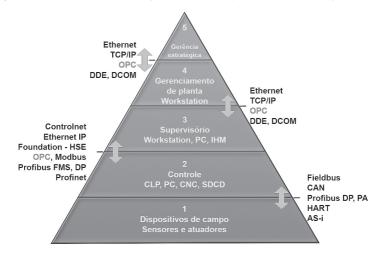
Para implementar-se uma solução em automação, além da questão do sistema de gestão, você precisa definir uma arquitetura para o sistema de controle, o que engloba os seguintes elementos (SANTOS, 2014):

- Os CLPs utilizados para o controle do sistema produtivo.
- Os PACs utilizados para o controle local desse sistema produtivo.
- O sistema SCADA utilizado para a supervisão.
- As remotas de aquisição de dados.
- Uma rede de comunicação de dados, adequada para interligar os diversos elementos e que possui conectado a ela:
  - Dispositivos de realização do controle.
  - Dispositivos de monitoração.
  - Dispositivos de comando.
  - Dispositivos de atuação.
  - Dispositivos de sensoriamento.

Retomando a questão da pirâmide da automação vista na Seção 3.3, como exemplo de ilustração, Moraes e Castrucci (2006) discutem o perfil de redes de comunicação associadas à pirâmide da automação para ilustrar como as redes de comunicação podem estar presentes em um sistema produtivo, possibilitando a integração em duas dimensões (Figura 4.4):

- Existe uma integração horizontal entre os dispositivos de um mesmo nível de automação.
  - Existe uma integração vertical entre os diferentes níveis.

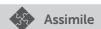
Figura 4.4 | Redes de comunicação associadas à pirâmide da automação



Fonte: <a href="https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ac/Piramide\_automacao1.svg">https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ac/Piramide\_automacao1.svg</a>. Acesso em: 8 set. 2017.

#### Especificações de uma rede industrial

A escolha da arquitetura adequada de uma rede industrial é que estabelecerá o comportamento adequado do sistema produtivo, isto é, que desempenho será alcançado, como será possível realizar manutenções e atualizações de forma constante e progressiva, garantindo, assim, as condições necessárias para que o sistema produtivo possa avançar para um aprimoramento contínuo e adequações sistemáticas.



Para que você possa desenvolver um projeto de rede de comunicação industrial para um sistema produtivo, você precisa avaliar uma série de aspectos que devem ser verificados de forma metódica.

Conforme proposto por Santos (2014), há uma lista de itens que devem ser verificados para que as necessidades sejam levantadas:

- Quantidade de áreas que compõem o processo industrial.
- Verificação da distância entre as áreas.
- Arranjo físico da instalação industrial.
- Presença de uma sala de controle centralizada ou distribuída.
- Avaliação da necessidade de um sistema de backup e determinação do nível de detalhamento e período de tempo em que essas informações devem ser mantidas em histórico.

- Levantamento das condições ambientais.
- Verificação da existência de campos magnéticos e interferências eletromagnéticas. Em caso afirmativo, verificar qual a intensidade presente.
- Verificação de quanto o cliente e o usuário estão familiarizados com novas tecnologias de redes de comunicação de campo para instrumentação, sensores e acionamentos.
- Verificação da existência de locais fora da área industrial que devam estar interligados à planta física, escritório central, centros de distribuição, unidades remotas como britagens móveis, instalações portuárias etc.
- Fazer um levantamento do fluxo de informações demandado, ou seja, as necessidades dos dispositivos em termos da velocidade de transmissão de dados.
- Fazer um levantamento do planejamento para um horizonte de até cinco anos sobre a capacidade de expansão prevista para os módulos existentes.
- Verificar a questão de prioridade ao atendimento dos padrões internacionais ou preferência por redes proprietárias.
- Cuidar da compatibilidade com controladores programáveis utilizados.
- Observar as necessidades de redundância, segurança ou velocidade de transmissão necessária.

Para a especificação de uma rede de automação são necessárias as seguintes variáveis (MORAES; CASTRCCI, 2006):

- Extensão das redes de comunicação: de acordo com a sua extensão, uma rede pode ser classificada como:
  - PAN (Personal Area Network): conhecida como Rede de Área Pessoal, é usada para comunicação entre dispositivos de uso pessoal, sendo limitada em termos de alcance e desempenho.
  - LAN (Local Area Network): conhecida como Rede Local, pode ser utilizada em uma área em que se estenda por cerca de até 200 m.
  - CAN (Campus Area Network): conecta computadores localizados em diferentes áreas e a dimensão não pode ultrapassar 5000 m.
  - MAN (Metropolitan Area Network): envolve as dimensões de uma cidade, não podendo exceder 50.000 m.
  - WAN (Wide Area Network): neste caso, refere-se a redes de longa distância e a distância deve ser maior do que 50.000 m.

- Taxa de transmissão: refere-se à quantidade média de dados a serem transmitidos na rede em um determinado período de tempo. Observe que:
  - O termo *throughput* é bastante usado para representar a taxa de transmissão.
  - A unidade utilizada para a medida dessa taxa de transferência de dados é:
    - kilobits por segundo (kbps), ou seja:
      - k >>> 1000.
      - bps >>> bits por segundo.
    - Megabits por segundo (Mbps) para o padrão Ethernet.
- **Topologia física da rede:** equivale ao arranjo físico dos dispositivos na rede, representando os pontos de conexão de cada um deles. Exemplos de topologias físicas de rede são: anel, estrela, barramento, árvore etc.
- Meio físico de transmissão: relaciona-se ao tipo de cabeamento usado para a conexão entre os dispositivos da rede. Os principais exemplos são: par trançado, cabo coaxial e fibra ótica. É importante ficar claro que os meios físicos dependem da aplicação, ou seja, da distância entre os elementos a serem conectados, considerando o protocolo que será utilizado e a taxa de transferência pretendida.
- **Tecnologia de comunicação:** refere-se à forma como é realizado o gerenciamento dos pontos de comunicação da rede para que a comunicação de dados ocorra. Assim, tem-se como exemplos de tecnologia a mestre/escravo e a produtor/consumidor.
- Algoritmo de acesso ao barramento: é o algoritmo utilizado pelos dispositivos da rede para estabelecer o seu fluxo de informações. Podem ser de diferentes naturezas, como: por varredura ou cíclica, CSMA/CD, token passing, por mudança de estado etc.



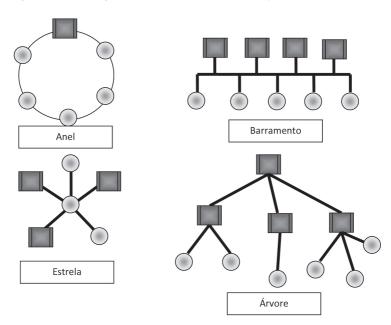
## Topologia de redes

De acordo com Moraes e Castrucci (2006), a topologia de uma rede especifica dois aspectos importantes:

- A topologia física da rede, que representa a sua estrutura física.
- A topologia lógica da rede, que representa como ocorre o fluxo de dados através dela.

Para exemplificar, observe a Figura 4.5 que representa as principais topologias físicas de redes.

Figura 4.5 | Topologias físicas de redes de comunicação



Fonte: elaborada pelo autor.

Veja algumas considerações sobre essas topologias:

- A rede em anel apresenta a grande limitação de aumentar o retardo, conforme é expandida.
- A rede do tipo estrela depende do perfeito funcionamento do nó central: em caso de falha, interrompe toda a rede, sendo necessário utilizar processadores redundantes.
- A rede do tipo árvore, apresenta a limitação de existir apenas uma rota para cada destino, ou seja, havendo quebra de uma conexão, a comunicação será interrompida.
- A rede do tipo barramento é a mais utilizada pela robustez e confiabilidade, uma vez que apresentam uma grande flexibilidade e capacidade de expansão.

#### Componentes de uma rede

Quanto aos elementos típicos presentes nas redes de comunicação industriais têm-se (SANTOS, 2014):

- Repetidor: como o próprio nome sugere, trata-se de um dispositivo que realiza a função de copiar dados de uma rede para outra. Dessa forma, esse dispositivo faz que duas redes apresentem um comportamento lógico que as faz simular uma única rede em operação. São úteis para resolver problemas de limitações físicas, como comprimento de cabos em grandes áreas.
- Distribuidores de conexão (hubs): utilizados para conectar os equipamentos que compõem uma rede local. Os equipamentos conectados ao hub estão associados a um mesmo segmento de rede, de tal forma que a largura da banda é dividida entre os usuários.
- Ponte (bridge): serve para estabelecer a conexão entre as diferentes sub-redes que compõem uma determinada rede local, com o objetivo de reduzir tráfego de dados ou então pela necessidade de interconectar diferentes características de protocolo e elétricas.
- Roteador (router): como sugerido pelo nome, é utilizado para retransmitir pacotes de dados entre redes diferentes e é capaz de decidir a respeito do caminho que deve ser seguido.
- **Gateway:** permite a interoperabilidade entre duas redes diferentes que são incompatíveis. É possível, inclusive, acessar um dispositivo não OSI. No capítulo 1 da obra *Redes de computadores e internet*, de Comer (2016, p. 14), você poderá ler a respeito do modelo OSI de sete camadas.
- **Switch:** é um dispositivo alternativo que pode acumular funções, sendo capaz de segmentar uma rede sem a necessidade de um roteador acoplado.



Reflita

Foi visto que a utilização de uma rede de comunicação industrial do tipo barramento é capaz de trazer uma série de vantagens.

Por sua vez, redes determinísticas são definidas como aquelas que transmitem dados em instantes e intervalos de tempo determinados. Portanto, o tempo de resposta associado a essas redes passa a ser conhecido, livrando-se da possibilidade de ocorrência de atrasos que comprometem o comportamento do sistema integrado por essa rede.

As redes probabilísticas apresentam outro tipo de comportamento, ou seja, permitem apenas estimar o intervalo de tempo associado à probabilidade de ocorrer uma determinada transferência de dados.

Portanto, há um conceito importante que necessita de uma reflexão: as redes industriais são determinísticas ou não?

## Pesquise mais

#### Automação industrial e as redes Wi-Fi

Há um avanço tecnológico marcante nas áreas de Tecnologia da Informação (TI) e Tecnologia da Operação (TO). Um dos pontos que merecem destaque é o avanço das redes de comunicação sem fio na indústria.

Leia o artigo "Redes Wi-Fi na Automação Industrial" para que você possa estudar o que é uma rede Wi-Fi, como ela está sendo aplicada em ambientes industriais e quais são as diretrizes para o projeto e desenvolvimento de redes Wi-Fi industriais.

Disponível em: <a href="https://www.automacaoindustrial.info/redes-wi-fi-na-automacao-industrial/">https://www.automacaoindustrial.info/redes-wi-fi-na-automacao-industrial/</a>. Acesso em: 8 set. 2017.

#### Sem medo de errar

Como responsável pela gestão da automação, a sua demanda agora é colocar em prática a questão de que não é adequado insistir em sistemas informatizados centralizados.

É fundamental que, sendo responsável por inovar um parque industrial, você possa trabalhar com equipamentos distribuídos para compor um sistema de automação.

O seu desafio, agora, é verificar como proceder para especificar uma rede industrial adequada para atender às necessidades de um sistema produtivo. Além disso, deverá verificar como você enumeraria os componentes fundamentais dessa rede.

Se você é o engenheiro responsável pela automação de um sistema produtivo, precisa sempre cuidar da questão de evitar as estruturas centralizadas para que não haja problemas de paradas que travem completamente os processos que apresentam essa arquitetura de controle.

Se você utilizar essa diretriz para automação de um sistema produtivo, então, certamente, você precisará utilizar uma sistemática para avaliar as necessidades do sistema produtivo que está sob sua responsabilidade e verificar se as necessidades estão sendo contempladas para que de fato você tenha um sistema produtivo assistido por um sistema distribuído de controle, de acordo com o que a pirâmide da automação oferece de possibilidades tecnológicas de integração de redes de comunicação.

Para isso, você pode realizar a sua tarefa em duas etapas:

#### 1ª etapa: checklist

Faça o levantamento das necessidades:

- Quantidade de áreas que compõem o processo industrial.
- Verificação da distância entre as áreas.
- Arranjo físico da instalação industrial.
- Presença de uma sala de controle centralizada ou distribuída.
- Avaliação da necessidade de um sistema de backup e que nível de detalhamento e período de tempo em que as essas informações devem ser mantidas em histórico.
  - Levantamento das condições ambientais.
- Verificação da existência de campos magnéticos e interferências eletromagnéticas. Em caso afirmativo, verificar qual a intensidade presente.
- Verificação de quanto o cliente e o usuário estão familiarizados com novas tecnologias de redes de comunicação de campo para instrumentação, sensores e acionamentos.
- Verificação da existência de locais fora da área industrial que devam estar interligados à planta física, escritório central, centros de distribuição, unidades remotas como britagens móveis, instalações portuárias etc.
- Fazer um levantamento do fluxo de informações demandado, ou seja, das necessidades dos dispositivos em termos da velocidade de transmissão de dados.
- Fazer um levantamento do planejamento para um horizonte de até cinco anos sobre a capacidade de expansão prevista para os módulos existentes.

#### 2ª etapa: arquitetura

De acordo com as necessidades levantadas, verificar qual seria a arquitetura de menor custo possível para integrar os diferentes níveis de controle presentes:

- Precisa de uma rede para integrar o sistema corporativo com o sistema de gerenciamento da planta?
- Precisa de uma rede para integrar o sistema de gerenciamento da planta com o sistema de supervisão?
- Precisa de uma rede para integrar o sistema de supervisão com os controladores locais?

• Precisa de uma rede para integrar o controladores locais com os dispositivos de campo?

Para levantar a questão de arquitetura, considere duas coisas mais:

- 1. Levantamento das variáveis para especificação da rede adequada:
  - a) Extensão das redes de comunicação.
  - b) Taxa de transmissão.
  - c) Topologia física.
  - d) Meio físico de transmissão.
  - e) Tecnologia de comunicação.
  - f) Algoritmo de acesso ao barramento.
- 2. Componentes:
  - a) Repetidores.
  - b) Hubs.
  - c) Pontes.
  - d) Roteadores.
  - e) Gateways.
  - f) Switches.

A partir desses levantamentos você poderá propor um plano de ajustes para melhoria da rede de comunicação existente.

## Avançando na prática

### Arquitetura de rede de comunicação

#### Descrição da situação-problema

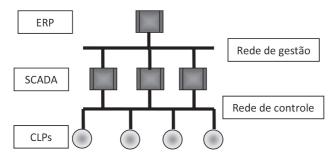
Suponha que você seja o gestor de automação em uma empresa. Nesse papel, você precisará propor uma arquitetura de rede industrial para que, minimamente, integre o sistema ERP com o sistema SCADA de supervisores presentes no sistema produtivo e com os CLPs que realizam o controle local. Como você implementaria isolamento entre o trafego de informações dos sistemas de gestão e o tráfego de controle?

Reflita sobre essa questão a fim de apresentar um parecer para a sua equipe.

#### Resolução da situação-problema

Baseado na pirâmide da automação, você poderá propor um sistema de barramento em que o sistema ERP se comunica com os sistemas supervisórios e um um barramento de controle em que os sistemas supervisórios se comunicam com os CLPs, estabelecendo uma rede de controle no nível local e uma rede de informação gerencial no nível de gestão. Para isolar as redes é possível utilizar a tecnologia Ethernet por meio de *switches*. A Figura 4.6 apresenta um esboço da solução proposta.

Figura 4.6 | Solução proposta



Fonte: elaborada pelo autor.

### Faça valer a pena

- **1.** A respeito da evolução das redes de comunicação, considere as afirmações de l a III.
- I. Inicialmente, o uso de microprocessadores na indústria permitiu o desenvolvimento de soluções de controle centralizadas.
- II. As primeiras soluções utilizavam fios de pares trançados para conexão.
- III. Essas soluções iniciais eram limitadas pela questão do alto custo de cabeamento para conexão das inúmeras entradas e saídas associadas aos dispositivos de campo distribuídos fisicamente.

Assinale a alternativa correta em relação às afirmativas de I a III.

- a) Todas as afirmativas estão corretas.
- b) Somente a afirmativa I está correta.
- c) Somente as afirmativas I e II estão corretas.
- d) Somente a afirmativa II está correta.
- e) Somente as afirmativas I e III estão corretas.
- **2.** Para se implementar uma solução em automação, é necessário definir uma arquitetura para o sistema, e isso engloba:
- I. Os CLPs utilizados para o controle do sistema ERP.
- II. Os PACs utilizados para IHM.
- III. O sistema SCADA utilizado para a supervisão.

Assinale a alternativa que atribui	corretamente '	V (Verdadeiro)	ou F	(Falso)
para as afirmações de l a III.				

- a) V V V.
- b) V V F.
- c) V F V.
- d) F V V.
- e) F F V.

<b>3.</b> P	ara a	especi	ficacão	de un	na			ае	esco	lha c	la ai	rauite	etura
		é que e	,										
que	desen	npenho	será al	cançac	do, co	mo se	rá poss	ivel	real	izar_			
e			de forr	na cor	stant	еер	rogress	iva,	gar	antin	ido,	assir	n, as
con	dições	s neces	sárias I	para qı	ue o s	sistem	a prod	lutiv	/o p	ossa	ava	nçar	para
um	aprim	oramer	nto con	tínuo e	e adec	quaçõ	es						

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas.

- a) Rede industrial; interrupções; atualizações; repentinas.
- b) Switch; manutenções; atualizações; repentinas.
- c) Rede industrial; manutenções; atualizações; sistemáticas.
- d) Rede industrial; interrupções; atualizações; sistemáticas.
- e) Switch; manutenções; atualizações; sistemáticas.

## Seção 4.2

## Classificação das redes de automação

#### Diálogo aberto

Caro aluno, retomando o nosso contexto de aprendizagem, você, como responsável pela gestão da automação em um sistema produtivo, precisou tomar algumas decisões a respeito de como avaliar os pontos fracos de um sistema por possuírem estruturas de controle centralizadas.

No sentido de propor sistemas de controle distribuídos, você aprendeu a avaliar os componentes presentes em uma rede, a funcionalidade de cada uma delas, para que pudesse entender a necessidade de mudanças.

Agora, você deverá descobrir como gerar um relatório esclarecendo o que deve ser feito para responder à seguinte pergunta: como resolver o desafio de integrar dispositivos e equipamentos de diferentes fabricantes para integrar os diferentes níveis de controle em um sistema produtivo?

Para poder responder a essa questão, nesta seção você aprenderá mais sobre as várias redes presentes em um sistema produtivo para integrar os diferentes níveis de controle, de acordo com a pirâmide da automação.

Na sequência, você terá a oportunidade de aprender sobre o uso do padrão OPC na indústria e verá como pode ser aplicado o conceito de clientes e servidores OPC.

Concluindo, você verá como uma rede de comunicação é fundamental para implementar um sistema integrado manufatura-negócio em um sistema produtivo para manter a sua competitividade. Você também verá como utilizar as próprias redes de comunicação para fechar a malha de realimentação, a fim de realizar o controle do sistema.

Essa visão será fundamental para que você aprenda como implementar fisicamente a integração entre os diferentes níveis de informação para melhorar a eficiência de um sistema, ou seja, integrar o planejamento com a execução da manufatura.

Bom trabalho para a conclusão de mais uma etapa!

## Não pode faltar

#### Classes de redes

Caro aluno, até o momento você viu uma série de informações sobre diferentes características presentes em uma rede de comunicação industrial. Cada uma dessas características pode ser utilizada para classificar as redes de comunicação. É importante saber que, de acordo com Moraes e Castrucci (2007), não existe um critério de classificação único para definição do tipo de rede que se deseja utilizar. Por exemplo, se você considerar como critério de classificação a questão da cobertura geográfica, então poderá ser classificada como PAN, LAN, CAN, MAN e WAN, conforme visto na seção anterior. Outro exemplo seria pensar em termos de topologia.

Entretanto, ainda não foi falado sobre algo que, por ser de extrema importância, tem sido utilizado como um meio para nomear as próprias redes. Trata-se dos protocolos.



Em relação à evolução dos protocolos, vale citar que Fieldbus referese às redes digitais de comunicação. De acordo com Lugli e Santos (2016) nos anos 1980 desenvolveu-se os sensores inteligentes e os controladores digitais. Justamente para interligar esses dispositivos é que surgiu a necessidade de um meio físico que fosse padronizado. A busca pelo padrão integrou os seguintes grupos:

- International Society of Automation (ISA).
- International Electrotechnical Commission (IEC).
- Comitê de padronização do Process Field Bus (PROFIBUS).
- Comitê de padronização do Factory Instrumentation Protocol (FIP).

A partir desses comitês surgiu o comitê internacional IEC/ISA SP50 Fieldbus. Em 2000 surgiu o padrão IEC 61158, contendo oito protocolos e que foi atualizado pela norma IEC 61784, conforme a Quadro 4.1.

Quadro 4.1 | Protocolos baseados na norma IEC 61158

	IEC 61158 - PRO	TOCOLOS	
IEC 61784	4 MEIO DATA FÍSICO LINK LAYER		PERFIS
CPF-1/1	TIPO 1	TIPO 1	FOUNDATION FIELDBUS H1
CPF-1/2	ETHERNET	TCP/UDP/IP	FOUNDATION FIELDBUS HSE
CPF-1/3	TIPO 1	TIPO 1	FOUNDATION FIELDBUS H2

CPF-2/1	TIPO 2	TIPO 2	CONTROLNET
CPF-2/2	ETHERNET	TCP/UDP/IP	ETHERNET/IP
CPF-3/1	TIPO 3	TIPO 3	PROFIBUS-DP
CPF-3/2	TIPO 1	TIPO 3	PROFIBUS-PA
CPF-3/3	ETHERNET	TCP/UDP/IP	PROFINET
CPF-4/1	TIPO 4	TIPO 4	P-NET RS-485
CPF-4/1	TIPO 4	TIPO 4	P-NET RS-232
CPF-5/1	TIPO 1	TIPO 7	WORLDFIP (MPS, MCS)
CPF-5/2	TIPO 1	TIPO 7	WORLDFIP (MPS, MCS, SubMMS)
CPF-5/3	TIPO 1	TIPO 7	WORLDFIP (MPS)
CPF-6/1	TIPO 8	TIPO 8	INTERBUS
CPF-6/2	TIPO 8	TIPO 8	INTERBUS TCP/IP
CPF-6/3	TIPO 8	TIPO 8	INTERBUS SUBSET
CPF-7/1	TIPO 6	TIPO 6	SWIFTNET TRANSPORT
CPF-7/2	TIPO 6	TIPO 6	SWIFTNET FULL STACK

Fonte: adaptada de Lugli; Santos (2016, p. 3).

Existem várias redes como DeviceNet, Interbus, PROFIBUS, PROFINET, AS-I, que podem ser adequadas, conforme a aplicação. O fato é que o protocolo é tão importante que, a partir dele, derivam-se os nomes das redes.

Como existem diversos protocolos disponíveis para você definir uma rede de comunicação para uma determinada aplicação, o mais importante é ter em mente a questão da pirâmide da automação e saber identificar a necessidade de minimamente existirem:

- Uma rede de campo para conexão dos dispositivos.
- Uma rede de controle para supervisão dos controladores.
- Uma rede de informação para o sistema de gestão.

A Figura 4.7 apresenta diversas redes baseadas em diferentes protocolos e mostra como podem ser aplicadas soluções nos diferentes contextos de níveis de controle em um sistema produtivo. Você poderá obter maiores detalhes na obra *Comparativo entre Redes de Automação Industrial e suas características*, de Azevedo e Souza (2017).

## Pesquise mais

Na Biblioteca virtual Ministro Olavo Bilac Pinto da Inatel, você pode acessar o link <a href="http://www.inatel.br/biblioteca/component/search/?searchword=redes%20industriais&searchphrase=all&Itemid=671">http://www.inatel.br/biblioteca/component/search/?searchword=redes%20industriais&searchphrase=all&Itemid=671</a>, que apresenta uma pesquisa realizada a respeito de redes industriais. Você poderá ler vários artigos que podem enriquecer o

seu conhecimento a respeito de redes industriais. Sugerimos a leitura do artigo *Comparativo entre Redes de Automação Industrial e suas características*, de Azevedo e Souza (2017), que pode ser encontrado nessa biblioteca, pois ele proporciona uma noção a respeito das várias redes industriais existentes e suas diversas aplicações.

Além disso, você perceberá que determinadas redes de comunicação específicas podem apresentar um melhor resultado quando comparadas com as mais utilizadas no mercado. Não deixe de ver uma tabela comparativa de várias redes em que você poderá comparar as características de cada uma delas para usar como referencial para solução de problemas nessa área.

ATMF DDI Negócio 00 M 00 Base - T Dispositivo Controle ControlNet WorldFIP Profibus DP IEC/SP50 H2 nterbus Ethemet 10M Jevice Net CCLink SDS DeviceWFIP HART onWorks. nterbus Loop Sreiplex Sensor Nível de bit

Aplicações

Figura 4.7 | Utilização dos diferentes protocolos de redes em sistemas produtivos

**Discreto**Fonte: adaptada de Azevedo; Souza (2017, p. 1).



Processo

Como exemplo, observe a Tabela 4.1 em que cada fabricante tem um produto para uso de rede Ethernet:

- PROFINET, uma evolução da PROFIBUS.
- Ethernet/IP, da ODVA (Open DeviceNet Vendor Association), trata-se de uma evolução da Controlnet e Devicenet.
- HSE (High Speed Ethernet), da Fieldbus Fundation.

A existência de uma diversidade de soluções causou uma dificuldade de integração entre as diferentes tecnologias, já que os fabricantes não se preocuparam em desenvolver soluções que fossem compatíveis.

Inicialmente, as redes Ethernet foram consideradas limitadas por não serem determinísticas.

Por exemplo, considere o método CSMA/CD de acesso ao barramento. Transmite-se dados quando detectado que o canal está livre e, em caso de colisão, aborta-se a transmissão e, após um tempo aleatório, tenta-se transmitir novamente.

É fácil perceber que esse método deixa a desejar quando se trata de uma rede de controle em tempo real.

De acordo com Lugli e Santos (2016), o uso do *switch* industrial permite a utilização de portas e buffers para o controle de colisões para o método em questão: o *buffer* pode ser usado para reter uma informação que iria colidir com a outra utilizando o recurso de portas independentes.

Com esse recurso, a Ethernet pode avançar e ser utilizada para o controle de chão de fábrica

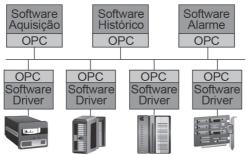
#### Clientes e servidores OPC

O OPC (OLE for Process Control) já foi visto na Seção 3.2. Agora você verá maiores detalhes a respeito dessa interface. Trata-se de um padrão industrial que permite a integração de clientes e servidores em diferentes aplicações: (i) Fabricantes de IHMs; (ii) Sistemas SCADA; (iii) Sistemas do tipo MES; (iv) Sistemas do tipo ERP.

Esse padrão é mantido pela OPC Foundation com o objetivo de criar e operacionalizar especificações que padronizam a comunicação de diferentes arquiteturas voltadas para manter os principais serviços a seguir (Figura 4.8):

- Acesso a dados on-line.
- Gerenciamento de alarmes
- Registros de eventos, comandos e bancos de dados dispositivos de diferentes fabricantes que podem se comunicar por meio de diferentes protocolos.

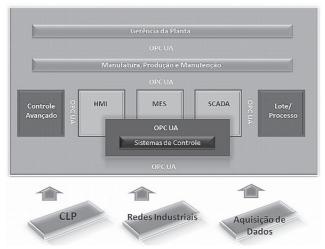
Figura 4.8 | Software de aplicação para acesso aos componentes de uma rede



Fonte: Santos (2014, p. 65).

Um avanço do padrão OPC resultou no OPC UA (OPC Unified Architecture) que possui ferramentas adequadas para migrar de um modelo para o outro e vice-versa. Trata-se de uma tecnologia que se baseia no conceito cliente-servidor e permite o acesso independente a cada componente, seja ele sensores, atuadores, controladores, supervisórios, sistema ERP ou até mesmo a nuvem (GONÇALVES, 2012). A Figura 4.9 ilustra como o padrão OPC UA pode ser usado em um sistema produtivo.

Figura 4.9 | Aplicações do padrão OPC UA



Fonte: Leitão (2010, p. 14).

O OPC UA estabelece os seguintes modelos em sua especificação (LEITÃO, 2010):

- Modelo de segurança: tem o objetivo de garantir interações seguras entre clientes e servidores. Os mecanismos de autorização são específicos de cada aplicação ou sistema.
- Modelo integrado do espaço de endereçamento: tem o objetivo de descrever o conteúdo e a estrutura do espaço de endereçamento do servidor como sendo um conjunto de nós conectados por referências.
- Modelo de serviços integrados: tem o objetivo de estabelecer grupos lógicos que organizam os serviços em conjuntos de serviços que o servidor pode prestar.
- Modelo de informação: tem o objetivo de especificar os tipos e relacionamentos definidos para o servidor.
  - Modelo de mapeamentos: tem o objetivo de especificar o

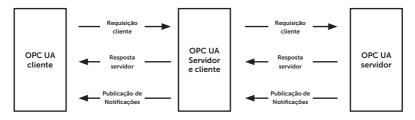
mapeamento de transporte e codificação de dados que são suportados.

• Modelo de perfis: tem o objetivo de estabelecer o conjunto de perfis acessíveis para os clientes e servidores para que sejam definidos de forma coerente os conjuntos de serviços e funcionalidades pertinentes a cada perfil. Nesse contexto, os perfis serão a base para os testes de verificação dos clientes e servidores.

É fundamental você observar que um sistema OPC UA possui uma arquitetura que modela o comportamento da interação entre Clientes e Servidores, ou seja (Figura 4.10):

- Podem existir múltiplos clientes e servidores em cada sistema.
- Um cliente pode interagir com um ou mais servidores de forma concorrente e vice-versa.
- Componentes de clientes e servidores podem ser combinados em uma determinada aplicação para que seja possível interagir com outros clientes e servidores.

Figura 4.10 | Comportamento da interação entre clientes e servidores



Fonte: Leitão (2010, p. 17)

Para inicialização de dispositivos, o OPC UA utiliza o modelo SOA para que seja possível clientes encontrarem servidores conforme o perfil desejado.

### Gerenciamento de informação industrial

Portanto, para que você tenha uma visão geral a respeito do uso de redes de comunicação em um sistema produtivo, é importante que você compreenda as questões a seguir.

- Uma rede de campo para conexão dos dispositivos pode utilizar:
- Uma rede AS-I, por exemplo, que se caracteriza por: (i) baixa complexidade e baixo custo; (ii) alimentação 24VDC para alimentar sensores e atuadores; e (iii) dados binários transmitidos de forma cíclica.
  - Uma rede PROFIBUS DP, por exemplo, para conexão com

módulos de entrada e saída remotas.

- Uma rede de controle para supervisão dos controladores pode utilizar uma rede PROFINET, por exemplo, que:
  - Permite comunicação com controladores programáveis do tipo CLP.
  - Possibilita a comunicação com sistemas de controle supervisório do tipo SCADA.
  - Permite o acesso a bancos de dados com informações relativas aos processos.
  - Suporta sistemas de execução da manufatura (MES) que podem estar integrados ao PIMS (Plant Information Management System), conforme visto na Unidade 3, quando estudamos sistemas SCADA.
- Uma rede de informação para o sistema de gestão pode utilizar uma rede PROFINET, também para utilizar os recursos de uma conexão Ethernet para integrar o MES ao sistema de gestão do tipo ERP. Você verá maiores detalhes de uso da rede PROFINET na Seção 4.3.

Dessa forma, com a disponibilidade dos dados de produção é possível: (i) subir desde o chão de fábrica com seus sensores e atuadores; (ii) passar pelos sistemas de controle local baseado em CLPs e controle de supervisão por meio de sistemas SCADA; (iii) avançar pelos sistemas MES e PIMS que estão englobados nos sistemas de gerenciamento de informação denominados EPS (Enterprise Production Systems) e; (iv) atingir os sistemas corporativos ERP (Enterprise Resource Planning) onde os dados podem gerar informações de negócio, promovendo a integração Manufatura-Negócio, que é vital para manter um sistema produtivo competitivo.

#### Sistema de controle distribuído via rede

Os sistemas de controle via rede (NCS – Networked Control Systems) representam uma inovação porque deixam de utilizar as redes de comunicação ponto a ponto, em que cada dispositivo está conectado de forma centralizada a um determinado controlador, e passam a utilizar uma rede de comunicação industrial para fechar a malha de realimentação para realização do controle (GODOY et al., 2010).

Nos sistemas de controle dessa natureza, a troca de informação entre os dispositivos de controle (atuadores, sensores, comando, monitoração e controladores) depende de uma rede de comunicação que sobrepõe uma série de necessidades porque é compartilhada com outros dispositivos.

Por esse motivo, há uma maior complexidade para análise do sistema de controle, devido aos seguintes aspectos: (i) limitação na largura de banda da rede; (ii) limitação causada por erro de quantização do sinal (limitação do número de bits para amostragem de sinais contínuos); (iii) possibilidade de atrasos de transmissão provocados pela rede; (iv) perda de informação por colisão e congestionamento.

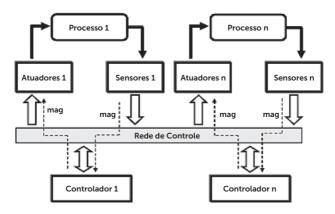
Portanto, fique atento com essa configuração de sistema de comunicação (Figura 4.11).



Uma das características que podem manter a competitividade de um sistema produtivo é a capacidade de concentrar dados e depois ter a tecnologia necessária para extrair as informações e gerar conhecimento.

Como gestor da automação de um sistema produtivo que está sujeito a uma forte concorrência no mercado, que sistema computacional você diria que é fundamental incorporar em sua arquitetura de controle para que seja possível obter o conhecimento necessário a fim de verificar a evolução do comportamento desse sistema e auxiliar a tomada de decisão correta em tempo adequado?

Figura 4.11 | Estrutura padrão de um sistema de controle via rede (NCS)



Fonte: Godoy et al. (2010, p. 178

### Sem medo de errar

Você, como responsável pela gestão da automação em um sistema produtivo, recebe a atribuição de realizar a integração dos diferentes níveis de controle existentes em um sistema produtivo.

Com o crescimento de um sistema produtivo, cada vez será mais necessário integrar os diferentes níveis de controle para que os dados de produção que são obtidos no chão de fábrica possam chegar até o nível de gestão do negócio para gerar as informações necessárias.

Agora, faça um relatório esclarecendo o que deve ser feito para responder à seguinte pergunta: como você resolve o desafio de ter que integrar dispositivos e equipamentos de diferentes fabricantes para integrar os diferentes níveis de controle em um sistema produtivo?

Para a solução desse problema, utilizou-se o padrão OPC. O OPC é uma especificação aberta e padronizada de domínio público e que pode ser utilizada para estabelecer as regras para que você possa desenvolver um conjunto padrão de interfaces para promover a comunicação entre:

- Sensores e atuadores de campo.
- CLPs e sistemas SCADA.
- Sistemas EPS do tipo MES e PIMS.
- Sistemas ERP.

Como é um padrão aberto, as dificuldades de comunicação deixam de existir a partir do momento em que se desenvolve uma camada única e padronizada tal que:

- Elimina a questão dos drivers de comunicação proprietários.
- Torna fácil a tarefa de desenvolvimento de aplicativos OPC, bastando o interessado ter conhecimento de programação.
- O OPC UA (OPC Unified Architecture) é uma tecnologia que se baseia no conceito cliente-servidor e permite o acesso independente a cada componente (sensores, atuadores, CLPs, SCADA, sistema ERP ou até mesmo a nuvem).

Para a especificação da solução OPC UA o usuário deverá especificar os modelos previstos:

- Modelo de segurança das interações seguras entre clientes e servidores.
- Modelo integrado do espaço de endereçamento para a descrição do conteúdo e da estrutura do espaço de endereçamento do servidor.
- Modelo de serviços integrados que organizam os serviços em conjuntos de serviços que o servidor pode prestar.

- Modelo de informação que especifica os tipos e relacionamentos definidos para o servidor.
- Modelo de mapeamentos de transporte e codificação de dados que são suportados.
- Modelo de perfil que estabelece o conjunto de perfis acessíveis para os clientes e servidores para que sejam definidos de forma coerente os conjuntos de serviços e funcionalidades pertinentes a cada perfil.

Dessa forma, é possível desenvolver as aplicações adequadas e com o auxílio de modelos SOA facilitar a descrição dos processos para que os clientes identifiquem servidores com o perfil desejado.

### Avançando na prática

#### Pontos críticos de um NCS

#### Descrição da situação-problema

Você foi chamado para avaliar uma possível atualização de um sistema de controle de uma parte de um processo industrial em que se utiliza uma rede ponto a ponto para enviar os dados para o controlador.

O gestor da área lhe solicita a entrega de um parecer, no qual avalie quais são os pontos críticos que devem ser considerados, caso seja decidido implantar uma solução baseada no conceito de sistema de controle via rede (NCS). O que você colocaria no seu documento a respeito dessa avaliação?

#### Resolução da situação-problema

Em seu parecer, uma vez que será utilizada a própria rede para fechar a malha de controle, você precisa ressaltar que os seguintes pontos são críticos:

- Limitação na largura de banda da rede.
- Limitação causada por erro de quantização do sinal (limitação do número de bits para amostragem de sinais contínuos).
  - Possibilidade de atrasos de transmissão provocados pela rede.
  - Perda de informação por colisão e congestionamento.

Cada um desses aspectos deve ser avaliado cuidadosamente para que a solução não seja inviabilizada.

## Faça valer a pena

- **1.** Fieldbus refere-se às redes digitais de comunicação. Nos anos 1980, desenvolveu-se os sensores inteligentes e os controladores digitais. Justamente para interligar esses dispositivos, surgiu a necessidade de um meio físico que fosse padronizado. A busca pelo padrão integrou os seguintes grupos:
- I. International Society of Automation (ISA).
- II. International Electrotechnical Commission (IEC).
- III. Comitê de padronização do Process Field Bus (PROFIBUS).

De acordo com o contexto apresentado, assinale a alternativa correta a respeito das três afirmativas.

- a) Somente a afirmativa I é verdadeira.
- b) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- c) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- d) Nenhuma afirmativa é verdadeira.
- e) Todas afirmativas são verdadeiras.
- **2.** O uso de redes Ethernet é intenso em virtude do número de recursos e desempenho que essas redes oferecem.

Nesse contexto, considere os números (1 a 3) e letras (A, B e C) a seguir:

- 1. PROFINET.
- 2. Ethernet/IP.
- 3. HSE (High Speed Ethernet).
- A. É uma evolução da PROFIBUS.
- B. É da Fieldbus Fundation.
- C. É uma evolução da Controlnet e Devicenet.

Assinale a alternativa que associa os números (1 a 3) com as letras (A, B e C) corretamente.

- a) 1-B; 2-C; 3-A.
- b) 1-A; 2-C; 3-B.
- c) 1-A; 2-B; 3-C.
- d) 1-C: 2-A: 3-B.
- e) 1-C: 2-B: 3-A.

<b>3.</b> A existência de uma diversidade de soluções para o uso de redes Ethern	et
causou uma dificuldade de entre as diferentes tecnologia	ЭS,
já que os fabricantes não se preocuparam em desenvolver soluções qu	лe
fossem Inicialmente, as redes Ethernet foram considerad	as
limitadas por não serem	

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas.

- a) Seleção; compatíveis; estocásticas.
- b) Integração; inovadoras; estocásticas.
- c) Seleção; compatíveis; determinísticas.
- d) Integração; compatíveis; determinísticas.
- e) Integração; inovadoras; determinísticas.

## Seção 4.3

## Comunicação de dados

#### Diálogo aberto

Caro aluno, você está em sua última etapa de gestão da automação em um sistema produtivo. Nela, você precisou tomar algumas decisões a respeito de como avaliar os pontos fracos de um sistema que possuísse estruturas de controle centralizadas e de como vencer o desafio de integrar dispositivos e equipamentos de diferentes fabricantes para compor os diferentes níveis de controle em um sistema produtivo.

Vencidas essas etapas, o seu desafio agora será o de responder à seguinte questão: como você poderia atuar de forma eficiente para facilitar a manutenção e garantir a flexibilidade de configuração e leitura de dados de diagnóstico dos dispositivos conectados via rede no sistema produtivo?

Sendo o responsável por fazer a gestão da automação em um sistema produtivo, um ponto fundamental é o da necessidade de focar a utilização das redes de comunicação presentes nesse sistemas produtivo de forma flexível e reconfigurável, de acordo com a dinâmica de evolução tecnológica que normalmente ocorre na estrutura e dispositivos que compõem esses sistemas.

Para você ser capaz de resolver esse desafio, serão apresentados conteúdos a respeito das aplicações de redes industriais.

Inicialmente, você refletirá sobre como, nas arquiteturas de sistema produtivos, as entradas e saídas remotas podem ser interpretadas, dependendo se o contexto for manufatura ou indústria de processos.

Feito isso, você verá três aplicações de redes industriais, ou seja, ASA-i, Profibus e Profinet. Durante essa explanação, você fará uma reflexão a respeito do uso do padrão Ethernet e sua influência na verticalização do fluxo de informações presente em um sistema produtivo.

Bons estudos!

### Não pode faltar

#### Entradas e saídas remotas

Em sistemas distribuídos é muito comum que haja a necessidade

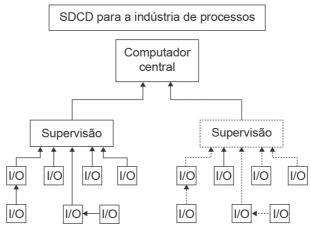
de comunicação entre um sistema de controle e seus periféricos que estão distribuídos em campo.

Os CLPs evoluíram muito e são capazes de realizar controle discreto dirigido por eventos e controle contínuo. As funções de controle que precisam ser executadas são distribuídas entre controladores programáveis que, geralmente, são instalados próximos ao objeto de controle

Os diferentes controladores podem ser conectados a um sistema de controle supervisório por meio de uma rede de comunicação, conforme visto anteriormente, na Seção 4.1.

Portanto, de acordo com Filho (2014), você pode se deparar com um conjunto de entradas e saídas que remotamente podem estar conectadas a sistemas de controle voltados para sistemas de controle a eventos discretos, como em Sistemas de Manufatura Integrada, ou então você pode se deparar com a realidade de uma indústria de processos contínuos que utiliza um sistema de controle denominado SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído), que possui controladores distribuídos de acordo com a função de controle que executam e os dispositivos são vistos como entradas e saídas remotas (Figura 4.12).

Para que você possa entender como utilizar diferentes tipos de rede para cada natureza de sistema a ser controlado, são estudados três protocolos importantes: AS-i, Profibus e Profinet.



I/O: CLP, inversor, RTU, instrumentos, dispositivos microprocessados, etc.

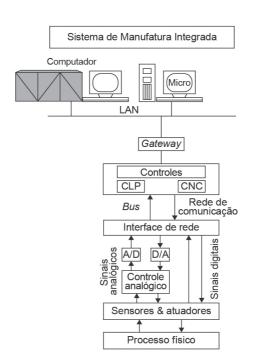
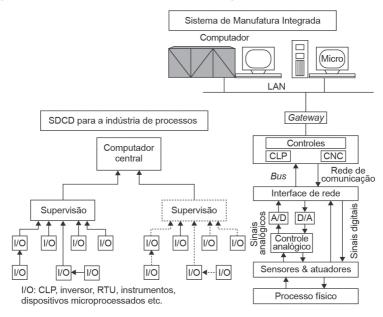


Figura 4.12 | Modelos de sistemas de controle integrando entradas e saídas remotas



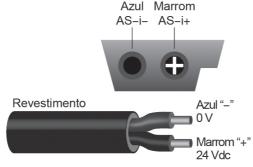
Fonte: adaptada de Filho (2014, p. 106-107).

#### Redes básicas AS-i

A rede AS-I (Actuator Sensor Interface) é uma rede utilizada para integrar sensores e atuadores discretos de forma simples e com baixo custo. Veja as principais informações sobre essa rede.

- Em termos de organização responsável por esse protocolo protocolo, há a AS-Internatiotal Association que reúne usuários dessa rede, que existe desde 1991. Foi padronizada pela norma EN 50295/IEC 62026-2 em 1999. Para obter mais informações, você pode acessar o site a seguir: <a href="http://www.AS-interface.net">http://www.AS-interface.net</a>>. Acesso em: 8 set. 2017.
- O método de comunicação é o mestre-escravo, sendo a comunicação por bit. Existe também a possibilidade de se utilizar um acoplador para que seja possível a comunicação com outros níveis de controle, integrando-se a redes Profibus, por exemplo.
- Em termos de topologia, é comum que seja utilizado na configuração barramento, árvore ou estrela, ou, ainda, em uma combinação delas.
- Trata-se de uma rede de curta distância, ou seja, não ultrapassa 100 m, a menos que sejam utilizados repetidores. O tempo de ciclo é de 5 ms.
- Em termos de cabeamento, utiliza-se um cabo de dois fios, conforme ilustra a Figura 4.13. Um fato importante a ser destacado é que, em termos de funcionalidade, pode tanto desempenhar a função de alimentação dos elementos finais atuadores e sensores quanto a função de comunicação para enviar o estado desses elementos.

Figura 4.13 | Cabos utilizados nas redes AS-I



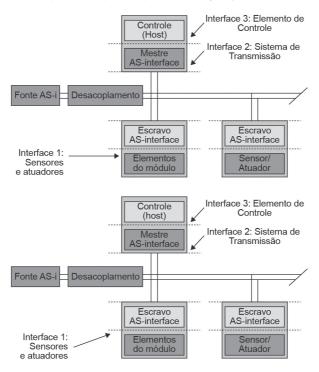
Fonte: adaptada de Azevedo; Souza (2017, p. 3).

A Figura 4.14 ilustra os diversos componentes que podem estar presentes em uma rede AS-I:

• Interface 1: estabelece a comunicação entre o escravo e os elementos finais de sensoriamento e de atuação.

- Interface 2: estabelece a comunicação entre mestre e escravo.
- Interface 3: estabelece a comunicação entre o mestre e o nível superior.

Figura 4.14 | Componentes que compõem a configuração de uma rede AS-i.



Fonte: adaptada de Azevedo; Souza (2017, p. 4).

#### **PROFIBUS**

Trata-se de uma rede de barramento de campo que é a mais utilizada no mundo. Surgiu a partir do objetivo de desenvolver uma tecnologia para atender tanto aos sistemas de manufatura quanto à indústria de processos. Desde 1987 surgiu esse protocolo e o primeiro passo foi a especificação do Profibus FMS (Especificação de Mensagens Fieldbus).

Em 1995 foi proposto o Profibus PA, voltado para a automação de processos. Trata-se de um protocolo aberto que foi definitivamente estabelecido pela norma IEC 61158.

Em termos de topologia de rede, pode ser a configuração de estrela, anel ou barramento. Por sua vez, em termos de arquitetura, existem três variações nesse protocolo:

- Profibus DP (Periferia Descentralizada): voltado para a automação da manufatura.
  - Profibus PA: voltado para a automação de processos.
  - Profinet: voltado para o padrão Ethernet.

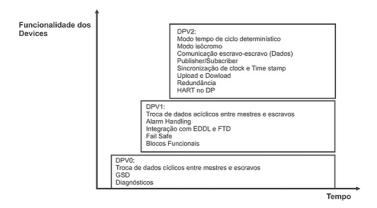


Observe alguns detalhes importantes sobre as derivações do protocolo Profibus, descritos a seguir (CASSIOLATO, 2017b; AZEVEDO; SOUZA, 2017):

#### Profibus DP

- Atende às necessidades de automação industrial.
- Podem ser utilizados cabos de par trançado e fibra óptica, de acordo com a distância que se pretende atender, podendo variar de 100 m até 1200 m com par trançado e pode chegar até a 15 km com fibra óptica.
- O método de comunicação mestre-escravo garante um tempo de ciclo menor do que 2 ms.
- Com a evolução tecnológica foram propostas três variações para atender às necessidades de aplicação: DP-V0, DP-V1 e DP-V2. Para ilustrar as características de cada uma delas, observe a Figura 4.15, que descreve a evolução em função do tempo.

Figura 4.15 | Evolução do protocolo Profibus DP



Fonte: Azevedo; Souza (2017, p. 5).

#### **Profibus PA**

- Atende às necessidades de automação de processos.
- Podem ser utilizados em áreas de risco de explosão, que requerem

baixas tensões e correntes, para comunicação com os dispositivos que se encontram distribuídos no campo.

- Deve ser utilizado par trançado, o que limita a sua distância de atuação a 1900 m.
- É possível utilizar um simples cabo de par trançado para obter várias informações dos dispositivos em campo. Por esse mesmo meio físico, é possível coletar dados de medição e realizar o fluxo de informações de controle.

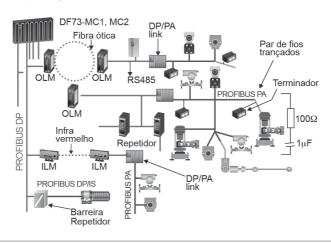
Sobre a terceira variação Profinet, o meio físico baseia-se na utilização do padrão Ethernet que possui um outro nível de desempenho e abrangência de utilização.

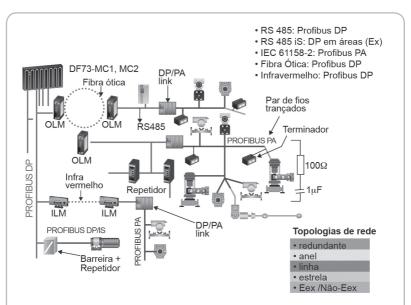
O método de comunicação mestre-escravo permite o seguinte modo de operação para a rede: quando o mestre que estiver ativo possuir um token, poderá acessar os seus escravos e, para isso, estarão disponíveis os serviços de leitura e escrita. Esse procedimento de passagem de token acontece em intervalos de tempo configuráveis e permite a comunicação horizontal entre mestres.



Para você poder ter uma noção de um exemplo de rede Profibus que utilize as variações Profibus DP e Profibus PA, observe a Figura 4.16 a seguir e leia os comentários.

Figura 4.16 | Componentes fundamentais de uma rede Profibus





Fonte: Azevedo; Souza (2017, p. 5).

De acordo com Azevedo e Souza (2017) tem-se a seguinte configuração na Figura 4.16:

O DF73 – MC1, MC2 é o controlador programável, ou seja, o mestre do sistema. O OLM é o dispositivo utilizado para fazer a rede em anel através de fibra óptica. O DP/PA Link é o equipamento que faz a conversão do protocolo Profibus DP para Profibus PA. O repetidor é o equipamento utilizado para conseguir maiores distâncias através do padrão RS-485. O terminador é o elemento conectado ao final da rede, necessário para minimizar reflexões do sinal no cabo e é composto por um resistor e um capacitor. O ILM é o dispositivo que permite a comunicação entre equipamentos seja feita através de ondas infravermelho (AZEVEDO; SOUZA, 2017, p. 5).

#### **PROFINET**

O protocolo Profinet foi padronizado pela norma IEC 61158, partes 5 e 6.

O seu ponto forte é o fato de se tratar de uma rede baseada no padrão Ethernet. Por causa disso, permite que seja facilmente integrada aos diversos níveis de controle previstos pela pirâmide da automação, incluindo a praticidade para integração ao protocolo Profibus.

### a) Profinet e o padrão Ethernet

Quando não existe um padrão, isso inibe a questão de comunicação entre redes distintas, ou seja, não há interoperabilidade. Portanto, se existir um cenário desse tipo envolvendo um sistema produtivo com diferentes redes, será necessário (NOGUEIRA, 2009):

- Conviver com a questão de limitação de troca de informações entre as redes.
- Planejar custo de manutenção de acessórios sobressalentes para cada contexto de rede.
  - Manter diferentes softwares associados a cada uma das redes.
  - Treinamento de profissionais especializados para cada tipo de rede.

Para mudar essa realidade é que foi desenvolvido o padrão Ethernet (NOGUEIRA, 2009):

- Permite a utilização de vários protocolos da Internet.
- É possível o acesso às informações de produção por meio de redes públicas.
- Portabilidade para acesso de informações em diferentes sistemas operacionais.
  - Baixa complexidade em termos de usabilidade.

Considerando o caso da rede Profinet, observa-se que essa abordagem baseada no padrão Ethernet permite (CASSIOLATO, 2017a):

- Aplicação do conceito de objeto já utilizados em sistemas de automação.
- Os recursos de transformação do sistema produtivo podem ser arranjados em módulos tecnológicos.
- Esses módulos tecnológicos podem ser encapsulados via componentes Profinet, o que permite que sejam acessados por meio de interfaces padrões, além de poderem ser reutilizados.

Esse novo paradigma viabiliza o desenvolvimento de sistemas produtivos distribuídos, de arquitetura modular, com elevada flexibilidade para o controle e, também, facilidades para manutenção e reutilização.

#### b) Profinet: características gerais

Uma rede Profinet pode possuir a configuração em anel, barramento, estrela ou árvore, além da possibilidade de combinação dessas topologias. Em termos físicos, utiliza-se para cabeamento tanto par trançado como fibra óptica, sendo possível cobrir distâncias de até 26 km.

De acordo com Vinicius (2016) o protocolo Profinet é dividido em três canais de comunicação:

- Profinet NRT (Non Real Time): para ser aplicado em automação de processos, que suportam tempos de ciclo extensos, ou seja, maiores do que 100 ms. A transmissão ocorre na forma de pacotes de dados via TCP/IP.
- Profinet RT (Real Time): para ser aplicado em processos de manufatura, que permite a transmissão de dados em alta velocidade com tempos de ciclo entre 10 ms e 100 ms. É o protocolo adequado para a programação de alarmes e de elementos críticos para monitoração de processos.
- Profinet IRT (Isochronous Real Time): pode ser aplicado em controle de eixos, permitindo a comunicação sincronizada por clock, com tempos de ciclo abaixo de 1 ms.

Outra derivação importante oferecida pelo protocolo Profinet está associada ao conceito de sustentabilidade. É um recurso que permite otimizar o uso de energia para movimentação das máquinas. Trata-se do protocolo PROFlenergy que atua sobre os controladores para que esses possam enviar sinais para as Unidades de Consumo de Energia (ECU), que poderão estabelecer um critério de ligar e desligar as máquinas quando houver ociosidade.

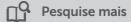
Portanto, essas redes permitem taxas elevadas de transmissão, podendo superar os 100 Mbps, e pode integrar milhares e até milhões de unidades de dispositivos.



O avanço das redes industriais é notório e a razão fundamental é porque dispensou o uso de inúmeros pares de fios para comunicação entre dispositivos. Observa-se que existem várias redes diferentes e que algumas delas são as mais utilizadas no mercado. Entretanto, há uma tendência para a qual os protocolos de redes industriais estão migrando para um futuro próximo.

Qual é essa tendência?

Como você é capaz de justificar sua afirmação?



#### Automoção industrial e inteligência artificial

O uso de redes Ethernet tem se intensificado e uma das questões é o atraso causado durante a comunicação. Veja uma proposta de uso de

técnicas de inteligência artificial como uma alternativa de modelo de rede utilizando recursos de Lógica Fuzzy. Com esse tipo de solução, é possível minimizar o problema de atraso temporal causado pelo uso de switch industrial em redes Ethernet.

Sugerimos a leitura do artigo *Técnica de inteligência artificial aplicada a sistemas Fieldbus para otimização dos processos industriais*, que trata do processo de aplicação de Lógica Fuzzy para determinar o menor caminho de roteamento da mensagem para minimização de atrasos na comunicação.

Disponível em: <a href="http://www.inatel.br/biblioteca/artigos-cientificos/2013/6772-tecnica-de-inteligencia-artificial-aplicada-a-sistemas-fieldbus-para-otimizacao-dos-processos-industriais">http://www.inatel.br/biblioteca/artigos-cientificos/2013/6772-tecnica-de-inteligencia-artificial-aplicada-a-sistemas-fieldbus-para-otimizacao-dos-processos-industriais</a>>. Acesso em: 8 set. 2017.

#### Sem medo de errar

Sendo o responsável por fazer a gestão da automação em um sistema produtivo, um ponto fundamental é o da necessidade de focar na utilização das redes de comunicação presentes nesse sistema produtivo de forma flexível e reconfigurável, de acordo com a dinâmica de evolução tecnológica que normalmente ocorre na estrutura e nos dispositivos que compõem esses sistemas.

Agora, você pode gerar um relatório para responder ao seguinte questionamento: como você poderia atuar de forma eficiente para facilitar a manutenção e garantir a flexibilidade de configuração e leitura de dados de diagnóstico dos dispositivos conectados via rede no sistema produtivo?

A solução desse problema consiste em adotar o padrão Ethernet como requisito.

O padrão Ethernet agrega os seguintes valores:

- Viabiliza o uso de vários serviços e protocolos da Internet.
- Facilita o acesso às informações de produção associadas ao chão de fábrica, por meio de redes públicas.
- Permite a utilização de diferentes sistemas operacionais para acesso às informações.
  - Facilidade de uso.

Nesse contexto, uma das possibilidades de protocolo é o Profinet, que apresenta os seguintes pontos positivos:

- Baseia-se na utilização do conceito de objeto já praticada em sistemas de automação de sistemas produtivos.
- As máquinas, centros de usinagem, células de manufatura, podem ser organizadas por meio de módulos tecnológicos.
- Pode ser utilizado o conceito de componente do protocolo Profinet, que permite o encapsulamento dos módulos tecnológicos.
- O recurso de encapsulamento permite o acesso por meio de interfaces padrões e viabiliza a reutilização.

Dessa forma, torna-se possível o desenvolvimento de sistemas produtivos competitivos que se destacam por serem:

- Fortemente distribuídos.
- De arquitetura modular.
- Com elevada flexibilidade.
- Com facilidades para manutenção e reutilização.

Por fim, você justifica a sua decisão pelo fato de evitar os seguintes problemas:

- Ter dificuldades devido à questão de limitação de troca de informações entre as redes.
- Custo excessivo de manutenção de dispositivos e acessórios sobressalentes para cada protocolo de rede existente.
- Complexidade causada pela necessidade de manutenção e configuração de diferentes softwares associados a cada uma das redes
- Custo adicional para manter o treinamento de profissionais especializados para cada tipo de rede.

## Avançando na prática

#### **Profibus e Profinet**

#### Descrição da situação-problema

Você atua como engenheiro de automação em uma indústria de processos e a equipe técnica está com dúvidas a respeito do uso do padrão Ethernet, havendo o seguinte posicionamento: uma vez que a rede Profinet é uma evolução da rede Profibus, então uma pode substituir plenamente a outra.

Conforme solicitado pelo seu gestor, você precisa redigir um parecer técnico para orientar essa equipe a respeito desse posicionamento.

### Resolução da situação-problema

Para redigir o seu parecer, repare que existe um equívoco em se interpretar as evoluções causadas pela rede Profinet. Portanto, é necessário esclarecer alguns aspectos fundamentais:

- 1. A rede Profinet não é uma proposta de rede Profibus no padrão Ethernet.
  - 2. A rede Profibus continua com as suas funcionalidades.
- 3. O protocolo Profinet veio para complementar o protocolo Profibus.
- 4. Quando for utilizado o protocolo Profinet, o usuário deve entender que tudo é visto no padrão Ethernet, sendo possível, inclusive, utilizar alguns elementos finais que já estão no padrão Ethernet, considerando as interfaces para acoplamento de fibra óptica.
- 5. O Profinet permite a integração adequada entre os níveis de gestão empresarial, supervisão, controle local e dispositivos de campo, promovendo a verticalização da informação.
- 6. Essa verticalização em Ethernet permite a supervisão e o controle antecipativo de falhas, facilitando e agilizando ações de alteração nos programas de controle dos processos.
- 7. O Profinet permite a integração de redes Profibus, sem que haja necessidade de gualquer alteração.

Você colocaria algo mais em seu parecer?

## Faça valer a pena

- 1. O protocolo Profinet é dividido em três canais de comunicação:
- I. Profinet NRT (Normal Real Time).
- II. Profinet RT (Real Time).
- III. Profinet IRT (Isochronous Real Time).

Assinale a alternativa correta considerando as afirmações acima.

- a) Somente as afirmações III e II são verdadeiras.
- b) Somente as afirmações III e I são verdadeiras.
- c) Somente as afirmações II e I são verdadeiras.
- d) Todas as afirmações são verdadeiras.
- e) Todas as afirmações são falsas.

2. Uma derivação importante do protocolo Profinet é o protocolo Profienergy, que possui uma aplicação voltada para um contexto de grande importância atual.

Sobre essa derivação, assinale a alternativa correta:

- a) Está associada ao conceito de diminuição de perda nos meios de comunicação.
- b) Está associada ao conceito de sustentabilidade.
- c) Atua sobre as IHMs e não sobre as válvulas
- d) É derivado diretamente do protocolo Profibus.
- e) Substitui as antigas Unidades de Consumo de Energia.
- 3. As dificuldades que incentivaram o desenvolvimento do padrão Ethernet
- I. Treinamento de pessoal especializado em vários protocolos.
- II. Existência de um único software para manutenção.
- III. Conviver com a questão de limitação de troca de informações entre as redes

Julgue as afirmações em V (verdadeiro) ou F (falso) e assinale a alternativa que contém a sequência correta.

- a) V-V-V.
- b) F-F-F.
- c) V-F-V.
- d) V-F-F.
- e) V-V-F.

## Referências

AZEVEDO, A. P.; SOUZA, A. B. **Comparativo entre redes de automação industrial e suas características**. INATEL: Santa Rita do Sapucaí, 2017. Disponível em: <a href="http://www.inatel.br/biblioteca/pos-seminarios/seminario-de-automacao-industrial-e-sistemas-eletro-eletronicos/i-saisee/9383-comparativo-entre-redes-de-automacao-industrial-e-suas-caracteristicas/file>. Acesso em: 8 set. 2017.

CASSIOLATO, C. Redes Industriais. **Smar**, [S.l.], 2017a. Disponível em: <a href="http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/redes-industriais">http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/redes-industriais</a>. Acesso em: 8 set. 2017.

\_\_\_\_\_. Tecnologia Profibus. **Smar**, [S.l.], 2017b. Disponível em: <a href="http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/tecnologia-profibus">http://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/tecnologia-profibus</a>>. Acesso em: 8 set. 2017.

COMER, D. E. Redes de computadores e internet. 6. ed. [S.I.]: Bookman, 2016.

FILHO, G. F. Automação de processos e de sistemas. Érica: São Paulo, 2014.

GODOY et al. Implementação e avaliação de sistemas de controle via redes baseados no protocolo Can – Controller Area Network. In: BRAZILIAN CONFERENCE ON DYNAMICS, CONTROL AND THEIR APPLICATIONS, 9., 2010, Serra Negra. **Proceedings...** Serra Negra: DYCON, 2010. p. 178-185. Disponível em: <a href="http://www.sbmac.org.br/dincon/trabalhos/PDF/mechanical/67909.pdf">http://www.sbmac.org.br/dincon/trabalhos/PDF/mechanical/67909.pdf</a>. Acesso em: 22 out. 2017.

GONÇALVES, R. N. **Desenvolvimento de servidores OPC DA, OPC UA e Wrappers para aplicação em automação**. 2012. 82p. Dissertação (Mestrado), Instituto de Sistemas Elétricos e Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá 2012.

LEITÃO, M. A. Desenvolvimento de um Servidor OPC UA em linguagem C# para comunicação com dispositivos através do protocolo Modbus/Ethernet em tempo real. 2010. 40p. Monografia (Graduação), Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 2010.

LUGLI, A. B.; SANTOS, M. M. D. Redes industriais: evolução, motivação e funcionamento. **InTech**, [S.I.], 2016. Disponível em: <a href="http://www.inatel.br/">http://www.inatel.br/</a> biblioteca/artigos-científicos/2011/8794-redes-industriais-evolucao-motivacao-efuncionamento>. Acesso em: 8 set. 2017.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. Engenharia de automação industrial.

NOGUEIRA, T. A. **Redes de comunicação para Sistemas de Automação Industrial**. 2009. 77 p. Monografia (Projeto de Graduação), Engenharia de Controle e Automação, UFOP. Minas Gerais. 2009.

SANTOS, M. D. **Supervisão de sistemas**: funcionalidades e aplicações. Érica: São Paulo. 2014.



