



Selecione a válvula correta para a sua aplicação



www.mecatronicaatual.com.br

MECATRÔNICA

Atual

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL DE PROCESSOS E MANUFATURA

Ano 2 - nº12 - Outubro-Novembro/2003 - Brasil: R\$ 10,90 - Europa: € 4,30



Caldeiras:

Como gerar vapor com

ECONOMIA



Manutenção Preditiva

Reduza o custo da manutenção com a implantação da análise de vibrações

Interferência eletromagnética

Como proteger seus equipamentos das descargas eletrostáticas



Fuso de esferas

O que são?
Por que utilizá-los?
Quais os tipos de falha?
Como fazer a manutenção?



Seção do Leitor 4

Notícias 6

Problemas e Soluções 12

Reportagem 14

Caso de aplicação: motorredutores na indústria de tecidos 16

Fuso de esferas: especificação e reparo 18

O fuso de esferas é um dispositivo mecânico de deslocamento linear indispensável na indústria moderna, seja qual for o equipamento ou seu campo de atuação. Este artigo aborda sua especificação e os aspectos de sua recuperação.

Como selecionar a válvula correta para sua aplicação 24

As indústrias perdem milhões de reais a cada ano devido às consequências da seleção incorreta de válvulas, que pode provocar falhas acarretando perda de fluidos em sistemas, produção fora das especificações, despesas com equipamento parado, condições inseguras de trabalho e danos ambientais.

Evitando problemas com inversores 28

Este artigo aborda algumas questões gerais que apesar de simples, causam alguns transtornos em aplicações de inversores. Evitar pequenos problemas (erros) pode acelerar o processo de aplicação do equipamento.

Ethernet Industrial 31

Conheça os benefícios que o emprego da tecnologia Ethernet Industrial traz para a automação do chão de fábrica, garantindo comunicação em tempo real.

Caldeiras - Como gerar vapor com economia 34

Identifique as várias maneiras de economizar combustível na geração de vapor, algumas vezes adquirindo novos instrumentos, em outras mudando apenas os procedimentos operacionais.

Utilização de controle de vazão e nível na batelada de água potável para preparação da massa para biscoito 38

Conheça neste artigo, um exemplo de um sistema simples, porém eficiente, de automação industrial.

Controle em redes híbridas 40

O processo evolutivo das redes industriais resultou na criação de um sistema de comunicação aberto, com interoperabilidade entre os fabricantes distintos e com a liberdade de escolha do usuário final.

Transmissores de temperatura 44

Entenda o princípio de funcionamento, sua simbologia, como aplicá-los e como resolver alguns dos problemas mais comuns.

Interferência eletromagnética por ESD 46

Conheça os problemas causados pelas descargas eletrostáticas e também como preveni-los, desde perturbações de funcionamento até o dano permanente.

Características das transmissões em redes industriais - 2ª parte 50

Veja o que acontece com os dados numa rede de automação industrial desde a sua formatação pela aplicação até a transmissão pelo meio físico.

Eficiência da Combustão 54

Conheça a aplicação de analisadores na melhoria da combustão através da adequação da relação O_2/CO em um dos processos mais conhecidos nos meios industriais: o de caldeiras.

Manutenção Preditiva - Análise de vibrações 57

Muitas empresas no Brasil estão investindo nesta técnica, que permite conhecer e melhorar os equipamentos industriais trazendo como consequência economia, qualidade na manutenção e segurança.

Editora Saber Ltda.

Diretores

Hélio Fittipaldi

Thereza M. Ciampi Fittipaldi

MECATRÔNICA

www.mecatronicaatual.com.br

Mecatrônica Atual

Editor e Diretor Responsável

Hélio Fittipaldi

Editor Assistente

Paulo Gomes dos Santos

Publicidade

Carla de Castro Assis

Melissa Rigo Peixoto

Ricardo Nunes Souza

Conselho Editorial

Alexandre Capelli

Juliano Matias

Newton C. Braga

Reportagem

Sérgio Vieira

Colaboradores

Alaor Mousa Saccomano

Alexandre Comitti

Bruno Castellani

Carlos Henrique C. Ralize

Edson Jorge Michalak

Gilberto Branco

Jonh Wawrowski

Leonardo Tavares

Osmar Brune

Reginaldo de Mattos Onofre

Roberto Godoy Fernandes

Rogério Dias Gimenes

Samir Kassouf

Wellington Rossi Kramer

ASSINATURAS

www.mecatronicaatual.com.br

Fone/Fax: (11) 6195-5335

Atendimento das 8:30 às 17:30 h

Impressão

Bandeirantes Gráfica

Distribuição

Brasil: DINAP

Portugal: Midesa

MECATRÔNICA ATUAL

(ISSN - 1676-0972) é uma publicação da Editora Saber Ltda.

Redação, administração, edições anteriores, publicidade e correspondência:

R. Jacinto José de Araújo, 315

CEP: 03087-020 - São Paulo

SP - Brasil

Tel.: (11) 6195-5333

Empresa proprietária dos direitos de reprodução:

EDITORA SABER LTDA.

Associado à:

ANER - Associação Nacional dos Editores de Revistas

ANER

ANATEC - Associação Nacional das Editoras de Publicações Técnicas, Dirigidas e Especializadas.

ANATEC
PUBLICAÇÕES TÉCNICAS

www.anatec.org.br

Editorial

Tema sobre sensores

Nos últimos dois meses recebemos vários e-mails de leitores solicitando a publicação de artigos e matérias sobre sensores. Constatamos que o tema é vasto, visto que existe uma grande variedade de sensores aplicados na área de automação industrial. Alguns tipos de sensores foram abordados nesses dois anos de existência da Mecatrônica Atual, entretanto, estamos verificando quais tecnologias dessa área despertam maior interesse de nossos leitores. Também estamos selecionando técnicos e engenheiros que possam dissertar sobre o tema, isento de interesses comerciais.

Nessa edição da Mecatrônica Atual trouxemos mais alguns temas que estão relacionados, mais diretamente, à área de processos industriais como é o caso do tema de capa: geração de vapor com economia, além da eficiência da combustão. Esses dois temas também estão ligados às empresas de manufatura, entretanto, são supervisionados pela equipe responsável pelas áreas de utilidades (tratamento de água e efluentes, geração de energia elétrica, etc)

Na reportagem dessa edição trouxemos um pouco dos desafios que a Ethernet possui pela frente ao completar seus 30 anos de idade. Pelo que foi constatado pela nossa equipe, a Ethernet Industrial em automação já é um caminho sem volta e a tendência, agora, é superar os desafios em aplicações críticas.

Entre os dias 18 e 20 de novembro, a Revista Mecatrônica Atual estará participando do ISA Show, evento realizado pelo Distrito 4 da ISA e que apresentará vários temas referente a automação industrial (veja anúncio), além da exposição de produtos e serviços. Na oportunidade, estaremos ouvindo todas as críticas e sugestões para que possamos adequar, cada vez mais, este veículo de comunicação.

Atendimento ao leitor: a.leitor.mecatronicaatual@editorasaber.com.br

Os artigos assinados são de exclusiva responsabilidade de seus autores. É vedada a reprodução total ou parcial dos textos e ilustrações desta Revista, sob pena de sanções legais. São tomados todos os cuidados razoáveis na preparação do conteúdo desta Revista. Caso haja enganos em texto ou desenho, será publicada errata na primeira oportunidade. Preços e dados publicados em anúncios são por nós aceitos de boa fé, como corretos na data do fechamento da edição. Não assumimos a responsabilidade por alterações nos preços e na disponibilidade dos produtos ocorridas após o fechamento.

Seção do Leitor

Sensor Magneto Restritivo

Gostei muito de conhecer a tecnologia usada nesse tipo de sensor linear de posição (sem contato físico entre componentes). Contudo, fiquei curioso e gostaria que detalhasse um pouco mais (se possível) como acontece a emissão de um pulso sônico. Quando o campo magnético gerado pelo pulso elétrico (aplicado ao guia de onda) encontra o campo magnético constante emitido pelo elemento deslizante, que é o cursor? Será devido à pequena torção sentida pelo guia de onda, quando os dois campos magnéticos acima interagem?

Existe dentro da cabeça do sensor (onde ficam os componentes eletrônicos) um emissor de onda sonora (onda de pressão), que é acionado exatamente quando o guia de onda sofre a torção referida acima? Qual seria a resolução de leitura para um sensor desse tipo com comprimento máximo de medição igual a 50 mm?

Será que a unidade da velocidade não está invertida, ou seja: o correto não seria 0,35 mm/microssegundo no lugar de 0,35 microssegundo/mm, conforme está impresso no artigo? Essa velocidade é correspondente à propagação do campo magnético gerado pelo pulso elétrico aplicado ao guia de onda, ou da onda sonora produzida pela cabeça do sensor?

Sidney Nogueira
Engenheiro de Vendas
Hydrex

Na verdade, o sensor Temposonics funciona pela emissão de um pulso elétrico na extremidade inicial do sensor e, este pulso, chamado pulso de interrogação, caminha pelo sensor. Quando o campo magnético do pulso de interrogação interage com o campo magnético do cursor, uma torção ocorre no guia de onda e, conseqüentemente, um pequeno pulso que retorna à cabeça do sensor. Como o pulso percorre o guia de onda à uma velocidade conhecida (aproximadamente 0,35 mm/microssegundos) o circuito eletrônico calcula o tempo

entre o envio do pulso de interrogação e o retorno do pulso de torção e, assim, temos a distância.

Como dá para entender pela explicação acima, o funcionamento do sensor é eletrônico e magnético, não havendo nenhum componente sonoro como você questionou. Além disso, realmente houve um erro de digitação no referente à velocidade de propagação do pulso pelo guia de onda. Com relação à resolução do sensor Temposonics, isso vai depender do tipo de saída escolhida. Caso você escolha uma saída com comunicação, por exemplo Profibus, a resolução chega a 0,002 mm independentemente do comprimento do sensor.

Caso você escolha uma saída analógica, a resolução do sensor é infinita, porém, a sua resolução irá depender da resolução do circuito A/D que utilizar para ler o sinal.

Espero que suas dúvidas estejam esclarecidas e que você se torne um usuário desta tecnologia de ponta.

Gilberto Abrão Jana Filho
Gerente de Engenharia da Metaltex



Enviar suas cartas para
Editora Saber Ltda.
Rua Jacinto José de Araújo, 315 - CEP 03087-020 -
São Paulo - SP, ou e-mails para:
a.leitor.mecatronicaatual@editorasaber.com.br

As mensagens devem ter nome completo, ocupação, cidade e estado. Por motivo de espaço, os textos poderão ser editados por nossa equipe.

Sensores e relés

Gostaria de solicitar aos senhores que publiquem algo sobre relés de proteção tipo: códigos ANSI (ex. 49, 50/51, 86, etc), abordando técnicas de calibração, literaturas a respeito, instituições que ministram cursos sobre o assunto. Se possível alguma dica sobre os modelos antigos eletromecânicos ou comparativo com os atuais microprocessados, pois, trabalho em uma empresa que ainda utiliza relés eletromecânicos ABB Whestinghouse em seus projetos atuais.

Daniel Rocha dos Santos
Operador técnico eletricista
Air Products Brasil

Sou estudante de Automação Industrial e preciso apresentar um trabalho sobre sensores de deslocamento e velocidade. Abordando: princípio de funcionamento (forma de conversão), tipos de fabricantes, modelos, explicando quais os mais utilizados, custos, e em que indústrias são aplicados.

Emilene Silva
NORPEL - Pelotização do Norte S/A
Companhia Vale do Rio Doce

A partir desta edição introduzimos o assunto sobre medição de nível e vazão. Em momento oportuno, pretendemos introduzir mais informações sobre calibração e sensores. Quanto a parte de relés, nossa outra publicação, (a Revista Saber Eletrônica) aborda esse assunto com mais profundidade. A migração desse assunto para a Mecatrônica Atual está em estudo porque temos uma enorme preocupação em não perder o foco dos nossos leitores. Entendemos que numa planta industrial há várias tecnologias interligadas numa mesma arquitetura de automação, mas nossa preocupação principal é não desviar o foco das nossas publicações. Por esse motivo, pedidos como os dois acima e centenas que chegam todos os meses à nossa Redação passam por uma análise criteriosa.

CLP Mitsubishi

Trabalho com CLPs da Rockwell e os conheço profundamente, entretanto, estou em uma concorrência de serviços de manutenção em uma fábrica com tecnologia toda importada do Japão e que opera com CLPs da Mitsubishi. Eles possuem um formato de instruções que não estou acostumado a trabalhar.

Mauro Carvalho
Técnico em Eletrônica
Autons Automação

Desde o momento que recebemos o seu *e-mail* tentamos entrar em contato com a Mitsubishi das mais diferentes formas (telefone, *e-mail* e *site*). Infelizmente, ninguém da área de indústria da empresa prontificou-se a responder as nossas solicitações. Decidimos publicar sua mensagem na intenção de que alguns dos nossos leitores possam entrar em contato com a Mecatrônica Atual para ajudá-lo.

Sistemas supervisórios

Lendo o artigo "Retrofitting" da revista Mecatrônica Atual número 7, me interessei sobre a utilização de Redes Neurais para a correção de inversão por quadrante. Gostaria de conhecer mais sobre a aplicação desse método na solução de problemas em processos de fabricação e em máquinas operatrizes. Se possível, vocês poderiam me informar sobre modelos específicos de máquinas operatrizes que utilizam esse recurso?

Gustavo de Oliveira Castelhana
Bauru - SP

Não temos conhecimentos sobre a aplicação de Redes Neurais em máquinas operatrizes. Essa lógica de controle possui um campo de atuação muito grande e, na área da indústria, ainda não vimos nada a respeito. Para outras informações sobre esse método de controle entre em contato com a Sociedade Brasileira de Redes Neurais pelo telefone (21) 3114-1204.

Cicloconversores

Sou assíduo leitor da Mecatrônica Atual, Técnico Mecânico e aprecio muito a maneira como a revista é escrita, principalmente pelos artigos do José Ricardo e Paulo Pansiera. Um colega de trabalho me falou que algumas vezes utilizam-se cicloconversores em controle de velocidade. Poderia me explicar o que são e como funcionam? Quais suas aplicações?

Aman Kirar
Técnico Mecânico
Curitiba - PR

Os cicloconversores configuram uma classe de acionamentos para altíssimas cargas, mas com o aspecto de variarem a frequência de saída até cerca de 20 a 30 Hz, no máximo. São aplicados a cargas de inércia muito altas. Têm como característica comum o acionamento por chaves de baixa velocidade de comutação (tiristores), que comutam em média de 6 ou 7 por ciclo. Normalmente, esses tiristores têm seus dissipadores refrigerados a água.

Alaor Saccomano

Mecatrônica Notícias

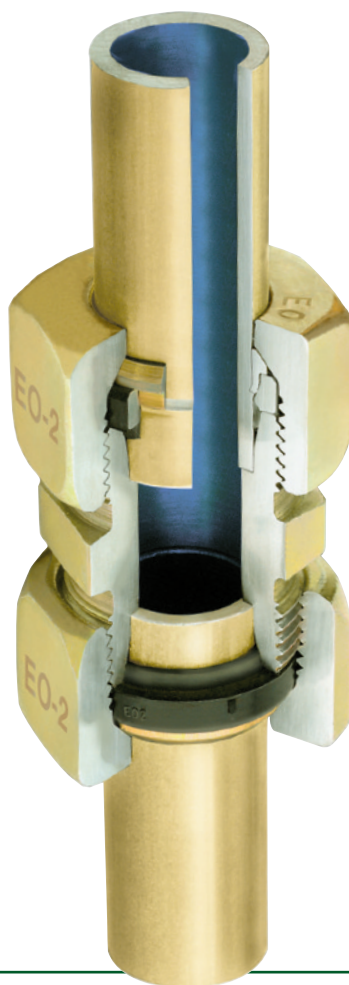
Sérgio Vieira

Parker cria programa "Vazamento Zero"

Uma pesquisa realizada pela Parker Hannifin revelou que os vazamentos em sistemas hidráulicos resultam em sérias perdas financeiras, além de outros aspectos agravantes envolvendo segurança, saúde e meio ambiente. Segundo a empresa, na maioria das vezes, os vazamentos crônicos encontram-se nas peças de união dos circuitos hidráulicos, mais especificamente nas conexões dos tubos e mangueiras.

A partir dos problemas identificados, a Divisão Fluid Connectors da Parker criou o programa "Vazamento Zero" que pretende divulgar os benefícios de algumas tecnologias para o combate a vazamentos.

Em média, as mangueiras e conexões representam menos de 3% do custo total de um equipamento. No entanto, produtos de baixa qualidade ou incorretamente



utilizados podem comprometer significativamente o bom funcionamento do equipamento.

"Como resultado de desenvolvimentos tecnológicos em busca da eliminação total de vazamento, o sistema EO-2 da Parker consiste em separar as funções de vedação e fixação, ou seja, existe um elemento específico para cada propósito", explica Marcos Venanzi, gerente de Vendas de Produtos da Divisão Fluid Connectors.

Na solução apresentada pela empresa, anilhas e porcas pré-montadas formam um único elemento onde o anel de vedação é protegido pela porca. Essa inovação evita riscos de falha na montagem pelo extravio ou inversão dos componentes. Outra vantagem está na redução no número de componentes, o que proporciona ganhos em manuseio e logística de controle de estoque.

Dexter apresenta nova versão do PG

A Dexter está disponibilizando na Internet a versão 6.0 do software PG utilizado para programação do controlador μ DX (MicronDX). Trazendo maior número de retentativas de comunicação e operação estável em ambiente Windows XP, a nova versão apresenta várias melhorias no programa, *helps* e nas mensagens de erro.

A versão PG dos controladores

μ Dx roda em Windows 95, 98 ou Millenium. Para uso em Windows XP, o usuário deve utilizar o software UserPort para permitir o acesso às portas paralelas e seriais do computador. A versão 6.0 ocupa espaço de 900 Kbytes. A versão mais recente do software PG pode ser encontrada no site www.dexter.ind.br

A Dexter está na versão 8.2 do controlador μ DX Plus que pode

conectar-se com até quatro módulos de expansão de entradas e saídas (ou 36 entradas e 36 saídas). O novo μ DX Plus possui 256 endereços DXNET (16 conjuntos de 16 endereços DXNET cada). No site da empresa também é possível conhecer o novo *driver* que permite utilizar os equipamentos da empresa com o sistema supervisor da Elipse.

ISA forma professores brasileiros

Mesmo estando em meio ao super blackout que afetou 14 Estados americanos, dois professores brasileiros conseguiram concluir os primeiros cursos oferecidos diretamente pela sede oficial da ISA - *The Instrumentation, Systems and Automation Society*. "Os alunos poderão beneficiar-se de mais reconhecimento profissional, informações atualizadas, comodidade para realizar na própria instituição vários cursos que somente são oferecidos no exterior, parceria com uma instituição de renome internacional e contatos com outros pesquisadores membros da ISA", avalia Carlos Fernando Martins, coordenador de Desenvolvimento Tecnológico do Centro de Tecnologia em Automação e Informática Senai/CTAI de Florianópolis, que esteve nos Estados Unidos juntamente com André Tonon, coordenador do Curso Superior em Tecnologia e Automação Industrial.

A iniciativa da ISA vai de encontro a um antigo pedido dos membros brasileiros que é a publicação de apostilas para apoio nos cursos promovidos pela entidade no Brasil. A novidade foi anunciada no ano passado durante o ISA Show pelo próprio presidente da entidade, Piergiuseppe Zani. "Certamente a tradução desses materiais para o português é uma outra comodidade, pois aumenta as possibilidades de 'entendimento' dos alunos" comenta Carlos Martins.

Os dois professores realizaram cursos voltados para a área de controle com foco em sistemas de

medição, calibração, modelos proporcionais, integrais e derivativos. De acordo com Carlos Martins, este direcionamento aconteceu devido à vocação natural (material e humana) do CTAI para treinamentos e serviços da área de controle, além disso existe uma demanda para esse tipo de curso em todo o território nacional.

A estadia nos Estados Unidos possibilitou aos professores terem uma visão interessante do conhecimento industrial recebido por estudantes americanos e, dessa forma, fazerem um comparativo com a situação dos estudantes brasileiros. "O estudante brasileiro é muito mais empreendedor, dinâmico e pró-ativo. Isso é gerado muitas vezes pela falta de recursos da própria escola, onde o aluno tem que ter muita criatividade para desenvolver as suas experiências. Já o estudante americano tem em mãos melhores equipamentos, as escolas são dotadas de orçamentos bem maiores que as brasileiras. Isso facilita e muito o aprendizado" analisa Carlos Martins.

Entretanto, ele acha difícil responder se o estudante americano está muito mais próximo da indústria que o estudante brasileiro. "Fica fácil responder que os EUA dão muito mais importância à educação do que o Brasil. Porém, me parece uma educação muito mais voltada para os EUA que para o mundo", comentou.

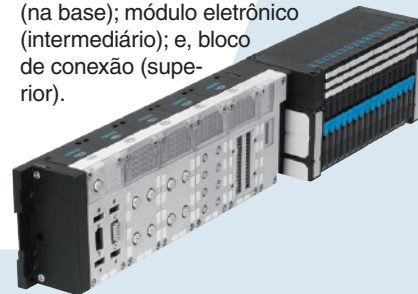
Com a iniciativa, o Senai/CTAI será o primeiro centro de certificação ISA do Brasil. Fundada em 1945, nos Estados Unidos, a ISA congrega hoje 40 mil profissionais em automação e instrumentação em todo o mundo.



Carlos Martins durante aula no SENAI de Florianópolis.

Terminais de válvulas

A Festo está lançando novos terminais de válvulas que conectam as válvulas CPA, Midi/Maxi e MPA aos sistemas Fieldbus (DeviceNet, Profibus-DP, Interbus, CANOpen e CC-Link). Batizados de CPX, os terminais são baseados em módulos configuráveis, em que diversas interfaces de funções elétricas e pneumáticas podem ser montadas para se adequar às exigências das mais variadas aplicações. O CPX é construído em camadas - bloco de interconexão (na base); módulo eletrônico (intermediário); e, bloco de conexão (superior).



Controlador em plataforma aberta

Prometendo um novo conceito em controle de processo, a GE Fanuc está apresentando a família PACSystems que, segundo informativo, foi construída em plataforma aberta de hardware e software. De acordo com Bill Step, vice-presidente de equipamentos de automação da GE Fanuc Automation Americas, o PACSystems representa "uma mudança revolucionária no segmento de controladores, possibilitando tanto convergência quanto integração, independentemente das partes e peças envolvidas no processo." Entre as características técnicas da nova família encontram-se: CPUs Pentium III de 300 MHz e 700 MHz; Backplane VME64; Ethernet 10/100 Mbits embutida nas CPUs; 10 MB de memória para execução, armazenamento de programa e documentação; suporta placas VME de outros fabricantes para fácil comunicação com outros dispositivos; aceita vários tipos de comunicação: Ethernet, Genius, Profibus e DeviceNet; e opção de comunicação Serial RS-232 e RS-485.



Honeywell: em pleno processo de reestruturação

Ainda um pouco distante da mídia, a Honeywell está procurando colocar a casa em ordem após a tentativa de uma das compras mais espetaculares na história da globalização. Em junho de 2000, o Grupo GE tentou comprar a empresa pelo valor extraordinário de US\$ 42 bilhões. O processo caminhava bem nos Estados Unidos, mas as leis antitruste da União Européia barraram o processo de compra alegando que estava sendo criado um dos maiores monopólios mundiais para o fornecimento de peças e equipamentos de controle para a fabricação de aviões (veja cronograma a partir de junho de 1999).

Antes da fusão com a Allied Signal, a Honeywell estava dividida pelas áreas: industrial, residencial, aviãoica e automação. Com a tentativa de compra pela GE, a Honeywell foi recomendada a fazer uma reestruturação interna onde foram criadas divisões de negócios. A parte de SDCC, por exemplo, hoje, está sob o guarda-chuva da área de Sistemas, enquanto que produtos isolados encontram-se na Divisão de Produtos. Já a parte de instrumentação, um dos grandes carros-chefe do Grupo, é outra que está sendo englobada pela Divisão de Sistemas.

De acordo com Gilberto Carlos Machado, atual diretor e líder de vendas da Divisão de Automação e Controle, o processo de reestruturação iniciado pela companhia atinge, inclusive, a parte de manutenção. Hoje, essa área está sob a responsabilidade de cada um dos milhares de produtos que compõem toda a linha da empresa. "Estamos trabalhando com algumas empresas terceirizadas para atender os serviços de assistência técnica", disse o diretor. A companhia está estreitando os laços com alguns *Solution Providers* para representar alguns produtos estratégicos. É o caso do controlador híbrido HC 900, usado em pressão, temperatura e vazão.

Outro foco da Honeywell é tentar coibir a ação de algumas pequenas empresas que usam o nome da



Gilberto Machado: trabalho com empresas terceirizadas.

companhia indevidamente. Não é preciso procurar muito para encontrar no mercado uma série de empresas que se dizem "representantes Honeywell", mas que, na prática, nada têm a ver com a companhia. Em alguns casos, essas pequenas empresas ofe-

recem, inclusive, produtos concorrentes com a linha Honeywell. Em grandes clientes, como é o caso da Petrobras, a Honeywell designou engenheiros para realizarem um atendimento exclusivo mantendo a qualidade dos serviços prestados.

Trajetória da Honeywell desde 1999

Junho de 1999	Fusão da Allied Signal com a Honeywell formando uma empresa de US\$ 25 bilhões. Permanece o nome Honeywell.
Dezembro de 1999	Compra do grupo americano Pitway por US\$ 7 bilhões. Grupo é forte em instrumentação residencial.
Junho de 2000	Grupo Honeywell tenta comprar a United Technologies, forte na linha aerospacial.
Junho de 2000	Oferta de compra da Honeywell pelo Grupo GE pelo valor de US\$ 42 bilhões.
Janeiro de 2001	Governo americano aprova compra da Honeywell
Março de 2001	Comunidade Européia questiona aquisição da Honeywell devido ao monopólio criado na linha aviãoica.
Julho de 2001	Após dezenas de tentativas de acordos, Mário Monti, responsável pela comissão antitruste da União Européia, dá o veredicto final: a compra da Honeywell pela GE está descartada.
Agosto de 2002	Honeywell compra Divisão de Sensores da Invensys por US\$ 415 milhões.

Dürr do Brasil exporta para os EUA

Com uma participação de 82% no mercado mundial de pintura automotiva, o grupo Dürr fechou um contrato de US\$ 150 milhões para projeto e instalação das plantas de pintura automotiva da fabricante de automóveis coreana Hyundai, no Alabama (EUA). A filial brasileira participará da construção da unidade de pintura da Hyundai juntamente com as outras filiais do grupo localizadas na Alemanha, Coréia e México.

Inicialmente, a Dürr do Brasil iria responder pela produção de 10% do projeto, mas depois do início dos

trabalhos acabou se tornando responsável pela exportação de uma parcela superior a 15% do total do projeto. De acordo com Luiz Cosceli, presidente da Dürr do Brasil, todo o sistema elétrico desta instalação será feito no país. “Além do fator da taxa do câmbio, o Brasil está se tornando mais competitivo em mercados tradicionalmente reservados a países detentores de tecnologia avançadas”, explica.

De acordo com Roberto Tkatchuk, gerente geral de contratos da Dürr no Brasil, a competitividade do país obrigou os engenheiros brasileiros a buscarem aperfeiçoamento técnico com padrões internacionais e hoje, eleva-os ao mesmo nível dos europeus”, complementa.

As principais etapas da instalação de pintura são: Pré-Tratamento (*spray* e imersão); Pintura Eletroforética (imersão); Pintura Primer (interna manual e externa automática); Pintura esmalte e verniz (interna e externa automática). O Grupo Dürr possui uma divisão que é responsável pela produção de salas de tinta, sistemas de bombeamento/abastecimento, estações “Blow Off”, máquinas de limpeza, máquinas e robôs de pintura e estações automáticas de calafetagem.



Cosceli: sistema elétrico 100% brasileiro em projeto internacional

Versão 6.0 do Simatic

A Divisão Indústria da Siemens está divulgando no mercado a versão 6.0 do Simatic PCS 7. De acordo com Diogo Jorge Barreto, engenheiro da OMG, fabricante de catalisadores,

Simatic: 30 soluções no Brasil.

um dos diferenciais da nova versão está no atalho que leva o operador direto à tela onde está o alarme de maior prioridade. Segundo a Siemens, existem hoje no Brasil cerca de 30 soluções Simatic PCS 7 implantadas nos mais diversos segmentos das indústrias de processos, mais de 140 instalações nas Américas e cerca de 2.100 sistemas em todo o mundo. Trata-se de uma plataforma completa de controle e visualização (hardware e software), desenvolvida para atender as mais variadas necessidades de controle no segmento de automação de processos industriais



Calibradores

A Dakol divulgou nota informando que o calibrador MC-5IS da Beamex, até o momento, é o único calibrador multifunção que possui a aprovação ATEX, norma que regulamenta a circulação de produtos em atmosferas potencialmente explosivas. O produto é comercializado com exclusividade no Brasil pela Dakol.



CLPs em cinco línguas

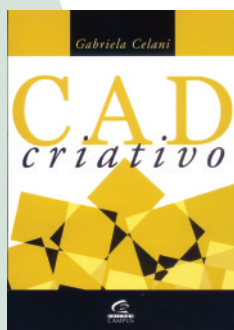
Dotado de cinco tipos de linguagens diferentes: Ladder, Lista de Instruções, Linguagem Estruturada, Grafcet e Blocos Lógicos, a linha Xsystem da Moeller Electric apresenta versões com CPU e I/Os incorporados. A nova linha também conta com porta Ethernet que pode ser usada tanto para programação quanto para aquisição de dados por um sistema supervisão.

Série F7 de Inversores de Frequência

A série F7 de Inversores Vetoriais de Fluxo lançada pela Yaskawa Elétrico do Brasil, apresenta novas características técnicas como a borneira extraível, que permite a troca da placa de controle sem desligar a fiação, facilitando a manutenção, menores dimensões e com ventilação inteligente, diversas opções de configuração e parametrização. A série possui operação escalar, escalar com *encoder*, vetorial de fluxo em malha aberta ou fechada, e opera em torque constante ou variável. Permite ainda alto torque de partida mesmo em baixíssimas rotações e auto-ajuste com motor rodando ou parado. Os inversores F7 contêm eletrônica avançada com microprocessador de 32 bits e memória não volátil tipo flash, com resolução de frequência de 0,01 Hz, permitindo controle preciso em baixas velocidades.

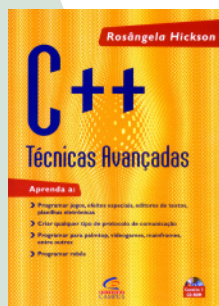
CAD criativo

A partir de uma série de experimentos educacionais com CAD, realizados em diferentes cursos de Arquitetura e Engenharia civil, a obra "CAD criativo" se destina a qualquer pessoa que queira aprender a utilizar o computador para projetar de uma maneira criativa, não importando seu conhecimento prévio do assunto. Dividida em duas partes, a primeira apresenta diferentes princípios compostos muito utilizados por arquitetos e designers. A segunda parte traz a automatização de processos repetitivos, através da algoritmização de processo de projeto e da geração automática de alternativas. De autoria de Gabriela Celani, "CAD criativo" é publicado pela Editora Campus e custa R\$ 39,00.



C++ Técnicas Avançadas

Capaz de resolver vários tipos de problemas computacionais, a linguagem C++ está estruturada para permitir o acesso a todos os recursos do sistema operacional e do próprio hardware, além de possuir excelentes compiladores e ambientes de desenvolvimento que facilitam a sua programação para todas as plataformas de computação importantes. Esta obra aborda de forma simples e clara a utilização de C++, esclarecendo e proporcionando ao programador, uma visão abrangente de todos os níveis dos sistemas computacionais. "C++ Técnicas Avançadas", publicado pela Editora Campus, é de autoria de Rosângela Hickson e sai pelo preço de R\$ 69,00.



HSM/HBC: O estado da arte em usinagem

Atualmente considerada como o estado da arte em termos de usinagem, a tecnologia de altíssimas velocidades (HSC ou HSM) foi desenvolvida há mais de 70 anos. O método criado por C. Salomon e foi patenteado em 27 de abril de 1931, na Alemanha. A patente foi concedida à Friedrich Krupp AG.

Depois de décadas relegada ao esquecimento, a tecnologia ressuruiu nos anos 80 a partir de estudos realizados em vários países, especialmente na Alemanha. Nos anos 90, a tecnologia começou a chegar ao ambiente industrial. Hoje, pode-se dizer que a HSM/HSC já garantiu seu espaço na manufatura, especialmente nos segmentos de peças aeronáuticas, automobilísticas e de moldes e matrizes, com grande potencial ainda para ocupar outros nichos.

Para apresentar esta tecnologia ao mercado brasileiro, onde também é crescente o número de usuários, a fabricante de ferramentas de corte Sandvik Coromant reuniu um grupo de pesquisadores, professores, jornalistas e especialistas em ferramentas para escrever o livro "Usinagem em Altíssimas Velocidades - Como os conceitos HSM/HSC podem revolucionar a indústria metal-mecânica", publicado pela Editora Érica.

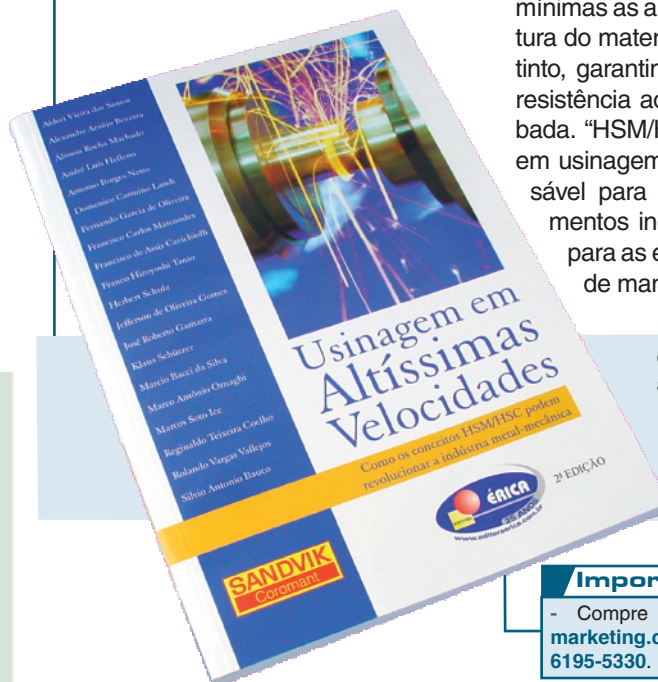
Klaus Schützer, um dos maiores especialistas no assunto e um dos

autores da obra, acredita que o resultado mais importante no trabalho de C. Salomon foi o fato de que, acima de uma determinada velocidade de corte, as temperaturas de corte começavam a cair. Na obra apresentada é possível conferir algumas figuras que comprovam essa teoria.

Quando desenvolveu seu método, Salomon tinha uma série de limitações em termos de máquinas. Para realizar seus experimentos, utilizou uma serra circular de grande diâmetro. Mesmo com baixa rotação, ela permitia uma velocidade periférica bastante alta.

As pesquisas na área de alta velocidade foram retomadas após a Segunda Guerra Mundial. Primeiro por Kustnetsov, na Suíça, e depois por Vaughn e Kronenberg, já no final da década de 50 e início dos 60. As pesquisas visando o desenvolvimento da tecnologia com fins industriais só tiveram início nos anos 80, pelo professor Herbert Schulz, da Darmstadt University of Technology, da Alemanha.

A retomada e o grande desenvolvimento atual do tema HSM/HSC se deve não só ao aumento da velocidade de produção de uma determinada peça, mas também à melhoria da qualidade superficial das peças usinadas com o emprego deste processo. Com altíssimas velocidades e avanços de profundidades de corte mínimas as alterações na microestrutura do material se dão de modo distinto, garantindo maior integridade e resistência ao desgaste à peça acabada. "HSM/HSC: O estado da arte em usinagem" é uma obra indispensável para os mais variados segmentos industriais, com destaque para as empresas com processo de manufatura.



Obra traz mais de 20 autores.

Importante

- Compre através do site www.sabermarketing.com.br ou pelo telefone: (11) 6195-5330.

Projetos

SUPERVISÃO

Usina Guarani

A Aneel autorizou a empresa Açúcar Guarani S/A a ampliar a capacidade instalada da termelétrica Guarani. A usina passará a ter 55 MW de potência e vai beneficiar mais 268,3 mil habitantes. A térmica está localizada no município de Olímpia (SP) e opera desde 1987. O novo turbogerador, de 25 MW, deverá entrar em operação em maio de 2005.

Recap - Refinaria de Paulínia (SP)

A Refinaria de Paulínia, unidade do Sistema Petrobras, acaba de retomar a produção da Unidade de Destilação (U-200A), que ficou parada para manutenção e ampliação de capacidade de processamento de petróleo de 27 mil m³/dia para 30 mil m³/dia. O ajuste possibilitou à Refinaria processar petróleos mais pesados, característica principal do produto explorado na Bacia de Campos (RJ).

CEEE (RS)

A Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) do Rio Grande do Sul foi autorizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel - a implantar o quarto circuito da linha de transmissão Gravataí II - Porto Alegre (RS). Com extensão de 29,3 quilômetros, a linha Gravataí II - Porto Alegre opera na tensão 230 quilovolts (kV).

AUTOMAÇÃO



Petrobras

Através de um contrato de R\$ 17 milhões, a Petrobras estará implantando uma extensa modificação nas plantas P-40, P-38, P-12, P-07, Enchova, Pampa e Garoupa. Nas plataformas de P-40 e P-38, por exemplo, estará sendo implantado todo o processo de manutenção, incluindo planejamento, controle de material, de sobressalentes e mão-de-obra direta (mecânica, elétrica, instrumentação, refrigeração, eletrônica e automação). O contrato foi conquistado pela ABB.

INSTRUMENTAÇÃO

Inpe (SP)

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Inpe - está adquirindo duas válvulas gavetas do tipo pneumática para flange CF100 e outras duas válvulas eletropneumáticas 110VAC (60Hz) para acionamento de válvula gaveta.



Manaus Energia (AM)

A Manaus Energia S/A está contratando uma empresa especializada para prestação de serviços de recuperação, eletromecânica e rebobinamento de motores elétricos na classe de tensão de trabalho de 600 volts (AC ou CC) e nas potências nominais de 1/8 a 150 cv ou hp. O serviço será realizado em 189 motores, além do rebobinamento de 20 solenóides de 125 Vca ou Vcc até 1/2 HP.



Samarco Mineração (MG)

A mineradora Samarco eliminou seis fontes radioativas com a troca de seus medidores de densidade de polpa de minério. Eles foram substituídos pelos medidores DT301, equipamentos da Smar, que calculam a densidade através do diferencial de pressão hidrostático. Para que o transmissor pudesse ser instalado foi desenvolvido um tanque amostrador que desvia parte da polpa da tubulação para o seu interior onde feita a homogeneização do fluido por meio do movimento espiral. O movimento evita a sedimentação da polpa no interior do tanque.



Aplicando **contatores** comuns em **manobras** de **capacitores** para **correção** de F.P.

Alaor Mousa Saccomano

Um dos dispositivos mais utilizados nos sistemas de fornecimento e distribuição de energia elétrica é o capacitor. Sua aplicação em sistemas de energia se deve principalmente à correção do fator de potência, seja por imposição das concessionárias de energia, seja pelo uso inteligente por parte do consumidor, no que diz respeito à economia e boa utilização da energia elétrica.

A aplicação da correção do fator de potência pode ser realizada em dois momentos:

- Na entrada da distribuição, seja na alta ou baixa tensão;
- Sobre a entrada de um equipamento ou máquina específica.

A primeira aplicação tem como objetivo equilibrar o Fator de Potência do usuário (classe A1, A2 ou B, entre outros) para que seja mantido o nível de utilização de energia reativa dentro dos padrões impostos pelas concessionárias e agências de energia elétrica. O segundo caso busca um melhor aproveitamento da energia distribuída dentro da fábrica ou ambiente industrial, logo após a subestação de energia. Neste momento nos ateremos a este caso.

Quando se equilibra o fator de potência que, segundo a portaria atual (Aneel-456/2000), se encontra acima de 0,92 indutivo das 6h30min até as 24h30min e acima de 0,92 para os demais horários na maioria das regiões industriais (algumas exceções são também encontradas), obtém-se uma sensível economia da energia “disponível”. Por exemplo: um cabo

de alimentação que sob fator de potência unitário permite a circulação de 100 A para executar trabalho útil, sob fator de potência 0,30 permitiria apenas 30 A para este trabalho, pois o restante seria de energia reativa circulando no mesmo...e energia reativa não executa trabalho, apenas aquece o cabo, desarma disjuntores e limita a atuação de chaves e elementos de manobra.

Quando se aplica um capacitor em uma máquina, especialmente um motor de indução assíncrono trifásico, o mesmo deve ser operado após o motor alcançar a velocidade nominal e desoperado pelo menos junto com o desligamento do motor para evitar que sobretensões danifiquem os capacitores.

Os contatores de manobra para aplicação em capacitores devem ser do tipo específico para manobra:

- Dois estágios impondo no primeiro uma resistência (ou indutância)

limitadora de corrente e logo após, acionamento livre (**figura 1**);

- Caracterizado pela IEC 947 como classe de emprego AC6-b (**figura 2**).

No caso da não disponibilidade deste tipo de elemento de manobra, pode-se optar pela aplicação de um contator comum (classe de emprego AC-3) e faz-se uma desclassificação do contator. Para tanto pode-se inferir:

- Contator classe AC-6b:

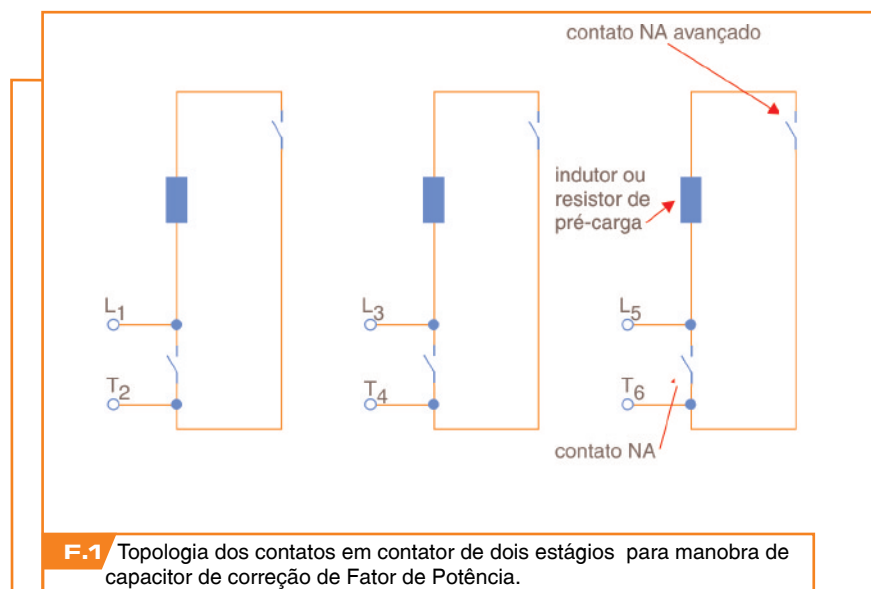
$$I_{\text{contator}} = i_{\text{ncap}}$$

- Contator classe AC-3:

$$I_{\text{contator}} = i_{\text{ncap}} \cdot 1,43$$

onde i_{ncap} é a corrente nominal do capacitor.

Outro cuidado que se deve impor é instalar um indutor para limitar a velocidade de cresci-



Aplicando **contatores** comuns em **manobras** de **capacitores** para **correção** de F.P. (continuação)

Alaor Mousa Saccomano

mento da corrente no momento da inserção do capacitor na rede. Na prática, basta aumentar o perímetro de cabo entre a saída do contator e o capacitor. Este perímetro a mais pode ser calculado. Para efeitos práticos adota-se um valor entre 1 metro e 3 metros a mais de cabo.

Aplicando

Vamos exemplificar a utilização de um conjunto de capacitores ligados em triângulo, que compõem 10 kVar em 380 V. A corrente nominal do conjunto será de:

$$i_{ncap} = 10 \text{ kVar} / (380V)^{1/2}$$

$$i_{ncap} = 15,16 \text{ A}$$

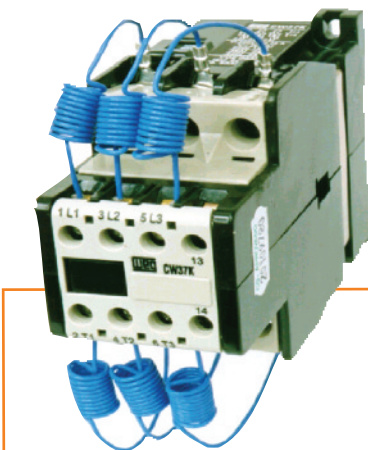
O que nos possibilita a utilização de um contator de 16A/AC6-b. Se, no entanto, fossemos aplicar um contator que normalmente só mano-

bra motores (AC3), necessitaríamos:

$$i_{contator} = 15,16 \cdot 1,43$$

$$i_{contator} = 21,68 \text{ A}$$

Observa-se assim que agora deve ser aplicado um contator que suporte



F.2 Contator para manobra de capacitor, modelo de 2 estágios segundo AC6-b.

cerca de 22A. Comercialmente, deve-se atentar para um valor ligeiramente superior como 25A/AC3.

Quanto aos cabos de alimentação e fusíveis de proteção, deve-se proceder considerando um possível pico de corrente e a temperatura ambiente. Para uma temperatura padrão de 40°C, deve-se desensibilizar os valores de cabo e fusíveis em 60%. Assim, sendo i_{fus} a corrente à que se deve aplicar o fusível e cabo, vem:

$$i_{ncap} \cdot 1,6 = i_{fus}$$

No caso exemplo:

$$i_{fus} = 15,16 \cdot 1,6$$

$$i_{fus} = 24,256 \text{ A}$$

(valor comercial de 25 A)

O cabo também deverá seguir este valor de corrente. Quanto ao fusível, deve ser do tipo ação retardada com atuação contra curto-circuito em toda faixa (gL-gG). ■

Mesa XY perde em **comportamento** repetitivo

Samir Kassouf

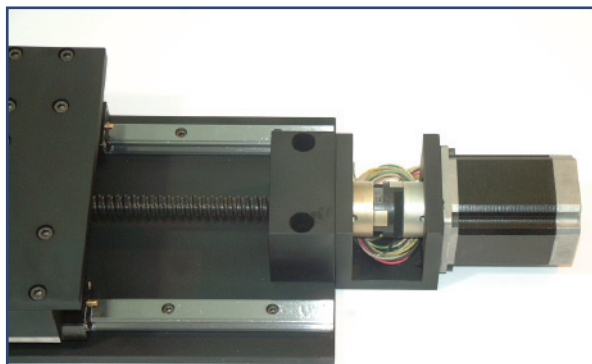
Em uma linha de montagem de uma peça veicular, um braço mecânico posicionava um componente que deveria ser montado em um corpo trazido e posicionado milimetricamente por uma mesa de deslocamento, sendo que esta mesa era acionada por um motor de passo. Como as peças variavam de comprimento (de acordo com o modelo do veículo), o curso de aproximação da mesa deveria ser variado. O *drive* estava conectado a uma IHM (na qual o operador explicitava o tipo de peça a ser feito e consequentemente o curso da mesa).

A reclamação do cliente era que a mesa não tinha mais um comportamento repetitivo. Às vezes ela parava a 4 mm da peça, às vezes 2mm e em outras ela chegava até a bater na peça. A mesa já estava em funcionamento havia mais de 8 meses, e só agora o problema tinha aparecido. O operador adiantou que tal anomalia

se mostrou presente após a manutenção da mesa. Prontamente, a mesa foi desmontada e observou-se que o acoplamento fornecido pelo almoxarife era um acoplamento comum, e não um acoplamento sem folga como exige tal projeto de precisão. O acoplamento foi trocado e o problema do cliente foi resolvido rapidamente.

Pelas características rígidas de alinhamento das mesas, não são incommuns os casos nos quais, após uma

manutenção feita pelo cliente para reforma de um fuso ou troca de uma bucha, seja alegado que o acionamento (motor passo a passo ou servo) comece a parecer muito fraco para o trabalho de deslocamento da mesa em algum ponto do curso total. Logicamente, aí o desalinhamento dos eixos é o responsável por este problema, que desaparecerá com seu realinhamento. ■



F.3

Ela tem 30 anos e um monte de desafios

Sérgio Vieira

Ao chegar aos 30 anos, a Ethernet precisa resolver suas desvantagens nas aplicações industriais

Quando os leitores da Revista Mecatrônica Atual começarem a ler esta reportagem, muito provavelmente, alguma novidade referente à evolução da Ethernet deverá estar sendo divulgada no mercado. Algum novo *chip* para “conversar” com essa rede, algum *switch*, ou algo bem ligado à informática, num prazo de duas semanas, pode estar sendo divulgado em conjunto com as facilidades da Ethernet. “Já existem redes atingindo a casa dos GB de velocidade, sendo que tal

padrão deve chegar ao mercado num curto espaço de tempo”, prevê Nilton Marussig, diretor comercial da NWM Automação e Sistemas.

Toda a euforia em torno dessa rede está fazendo com que várias empresas dêem uma atenção especial a esse protocolo de comunicação. Aqui mesmo na Revista Mecatrônica Atual nº 2 (fevereiro de 2002), o gestor de produtos da Festo Automação, Bruno Tasinari, demonstrou os vários campos em que a Ethernet pode atuar nas áreas comercial, residencial e industrial.

Nas duas primeiras áreas citadas, realmente, o campo de atuação da Ethernet é enorme devido às diferentes conectividades possíveis. Mas, e na indústria? Como é que as coisas estão acontecendo quando se fala em conectividade, segurança e informação em tempo real? Bem, os acompanhantes desse mercado, pelo menos uma vez, já devem ter ouvido falar em Ethernet Industrial. Sem dúvida nenhuma que, esse novo modelo da Ethernet, foi um grande avanço para sua disseminação na área industrial, mas os desafios dessa rede que chega aos 30 anos de idade parece

que vão além de tudo o que já foi descoberto até agora.

O primeiro desses desafios, e um dos mais comentados em seminários e palestras, é a

questão do determinismo da Ethernet.

Como determinar o tempo exato de uma mensagem numa rede Ethernet e qual é a garantia de entrega? Para baixar a probabilidade de atrasos, procura-se deixar o tráfego na rede bem inferior aos limites estabelecidos. Aumenta-se a velocidade e pode-se até determinar o tempo de uma mensagem, mas as colisões ainda são inevitáveis. Para resolver o problema de colisão algumas soluções comerciais propõem o uso de *switches*, mas mesmo assim, o tempo de resposta pode ser inútil em algumas aplicações. Além disso, o custo de *switches* e *hubs* ainda é considerado alto por boa parte dos usuários. Entretanto, na visão do fabricante, as realidades entre *switch* e *hub* são bem diferentes. “O preço do *switch* caiu bem mais que o *hub*”, avalia Paulo Rocha, engenheiro de aplicação da Rockwell Automation.

A interoperabilidade é mais um dos desafios a ser vencido por essa rede. Como foi algo já constatado há algum tempo, desde que se falou em Ethernet Industrial, cada grupo de interessados correu para um lado diferente no que diz respeito à camada de aplicação. Foi então que começaram a surgir protocolos proprietários e encapsulamento na Ethernet dos pacotes de protocolos de barramento de campo. Como encapsulamento da rede encontra-se Modbus/TCP, Ethernet/IP, Profinet, etc. Pelo que se vê, voltou-se a um problema antigo, não há padronização na camada de aplicação. É bom

lembrar que a “descida da Ethernet” para o chão de fábrica foi por imposição dos usuários, já o oferecimento de vários modelos para essa “descida” partiu dos fabricantes.

A segurança em áreas intrínsecas é outro desafio a ser vencido pela Ethernet. Numa rápida consulta a alguns *sites* da Internet constata-se que esse é um dos grandes desafios da rede para o seu fortalecimento na indústria de processo, principalmente nas áreas química, petroquímica e de petróleo. Segundo Paulo Rocha, no caso da Ethernet/IP falta apenas o um adaptador para levá-la à área de segurança intrínseca. “Em breve, esses adaptadores serão lançados no mercado”, avisou.

Um outro problema que parece que ainda não tem solução na Ethernet, é a sincronização na casa dos microssegundos. Em aplicações não muito críticas, o tempo pode até parecer irrisório, mas em áreas industriais essa diferença de sincronismo pode ser a diferença entre uma arquitetura de automação eficiente e outra cheia de problemas. De acordo com Paulo Rocha, o problema de sincronização de microssegundos não acontece na transmissão de 100 MB e avisa: “O problema será resolvido na casa dos GB”.

Pelo que foi constatado nesta reportagem, a Ethernet em ambiente de chão de fábrica é algo consolidado e é um caminho sem volta. Resta agora, resolver algumas questões que foram citadas acima porque geram muitas dúvidas aos usuários tanto no aspecto técnico quanto comercial deste protocolo de comunicação. Apesar dos desafios para disseminar-se, ainda mais, no ambiente de chão de fábrica, a Ethernet já se prepara para uma nova onda: a eliminação dos cabos. ■

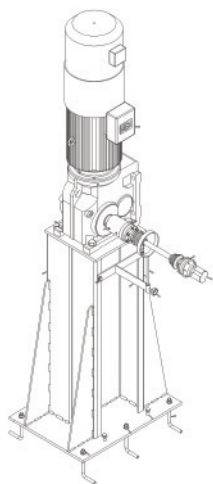
Caso de aplicação: motorreductores em enroladores e desenroladores de tecidos

Sérgio Vieira

Fabricante de máquinas têxteis desde 1952, a Texima é uma empresa especializada na fabricação de equipamentos têxteis e, nesses 50 anos de trabalho, já forneceu mais de 800 “ramas” para várias indústrias do país e do exterior. No seu portfólio de equipamentos fabrica secadores, equipamentos tingidores com tecnologia pneumática, chauscadeira para melhoria da qualidade, secado-

res de cilindros com elevada capacidade de evaporação, instalações para tingimento de índigo e acabamento de Denim, além de máquina para encolhimento compressivo.

Além de fabricar toda a parte metalúrgica de suas máquinas, a Texima também especializou-se em montar os painéis eletrônicos que controlam as entradas e saídas dos vários tipos de tecidos industriais. Por esse



F.1 texto.

motivo, a empresa adquiriu vasto conhecimento tanto no uso de instrumentos como sensores, inversores, relés, assim como na parte de automação com os controladores, interfaces homem máquina (IHMs) e PC's industriais.

Nas grandes máquinas fabricadas pela Texima, chama a atenção o sincronismo obtido para a montagem dos equipamentos enroladores e desenroladores de tecido, instalados, respectivamente, na saída e entrada de máquinas. Para a construção desse tipo de equipamento, basicamente, são utilizados motoredutores e conversores para se obter o perfeito deslizamento do tecido. "Conseguimos trabalhar com essas variáveis instalando os motoredutores da SEW e os conversores MovieDrive", comenta Renzo Ruschioni, engenheiro de projetos elétricos da Texima que utiliza os motoredutores e conversores da SEW há cinco anos.

Recentemente, a Texima instalou um desenrolador para trabalhar com o tecido do tipo Felpudo (toalha). Para chegar ao equipamento final foi utilizado o motoredutor da SEW com as seguintes características:

Mediante essas características do motoredutor, juntamente com o conversor MovieDrive, foi montado um desenrolador com as seguintes características técnicas:

O conjunto motoredutor e conversor também é aplicado em outras partes das máquinas fabricadas pela Texima. Vale lembrar que os dados citados acima mudam conforme o

T.1 Características técnicas do motorreductor da SEWDRIVE..

Características técnicas	Valores
velocidade	10 a 45 m/min
rotação de entrada	1760 rpm
redução	24,75
ponta de eixo da saída	70x140 mm
potência do motor	18,5 KW
tensão do motor	220/380 V
freqüência do motor	60 Hz
grau de proteção	IP 55
classe de temperatura	F
tensão do freio	380 V
torque de frenagem	300 Nm
retificador do freio	BGE 1,5
tensão da ventilação forçada	220/380/60 V



F.1 texto.

tipo de tecido. Ruschioni observa, por exemplo, que desenroladores concentram grande quantidade de água na base das bobinas e, por esse motivo, existe uma mudança nos valores das variáveis, principalmente de peso.

Além dos enroladores e desenroladores, o conjunto motoredutor/

conversor também é aplicado na engomadeira de fios. Nessa aplicação, a Texima utiliza a série de servoconversores Movidyn para instalá-los nos eixos do: acumulador, Foulard de Goma, secadeira, puxador após secadeira e nos dois eixos dos bobinadores.

T.2 Características técnicas do desenrolador.

Características técnicas	Valores
tipo de tecido	felpudo
peso específico do tecido	até 1 kg/cm
peso da bobina cheia	4200 kg
peso da bobina vazia (cilindro)	190 kg
largura do tecido	2800 mm
velocidade mínima	10 m/min
velocidade máxima	45 m/min
diâmetro máximo da bobina	1750 mm
diâmetro mínimo da bobina	220 mm
altura do centro da bobina em relação chão	1360 mm



Protótipo da Força Aérea Americana, onde as duas turbinas são basculadas por fusos de esferas.



Controle de ângulo de tiro feito por um fuso de esferas na base do lançador.

Samir Kassouf*

O fuso de esferas é um dispositivo mecânico de deslocamento linear indispensável na indústria moderna, seja qual for o equipamento ou seu campo de atuação. Como exemplo, podemos citar os ramos: aeroespacial, bélico, farmacêutico, siderúrgico, bebidas, mineração, automobilístico, construção, usinagem, alimentício, etc. Vamos abordar, neste artigo, o lado construtivo, sua especificação e os aspectos de recuperação desse tipo de equipamento.

A recuperação de um fuso, supostamente no fim da vida, pode ser sinônimo de uma grande economia para a empresa. Um fuso pode ser recuperado de três a cinco vezes, gerando economias de 30 a 70% se comparado com um novo. Temos vários fabricantes de renome no mercado brasileiro, oferecendo equipamentos de alta qualidade, onde podemos citar, entre outros: TBI, Star, ABBA, Thomson Industries, Warner Electric, NSK, THK, Nook Industries, etc.

O fuso de esferas é responsável pela conversão de energia de rotação (gerada por um motor AC, motor de passo, servomotor, etc.) em movimentação linear. Na aplicação mais comum, um fuso mancalizado nas extremidades recebe movimento de giro de um motor e, por contato direto com esferas de aço que se alojam entre a castanha e o fuso, provoca o deslocamento de uma castanha ou porca (onde está presa a carga a ser movimentada). As esferas metálicas são, por sua vez, guiadas e realimentadas por canais de recirculação na castanha ou porca, dando linearidade e suavidade ao movimento.

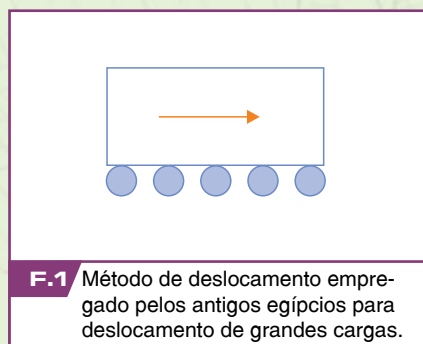
Um fuso de esferas pode apresentar diâmetros de 3 até 80 mm, ou mais (o diâmetro deve ser medido

no centro de rolamento das esferas), podendo ser retificado (de alta precisão) ou rolado.

Embora o sistema pareça ser complexo à primeira vista, seu princípio é extremamente simples e remonta na antiguidade, a 2800 a.C., mais especificamente com os egípcios, que para a construção das pirâmides, deslocavam imensos blocos de pedra fazendo-os rolar sobre troncos em encostas de morros e ladeiras (). Da mesma forma, os fusos de esferas deslocam tremendas cargas com baixas potências.

Os fusos de esfera são empregados nos mais variados projetos, onde se exige:

- “Repetibilidade”;
- Confiabilidade;
- Elevada eficiência (ao redor de 90%);



F.1 Método de deslocamento empregado pelos antigos egípcios para deslocamento de grandes cargas.

Fuso de **ESFERAS**: Especificação e Reparo

- Responsabilidade;
- Precisão (pré-carga nas castanhas);
- Operação limpa e silenciosa;
- Durabilidade;
- Ruídos médios;
- Baixa manutenção.

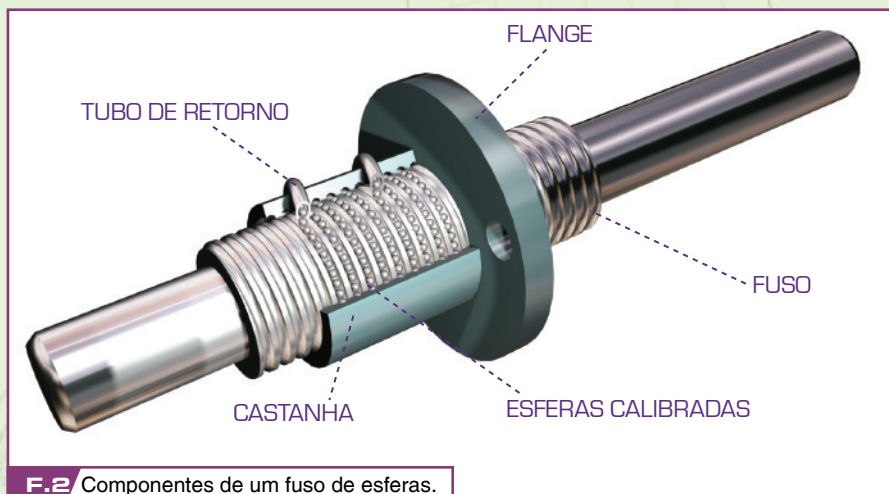
Essas características fazem com que o fuso de esferas seja utilizado como componente em projetos mais complexos, de larga utilização nas indústrias, que agregam outros elementos de máquina. Exemplificando podemos citar equipamentos como as mesas XYZ, os macacos mecânicos e atuadores lineares (ver artigo na **Mecatrônica Atual nº 11**), a mesa pantográfica, elevadores, etc.

Os componentes que compõem um fuso de esfera (**figura 2**) são:

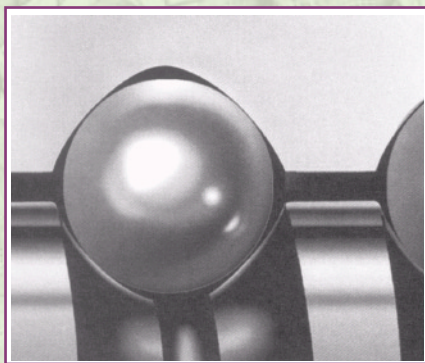
- Flange;
- Tubos de Retorno;
- Fuso;
- Raspadores;
- Esferas calibradas.

Observamos que as esferas empregadas nesses equipamentos apresentam perfis variados, variam de fabricante para fabricante e não podem ser misturadas. Os perfis mais comuns são Gótico e Circular. Outro agravante, é que os diferentes perfis de esferas não podem ser detectados a olho nu. Veja a **figura 3**.

Os tubos de retorno podem ser internos ou externos, sendo que os primeiros fornecem mais espaços para a fixação da carga e menores ruídos. Os tubos de retorno devem ser projetados com uma preocupação muito grande pelo fabricante, pois são eles que receberão toda a quantidade de movimento das esferas, em altas velocidades de trabalho, e deverão redirecioná-las tangencialmente para os circuitos internos da castanha.



F.2 Componentes de um fuso de esferas.



F.3 Perfil de esfera.



F.4 Exemplo de castanhas pré-carregadas.

A pista do fuso (*ball screw*) é endurecida (de 58 A 62 RC), retificada (mais precisas) nos casos de fusos de alta precisão, como é o caso dos fusos empregados em máquinas operatrizes; ou roletados, usados em aplicações de transporte de menos responsabilidade.

Nessas pistas rolam as esferas de aço (*balls*) que podem até ser ocas para diminuir seu peso, como nos modelos usados na indústria aeroespacial, onde até os fusos são ocas e utilizados como conduítes hidráulicos). O movimento contínuo do fuso será responsável pelo deslocamento da carga e a castanha externa (*ball nut*) tem por função agrupar e recircular as esferas, além de ser nela que a carga a ser deslocada é fixada através de uma flange (figura 4).

APLICAÇÕES E EXEMPLOS DE PROJETOS

Aplicações comuns, além das citadas acima, são: máquinas operatrizes, macacos mecânicos e atuador linear,

mesas pantográficas, elevadores de equipamentos, vans, máquinas vulcanizadoras, máquinas de raios-X, equipamentos cirúrgicos, prensas, ponte para embarque em aviões, envasadoras, de aviões, torre de posicionamento de tiro em canhões, corte e solda, impressoras, automações, máquinas especiais etc.

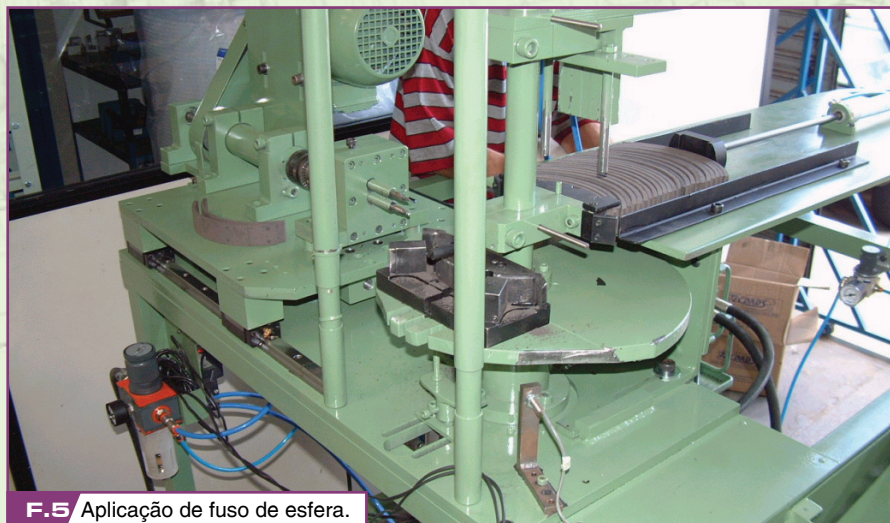
Um bom exemplo de projeto utilizando esse equipamento foi uma

máquina especial projetada pela Kalatec Automação e montada pela Automatec, ambas de Campinas-SP, onde entre vários processos automatizados, lonas de freio são furadas e dispensadas, e o movimento de vai-vém da broca é feito com precisão milimétrica por um fuso de esferas da TBI e guias prismáticas da ABBA, instalados na base do carro, que faz a aproximação da parafusadeira (figura 5).

Outra aplicação interessante, consiste em um espalhador de fios projetado e construído pelas mesmas empresas. Nela, um motor de passo da Applied Motion é preso a um acoplamento sem folga e este a um fuso da Thomson mancalizado com castanhas duplas (que, como poderemos ver mais tarde, tem por função retirar totalmente a folga do carro de deslocamento). O acionamento do motor, que foi pré-programado por um software (disponível na revista Saber Eletrônica Especial nº 9), gera um movimento uniforme de ida e vinda da castanha e, por consequência, um enrolamento uniforme de um fio no enrolamento de uma bobina.

VANTAGENS

- 90% á 95% de eficiência (rosca acme: 30 á 40%);
- Baixo torque de partida e partidas suaves, evitando “trancos” nos movimentos;
- Folgas baixíssimas ou folga zero;
- Baixa manutenção.



F.5 Aplicação de fuso de esfera.

- Vida previsível, não necessita ajustes com o passar do tempo, fácil e rápido *retrofit*.

VANTAGEM SOBRE: A EMBREAGEM PARA CORRENTE.

Quando há transmissões de movimento para grandes distâncias, nota-se uma indesejável instabilidade da corrente, além de um alto ruído.

VANTAGEM SOBRE: SISTEMA COROA-PINHÃO

Esse é um sistema simples, econômico e eficiente para conversão de movimento rotativo em movimento linear, mas, como desvantagem, apresenta uma baixa capacidade de carga, onde um dente do engrenamento suporta toda a carga do sistema.

VANTAGEM SOBRE: FUSOS DE ROSCA ACME:

Um dos dispositivos mais usados na indústria, mas apresenta baixo rendimento (30%), baixo confiabilidade e alto desgaste.

VANTAGEM SOBRE: SISTEMAS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS.

Não há atraso nos tempos de resposta (*start / stop*), o motor que aciona um atuador (fuso) “sente” menos as variações de carga do sistema. Não necessita de equipamentos, como bombas, tanques linhas de pressão, portanto menos sujeito a vazamentos e manutenções.

ELEMENTOS PARA ESPECIFICAÇÃO

Passo (lead) e Rosca (RH ou LH): é o deslocamento linear da castanha quando se dá uma volta de 360° no fuso (**nem sempre a distância entre os flancos é o passo, pois existem fusos com mais de uma entrada**). Quanto menor for o passo, mais lentamente irá se deslocar a castanha para a mesma rpm. Se forem desejadas altas velocidades de deslocamento, é recomendável utilizar fusos com grandes passos. Os passos mais empregados são 5, 10, 20 mm (em milímetros) e 0,2”, ¼”, ½” e 1” (em polegadas). O fuso pode ser também de rosca esquerda (LH), rosca direita (RH), ou montagem com ambas as roscas (**figura 6**).



F.6 Rosca RH e LH no mesmo fuso.

Precisão do Passo: É a precisão que o fuso deverá ter para o posicionamento de sua carga. Com esse dado é possível determinar o erro total para um curso do fuso, sendo que o erro não é acumulativo (**tabela 1**).

Classe ISO	Erro do Passo
1	0,005 mm/300 mm
3	0,013 mm/300 mm
5	0,025 mm/300 mm
7	0,050 mm/300 mm
9	0,152 mm/300 mm

T-1 Precisão do passo.

Castanha: Existem vários modelos de castanha, onde variam o número de circuitos das esferas, o material de construção, ter recirculação interna ou externa, o tipo de da pré-carga ou montagem do flange e o fato da castanha ter a característica do *anti-backlash* ou não, características essas que serão analisadas no próximo item deste artigo.

Castanhas com Zero Backlash ou Pré-carga: Existem aplicações onde não pode haver folga no curso, como é o caso dos sistemas de controle numérico computadorizado (CNC) para posicionamento das mesas X, Y e Z, ou até mesmo sistemas com altas cargas inerciais com rampas abruptas de frenagem que, por essa característica, geram manu-

tenções frequentes. Há várias maneiras de retirar a folga axial entre o fuso e a castanha. Vamos citar de maneira rápida os dois métodos mais usados pelos fabricantes e suas características principais, lembrando que a pré-carga sempre diminui a vida do fuso.

O *pre-load* ou pré-carregamento, nada mais é que duas castanhas normais unidas por um dispositivo de pré-carga (por molas ou contra-porcacas que têm por função pressionar as esferas contra os flancos do fuso, em sentidos opostos) eliminando assim a folga do equipamento (**figura 7**). A grande vantagem é que dobramos a capacidade de carga com este artifício e aumentamos a vida da castanha, além de termos um dispositivo que nos habilita a compensar instantaneamente as folgas que aparecem com o uso; e a parte negativa é o custo maior, o equivalente a duas castanhas mais o dispositivo de folga.

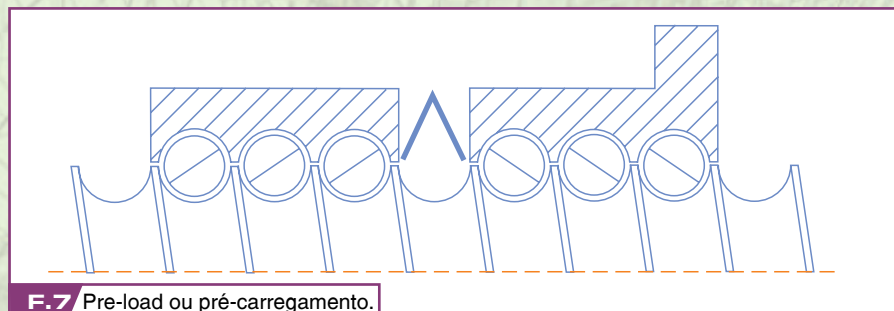
A segunda maneira mais comum utilizada pelos fabricantes é optar em fabricar a castanha com duas hélices de passos diferentes (**figura 8**), e obrigando as esferas a se comprimirem nos flancos do fuso. A vantagem aí é o custo, pouco mais elevado do que uma castanha comum, porém apresenta a desvantagem da não conceder regulagem da folga com o desgaste normal do equipamento.

Tipos de montagens dos fusos:

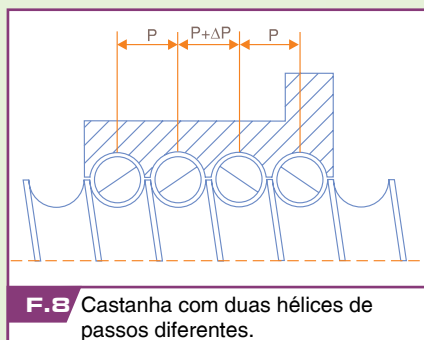
Existem quatro fixações básicas dos extremos em mancais e que serão fundamentais para a especificação do mesmo e dependem exclusivamente dos preceitos assumidos no projeto (**figura 9**).

Usinagem das pontas do fuso:

Outro critério a ser considerado é a usinagem (ou não) das pontas do fuso, que podem ser conforme solicitação do cliente, ou padrão conforme



F.7 Pre-load ou pré-carregamento.



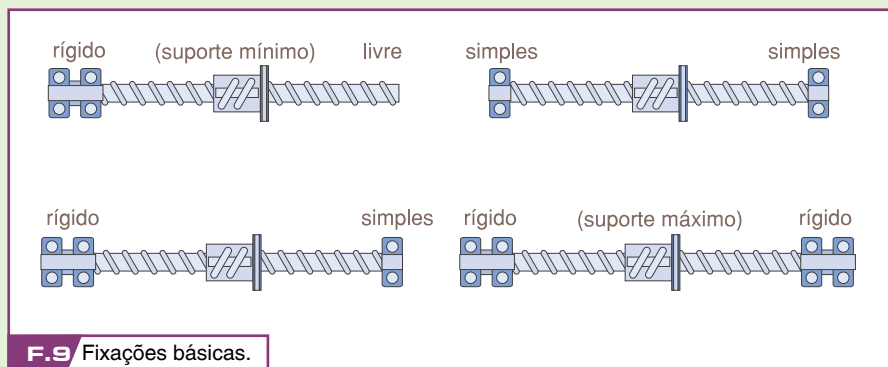
catálogos. Na desmontagem, verificar a condição das mesmas.

Wiper kit: Nada mais são que dispositivos que permitem a distribuição do óleo lubrificante por toda a pista do fuso, e evitam a entrada de contaminantes externos. Existem que funcionam como uma escova com cerdas, “varrendo” para fora os elementos contaminantes, e outros feitos de resina rígida que adquirem o perfil da hélice do fuso. São localizados nas extremidades das castanhas e deles depende a “saúde” da castanha.

ESPECIFICAÇÃO DO FUSO DE ESFERAS

Basicamente, três gráficos são necessários para especificar um fuso de esferas. O primeiro é de Carga Vida (em polegadas ou metros) que estima a vida útil do fuso e, de acordo com a aplicação, poderá ou não ser aceita pelo projetista. O segundo verifica se a velocidade de trabalho do fuso não é crítica, o que poderá levá-lo a ter uma vida curta devido ao fenômeno de ressonância. Para obter tal gráfico é necessário ter pré-estabelecida a maneira de se fixar o fuso (exemplo: Metro/min. distância entre mancais e tipo de fixação). Já o terceiro gráfico checa o fuso quanto a carga de compressão e sua possível flambagem (Carga distância entre mancais).

Esses gráficos variam de fabricante para fabricante e fica a critério do projetista a escolha do melhor fornecedor. Como já dissemos anteriormente, há uma grande gama de fabricantes atuando no mercado com produtos de ótima qualidade, sendo que normalmente os fatores determinantes são o prazo de entrega, disponibilidade em estoque e assistência



técnica do produto. Não esquecendo, nesse caso, de questionar o fornecedor quanto a importância de poder contar com uma oficina gabaritada de recuperação desse equipamento.

- Vibração;
- Ruído anormal;
- Perda da precisão costureira;
- Falta de sincronismo com fusos paralelos, etc.

Falhas

RECUPERAÇÃO DE FUSOS DE ESFERAS

O custo de um fuso de esferas com castanha vem caindo significativamente nos últimos anos. Uma redução superior a 50% ocorreu em vários modelos nos últimos 10 anos devido a fabricação em série, materiais alternativos, dispositivos de fabricação e aferição mais rápidos. Apesar disso, este produto novo ainda é considerado de alto custo para algumas aplicações.

Muitos fusos de esferas podem ser reparados ou ter a sua vida útil estendida se empregados certos artifícios. As oficinas geralmente são pequenas, mas com dispositivos precisos de diagnóstico e reparo.

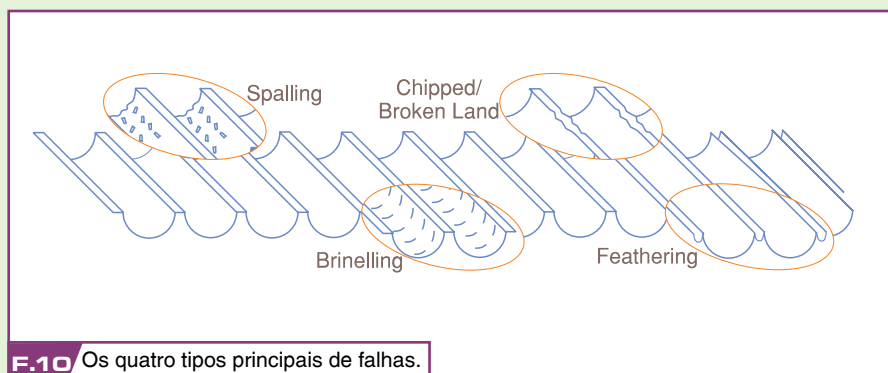
Citamos abaixo algumas das características que podem ser observadas nos equipamentos que empregam esses fusos e que, portanto, são fortes candidatos a uma manutenção:

- Perda de “repetibilidade”;
- Perda da uniformidade dos movimentos;

As causas que levam ao desgaste prematuro de um fuso são várias, mas podemos mostrar as características visuais das quatro falhas mais comuns (**figura 10**) e citar com mais detalhes as duas principais que provavelmente se enquadram nos problemas do leitor.

A falha é conhecida como brinelling ocorre quando há carga excessiva no fuso gerada por um erro de dimensionamento ou uma alteração do projeto da máquina, ou seja, a carga manipulada foi aumentada no equipamento, porém não houve a preocupação da substituição do fuso para compensá-la. A característica visual deste problema são pequenos riscos longitudinais a pista do fuso.

O spalling pode ser causado pela entrada de contaminantes externos nas pistas do circuito (e são comprimidas pelas esferas), ou pela falta de lubrificação. Uma dica é a observação das condições da castanha que mostram acentuado desgaste nos flancos



da crista. Alguns procedimentos errôneos que podem levar a estas falhas são:

- Pré-load excessivo;
- Fuso empenado;
- Raspadores defeituosos;
- Carga excessiva;
- Falta de lubrificação;
- Contaminação;
- Subdimensionamento;
- Cargas laterais;
- Batidas na castanha;
- Empenamento.

Como complementação, lembramos ao leitor que todo o fuso deve ser guiado por meio de guias circulares (**figura 11**) ou prismáticas (maior rigidez – **figura 12**), o número mínimo de guias no projeto deve ser de duas por eixo.

MANUTENÇÃO DE UM FUSO DE ESFERAS

A maneira mais segura de se determinar quando um fuso de esferas precisa de reparos, é medindo suas folgas. Esse método foi estabelecido pela empresa Thomson Industries dos EUA, um dos mais renomados fabricantes desse equipamento no mundo, com mais de 60 anos no ramo. Infelizmente, há a necessidade de um *kit* especial de aferição, além de ferramentas dedicadas, o que inviabiliza sua prática nas indústrias.

A folga radial (*diametral lash*) é uma medida que pode ser facilmente obtida na planta com o fuso ainda montado ou na oficina de reparo, e essa medida passará a ser o nosso termômetro para a definição do nível de reparo necessário no conjunto.

Caso conjunto fuso/castanha tenha sido desmontado, ele é apoiado em blocos V retificados, e a castanha começa a ser levantada por calços calibrados, (que fazem parte do *kit* mencionado).

Para uma folga radial de 0,0127 mm, o que indica um fator de desgaste de 50%, podemos dizer que um reparo nível I seria suficiente para repará-lo e devolvê-lo à máquina.

Uma folga radial de 0,0889 mm representa 80% de desgaste e indica, ou um nível crítico de recuperação (nível IV) ou a necessidade de troca do equipamento. Seguindo o mesmo raciocínio, podemos trabalhar com



F.11 Guias circulares.



F.12 Guias prismáticas.

conjuntos sem pré-carga, onde uma folga radial de 0,229 mm significaria 50% de desgaste (nível I), e 0,381 mm o nível VI ou a substituição do conjunto.

Observe que existem outros casos onde a substituição do conjunto é obrigatória e qualquer paliativo pode por em risco a funcionalidade do equipamento:

- Danos físicos ao equipamento causado por batidas ou manuseio impróprio;
- A camada de dureza superficial restante não é bastante para um novo retrabalho na pista;
- A troca das esferas acarretaria esferas de uma dimensão superior aos recirculadores;
- Fusos flexionados que não retornam à sua posição correta por terem sofrido processos de fabricação que endureceram a raiz do fuso.

NÍVEIS DE REPARO

Quando um fuso chega à unidade, ele é inspecionado e avaliado segundo o nível de reparo necessário. Esse processo leva de um a dois dias. Em geral há quatro níveis de reparos de custo compensador, enquanto que cada nível subsequente torna-se mais custoso. Além do nível IV, dificilmente um reparo seria compensador às empresas, salvo aqueles casos que as unidades novas não sejam facilmente encontradas no mercado. Todos os reparos envolvem procedimentos

básicos, a saber:

- Inspeção;
- Limpeza;
- Troca de Esferas;
- Desempenamento.

Vamos agora analisar os níveis de reparo:

Nível I: Trata do problema mais comum de perda de “repetibilidade” devido ao desgaste. Novas esferas deverão substituir as antigas. O segredo aqui é usar a regra de para cada 0,076 mm de desgaste radial, use uma esfera 0,025 mm maior. O desempenamento aqui também é necessário para evitar excesso de momento nesse trecho e futura falha da castanha.

Segundo o engenheiro responsável por este setor na Kalatec Automação, Sergio Lacerda, que fez cursos de recuperação de fusos empresa Thomson Industries nos EUA e tem mais de 15 anos de experiência neste ramo, “uma atenção especial deve ser dada ao fornecedor das esferas empregadas na recuperação dos fusos, pois elas devem ter rigidamente diâmetros muito próximos. Na prática, uma variação máxima de 0,00064 mm seria a tolerada pelo lote de reposição (tolerância difícil de achar em fabricantes nacionais), o que nos força a importar tal produto”.

Lacerda observa que caso um reparo seja feito com esferas normais encontradas no mercado, apenas as esferas maiores carregariam toda a carga a ser transportada, o que levaria a uma falha muito rápida do conjunto, e acrescenta: “Temos clientes que fizeram o reparo em ‘supostas empresas especializadas’ e se admiram com a pouca durabilidade do serviço e esta é a causa principal. Infelizmente, eles terão que arcar com mais horas de máquina parada, além de todo o trabalho de desmontagem do equipamento”.

Nível II: Deve-se acrescentar ao nível I, o retrabalho das pistas da castanha. A castanha é o componente do fuso que desgasta antes por ser sujeita a mais contatos das esferas.

Nível III: Normalmente, neste nível são repetidos os procedimentos do nível I, e acrescentado o retrabalho das pistas do fuso e das pontas de eixo.

Nível IV: Neste nível, são retrabalhados a castanha e o fuso, e as esferas são trocadas. O serviço é quase completo, mas o fuso fica com as características de um novo. O problema é que este processo pode chegar a custar entre 80 e 90% do valor de um fuso novo, o que nos deve fazer refletir a respeito de seu custo-benefício.

LUBRIFICAÇÃO

Na maioria dos casos para os fusos de esferas (como para as guias lineares), quando a velocidade de trabalho é alta e a carga a ser transportada é baixa, é sugerido um lubrificante de baixa viscosidade (32 a 68 cst). Já quando as características da aplicação são opostas a esta, ou seja, baixa velocidade de trabalho em altas cargas, são recomendados os lubrificantes de alta viscosidade (90 cst). Os selos, citados anteriormente, são comuns aos fusos, mas devem ser considerados nos pedidos

(por ser considerado um acessório da castanha). Eles têm como características principais o confinamento do lubrificante na jaula de esferas e a limpeza do fuso ou guia, retirando mecanicamente os contaminantes maiores.

A graxa só deve ser empregada em aplicações específicas por poder diminuir a vida das guias com o acúmulo de contaminantes e apenas à baixa velocidade de trabalho do equipamento. Caso seja inevitável sua utilização na aplicação, usar graxas a base de lítio e evitar aquelas à base de bissulfeto de molibdênio por atacar os anéis de vedação.

O curso de deslocamento do fuso é muito importante para garantir a recirculação de todas as esferas de um circuito e sua total lubrificação e uma prova visível de que isto não está ocorrendo é o desgaste visual do trilho. Como outra regra, podemos citar a necessidade de um deslocamento mínimo da castanha de duas vezes o comprimento da mesma (desconsiderando os selos).

CONCLUSÃO

O fuso de esferas deverá “reinar soberano” ainda por vários anos, emprestando seu som futurista a vários equipamentos na indústria ou fora dela. O motor linear, um dos únicos equipamentos que poderia ameaçar esse reinado, ainda repousa latente num quadro de elevado custo e limitações de cargas.

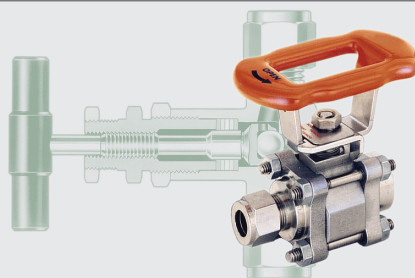
Como vimos, por ser um produto de precisão tanto na especificação como manutenção, esses atributos devem ser concedidos à firmas idôneas e respeitáveis, para que certos detalhes como o perfil de uma esfera não comprometa o funcionamento e a durabilidade de todo um sistema.

Nestes dias difíceis em que vivemos, baratear os custos dos produtos ligados a esse equipamento, assim como diminuir o tempo de horas paradas das máquinas como um todo, são condições fundamentais para a sobrevivência e sucesso do empreendedor. ■

*Samir Kassouf é Engenheiro Mecânico da Kalatec Automação.

Como selecionar a válvula correta para sua aplicação

John Wawrowski*



As indústrias perdem milhões de reais a cada ano devido às consequências da seleção incorreta de válvulas, que pode provocar falhas acarretando perda de fluidos em sistemas, produção fora das especificações, despesas com equipamento parado, condições inseguras de trabalho e danos ambientais. Em vista disso, como é possível selecionar com segurança uma válvula que permita fácil instalação, opere com segurança e confiabilidade e ofereça o menor custo geral e de manutenção em seu sistema?

Quando for especificar ou substituir uma válvula na próxima vez, analise primeiramente seu sistema e considere estas diretrizes simples, destinadas a ajudá-lo a selecionar válvulas que atendam aos requisitos específicos de seu sistema.

COM QUE TIPO DE FLUIDO O SISTEMA IRÁ OPERAR?

Antes de selecionar uma válvula, considere o tipo de fluido que o sistema irá transportar. O fluido é viscoso ou fino? Gasoso ou líquido? Corrosivo ou inerte? Essas variáveis podem afetar os componentes do sistema e sua operação. Por exemplo, a viscosidade do fluido afeta a vazão do sistema e as características da válvula. Fluidos mais viscosos reduzem a vazão e os vazamentos do sistema. Por outro lado, um gás leve e com alta pressão irá fluir mais facilmente através do sistema, mas poderá apresentar mais problemas de vedação. Alguns tipos de gases, como hidrogênio e metano, apresentam riscos

significativos de ignição e o menor vazamento para a atmosfera pode ser catastrófico. Se o fluido de um sistema for um gás tóxico, como a arsina (AsH_3) ou fosfina, o vazamento para a atmosfera pode apresentar riscos para os trabalhadores da fábrica. Gases ou líquidos corrosivos, como ácido clorídrico, ácido sulfídrico ou até vapor, podem danificar componentes e até mesmo remover material por ataque químico ou físico.

QUAIS SÃO AS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO SISTEMA?

As condições de operação do sistema, como temperatura e pressão, também são fatores importantes na

escolha de uma válvula. Por exemplo, considere a seleção de materiais em aplicações com temperatura alta ou baixa; materiais de componentes com coeficientes de expansão diferentes podem permitir vazamentos de fluido. Componentes plásticos podem contrair ou vazar, ou podem absorver água e outros fluidos do sistema e se tornarem quebradiços em baixas temperaturas. Os elastômeros também podem endurecer e trincar em aplicações criogênicas, além de possuírem altos coeficientes de dilatação térmica. Além disso, o diferencial de pressão pode afetar a capacidade de vedação. Veja que, um sistema operando a 1000 psig poderá vazar uma quantidade 10 vezes maior de produto em relação ao mesmo sistema operando a 100 psig.

A VÁLVULA SERÁ UTILIZADA EM SERVIÇO SEVERO?

Se necessitar de uma válvula que opere com confiabilidade em serviços severos, considere uma válvula projetada especialmente para esse tipo de serviço e verifique se ela atende às normas e exigências industriais em vigor. A seguir, estão indicados alguns exemplos de aplicações e as normas correspondentes reconhecidas pelo mercado.

- **Válvulas utilizadas em aplicações de segurança contra incêndio** - Norma API 607 - Especificação de Segurança contra incêndio;

- **Válvulas para aplicações com gases ácidos** - Especificações NACE MR0175 (*National Association of Corrosion Engineers*);

- **Válvulas utilizadas em aplicações com fluidos térmicos** - ANSI/FCI 70-2 - Especificações para válvu-

las com bloqueio estanque e Norma para risco de incêndio similar à API 607;

- **Válvulas utilizadas em sistemas com cloro** - Folheto N° 6 do *Chlorine Institute*, "Sistemas de tubulação para gás cloro seco".

QUAIS SÃO OS REQUISITOS ESPECÍFICOS NECESSÁRIOS PARA O PROJETO DA VÁLVULA?

Após examinar as características do fluido e as condições de operação, é importante entender as características de projeto da válvula que são importantes para o seu desempenho. Embora os fabricantes de válvulas não possam controlar os parâmetros de projeto de seu sistema, tais como o fluido do sistema e as condições de operação, eles podem controlar as características de projeto que afetam o desempenho da válvula.

Uma característica importante é o modo de vedação da válvula para a atmosfera. As válvulas podem ser fornecidas com vedação convencional ou vedação ativa. Em válvulas com vedação convencional, uma gaxeta cilíndrica em PTFE se encaixa com pouca folga ao redor da haste da válvula (**figura 1**). Quando a porca da gaxeta é apertada, o material PTFE é forçado para fora, contra o castelo da válvula, e para dentro, contra a haste, formando uma vedação.

Outro tipo de projeto de vedação para válvulas é a vedação "dinâmica" (**figura 2**). O carregamento dinâmico submete a vedação a uma compressão uniforme, que garante sua estanqueidade, mesmo em sistemas com freqüentes alterações na pressão ou na temperatura, ou com altas ciclagens. Vedações dinâmicas bem projetadas exercem uma pressão mínima para atingir a vedação, sem aumentar a quantidade de torque requerido para a atuação da válvula. Dessa maneira, o carregamento dinâmico também reduz o desgaste e danos na vedação da haste em aplicações com grande ciclagem. Os dois métodos mais comuns de vedação ativa são por vedação com um anel-O de elastô-

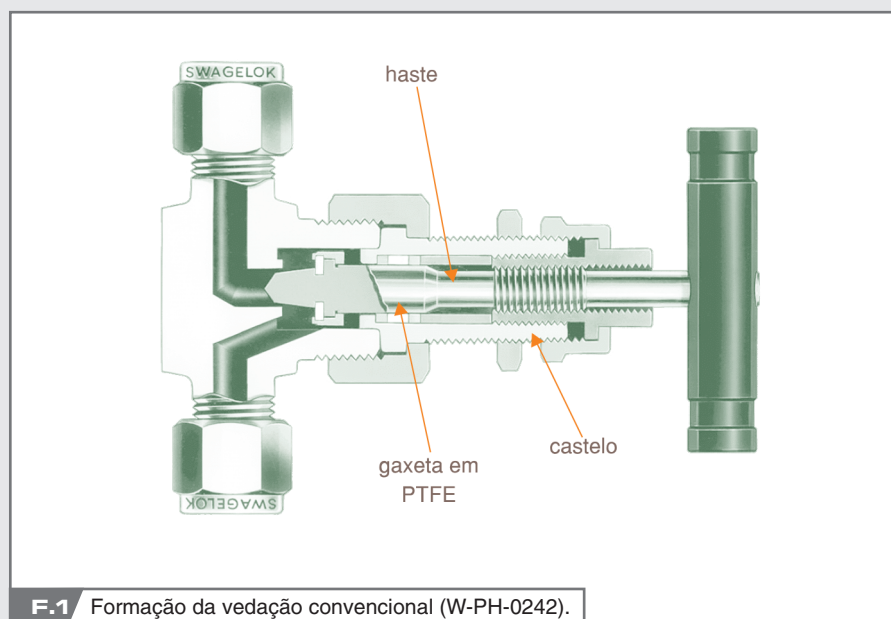
mero e por uma vedação plástica carregada por mola.

O método mais simples de vedação carregada dinamicamente utiliza um anel-O de elastômero. A resiliência do elastômero proporciona o carregamento dinâmico. No método de carregamento por mola, a vedação pode empregar um material plástico, porém, como estes não são tão resilientes como os elastômeros, uma série de molas com um guia de metal proporcionam o carregamento dinâmico. Uma porca comprime as molas para manter uma carga uniforme na vedação.

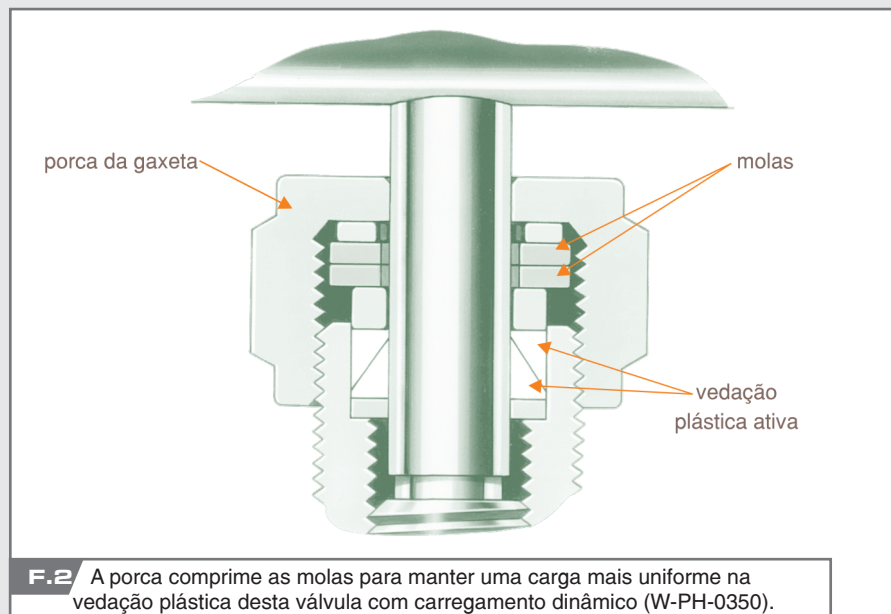
Válvulas sem gaxeta, como válvulas-diafragma ou válvulas com folios, proporcionam vedações está-

ticas, de metal contra metal. Repetindo, existem diversos fatores que os fabricantes de válvulas podem controlar e que podem afetar a integridade da vedação metal contra metal. Por exemplo, há uma relação direta entre a qualidade do acabamento da superfície da válvula e o seu desempenho e integridade de vedação. Ou seja, ajustar a ponta de uma haste e de uma sede com um acabamento retificado pode resultar em uma folga menor entre essas duas superfícies do que a que existiria se o acabamento das duas superfícies fosse regular.

Outro fator que afeta a integridade da vedação metal contra metal é a



F.1 Formação da vedação convencional (W-PH-0242).



F.2 A porca comprime as molos para manter uma carga mais uniforme na vedação plástica desta válvula com carregamento dinâmico (W-PH-0350).

dureza dos materiais. A ponta da haste deve ser fabricada com um material mais duro que a sede, de modo que a sede se deforme ligeiramente e crie uma vedação estanque.

DIMENSÃO DAS VÁLVULAS

O tamanho da válvula é descrito geralmente pelo tamanho nominal de suas conexões. Mas, para a maioria dos sistemas de fluidos, um valor mais importante é a indicação da vazão com que a válvula pode operar. Os métodos de cálculo de vazão pedem que certos aspectos da tubulação e do fluxo sejam conhecidos, como:

- Tamanho e formato do orifício e passagem do fluxo;

- Diâmetro interno da tubulação;
- Características do fluido, como densidade e temperatura;
- Perda de carga entre a entrada e a saída.

É fácil entender que uma passagem direta do fluxo, como a de uma válvula de esfera (**figura 3**), deve permitir uma vazão maior que a passagem equivalente de uma válvula agulha (**figura 4**), que apresenta uma passagem muito mais sinuosa para o escoamento do fluido.

Em vez de realizar cálculos complexos para entender melhor a vazão de um fluido, é possível comparar o coeficiente de vazão (Cv). O Cv agrupa os efeitos combinados de todas as restrições de vazão em uma válvula e apresenta um único número

de referência comum. Outras características do projeto da válvula a serem consideradas incluem a atuação manual ou automática e os métodos de conexão empregados. A experiência mostra que válvulas com conexões integrais nas extremidades minimizam os pontos de vazamento em potencial e simplificam os procedimentos de instalação e manutenção.

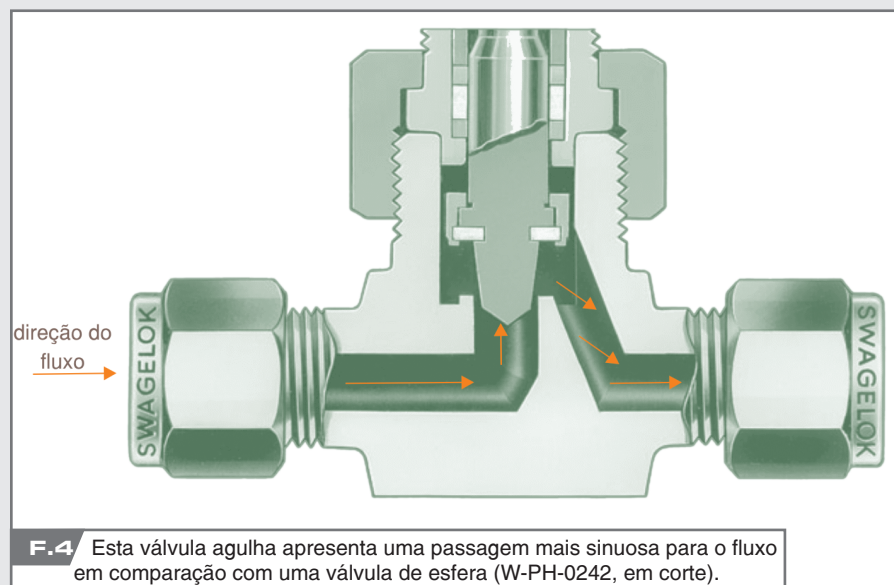
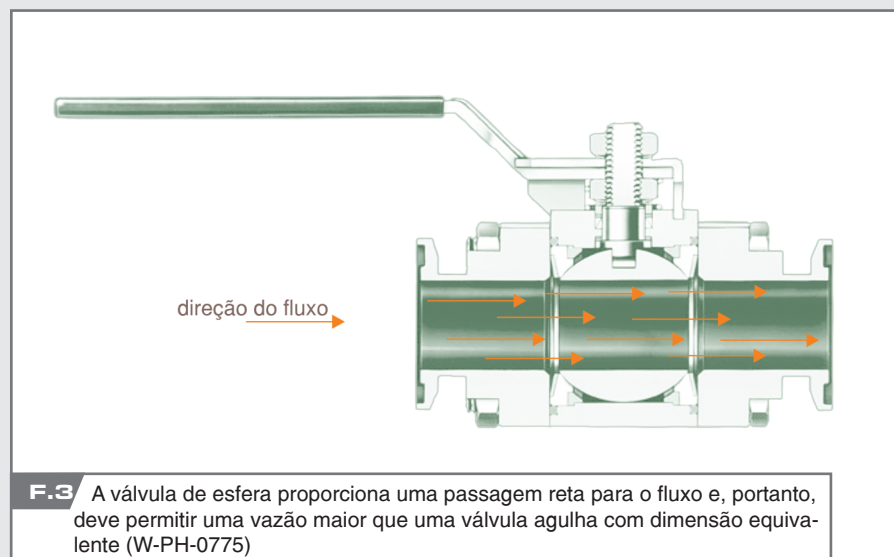
QUE TIPO DE PROCEDIMENTO DE INSTALAÇÃO EU DEVO SEGUIR?

Após ter selecionado a válvula correta para sua aplicação, analise como ela será instalada e procure características que maximizem o desempenho e minimizem problemas de manutenção. Uma instalação incorreta irá afetar o desempenho e a confiabilidade. Considere essas sugestões:

- Instale válvulas com suportes para painel, suportes inferiores ou suportes especiais. Lembre-se de que os suportes das válvulas devem resistir a cargas externas, como a expansão do sistema, e devem absorver o torque do atuador da válvula, de modo que a tensão não seja transferida para as conexões ou para a tubulação;
- Instale uma válvula de maneira que ela seja apoiada pelo suporte de montagem da válvula e não pelo sistema de tubulação;
- Instale válvulas em locais visíveis, de fácil acesso, protegidas contra danos ou atuação acidental;
- Instale as válvulas com a seta de vazão voltada para a direção do fluxo;
- Não instale válvulas em áreas onde podem ser utilizadas como apoio para os pés ou para pendurar algo.

Em resumo, ao escolher a válvula correta, você ajuda a manter um ambiente seguro, elimina custos por equipamento parado e se beneficia com o aumento da confiabilidade e desempenho e de uma operação livre de vazamentos. ■

* John Wawrowski é gerente de produto para instrumentação analítica da Swagelok Company, Solon, Ohio, EUA.



Evitando problemas com inversores

Alaor Mousa Saccomano*

Neste artigo, abordaremos algumas questões gerais que apesar de simples, causam alguns transtornos em aplicações de inversores. Evitar pequenos problemas (erros) pode acelerar o processo de aplicação do equipamento.

CORRENTES DE FUGA NOS CABOS

Uma questão não menos importante na aplicação de inversores de frequência é a relacionada aos cabos de alimentação dos mesmos, especificamente entre o motor e o inversor. A saída de um inversor é um conjunto de sinais quase quadrados variantes no tempo (em alta frequência) segundo o algoritmo PWM que lhe é imposto pelo controlador, conforme a velocidade desejada informada pelo operador do sistema. Sendo o cabo um elemento passivo, observa-se nele uma atuação nos âmbitos resistivo, capacitivo e indutivo:

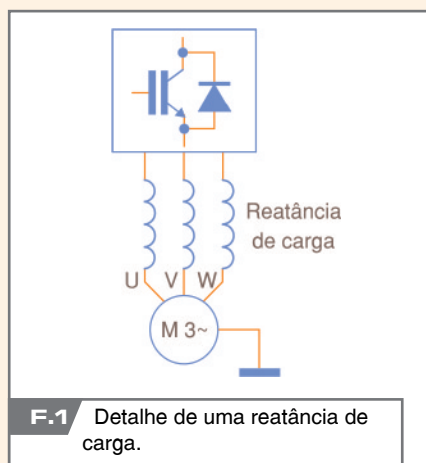
Resistivo: a característica intrínseca dada pela resistividade do material associada a sua dimensão em distância e área seccional que é, de acordo com a Segunda lei de Ohm:

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

onde L é o comprimento total do cabo, S a área e ρ sua resistividade dada em $\Omega \cdot m$.

Indutivo: este aumenta a impedância do cabo com o aumento da frequência da alimentação que lhe está imposta. Utiliza-se desta disponibilidade física para limitar também o crescimento de corrente no sistema, principalmente nas partidas, pois um sistema indutivo limita o crescimento da corrente.

Capacitivo: cabos longos e paralelos atuam como um grande capacitor. Esse capacitor provoca, eventualmente, atuações incertas dos elementos de proteção devido ao incremento das correntes entre fases de alimentação e também ocasional fuga para terra. Esse problema se torna ainda



mais crítico quanto maior a frequência de chaveamento da saída do inversor ou quando são utilizados cabos muito longos (acima de 50 metros) e blindados, ou ainda acima de 100 metros quando não blindados.

Nessas considerações é preciso observar que, principalmente devido aos efeitos de fugas de correntes capacitivas, além de eventuais *spikes* (dadas as grandes capacitâncias dos cabos de alimentação), alguns cuidados devem ser tomados com os mesmos. Podem-se atenuar as correntes de fugas e *spikes* pela simples introdução de reatâncias de carga entre o motor e o inversor. As reatâncias de carga (**figura 1**) diminuem a rápida variação de tensão provocada pelos efeitos capacitivos (dv/dt) eliminando, quase por completo, os problemas de sobretensão (*spikes*) e correntes de fuga. Certamente, provocarão uma determinada queda de tensão entre a saída do inversor e o motor (entre 0,5 a 3%) que, de qualquer modo, não influenciará no desempenho global do mesmo. A rea-

tância de carga deve ser inserida em cada fase de saída do motor, nunca nos condutores de aterramento, e o mais perto possível do inversor. Temos por exemplo a Danfoss, que recomenda a aplicação de um módulo específico denominado de filtro LC, para seus inversores da linha VLT. Segundo esse fabricante, seu filtro, quando aplicado junto com seu inversor, atenua as correntes capacitivas de fuga e também as cargas dos picos de tensão. Um outro aspecto positivo é a diminuição do ruído acústico das bobinas do motor devido ao chaveamento do PWM sobre o mesmo.

Um método universal para diminuição dos efeitos de fuga para terra ou curtos entre fases, dados aos aspectos capacitivos, é a diminuição da frequência de chaveamento do PWM. O inconveniente é que valores menores de chaveamento do PWM (entre 1 kHz e 2,5 kHz) se situam nas faixas audíveis, o que pode ser incômodo.

EMC

Outro fator importante que deve ser observado na aplicação de um inversor é a geração de ruídos e interferência eletromagnética. Para que haja a real garantia de que a emissão de interferência estará dentro dos valores normalizados, os fabricantes de inversores têm melhorado muito suas especificações de equipamento. Um modo prático de limitar essas interferências está em seguir os conselhos de "boa instalação" dados a seguir:

- Instalar o inversor e seus acionamentos auxiliares como relés e controladores em gabinetes independentes de outros dispositivos, principalmente de controladores e PLCs;
- Utilizar somente cabos blindados tanto para energização do motor quanto para controle e comando. De preferência, cabos que possuam valo-

res de impedância de transferência (Z_T) os mais baixos possíveis;

- Manter todos os pontos de terra vinculados por cabos independentes, garantindo a equipotencialidade dos mesmos;

- Aterrar as malhas de todos os cabos através de braçadeiras;

- Nos cabos de controle, para evitar circuito AC de retorno ao terra, pode-se instalar um pequeno capacitor (100 nF a 220 nF) entre a malha e o terra. Esse capacitor atuará como um pequeno supressor de interferência.

Entre as diversas soluções proprietárias de fabricantes, uma interessante é a utilizada pela SEW. Para a supressão de interferências eletromagnéticas em seus equipamentos da série MOVIDRIVE MD_60A, ela disponibiliza uma bobina de núcleo de ferrite por onde se deve passar os cabos de alimentação do inversor ao motor (cinco voltas). Ela denomina esse dispositivo de bobina HD. No catálogo dos equipamentos MOVIDRIVE®, se encontra ainda a diretriz para que o mesmo seja inserido fora do espaço mínimo para ventilação do inversor.

De um modo geral, os fabricantes seguem os padrões europeus definidos nas normas EN 50081, EN55011 e EN61800-3 que tratam especificamente dos limites para EMC.

O PROBLEMA DAS HARMÔNICAS

A entrada de um inversor possui uma função de tensão e corrente não linear, isto é, a lei de Ohm é respeitada ponto a ponto e não como uma função de reta. Isso devido principalmente aos elementos de retificação de entrada (diodos ou tiristores) e aos capacitores do *link DC* ou circuito intermediário do inversor. Além disso, no momento de chaveamento de um diodo para o outro, um curto instantâneo ocorre na rede, limitado apenas pela reatância dos cabos de alimentação e resistência de corpo do elemento de retificação (**figura 2**). Essas características tornam um inversor um elemento não linear. Elementos não lineares atuam em sua rede de alimentação contaminando-a com

grande número de harmônicas de baixa ordem (3ª, 5ª, 7ª e 9ª), distorcendo a alimentação e provocando quedas de tensões harmônicas. Entre os inúmeros problemas gerados pelas harmônicas podemos destacar a redução do fator de potência da rede, distorção em corrente e tensão das redes de alimentação, elevado THD (distorção harmônica total), deterioração e destruição dos capacitores de correção de FP (fator de potência) e aumento das perdas Joule nas instalações, principalmente nos cabos e transformadores. Um problema não perceptível, ocasionado pelas harmônicas, é o surgimento de correntes desbalanceadas na linha (fase-fase), ocasionando seu escoamento “via neutro e terra”. Isso torna os neutros carregados, o que não é sensato. Em instalações antigas os neutros não são dimensionados para atender a esse novo contingente de correntes harmônicas, o que leva ao sobreaquecimento, atuação dos elementos de proteção de forma espúria e desbalanceamento da rede. Nas instalações novas, muitas vezes, é uma tendência do engenheiro-projetista dobrar a dimensão de neutros e terras, supondo que haverá um incremento no nível de corrente em termos de harmônicos de rede.

Um modo de minimizar os efeitos das harmônicas de baixa ordem é o emprego de inversores que possuam em sua entrada retificadores de 12, 18 ou 24 pulsos. Nesse caso, as harmônicas de baixa ordem iniciarão em valores mais altos de frequência e mais fáceis de serem atenuados. Por exemplo, em um inversor de 12 pulsos, sua harmônica ímpar mais crítica se inicia

com a 11ª harmônica. Em termos de distorção harmônica, esta não contribui com mais de 1% para o THD, o que é muito pouco para interferir na conformação senoidal da rede de alimentação.

Outra forma de solução é a inserção de elementos que aumentem a impedância de entrada do circuito de alimentação. Isso pode ser feito através da instalação de reatâncias de rede em série com o circuito retificador e a fonte de alimentação (**figura 3**). Essa reatância imporá dada queda de tensão na rede, principalmente nos valores harmônicos, reduzindo a corrente eficaz de entrada, diminuindo o THD e aumentando o FP do inversor. Os valores usuais de queda de tensão se situam entre 1% a 4%, dependendo da rede de alimentação. **Uma regra prática:** quanto mais próximo do transformador de entrada da fábrica, ou mais próximo de bancos de capacitores, mais se deve aproximar de 4% de queda de tensão.

Uma equação empírica para se calcular o valor da reatância pode ser dada por:

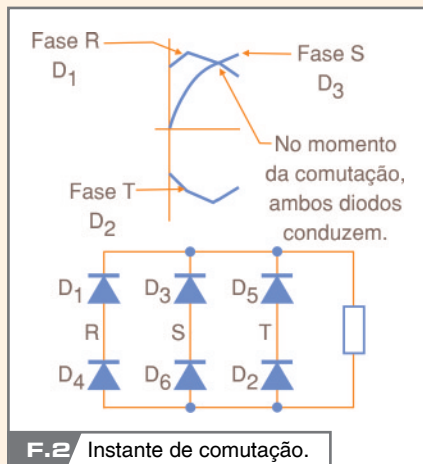
$$R = \frac{ddp \cdot V_{ef}}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot n f_r \cdot I_n}$$

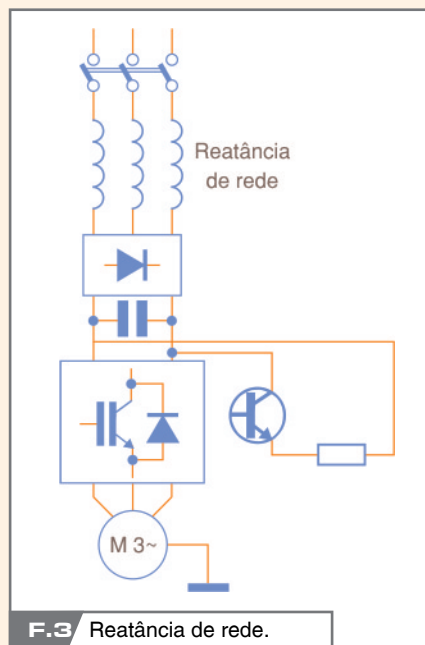
onde L é indutância dada em H, ddp é o valor percentual da queda de tensão desejada, V_{ef} é a tensão da rede em valor eficaz, f_r é a frequência da rede de alimentação e I_n é a corrente nominal do inversor.

Entre os fabricantes, a Weg possui ainda a possibilidade de inserir no circuito intermediário de seus inversores CFW09 de 16A/220-230V e 13A/380-480V um indutor. Este tem atuação semelhante ao de uma reatância de entrada.

FRENAGEM

Em algumas aplicações, não basta apenas a atuação de rampas de desaceleração para a parada do inversor. No momento da parada, não há a imediata extinção do campo girante do motor, e por isso mesmo o rotor continua cortando as linhas de campo. Por um curto período de tempo o motor se comporta como um gerador. Além disso, no circuito intermediário há um alto valor de tensão eficaz no mesmo.





Para que ocorra uma frenagem em tempo menor, é conveniente a dissipação de energia o mais rápido possível. Excetuando-se uma regeneração da energia de frenagem (frenagem regenerativa), a frenagem dissipativa ou reostática é uma boa solução. Uma pequena dificuldade está em se calcular qual é o melhor resistor (valor em Ω e W) que se deve empregar. Esse valor sempre dependerá de quanto tempo se deseja para uma frenagem, quantas vezes em um período se utiliza a mesma e qual é a potência do motor a ser atendida. Vários fabricantes possuem tabelas específicas contemplando qual é o melhor valor para o seu resistor de frenagem. Uma aproximação pode ser feita por:

$$I_R = i_{\max} \sqrt{\frac{t_r}{5}}$$

onde, i_R é o valor eficaz do resistor de frenagem, i_{\max} é o valor máximo de corrente de frenagem e t_r é o tempo de atuação de frenagem durante o mais severo ciclo de 5 minutos. Este conceito é largamente utilizado pelos inversores da marca Weg. Para um cálculo mais preciso basta lembrarmos que:

$$P_{\max} = V_{CC}^2 / R$$

sendo P_{\max} a potência do resistor R e V_{CC} a tensão do circuito intermediário. Um valor interessante para a potência que pode ser dissipada

pelo resistor é que esta seja 25% do valor de potência máxima do resistor. A **tabela 1** nos dá alguns valores de resistores de frenagem em função da potência do motor.

AJUSTANDO O PID

A disponibilização de um controlador PID interno para aplicar o controle de velocidade do motor através de um sistema de malha fechada referenciado ao processo pode facilitar muito a sua atuação, dispensando controladores externos (como um PLC). O grande problema na maior parte dos casos está em quais valores são ideais para se adequar o PID. Isso demanda um profundo conhecimento do processo, de suas variáveis de estado (aquelas que se identificam com a energia do processo) e também conta muito a experiência de quem está parametrizando o inversor no sistema. Muitos algoritmos são disponíveis para aplicação de levantamentos de valores de PID. Em uma abordagem prática e geral, pode-se atuar da seguinte forma:

1. Monitore o sinal de saída de velocidade com um osciloscópio; normalmente pode-se utilizar o ponto de realimentação (*feedback*) para tanto. Se for optativo que o mesmo receba sinais de corrente ou tensão, sinalize ao inversor o sinal de tensão;
2. Desabilite a função *anti-windup* quando existir;
3. Inicie a partida do motor e regule o valor de ganho proporcional (**P**) com valores entre 0,1 e 0,5;
4. Observando o sinal de realimentação, aumente o valor de **P** até que este comece a oscilar; a partir deste ponto reduza **P** para metade do valor;
5. Coloque o valor do tempo de integração (**I**), que será responsável pela atuação em eliminação de desvios cons-

tantes em valores altos, cerca de 20 a 40 segundos, e diminua lentamente até o ponto em que o sinal de realimentação começa novamente a oscilar;

6. A partir deste valor, aumente **I** entre 20% e 60%;

7. A constante de tempo derivativo (**D**) deve ser aplicada somente em processos que possuem rápidas variações de velocidade. Para sistemas que possuem variações lentas de dinâmicas de erros é interessante minimizar o valor de **D**. Para sistemas de variação rápida, valores de **D** que sejam de três a cinco vezes os impostos para **I**, podem ser uma solução confiável.

Algumas vezes, após regulagem dos valores de PID, podem-se ter problemas com as malhas de correntes (limitadores) no inversor. Uma elevação do limite da função de proteção ou limitação de corrente pode eliminar esse problema. Outra questão ainda com os sistemas de PID dos inversores é quanto aos filtros de baixa frequência (passa-baixa). Limite os mesmos a valores mais baixos (constantes de tempo para corte em 0,05 a 0,1 segundo).

Observe que estas “dicas” são relativas e dependem sempre do processo. Em muitos casos, interagir com a engenharia do fabricante do inversor é fundamental. Outra opção é aplicar procedimentos padrão como Ziegler Nichols, entre outros.

CONCLUSÃO

Abordamos alguns problemas comuns em campo, de solução imediata na aplicação de inversores. Consideramos que para soluções mais completas, uma observação mais detalhada do problema deve ser apresentada. Contar com o auxílio dos agentes de engenharia dos produtores de equipamentos e suas respectivas ATs é fundamental para a otimização da aplicação de inversores de frequência.

Neste artigo, além de nossa experiência nos valem os manuais e informativos técnicos das empresas citadas.

*Alaor Mousa Saccomano é professor do departamento de engenharia da UNIP (campus Alphaville-Bacelar).

T.1 Valores de resistores de frenagem.

Resistência (Ω)	Potência máxima de frenagem (kW)
100	7
68	10
47	15
39	17,5
18	38
15	45
12	75

Ethernet Industrial

A tendência na indústria para a automatização do chão-de-fábrica

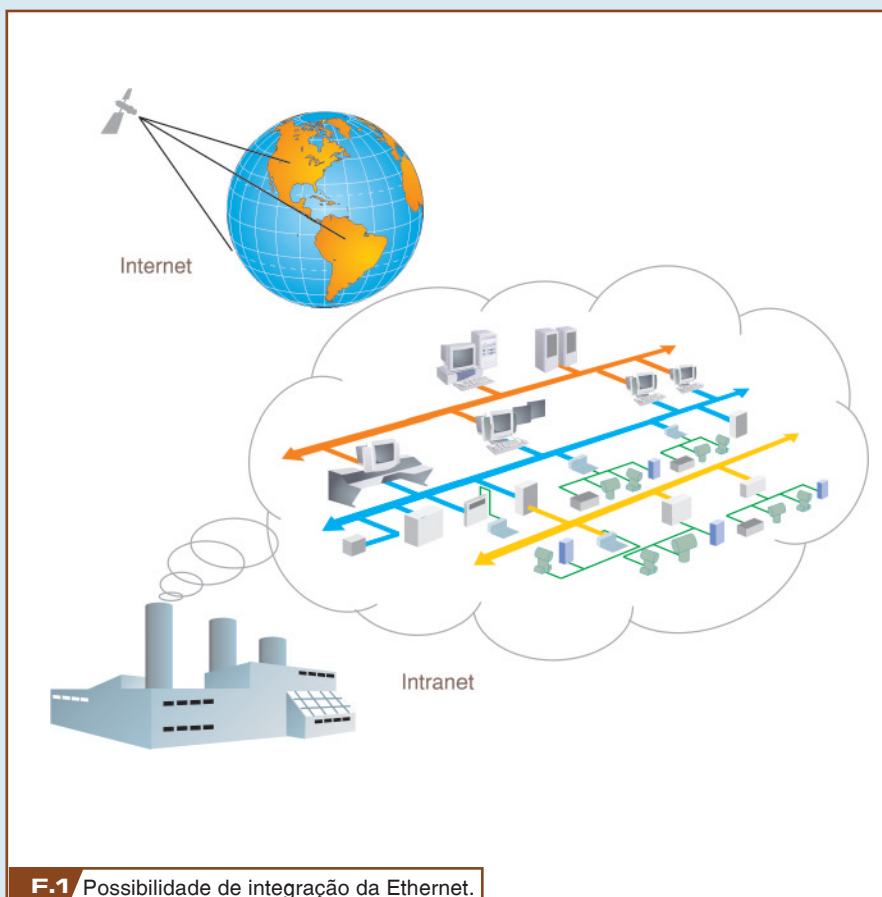
Roberto Godoy Fernandes*

Do chão-de-fábrica à verticalização ao nível administrativo agregando serviços, garantindo comunicação em tempo real.

A comunicação em Ethernet vem sendo utilizada em nível administrativo durante anos em nossas empresas. Seu surgimento no início foi discreto, pois não existia nada sobre comunicação. Nos anos 60 foram conectadas quatro Universidades nos Estados Unidos (UCLA - UCSB - UU - SRI). Dez anos mais tarde, já na década de 70, a Ethernet interligava grandes computadores, atingindo 20 Hosts em 1972. Chegamos aos anos 80 com o desenvolvimento do padrão TCP/IP (1983), que só seria comercializado em 1986 até a implementação do "www & .com" nos anos 90, a qual se tornou padrão mundial de comunicação com o TCP/IP V6.0 e a expansão no endereçamento de 32 para 128 bits chegando, finalmente, aos anos 2000 na "nova era" das comunicações digitais. Atualmente, há mais de 300 satélites lançados como o Cyberstar 3, Celestri 63+9, Astrolink 9, Teledisk 288, Spaceway 8, Sky Bridge 64 entre outros.

É possível transmitir e receber dados, voz e imagem, desenvolver páginas HTML (que serão empacotadas no http) ou fazer uso de plataformas independentes avançadas de linguagem de programação, como o Java, que cria os "Applets" e permite outros recursos e serviços adicionais.

Empregada do chão-de-fábrica até o nível administrativo, a Ethernet possibilita cada vez mais a integração total do mercado, não mais somente para a integração de departamentos internos e prédios, fazendo uso dos serviços ligados à Internet (sistema global de redes conectadas, comunicação de dados, trocas de arquivos, e-mail, www) e à Intranet (rede privada, utilizando-se de recursos internet, disponível apenas dentro de uma empresa, local ou prédio) - (figura 1).



F.1 Possibilidade de integração da Ethernet.

Exemplo de um Sistema de Comunicação - "Transparent Factory"

TF MIB	Network Manag.	Publish Subscribe	Faulty Device Replacement		Web Server	Messaging	Modbus I/O Scanner	Aplicação usuário
	SNMP	NDDS	DHCP	TFTP	FTP	HTTP	Modbus	Aplicação
	UDP				TCP			Transporte
	IP						Reduced Stack	Internet
	Ethernet 802.3 e Ethernet II							Física

F.2 Modelo OSI.

O padrão OSI ("Open Systems Interconnection") é um modelo de arquitetura de rede desenvolvido pelo ISO (*International Standards Organization*) para o projeto de sistemas abertos de rede. Todas as funções de comunicação são divididas em sete camadas padronizadas: Física, Enlace de Dados, Rede, Transporte, Sessão, Apresentação e Aplicação.

No mercado atual, diversas soluções de várias empresas são encontradas. Todas buscam viabilizar cada vez mais a integração (verticalização) entre o setor administrativo e o controle do chão-de-fábrica, (figura 3). Na verdade, o mercado de Ethernet ocupa 93% em relação a outros padrões de redes abertas (fonte: ARC e Schneider Electric Automation).

Alguns motivos para a abrangência do mercado de Ethernet é que ele conta com as seguintes vantagens:

- Plataforma aberta e realmente global;
- Tecnologia acessível e de fácil compreensão;
- Segurança, velocidade e confiabilidade garantida pela evolução da própria informática;
- Dados disponíveis em qualquer sistema operacional;
- Acesso às informações da planta via redes públicas e redes privadas;
- Diversidade de serviços disponíveis para melhor desempenho;
- Inúmeros equipamentos disponíveis de diversos fabricantes.

O PROTOCOLO NO MEIO INDUSTRIAL

O protocolo de automação industrial é simples. Na verdade, ele é formado pela união do meio físico e de acessórios: Ethernet mais os pro-

tolos e serviços de informática e de Internet - TCP/IP. Para que o sistema seja associado à planta é recomendado que se faça união a um protocolo de automação que seja simples e aberto, para que haja a comunicação com o chão-de-fábrica, como no caso do *Modbus*, solução oferecida pela Schneider Electric, lembrando que o grande mérito da associação Ethernet - TCP/IP é a possibilidade de misturar, de forma segura, vários protocolos numa única linha de comunicação a um dispositivo, sem contar que as redes IP são escaláveis.

A integração é completa: vertical desde o nível administrativo até o nível do dispositivo. No chão-de-fábrica, porém, a utilização da Ethernet nos níveis de controle e de dispositivos suscita algumas questões relacionadas com problemas, tais como:

1. Segurança na Rede;
2. Cablagem;
3. Determinismo.

Tomando como foco o determinismo, este permite a previsão, com exatidão, da velocidade de transmissão de dados e garante que a che-

gada desses se efetue sempre no mesmo instante. Porém, a Ethernet se baseia no mecanismo CSMA/CD que faz uso do "collision detection and avoidance" como meio de partilha da rede, sendo este um método totalmente não determinístico, dado que a resposta da rede varia de uma forma não-linear devido ao tráfego de informações na rede. Este método detecta colisões de comunicações na rede a fim de evitá-las.

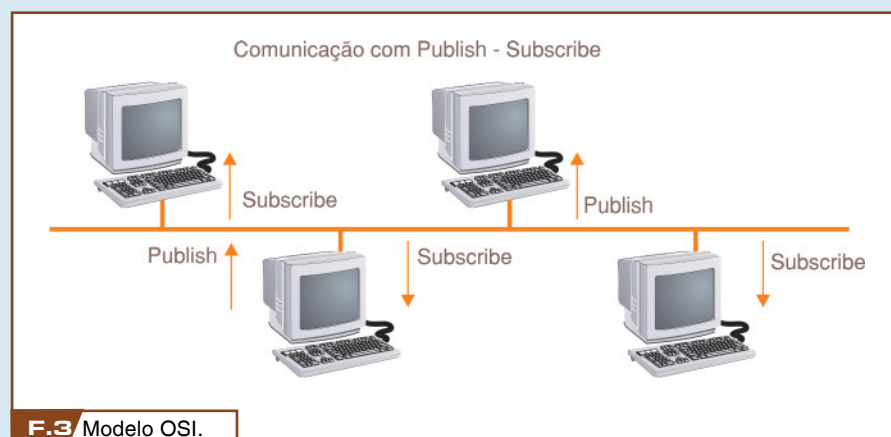
TRABALHANDO COM O DETERMINISMO

Com o objetivo de resolver o desempenho das redes em Ethernet Industrial é preciso combinar a solução de uso correto dos serviços e pacotes de dimensionamento de redes com o exato dimensionamento e projeto físico de nossas redes.

A configuração de um sistema com base em Ethernet Industrial deve levar em consideração os seguintes aspectos:

1. Para baixar a probabilidade de atrasos, o tráfego deve ser mantido significativamente inferior aos limites teóricos, evitando as possíveis colisões;
2. Redes Ethernets mais rápidas não eliminam as colisões, mas podem aumentar a probabilidade da entrega dos pacotes num instante predeterminado;
3. Quando acontece a colisão, ela afeta diretamente a largura de banda.

Para solucionar problemas relacionados ao determinismo podemos empregar recursos disponíveis e



conhecidos aplicados para a Internet e a Intranet, que são os “Domínios” (grupo de computadores e componentes em uma rede que possui um nome de grupo associado) e os “Workgroups” (grupo de computadores e componentes de rede onde um componente de rede está alocado). Computadores que regularmente dividem recursos estão colocados em um mesmo “Workgroup”.

A primeira solução é manter a rede dividida em grupos de trabalhos não muito grandes, utilizando “routers” ou “bridges” industriais para segmentar a rede Ethernet em domínios de colisões separados, evitando a troca de dados entre muitos componentes simultaneamente e permitindo que um interfira no outro. A estratégia, na verdade, consiste no uso de “routers” e “switches” combinando a segurança dos roteadores com a velocidade dos switches, (figura 4).

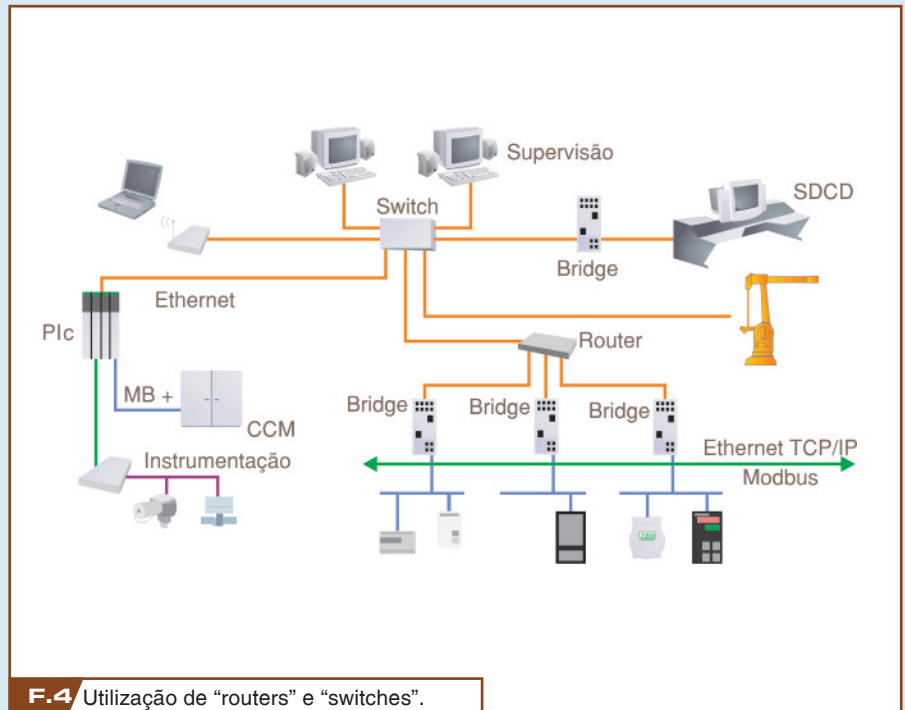
Outros problemas associados são os “Runts”, pacotes de dados bem pequenos que violam as regras da Ethernet, originados pela propagação de ruídos na rede, e o “Broadcast storm” que é a difusão de grande quantidade de pacotes do tipo “broadcast” num curto espaço de tempo, que são melhorados em sua maioria pelo seccionamento da rede em grupos menores.

OS SERVIÇOS DISPONÍVEIS

Entre os serviços direcionados ao TCP/IP podemos destacar:

HTTP (Hypertext Transport Protocol): trata-se de um grupo de regras que controla a troca de arquivos na Internet. Uma página WEB escrita em HTML é empacotada em http. Este pacote é rodado no TCP/IP e transportado para o navegador da empresa. Em automação este serviço funciona nos dispositivos com servidores WEB que permite a manutenção e o diagnóstico dos produtos alocados na rede através de um navegador padrão de mercado;

BOOTP (Bootstrap Protocol): protocolo que possibilita a um dispositivo obter seu IP de um servidor central. Este recurso permite um



F.4 Utilização de “routers” e “switches”.

endereçamento automático dos dispositivos de uma rede Ethernet;

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol): na automação, ele é utilizado para o endereçamento automático de um novo equipamento após uma falha. O DHCP é baseado no BOOTP. O endereço do equipamento danificado deve retornar ao servidor para voltar novamente para o novo equipamento;

SNMP (Simple Network Management Protocol): todos os equipamentos que possuem este serviço podem ser monitorados por software-padrão de gestão de rede, permitindo o seu diagnóstico e análise do rendimento;

Virtual LAN: permite suporte de segurança e isolamento por segmentação virtual dos dados no chão-de-fábrica que são enviados de outros componentes e usuários;

Fast Spanning Tree: o protocolo “Spanning Tree” permite uma rápida convergência da rede. Se ocorrer um defeito em algum nó da rede, o link redundante alternativo assumirá automaticamente a comunicação. Com o “Fast Spanning Tree” as redes são comutadas de forma muito veloz e os nós se tornam disponíveis novamente em menos de um segundo;

OPC Server Support: o OPC é uma especificação técnica não

proprietária que define um conjunto de interfaces padrão, baseadas na tecnologia OLE/COM da Microsoft. A aplicação do OPC é criar um ambiente ininterrupto entre as aplicações de automação e controle, sistemas e componentes de campo e aplicações no nível administrativo.

CONCLUSÃO

Os benefícios do emprego da tecnologia Ethernet Industrial incluem uma arquitetura aberta e veloz de comunicação de Ethernet TCP/IP, contando com contínuas atualizações e avanços tecnológicos.

É possível manter um sistema de automação industrial funcionando continuamente, permitindo alertas e controle em tempo real, dos estados de seus componentes graças a serviços e funções de rede, que permitem isolar e proteger grupos de trabalho, realizar novamente endereçamento do componente após falha ou direcionar o link para um caminho alternativo, realizar diagnósticos, bem como gerar mensagens de erro por e-mail, garantindo segurança e determinismo nas comunicações industriais. ■

*Roberto Godoy Fernandes é Engenheiro de Treinamento da Schneider Electric Brasil.

Caldeiras

Como gerar vapor com economia

Reginaldo de Mattos Onofre*



Aalborg/Divulgação

O objetivo deste artigo é identificar as várias maneiras de economizar combustível (e, portanto, dinheiro) na geração de vapor, algumas vezes adquirindo novos instrumentos, em outras mudando apenas os procedimentos operacionais.

Alguns testes aqui mostrados têm como referência uma caldeira Aquotubular de 10 kg/cm² de pressão de trabalho e produção máxima de 12 T. Todavia, os conceitos aqui utilizados são básicos e de notório conhecimento, podendo ser empregados em qualquer gerador de vapor de médio e pequeno porte (aproximadamente 90% das caldeiras instaladas têm esse perfil).

Para entender como uma caldeira é capaz de gerar vapor economizando óleo, vejamos a seguinte analogia:

Uma viagem de carro pode ser feita com os pneus descalibrados ou com o motor desregulado, assim como uma caldeira pode operar com as variáveis: temperatura do óleo, pressão de atomização, volume de ar atmosférico, entre outras variáveis, fora do ponto de ajuste. Em ambos os casos serão atingidos os objetivos, sendo o deslocamento entre um ponto e outro,

no caso do carro, e a geração de vapor, no caso da caldeira, porém o consumo de combustível será elevado tanto no veículo como na caldeira.

Existem várias etapas na geração de vapor que deverão ser analisadas e, em algumas delas, será possível auferir grande economia com simples mudanças de procedimentos, enquanto que em outras nem tanto, mas o mais importante é que a somatória de todas as mudanças fornecerá:

- **Economia** - Melhora o índice de custo / benefício do vapor gerado;
- **Segurança** - Aumenta a segurança do equipamento e dos operadores na operação da caldeira;
- **Poluição** - Ameniza o impacto no meio ambiente (perda da biodiversidade, poluição atmosférica, alterações climáticas).

Escrever sobre este processo em apenas um artigo seria empobrecer

a informação. Desta forma, julgamos melhor, ao longo das edições da Revista Mecatrônica Atual, analisarmos cada uma destas etapas.

Economizamos combustíveis nas seguintes fases da geração de vapor:

- Combustão;
- Tratamento de água;
- Alimentação de água;
- Distribuição de vapor;
- Retorno de condensado.

Para não fugir do foco da Revista, os assuntos aqui citados e explanados não se aprofundarão em cálculos e teorias de maior complexibilidade.

Nos processos industriais quase sempre há consumo de calor em alguma fase. Por exemplo:

1. Aquecimento de tanque com petróleo;
2. Aquecimento de água para uso industrial;
3. Cozimento de alimentos em cozinhas industriais.

As quantidades de calor produzido, assim como de óleo queimado, são grandes, e por isso sua utilização deve ser muito bem conduzida e os equipamentos relativos devem ser muito bem operados. Somente procedendo dessa forma, os custos de fabricação podem ser mantidos baixos.

Assim sendo, necessitamos conhecer os fatores relativos à combustão, combustíveis e os equipamentos empregados.

COMBUSTÃO

É uma reação química, na qual o O₂ (oxigênio, geralmente do ar), combina-se com o carbono (C), hidrogênio (H₂) e enxofre (S). É, portanto, uma reação de oxidação. Uma reação química consiste em modificações na natureza da matéria, ou seja, esta se

T.1 Composição dos gases no ar atmosférico.

Composição	Massa Molecular	Em volume (%)
Nitrogênio - N_2	28,018	78,03
Oxigênio - O_2	32,000	20,99
Argônio - Ar	39,01	0,94
Dióxido de Carbono - CO_2	44,01	0,04
Outros gases	-	-
Vapor d'água	variável	variável

transforma. Exemplo:

Ao fazer uma fogueira, colocamos madeira, papel e calor em contato e aí ocorre a combustão onde a madeira e o papel se transformam em gases e resíduos chamados vulgarmente de cinzas.

Como a nova matéria formada (gases e cinzas) tem menor energia que a matéria original da combustão (combustível e oxigênio), este excesso de energia é liberado na forma de luz e calor. A energia liberada na reação é denominada **entalpia de reação** que, no caso da combustão, chama-se **entalpia de combustão**, esta grandeza é expressa em unidades de energia por unidades de massa (cal/g, kcal/kg, BTU/lb, etc.).

Oxigênio (O_2): O oxigênio dissolvido no ar (O_2) combina-se com o hidrogênio (H_2) no óleo para formar a água (H_2O). Dependendo da temperatura do gás de combustão, esta água pode estar como gás úmido ou um condensado. O restante do oxigênio nos gases fornece a medição da eficiência da combustão e é usada para determinar as perdas de combustível e do dióxido de carbono contido nos gases. Os valores típicos encontrados no gás de combustão para queimadores a óleo variam de 2% a 5% e para queimadores a gás de 2% a 3%.

Nitrogênio N_2 : O nitrogênio corresponde a 79% do volume do ar que respiramos. Ele entra na câmara de combustão, onde é aquecido e enviado para a atmosfera através da chaminé, não participando da combustão. Os valores típicos encontrados no gás de combustão para queimadores a óleo ou a gás oscilam entre 78% e 80%.

Dióxido de carbono CO_2 : O dióxido de carbono é um gás inodoro com gosto ligeiramente ácido. Sob a influência da luz do sol as plantas convertem o dióxido de carbono CO_2 em oxigênio O_2 . A respiração dos huma-

nos e dos animais converte o oxigênio em dióxido de carbono. Está criado o equilíbrio, que o gás proveniente da combustão distorce. Esta distorção acelera o efeito estufa. Os valores típicos encontrados no gás de combustão para queimadores a óleo variam entre 12,5% e 14% e para queimadores a gás entre 10% e 12%.

Monóxido de Carbono (CO): O monóxido de carbono é inodoro, incolor, veneno para a respiração e é um produto da combustão incompleta. Uma alta concentração impede o sangue de absorver o oxigênio. Se, por exemplo, um ser humano respirasse o ar em uma sala contendo 700 ppm de CO, ele estaria morto em 3 horas. Os valores típicos encontrados no gás de combustão em queimadores a óleo variam entre 80% e 150% e para queimadores a gás, entre 80% e 100%.

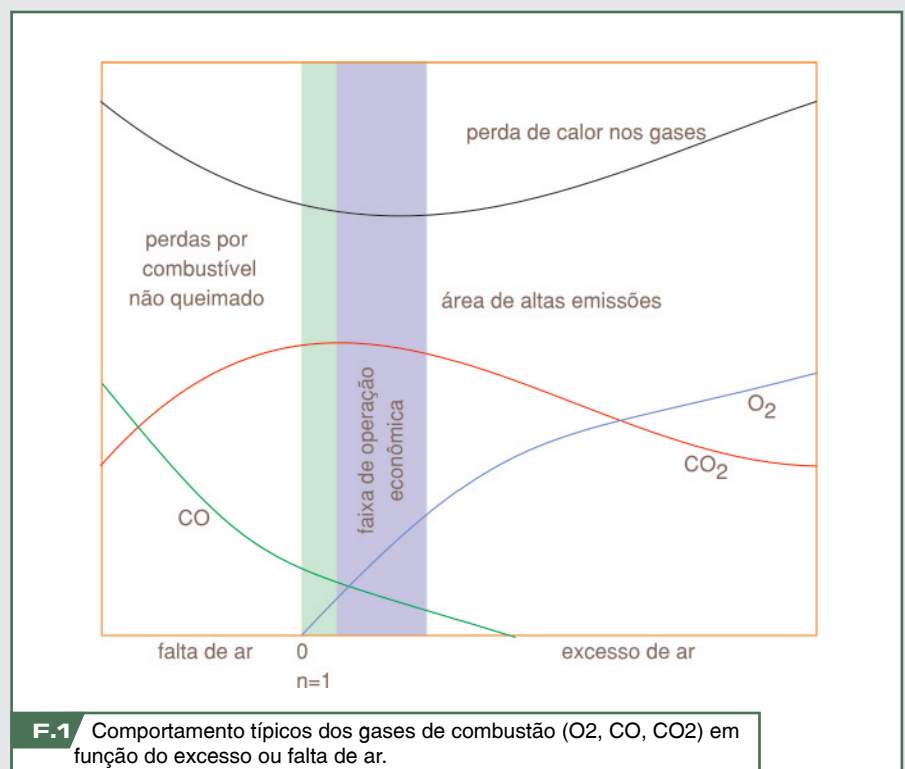
Óxidos de Nitrogênio (NO_x): Em altas temperaturas (combustão), o

nitrogênio (N_2) presente no combustível e no ar ambiente combina com oxigênio do ar (O_2) para formar o monóxido de nitrogênio (NO). Depois de algum tempo, este gás incolor oxida-se em combinação com o oxigênio para formar o dióxido de nitrogênio (NO_2). O NO_2 é um veneno para o pulmão quando respirado e contribui, em combinação com a radiação ultravioleta, para a formação de ozônio. Os componentes monóxido de nitrogênio NO e dióxido de nitrogênio NO_2 juntos são chamados de óxidos de nitrogênio (NO_x). Os valores típicos encontrados no gás de combustão para queimadores a óleo ou a gás variam entre 50 ppm e 100 ppm.

Dióxido Sulfúrico (SO_2): É um gás tóxico e incolor com um cheiro acre. Ele é formado pela presença do sulfúrico no combustível. O ácido sulfúrico (H_2SO_4) é gerado em combinação com água (H_2O). Os valores típicos encontrados no gás de combustão estão entre 180 ppm e 220 ppm.

Hidrocarbonos incombustos (C_xH_y): São formados quando a combustão é incompleta e contribui para o efeito estufa. Os valores típicos encontrados no gás de combustão são menores que 50 ppm.

Fuligem: Fuligem é quase puro carbono (C), resultado da chama

**F.1** Comportamento típicos dos gases de combustão (O_2 , CO , CO_2) em função do excesso ou falta de ar.



F.4 Exemplo de caldeira onde ocorre a combustão.

incompleta. Os valores típicos encontrados no gás de combustão para queimadores a óleo estão entre 1 e 2 na escala de opacidade.

COMBUSTÍVEIS

Definição: É toda substância, natural ou artificial, no estado sólido, líquido ou gasoso, capaz de reagir com oxigênio mediante escorvamento, liberando calor e luz.

Classificação: Os combustíveis podem ser classificados segundo o critério do estado físico (sólidos, líquidos ou gasosos) ou segundo a origem (naturais ou artificiais).

Composição: A quantidade de energia liberada em uma combustão depende do combustível, ou seja, combustíveis diferentes liberam quantidades de energia distintas e o que caracteriza um combustível é a sua composição química. Portanto, saber a composição de um combustível é importante, pois há combustíveis que são ótimos fornecedores de calor (energia) ao contrário de outros que são péssimos. Todos os combustíveis podem possuir em sua constituição: carbono, hidrogênio, enxofre, nitrogênio, oxigênio, matérias voláteis, água, sais minerais, mas geralmente eles são ricos em carbono e hidrogênio, por serem os maiores responsáveis pela energia produzida, embora o enxofre produza calor na combustão, ele é prejudicial ao combustível, por

atacar as partes mais frias dos equipamentos (pré-aquecedores de ar). Os demais componentes não reagem com o oxigênio e são completamente inúteis e mesmo prejudiciais.

CÁLCULOS DA COMBUSTÃO

Os cálculos de combustão baseiam-se nas relações estequiométricas (quantidade de oxigênio teórico) dos elementos combustíveis. Os elementos ativos dos combustíveis (C, H₂ e S) reagem com o oxigênio do ar.

Combustão completa: Quando toda a massa do carbono, hidrogênio e, eventualmente, enxofre tenham reagido com o oxigênio para formar, respectivamente, CO₂, H₂O e SO₂. Os produtos da combustão, sempre gasosos, são chamados gases da combustão.

Combustão incompleta: Neste processo, não se verifica a queima de toda a massa combustível. Nos gases da combustão aparecem, portanto, além de CO₂, H₂O, SO₂ e NO₂ também CO, H₂ e o próprio carbono livre, responsável pelo escurecimento dos gases que escoam pela chaminé, desprendendo a chamada fuligem.

A fonte normal de oxigênio para o processo de combustão é o ar atmosférico que é uma mistura de oxigênio, nitrogênio e, em menor proporção, de gases nobres, contendo também uma quantidade variável de vapor d'água.

O nitrogênio é inerte no processo da combustão, desta forma ele não participa da reação química chamada co combustão.

Por mais acurada que seja sua visão, um operador experiente não conseguiria distinguir se há um excesso de ar entre 30% ou 80%.

Processo da combustão

O processo da combustão é composto pelas variáveis:

- Volume de ar que entra na fornalha;
- Pressão de atomização;
- Temperatura do óleo combustível;
- Pressão do retorno do óleo;
- Regulagem do ar primário e secundário.

VOLUME DE AR REAL

Tecnicamente, é impossível assegurar uma combustão completa apenas com suprimento de ar teoricamente necessário. Quanto maior for o excesso de ar, tanto maiores serão as perdas de calor sensível dos gases da combustão lançados na atmosfera (levados pelo nitrogênio aquecido) após passagem pelo gerador de vapor.

Para operar economicamente um sistema de queima, o operador deve ter alguns conhecimentos básicos sobre o processo de combustão, suas causas e efeitos.

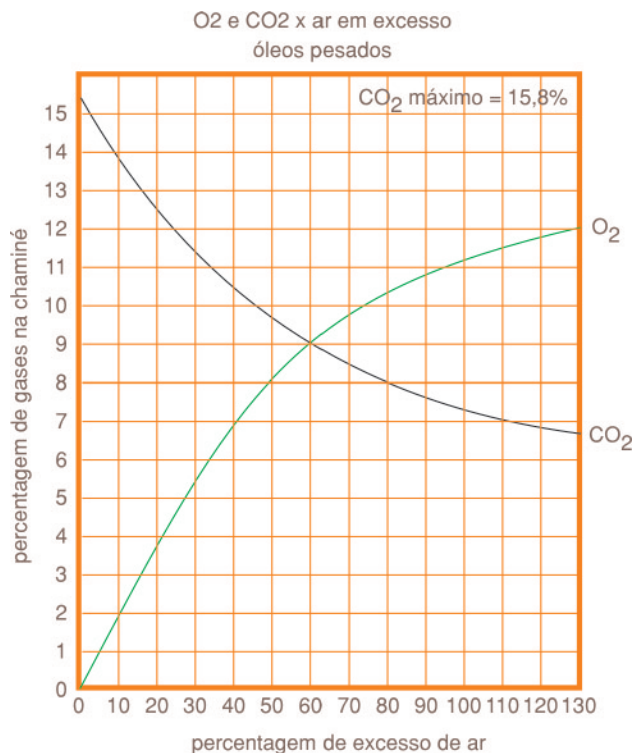
A chama deve ser limpa, sem o aparecimento de fagulhas, de forma estável e a fumaça na chaminé deve ser teoricamente invisível. A cor da chama deve ser bem definida, podendo variar de laranja claro para um amarelo reluzente brilhante.

Quanto maior o excesso de ar, menor o CO₂ e quanto menor o CO₂, maior a perda de calor sensível pela chaminé.

Qual o valor ideal de CO₂?

O CO₂ ideal é aquele que assegura uma combustão completa com alguma margem de segurança. Para se ter poucas perdas de calor, o CO₂ deve ser o mais alto possível.

Analisando o gráfico da **figura 1** verificamos que a faixa de operação

F.3 O₂ e CO₂ x ar em excesso.

econômica é a verde, e também que as perdas por óleo não queimado são maiores que por excesso de ar. Nota-se também que o CO₂ alto pode não significar economia e sim perda por óleo não queimado. Assim sendo não basta apenas medir o CO₂, mas sobre os analisadores de gases citaremos mais adiante.

Um baixo teor de CO₂ nos gases, pode ocorrer devido a:

- Tiragem excessiva;
- Excesso de ar na queima;
- Entrada de ar falso na fornalha;
- Atomização / mistura imperfeita entre ar / combustível;

CO - MONÓXIDO DE CARBONO

Quando nos aproximamos muito de uma faixa estreita de baixo

excesso de ar, ocorre uma grande formação de CO. Na maioria das instalações de queima, a formação de CO se dá ou por insuficiência de ar, mistura ou defeito mecânico no queimador. Dizemos que uma combustão está bem regulada, quando também os valores de CO estão em níveis muito baixos.

É possível regularmos a entrada de ar na caldeira sem o acompanhamento do analisador de O₂. Diminua o volume de entrada de ar até que comece a sair fumaça escura pela chaminé, depois aumente a entrada de ar até que a fumaça desapareça, assim manteremos um volume de ar acima do valor calculado (valor estequiométrico), garantindo que todo carbono terá reagido com o oxigênio. Um excesso de volume de ar na fornalha seqüestrará o calor sensível impedindo a troca de calor com a água, e



Wecca/Divulgação

F.4 Entrada de ar é conseguida sem acompanhamento do analisador de O₂.

este calor sairá pela chaminé sendo indicado no termômetro instalado na lateral da torre e, dependendo da proporção, uma fumaça branca surgirá.

Um analisador mais o gráfico da figura 2 fazem o ajuste fino da combustão.

A falta de ar fará com que apareçam carbonos livres responsáveis pelo escurecimento dos gases que se escoam pela chaminé, desprendendo a fuligem.

Utilizando-se de um medidor de CO₂, no exemplo na **tabela 2** abaixo, regulamos o sistema de queima para valores menores de excesso de ar, conseguindo mais economia.

Reduziu-se o excesso de ar até obter um resultado mais alto e constante no valor do CO₂, em torno de 12,5%. Após a 3ª medição todas as alterações efetuadas conduziram a resultados inferiores. Neste exemplo a economia foi de 4% em combustível poupado.

Na próxima Revista Mecatrônica continuaremos com o tema combustão, onde abordaremos os tipos de analisadores de gases, características de medição e o que significam os valores medidos.

* Reginaldo de Mattos Onofre é técnico de Instrumentação na Petrobras Transporte - Terminal São Caetano e diretor da Standher & Associados Cursos e Treinamentos

T.2 Exemplo mostra economia obtida.

Composição	1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição
Temperatura dos gases da chaminé	310 C	280 C	250 C
Temperatura ambiente	25 C	25 C	26 C
Diferença	285 C	255 C	224 C
CO ₂ nos gases da chaminé	11 %	11,6 %	12,5 %
Perda de calor através dos gases	14,5%	13%	10,5%
Eficiência da queima	85,5%	87%	89,5%



Utilização de controle de vazão e nível na batelada de água potável para preparação da massa para biscoitos

Rogério Dias Gimenes*

Afortunadamente, tem-se observado nas últimas décadas, que um grande número de indústrias brasileiras estão utilizando sistemas cada vez mais automatizados, na confecção de seus produtos. O benefício obtido pelo uso da instrumentação não só tem simplificado alguns processos, promovendo uma diminuição no tempo de trabalho, mas também uma melhora considerável na qualidade e quantidade do produto final. Infelizmente, muitas indústrias ainda não têm aderido à utilização da instrumentação, o que se aplica principalmente às indústrias de pequeno porte. O desconhecimento da existência de opções de sistemas automatizados mais simples e de baixo custo faz com que alguns fabricantes ainda continuem realizando seus processos com sistemas ultrapassados, que levam a desperdícios de matéria-prima e maiores gastos de capital.

onde através de mangueiras utilizando apenas a pressão atmosférica, fazia a transferência da água potável do tanque medidor para o vaso de mistura dos ingredientes para a preparação da massa. O tempo utilizado na dosagem da água até sua incorporação dentro da massa era, em média, quatro minutos, podendo ser um pouco maior em algumas situações. Desses quatro minutos, dois eram gastos pelo operador no preenchimento do tanque medidor móvel e depois no seu carregamento até próximo ao vaso de mistura. Os dois minutos restantes eram gastos na abertura da válvula manual do tanque medidor para dar início à transferência dessa água até o final do preenchimento desse vaso.

As desvantagens deste sistema eram a perda de tempo durante o processo, a falta de precisão na medição da água do tanque medidor e ainda a perda de água durante o transporte do tanque até o vaso de mistura.

Essas variações na dosagem de água se refletiam na qualidade da massa preparada, cada batelada apresentava características diferentes, principalmente na sua cor, sabor, alterando sobremaneira a qualidade do produto final. Nos casos mais graves, havia perda total da massa preparada, visto que não há processo de recuperação para massa de biscoitos. Nesses casos, as perdas eram ainda maiores para a indústria, pois além do tempo dispensado no processo de fabricação, as matérias-primas como água, farinha, sal e fermento, eram totalmente desperdiçadas.

Algumas indústrias ainda defendem o emprego do processo acima referido, por acreditarem que é um processo mais econômico, visto que ao utilizarem a transferência de líquidos por pressão atmosférica ou gra-

O objetivo deste artigo é apresentar um sistema simples, porém eficiente para otimizar o processo de confecção da massa para biscoitos de água e sal em uma indústria de pequeno porte que, antes, utilizava a medição de água de forma manual. O novo sistema utilizará a instrumentação para um controle simples, no intuito de reduzir as perdas para zero, contabilizando e controlando o consumo de água potável, tendo assim, o controle sobre toda a receita. A implantação desse sistema levará a um grande aumento na produção e na qualidade dos biscoitos e, conseqüentemente, aumento nos lucros da empresa.

Esse sistema é indicado também para fábricas de pequeno porte que necessitem realizar dosagens de líquidos ou de produtos químicos em fase líquida, assim como para a transferência e transporte de líquidos e em empresas que comprem e vendem líquidos a granel, etc. É necessário ressaltar que todos os equipamentos usados nessa fábrica devem possuir

padrão alimentício ou sanitário de acordo com as normas para a indústria alimentícia, de bebidas e farmacêutica em geral.

FUNCIONAMENTO DO PROCESSO ANTES DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE

Nesse processo, a água potável era o último ingrediente adicionado no vaso de mistura para a preparação da massa antes que essa fosse para o forno.

Cada batelada de água potável era de 20 litros. Para essa dosagem, o operador utilizava sempre um tanque medidor móvel de 20 litros e uma válvula de bloqueio proveniente do tanque master de água potável. Essa válvula era aberta manualmente até que o tanque medidor móvel fosse enchido, esse processo levava cerca de um minuto. Após o preenchimento do tanque com os 20 litros de água, esse era transportado pelo operador até próximo do vaso de mistura,

vidade, dispensam o uso de bombas que provocariam um gasto maior de energia e tempo de manutenção.

Em contrapartida, a implantação de um novo sistema incluindo instrumentos e válvulas, demanda pouco investimento e gera ótimos resultados em pouco tempo.

FUNCIONAMENTO DO PROCESSO APÓS A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE

A implantação de um sistema de controle no processo de fabricação dos biscoitos de água e sal permite que a dosagem dos 20 litros de água potável seja feita de forma automática, assim como a sua incorporação no vaso de mistura da massa. Esse sistema é automatizado mediante a utilização de válvulas e instrumentos de precisão.

Para que o processo se inicie, o operador deve acionar o botão "iniciar" no controlador de batelada "FQI" localizado num pequeno painel, conforme mostra o diagrama de malha (figura 1). Dessa forma, o controlador FQI abre a válvula solenóide "S" via saída a relé e inicia a batelada de 20 litros de água potável que será mensurada pelo medidor de vazão tipo turbina "FE". Esse medidor envia um sinal de pulsos referente à vazão medida e totalizada para o "FQI" que indicará a vazão encontrada. Assim, cada vez que o "FQI" totaliza 20 litros, ele automaticamente fecha a válvula, encerrando o processo de batelada. Ao término de cada batelada de água potável, o operador poderá acionar, em seguida, o botão iniciar do "FQI", para uma nova batelada. Esse sistema de controle automático de nível permite que o tanque de água se mantenha com o nível 100% em 2000 litros.

Esse controle automático é composto por um medidor de nível tipo hidrostático "LT", que mede o nível através da pressão hidrostática gerada pela coluna de água do tanque. Um controlador e indicador "LIC" instalado num pequeno painel junto com "FQI" (controlador de batelada) pode ter seu *set point* ajustado em 100% e assim, quando o nível do tanque de alimentação começar a baixar durante o consumo de água, o medidor de nível "LT"

automaticamente acionará o controlador de nível "LIC" que atuará na válvula de controle proporcional "LCV" para que ocorra a realimentação da água potável de acordo com seu *set point* (100%). Essa válvula "LCV" está ligada mecanicamente entre o tanque master de água potável, com capacidade de 20.000, litros e o tanque de alimentação de água potável com capacidade para 2.000 litros, que adiciona essa água ao vaso de mistura para a preparação da massa.

O tanque master para 20.000 litros fica situado externamente à fábrica, no ponto mais alto do terreno, recebe a água potável do fornecedor através da válvula manual "HV1" e possui um medidor de nível hidrostático "LIT" semelhante ao medidor do tanque de alimentação, mas que funciona apenas como indicador de nível local. Cada vez que o nível da água deste tanque baixar dos 10.000, o fornecedor será acionado para que adicione água até completar o nível de 20.000 novamente. Essa água é transferida para o tanque através de uma bomba proveniente do caminhão tanque.

A válvula manual "HV2" funciona como um bloqueio de segurança quando for necessário, visto que esta fica aberta quase o tempo todo para alimentar o processo.

A tubulação utilizada no processo de fabricação é toda de 1", incluindo a seção das válvulas manuais "HV1" e "HV2", da válvula de controle proporcional "LCV", da válvula solenóide "S", do medidor de vazão tipo turbina "FE", etc.

O correto funcionamento do sistema acima descrito, permite que a água seja dosada e incorporada de

forma precisa sobre os outros ingredientes da massa que já estão dosados no vaso de mistura, promovendo assim, uma massa sempre uniforme e de propriedades adequadas para passar pelo processo de cozimento. Além de garantir o padrão e a qualidade dos biscoitos de água e sal, esse sistema de controle levará a um aumento considerável na quantidade de produção devido à rapidez do processo, visto que o tempo de cada batelada de água, que anteriormente era de 4 a 5 minutos, passou a ser apenas de um minuto.

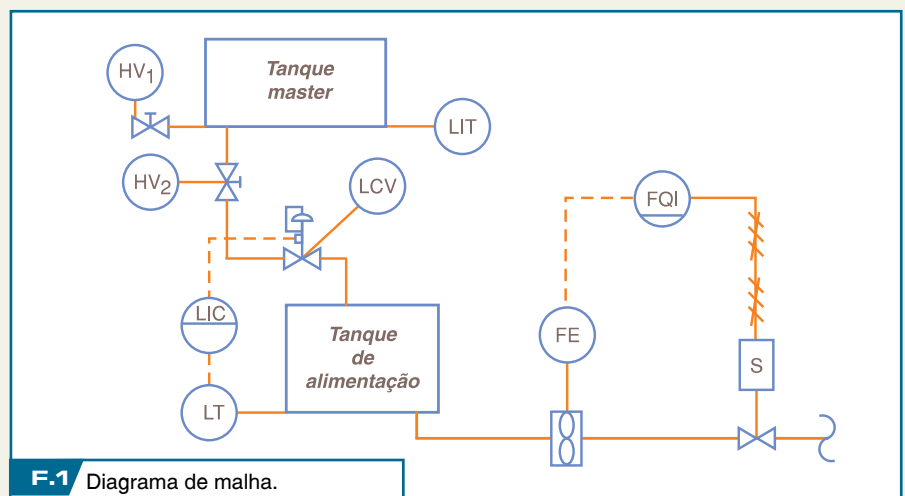
CONCLUSÃO

A utilização de instrumentos no controle da batelada permitiu uma redução significativa no tempo de preparo da massa e também uma padronização na receita da massa, aumentando a qualidade dos biscoitos de água e sal.

A otimização do processo de fabricação promove um aumento nos ganhos econômicos a um curto prazo, visto que, não ocorrerão mais os desperdícios de matéria prima e de tempo, havendo um aumento na quantidade do produto final.

Soluções simples utilizando instrumentação nos processos de fabricação de variados produtos, também estão ao alcance de empresas de pequeno porte, sem que estas tenham que fazer grandes investimentos. ■

*Rogério Dias Gimenes é representante técnico comercial da Metroval Controle de Fluidos Ltda.



F.1 Diagrama de malha.



Controle em redes híbridas

Leonardo Tavares*

A evolução tecnológica dos últimos anos motivou muitos estudos de soluções e tendências no mundo da automação industrial, especialmente os das redes de comunicação de dados no chão de fábrica. Nesse sentido, várias empresas se destacaram lançando suas redes fechadas, as quais chamamos de redes proprietárias, pois seus componentes só se comunicavam entre si não permitindo a inclusão de componentes de outros fornecedores na mesma rede. Mas, certamente esse início teve uma parcela de contribuição muito significativa nessa jornada, pois outros fabricantes sentiram-se obrigados a andar na mesma direção diante da necessidade de fazer igual, ou melhor, em relação ao seu concorrente, fato que contribuiu ainda mais para evolução desses sistemas. Quanto às vantagens, estas então são notáveis em relação aos sistemas convencionais de instrumentação onde, normalmente, os cabos são levados a painéis centrais em grandes salas de controle.

dade, número de dispositivos em uma única rede, número de condutores, imunidade a ruído e muito mais. O fato é que a utilização de redes de comunicação de dados no chão de fábrica é cada vez mais freqüente e indispensável no campo da automação e controle dos mais variados tipos de processos. Em geral, não se começa um projeto de sistema de controle, hoje em dia, sem pensar na implementação de um sistema integrado. Embora a informação esteja no chão de fábrica, essa integração pode ter seu ponto de partida aí mesmo, uma vez que agora temos muitas outras informações disponíveis nos instrumentos de campo, podendo passar por sistemas de supervisão, sistema de manutenção, sistemas administrativos e muito mais.

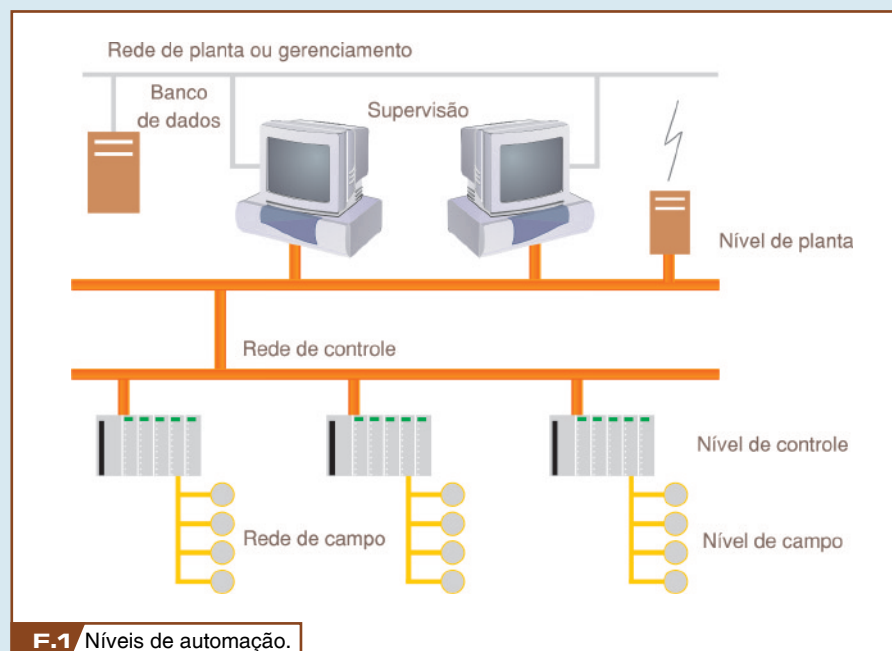
É nesse âmbito que estes sistemas de Automação Industrial

Contudo, todo esse processo evolutivo resultou na criação de um sistema de comunicação *aberto*, com interoperabilidade entre fabricantes distintos mas, principalmente, com a liberdade de escolha do usuário final de conceber seus sistemas de controle sem estar necessariamente preso a um determinado fabricante. Chamamos essa tecnologia de *FieldBus* e, finalmente, em 1998, a conhecida “Guerra dos Buses” ganhou a atenção de todos e esses sistemas digitais ficaram cada vez mais divulgados e conhecidos pelo público. Dessa forma, suas características, vantagens e desvantagens puderam ser mais bem examinadas.

temas e quais seriam as características desta tecnologia *FieldBus*, protocolo de comunicação, veloci-

SISTEMAS FIELDBUS

Muito se discutiu e especulou a respeito da utilização destes sis-



F.1 Níveis de automação.

apresentam estas tecnologias no contexto de um sistema de produção mais eficaz, onde os instrumentos não são simplesmente meros componentes isolados e com função única de informar apenas o valor da variável medida ou de uma válvula ou de um inversor, mas que apresentam, além de tudo isso, alguma “inteligência”, comunicando-se entre si tornando as informações disponíveis o tempo todo, praticamente *Real Time*.

NÍVEIS DE AUTOMAÇÃO

Com toda essa informação disponível, podemos estabelecer uma divisão de camadas das informações existentes dentro da automação em quatro níveis, o nível de gerenciamento, o nível de supervisão, o nível de controle e o nível de campo (figura 1).

1. Nível de gerenciamento

No nível mais alto da topologia encontram-se os sistemas corporativos com uma visão macro, tendo todas as ações da rede de comunicação dirigidas para o controle gerencial da produção, aqui estão integradas e são tomadas todas as ações de controle estratégico e é efetuada a supervisão global do sistema e dados gerenciais integrados com os conhecidos sistemas de supervisão distribuídos em estações de trabalho na concepção “Client x Server”. Estes sistemas de supervisão são conectados aos PLCs, por exemplo, através da rede Ethernet e utilizam *driver* de comunicação dedicado ou OPC (*OLE for Process Control*) e, através destas estações, os operadores podem visualizar e gerenciar alarmes, dados estatísticos, históricos, receitas e a operação propriamente dita do processo.

Neste nível, estão envolvidos setores como a administração, gerência industrial, manutenção, produção, compras/vendas, banco de dados, entre outros.

Em termos de comunicação a quantidade de informações que trafega pela rede é maior, porém os desenvolvimentos atuais de redes de comunicação padrão ethernet,

fast-ethernet ou outros, conseguem atingir um tempo de resposta muito pequeno a taxas de comunicação elevadas.

É também a partir deste nível que é efetuada a comunicação bidirecional com o exterior, utilizando as redes públicas de transmissão de dados como a Internet.

2. Nível de supervisão

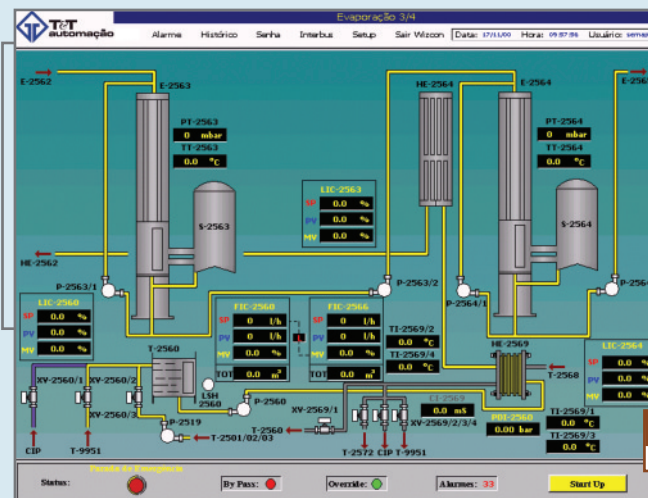
No nível de supervisão, são efetuadas as operações de condução e controle do processo por setores, em face das ordens vindas do nível superior e de restrições e informação vindas do nível inferior.

É também função deste nível supervisionar continuamente os índices de qualidade da produção, analisar tendências na variação de todos os parâmetros críticos e emitir relatórios de produção (figura 2).

3. Nível de Controle

No nível de controle, são designadas funções de tempo crítico, envolvendo constantes de tempo da ordem de 20 ms a 100 ms. Neste nível estão localizadas células onde os controladores gerenciam processos.

A comunicação neste nível é feita entre os mestres como, por exemplo, um CLP no comando de processos industriais ou máquinas automáticas. Estes diversos controladores se comunicam entre si através de um protocolo padrão definido no projeto da rede, e a comunicação com o nível mais superior é feita por meio de sistemas de supervisão que faz em a coleta das informações necessárias para transmissão ao nível superior.



F.2 Tela de programa de supervisão.

4. Nível de Campo

No nível mais baixo, está localizado o *FieldBus* que é responsável pela comunicação entre os dispositivos mais simples utilizados no chão de fábrica (sensores e atuadores) e seus respectivos controladores.

A comunicação neste nível é feita através de um mestre de rede *FieldBus*. Esse mestre possui escravos aos quais são conectados os sensores e atuadores inteligentes ou convencionais presentes no sistema. A forma física de conexão ou a topologia empregada depende de cada tipo de *FieldBus*.

Este nível se caracteriza, em termos de comunicação, por possuir uma quantidade de informações baixa trafegando na rede, e trabalhando com velocidades de transmissão também baixas, mas a resposta é satisfatória. Estas redes de baixo nível (*Fieldbus*) estão sendo cada vez mais utilizadas nos sistemas industriais por sua tecnologia reduzir drasticamente os custos. Pesquisas indicam que cerca de 30% das despesas atribuídas a custos de HH para detalhamento de instrumentação, distribuição de cabos, comissionamento, *start-up*, montagem e manutenção dos sistemas de controle, podem ser diminuídos significativamente.

REDES HÍBRIDAS

A primeira coisa que deve ser compreendida é que, como vimos anteriormente, há níveis distintos nos sistemas de automação e que para

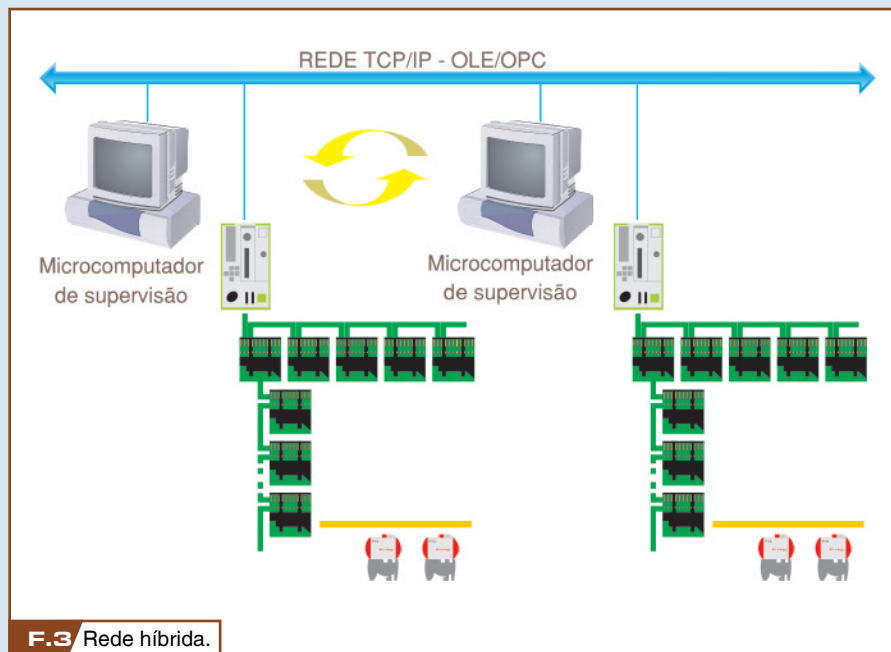
cada um desses níveis há diferentes tipos de redes que se amoldam melhor dos mesmos, trazendo os benefícios necessários à aplicação e ao projeto como um todo. Nesse sentido, podemos ainda dividir um pouco mais as redes de campo e encontrar nesses diferentes níveis as características adequadas e bem dimensionadas para cada aplicação, lembrando que não se trata de ser melhor ou pior, mas sim da rede adequada para cada situação (**figura 3**).

Alguns barramentos servem apenas para interligar sensores e atuadores discretos, basicamente transmitindo estados e bits de comando. Eles são denominados Sensorbus. Dentre eles a rede ASI, por exemplo, se destaca como uma excelente opção, visto que é um protocolo muito simples, eficiente e, principalmente, de fácil instalação, uma vez que é necessário apenas um único cabo contendo um par de condutores passando pelos dispositivos da rede, não esquecendo obviamente do mestre e da fonte de alimentação. Como se trata de uma rede direcionada para sensores e atuadores discretos bastante utilizada e muito adequada nesta concepção de rede híbrida, vale a pena conhecê-la um pouco mais.

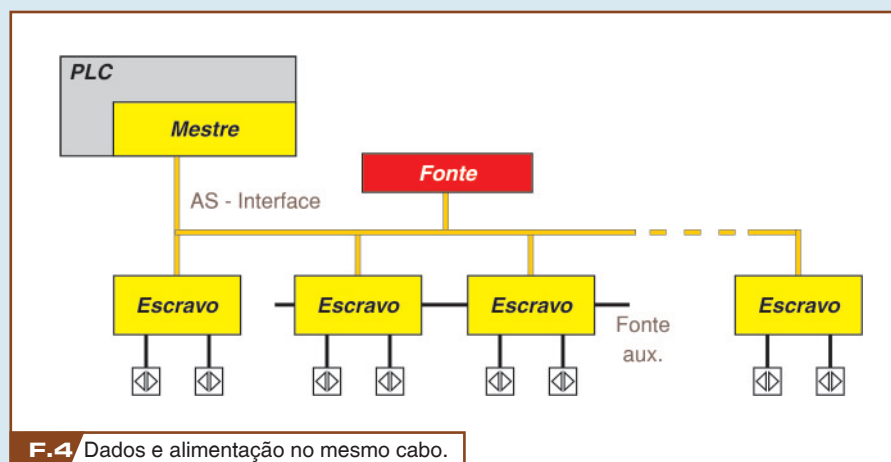
A rede ASI é composta essencialmente por quatro componentes: um mestre, uma fonte, um cabo com um par de condutores e, é claro, os escravos. Todos esses componentes são ligados em paralelo, literalmente, e os dados são enviados e recebidos de cada escravo endereçado na rede de forma seqüencial.

O número de escravos que podem ser conectados em uma única rede depende da versão: a 2.0 ou a 2.1. A primeira permite até 31 escravos e a segunda até 62 e, apesar da diferença, são compatíveis entre si podendo, por exemplo, uma rede estar utilizando escravos na versão 2.0 em uma rede onde o mestre está na versão 2.1.

Os dados e a alimentação estão presentes no mesmo cabo (**figura 4**) e este último serve para alimentar o escravo e também para acionar dispositivos como solenóides, todavia alguns tipos de escravos requerem uma fonte auxiliar.



F.3 Rede híbrida.



F.4 Dados e alimentação no mesmo cabo.

A topologia também é flexível podendo-se utilizar estrela, linha, ramo e árvore e assim flexibilizando ainda mais a instalação física, na hora da distribuição de I/Os.

A parceria destes tipos de redes com as redes de nível mais alto é perfeita. Isso porque para ler ou escrever informações de sensores e atuadores discretos (nível de bit) em uma rede de nível mais alto, é necessário agrupá-los em pequenos painéis, *junction box* ou algo parecido.

Um segundo nível é representado pelas redes capazes de interligar dispositivos inteligentes mais complexos, enquadrados na denominação genérica de *devicebus*. As mensagens aqui já são orientadas a *byte*. Nesta categoria se enquadram as redes Interbus, DeviceNet, ControlNet e outras.

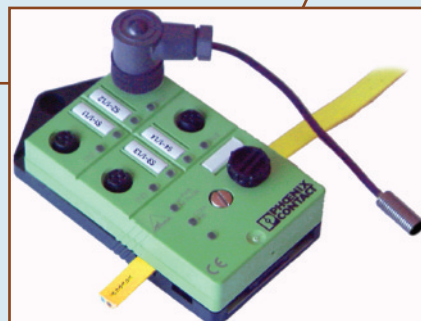
Finalmente, restam as redes de instrumentos de campo especializadas em variáveis analógicas e controle. Além do padrão *FieldBus Foundation* (IEC/SP50 H1), temos o Profibus PA e o WorldFIP.

BENEFÍCIOS

Este tipo de topologia traz uma série de benefícios. Embora pareça complexa a sua implementação, em geral as redes híbridas são interligadas em níveis hierárquicos distintos e, no menor nível, normalmente estão as de menor tráfego. A vantagem deste tipo de concepção é o melhor dimensionamento e aproveitamento nos respectivos níveis da automação, isto é, podemos aproveitar melhor as potencialidades de



F.5 Menos cabos, calhas e eletrodutos para encaminhamento até o painel.



F.6 Redução no tempo de montagem.

cada sistema, sem superdimensionar ou subdimensionar e, como consequência, o custo x benefício aumenta significativamente.

Nas diversas etapas de um projeto encontramos pelo menos um aspecto positivo, quando desta utilização:

Projeto e detalhamento: horas de detalhamento são economizadas num sistema fieldbus, uma vez que a documentação se torna mais simples com menos cabos, calhas e eletrodutos para encaminhamento até o painel (**figura 5**).

Material: como o sistema diminui a quantidade de cabos, o que já é uma grande economia, o material para montagem que conduziria todos esses cabos até um painel centralizado ou mesmo painéis distribuídos, também tem uma redução drástica.

Montagem: agora que reduzimos os cabos e material de montagem, o tempo para montagem do *Fieldbus* com menos cabos e calhas será bem menor e, com isso, os custos também são menores (**figura 6**).

Instrumentação: como a rede é aberta, ao contrário das redes proprietárias que possuem rede fechada a um único fabricante, ela possibilita a utilização de vários fabricantes numa mesma rede (**figura 7**).

Comissionamento e Star-Up: a configuração remota permite configurar os dispositivos de campo sem necessidade de ir ao campo, reduzindo tempo, o que é necessário

durante um comissionamento de uma planta.

Manutenção: o diagnóstico da rede e dos respectivos componentes agiliza a manutenção, direcionando a ação do técnico no sentido de solucionar mais rapidamente o problema.

CONCLUSÃO

Verificamos que as tecnologias denominadas *FieldBus* trazem inúmeros benefícios já comprovados, entretanto, são extremamente recentes no mercado, necessitando um forte trabalho de esclarecimento e

divulgação para que os técnicos e profissionais da área tenham consciência e saibam das vantagens de sua utilização na indústria. Sem dúvida, a resistência à mudança existe, mas da mesma forma que saímos da era pneumática (3 a 15 PSI) para entrarmos na eletrônica (4 a 20ma), temos que ultrapassar a barreira da mudança mais uma vez e entrar na era da comunicação digital, o *FieldBus*. ■

* Leonardo Tavares é diretor da T&T Automação e Sistemas Industriais e professor de Automação Industrial do CEFET campus/RJ.

F.7 Possibilidade de utilização de vários fabricantes numa mesma rede.



Transmissores de Temperatura



Bruno Castellani*

A utilização de transmissores de temperatura na indústria em geral está relacionada aos seguintes fatores:

Economia de fiação: Em muitos casos, a escolha em usar um transmissor de temperatura é mais viável, pois em longas distâncias o custo com cabos de extensão para termopares e cabos a três fios para termo-resistência é inviável, em comparação com a utilização de um transmissor de temperatura e um par de cabos de cobre para a transmissão do sinal de saída.

Isolação Galvânica: É uma proteção entre a entrada e saída do transmissor de temperatura contra *loops* de terra e ruídos da linha.

Compatibilidade eletromagnética: Como em um processo industrial, onde haja, por exemplo, motores de indução, o campo magnético gerado pode interferir nas transmissões dos sinais, daí a importância de um instrumento com imunidade a essa interferência.

Linearização do sinal: Como o sinal do sensor primário não é linear (termopares), o transmissor de temperatura lineariza o sinal de saída conforme o sinal do sensor primário.

FUNCIONAMENTO

Um transmissor de temperatura, de forma bem simplificada, converte um sinal que está sendo transmitido por um sensor primário (termopar, termo-resistência e sensor-mV) em

um sinal analógico padrão (4 a 20 mA). Há no mercado transmissores de temperatura analógicos e microprocessados. Os primeiros, são instrumentos que não possuem, na sua estrutura, componentes microprocessados e sendo assim, toda a forma de ajuste e configuração são feitas manualmente no próprio instrumento. Possuem um preço baixo, não linearizam sinais de termopares, possibilitam a mudança do "range" e o tipo de sensor de mesma família. Já os transmissores de temperatura microprocessados são totalmente configuráveis, com entrada universal, imunes a ruídos, têm isolação galvânica, possuem filtros de sinal na entrada, linearização e sua configuração é feita via software por comunicação serial digital ou comunicação Hart.

SINAIS DE ENTRADA E SAÍDA

Os sinais de entrada que o transmissor de temperatura aceita são: termopares, termo-resistências, sensor-mV e potenciômetros-Ω. A saída é

analógica, 4 a 20 mA ou com um resistor *shunt* (250 ohms) para 1 a 5 Vcc.

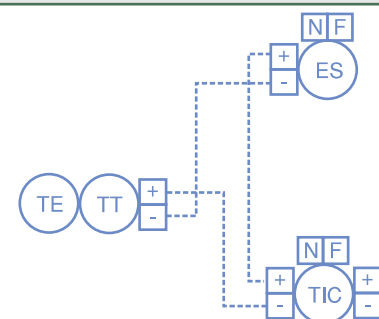
SIMBOLOGIA

Conforme a norma da ISA S5.1, a simbologia para transmissores de temperatura é mostrada na **figura 1**.

COMO LIGAR UM TRANSMISSOR DE TEMPERATURA

Existem duas formas para a ligação de um transmissor de temperatura:

Ligação a dois fios: Transmissor de temperatura em que a ligação da alimentação está em comum com a transmissão do sinal de saída (**figura 2**). Onde o TE envia o sinal prove-



TE - sensor primário de temperatura
TT - transmissor de temperatura
ES - fonte de alimentação (24 Vcc)
TIC - controlador e indicador de temperatura

TT - transmissor de temperatura
TIT - transmissor e indicador de temperatura



Transmissor de Temperatura instalado no campo



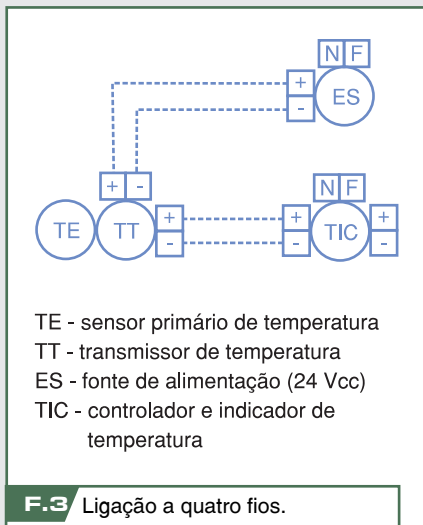
Transmissor de Temperatura instalado no painel de controle

F.1 Simbologia.

F.2 Ligação a dois fios.

niente da temperatura do processo para o TT, no qual converte para um sinal analógico (4 a 20 mA) e transmite para um TIC.

Ligação a quatro fios: Transmissor de temperatura em que a ligação da alimentação está separada da transmissão do sinal de saída (figura 3). Onde o TE envia o sinal proveniente da temperatura do processo para o TT, no qual converte para um sinal analógico (4 a 20 mA) e transmite para um TIC.



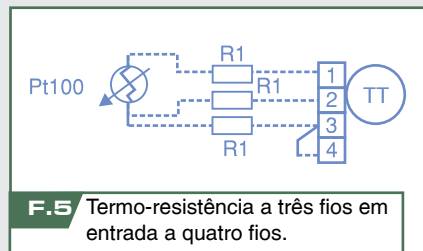
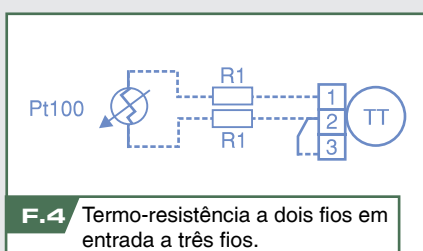
F.3 Ligação a quatro fios.

PROBLEMAS MAIS COMUNS

Os problemas mais comuns referem-se às ligações dos sensores no transmissor de temperatura:

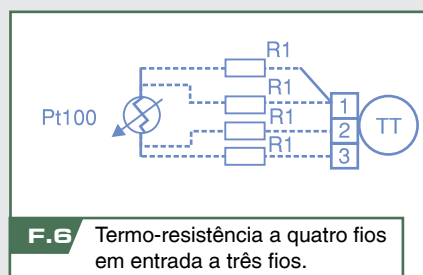
Termo-resistência a dois fios em entrada a três fios (figura 4): Neste tipo de ligação, não existirá a compensação da resistência de linha (R_L), pois o *jumper* não possui a mesma R_L interferindo na resistência do Pt100, possibilitando um erro de temperatura. Para termo-resistência a dois-fios utilize um transmissor para conexão a dois fios ou a três fios compensando a resistência.

Termo-resistência a três fios em entrada a quatro fios (figura 5): Neste tipo de ligação, não haverá a compen-

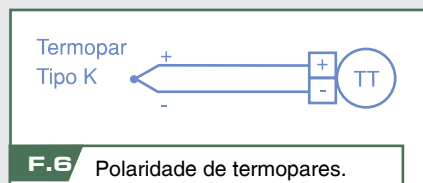


sação de resistência de linha, justamente pelo fato do *jumper* não possuir a mesma resistência de linha de R_L . Para termo-resistência a três fios, use transmissores para ligação a três fios.

Termo-resistência a quatro fios em entrada a três fios (figura 6): Neste caso, as duas resistências de linhas (R_L s) ligadas no borne 1 estão dividindo a R_L pela metade, por estarem ligadas em paralelo, razão pela qual ocorrerá um erro na medição. Para que não haja erros na medição, as três R_L terão que ser iguais. Para termo-resistência a quatro fios, empregue transmissores para ligação a quatro fios ou transmissores com ligação a três fios, isolando um dos fios da termo-resistência.



Polaridade de termopares (figura 7): Na ligação de um termopar, ligar sempre a polaridade correta no transmissor de temperatura para ter uma medição e transmissão corretas.



CONFIGURAÇÃO DO TRANSMISSOR DE TEMPERATURA

Para a configuração de um transmissor de temperatura é necessário saber o tipo de sensor e sua faixa de trabalho, pois caso seja configurado incorretamente, haverá erro de

leitura, na transmissão e/ou não funcionamento do instrumento.

Tomemos como exemplo um termopar tipo K, que vai trabalhar na faixa de temperatura entre 100°C a 900°C. Na configuração, o transmissor de temperatura deverá possuir estes mesmos valores (termopar tipo K e faixa de trabalho de 100°C a 900°C) para que a saída seja proporcional à entrada, como 100°C = 4 mA e 900°C = 20 mA.

Entretanto, caso o tipo de sensor instalado no campo seja um termopar tipo K, mas na configuração do transmissor seja escolhido termopar tipo J, como as curvas (Temperatura x Tensão-mV) entre eles são diferentes, o transmissor irá transmitir um sinal como se estivesse um termopar tipo J instalado no processo e, sendo um termopar tipo K, ocorrerá um erro de temperatura na transmissão.

ONDE É INSTALADO

Os transmissores de temperatura são instalados no próprio cabeçote do sensor primário (formato bolacha) ou em painéis de controle com trilho Din.

TENDÊNCIAS

Protocolo Hart: É uma comunicação que sobrepõe ao *loop* de 4 a 20 mA uma frequência, através de uma chave comutadora de frequência (FSK), na qual, transmite uma frequência de 1200 a 2400 Hz, tendo com isso a não interferência no sinal analógico de 4 a 20 mA, possibilitando a introdução de valores para a alteração de todos os tipos de parâmetros possíveis, através de software ou *hand - held*.

Comunicação Serial Digital: A utilização de uma rede de comunicação digital como, por exemplo, Profibus ou Fieldbus, possibilita que uma malha de controle tenha a monitoração, configuração e alteração em vários instrumentos que estejam na mesma malha e que possuam o mesmo protocolo de comunicação. ■

*Bruno Castellani é técnico em instrumentação e controle de processos e estagiário de engenharia do controle e automação na Ecil Temperatura Industrial Ltda.

Interferência eletromagnética por ESD

Osmar Brune*

Os engenheiros encaram dois tipos de problemas causados por ESD (*electrostatic discharge*): os que ocorrem durante a fabricação do produto, e aqueles que surgem depois que o mesmo já está no campo. O primeiro é um problema de manufatura, e o segundo é um problema de EMI (*electromagnetic interference*). Neste artigo abordamos o segundo tipo de problema, cujos efeitos variam desde perturbações de funcionamento até o dano permanente.

A distinção entre os dois tipos de problemas, feita anteriormente, é importante. Muitas companhias tem excelente controle de ESD durante a produção, mas seus produtos falham no campo devido à ESD. O risco de ESD existe em toda parte, não apenas na fábrica. Um bom projeto pode evitar problemas de ESD no campo.

Há uma grande diversidade de fontes de ESD, tais como seres humanos, móveis, papéis e plásticos. Também existem múltiplos caminhos de acoplamento, entre eles, circuitos, terras e campos eletromagnéticos. E, finalmente, existem diversos modos de falha, veja perturbações, danos permanentes, ou falhas latentes, entre outros.

O problema de ESD vem piorando. À medida que os circuitos tornam-se mais rápidos, eles ficam mais suscetíveis a perturbações, porque pulsos rápidos de ESD podem ser confundidos com sinais legítimos. E à medida que os circuitos se tornam mais compactos, eles ficam mais suscetíveis a danos, porque não podem mais dissipar com segurança a energia de ESD em seu pequeno volume.

Há duas escolhas para tratar a ESD: preveni-la ou ser imune a ela. A prevenção é a estratégia normalmente adotada na manufatura, pois um único evento de ESD pode danificar circuitos ou placas vulneráveis. Para equipamentos no campo, no entanto, esta estratégia de prevenção não é viável.

Mais cedo ou mais tarde, uma descarga de ESD irá ocorrer, portanto um projetista deve se preocupar em como a ESD pode afetar adversamente o seu produto. Felizmente, com pequenos cuidados, pode-se diminuir radicalmente a vulnerabilidade a este problema.

Abordamos, neste artigo, técnicas para prevenir e corrigir problemas de ESD no momento do projeto do equipamento. Antes disso, entretanto, analisaremos o fenômeno de ESD e os modos de falha.

O FENÔMENO ESD

Um evento de ESD é caracterizado por um acúmulo muito lento de energia (tipicamente dezenas de segundos), seguido de uma ruptura muito rápida do isolamento (tipicamente da

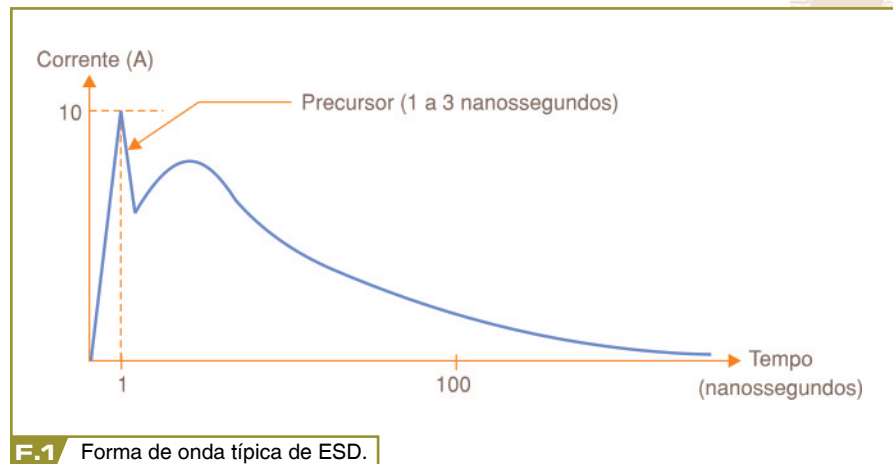
Nota

- Este é o **quinto** artigo de uma série sobre EMC/EMI. A leitura dos artigos anteriores da série é recomendada para uma melhor compreensão de alguns conceitos citados neste artigo.

ordem de nanossegundos ou pico-segundos). Esta ruptura rápida causa muitos problemas em equipamentos eletrônicos modernos. Os pulsos típicos (na ordem de nanossegundos) são equivalentes a frequências da ordem de centenas de MHz. Devido a esta alta velocidade e frequência, a energia de ESD pode danificar circuitos, provocar oscilações nos terras e até mesmo causar perturbações através de campos eletromagnéticos.

A ESD se divide em duas fases: pré-descarga (acúmulo de carga) e pós-descarga (a ruptura do isolamento). Como projetistas, nos interessamos principalmente pela pós-descarga, mas é útil entender como o problema começa, em primeiro lugar. A **figura 1** mostra a forma de onda típica de um evento de ESD.

Muitos de nós conhecemos como se gera a eletricidade estática. O método mais comum é a carga pela remoção de elétrons de um objeto (resultando numa carga positiva), transferindo-os para outro objeto (resultando numa carga negativa). Em



F.1 Forma de onda típica de ESD.

um condutor, esta carga se recombina quase instantaneamente. Mas em um isolante, a carga pode permanecer separada. A carga estática resulta numa tensão estática ($V = Q/C$, onde C é a capacitância e Q é a carga). Quanto melhor for o isolante, mais tempo levará para que haja uma recombinação significativa da carga, e maior será a tensão que pode surgir. Fontes típicas de carga estática são os seres humanos, móveis e materiais ou dispositivos em movimento.

Se a tensão atinge um nível suficientemente alto, uma rápida ruptura do isolamento pode ocorrer através do ar, que é o arco de ESD (em uma tempestade, o resultado é o raio).

Na **figura 1**, pode-se observar que a corrente de pico de ESD pode exceder dezenas de ampères (descargas provocadas por seres humanos), e o tempo de subida está na faixa de nanossegundos.

Por quê analisar a corrente, e não a tensão? Porque, provavelmente, a corrente é o problema. É como o estouro de uma represa, o que causa o dano é o fluxo da água em si, e não a pressão que havia na represa antes do estouro. A tensão é apenas uma medida conveniente da “pressão” antes do evento de ESD.

Além da corrente, o tempo de subida é muito importante. No mundo de EMI, freqüentemente convertemos tempo de subida (T_r) em freqüência equivalente (F), onde:

$$F = \frac{1}{\pi \cdot T_r}$$

Esta equação é baseada na transformada de Fourier, como ilustra a **figura 2**.

Para um pulso de ESD de 1 nanossegundo, temos uma freqüência equivalente maior que 300 MHz. Isto não é mais eletricidade estática, portanto requer técnicas de projeto de VHF (*very high frequency*), e não de corrente contínua.

A umidade está relacionada à probabilidade de eventos de ESD. Quanto maior a umidade, menor esta probabilidade. A umidade ajuda a diminuir a impedância superficial dos materiais isolantes, diminuindo o tempo necessário para recombinações de carga. Dessa forma, é mais difícil acumular carga a ponto de atin-

gir a tensão suficiente para a ruptura do isolamento. Estudos mostram que com umidade superior a 50%, seres humanos dificilmente produzem tensões superiores a 2000 V. Com 5% de umidade, essas tensões podem atingir 15000 V ou mais. Mesmo assim, existem casos em que tensões tão baixas como 2000 V podem causar problemas.

MODOS DE FALHA

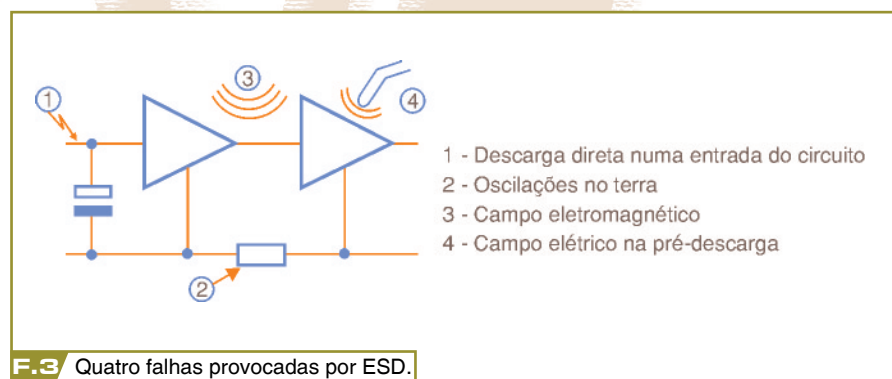
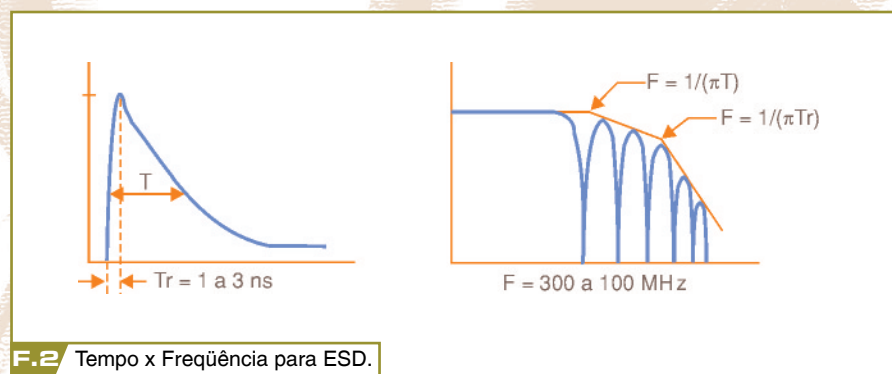
A **figura 3** exibe 4 modos de falha causados por ESD. Em muitos casos, mais do que um modo de falha podem estar presentes simultaneamente, o que podem complicar bastante a detecção do problema.

O **primeiro modo de falha** causa perturbação no circuito, ou dano latente ou permanente, devido à corrente de ESD que flui através de um circuito vulnerável. Esta situação é idêntica à preocupação com ESD na manufatura: qualquer corrente injetada em um pino pode danificar o dispositivo. Dessa forma, qualquer conexão direta a um circuito integrado a partir do mundo externo, seja através de um conector ou de um teclado, não é uma boa idéia. Deve-se utilizar componentes inter-

mediários para dissipar a energia de ESD.

O **segundo modo de falha** é a perturbação (funcionamento errôneo) causada por oscilações no terra do circuito. Esta situação pode ser sutil, pois geralmente admitimos que o terra tem baixa impedância. Mas, com pulsos de 1 nanossegundo (mais de 300 MHz), a impedância pode não ser baixa devido às indutâncias parasitas, e o terra oscilará. Em alguns casos, este modo de falha pode causar danos, por exemplo, em circuitos CMOS (efeito *latch-up*).

O **terceiro modo de falha** é a perturbação causada por um campo eletromagnético. Este efeito raramente produz dano, porque tipicamente uma pequena fração da energia ESD é acoplada em circuitos vulneráveis. Este efeito depende altamente do tempo de subida, das áreas de *loop* do circuito, e da presença de blindagem. Em alguns casos, não é necessário que a descarga de ESD ocorra muito próxima do circuito. Já foram observados problemas desta natureza onde a descarga aconteceu entre 5 a 7 metros de distância do circuito. Este modo tem se tornado tão importante que a maior parte dos testes de ESD, atualmente, estão verificando este efeito de acoplamento indireto.



O quarto modo de falha é devido ao campo elétrico provocado pela alta tensão na fase de pré-descarga, isto é, antes de ocorrer a ruptura do isolamento. Não é muito comum, mas pode aparecer em circuitos analógicos de alta sensibilidade e muito alta impedância de entrada. Em circuitos digitais, talvez seja uma questão de tempo ocorrer este tipo de problema, devido ao decréscimo progressivo de suas dimensões.

Também deve-se considerar o tipo de falha provocada, que pode variar desde dano permanente até uma perturbação mínima. Mesmo no caso de perturbações, elas podem ter efeitos graves, dependendo do custo da falha (por exemplo, num sistema de controle vital).

É importante observar ainda que circuitos digitais rápidos são bem mais suscetíveis a perturbações do que circuitos analógicos lentos. Circuitos digitais acima de 300 MHz são especialmente suscetíveis, pois pulsos de ESD podem ser confundidos com pulsos legítimos.

TÉCNICAS DE PREVENÇÃO CONTRA ESD

A primeira estratégia é determinar os pontos mais prováveis para descargas ESD. Alguns são bem óbvios, como teclados, conectores, chaves e indicadores. Qualquer coisa metálica é suspeita, especialmente quando possui conexões elétricas. O plano é bloquear, desviar ou limitar a energia. É possível bloquear ESD com uma isolação adequada. Se ESD ocorre, você pode desviá-la dos circuitos vulneráveis através de filtros ou supressores de transientes. Também é possível limitar as correntes de ESD com pequenas ferrites ou resistores.

Uma segunda estratégia é determinar os circuitos internos mais vulneráveis a perturbações causadas por oscilações no terra ou acoplamento eletromagnético, tais como "resets", interrupções e outros sinais de controle críticos. O plano é limitar esses efeitos perturbadores. Pode-se proteger esses circuitos críticos individualmente com filtros, ou coletivamente com blindagens nos cabos e gabinete.

Proteção no nível do circuito

É aconselhável utilizar protetores de transientes e filtros em todas os sinais externos, e também usar filtros nos sinais críticos internos (*resets*, interrupções, etc). A **figura 4** traz um resumo das recomendações de proteção no nível do circuito.

Protetores de transientes devem ser rápidos. Para ESD, isto exclui protetores contra descargas atmosféricas, que atuam na faixa de micro-segundos, ao invés de nanossegundos. Os dispositivos mais adequados são *zeners* e *tranzorbs*, sendo preferíveis os *tranzorbs*. MOVs padrão (*metal oxide varistors*) não funcionam bem para ESD, mas existem novos modelos de MOVs (*multilayer surface mount*) que podem ser utilizados.

É muito importante manter curtos os terminais destes dispositivos, para

F.4 Recomendações para ESD no nível de circuito.

Protetores de Transientes:

- devem ser suficientemente rápidos para ESD
- mantenha os terminais curtos

Filtros de Alta Frequência:

- devem atenuar na faixa de 100 MHz a 300 MHz

Ferrites:

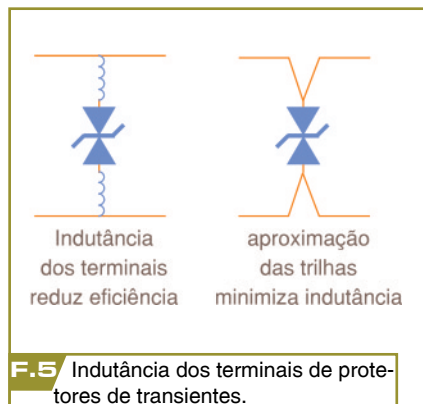
- cuidado para selecionar o tipo correto (ferrites EMI)
- usar capacitores shunt em entradas de alta impedância

Placas de Circuito Impresso Multilayer:

- 10 vezes mais eficientes contra campos eletromagnéticos

Proteção de Circuitos Críticos

- resets
- interrupções
- sinais de controle



F.5 Indutância dos terminais de protetores de transientes.

evitar que a indutância dos terminais acabe bloqueando a energia que seria dissipada por eles. Como regra, terminais possuem uma indutância da ordem de 10 nanohenrys por cm. Um ESD típico de 15 A com 1 nanossegundo de tempo de subida produzirá 200 V sobre 2 cm de terminais. A **figura 5** mostra o contraste entre uma boa e uma má instalação.

Pode-se utilizar filtros de alta frequência para proteção contra ESD. Protetores de transientes disparam num nível fixo de tensão, enquanto que filtros reduzem ESD de forma proporcional. Da mesma maneira como em protetores de transientes, eles também agem em alta frequência, e portanto valem as mesmas recomendações para manter curtos seus terminais. É aconselhável que os filtros proporcionem uma atenuação mínima de 40 dB entre 100 e 300 MHz.

Se possível, deve-se aterrar os protetores de transientes e os filtros no terra da carcaça, e não no terra do sinal, para evitar oscilações no terra do sinal. Deseja-se desviar as correntes de ESD tanto dos sinais como do terra do sinal. Isto é particularmente importante se não forem utilizadas placas de circuito *multilayer*. Em placas com 2 *layers*, cada trilha é um indutor em frequências de ESD.

Também pode-se inserir pequenas impedâncias série, tais como resistores de 50 a 100 Ω ou pequenas ferrites. Isto diminuirá a corrente de ESD. Estas ferrites devem apresentar uma impedância entre 50 e 100 Ω entre 100 MHz e 500 MHz. Deve-se utilizar ferrites específicas para EMI, não qualquer ferrite. Ferrites são melhores do que resistores, pois apresentam impedância menor em frequências mais baixas.

Não se pode usar apenas ferrites em entradas de alta impedância. Neste caso, além das ferrites em série com a entrada, você deve empregar pequenos capacitores entre 100 a 1000 pF em paralelo com a entrada, para diminuir a impedância em alta frequência.

Placas de circuito impresso multilayer podem reduzir entre 10 e 100 vezes os efeitos de acoplamento eletromagnético provocados por ESD.

Isto também acaba aumentando a imunidade contra RFI (radio frequency interference), conforme visto em artigos anteriores desta série. Em primeiro lugar, neste tipo de placas as áreas de loop que poderiam funcionar como antenas, são reduzidas. Em segundo lugar, a impedância do terra de sinal é extremamente reduzida, diminuindo as oscilações no terra de sinal.

Proteger circuitos críticos é um último conselho no nível de circuito. Por exemplo, uma pequena rede RC junto do reset de um microprocessador pode evitar muitos problemas de ESD. Siga as recomendações do fabricante do microprocessador para implementar tais redes. Além dos resets, outros sinais de controle, como interrupções, também devem ser protegidos de forma semelhante.

Proteção em conectores e cabos

Cabos e conectores são críticos no controle de ESD. Cabos podem agir como antenas escondidas e como condutores indesejáveis para energia de ESD. Além disso, um conector ruim pode tornar um excelente cabo inefi-

ciente. A **figura 6** ilustra algumas recomendações para aumentar a robustez de seus cabos e conectores contra ESD.

Os cabos e conectores devem ser de alta qualidade para enfrentar ESD, que é um problema de 300 MHz.

Cabos externos devem ser blindados, e o conector deve ser metálico ou com cobertura metálica. Para blindagem, tente malha sobre folha, ou malha de alta cobertura. A união entre a malha e o conector deve abranger 360 graus, ou toda a circunferência. Não utilize conexões por fio entre a malha e o conector. O conector fixo ao chassis também deve ser metálico (não use plástico).

Se não puder blindar, então filtre cada sinal externo, inclusive terras de sinal, conforme discutido anteriormente.

Não esqueça dos cabos internos em seu equipamento. Tenha cuidado para não passá-los perto de fendas ou aberturas do chassis, pois dependendo do tamanho destes cabos, eles podem funcionar como antenas escondidas. Deixe seus cabos internos no mínimo uns 5 cm longe destas áreas. A **figura 7** exibe como um cabo interno pode funcionar como antena escondida.

Recomendações para aterramento e blindagem

As recomendações para blindagem e aterramento para proteção contra ESD são similares às aquelas feitas em artigo anterior desta série, para RFI (Imunidade à Interferência por radiofrequência). Portanto, recomendamos que seja lido novamente esse artigo. Deve-se observar que os dois fenômenos (ESD e RFI) produzem efeitos similares, considerando o

modo de falha de acoplamento eletromagnético.

Recomendações no nível de software

Algumas práticas de software podem ser extremamente eficazes contra perturbações geradas por ESD ou RFI. Isto pode ser chamado de "software tolerante a ruído". Escreva seu software considerando que o ruído pode distorcer seus dados, em especial entre sub-sistemas diferentes (é o caso de redes de comunicação, ou mesmo no barramento interno do seu sistema). Por exemplo, interrupções não utilizadas do seu sistema podem ter um tratamento simples, que é uma instrução "return from interrupt". Pode-se também incluir códigos de detecção de erros no final de blocos de dados transferidos entre sub-sistemas diferentes (*checksums* ou CRCs, por exemplo). Em redes de comunicação, tais códigos de detecção de erros são, via de regra, sempre utilizados, pois é absolutamente certo que, mais cedo ou mais tarde, o ruído distorcerá os dados.

TESTES DE ESD

A norma chave para testes de ESD é a IEC 61000-4-2, adotada na Comunidade Européia, mas que também é um padrão de fato no mundo para testes de ESD. É preciso conformidade com essa norma para vender produtos eletrônicos na Europa.

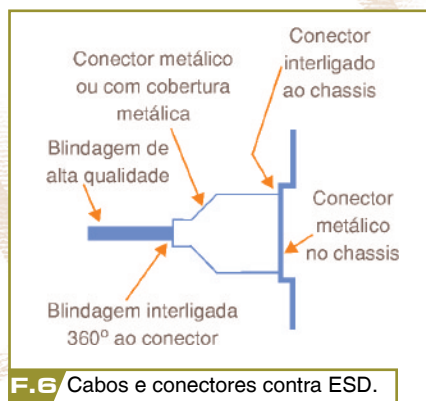
CONCLUSÕES

Este quinto artigo da série sobre EMC/EMI abordou problemas de ESD, e seu controle em nível de projeto. Artigos subseqüentes desta série prosseguirão abordando tópicos relacionados, como componentes, blindagem e aterramento. ■

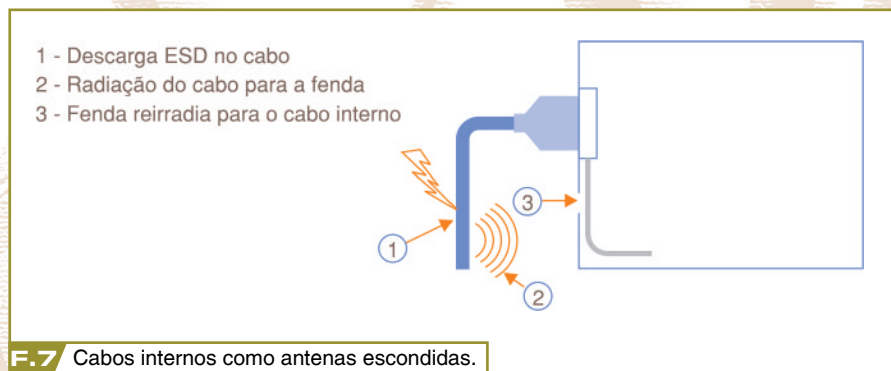
Bibliografia

- Daryl Gerke e Bill Kimmel
EDN: The Designer's Guide to
Electromagnetic Compatibility
Kimmel Gerke Associates Ltd.

*Osmar Brune é projetista de produtos e sistemas da Altus Sistemas de Informática.



F.6 Cabos e conectores contra ESD.



F.7 Cabos internos como antenas escondidas.

Características das transmissões em redes industriais / 2ª parte

Carlos Henrique C. Ralize*

Na primeira parte deste artigo tratamos da transmissão dos sinais de uma rede através de pequenos segmentos, os *frames*, e também dos mecanismos de controle de acesso ao meio físico. Agora, criaremos um conjunto de comandos para a transmissão de dados em uma rede de automação industrial hipotética. Ao final do artigo veremos o que acontece, da formatação dos dados pela aplicação à transmissão pelo meio físico, para melhor fixar a relação entre todos os conceitos apresentados.

A CAMADA DE APLICAÇÃO

Várias atividades de rede tais como o controle de acesso ao meio físico, o endereçamento e a divisão dos dados em *frames* não são influenciadas pelo conteúdo da informação transmitida. Quando dizemos que uma rede é baseada no meio físico RS-485, com apresentação de dados em um *frame* UART de 11 bits e trabalhando em configuração Mestre-Escravo, estamos descrevendo na verdade centenas de redes existentes no mercado que funcionam de forma semelhante. Com estas características podemos garantir que os dados enviados pelo mestre (um computador, por exemplo) serão transmitidos pela rede e chegarão até um dispositivo escravo (um módulo de saídas digitais, por exemplo). Mas não podemos ter certeza que o escravo conseguirá interpretar esses dados, realizando os comandos enviados ou respondendo satisfatoriamente ao mestre. Para ter certeza disso temos que garantir que os dois trabalhem com a mesma **aplicação** de rede.

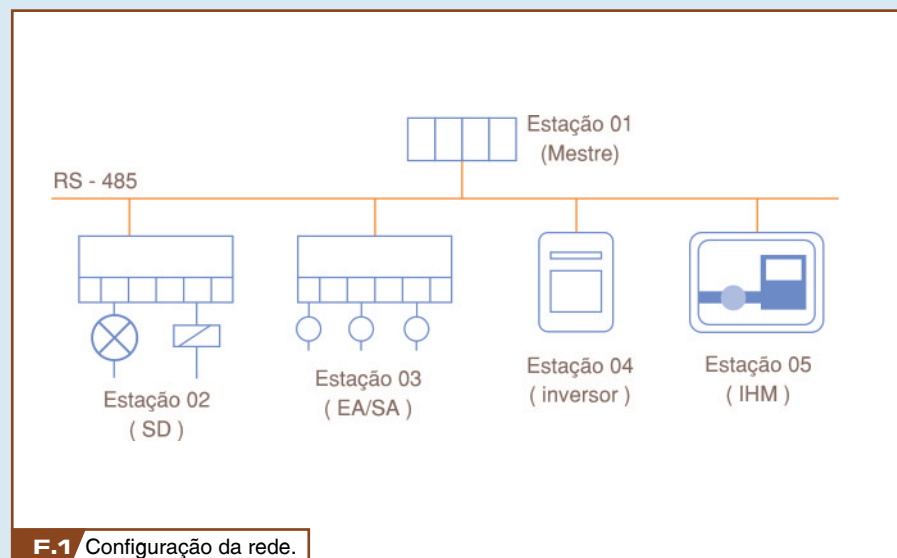
Para tornar este conceito mais claro podemos comparar os elementos acima a uma rede telefônica. Ao tirar o fone do gancho e discar um número de qualquer lugar no mundo, a central telefônica fará as comutações necessárias para estabelecer

um circuito entre o meu telefone e o destino. Quando a outra pessoa atender ao telefone, considerando que não haja defeitos, posso ter certeza de que ela poderá me ouvir e eu poderei ouvi-la, mas não posso ter certeza de que vamos nos entender. Para isso é preciso que falemos a mesma língua. A aplicação de rede é exatamente a língua comum que os equipamentos falam. Sem ela, de nada adiantaria que toda a sincronização e controle de acesso funcionassem, pois os dispositivos não saberiam como interpretar os dados recebidos ou como formatá-los para transmissão.

Vamos criar neste artigo uma aplicação de rede fictícia. É lógico que

poderíamos descrever o funcionamento de qualquer rede de automação existente, mas escolhemos criar um protocolo para fazê-lo mais simples que uma aplicação real.

Para começar devemos definir as características de nossa rede. A **figura 1** mostra a configuração do barramento. O meio físico é RS-485 (para conhecer as características elétricas dessa rede leia o artigo "Aplicações de redes RS-485" na edição nº 10). Os dados serão apresentados fisicamente com a codificação em caracteres UART de 11 bits com o seguinte formato: 115200-8-E-1 (115,2 kbps, 8 bits, paridade Par, 1 Stop Bit). O mecanismo de controle de acesso é Mestre-Escravo. Nossa rede poderá ter 255 endereços de dispositivo, variando de 01 (o mestre terá obrigatoriamente este endereço) a FF. O endereço 00 será reservado para transmissões do tipo *broadcast*, que explicaremos mais adiante. Lembre-se: isto é válido para a nossa rede. Os protocolos existentes no mercado podem ter características diferentes. Para o nosso exemplo



vamos considerar que o mestre da rede é um CLP. O dispositivo 02 é um Módulo de 8 saídas digitais, o dispositivo 03 é um módulo de entradas e saídas analógicas com 4 entradas e 4 saídas com resolução de 16 bits cada. O módulo 04 é um inversor de frequência. O Módulo 05 é uma IHM.

O FRAME DE DADOS

Já vimos no primeiro artigo como funciona o protocolo da UART, que transmite cada *byte* de dados como um *frame* de 11 bits. Mas este não é o único tipo de *frame* em uma rede. Contida nos *bytes* transmitidos teremos as informações específicas, da aplicação. Vejamos a **figura 2**.

As estruturas apresentadas são *frames* de dados usados para definir a sequência com que as informações serão apresentadas na rede. Vamos analisá-lo:

End - A primeira parte do *frame* indica o endereço. Como já definimos que nossa rede é do tipo Mestre-Escravo, nós podemos ter certeza que qualquer comunicação será travada entre o mestre e um dos escravos. E já sabemos que o endereço do mestre, é sempre 01. Portanto, só precisamos indicar um endereço ao início da comunicação, que é o do escravo. Em comunicações originadas no mestre, este campo indica o destino da mensagem. Nas respostas dos escravos, este campo indica a origem da mensagem. Como nosso endereçamento pode ter valores entre 00 e FF, bastará um octeto (8 bits) para este campo. Quando o endereço neste campo for "00", o comando é do tipo **Broadcast**, ou seja, deve ser recebido por todos. Normalmente comandos *broadcast* são usados para sincronização, inicialização ou diagnóstico da rede. **Atenção:** Em redes que não se baseiam no mecanismo Mestre-Escravo pode haver comunicação entre qualquer par de dispositivos. Nesses casos, seria necessário indicar sempre o endereço de origem e o de destino em campos separados.

Cmd - Este campo indica o comando de rede. Uma aplicação bem projetada possui dezenas de coman-



dos que prevêem todas as possibilidades de utilização da rede. Em nosso exemplo definiremos apenas alguns comandos mais comuns, como leitura de valores analógicos e digitais, escrita de valores analógicos e digitais, *reset* dos dispositivos e códigos de erro. O comando define ainda o tamanho do campo de dados. Um comando de *reset* ou o reconhecimento de uma mensagem não precisa de campo de dados. A leitura de uma entrada digital ocupa um único bit, mas para fins de alinhamento transmitiremos sempre octetos completos. A leitura/escrita de uma só entrada/saída analógica ocupa 2 octetos. A leitura de várias entradas terá comprimento variável dependendo do tipo, resolução e quantidade de variáveis. A **tabela 1** apresenta os comandos de nossa aplicação, suas respectivas respostas e o tamanho do campo de dados associado. O comando "00" - Ack indica que o escravo recebeu o comando e o executou normalmente.

Off - Quando um comando solicita a leitura ou escrita de uma ou mais variáveis, este campo indica o

endereço inicial da variável (*offset*). Por exemplo, em nosso cartão de 4 entradas digitais, o valor 00 indica a primeira entrada e 02 a terceira.

N - Este campo indica quantas variáveis sequenciais serão lidas a partir do endereço "Off". Para garantir que os *frames* de dados não serão excessivamente longos, limitaremos este valor a 32 *bytes*.

FIM - Octeto de finalização do frame de dados. Algumas redes usam um código CRC ou *Checksum* neste campo. Na nossa aplicação escolheremos arbitrariamente um terminador padrão "01010101" em binário ou "55" em hexadecimal.

As **tabelas 1** e **2** apresentam os valores possíveis no campo Cmd em nosso protocolo. Para cada comando enviado pelo mestre existe uma estrutura de *frame*. Em alguns casos os dados são enviados juntamente com o comando. O número de octetos de dados pode ser fixo ou variável, dependendo do comando. Em outros casos apenas os comandos são enviados, sem nenhum dado associado. A tabela indica o número de octetos de dados da solicitação e da resposta. Por exemplo:

Solicitação: End-Cmd-Off-FIM:

03-01-0A-55 (solicita leitura da entrada 0A)

Resposta: End-Cmd-Dados-FIM:

03-01-00-55 (resposta valor 00 - Falso)

O FLUXO DE INFORMAÇÕES

Agora que já definimos a codificação de comandos, podemos enfim

T.1 Comandos de leitura e escrita.

Cmd	Descrição	Octetos de dados (solicitação)	Octetos de dados (resposta)
01	Ler 1 entrada digital	0	1
02	Escrever 1 saída digital	1	0
03	Ler 1 entrada analógica	0	2
04	Escrever 1 saída analógica	2	0
05	Ler várias entradas digitais	0	Variável*
06	Escrever várias saídas digitais	Variável*	0
07	Ler várias entradas analógicas	0	N
08	Escrever várias saídas analógicas	N	0
FF	Reset (O dispositivo destino deve ser reinicializado)	0	0

* Para N de 1 a 8, ocupa 1 octeto; de 9 a 16, 2 octetos, e assim sucessivamente.

T.2 Códigos de erro. Em resposta a qualquer comando. Utilizam o Frame C.

Cmd	Descrição
A0	- Variável inexistente. O valor indicado no campo "Off" é inválido.
A1	- Valor de N inválido. O valor do campo N excede o tamanho máximo ou a quantidade indicada é maior que o número de variáveis disponíveis.
A3	- Dados inválidos. Os dados enviados em um comando de escrita não estão corretamente formatados ou excedem os limites da variável.
A4	- Frame Inválido. O formato esperado do <i>frame</i> não foi obedecido. Pode indicar falha de transmissão.
A5	- Timeout. O tempo máximo de transmissão ou processamento de uma informação foi excedido.
A6	- Comando inválido. O comando solicitado não pode ser executado. Por exemplo um comando de escrita em um módulo de entradas.

analisar o que acontece durante uma comunicação. Suponhamos que o mestre precise transmitir os valores das 4 saídas analógicas ao módulo 03 e receber como resposta os valores das 4 entradas analógicas desse mesmo módulo. O software da camada de aplicação de rede vai escolher os comandos adequados na tabela acima para realizar essas operações. Primeiramente, ele transmitirá pela rede o seguinte *frame* de 13 octetos:

03 08 08 00 F3 2A 54 B3 23 00 10 4F 55, significando: mensagem para o escravo 03, comando 08 - Escrever várias saídas analógicas, 8 *bytes* a partir do *byte* 00, depois os valores dos 8 *bytes* de 00 a 07: F3, 2A, 54, B3, 23, 00, 10, 4F. E por fim o terminador 55.

Cada um destes octetos, representados aqui em seu valor hexadecimal serão então codificados pela UART no formato de *frame* físico por nós definido: 115200-8-E-1. O primeiro octeto por exemplo (03 - o endereço) será transmitido assim pela rede:

01100000001

ou seja: Start Bit = 0, 8 bits de dados 00000011 (apresentados do menos significativo para o mais significativo), Paridade par = 0, 1 Stop Bit = 1.

Imediatamente após o primeiro *byte*, o segundo será transmitido no mesmo formato. Entre cada *frame* físico e o próximo, a UART pode aguardar um pequeno intervalo de até um Bit Time (o tempo necessário para

transmitir um bit, neste caso, 8,6 μ s), uma vez que o Start Bit de cada *frame* reinicia o sincronismo da transmissão. A seqüência completa de 13 octetos será transmitida assim:

01100000001 - 00001000011 -
 00001000011 - 00000000001 -
 01100111101 - 00101010011 -
 00010101011 - 01100110111 -
 01100010011 - 00000000001 -
 00000100011 - 01111001011 -
 01010101001

A **figura 3** ilustra como os dois primeiros octetos serão transmitidos pelo RS-485.

Todos os dispositivos da rede receberão estes dados, mas apenas a estação 3 os interpretará. Os demais dispositivos ignorarão o *frame* a partir da transmissão do endereço de destino. A estação 3 verificará o comando solicitado e o executará. Neste exemplo ele terá que escrever 8 *bytes* a partir do *byte* 00, correspondentes às 4 saídas analógicas do módulo. Ao receber os *bytes* ele deverá reordená-los, uma vez que eles são transmitidos do menos significativo para o mais significativo. Portanto os bytes 00 e 01 (F3 e 2A) devem ser reordenados para formar o número 2AF3Hex=10995Dec. O mesmo para as palavras B354Hex=45908Dec, 0023Hex=35Dec e 4F10Hex=20240Dec. Após o octeto terminador, o mestre se coloca em modo de recepção e libera a rede para o escravo.

Uma vez que a estação 3 tenha

interpretado e executado o comando, ela deve dar uma resposta ao mestre. Normalmente, existe um tempo máximo de resposta. Podemos definir para nossa rede que o tempo máximo é de 20 BT (o tempo para transmitir 20 bits - neste caso 172 μ s). O *frame* de resposta, nesta situação, não contém dados porque foi dado um comando de escrita. A resposta incluirá o endereço do escravo, o mesmo código de comando enviado pelo mestre e o terminador: "03 08 55"

Após receber o comando, o mestre precisa ainda ler os dados das 4 entradas analógicas. A solicitação será feita pelo seguinte *frame*: "03 07 08 00 55".

Supondo que os valores em hexadecimal das entradas 0 a 3 sejam FA01, 0234, 0F3E e 5CC0, o escravo responderá a esta solicitação com o seguinte *frame* de dados: "03 07 01 FA 34 02 3E F0 C0 5C 55". Supondo que entre cada *frame* físico foi respeitado o tempo máximo de 1 BT e entre cada pergunta e resposta ocorreu um tempo de 5 BT, podemos calcular o tempo total desta comunicação como 3,405 ms. Algumas redes possuem comandos de leitura e escrita de grupos de variáveis em uma única operação. Esse método seria mais eficiente que o mostrado neste exemplo.

Ao final da transmissão acima, o Mestre verificará se os dados recebidos são válidos. Caso haja alguma inconsistência ou erro de transmissão, o Mestre repetirá a solicitação. Em alguns casos, o escravo não responde até o tempo limite. Aqui, o Mestre repete a solicitação um certo número de vezes. Caso a falha continue, o Mestre envia para o programa aplicativo um alarme de defeito na estação que falhou. A rede por si só não pode decidir o que fazer nestes casos. Cabe ao programador do sistema configurar ações de contingência que podem ir desde a repetição dos últimos valores válidos, sem maiores consequências para o funcionamento do sistema, até a parada do processo, nas situações em que os sinais que não são recebidos são imprescindíveis.

Terminada a comunicação com a estação 3, o mestre passará à próxima no sistema. A comunicação é cíclica e para cada dispositivo é reservado um

tempo máximo. Dessa forma, podemos calcular qual o tempo máximo de duração de cada ciclo. Isso é importante para aplicações de controle que precisam de garantia de atendimento periódico dos dados.

SERVIÇOS DE REDE E PERFIS DE APLICAÇÃO

Uma rede de automação industrial não se limita à transmissão de variáveis analógicas e digitais. Há várias outras funções que podem ser desempenhadas remotamente e facilitam a configuração e manutenção da rede e dos equipamentos conectados a ela. Essas funções normalmente são chamadas de “serviços de rede”.

Entre os serviços mais comuns, estão:

Configuração remota - permite alterar o endereçamento, formatação de dados e programação de dispositivos através da rede.

Diagnóstico - para localizar defeitos nos dispositivos (fios rompidos, curtos, falhas na alimentação) ou na própria rede (falhas em repetidores, baixas taxas de transmissão, etc.).

Roteamento, retransmissão e conversão de protocolos - em redes mais complexas, com vários

níveis, alguns dispositivos especiais podem fazer a interface entre protocolos distintos para permitir a comunicação entre redes diferentes. Esses dispositivos são chamados de *Gateways* ou conversores de protocolo.

Além dos serviços de rede, alguns protocolos de automação industrial possuem ainda facilidades de configuração:

Arquivo de Descrição de Dispositivo - este mecanismo permite descrever as características de determinado módulo em um formato de arquivo padronizado. Este arquivo contém o endereçamento das entradas e saídas e demais características do módulo. Durante a configuração da rede através de um software, estes arquivos são lidos e as características dos módulos transferidas para o mestre da rede. Isso permite diminuir o tempo de configuração e programação do sistema. As redes Profibus, CANOpen, DeviceNet e Interbus possuem esta facilidade.

Perfis de Aplicação - alguns dispositivos possuem uma estrutura de memória complexa, com diversas variáveis analógicas e digitais no mesmo equipamento. Por exemplo, um inversor de frequência ou uma IHM podem possuir centenas de variáveis de todos os tipos. Se cada fabri-

cante organizasse as comunicações desses dispositivos da forma que desejasse, um usuário que utilizasse equipamentos de fabricantes diferentes poderia se deparar com inconsistências ou métodos contraditórios. Para evitar essa situação, os consórcios que administram alguns dos protocolos de automação, desenvolveram perfis de aplicação que uniformizam o método de endereçamento de memória e as funções de comunicação neste tipo de dispositivo, simplificando o processo de configuração.

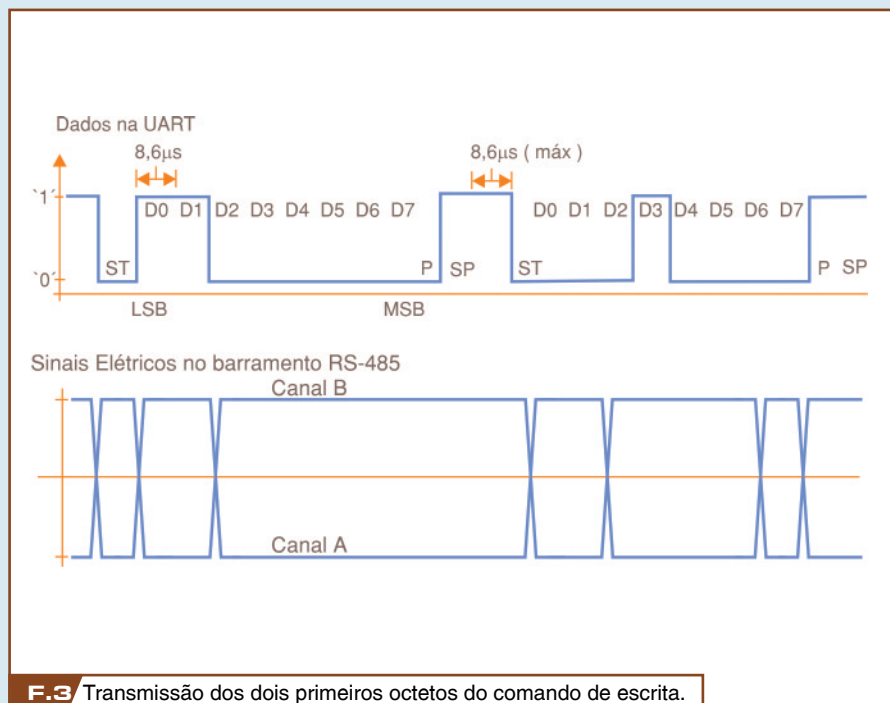
CONCLUSÃO

Assim encerramos esta série, esperando ter deixado clara a forma como os dados são transmitidos através de uma rede. Logicamente, os poucos comandos que criamos aqui não seriam suficientes para uma rede funcional. Há muitos detalhes que nem foram abordados, neste artigo. Por exemplo, em algumas redes Mestre-Escravo, é possível a estrutura multimestre. Em alguns casos, também é possível a comunicação escravo a escravo através de funções de rede especiais. Para ambas as situações, o campo de endereço único de nosso protocolo não seria suficiente.

Há ainda grandes variações no que se refere ao *frame* físico. As redes baseadas no mecanismo CAN (CANOpen, DeviceNet e Control Net) e a rede Asi não utilizam o *frame* físico UART de 11 bits. E as redes baseadas em Ethernet, cada vez mais frequentes no mercado de automação industrial, possuem longos *frames* com milhares de bytes.

Os conceitos aqui apresentados são utilizados pela maioria das redes existentes no mercado e conhecê-los é importante para melhor comparar as características desses protocolos. Entendê-los, mesmo que superficialmente, nos ajuda a perceber que uma rede é, na verdade, muito mais simples do que se costuma imaginar. ■

* Carlos Henrique de Castro Ralize é técnico em eletrônica do Departamento de Engenharia de Manutenção da Sabesp.



F.3 Transmissão dos dois primeiros octetos do comando de escrita.

Eficiência da Combustão

Aplicação de analisadores na melhoria da combustão através da adequação da relação O_2/CO

Gilberto Branco

Um dos processos mais conhecidos nos meios industriais é o de caldeiras. Esse tipo de equipamentos pode ser utilizado das mais variadas formas, entre as mais conhecidas podemos citar: geração de vapor, produção de vapor para geradores de energia, aquecimento de outros processos e instalações, processamento de alimentos ou medicamentos, aquecimento de unidade de destilação (em plantas petroquímicas, por exemplo), etc. Quaisquer melhorias em processos de combustão são bem vindas, pois se traduzem basicamente em economia de insumos para operação, em outras palavras significa dinheiro que deixa de ser gasto no processo ou redução de custo (o que foi e sempre será uma das principais metas para qualquer empresa).

Algumas empresas utilizam tanto combustível nesses processos que qualquer pequena economia gerada pode significar muito dinheiro de economia anual. Assim sendo, qualquer possibilidade deve ser analisada a luz da relação custo-benefício que possa causar. A seguir, apresentaremos uma idéia que utiliza a adequação da relação Oxigênio/Monóxido de Carbono em um processo de combustão.

O QUE É COMBUSTÃO

Para o completo entendimento do sistema de melhoria da combustão através da adequação da relação

O_2/CO , primeiramente devemos entender como a combustão ocorre. Basicamente, a combustão é a combinação de combustível e oxigênio na presença de calor, resultando assim na geração de grandes quantidades de calor.

Na maioria dos casos, essa geração de calor é utilizada pela caldeira para a produção de água quente ou vapor. Essa energia servirá então para operar equipamentos ou processos. Geralmente, o controle do processo de combustão envolve a regulação da relação destes três fatores (ar, combustível e os produtos da combustão) - **figura 1**.

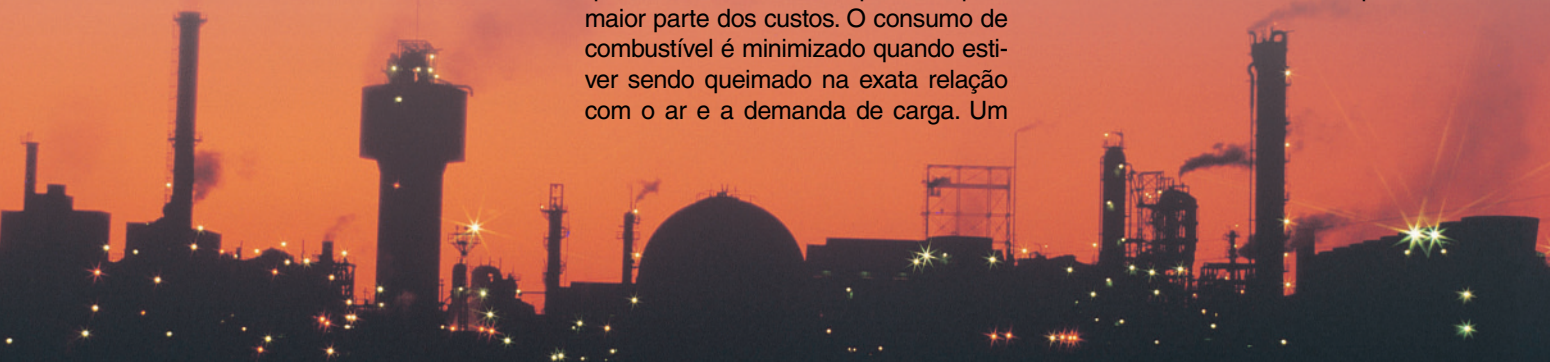
Basicamente, a preocupação das empresas com esses processos (além das condições de segurança) é obviamente o aspecto econômico, uma vez que o combustível é o responsável pela maior parte dos custos. O consumo de combustível é minimizado quando estiver sendo queimado na exata relação com o ar e a demanda de carga. Um

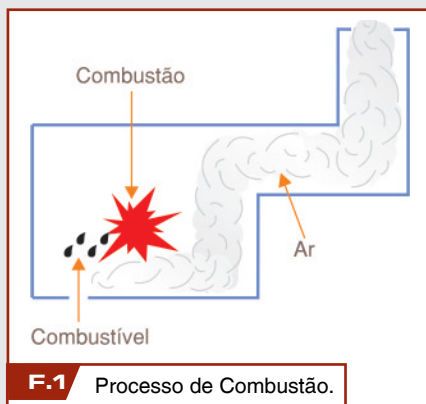
excesso de ar na combustão implica em uma quantidade de combustível desnecessária sendo queimada somente com o propósito de aquecer esse excesso de ar. Assim sendo, o combustível estará literalmente “saindo pela chaminé”.

Além do aspecto econômico, o excesso de combustível pode ser perigoso. Então, a análise do custo-benefício de um sistema de melhoria da combustão através da adequação da relação ar/ combustível pode levar a resultados de combustão bastante eficientes.

ADEQUAÇÃO DA RELAÇÃO O_2/CO

As análises de Oxigênio e Monóxido de Carbono são indispensáveis





para se chegar ao ajuste máximo da eficiência operacional na relação ar/combustível. Muitas empresas vêm utilizando este tipo de controle já há alguns anos. Assim, os operadores e engenheiros de processo podem utilizar diferentes técnicas para determinar o mínimo nível operacional para o excesso de O_2 (desde que mantidos os aspectos de segurança) para melhorar a eficiência de combustão.

Os analisadores de CO por infravermelho (informações sobre este método de análise podem ser obtidas na última edição da revista) proporcionam uma análise direta e em tempo real da concentração de CO, o que serve para ajudar a determinar a melhor relação de ar/combustível do processo. O resultado dessa análise de CO, quando interpretado junto com o resultado da análise de O_2 , é o indicador do desempenho da mistura dentro do queimador. As perdas pela chaminé aumentam conforme as mudanças da relação ar/combustível variem para qualquer dos lados, levando-se em consideração a relação quimicamente correta (estequiométrica). As perdas aumentam rapidamente quando acontece uma combustão inadequada. Então, um analisador de CO realiza a função de maximizar a eficiência de combustão e detectar se a mistura no queimador apresenta problemas. A análise de CO "on-line" indica a condição de combustão (independentemente, da operação do queimador) e a existência de vazamentos de ar nos dutos. Consequentemente, o CO pode ajudar bastante na manutenção de uma queima eficiente e segura.

Embora visto pelo lado do controle do excesso do O_2 que, se mantido dentro dos parâmetros pré-concebidos,

mantém uma quantidade de O_2 constante na saída de gases da combustão, os queimadores ficam menos eficientes com o passar do tempo ou com o acúmulo de sujeira nos mesmos. Dessa forma, os queimadores ineficientes liberarão pela chaminé quantidades cada vez maiores de combustível não queimado. A análise de CO é o meio através do qual a condição dos componentes do sistema de combustão pode ser monitorada.

Sem sombra de dúvida, a instalação de um analisador de CO pode se tornar uma ferramenta adicional para um controle de combustão mais efetivo que irá resultar em economia de combustível. A análise de CO proporcionará a visibilidade necessária aos engenheiros e operadores do processo de combustão de forma que decisões oportunas possam ser tomadas sobre quando e onde o "set-point" do controle de O_2 deve ser mudado. Essas mudanças podem ser feitas manualmente pelo operador, ou através da instalação de um controlador de CO na malha de controle do queimador.

A FILOSOFIA DO CONTROLE O_2 /CO

Um sistema de controle típico opera com os limites superior e inferior de excesso de O_2 (figura 2). Quando o queimador utiliza gás na combustão, esses limites podem ser de 0,3% e 1,0%. Quando o queimador utiliza óleo, tipicamente os limites são de 1,0% e 2,0%. O "set-point" do Monóxido de Carbono pode ser de 200 ppm. Nessas condições, o CO é o controle primário desde que o O_2 esteja dentro de limi-

tes. Se um dos limites de O_2 for alcançado através, por exemplo, de uma mudança rápida de carga, o controle é transferido automaticamente para o O_2 . O controle de CO tem um ganho relativamente baixo, enquanto o controle de oxigênio tem um ganho mais alto. Assim sendo, o controlador tem uma resposta rápida quando são alcançados os limites de O_2 e uma resposta mais lenta para variações no CO. O sistema de controle adequado sintoniza continuamente a relação de ar/combustível para que a melhor eficiência de combustão sempre seja obtida.

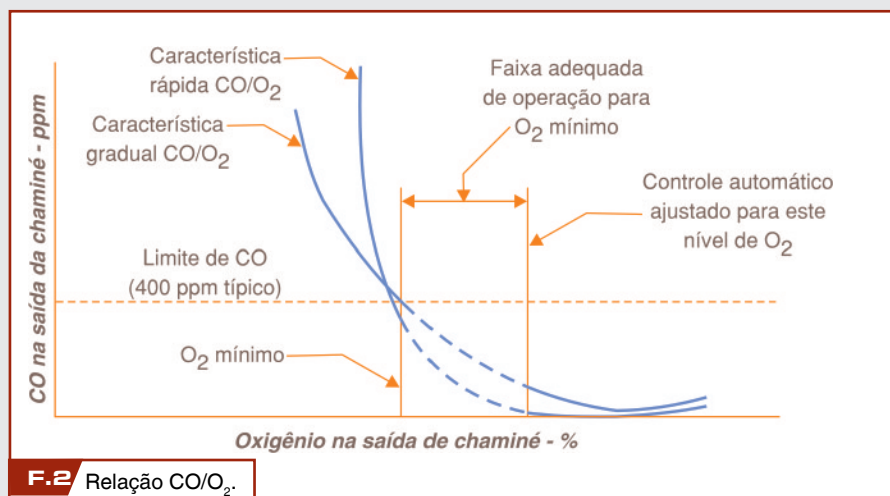
Um queimador sujo causará um aumento na concentração de CO sem um efeito no nível de oxigênio. Isso fará o controlador de CO "pedir" mais ar, mas o controlador de oxigênio assumirá quando o limite superior de O_2 for alcançado. O sistema alertará o operador para a transferência de controle e assim ele pode entrar com uma ação corretiva para solucionar o mau funcionamento do queimador.

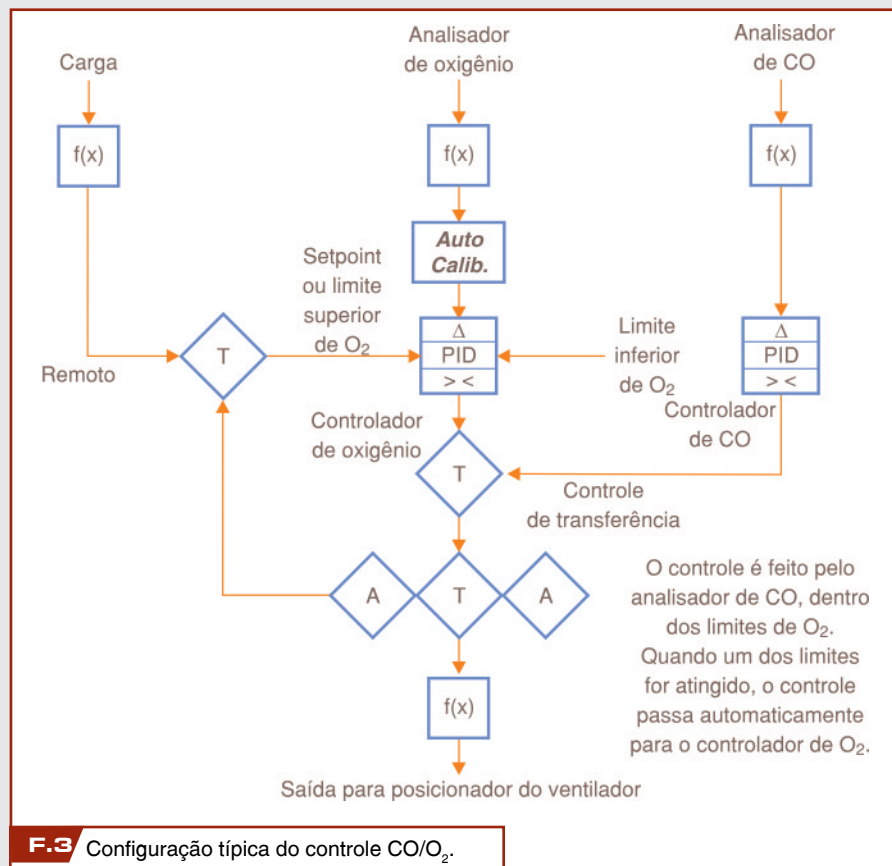
Além da adequação do controle CO/ O_2 , o controlador de CO pode ser configurado para desempenhar outras funções associadas ao processo de combustão.

A figura 3 mostra um exemplo de malha de controle para adequação da relação ar/combustível em um processo de combustão típico.

CONCLUSÃO

Um sistema de controle de CO/ O_2 efetivo pode economizar muito dinheiro na operação das caldeiras.





Atualmente, o mercado disponibiliza diversos tipos de analisadores “online” que podem oferecer meios confiáveis de análise de CO em chaminés. Quando combinado com um sistema específico de controle de combustão, torna-se um pacote completo, que melhora a eficiência de combustão diminuindo a necessidade de intervenção manual do operador.

Nota: As informações aqui apresentadas têm apenas o caráter informativo, e embora tenham sido buscadas da forma mais exata possível, devem ser analisadas e aplicadas de forma *customizada* para cada aplicação. O autor não se responsabiliza por eventuais problemas que o uso destas informações possa causar.

*Gilberto Branco é Engenheiro de Aplicação da Contech Engenharia.

Bibliografia

- **HADS 106-910A** - Oct 1995 – E. Process
- **Analísadores Industriais** – SENAI – Santos. B.L. Costa Neto e C.H. Brossi. 1982.

Complete a sua coleção



Form completed by:
our collector
on: 11/11/2011
at: 11:11 AM

70 polo telefono
:11 0 25 530

Manutenção Preditiva

Análise de vibrações


Alexandre Comitti*

Wellington Rossi Kramer**

Edson Jorge Michalak***

O estudo das vibrações tem uma importância fundamental para a engenharia moderna. A análise das vibrações em máquinas e equipamentos permite-nos conhecê-los, melhorá-los e ganharmos muito em qualidade, desenvolvimento, etc...

Muitas empresas no Brasil estão investindo nesta técnica, o que trará grandes lucros para a nação num futuro próximo. Se todas as máquinas que movem o país pudessem ser analisadas por esta técnica moderna, com certeza faríamos uma economia significativa de energia, ganharíamos muito em qualidade na manutenção, segurança, outros.

 investimento em manutenção preditiva tem um retorno muito grande para as empresas. A implantação de sistemas preditivos não só reduz o custo de manutenção, mas também faz com que os técnicos e engenheiros melhorem seus conhecimentos e, automaticamente passem a definir que melhorias devem ser introduzidas nas máquinas de modo que estas se tornem de alta confiabilidade e robustez ao desgaste, ou seja, “Engenharia de Manutenção”. A manutenção preditiva por análise de vibrações é hoje uma técnica bastante desenvolvida. Com o surgimento dos coletores analisadores de dados digitais (figuras 1 e 2) mais os programas de gerenciamento, o potencial de uma equipe de manutenção aumentou consideravelmente em termos de controle das máquinas.

Algumas máquinas necessitam de vibrações, como alguns transportadores, peneiras vibratórias, etc... Porém quase na sua totalidade, máquinas, equipamentos, estruturas e o próprio ser humano não se adaptam em ambientes vibratórios.

Quando se coloca em marcha uma máquina nova, espera-se que esta tenha vida longa e isenta de

problemas. Mas deficiência de projetos, erros de especificação, fabricação, transporte, instalação, operação e manutenção nos conduz a máquinas pouco confiáveis.

A análise de vibrações é uma ferramenta poderosa no trato destes problemas. Isto porque podemos verificar, por exemplo, a qualidade de manutenção numa troca de rolamentos, onde medições anteriores e posteriores à troca nos fornece um check-up do serviço. Através da análise de vibrações, podemos não só questionar um serviço de troca, mas também o projeto do equipamento, sua instalação, etc..., com o objetivo de obter um conjunto confiável e de vida longa.

F.1 Pré-analisador de vibrações (VISTEC).



As principais consequências das vibrações são:

- Altos riscos de acidentes;
- Desgaste prematuro de componentes;
- Quebras inesperadas (com paradas repentinas de produção);
- Aumento do custo de manutenção (consumo excessivo de peças de reposição);
- Perdas de energia;
- Fadiga estrutural;
- Desconexão de partes (instabilidade geométrica);
- Baixa qualidade dos produtos (acabamento ruim);
- Ambiente de trabalho inadequado.

O controle dos fenômenos vibratórios pode ser conseguido por 3 procedimentos diferenciados:

- **Eliminação das fontes:** balanceamentos, alinhamentos, trocas de peças defeituosas, eliminação de folgas, etc...

- **Isolamento das partes:** instalação de um meio elástico amortecedor de modo a reduzir a transmissão da



F.2 Coletor de dados (CSI).

vibração a níveis toleráveis;

- **Atenuação da resposta:** alteração da estrutura (reforços, massas auxiliares, mudanças de frequência natural, etc...).

Exemplos de Defeitos Diagnósticos por Análise de Vibração:

- Desbalanceamentos;
- Desalinhamentos;
- Folgas Estruturais;
- Folgas Internas (mancais e alojamentos);
- Problemas em Engrenagens;
- Problemas em Rolamentos;
- Correias;
- Cavitação;
- Eixos Empenados;
- Falha de Lubrificação;
- Ressonâncias Estrutural;
- Problemas Elétricos (Motores).

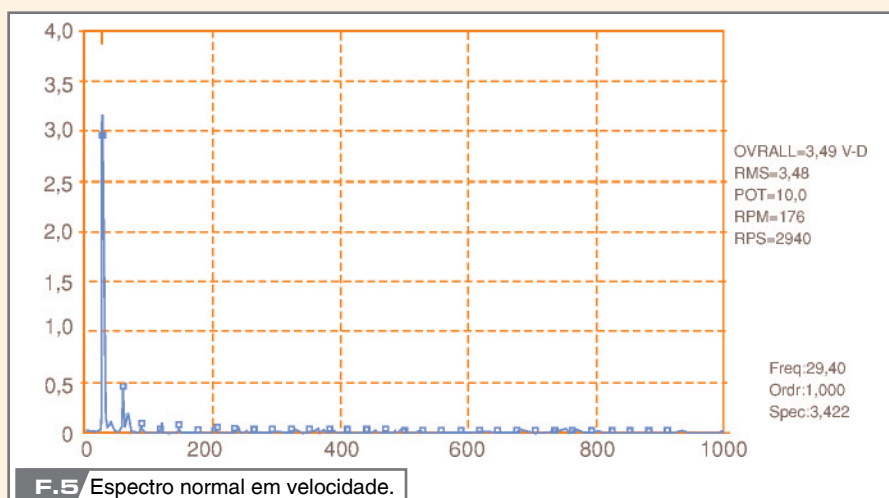
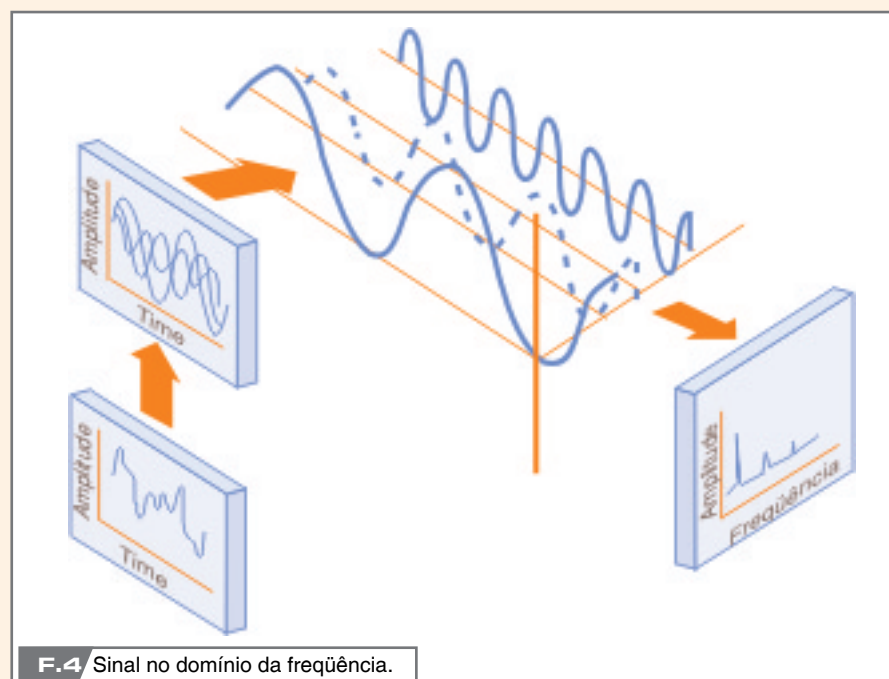
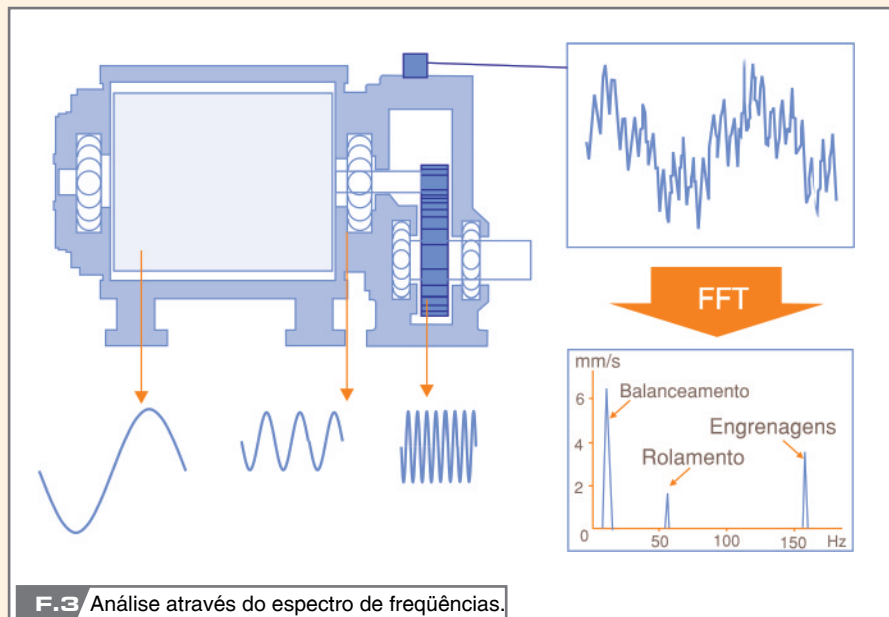
ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

Todos os equipamentos emitem frequências de vibração quando estão em operação. Através de equipamentos adequados, podemos captar quais são as frequências normais de funcionamento e quais aquelas que aparecem apenas quando o equipamento se encontra com defeito.

Através do acompanhamento periódico dessas máquinas, temos o comportamento da sua tendência. Isso visa diminuir custos e aumentar a disponibilidade dos equipamentos monitorados, pois ao invés de se fazer revisões periódicas e trocar todos os itens, estas serão realizadas apenas quando forem necessárias e somente os itens defeituosos serão trocados.

A coleta de dados se dá através de um acelerômetro ligado a um coletor de dados (figura 2). Esses dados são passados para o computador, onde podem ser analisados. A análise é feita através do espectro de frequências (figura 3), onde é possível distinguir as diferentes frequências, bem como a sua amplitude. Todo sinal é captado em forma de onda pelo coletor de dados, ou seja um sinal no domínio do tempo.

Fourier, um matemático francês, demonstrou que era possível tomar um sinal no domínio do tempo e



identificar os conteúdos de frequência por uma série de cálculos de senos e co-senos. A Transformada de Fourier evoluiu para a Transformada Direta de Fourier (Direct Fourier Transform - DFT), que leva muito menos tempo na execução dos mesmos cálculos. Na realidade, nem todas as frequências são calculadas com o DFT, o que resulta em uma transformação mais rápida e o nome de Transformada Rápida de Fourier - FFT surgiu. Neste processo o sinal é convertido para um espectro de frequência, ou seja, agora ele apresenta um sinal no domínio da frequência.

Um sinal de domínio de frequência é impresso com o eixo vertical (Y) como a amplitude e o eixo horizontal (X) como a assinatura de frequência, conforme **figura 4**.

O sinal de entrada é composto de muitas ondas de senos diferentes. O FFT pega estas ondas de senos complexas e as separa em ondas de seno por componente. Estas ondas de seno separadas são projetadas no eixo da frequência e temos um espectro.

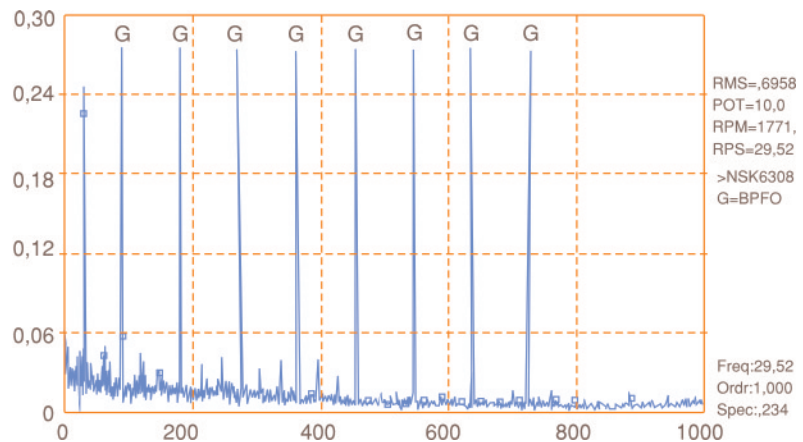
Além do espectro de frequências, temos ainda o recurso da demodulação de frequências, (envelope, peak view), onde podemos analisar rolamentos e engrenamentos.

Como exemplo, temos o caso de um problema de rolamento (**figura 5**). No espectro normal em velocidade fica impossível saber se o rolamento está com problemas.

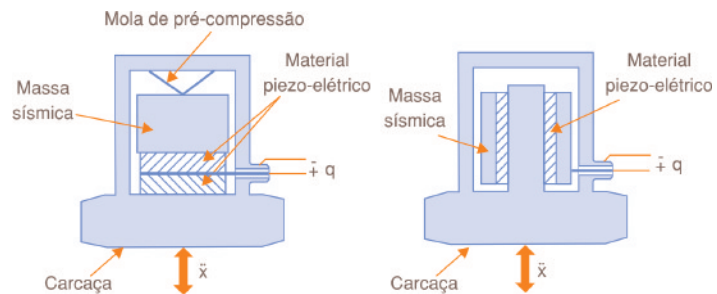
Já com o recurso do Peak View (**figura 6**), temos a clara informação a respeito do problema, ou seja, defeito na pista externa, (BPFO). Como tínhamos previamente inserido no sistema o tipo de rolamento, temos certeza desse defeito, pois podemos ver a coincidência dos picos do espectro com as linhas de defeito daquele rolamento em particular, (linhas tracejadas).

O acelerômetro (**figura 7**) é o transdutor que capta a vibração. Ele é constituído de um cristal piezoelétrico que tem a característica de enviar um sinal elétrico que é proporcional a sua deformação.

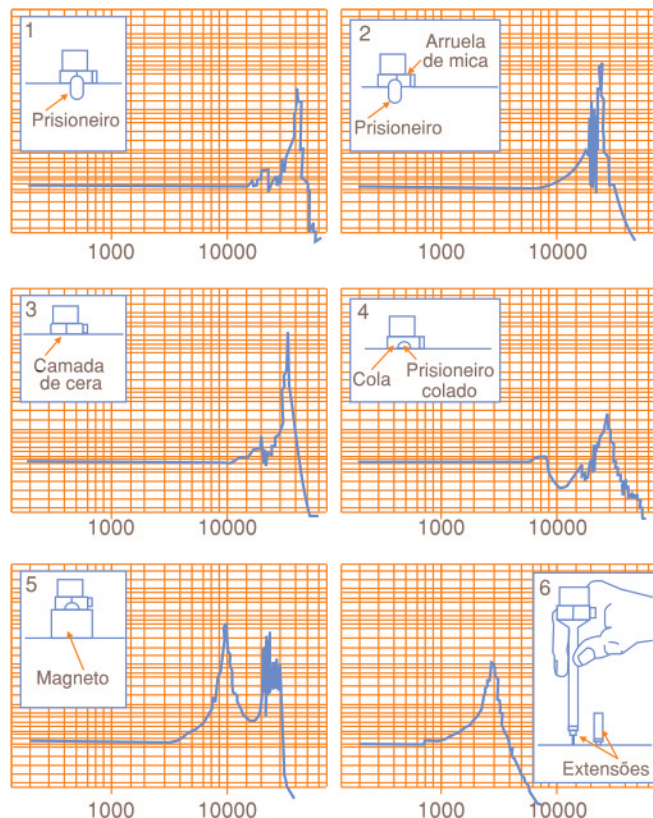
Um ponto importante, que deve ser levado em consideração, é o tipo de base na qual o acelerômetro



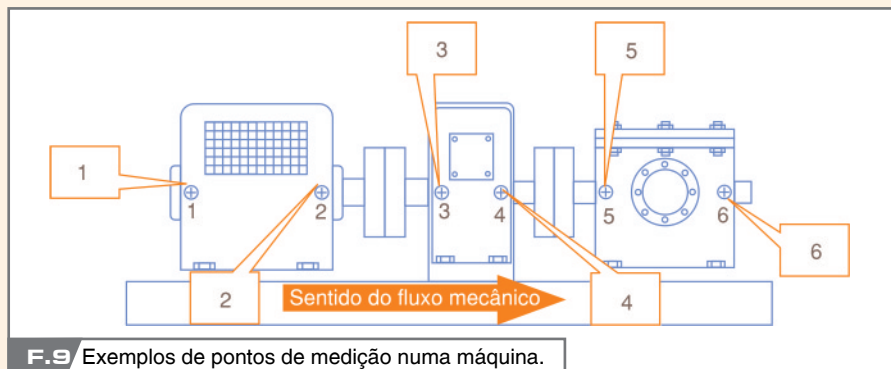
F.6 Utilizando o recurso Peak View.



F.7 Acelerômetro.



F.8 Exemplos de leitura.



está fixado. Toda estrutura possui a(s) sua(s) frequência(s) de ressonância(s). A faixa útil do acelerômetro é justamente a que fica na região anterior a esta faixa de ressonância.

Para as medições feitas por um mesmo acelerômetro em um mesmo ponto de uma máquina, as leituras podem ser diferentes, caso se altere o tipo de fixação (**figura 8**). Os pontos de medição acompanham o fluxo mecânico da máquina (**figura 9**).

Portanto, é por isso que a análise de vibrações é tida como a melhor maneira de saber o que se passa com um equipamento sem a necessidade de desmontá-lo, mas para isso, temos que acompanhá-lo e saber quais são os itens que o compõem.

EXEMPLOS DE PROBLEMAS DETECTADOS POR ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

Com o objetivo de demonstrar o emprego desta ferramenta na detecção de falhas, ilustramos, através de relatórios colhidos em campo, exemplos de inspeções por análise de vibração realizadas por pessoal técnico de Manutenção:

CASO 1

Problema: Tendência do rolamento em elevação.

Aonde é: Rolamentos do Motor do CS0016.

Como é: As vibrações nas fre-

quências de defeito de rolamento estavam em alta, principalmente no rolamento traseiro.

Quando é: Em dias normais de trabalho.

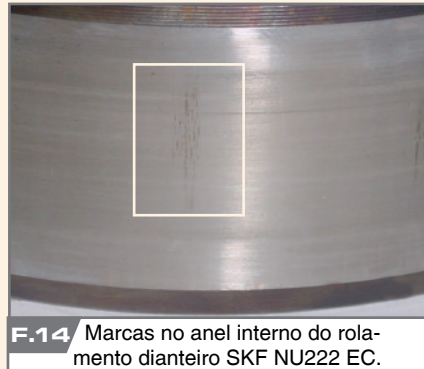
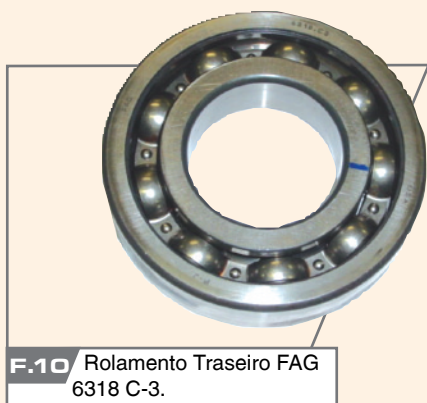
Quanto é (tabela 1):

T.1 Custos.	
Itens	Valores
Rolamento FAG 6318 C-3	R\$634,00
Rolamento SKF NU222 EC	R\$886,00
Selo	R\$234,00
Juntas	R\$202,90
Mão-de-obra	R\$280,00
Total gasto	R\$2.236,90

Caso o motor queimasse e tivesse que ser rebobinado, teríamos (**tabela 2**):

T.2 Custos.	
Itens	Valores
Rebobinamento	R\$7.161,17
Total com a troca de rolamentos	R\$9.398,07

Deve-se ainda levar em consideração o fato de que para o motor em questão não existe reserva, e o seu rebobinamento levaria em torno de 3 semanas para ser executado.



Análise

Desde o dia 20 de fevereiro, a tendência do rolamento traseiro vem aumentando sensivelmente, como demonstra o gráfico da figura 16. Aqui ele mostra inclusive a medição após a troca do rolamento.

Podemos verificar as linhas de defeito da pista interna (BPFI) do rolamento FAG 6318 de nove esferas coincidirem com os picos do espectro colhido, (assinalados com X na figura 17).

Após a troca, verificamos que os picos existentes anteriormente sumiram. Os picos que aparecem no espectro são relativos as frequências dos elementos do compressor. Apenas aparecem maiores devido ao ajuste automático da escala do eixo vertical do gráfico (figura 18).

Vida do Rolamento

O compressor começou a operar no dia 12 de dezembro de 1998. Tomando um período aproximado de 3,5 anos de uso ininterrupto, temos:

Rotação do motor = 1.782 RPM
 $936.619.200 \text{ Rotações / ano} \times 3,5 \text{ anos} = 3.278.167.200 \text{ de Rotações}$

Através do Manual SKF de Manutenção de Rolamentos, temos uma vida útil estimada em cerca de 2.000.000.000 de rotações.

Com isso, tivemos uma sobrevida de 1.278.167.200 rotações para o rolamento, o que equivale a um período de 1,3 ano a mais do que o estimado através do catálogo.

Graças à análise de vibrações, pudemos monitorar o comportamento do rolamento durante todo esse tempo e saber o tempo de quando trocá-lo.

CASO 2

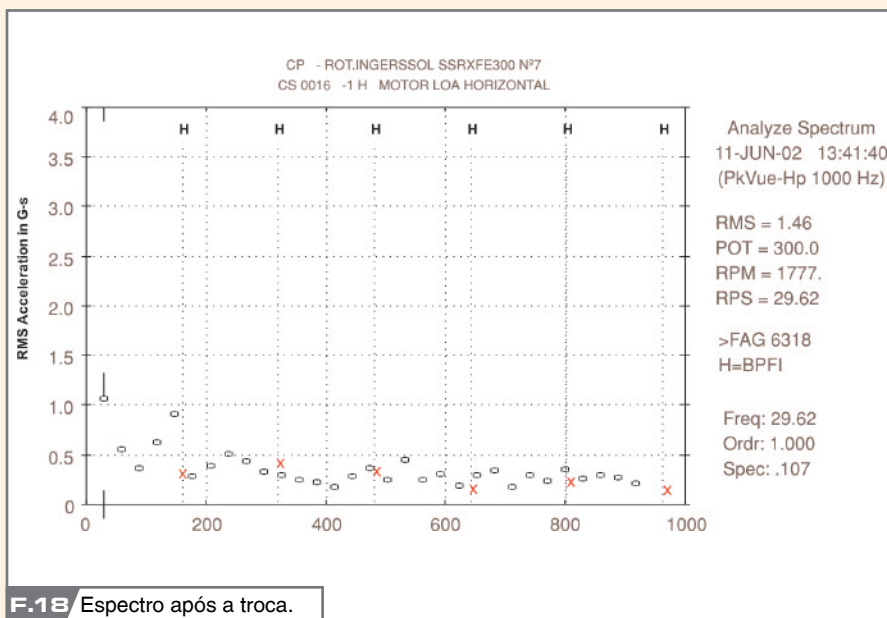
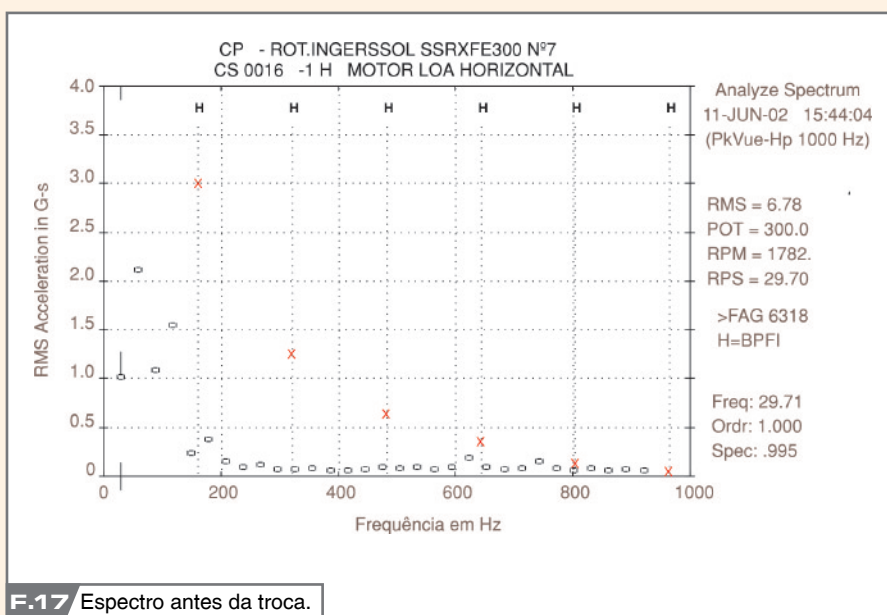
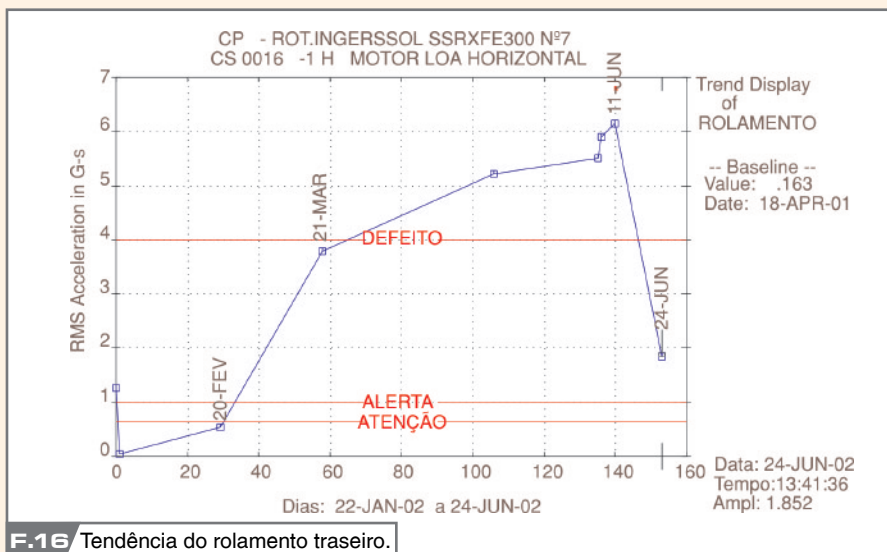
Problema: Tendência do rolamento em elevação.

Aonde é: Rolamento da biela do excêntrico.

Como é: As amplitudes de vibrações nas frequências de defeito de rolamento e folgas estavam aumentando em demasia.

Quando é: Em dias normais de trabalho.

Quanto é: tabela 3



T.3 Gastos por troca durante o processo.

Itens	Valores
Rolamento SNH 22317 EA (1 pç)	R\$874,29
Rolamento NSK UC 315 DH (2 pç)	R\$867,38
Mão-de-obra para a troca do excêntrico	R\$165,00
Mão-de-obra para a recuperação do excêntrico	R\$400,00
Perdas de produção (6 horas)	R\$4.464,64
Total de gastos por troca durante o processo	R\$7.001,31

ANÁLISE

Podemos verificar no gráfico de tendências (**figura 22**), a evolução do estado de deterioração do rolamento da biela. Esse rolamento rodou no mancal, resultando no espelhamento da sua superfície externa, como pode ser visto na **figura 21**. Após a substituição do mesmo, a biela voltou a ter parâmetros aceitáveis em seu nível de vibração.

Nas tendências da **figura 23**, temos as condições dos rolamentos dos mancais de suporte do eixo. Esses rolamentos não estavam tão ruins, podendo ter sofrido a influência da biela. Podemos verificar que essas

T.4 Gastos com análise de vibrações.

Itens	Valores
Rolamento SNH 22317 EA (1 pç)	R\$874,29
Rolamento NSK UC 315 DH (2 pç)	R\$867,38
Mão-de-obra para a troca do excêntrico	R\$165,00
Mão-de-obra para a recuperação do excêntrico	R\$400,00
Perdas de produção (6 horas)	R\$4.464,64
Total de gastos com análise de vibrações	R\$2.306,67

T.5 Economia com análise de vibrações.

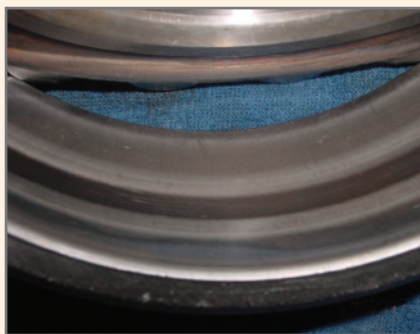
Itens	Valores
Total de gastos com análise de vibrações	R\$2.306,67
Total de gastos sem análise de vibrações	R\$9.398,07
Economia c/ a análise de vibrações	67%

**F.19** Superfície espelhada.

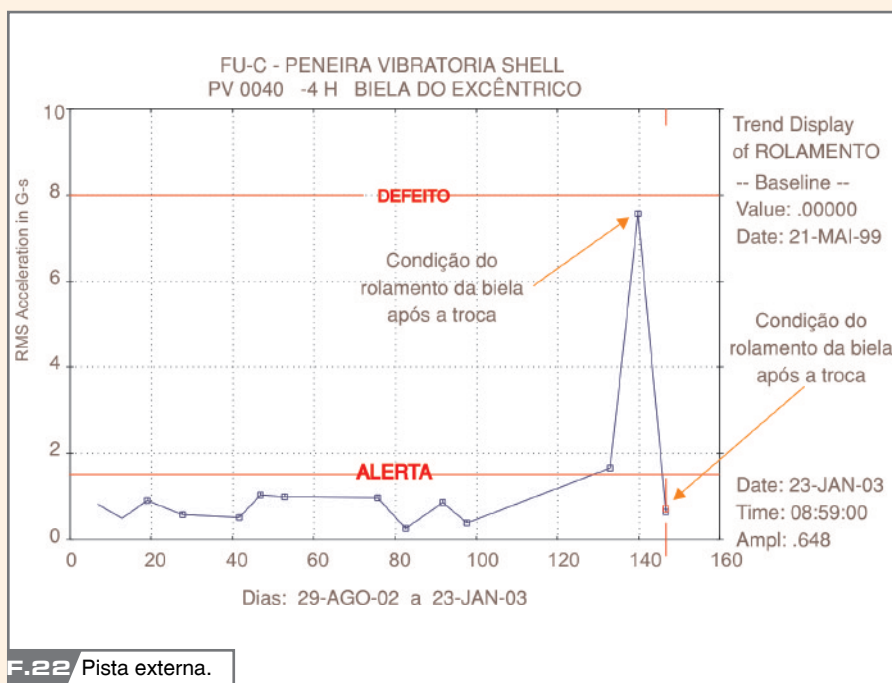
tendências também baixaram após a troca dos rolamentos.

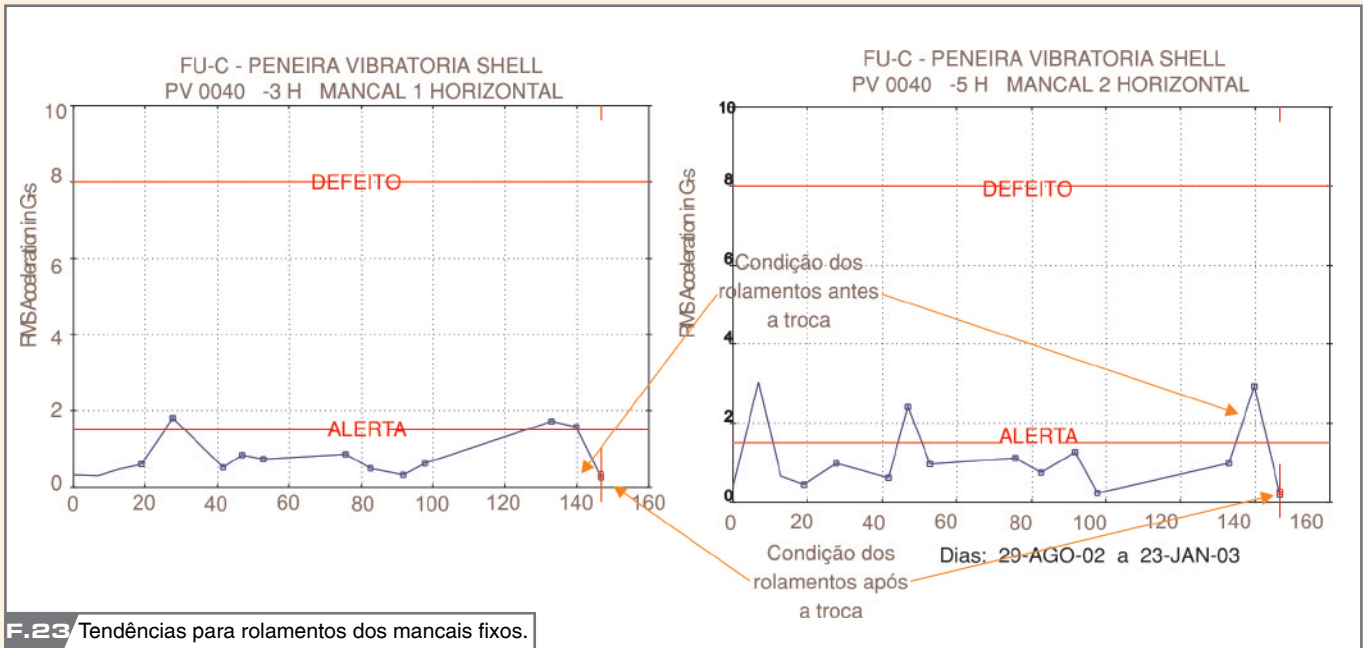
O que significa dizer que a análise de vibrações proporcionou uma redução de custos de cerca de 67% se comparado ao valor citado anteriormente de troca do conjunto excêntrico durante a produção.

Deve ser revisto se o alojamento do rolamento na biela está gasto e caso isso se verifique, providenciar a confecção de uma nova. Montar os rolamentos com travas anaeróbicas.

**F.20** Marcações do rolo.**F.21** Pista externa.**CONCLUSÃO**

Convém, lembrar que nenhuma tecnologia de preditiva é "milagrosa", e que todas as técnicas possuem limitações. Uma das tarefas mais difíceis para um analista de vibrações está em determinar o momento para troca de rolamentos no equipamento, uma vez que, o aumento de vibração indica que está havendo desgaste no componente, não necessariamente que ele já esteja deteriorado. Em muitos casos, é possível efetuar-se a troca sem que haja indicativos visuais de falha no rolamento, no entanto nova leitura de vibração indicará diminuição da amplitude da vibração. Uma melhor determinação do momento adequado





para manutenção só poderá ser conseguida com um correto acompanhamento e histórico do equipamento a ser inspecionado. Apesar disso, a análise de vibração é uma ferramenta valiosa que vêm somar-se as outras, para uma maior qualidade nos servi-

ços de Manutenção, contribuindo de maneira significativa para redução de custos e perdas.

* Alexandre Comitti é Engenheiro Eletricista, formado pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

** Wellington Rossi Kramer é engenheiro Mecânico e analista de vibrações das Fundições Tupy Ltda.

*** Edson Jorge Michalak é técnico mecânico e analista de vibrações da Terranova - São Bento do Sul/SC