

Complexo eletrônico: automação do controle industrial

Regina Maria Vinhais Gutierrez
Simon Shi Koo Pan

<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>

COMPLEXO ELETRÔNICO: AUTOMAÇÃO DO CONTROLE INDUSTRIAL

Regina Maria Vinhais Gutierrez
Simon Shi Koo Pan*

** Respectivamente, gerente e engenheiro aposentado do Departamento de Indústria Eletrônica da Área Industrial do BNDES. Os autores agradecem a colaboração do engenheiro Manoel Fernandes dos Reis, do estagiário de engenharia William Motta Baviera Oliveira, do bibliotecário Arthur Adolfo Guarido Garbayo, bem como das empresas Altus, Coester, Elipse e Smar.*

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Resumo

O desejo de controlar os processos industriais acompanha o homem desde a criação das primeiras máquinas. A presença da automação na economia global e na vida humana diária é crescente, sendo a automação industrial (AI) considerada hoje um instrumento fundamental para a qualidade e a produtividade das empresas.

De natureza multidisciplinar, a AI exige a participação de uma ampla gama de setores do conhecimento humano, como mecânica, eletrônica, elétrica, física, química e informática. Apresenta elevado dinamismo tecnológico, com o lançamento freqüente de produtos inovadores.

Esse instrumento pode exercer forte efeito multiplicador sobre a geração de emprego e renda e pode contribuir para canalizar as atividades científicas do país para a criação de produtos com elevado conteúdo tecnológico e alto valor agregado. No entanto, para que isso se torne realidade, é fundamental incrementar as atividades de pesquisa e desenvolvimento e de fabricação realizadas no país, dado que a grande maioria dos produtos de AI e serviços associados demandados no Brasil são supridos via importação.

A importância da AI para o aumento da competitividade de vários setores priorizados pela recente Política de Desenvolvimento Produtivo do governo torna necessários seu estudo e a apresentação de propostas para o país e para o BNDES.

Sabedor de suas limitações, o homem vem buscando, ao longo dos tempos, ampliar sua capacidade de ação no mundo. Meios de transporte como carros, trens e aviões foram criados para estender a amplitude e a velocidade do seu deslocamento. De forma similar, microscópios, telescópios e radares vieram complementar seus sentidos, assim como as máquinas reforçam seu poder de manipulação.

Até algumas décadas atrás, tratava-se apenas de um processo de mecanização, ou seja, associação entre criador, a quem cabia o comando e o controle, e sua criatura, a máquina, que o auxiliava e complementava. Entretanto, a necessidade de amplificação das capacidades humanas não parou. Passou-se a buscar dispositivos que pudessem, ao receber informações do ambiente, processá-las (raciocinar) e agir sobre esse mesmo ambiente. Surgiu, assim, a automação de máquinas e processos, que, baseada na menor dependência da capacidade sensorial e decisória do operador, voltou-se à substituição da ação humana de controle.

A presença da automação na economia global é crescente e ultrapassou as fronteiras das instalações industriais. O esforço diário de conjugação de dispositivos automáticos com ferramentas organizacionais e matemáticas tem levado à criação de sistemas complexos aplicáveis às várias atividades humanas. Assim, não somente a manufatura e processos industriais vêm sendo automatizados, como também os serviços de infra-estrutura, os escritórios e, até mesmo, os lares. Desde a década de 1990, por exemplo, fala-se na integração de todos os sistemas de uma residência – iluminação, segurança, refrigeração, suprimento, recreação etc. –, com possibilidade de acesso centralizado e remoto via internet.

Algumas atividades ainda não podem ser totalmente automatizadas, dada a superioridade existente entre as faculdades humanas e a sua simulação pela máquina. É o caso, por exemplo, da capacidade de discriminação do olho ou do ouvido e do reconhecimento de padrões, inclusive o reconhecimento de fala. Contudo, esses são campos férteis de trabalho na pesquisa e no desenvolvimento de sensores e sistemas que aprendem.

A complexidade crescente dos sistemas de automação, associada à necessidade constante de novos desenvolvimentos, faz com que os seus efeitos sobre o emprego tenham sido objeto de diversos debates. Desde o início do século XIX, quando do surgimento dos primeiros teares automáticos, muito se tem falado sobre a ameaça da substituição da mão-de-obra por sistemas automáticos. Segundo tal ponto de vista, níveis crescentes de automação conduzem a níveis também crescentes de desemprego. Sob outra ótica, pode-se argumentar que a implantação e a manutenção de um processo automatizado geram grandes necessidades de em-

prego, embora com um grau de qualificação superior ao do trabalho substituído. O efeito líquido é de difícil quantificação, pelo menos no curto prazo. Entretanto, há que se perguntar qual a possibilidade de um trabalhador substituído pela automação vir a ser empregado no novo processo, uma vez que isso pode significar uma mudança completa em sua atividade original.

Inicialmente, a implantação de processos automatizados na indústria tinha o objetivo de alcançar maior produtividade e redução de custos. Contudo, a experiência revelou que isso nem sempre é verdadeiro. O investimento para implantação de sistemas automáticos é elevado e, além disso, a nova instalação requer recursos, inclusive humanos, dispendiosos para sua manutenção. Atualmente, o principal motor da automação é a busca de maior qualidade dos processos, para reduzir perdas (com reflexo em custos) e possibilitar a fabricação de bens que de outra forma não poderiam ser produzidos, bem como do aumento da sua flexibilidade.

Outra justificativa para os pesados investimentos em automação que têm sido feitos é a segurança de processos industriais e de infra-estrutura críticos, pois a automação tem sido vista como uma forma de minimizar o erro humano. Entretanto, alguns acidentes graves em plantas químicas e nucleares têm chamado a atenção para a possibilidade de ocorrência de eventos não previstos pelos projetistas dos sistemas de controle. Nesses casos, a falta de disponibilidade de informações não-relevantes, ocupando tanto os sistemas quanto seus operadores, fez com que irregularidades rapidamente evoluíssem para catástrofes. Verificou-se também que nem sempre os operadores possuem um conhecimento sobre o processo coerente com quem o projetou.

No antigo caso do tear, houve uma migração da inteligência do operador, que, por meio de várias operações, produzia desenhos no tecido, para “dentro” da máquina. É um caso semelhante ao dos tornos mecânicos, em que o conhecimento do operador é “internalizado” na máquina-ferramenta por meio de um programa, gerado autonomamente ou na atividade de projeto da peça. A montagem de placas eletrônicas, necessariamente automática por causa das minúsculas dimensões manuseadas, obedece a programas gerados durante o projeto dessas placas.

A multiplicação dos exemplos leva sempre ao fato de que, independentemente da natureza do processo ou do produto, o conhecimento está “embutido” no sistema de controle automático e seus dispositivos. Isso é particularmente importante na elaboração de políticas de atração de investimentos produtivos, pois o fomento também às atividades de engenharia de produtos ou processos associadas a esses investimentos é o primeiro passo no sentido do seu “enraizamento”.

Por outro lado, as indústrias e atividades associadas à automação do controle de processos podem representar um importante papel na geração de empregos altamente qualificados em física, química, engenharia, *software* e eletrônica e microeletrônica. Mais, a automação industrial pode contribuir para canalizar atividades científicas para a criação de produtos com elevado conteúdo tecnológico e alto valor agregado. Contudo, para que estes efeitos benéficos se tornem realidade, é fundamental incrementar o valor agregado no país aos produtos e serviços de automação que aqui são consumidos.

Este trabalho apresenta as principais definições associadas a sistemas de controle automático de processos industriais, com ênfase nos contínuos, sua evolução histórica e tendências. São feitas considerações sobre o mercado dessa indústria no mundo e no Brasil. Por fim, são apresentadas propostas para o país e indicadas linhas de ação para o BNDES.

Pode-se dizer que o desejo de controlar os processos industriais acompanha o homem desde a criação das primeiras máquinas.

Histórico e Evolução

Até a década de 1940, as plantas eram operadas manualmente por um grande número de operadores, os quais valiam-se de alguns poucos instrumentos mecânicos elementares que realizavam controle local. Com o passar do tempo, a elevação dos custos dos insumos e o desenvolvimento de equipamentos e processos maiores e mais elaborados, impactando diretamente atividades de comissionamento, operação e manutenção, tornaram necessária a utilização de formas de controle mais precisas. Surgiram, então, os instrumentos pneumáticos, que permitiam a transmissão de informações sobre as variáveis do processo, através de tubulações específicas, até uma certa distância. Isso permitia que os controladores ficassem reunidos em uma mesma sala, a sala de controle do processo.

A introdução da eletrônica analógica durante as décadas de 1950 e 1960 possibilitou a ampliação das distâncias entre elemento de campo e sala de controle e a simplificação da transmissão de informações, contribuindo também para a disseminação de sistemas de controle automático. A construção de sistemas elaborados foi possível porque, paralelamente, a teoria de controle e análise dinâmica, antes privativa dos sistemas elétricos e aeroespaciais, passou a ser aplicada também a processos e plantas industriais.

Com a criação da instrumentação eletrônica digital nos anos 1970 e 1980, o grau de automação das instalações industriais

foi ampliado. A disponibilidade de novos componentes eletrônicos e de *software* contribuiu enormemente para o crescimento desse mercado. O desenvolvimento de métodos de identificação, otimização e controle avançado dos processos, bem como de multiplexação nos sistemas de comunicação, aliados ao aumento da capacidade de processamento dos computadores e componentes microeletrônicos, expandiu as aplicações de sistemas de controle de processo automáticos. Estes passaram a incorporar também o conhecimento de especialistas sobre os processos por meio de técnicas de inteligência artificial.

Mais modernamente, a tendência à padronização de elementos e de protocolos de comunicação (descritos a seguir) vem reduzindo os custos associados à implantação dos sistemas de controle, naturalmente quando se comparam sistemas com especificações idênticas, porém produzidos em épocas diferentes. A convergência tecnológica, originada na utilização da eletrônica digital, vem aproximando os sistemas de controle da TI (tecnologia da informação) e de seus paradigmas, no sentido da interligação desses sistemas com os sistemas de gestão integrada das empresas e o acesso a informações e relatórios de controle pela Internet e terminais portáteis. Os dispositivos de controle vêm se apropriando das mais modernas conquistas da eletrônica, por meio da utilização de componentes com maior velocidade e capacidade de processamento, o que se reflete imediatamente na miniaturização dos dispositivos e no aumento da sua funcionalidade, sensibilidade e precisão, assim como na diminuição do seu tempo de resposta. Têm sido intensos os investimentos em desenvolvimento de *software*, tanto no *software* embarcado em dispositivos de controle, que aumentam a facilidade e flexibilidade do seu uso, quanto de produtos voltados à otimização de sistemas e controle avançados de processo. Novas tecnologias vêm sendo incorporadas aos sistemas de controle, como a comunicação sem fio (*wireless*) e a adoção de instrumentos baseados em ultra-som, exemplos de novas aplicações de princípios físicos.

Tudo isso tem expandido ainda mais a área de atuação do controle, indo além dos processos industriais e das plantas de infra-estrutura para abranger também sistemas prediais e de logística, procedimentos médicos e automação doméstica, por exemplo. No entanto, tal diversidade de aplicações dificulta o estudo do tema, razão pela qual este trabalho foi circunscrito aos processos industriais.

Aspectos Técnicos

Teoria do Controle

Os sistemas de controle automático na indústria operam em paralelo à linha de produção e são utilizados para coordenar, monitorar, alterar e registrar as condições de máquinas, produtos e processos. Têm como principais requisitos, que devem ser atendidos simultaneamente, a minimização da intervenção humana, a

manutenção de condições de segurança operacional e a garantia de respostas em tempo real.

Na automação de um processo produtivo, é necessário empregar dispositivos mecânicos, elétricos e eletrônicos que desempenhem funções equivalentes às humanas nas atividades de supervisão e controle, tais como coleta e análise de dados e correção de rumos. Para o atributo dos sentidos humanos, foram desenvolvidos os sensores ou instrumentos de medição, que medem e informam os dados sobre o andamento do processo. Para as funções executadas pelo cérebro humano, foram criados dispositivos denominados controladores, que recebem e processam as informações fornecidas pelos sensores, calculando as medidas a adotar e emitindo instruções para os atuadores. Esses são os dispositivos que executam as ações que seriam realizadas pelos membros humanos para corrigir variações detectadas pelos outros dispositivos ou alterar as respostas do processo.

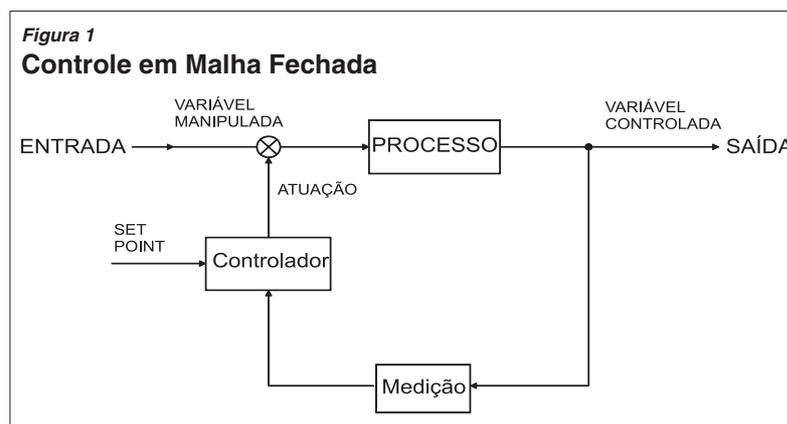
O controlador é um dispositivo que monitora e pode alterar as variáveis de saída de um sistema dinâmico por meio do ajuste das variáveis de entrada do sistema. Por essa razão, as variáveis de saída recebem o nome de controladas e as variáveis de entrada são chamadas de manipuladas. Podem ser variáveis, seja de entrada ou de saída, temperatura, pressão, nível, vazão, densidade, tempo, velocidade, potência, tensão (elétrica), corrente, frequência, estado (ligado ou desligado), peso, dimensão e posição.

Pode-se imaginar um tanque de água alimentado por uma bomba simples, no qual o líquido deve manter-se entre os níveis mínimo e máximo. Tem-se, então, como variável controlada a altura do líquido e como variável manipulada o estado da bomba (ligada-desligada). Sempre que a água atinge o nível mínimo, um sensor detecta essa condição e informa ao controlador, o qual aciona a bomba. Quando a água atinge o nível máximo, outro sensor envia essa informação ao controlador, que desliga a bomba. Esse exemplo ilustra um sistema de controle simples, no qual apenas uma variável é manipulada e pode assumir somente dois estados discretos.

Denomina-se malha de controle ao circuito composto pelos sensores, controladores e atuadores, que realiza o ciclo de ações básicas necessárias ao controle automático de um processo produtivo. Uma máquina ou uma planta industrial completa pode ser composta por apenas uma ou por centenas de malhas de controle que, em conjunto, executam a automação total da máquina ou unidade produtiva.

Um conceito básico na teoria de controle é o de malha fechada, com realimentação (*feedback*), na qual a variável de saída

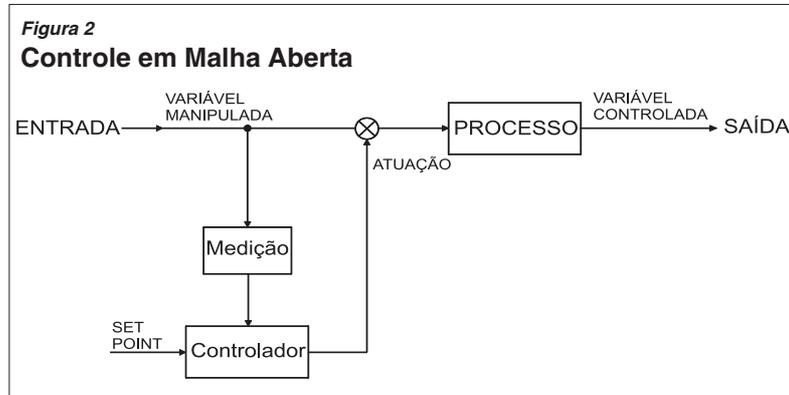
é realimentada ao controlador. Este compara o nível da saída com o valor de referência definido (*set point*) e, em função da diferença (erro), aumenta ou diminui o valor da entrada, até que o valor da saída alcance o valor ideal. Casos imprevistos são detectados e tratados pelo controlador, porém, caso haja um desvio muito grande do valor de referência, pode ser necessário um certo tempo para que seja recobrado o equilíbrio do sistema. A Figura 1 ilustra um sistema de malha fechada.



Outro conceito importante é o de malha aberta, ou seja, que não possui realimentação, caso em que o controle é conhecido como antecipativo (*feedforward*). Tal controle é adequado aos processos em que seria muito longo o período de tempo necessário para que as variáveis de saída apresentassem mudanças em função da realimentação. Contudo, é fundamental que o comportamento do processo controlado seja perfeitamente conhecido para que as respostas possam ser adequadamente antecipadas. Ao ser detectado qualquer distúrbio que afete a variável de entrada, imediatamente é tomada uma ação corretora. O inconveniente da malha aberta é que, caso ocorram variações imprevistas, não há como o sistema corrigir sua atuação. Por exemplo, um aparelho de irrigação programado para funcionar todos os dias durante um determinado período de tempo continuará sendo ligado da maneira programada mesmo que esteja chovendo. Um sistema de malha aberta é mostrado na Figura 2.

Um dos grandes desafios da automação consiste em determinar com precisão quais são as variáveis que devem ser manipuladas e em que magnitude, para que as variáveis controladas se mantenham nos valores desejados. Os cálculos efetuados com esse objetivo são incorporados aos algoritmos executados pelos controladores, para emissão das ordens enviadas aos atuadores. O procedimento mais adotado para esses cálculos e também o mais tradicional é o denominado controle PID (Proporcional – Integral – Derivativo), que se baseia nos desvios já ocorridos. Contudo, a

pesquisa nesse campo é intensa e outros procedimentos vêm sendo testados e implementados, como sistemas especialistas e os baseados em lógica *fuzzy*, que incorporam a experiência humana nos modelos de determinação das respostas de controle.



Os sistemas de controle de processos podem ser classificados da seguinte forma:

Tipos de Processos

- *Discretos*. Referentes à fabricação de produtos ou peças que podem ser contados como unidades individuais e na qual predominam as atividades discretas. São exemplos desse tipo de processo a produção de placas de metal estampadas, de automóveis, aviões, bens de capital, brinquedos, eletroeletrônicos, computadores, vestuário, tijolos, pneus e calçados.
- *Bateladas*. Relativos a bens cuja produção requer que determinadas quantidades de matérias-primas sejam combinadas de forma apropriada durante um dado período de tempo. Apesar de intermitentes (descontínuos), tais processos têm natureza contínua durante o período de atividade. São exemplos a fabricação de colas ou de alimentos, em que a mistura de insumos, em proporções calculadas, precisa ser mantida aquecida durante um tempo preestabelecido. Também podem ser classificadas nessa categoria as indústrias farmacêutica, de bebidas, de produtos de limpeza, de alimentos, cerâmica, fundição e de embalagens.
- *Contínuos*. Referentes a sistemas em que as variáveis precisam ser monitoradas e controladas ininterruptamente. É o caso, por exemplo, de siderúrgicas, da produção de combustíveis, gás natural, produtos químicos, plásticos, papel e celulose, cimento e açúcar e álcool.

Tipos de Dispositivos

Diversos dispositivos podem ser usados na composição de um sistema de controle automático, porém, de maneira geral, pode-se dizer que em um dado sistema precisam estar contempladas as seguintes funções:

- Aquisição de dados;
- Adaptação dos dispositivos ao sistema;
- Comunicação intra-sistema;
- Visualização, supervisão e operação; e
- Definição de parâmetros e algoritmos de otimização.

Como o sistema de automação precisa atuar de forma interativa, coordenada e integrada, o desempenho de cada componente é crítico para a eficiência do conjunto, o que, por sua vez, pode afetar o desempenho de toda a planta. Entre os vários fatores que podem afetar o desempenho do sistema de controle automático, podem ser citados os seguintes:

- a qualidade dos dispositivos sensores, controladores e atuadores, pois deles dependem diretamente a precisão e a velocidade de resposta do sistema;
- as estratégias de controle adotadas, inseridas nos algoritmos executados pelo controlador, as quais determinam as ações a serem executadas;
- as velocidades de processamento e de resposta do controlador; e
- a qualidade da rede de comunicação de dados intra-sistema.

De maneira geral, os instrumentos de controle recebem o nome da variável do processo à qual estão relacionados. Por exemplo, indicador de nível, sensor de pressão etc. Essa variável pode ser de natureza contínua, como pressão, temperatura ou vazão, ou pode ser de natureza discreta, como aquelas condicionadas à ocorrência de eventos – detecção de presença, estado de ligado ou desligado ou fim-de-linha.

Os principais instrumentos que compõem uma malha de controle, estejam eles no campo ou em uma sala de controle, são apresentados a seguir.

Sensor ou Medidor

Instrumento cuja função é medir o valor de uma variável. É composto por dois elementos com funções distintas: elemento de detecção é a parte do instrumento que sofre uma alteração física proporcional à variação do fenômeno que está sendo medido; elemento de transdução ou transdutor é a parte do instrumento que converte a variação física sofrida pelo elemento de detecção em outra grandeza física mais adequada à medição e à leitura.

Indicador

Instrumento que apresenta o valor medido de uma variável.

Transmissor

Dispositivo que converte o sinal oriundo do sensor em um sinal compatível com o padrão da rede de comunicação. Pode incorporar ou não a função de sensor. Comercialmente, o termo transmissor é utilizado para designar dispositivos que incorporam as três funções – sensor, transdutor e transmissor – em um único produto.

Conversor

Dispositivo que, a partir do sinal de entrada, produz um sinal de saída de natureza distinta, porém adequado à transmissão em determinado padrão. Por exemplo, convertendo uma grandeza física medida de variação analógica em um sinal digital.

Controlador

Dispositivo que manipula determinada variável de entrada do sistema de forma a manter a variável de saída no valor de referência definido.

Pode ser mecânico, pneumático, elétrico ou eletrônico, sendo este analógico ou digital. Todos têm as lógicas de controle implementadas na sua estrutura física, à exceção do dispositivo digital, no qual a lógica de controle é implementada por meio de *software*, executado em seus circuitos.

Em intervalos periódicos de tempo (*scan time*), realiza uma varredura das entradas, lendo os sinais provenientes do campo, e os processa, comparando-os com os valores de referência predeterminados, após o que envia comandos às saídas. Pode

realizar operações de conversão de sinais analógicos em digitais e vice-versa e também comunicar-se com a interface humano-máquina, responsável pela interação do sistema com o operador.

É diferenciado por características importantes, como a redundância da unidade de controle, a elevada frequência de amostragem, o baixo tempo de leitura dos dados de entrada, a alta velocidade de execução do controle e os protocolos de comunicação com os quais tem conectividade.

Controlador Lógico Programável (CLP)

É o tipo de controlador de maior aplicação na indústria. Possui elevada capacidade de processamento. Funciona em tempo real, é projetado para controlar múltiplas entradas e saídas e também para funcionar em ambientes hostis, pois suporta grandes variações de temperatura e tem imunidade a ruídos elétricos e resistência a vibração e impacto.

Os programas são, em geral, construídos em uma aplicação específica em um microcomputador e depois carregados no CLP por cabo ou via rede, sendo armazenados em memórias não-voláteis. O equipamento é fornecido com um *software* de programação que possibilita ao usuário desenvolver aplicativos voltados às suas necessidades específicas. Inicialmente, a linguagem de programação utilizada era proprietária, desenvolvida de forma isolada por cada fabricante, e não permitia interação entre dispositivos de fabricantes diferentes. Porém, a partir de 1993, a norma IEC 1131 estabeleceu padrões para a linguagem que passaram a ser adotados internacionalmente.

Programmable Automation Controller (PAC)

É um tipo de controlador de desenvolvimento recente, que desempenha funções semelhantes ao CLP, mas dispõe de recursos mais sofisticados de *hardware* e *software* que facilitam a integração e a troca de informações com outros dispositivos e programas de controle. À funcionalidade lógica de um CLP, o PAC acrescenta a capacidade de controlar também processos contínuos e movimentos, podendo executar aplicações de automação tanto em indústrias de processo como em indústrias discretas.

Registrador

Dispositivo que armazena os valores assumidos pela variável controlada, seja através da impressão de um gráfico, seja pela gravação digital dos dados.

Atuador

Dispositivo que, recebendo o comando do sistema de controle, o converte em uma ação física no sentido de alterar a variável manipulada.

Os atuadores mais utilizados na indústria são aqueles associados a válvulas de controle e a motores. As válvulas de controle, muito usadas em indústrias de processo contínuo, regulam a vazão de um fluido – líquido, gás ou vapor – por meio de ajustes na abertura através da qual o fluido escoar. O sinal recebido do controlador é convertido pelo posicionador da válvula em uma grandeza hidráulica, pneumática ou elétrica capaz de movimentá-la de forma adequada à ação pretendida. Já os motores convertem energia elétrica em movimento e trabalho. Integram máquinas-ferramenta e robôs, sendo também empregados em um grande número de máquinas industriais. O sinal recebido do controlador comanda a ação dos acionadores dos motores, equipamentos eletrônicos capazes de alterar a frequência e/ou a tensão de alimentação dos motores, de forma a produzir movimento na velocidade e torque desejados.

Chave

Dispositivo que tem por função ligar, desligar ou transferir ligações entre circuitos, inclusive circuitos de alarme, segurança, sinalização etc.

Adaptador

Dispositivo utilizado para permitir a comunicação entre redes. Estão incluídos nesta categoria o *gateway*, ou porta de ligação, e o *linking device*, que viabilizam a troca de dados entre redes diferentes.

Interface Humano-Máquina (IHM)

Dispositivo utilizado para visualização de dados do processo, bem como para alteração de seus parâmetros e de condições de operação das máquinas. É através da IHM que o operador pode interagir com o sistema controlado. Seus principais componentes são monitores de vídeo (*displays*), teclas e botões para navegação ou inserção de dados, barramentos para placas de expansão, portas de comunicação e *software*.

Comando Numérico Computadorizado (CNC)

Dispositivo dedicado ao controle automático de máquinas-ferramenta – por exemplo, tornos, fresadoras, mandrilhadoras e retificadoras –, possibilitando que as ferramentas de corte ou usinagem e as peças a serem processadas sigam automaticamente trajetórias móveis previamente programadas. Beneficia-se do conceito da separação entre programação e operação. Assim, o programa pode ser introduzido na memória do CNC pelo operador da máquina por meio de uma IHM própria ou pode ser carregado diretamente por um sistema CAD (*Computer Aided Design*)/CAM (*Computer Aided Manufacture*). Nesse último caso, uma das fases finais do projeto de uma peça, feito com o auxílio do computador, é a geração do programa para a fabricação a ser enviado ao CNC.

Além de executar o programa citado, o CNC recebe, como entradas, sinais dos sensores localizados na máquina, com informações como a velocidade da ferramenta e a posição da peça, e envia, como saídas, sinais de controle para os acionamentos dos motores da máquina. Desempenha, portanto, a função de controlador no sistema automático constituído pela máquina.

Embora tenha sido desenvolvido para controlar máquinas-ferramenta, atualmente o CNC é utilizado no controle de outras máquinas industriais voltadas a operações automáticas de corte a laser, solda por ultra-som, furação, *picking and placing*,¹ corte de tecidos etc.

¹ Utilizada para a montagem de componentes em placas eletrônicas.

Robô

Sistema eletromecânico que transmite a um observador a impressão de agir por si próprio, seja pela sua aparência seja por seus movimentos. Diferencia-se de uma máquina automática programável (como as controladas por CNC) pelos seguintes aspectos: por sentir o ambiente e interagir com ele; por ser capaz de fazer escolhas com base no ambiente; por possuir movimentos de rotação ou translação; e por ser capaz de manipulação coordenada e hábil. Embora subjetiva, a qualidade de aparentar ter intenção muitas vezes é o que determina a sua classificação como robô, o que pode ser especialmente observado se o robô possuir um membro, tal como um braço. É utilizado predominantemente em processos discretos em atividades como pintura, soldagem, colagem e montagem.

Um robô contém na sua estrutura todos os elos de uma malha de controle: sensores, controladores e atuadores. Além disso, pode ter os seguintes componentes:

- corpos rígidos, também chamados de elos, com tamanhos e formas variadas;
- juntas, utilizadas para unir elos formando os braços, cotovelos, antebraços e punhos do robô;
- punho, também chamado de flange, que é o ponto extremo do último elo, responsável pela fixação e pela orientação dos efetadores; e
- efetador, ou órgão terminal, que tem por função o manuseio de peças e a ação final efetiva, podendo ser constituído por bico de solda, garras, ganchos e ferramentas.

A transmissão de dados entre sensores, controladores e atuadores pode ser realizada por meio de sinais pneumáticos (de pressão) ou sinais elétricos. Os sinais pneumáticos foram os primeiros a serem utilizados, a partir da década de 1930, adotando uma faixa de pressões como padrão, por exemplo, de 3 psi a 15 psi ou de 3 psi a 27 psi. O surgimento, nos anos seguintes, de transistores, circuitos integrados e relés de estado sólido, que tornaram confiável o controle por meio eletrônico, levou à inevitável evolução dos antigos sistemas.

Redes Industriais de Comunicação

A comunicação por sinais elétricos analógicos (contínuos) começou a ser utilizada a partir da década de 1960 e permitiu a substituição de grande quantidade de tubos utilizados para a transmissão pneumática, o que reduziu substancialmente o custo de instalação dos sistemas, bem como o tempo de transmissão dos sinais, naturalmente lento nos sistemas pneumáticos. Entretanto, em algumas situações, o emprego de sinais pneumáticos continua sendo indicado, como em indústrias com áreas classificadas, ou áreas de segurança intrínseca, que devem atender a normas mais rigorosas de segurança para minimizar riscos de explosão e requerem recursos diferenciados de automação. São exemplos dessas indústrias as termelétricas a gás natural e refinarias de petróleo.

A substituição da instrumentação pneumática pela eletrônica trouxe consigo alguns padrões, referentes às ligações realizadas através de pares de fios que ligavam os elementos de campo aos controladores. Para a instrumentação analógica, a corrente que circulava pelos fios variava entre 4 mA e 20 mA. Já a instrumentação digital utilizava a interface serial RS-232. Com a evolução da

eletrônica e dos sistemas de comunicação, passou a ser adotada no campo um tipo de conexão semelhante à utilizada pelas redes corporativas, dispensando a ligação individual de todos os elementos ao controlador. Na nova conexão, todos os elementos, inclusive os controladores, estão ligados a um mesmo barramento no qual as informações, sempre digitais, circulam multiplexadas. Os próprios elementos de campo passaram a incorporar circuitos eletrônicos de maneira que toda a informação enviada ou recebida obedeça ao mesmo formato-padrão, o protocolo.

As novas redes, denominadas redes de campo, ou redes industriais (*fieldbuses*), trouxeram vários benefícios para a automação, tais como:

- redução de custos de instalação da rede (fiação e armários de terminações), pois técnicas como a multiplexação fazem com que a mesma infra-estrutura seja capaz de transportar uma quantidade de dados centenas de vezes superior;
- acesso remoto a dispositivos para configuração, diagnóstico e detecção precoce de falhas, fornecendo elementos para manutenção preditiva;
- distribuição de tarefas de controle a dispositivos de campo sob supervisão central; e
- troca de informações entre dispositivos como sensores, controladores e atuadores, todos conectados ao mesmo barramento de controle, em tempo real.

Como desvantagens, podem ser citados a necessidade de maior qualificação dos usuários e das equipes de manutenção e o preço mais elevado dos componentes individuais, que precisam incorporar elementos de comunicação mais poderosos.

As redes industriais distinguem-se das redes de comunicação corporativas por precisarem atender a requisitos mais rigorosos de resistência mecânica, por serem compatíveis com ambientes agressivos e corrosivos, com operação em temperaturas elevadas, e por possuírem maior imunidade a interferências eletromagnéticas.

Como as necessidades de transmissão em termos de volume e velocidade dos dados variam de acordo com o tipo de dispositivo, as redes industriais são divididas em camadas, de acordo com os requisitos de comunicação exigidos:

- Barramento de Campo (*sensorbus*), que conduz a comunicação de sensores e atuadores com os controladores. Requer capa-

cidade de transmissão de pequeno volume de dados em altas velocidades.

- Barramento de Controle (*devicebus*), que atende à comunicação dos controladores entre si e com o nível de supervisão. Requer capacidade de transmissão de média quantidade de dados em médias velocidades.
- Barramento de Supervisão, que conduz a comunicação entre as estações de supervisão e controle e os CLPs e níveis superiores de administração. Transfere grande volume de dados em tempos não-críticos, ou seja, não precisa de tempo real.
- Camada Corporativa, que atende ao *software* de engenharia (CAD/CAE), de otimização de processo, ERP (*Enterprise Resource Planning*) etc. Conduz um grande volume de dados em tempos não-críticos. O meio de transmissão usual é a rede Ethernet.

Fisicamente, as redes industriais vêm sendo construídas com cabos metálicos – par trançado e cabo coaxial – e fibras ópticas. Algumas implementações de redes sem fio (*wireless*) começam a ser construídas. Acredita-se que as redes sem fio sejam a solução para situações em que a utilização de cabos elétricos é inviável, como aquelas que envolvem dados a grandes distâncias, obstáculos físicos, interferências elétricas ou em áreas classificadas.

De acordo com o ARC Advisory Group, os negócios envolvendo redes sem fio constituem o segmento de negócios em automação industrial com maiores perspectivas de crescimento, com taxas superiores a 32% a.a. até 2010, quando deverão atingir US\$ 1,18 bilhão. Em 2005, esses valores foram de apenas US\$ 325 milhões.

Atualmente, as redes sem fio estão sendo utilizadas em aplicações que não requerem respostas em tempo real, como manutenção de equipamentos e monitoramento de redes de distribuição de água, energia e combustíveis. Os padrões para comunicação sem fio em redes industriais ainda estão sendo desenvolvidos.

Para que diferentes dispositivos possam trocar informações, é necessário que sejam estabelecidos códigos e regras comuns de comunicação, denominados protocolos.

Existem em operação protocolos digitais industriais proprietários e abertos. Os protocolos proprietários foram os primeiros

Protocolos de Comunicação

a surgir, desenvolvidos por grandes empresas fabricantes de dispositivos e fornecedoras de sistemas completos (pacotes) de automação. Quanto aos protocolos abertos, foram desenvolvidos por instituições internacionais formadas principalmente por associações de fabricantes, que se encarregam da sua divulgação e da sua implementação em âmbito mundial. Os protocolos abertos propiciaram a interoperabilidade entre equipamentos produzidos por fabricantes diferentes, beneficiando os usuários, que se tornaram menos dependentes de um único fornecedor. Foram beneficiados também os fabricantes de menor porte, que tiveram aumentadas suas chances de participação em fornecimentos de pacotes de automação das grandes fornecedoras.

Em função de existirem necessidades diferentes relativas às diferentes aplicações, alguns padrões vêm sendo estabelecidos. Por exemplo, uma indústria automotiva é funcionalmente diferente de uma planta de produção química e o protocolo de comunicação, para ajustar-se adequadamente ao processo, precisa refletir essas diferenças. Isto leva a que um mesmo dispositivo individual precise ser ofertado em diferentes padrões, elevando o custo não somente do seu desenvolvimento como também da sua certificação individual.

A maioria dos padrões digitais foi levada ao mercado durante a década de 1990 por iniciativa dos próprios fabricantes, tanto nos Estados Unidos (EUA) quanto na Europa. Atualmente, os dois padrões mais difundidos são o Foundation Fieldbus (FF), cuja tecnologia é disponibilizada pela Fieldbus Foundation dos EUA, e o Profibus, disponibilizado pela Profibus International da Alemanha.

Outro protocolo muito usado é o HART (Highway Addressable Remote Transducer Protocol), uma das primeiras implementações de barramento de campo. Embora digital, aceita também comunicação analógica no padrão 4-20mA, o que o torna compatível com a enorme base instalada analógica existente no mundo. Desenvolvido pela Rosemount (EUA) em meados da década de 1980 como um protocolo proprietário, o HART tornou-se pouco depois um padrão aberto e tem evoluído desde então.

Muito difundido também é o protocolo Modbus, publicado pela Modicon (EUA) em 1979 para uso do seu CLP. Tornou-se um padrão de fato na indústria, porém apresenta limitações, pois, por haver sido desenvolvido na década de 1970, não possibilita a realização de funções desempenhadas pelos CLPs atuais.

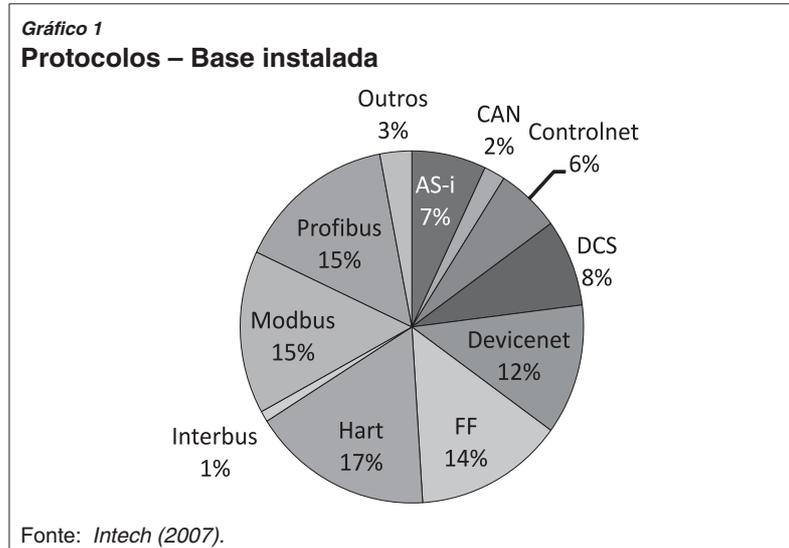
Mais recentemente, um grande número de sistemas de comunicação industrial vem sendo desenvolvido para uso de redes Ethernet em tempo real como base para os protocolos de controle, com o objetivo de facilitar a integração total da empresa. Contudo,

esse uso ainda não foi consolidado, por limitações da Ethernet e dificuldades na interoperabilidade entre equipamentos de fornecedores diferentes.

O crescimento das unidades industriais tem sido acompanhado pela expansão dos respectivos sistemas de controle, normalmente, porém, sem a substituição dos sistemas existentes, o que tem levado à coexistência em uma mesma instalação industrial de tecnologias e protocolos diferentes.

Em 2007, a *InTech* americana, revista da The Instrumentation Systems and Automation Society (ISA), divulgou os resultados de uma pesquisa por ela realizada sobre o uso de protocolos de automação na indústria e suas tendências. As empresas entrevistadas distribuíam-se da seguinte maneira: com controle de processos contínuos, 44%; com controle de processos discretos, 24%; com controle de processos em batelada, 18%; com controle híbrido, 12%; e outros, 2%.

Cerca de 80% dos entrevistados fazem uso de protocolos em seus processos, embora na grande maioria dos casos haja mais de um protocolo na planta industrial. A base instalada de cada um desses protocolos pode ser vista no Gráfico 1. Destacaram-se também o FF e o Profibus como os dois protocolos com participação crescente no mercado.



Os resultados da pesquisa mostram uma tendência clara para a adoção de barramento de campo e de redes Ethernet. Contudo, a conexão à Internet é vista com reservas, dada a desconfiança em relação a possíveis invasões por *hackers*.

Software

O desenvolvimento de *software* para automação industrial foi grandemente impulsionado pela adoção dos protocolos digitais, tanto sob a forma de *software* embarcado, dada a necessidade de *drivers* de comunicação para os dispositivos, quanto de ferramentas de *software* para supervisão, controle, calibração e configuração remota de instrumentos de campo. Surgiu também a oportunidade de criação de programas para tratamento da grande quantidade de dados que passou a ser transmitida do campo para a sala de controle, bem como para geração de informações úteis para outros setores da empresa.

Os tipos de *software* mais comumente empregados no controle e na automação industrial são listados abaixo e brevemente descritos.

Supervisório ou software de supervisão. *Software* que se presta a fazer a comunicação entre um computador e uma rede de automação, trazendo ferramentas padronizadas para a construção de interfaces entre o operador e o processo. Sua função básica é permitir a visualização e a operação do processo de forma centralizada. O supervisório mais conhecido é o SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

Software configurador. Proporciona os recursos e o ambiente para a criação de aplicações de controle e para a definição de funções de rede de protocolos específicos. Trata-se de ferramentas voltadas à criação de aplicativos de controle baseados na lógica PID, sistemas especialistas para controle de processos e aplicativos de execução de lógicas *fuzzy* e *neuro fuzzy*. Voltadas também à configuração de redes para aplicação de protocolos industriais como o FF ou o Profibus.

MES (Manufacturing Execution System). Controla todo o fluxo produtivo, incluindo estoques de matérias-primas, produtos em processamento e disponibilidade de máquinas. Através do MES, podem ser calculados os KPI (*Key Performance Indicators*), que contribuem para a melhoria do desempenho da planta.

PIMS (Plant Information Management System). *Software* utilizado para armazenamento de todas as informações relevantes de processo. Coleta informações dos sistemas de supervisão, sistemas de controle e sistemas legados (já existentes) e os armazena em uma base de dados, que se distingue dos bancos de dados convencionais por ter grande capacidade de compactação e alta velocidade de resposta a consulta.

EAM (Enterprise Asset Management). *Software* empregado no gerenciamento dos equipamentos de uma planta.

CMMS (Computerized Maintenance Management System). Software de gerenciamento da manutenção que aproveita os dados e sinais transmitidos pela rede de automação e controle para registrar anomalias de funcionamento de equipamentos e agilizar a atuação das equipes de manutenção.

Existe a utilização também de outros tipos de *software* para, por exemplo, monitoramento e avaliação de desempenho das malhas de controle, tais como variabilidade da qualidade da produção, desgaste de atuadores e maior consumo de utilidades e matérias-primas. Podem ser incluídas nessa relação ainda as ferramentas de programação de CLPs e IHMs, bem como os *softwares* de auxílio ao projeto, à engenharia e à manufatura CAD/CAE/CAM.

Entre os diversos tipos de sistemas de controle industriais, os mais conhecidos são os Sistemas Digitais de Controle Distribuído (SDCD). Contudo, um número cada vez maior de sistemas de controle se baseia na utilização dos CLPs. O constante surgimento de novos componentes eletrônicos, mormente os circuitos integrados, e de mais complexas formas de transmissão e protocolos de comunicação de dados têm levado a uma aproximação dos dois mundos – o do SDCD e o do CLP. Este foi muito além das operações discretas e atualmente é capaz de controlar múltiplas malhas, além de comunicar-se com sistemas na sala de controle, substituindo com seu custo menor várias aplicações proprietárias do SDCD. Por seu turno, o SDCD tem atendido às pressões dos usuários no sentido da padronização e da interoperabilidade e já há até a possibilidade de CLPs fazerem parte dos sistemas.

Essas transformações – o crescimento do CLP e a “abertura” do SDCD – ainda não chegaram ao seu final. Por outro lado, existe no mundo um imenso legado de instalações em operação nas mais variadas tecnologias, daí a grande importância que assume a capacidade de comunicação e integração entre diferentes sistemas.

A seguir, cada tipo de sistema de controle citado é apresentado mais detalhadamente.

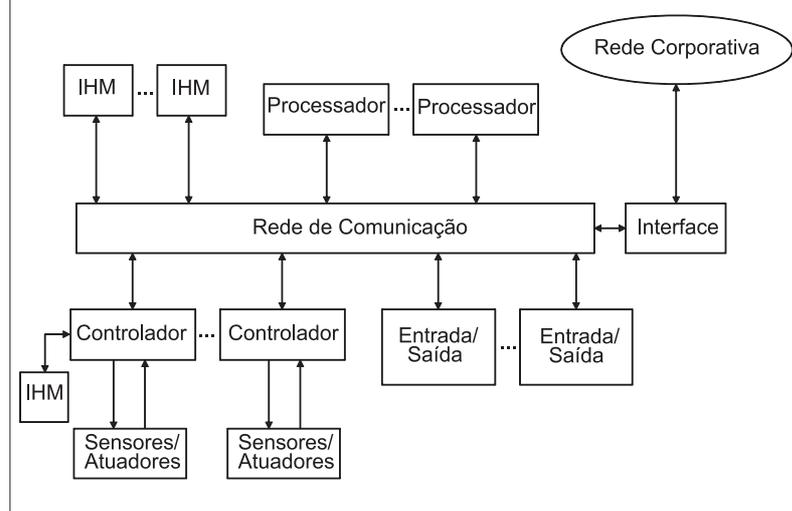
SDCD

O SDCD é um sistema integrado no qual um nível supervisor de controle monitora múltiplos subsistemas integrados, responsáveis pelo controle de processos locais. No SDCD, a função de controle não é centralizada, porém está distribuída pelo sistema, sendo cada subsistema controlado por um ou mais controladores interligados por uma rede de comunicação e monitoramento.

Sistemas de Controle Industriais

Figura 3

Esquema Básico de um SDCD



Concebido em fins da década de 1970 para automatizar a operação de unidades inteiras de plantas em indústrias de processo contínuo ou em batelada, o SDCD foi desenvolvido na forma de um pacote proprietário fechado (*hardware + software + rede de comunicação*) com recursos adaptados às peculiaridades de cada um dos segmentos da indústria – siderurgia, fabricação de cimento, metalurgia, produção de plásticos, refino de petróleo, alimentos etc. Embute requisitos rigorosos de redundância, de gerenciamento de alarmes e de comunicação em tempo real. Por ter aplicações especializadas, voltadas a um grupo restrito de empresas, que podem aproveitar ao máximo suas funcionalidades, apresenta elevada eficiência. Por outro lado, tem custo elevado e baixa flexibilidade para modificações, não sendo passível também de padronização e produção em massa. Mais recentemente, atendendo a pressões dos próprios clientes, os fornecedores de SDCD tornaram os seus produtos mais flexíveis e abertos e até adotaram protocolos padronizados, com a possibilidade de inserção de *hardware* e *software* de terceiros nos seus sistemas.

O SDCD utiliza computadores dedicados como controladores, cada um deles capaz de gerenciar um grande número de malhas de controle. Essas unidades locais de controle, situadas próximo aos instrumentos de campo, são as responsáveis pelo processamento, desta forma distribuído, e pelas ações de controle, conduzidas de forma autônoma.

O sistema tem também módulos de entrada e de saída. Os módulos de entrada recebem informações de instrumentos do processo, enquanto os de saída enviam informações para outros dispositivos no campo. Os elementos de campo de um SDCD po-

dem estar ligados aos equipamentos do processo diretamente ou através de outro sistema de controle, como o CLP.

As funções de supervisão e comando são realizadas por um computador central na sala de supervisão. Nela, é possível visualizar e operar todo o conjunto das unidades centrais de controle através de consoles ou microcomputadores IHM. Uma estrutura compartilhada de comunicação de dados na qual circulam informações multiplexadas (*data highway*) liga os controladores locais e o computador central.

As arquiteturas denominadas híbridas, desenvolvidas recentemente, oferecem soluções de SDCDs para plantas de menor porte, integradas a CLPs. São oferecidas também plataformas únicas de automação para unidades de processo contínuo, discreto e batelada, operando com vários protocolos de rede.

CLP

O CLP foi criado, ao final da década de 1970, para substituir sistemas automáticos que utilizavam relés, temporizadores e seqüenciadores mecânicos. Foram adotados inicialmente pela indústria automotiva, pois a atualização anual dos modelos requeria que fosse refeita a fiação dos painéis de controle (a relés). O CLP trazia flexibilidade à automação, pois era necessário apenas carregar um novo programa no controlador.

Concebido para processos discretos, o CLP cresceu em funcionalidades ao longo do tempo, passando a incorporar também controle de movimentos, controle de processos, controle distribuído e funcionamento em rede. Atualmente, os CLPs podem operar de forma isolada ou de forma integrada, conectados em rede entre si e com um sistema supervísório. O crescimento do CLP e de suas funcionalidades viabilizou a sua utilização em indústrias de processo e a sua conexão a um SDCD ou a um sistema SCADA.

SCADA

O nome SCADA foi criado para designar sistemas de aquisição de dados e controle distribuídos em grande escala, como em uma grande área geográfica, convergindo para um nível supervísório de forma centralizada. A maior parte do controle local é realizado pelas unidades remotas ou RTU (*Remote Terminal Unit*), eventualmente substituídas por CLPs. O monitoramento centralizado pode realizar intervenções que se superpõem ao comando local. Por exemplo, embora uma determinada região seja supervisionada e controlada por um CLP, este se reporta a uma instância supervi-

sória na qual o operador pode, como resultado de simulações ou projeções realizadas com base nos dados de processo informados, alterar os valores de referência (*set points*) do CLP. Nesse caso, além da malha de controle local, existe uma instância centralizada que monitora e pode comandar a malha. Entretanto, esse poder de comando supervísório não precisa, necessariamente, operar em tempo real, ao passo que a operação em tempo real é crítica para a malha de controle local.

Os dados provenientes do campo são formatados e apresentados ao operador, podendo ser gravados em um sistema histórico, de forma a permitir futuras análises de tendência e auditoria.

Dadas as suas características, um sistema SCADA pode ser utilizado em processos industriais, de geração de energia ou refino de petróleo ou ligado à infra-estrutura, como transmissão de energia elétrica, tratamento e distribuição de água, coleta e tratamento de esgoto, distribuição de gás e redes de telecomunicações.

Como o SCADA, com freqüência, supervisiona processos críticos, nos quais a prevenção de falhas é extremamente importante, o *hardware* utilizado é robusto, capaz de suportar temperatura, vibração e características elétricas extremas, além de ser redundante. Também são construídos com redundância os canais de comunicação entre as RTUs e a estação central, os quais fazem uso de combinações de rádio, ligações diretas ou via *modem*, entre outros. Essa implementação remota da função supervísória do sistema SCADA recebe o nome de telemetria.

Aspectos de Mercado

Atividades Ligadas à Cadeia Produtiva

A automação de processos industriais envolve uma extensa cadeia de atividades que se inicia na pesquisa científica e termina na entrada em operação da unidade produtiva. A evolução tecnológica do setor é constante. Não há duas plantas exatamente iguais e, portanto, sua automação dificilmente é passível de padronização. Os sistemas legados (já existentes) são diferentes e requerem sempre adaptações para compatibilizar equipamentos, aplicativos e infra-estrutura de comunicação novos com os existentes. Tudo isso faz com que as atividades relativas à automação de processos industriais demandem mão-de-obra de elevada qualificação. Entre essas atividades, podem ser destacadas as seguintes:

- a. Concepção e projeto de dispositivos. É a etapa com maior conteúdo de trabalho criativo, que requer a participação de equipe multidisciplinar constituída por pessoal especializado das áreas de ciências dos ma-

teriais, ciências da computação, engenharia mecânica, eletrônica e elétrica.

- b. Elaboração de normas e protocolos de automação.
- c. Desenvolvimento de *software* produto.
- d. Elaboração de estratégias de automação e controle. As estratégias são determinadas por atuação conjunta da engenharia de controle e da engenharia de processo, que conhecem as variáveis relevantes e suas relações de causa e efeito.
- e. Especificação e dimensionamento dos sistemas de instrumentação.
- f. Projeto de detalhamento do sistema de automação.
- g. Desenvolvimento e implantação de novas técnicas de controle avançado. Envolve a utilização de sistemas especialistas, programação de MPC (controlador preditivo multivariável) etc.
- h. Fabricação de dispositivos de automação.
- i. Desenvolvimento da aplicação de *software*.
- j. Projeto da rede industrial. Projeto da rede de comunicação de dados entre os instrumentos de campo e os equipamentos de controle e supervisão, com definição da forma de transmissão de dados, de protocolos de comunicação e dimensionamento e especificação do cabeamento e dos dispositivos e/ou equipamentos de transmissão e recepção.
- k. Implantação e operação do sistema de automação. Envolve seleção, aquisição, instalação, adaptação, ajuste, configuração e teste dos instrumentos, dispositivos, equipamentos e *software* que constituem a plataforma de automação, bem como da rede de comunicação de campo, e a sua integração.

Os primeiros SDCDs chegaram ao mercado em 1975 pelas mãos da Honeywell, Yokogawa e Bristol (incorporada pela Emerson), mais tarde seguidas pela Bailey (incorporada pela ABB) e Foxboro (hoje, do grupo Invensys). Na década seguinte, começaram a ser utilizados alguns padrões de TI (tecnologia da informação) como o sistema operacional UNIX, o protocolo TCP/IP e as redes Ethernet, embora de forma ainda restrita. Datam dessa época também as primeiras tentativas de integração de CLPs e SDCDs.

Pressões de mercado marcaram os anos 1990, fazendo com que fossem adotadas a interface Windows e, principalmente, a padronização do barramento de campo, com a consolidação dos protocolos FF e Profibus. Novos produtos surgiram no mercado nessa época fazendo uso de barramento de campo, trazidos pela ABB, Emerson, Siemens e Yamatake.

Intensivo em *hardware*, quase todo proprietário, o SDCD sentiu fortemente o impacto do lançamento no mercado de componentes eletrônicos padronizados, como microprocessadores e microcontroladores da Intel e Motorola, tornando insustentável manter os altos preços dos sistemas, como havia sido a prática até então. Tal disponibilidade de componentes, somada ao crescimento da capacidade de processamento e de comunicação de outros dispositivos de controle, propiciou que fabricantes de CLPs usassem sua experiência para ingressar no mercado de SDCDs, caso da Rockwell e da Schneider. Em resposta, os tradicionais fabricantes de SDCDs lançaram novas gerações de produtos, consolidando a tendência de combinar os conceitos e as funcionalidades do CLP e do SDCD.

Os fornecedores de SDCD resolveram também mudar de estratégia. Verificaram que o mercado de *hardware* nos países centrais estava alcançando a sua saturação. A maior parte dos sistemas havia sido instalada nas décadas de 1970 e 1980 e o longo tempo de vida dos sistemas, algo em torno de 15 a 20 anos, apontava para um mercado de reposição no Primeiro Mundo. O grande novo mercado surgia nas regiões de maior crescimento industrial – China, América Latina e Leste Europeu. Por outro lado, a padronização possibilitou a entrada no mercado de *hardware* de um grande número de empresas menores, além de esse mercado estar sujeito ao fenômeno geral da TI de forte concorrência com a fabricação asiática, especialmente da China.

Assim, os fornecedores de SDCD iniciaram a transição para um modelo de negócios baseado em *software* e serviços, expandindo seu *portfolio* com a oferta de novas ferramentas e fun-

cionalidades. Tais fornecedores estão, cada vez mais, consolidando suas operações e assumindo o papel de integradores, responsáveis únicos por todo um sistema de automação do controle de um projeto.

Quanto ao CLP, foi lançado pela Modicon (incorporada à Schneider) durante os anos 1970, embora tenha ganhado maior projeção somente durante a década seguinte. A partir daí, o seu crescimento fez com que, atualmente, um grande número de processos industriais se baseie no uso de CLPs, especialmente aqueles processos que não necessitam de uma solução customizada ou que, por outro lado, requerem alta flexibilidade. A possibilidade de conexão de IHM e de comunicação em rede com protocolos padronizados ampliou sua utilização também em SDCDs e sistemas SCADA. Alguns fornecedores de SDCD lançaram seus próprios modelos de CLP.

Além da Schneider, são tradicionais fornecedores de CLP a Allen-Bradley (incorporada pela Rockwell), a ABB, a Honeywell, a Omron e a General Electric (hoje associada à japonesa Fanuc).

Da exposição acima, verifica-se a ocorrência de um intenso processo de consolidação no setor nos últimos anos. Diversos tradicionais fornecedores são agora marcas de corporações multinacionais que ostentam grandes *portfolios* de produtos e soluções integradas, uma vez que há superposição e complementaridade entre soluções SDCD, CLP e SCADA, esta última normalmente referida como *software*. Assim, podem ser citados como expoentes atuais no mercado mundial de controle de processos industriais os seguintes:

- ABB (fusão entre Asea e Brown-Boveri, incorporou a Bailey);
- Emerson (incorporou a Bristol, a Fisher e a Rosemount);
- GE-Fanuc (*joint venture* entre a General Electric e a Fanuc, japonesa);
- Honeywell;
- Invensys (incorporou a Foxboro);
- Rockwell (incorporou a Allen-Bradley);
- Schneider (incorporou Modicon e Telemecanique);
- Siemens; e
- Yokogawa.

Os investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) dessas empresas são elevados, equivalendo a parcelas significativas do seu faturamento. A Tabela 1 apresenta alguns dados sobre as empresas para dar uma idéia do seu potencial competitivo.

Tabela 1
Principais Fabricantes Internacionais Ligados à Automação Industrial

EMPRESA	FATURAMENTO EM 2007 (US\$ BILHÕES)	% DO FATURAMENTO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	DISPÊNDIOS EM P&D (% DO FATURAMENTO TOTAL)
ABB	29,2	27,0	3,9
Emerson	22,0	45,0	1,8
GE Fanuc	n.d.	n.d.	n.d.
Honeywell	34,1	36,6	4,2
Invensys	5,1	45,2	2,8
Rockwell	5,0	100,0	2,4
Schneider	25,5	28,5	2,4
Siemens	102,0	22,9	4,9
Yokogawa	5,0	100,0	7,0

Fonte: *Relatórios anuais das empresas – 2007.*

Nos mercados de cada tipo de sistema de controle, existe ainda o predomínio de um grupo ou outro de empresas, certamente por causa da origem e do histórico de atuação. Assim, o mercado de SDCDs é liderado por Emerson, Yokogawa, Honeywell e ABB. Já o mercado de CLPs é liderado pela Siemens e pela Rockwell.

Demanda

Artigo publicado por John Pfeiffer na revista *InTech*, de fevereiro de 2005, estimava o faturamento total do setor de controle industrial no mundo – equipamentos, sistemas e serviços – em US\$ 99 bilhões, naquele ano. Já os serviços de integração de sistemas em 2005, segundo a Control Systems Integrators Association (CSIA), atingiram o montante de US\$ 20 bilhões.

Em 2007, de acordo com a consultoria ARC Advisory Group, as vendas de automação no mundo ultrapassaram US\$ 50 bilhões, sendo US\$ 32 bilhões para a automação de processos contínuos e US\$ 18 bilhões para a automação de processos discretos. Quanto a perspectivas, a empresa projeta um crescimento para o setor, até o ano de 2011, de 9,6% a.a. para a automação de processos e 6,8% a.a. para a automação discreta.

Assim, apesar da carência de dados consolidados e publicamente disponibilizados, é possível estimar que o volume total de faturamento envolvendo a cadeia de automação industrial no mundo se situa entre US\$ 70 bilhões e US\$ 100 bilhões, com perspectivas otimistas de crescimento.

Já o mercado mundial de CLPs, ainda segundo a ARC, alcançou US\$ 9 bilhões em 2007, sendo esperado um crescimento anual até 2012 de 6,5% a.a. É interessante observar que esse crescimento é puxado pelos países emergentes da Bric (Brasil, Rússia, Índia e China) e do Leste Europeu.

Oferta

Mercado Brasileiro

Uma multiplicidade de empresas – cerca de 1,5 mil, de acordo com a ISA –, de portes variados, atua em automação do controle de processos industriais no país. Entretanto, apenas algumas das atividades da cadeia produtiva do setor são aqui realizadas, como será visto na seqüência.

Ofertam produtos e sistemas no mercado brasileiro três tipos de empresas:

- grandes empresas internacionais, equivalentes a aproximadamente 30% das empresas brasileiras, que oferecem amplo espectro de produtos e soluções completas de automação;
- micro e pequenas empresas integradoras, formadas em muitos casos por ex-funcionários de empresas internacionais, que atuam de forma independente ou associadas a fabricantes de equipamentos; e
- pequenas e médias empresas, formadas com capitais internos, que oferecem um espectro limitado de produtos – *hardware* e/ou *software* –, desenvolvidos com tecnologia própria, e raramente oferecem sistemas completos de automação.

O mercado brasileiro é fortemente competitivo e dominado pelas gigantes internacionais, líderes mundiais do mercado de automação industrial – ABB, Emerson, GE Fanuc, Honeywell, Invensys, Rockwell, Schneider, Siemens e Yokogawa. Todas elas estão presentes no país e atuam de forma abrangente, oferecendo soluções completas – *hardware*, *software* e serviços – que incorporam tecnologias no estado da arte. Atuam tanto diretamente como também por meio de integradores e representantes comerciais. A

partir do surgimento de protocolos digitais de comunicação abertos, essas empresas vêm adotando práticas de maior flexibilização na oferta de pacotes de automação, com a possibilidade de inserção nos seus pacotes de equipamentos e *software* de outros fornecedores.

As estratégias dessas empresas não contemplam o desenvolvimento nem a fabricação local de dispositivos, os quais são por elas importados. As atividades que realizam no país restringem-se ao desenvolvimento e à integração das soluções finais (aplicações) para as plantas industriais. A utilização de mão-de-obra local limita-se às etapas de comercialização e implantação dos sistemas e produtos nos clientes.

No extremo oposto, identifica-se um grupo de empresas de origem local, na maioria, de pequeno e médio portes, que vem conseguindo se manter há anos em um mercado de forte concorrência, dominado por competidores de potencial técnico e financeiro muito superior. Tais empresas ofertam produtos inteiramente desenvolvidos no país com capacitação própria. As empresas mais conhecidas desse grupo estão identificadas no Quadro 1, que não pretende apresentar uma relação exaustiva.

Quadro 1

Principais Fabricantes Nacionais Ligados à Automação Industrial

EMPRESA	LINHA DE PRODUTOS
Altus	CLPs e soluções completas
Atan	Provedor de <i>software</i> e soluções completas
Atos	CLPs e soluções completas
BCM	CLPs e outros dispositivos de controle
Coester	Atuadores de válvulas
Ecil	Dispositivos de controle para sistemas elétricos
Elipse	Software supervisor (SCADA)
Novus	Dispositivos de controle
Presys	Dispositivos de controle
Sense	Sensores
Smar	Dispositivos de controle e soluções completas
Trisolutions	Provedor de <i>software</i> e soluções completas
WEG	Inversores de frequência e soluções completas

De forma geral, essas empresas possuem um *portfolio* de produtos limitado, em função do seu pequeno porte ou de sua origem em outro setor, como é o caso da WEG, tradicional fabricante de máquinas elétricas, motores e geradores. À exceção desta última, pode-se afirmar que o faturamento agregado desse grupo de

empresas não ultrapassa umas poucas centenas de milhões de reais, valor muitas vezes inferior ao do faturamento de qualquer uma das grandes fornecedoras internacionais apresentadas anteriormente.

Poucas são as empresas que fornecem um leque amplo de soluções completas, competindo diretamente com as grandes marcas internacionais. Isso leva a uma atuação predominante no mercado de reposição e de fornecimento de pequenos sistemas ou em nichos particulares, como o das usinas de açúcar e de álcool.

Contudo, essas empresas têm conseguido não apenas se manter no mercado interno como também se internacionalizar, criando bases próprias de comercialização e assistência técnica em vários países. O efeito de sua atuação sobre a economia – em especial, a geração de renda e empregos altamente qualificados – é radicalmente diverso do das empresas internacionais, pois dinamizam toda a cadeia de atividades ligadas à automação dentro do país, sobretudo a estrutura de pesquisa tecnológica e científica. O percentual da força de trabalho vinculada a atividades de P&D de alta qualificação nessas empresas varia entre 10% e 15% do total, correspondendo a um investimento anual em P&D superior a 5% do faturamento.

Várias dessas empresas têm sido beneficiadas pela Lei de Informática (Lei 10.176, de 11.1.2001), que possibilita a redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) devido sobre os produtos de TI incentivados, desde que fabricados no Brasil por empresas que aplicam em P&D. Diversas empresas têm sido contempladas também em editais da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), a qual, aplicando recursos de variadas origens, apóia os investimentos em P&D de empresas, tanto internamente quanto em parceria com instituições científicas e tecnológicas (ICT). Todavia, deve-se ressaltar que tais benefícios são facultados a qualquer empresa que invista seriamente nessas atividades, sem discriminação de origem de capital.

Como exemplo de investimentos em P&D, pode ser citado o caso da Altus, que, em atendimento a um edital de microeletrônica, em 2005, encomendou o desenvolvimento de um circuito integrado específico para integração a seus CLPs ao Centro de Excelência em Tecnologia Eletrônica Avançada (Ceitec). Conforme amplamente noticiado pela imprensa, esse trabalho foi concluído com grande sucesso. É importante esclarecer que trabalhos dessa natureza são custeados pelo Estado brasileiro como forma de mitigar os riscos tecnológicos e financeiros associados ao projeto, mas sempre cabe à fabricante parceira que irá explorar economicamente os seus resultados uma contrapartida sob a forma de aporte financeiro ao projeto, naturalmente proporcional ao porte da empresa.

Outros importantes recursos para P&D no setor de automação industrial, para empresas e ICTs, provêm de aplicações obrigatórias nessas atividades por parte de empresas concessionárias e permissionárias de distribuição, geração e transmissão de energia elétrica, bem como de concessionárias para exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e/ou gás natural. Nos dois casos, parte dos recursos é destinada a fundos aplicados pela Finep e outra parte é aplicada diretamente pelas concessionárias, internamente ou em parceria com empresas fornecedoras e ICTs do setor.

É importante observar que os benefícios da Lei de Informática não têm sido suficientes para sensibilizar os fornecedores internacionais, tendo em vista que os sistemas automáticos de controle industrial são compostos por uma significativa parcela de serviços e também porque vários dos dispositivos utilizados em um tal sistema, especialmente os medidores, são de natureza eletromecânica, não sendo abrangidos por aquela lei.

Sobre a participação nos mercados de cada tipo de sistema de controle, tem-se no Brasil a mesma situação do mercado mundial de SDCDs, liderado majoritariamente por Emerson, Yokogawa, Honeywell e ABB. Nenhuma das empresas nacionais fornece SDCDs. Pelo Gráfico 2, pode-se ver como está dividido o mercado brasileiro de CLPs.



Na categoria identificada por “Outras Locais”, podem ser destacadas a Atos, a Smar, a BCM e a Novus. A Atos, empresa criada há mais de 30 anos, foi adquirida pela Schneider em agosto de 2007. Esse último fato, bem como a aquisição da Atan pela Accenture, ocorrida em abril de 2008, são sintomas da importância que o crescimento do mercado brasileiro de automação vem despertando em âmbito internacional.

Cabe observar que a Frost & Sullivan realizou um estudo específico sobre o mercado brasileiro e mexicano de SDCDs e

CLPs, o qual teria somado US\$ 449 milhões em 2006, com a perspectiva de atingir US\$ 926 milhões em 2012. Em suas conclusões, tal estudo recomendou a intensificação das atividades comerciais das empresas de automação industrial nesses países, frisando a necessidade de contratação de profissionais de engenharia e *software* experientes para atender melhor os clientes.

O CNC, por sua vez, chegou a ser fabricado no país na época da Reserva de Mercado para a Informática, que abrangia também equipamentos de eletrônica digital para controle de processos industriais. Naquela época, houve o desenvolvimento e a produção de CNCs brasileiros pela Digicon e pela Romi, tradicional fabricante de máquinas-ferramenta. Entretanto, desde o fim da reserva, o próprio mercado mundial sofreu significativas mudanças, de forma que atualmente apenas um CNC é fabricado no país, pela Romi, que o incorpora a algumas de suas máquinas. O restante do mercado utiliza CNCs importados, principalmente da GE Fanuc e da Siemens.

Também não existe fabricação local de robôs, que são fornecidos ao mercado via importação.

Demanda

A demanda por recursos de automação industrial pode ser segmentada, segundo os seus objetivos, em reposição de dispositivos e produtos antigos, modernização e expansão de linhas existentes e implantação de projetos totalmente novos. De forma geral, os projetos de modernização são aqueles que apresentam maior demanda por serviços de integração em função da necessidade de adaptação dos recursos mais modernos, baseados em tecnologias digitais, aos sistemas legados, normalmente baseados em tecnologias antigas, como pneumáticas e analógicas.

Dadas as diferenças entre os competidores acima mostradas, são as empresas multinacionais dominantes que normalmente fornecem os principais pacotes de automação, ou seja, são elas as responsáveis pela totalidade do fornecimento da solução de automação das grandes plantas industriais. Isso é verdadeiro tanto para os novos projetos quanto para os projetos de modernização de unidades completas de plantas já existentes. Nesse caso, a participação de qualquer outro fornecedor, na qualidade de subcontratado, é eventual e ocorre caso haja uma exigência do cliente, ou pelo uso de um produto em particular, ou pela redução de custo em um dado dispositivo. Isso porque nem sempre o fornecedor do pacote dispõe, entre seus produtos, de dispositivos que atendam à totalidade dos requisitos especificados, inclusive a relação custo/benefício.

Uma vez que não existe produção local de dispositivos nem de *software* por parte das grandes fornecedoras internacionais, cada um desses projetos é basicamente atendido por importação, sendo muito baixa no país a geração de empregos associada.

No entanto, o caso é mais grave quando se trata de plantas industriais novas, pois, dependendo do grau de independência tecnológica do investidor brasileiro, muitas vezes a venda do pacote de automação é fechada por acordo entre a empresa licenciadora da tecnologia do processo e a empresa fornecedora do sistema de automação, sem qualquer possibilidade de abertura do fornecimento a terceiros.

Por outro lado, o pequeno porte das fornecedoras locais de automação para controle de processos e a indisponibilidade de produtos como o SDCD não permitem a sua participação na liderança de grandes negócios. Recentemente, foi publicada na imprensa notícia sobre a contratação da ABB para o fornecimento de sistemas de automação para oito refinarias da Petrobras pelos próximos cinco anos. Serão fornecidos funções integradas de automação de processos e subestações, *software* e *hardware* e atualização de sistemas de controle ABB já existentes, no valor total de US\$ 61 milhões, soma superior ao faturamento anual da quase totalidade das ofertantes locais citadas. O referido fornecimento inclui uma parcela de serviços de engenharia e gerenciamento de projetos no valor de US\$ 29 milhões.

Os fornecimentos de reposição ou de sistemas de pequeno ou médio porte ou ainda com características de nicho, que muitas vezes não interessam às empresas dominantes, são atendidos pelas ofertantes independentes – integradoras, fabricantes de dispositivos e desenvolvedoras de *software*. Entretanto, eventuais parcerias para fornecimento de pequenos pacotes fazem-se necessárias, tendo em vista limitações do *portfolio* de produtos.

Perspectivas

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (Abinee), as taxas de evolução do setor de automação industrial no Brasil, no período entre 2005 e 2007, mostram crescimento médio acentuado para:

- as vendas internas – 15,3% a.a.
- as importações – 45,6% a.a.
- as exportações – 39,4% a.a.

A Abinee calcula a demanda interna como a soma das vendas internas e importações, subtraindo-se desse valor as exportações, o que conduz a um crescimento médio da demanda interna de 26,7 % a.a. no mesmo período.

Nos valores divulgados pela Abinee, não estão computados os sistemas de automação que já vêm embutidos em equipamentos e sistemas de produção importados, assim como não são considerados os valores referentes a serviços de engenharia e integração de sistemas executados por empresas não associadas à Abinee.

Segundo a mesma entidade, o faturamento do setor em 2007 foi de R\$ 3,1 bilhões, tendo registrado no primeiro semestre de 2008 um aumento de 20% em relação ao ano anterior, o que leva a ISA a estimar que o setor alcance em 2008 um faturamento de R\$ 3,7 bilhões.

Os fatores que determinaram as elevadas taxas de crescimento calculadas são atribuídos pela Abinee ao aumento da atividade industrial do país e aos investimentos em setores específicos como petróleo, açúcar e álcool, mineração e siderurgia, indústria automobilística e papel e celulose.

O maior comprador é a Petrobras, que vem executando programas de atualização de controles e modernização de sistemas em todas as suas áreas de atuação para melhoria do desempenho operacional e proteção ao meio ambiente. No entanto, a maior demanda deverá acontecer nos próximos cinco ou seis anos, motivada por fortes investimentos anunciados pela Petrobras para expansão e exploração das reservas recentemente descobertas. Trata-se de uma demanda de R\$ 100 bilhões, a qual, a julgar pelo passado, deverá ser suprida basicamente por importações, que somaram R\$ 1,7 bilhão em 2007, levando o déficit comercial do setor a mais de R\$ 1,4 bilhão.

Como visto, as grandes empresas internacionais vêm privilegiando o papel de integradoras, fornecedoras de serviços de engenharia e de TI, deixando para segundo plano o papel de fabricantes de *hardware*.

Em que pese a apreciação do real, que dificulta a competitividade dos produtos brasileiros frente aos asiáticos, deve ser considerado o expressivo crescimento do mercado interno de automação industrial – que hoje representa pouco mais de 3% do mercado mundial, mas deve quintuplicar rapidamente. Esse fato coloca a oportunidade de revisão daquela estratégia pelas empresas e de

ação pelo governo brasileiro, que lançou sua Política de Desenvolvimento Produtivo. Esta traz como focos, entre outros:

- a consolidação da liderança brasileira no setor de bioetanol, siderurgia, mineração, celulose e gás e petróleo;
- o aumento da competitividade da indústria, em particular da indústria de bens de capital; e
- o investimento em áreas estratégicas, incluindo as tecnologias eletrônicas, especialmente quanto aos aspectos relativos a microeletrônica, adensamento da cadeia produtiva e *software* e serviços de TI.

Cabe lembrar a importância da automação do controle para a competitividade da indústria, considerando que, embora esteja entre as tecnologias eletrônicas, esse setor está também intrinsecamente ligado ao de bens de capital.

Conclusão e Recomendações

O mercado de automação industrial deve manter um crescimento elevado nos próximos anos, uma vez que as indústrias continuarão pressionadas a melhorar a qualidade da produção e a eficiência das suas plantas, para fazer face à competição globalizada da economia mundial.

No caso dos países emergentes, como o Brasil, uma atenção especial deve ser dada ao progresso da automação em setores não-exportadores, portanto, não expostos diretamente à competição internacional, tendo em vista o efeito imediato de redução do emprego industrial da automação. Este precisa ser compensado por movimentos paralelos de expansão da produção e treinamento de recursos humanos associados a políticas de desenvolvimento econômico que incentivem o investimento em tecnologias de ponta, intensivas em mão-de-obra de elevada qualificação. A automação industrial é um setor que se enquadra nesse perfil, pois, além de possuir elevado dinamismo tecnológico, é intensiva em conhecimento e pessoal técnico especializado e gera soluções de alto valor agregado, com elevado conteúdo criativo e científico-tecnológico.

Apesar da ainda incipiente participação da tecnologia endógena no mercado, o Brasil já apresenta condições favoráveis à sua conversão em um centro de excelência no desenvolvimento de tecnologia em automação industrial. Isso porque já dispõe internamente de:

- uma mão-de-obra experiente e competente;

- um núcleo de empresas voltadas à produção de recursos de automação que tem demonstrado elevada competência técnica e empresarial em um ambiente competitivo extremamente difícil, atuando até mesmo internacionalmente;
- instituições de pesquisa com capacitação científica suficiente para dar o suporte requerido pelas empresas no desenvolvimento de produtos tecnicamente viáveis e competitivos; e
- uma infra-estrutura de ensino e pesquisa em automação que pode ser rápida e facilmente direcionada para o desenvolvimento de produtos e sistemas.

Com base nos argumentos apresentados, propõe-se que sejam elaborados:

- mecanismos de apoio financeiro diferenciado objetivando o aumento da participação de mercado das empresas locais que desenvolvem seus produtos no país em bases competitivas, dado o efeito multiplicador que exercem sobre a economia interna;
- meios para o exercício do poder de compra do Estado no apoio à comercialização de produtos e sistemas desenvolvidos com tecnologia nacional;
- meios para apoiar e incentivar programas de formação de mão-de-obra com o perfil adequado às atividades de criação, concepção e desenvolvimento de recursos de automação – *hardware* e *software* – e integração de sistemas, elaborados em conjunto com empresas potencialmente interessadas;
- procedimentos para criação e fortalecimento de infra-estrutura de P&D voltada à automação industrial, concebidos com a participação das empresas do setor;
- condições para fomento ao investimento das empresas internacionais do setor em atividades de P&D e de fabricação no país;
- ações de fomento à consolidação de empresas de capital nacional no sentido de acelerar o seu crescimento e aumentar o *portfolio* de produtos e serviços ofertados;
- mecanismos de apoio financeiro direcionados ao desenvolvimento de novas soluções completas e integradas de automação industrial como o SDCD ou o PCA, mais especificamente aquelas destinadas aos setores da economia de maior crescimento; e

- mecanismos de apoio financeiro à exportação e à internacionalização das empresas brasileiras visando aumentar sua participação em outros mercados, particularmente na América Latina e em países emergentes.

Ação do BNDDES

A maioria das empresas brasileiras produtoras de dispositivos e sistemas para automação do controle industrial é reconhecidamente de pequeno e médio portes e já vem sendo atendida pelos produtos automáticos do BNDDES, os quais foram formatados para apoio aos seguintes tipos de investimentos:

- BNDDES Automático – para apoio a projetos de expansão, modernização ou realocização;
- FINAME – para aquisição de máquinas e equipamentos novos nacionais;
- Cartão BNDDES – para aquisição de bens de produção; e
- Subscrição de Valores Mobiliários, incluindo a participação em capital do BNDDES, diretamente ou por meio de fundos dos quais o Banco é cotista.

Várias das empresas citadas estão também credenciadas no BNDDES como fornecedoras de dispositivos, *software* e/ou sistemas de controle de processos. Isso significa que tais empresas podem ofertar uma linha de financiamento do Banco aos seus possíveis clientes para aquisição dos bens credenciados. Tal financiamento às vendas ocorre por meio de repasse a instituições financeiras credenciadas como agentes do BNDDES, no âmbito do Cartão BNDDES, da linha FINAME e do Programa Prosoft Comercialização.

Na última década, o apoio direto do BNDDES ao setor, isto é, sem a intermediação de uma instituição financeira, deu-se através de financiamentos à Altus, Reason, Reivax e WEG, com um total contratado de R\$ 8 milhões, R\$ 450 mil, R\$ 14 milhões e R\$ 21,7 milhões, respectivamente. O projeto da Altus foi apoiado por meio do Programa Prosoft, uma vez que tinha por objetivo o desenvolvimento de *software* embarcado. Os dois projetos seguintes foram enquadrados nas linhas de Inovação do BNDDES, sendo a operação da Reivax realizada parte em financiamento e parte em subscrição de ações. Já o projeto da WEG foi apoiado pela linha de apoio à competitividade da indústria de bens de capital. É importante frisar que tanto o Prosoft quanto as linhas de Inovação foram criados para permitir o apoio direto do BNDDES a pequenas e médias empresas, de maneira que podem ser feitos financiamentos abaixo de R\$ 10 mi-

lhões, valor que normalmente separa as operações diretas das operações automáticas, via instituições financeiras.

Quanto às recomendações apresentadas no item anterior, envolvendo principalmente a atuação internacional e a expansão da fabricação local, já contam com linhas específicas de suporte do BNDES. O detalhamento dessas linhas, bem como daquelas de apoio à Inovação e do Prosoft, pode ser encontrado na página do Banco na Internet, em <http://www.bndes.gov.br>.

Todavia, todas as formas de apoio citadas destinam-se a suportar o lado da oferta de dispositivos e sistemas nacionais. Quanto à demanda, as perspectivas de crescimento acentuado do mercado interno trazem consigo a indagação de como ela virá a ser atendida: se por desenvolvimentos locais ou por importação, como majoritariamente tem sido até agora. Poucas são as oportunidades para o BNDES apoiar com condições financeiras mais favorecidas as aquisições de bens com tecnologia nacional, como forma de incentivar o possível cliente a optar pelo produto ou solução desenvolvida localmente. Assim, propõe-se ao Banco que trate os sistemas de automação sempre separadamente dos bens de capital mecânicos e/ou elétricos aos quais são agregados. Sugere-se, também, que seja estudada uma forma de incentivar a demanda por bens desenvolvidos localmente, examinando, no caso do “pacote” ou sistema completo, o conteúdo de dispositivos ou *software* com tecnologia nacional que o integram. Nesse caso, tendo em vista as conhecidas limitações de *portfolio* das empresas desenvolvedoras de tecnologia, é fundamental que seja incentivada a parceria comercial entre as ofertantes do setor.

Por fim, cabe destacar a importância da consolidação setorial, necessária para o fortalecimento da oferta local brasileira, não somente frente aos competidores internacionais, como também ampliando sua participação no mercado interno e a capacidade de investimento, inclusive em P&D. A consolidação é, normalmente, apoiada pelo BNDES por meio de operações de capital e também, dada a sua prioridade no contexto setorial, por meio do Programa Prosoft.

ALVES, José Luiz Loureiro. *Instrumentação, controle e automação de processos*. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

ARC ADVISORY GROUP. *Demands from emerging economies drive PLC market growth*, 4.6.2008. Disponível em: <<http://www.arcweb.com>>. Acesso em: 1º de agosto de 2008.

Referências

- _____. *Automation Systems market for discrete industries will continue solid growth*, 20.12.2007. Disponível em: <<http://www.arcweb.com>>. Acesso em: 1º de agosto de 2008.
- _____. *Robust growth ahead for automation systems market in process industries*, 20.12.2007. Disponível em: <http://www.arcweb.com>. Acesso em: 1º de agosto de 2008.
- BEGA, Egídio A. et al. *Instrumentação industrial*. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- BOLTON, William. *Instrumentação e controle*. São Paulo: Hemus, 2005.
- BRUNE, Osmar. "Comando numérico computadorizado". *Mecatrônica Atual*, n. 4, p. 52-58, jun. 2002.
- _____. "Rede Modbus RTU". *Mecatrônica Atual*, n. 15, p. 53-58, abr. 2004.
- BULBOW, Viviane. "Um primeiro retrato do mercado de IHMs no Brasil". *Mecatrônica Atual*, n. 26, p. 9-10, fev./mar., 2006.
- CAMPOS, Mário M. de & SAITO, Kaku. *Sistemas inteligentes em controle e automação de processos*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2004.
- CAPELLI, Alexandre. "Inversores de frequência". *Mecatrônica Atual*, n. 2, p. 7-15, fev. 2002.
- CARVALHO, Paulo C. de. "Rede AS-i". *Mecatrônica Atual*, n. 13, p. 52-55, dez. 2003.
- CASTRUCCI, Plínio & MORAES, Cícero C. de. *Engenharia de automação industrial*. Rio de Janeiro, LTC.
- "Darwinismo tecnológico: liberdade de escolha e poder de integração definem os protocolos pelos quais o mercado opta". *Controle & Instrumentação*, n. 129, p. 40-42, jul. 2007.
- FERRACINI, LUIZ A. & MATA, Rogério S. da. "Automação industrial com a tecnologia Devicenet". *Mecatrônica Atual*, n. 28, p. 28-36, jun./jul. 2006.
- GAZETA MERCANTIL. "ABB fecha contrato exclusivo de automação com Petrobras", 10.7.2008.
- _____. "Automação cresce 20%, mas ainda é insuficiente", 22.11.2005.
- _____. "Receita com automação cresce 20% no semestre", 23.7.2008.

- GIMENES, Rogério D. "FDT – Field Device Tool". *Mecatrônica Atual*, n. 24, p. 50-52, out./nov. 2005.
- HENNIG, Carlos H. "Comunicação sem fio na indústria, abordando IEEE 802.15.4, Zigbee, ISA SP100, Wireless Hart e Wina". Apresentado no Congresso ISA Show 2006.
- HERB, Samuel. *Hybrid control identity crisis*. *InTech*, p. 16-23, set. 2007.
- INTECH. *InTech Market Study: Fieldbus growing*, abr. 2007. Disponível em: <<http://www.isa.org>>. Acesso em: 1.8.2008.
- LAGES, Newton A. de C. & NOGUEIRA, José M. S. *Introdução aos sistemas distribuídos*. São Paulo: Unicamp/Papirus, 1986.
- LUKAS, Michael P. *Distributed control systems: their evolution and design*. Nova York: Van Norstrand Reinhold Co., 1986.
- MACIEL, Paulo H. S. "Softwares de supervisão". *Mecatrônica Atual*, n. 20, p.15, fev./mar. 2005.
- MATA, Rogério S. da. "Uma visão atual sobre os sistemas heterogêneos na automação industrial". *Mecatrônica Atual*, n. 21, p.14-19, abr./mai. 2005.
- MATIAS, Juliano. "Interface Homem-Máquina (IHM)". *Mecatrônica Atual*, n. 5, p. 38-44, ago. 2002.
- _____. "Wireless na indústria". *Mecatrônica Atual*, n. 23, p. 37-39, ago./set. 2005.
- MOURA, José L. de. "Processos industriais usando robôs". *Mecatrônica Atual*, n. 14, p. 32-37, fev./mar. 2004.
- PAZOS, Fernando. *Automação de sistemas e robótica*. São Paulo: Axcel Books, 2002.
- PRIZON, Delcio. "Arquiteturas híbridas". *Mecatrônica Atual*, n. 14, p. 20-21, fev./mar. 2004.
- QUESTEX. *Industrial Automation – a 2007 Perspective: Sensors*, 22.1.2007. Disponível em: <<http://www.sensorsmag.com/sensors/article/articleDetail.jsp?id=399472>>. Acesso em: 1º de agosto de 2008.
- SHIRASURA, Mauro. "PIMS – Sistemas de gestão de informações da planta industrial". *Mecatrônica Atual*, n. 15, p. 11, abr./mai. 2004.
- SILVEIRA, Paulo R. & SANTOS, Winderson E. 6ª ed. *Automação e controle discreto*. São Paulo: Érica, 2004.

SOISSON, Harold E. *Instrumentação industrial*. São Paulo: Hemus, 2002.

TAROUÇO, Liane M. R. *Redes de comunicação de dados*. Rio de Janeiro: LTC, 1983.

TEREZINHO, Fábio & CARVALHO, Paulo C. de. "Sistemas de supervisão e controle". *Mecatrônica Atual*, n. 14, p. 12, fev./mar. 2004.

TIINSIDE. "Mercado de sistemas de automação industrial deve crescer mais de 200%, indica estudo", 17.1.2008. Disponível em: <<http://www.tiinside.com.br>>. Acesso em: 18.1.2008.

VIEIRA, Sergio. "Os benefícios dos projetos P&D na automação". *Mecatrônica Atual*, n. 28, jun./jul. 2006.

Sites Consultados

<http://www.wikipedia.org>

<http://www.webopedia.com>

<http://www.controlsyst.org/>

<http://www.abb.com/>

<http://www.emersonprocess.com/home/>

<http://www.gefanuc.com/>

<http://www51.honeywell.com/honeywell/>

<http://www.foxboro.com/us/eng/Homepage>

<http://br.rockwellautomation.com/>

<http://www.schneider-electric.com.br/>

<http://w1.siemens.com/answers/br/pt/>

<http://www.yokogawa.com/>

<http://www.altus.com.br/>

<http://www.atan.com.br/index.aspx?idioma=pt-BR>

<http://www.atos.com.br/>

<http://www.bcmautomacao.com.br/site/default.asp>

<http://www.coester.com.br/>

<http://www.ecil.com.br/>

<http://www.elipse.com.br/inicial.aspx?idioma=1>

<http://www.novus.com.br/site/default.asp>

<http://www.presys.com.br/>

<http://www.sense.com.br/index.php>

<http://www.smar.com/brasil2/>

<http://www.trisolutions.com.br/>

<http://www.weg.net/br>

<http://www.finep.gov.br>

<http://www.aneel.gov.br>

<http://www.anp.gov.br>