



APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA ETHERNET NOS DIVERSOS NÍVEIS DE REDE DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL¹

Como uma tecnologia de rede originalmente de computadores e periféricos evoluiu e se difundiu a ponto de substituir consagrados padrões de rede industriais, provando ter melhores desempenho, confiabilidade, robustez, abertura tecnológica e relação custo-benefício

Henrique Monferrari Maria²

Resumo

Este trabalho tem por objetivo demonstrar como uma tecnologia de rede originalmente desenvolvida em laboratórios para a comunicação entre computadores se desenvolveu a ponto de se tornar o padrão de rede industrial que mais cresce na atualidade, desbancando tradicionais e confiáveis soluções de comunicação. Por se tratar de um padrão aberto e de grande aceitação, diversos fabricantes se envolveram no desenvolvimento da tecnologia original de maneira a adaptá-la às necessidades de comunicação dos sistemas de automação industrial. Os resultados desta busca generalizada por melhor relação entre custo e benefício podem ser medidos pelo avanço estatisticamente comprovado da Ethernet como meio de troca de dados entre dispositivos de controle e supervisão industriais. Ganham os usuários finais, pelos menores custos, maior sinergia entre sistemas industriais e por não mais estarem vinculados a um único fornecedor, ganham os integradores de sistemas por trabalharem com um padrão de rede aberto e extremamente flexível, assim como os próprios fabricantes pelo contínuo aprimoramento da tecnologia, barateando custos.

Palavras-chave: Redes industriais; Ethernet; Controladores lógicos programáveis.

APPLICATION OF ETHERNET TECHNOLOGY IN THE VARIOUS LEVELS OF INDUSTRIAL AUTOMATION NETWORK

Abstract: This paper aims to demonstrate how a technology originally conceived for communication between computers evolved until becoming the networking standard with the highest growing rates in industry today, beating traditional and trusted communication solutions. Because it is an open standard and widely accepted, several manufacturers engaged in the development of the original technology in order to adapt it to the communication needs of industrial automation systems. The results of generalized search for a better relationship between cost and benefit can be measured by the statistically proven increase of Ethernet as a means of exchanging data between industrial control and supervision devices. End-users are favored by lower costs, greater synergy between industrial systems and for no longer being tied to one only supplier, systems integrators are favored by working with an open-standard and extremely flexible network and the manufacturers themselves by continually improving the technology, lowering costs.

Keywords: Fieldbuses; Protection relays; Programmable logic controllers.

¹ *Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

² *Graduação em Engenharia Elétrica com certificação em Engenharia de Computação pela UFMG; consultor de soluções em automação pela Schneider Electric*

1 INTRODUÇÃO

A pesquisa científica com a finalidade de desenvolver uma tecnologia de redes entre computadores e periféricos, tais como uma impressora, deu origem ao padrão Ethernet. O trabalho conjunto de grandes fabricantes de hardware de computação fez com que este emplacasse e desbancasse grandes concorrentes da época, em meados de 1979, como os sistemas proprietários *token ring* e Arcnet. A evolução dos sistemas Scada na década de 1980 contou com o suporte da tecnologia Ethernet, mas esta não chegou a ser significativamente utilizada como padrão de rede de campo entre controladores industriais e outros dispositivos inteligentes. Entretanto, a contínua evolução deste conjunto de definições de cabeamento, sinais elétricos e protocolos culminou no início da sua utilização na década de 90 em redes agora entre controladores e dispositivos, respeitando e na verdade superando as exigências técnicas de ambientes industriais agressivos. Como em outros momentos da história das tecnologias, os principais fornecedores de equipamentos de automação industrial rapidamente deram foco à Ethernet como rede de campo, promovendo uma rica e interessante disputa pelo pioneirismo neste novo uso do antigo padrão. Com o avanço da instalação em grandes indústrias, a confiança foi crescendo à medida em que se conseguia não apenas obter o mesmo desempenho dos tradicionais padrões de rede industriais, mas superá-los em termos de performance, menores custos, abertura e, principalmente, uma infinidade de possibilidades no que tange à transparência e integração entre sistemas como, por exemplo, o de gestão de energia e o de automação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A busca pela aplicação da tecnologia Ethernet não mais apenas como rede de supervisão ou corporativa, mas como rede de controle e até mesmo de instrumentação, mais recentemente, levou os fabricantes de equipamentos de automação industrial a estabelecerem novos padrões a partir do original. O protocolo de rede industrial mais difundido, o Modbus, levou seu fabricante a empregar uma combinação das camadas do modelo OSI (*Open Systems Interconnection*) com o próprio Modbus trabalhando na sétima camada, criando o conceito de transparência total.

2.1 Camadas do Modelo OSI E Conjugação com o Modbus

Inicialmente, vale a explicação de que os protocolos TCP/IP (similarmente aos IPX/SPX e NetBEUI) tiveram origem anterior ao modelo OSI, este mais didático e tido como ideal, mas nem por isso fica inviável realizar uma equivalência entre eles. Tal correspondência pode ser vista na Figura 1 – algumas camadas do protocolo TCP/IP representam mais de uma camada do modelo OSI.



Figura 1 – Modelo OSI de camadas de rede e equivalência com o TCP/IP.

Desta forma e conforme mencionado anteriormente, o Modbus entraria na sétima camada do modelo OSI, gerenciando as transações de dados entre endereços de memória dos dispositivos. A este novo protocolo chamou-se Modbus TCP. Outros fabricantes utilizam seus próprios protocolos de maneira similar, por exemplo Profibus e CIP, montando-os sobre a sétima camada, originando respectivamente o Profinet e o Ethernet IP.

2.2 Uso dos Serviços Modbus TCP sobre os Protocolos

Para uma grande flexibilidade no uso, os serviços Modbus TCP precisam ser implementados sobre os diversos protocolos. Este talvez seja o grande diferencial do padrão Ethernet, pois pode-se, por exemplo, a partir do protocolo UDP (*User Datagram Protocol* - e não TCP) associar um endereço IP a um dispositivo industrial via serviço FDR (*faulty device replacement*) da mesma maneira que um computador busca um endereço IP ao se conectar em uma rede corporativa – via protocolo DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*). De maneira mais sucinta, o serviço FDR solicita um endereço IP ao protocolo DHCP, que por sua vez traduz e solicita para a camada de transporte UDP. Esta é mais simples e rápida do que a TCP (mas não possui a mesma engenhosidade de controle), seguindo-se o interfaceamento de maneira análoga nas camadas inferiores. A Figura 2 ilustra tal interação entre os diversos protocolos e serviços:

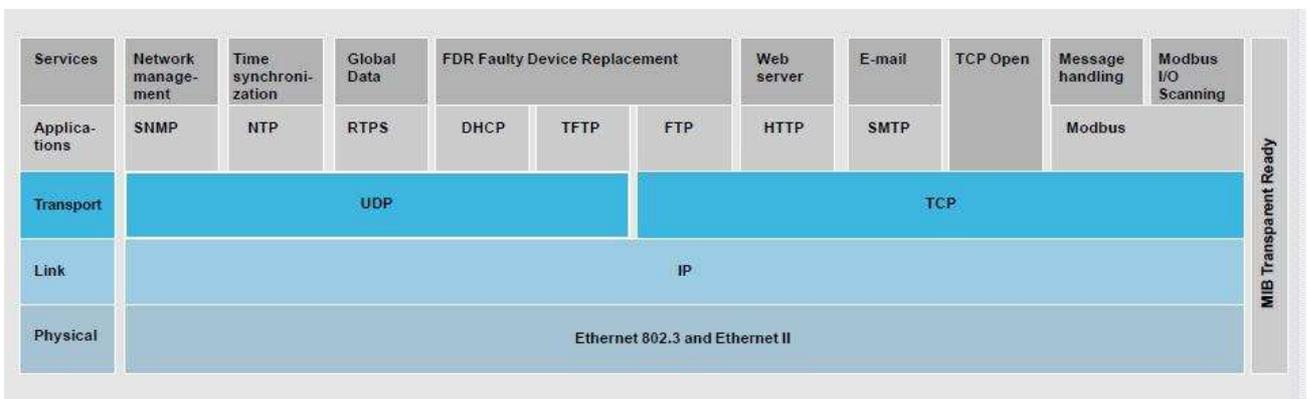


Figura 2 - Arquitetura transparent ready dos serviços e protocolos de aplicação úteis sobre o TCP/IP.

Este simples, mas poderoso recurso citado como exemplo, o FDR, permite que um dispositivo seja substituído na rede sem necessidade de parametrização via notebook. As informações como endereço IP e parametrização do dispositivo (por exemplo, um relé de acionamento de motor de baixa tensão) ficam salvas em arquivo binário no próprio cartão de comunicação Ethernet do PLC. Desta forma, logo após associar um endereço IP ao dispositivo substituído, o cartão descarrega instantaneamente todos os parâmetros para o este via protocolo TFTP (*Trivial File Transfer Protocol*), similar ao FTP mas destinado a pequenos arquivos.

Outro recurso importante ao tratar da comunicação entre diversos controladores é o mecanismo de publicação – subscrição de informações. Não é necessário criar comunicações ponto a ponto entre todos os nós se estes forem usar as mesmas informações originárias de um único nó; basta que este nó de origem publique tais informações via serviço Global Data e os nós interessados se inscrevam, recebendo simultaneamente os dados.

A gestão da rede pode ser totalmente feita via software em micro conectado à mesma, usando-se do protocolo SNMP – *Simple Network Management Protocol* – destinado exclusivamente a este fim. Com este recurso, pode-se, por exemplo, avaliar a saúde de cada nó de rede, utilização da banda, levantamento de topologia, entre outros inúmeros recursos de gestão.

2.3 O Controle Sobre Modbus TCP: Há Determinismo?

Talvez a questão que mais tenha pairado no ar durante todos os anos em que a Ethernet foi cogitada para servir como rede de controle tenha sido em relação ao determinismo. Se estamos abandonando uma rede, por exemplo, do tipo passagem de bastão (*token ring*, onde cada dispositivo só inicia uma comunicação se possui o bastão), que garantias teríamos ao migrar para um padrão onde é possível que mais de um nó tente se comunicar ao mesmo tempo, provocando colisão de pacotes e perda de dados?

Para se responder a esta questão, faz-se necessário compreender o conceito de determinismo. Ao contrário do que se pregou durante anos, o determinismo não está no fato de se saber qual nó precisamente está transmitindo dados, mas sim qual o tempo de resposta de cada nó diante de uma solicitação, por exemplo, do sistema Scada para ligar um motor de uma bomba no campo. Tal comando chega ao PLC que, fazendo uso do serviço Modbus TCP chamado Modbus I/O Scanning, dispara uma comunicação direta para o relé inteligente acionar o motor. Este tempo de resposta deve ser previsível e limitado, o que é perfeitamente plausível a partir de tantos avanços da tecnologia Ethernet, tais como o método de acesso CSMA-CD e o intrincado mecanismo de transporte e controle TCP:

2.3.1 CSMA-CD – *Carrier sense multiple access with collision detect*

Método capaz de detectar o uso do canal e permitir acessos múltiplos, inclusive detectando colisões caso ocorram. Com o uso de *switches full duplex*, praticamente se extinguiram as colisões – a menos que haja algum dispositivo *half duplex* na rede, o que é raro de se ver em se tratando de equipamentos novos. No pior caso, onde haveria colisões, este método de acesso garante a minimização das perdas de dados que são retransmitidos em altíssima velocidade (no mínimo 10 Mbps, usualmente 100 Mbps e não raro 1 Gbps)



2.3.2 TCP – Transmission control protocol

Protocolo responsável pelo transporte dos dados e controle de entrega dos datagramas (pacotes). Desta forma, um pacote perdido em uma colisão é retransmitido em tempo da ordem de milissegundos, garantindo a entrega de todos os pacotes em tempo hábil e, obviamente, a reconstrução dos dados originais no destinatário. Devemos nos lembrar de que um arquivo, por exemplo, deve ser fracionado em datagramas antes de ser transportado para ser reconstruído no receptor logo após a transmissão, sendo, portanto, imprescindível um mecanismo de controle totalmente confiável.

Finalizando a questão do determinismo, ensaios laboratoriais comprovam que há correlação linear entre o atraso na entrega das mensagens e a ocupação do canal por mensagens multicast excessivas. Isto significa que, já que a variação é linear, o atraso é previsível.

Effect of multi-cast messaging-based data collection on Uplink Bandwidth				
Frame Size (Bytes)	Consumer IED Reporting Period (ms)	Uplink Bandwidth Available (Mb/s)	Percent Utilization of Consumer Uplink (%)	Max # Possible Producer IEDs (See Note)
64	1	100	0.512	195
64	0.5	100	1.024	97
64	0.25	100	2.048	48
64	0.1	100	5.12	19
128	1	100	1.024	97
256	1	100	2.048	48
512	1	100	4.096	24
128	0.5	100	2.048	48
256	0.25	100	8.192	12
512	0.1	100	40.96	2

Bandwidth scales linearly allowing for a wide variety of possible configurations.

Support of IGMP (Internet Group Management Protocol) allows for multicast message filtering and producer-subscriber groupings. Equivalent Layer 2 protocol is – GMRP.

Figura 3 – Resultado de ensaio laboratorial que demonstra linearidade de tempo de resposta diante de mensagens multicast variadas.⁽¹⁾

Ainda, utilizando os recursos de switches industriais apropriados, pode-se limitar este tipo de “tempestade de dados”, reduzindo ainda mais a possibilidade de atraso. Logo, se temos uma resposta em tempo limitado a um comando crítico de desligar emergencialmente um motor, por exemplo, então o sistema é determinístico e atende na prática às exigências do controle industrial. Estando este tempo situado na ordem de grandeza de ms, o sistema como um todo supera as expectativas em se tratando de controle industrial.

2.4 Intercambiabilidade entre Padrões de Fabricantes Distintos

A fim de garantir a compatibilidade entre os protocolos industriais gerenciando as demais camadas de rede, deve haver intercambiabilidade entre tais protocolos. Para garantir isto, a ODVA, tradicional entidade homologadora de padrões de rede industrial, definiu um novo conceito, compatível com dois anteriores – Modbus TCP e Ethernet IP. O Ethernet IP trabalha de maneira similar ao Modbus TCP, mas o protocolo envolvido na sétima camada é o CIP – *common industrial protocol* – que é

o núcleo de diversas redes como DeviceNet e ControlNet. Este novo padrão é também chamado de Ethernet IP.

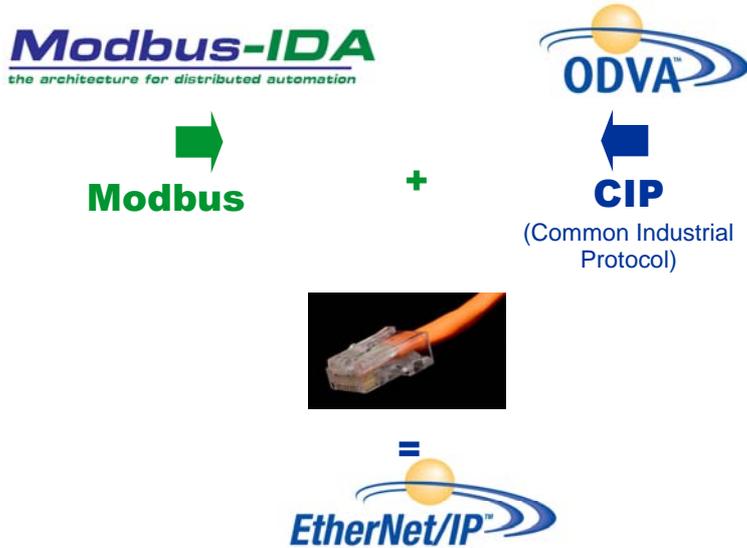


Figura 4 – Compatibilização entre Ethernet IP e Modbus TCP.

Desta forma, se garante a compatibilidade dos cartões de comunicação de ambos os fabricantes com todo e qualquer nó de rede Ethernet destes padrões, sejam eles condizentes ou não com o novo padrão; basta que estes módulos de comunicação o sejam. Grosso modo, isto significa plena compatibilidade entre aproximadamente 50% do mercado de ethernet industrial, o que provavelmente deve ditar as tendências em termos de padronização desta tecnologia em suas aplicações industriais, como tem sido percebido.

2.5 Diferenças entre Ethernet Comercial e Industrial

Embora os princípios de funcionamento sejam similares, há enormes diferenças entre os sistemas em Ethernet voltados para ambientes comerciais e industriais.

	COMERCIAL	INDUSTRIAL
Densidade de portas	ALTA	BAIXA
Cablagem usada	UTP Cobre	STP, MMF, SMF
Retorno da redundância	1-60 S	< 500ms
Temperatura de operação	0-45 C	0-60 C
Proteção umidade/poeira	NÃO	POSSÍVEL
Montagem	Rack 19"	Trilho DIN
Alimentação	110/220/240 Vac	24 Vdc
Alimentação redundante	Opcional	Standard
Aterramento (cabo STP)	NÃO	SIM
Proteção EMC	BAIXA	ALTA

Figura 5 – Comparativo entre características de redes comerciais e industriais.

Tais disparidades se devem à natureza dos ambientes, ao tipo de comunicação envolvida em termos de aplicação e, por fim, à criticidade e confiabilidade do sistema como um todo, requisitos do usuário. Em um sistema comercial, por exemplo, há intenso tráfego de rede e grande ocupação da largura de faixa (*bandwidth*) devido aos tipos de aplicação em uso. Um exemplo comum é o uso da rede para visualização de vídeos (*streaming*), que necessita de um QoS (*quality of service*) específico para garantir a inteligibilidade do vídeo e, principalmente, do áudio. O efeito prático disto é um enorme tráfego de dados e grande ocupação do canal de comunicação. Em uma rede deste tipo fica impossível garantir o determinismo necessário para controle de processos, já que circulam muitos pacotes de tamanho considerável.

Por outro lado, em se tratando de um sistema industrial as aplicações em uso disparam grande volume de pacotes, mas de tamanho reduzido, o que significa baixíssima utilização do canal. Esta grande disponibilidade da rede permite que haja determinismo, e não obstante há ainda diversos mecanismos de controle – a limitação de tráfego por nó é um deles – para prevenir e remediar efeitos adversos, como por exemplo, a conexão de um notebook à rede de controle para baixar arquivos.

2.6 Recursos de Arquiteturas de Rede

Uma das grandes vantagens e que também propicia a rápida difusão da Ethernet industrial é a diversidade de possibilidades em termos de arquitetura física, conforme pode ser observado nas figuras abaixo. Podemos destacar:

- *layout* da rede é flexível e não mais restrito por regras antigas:
 - fim das colisões com uso de *switches full duplex*;
- Bandwidth alto permite projetar *layout* de rede sem levar em conta a carga
- várias topologias podem ser usadas:
 - barramento;
 - estrela;
 - anel;
 - malha;
 - *daisy chain* (cascata);
- topologias podem ser combinadas entre si;
- número de *switches* ilimitado:
 - Exceção; 50 *switches* em *HIPER-ring*;

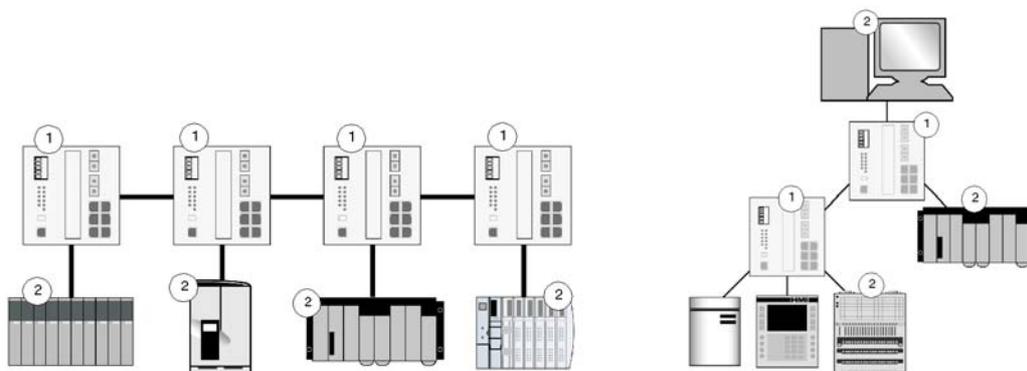


Figura 6 - Topologias de rede em barramento (bus) e estrela (star).

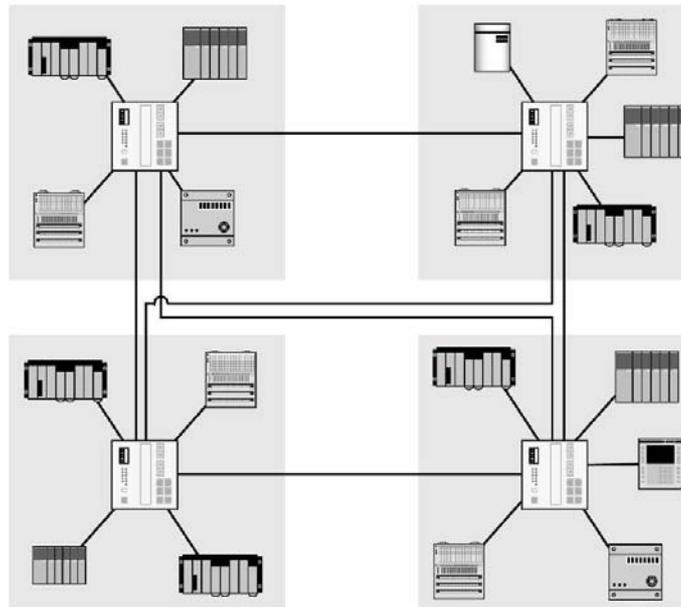


Figura 7 - Topologia de rede em malha (mesh).

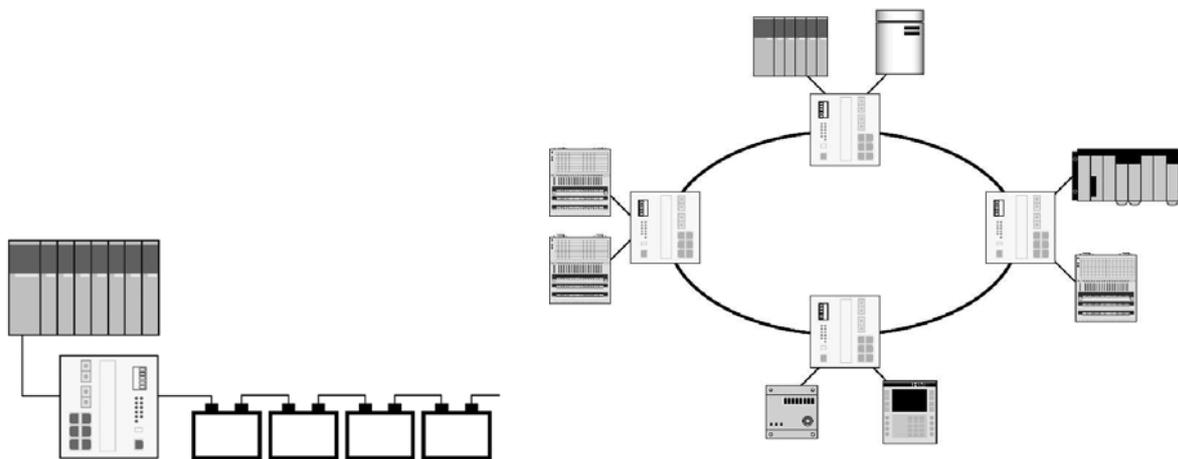


Figura 8 - Topologias de rede em cascata (*daisy-chain*) e anel (*ring*).

3 RESULTADOS

Como pode ser visto pelo já extenso parque industrial instalado com base na Ethernet industrial, esta é uma tendência não apenas crescente, mas de grande aceitação devido às suas inúmeras vantagens sobre as tradicionais tecnologias de rede de campo. Podemos resumir os ganhos em termos de simplificação no cabeamento estruturado, maiores flexibilidade, opções de fornecimento e integração entre os sistemas computacionais industriais e, por fim, o principal: desempenho muito superior aos dos padrões tradicionais.

Exemplos de instalações industriais 100% automatizadas sobre Modbus TCP são inúmeros – seguem alguns no Brasil para ilustração:

- Ferrous Resources, Brumadinho, MG;

- Anglo Ferrous, Pedra Branca do Amapari, AP;
- Sadia, Brasília, DF;
- Inova Biotecnologia, Juatuba, MG;
- Cargill, Primavera do Leste, GO;
- Usina Canavieira Total, Brumadinho, MG; e
- Natura, São Paulo.

4 DISCUSSÃO

A exemplo de outras padronizações técnicas, como recentemente pôde ser visto no embate HD-DVD e *Blu-Ray* e há mais tempo entre VHS e Betamax, o sucesso ou fracasso de uma tecnologia está muito mais ligado a questões comerciais e de marketing do que técnicas propriamente ditas. Obviamente, estas últimas são importantíssimas – talvez as mais – mas há uma complexa equação que define os pesos de cada um destes fatores determinantes na escolha de um padrão de rede industrial.

Uma questão que sempre é levantada por usuários finais durante palestras, feiras e congressos é recorrente:

- Como posso confiar em um sistema que se baseia nos mesmos princípios de rede da internet que uso em casa, já que ao assistir vídeos, ouvir músicas ou receber e-mails muitas das vezes há alguma corrupção nos dados?

A dúvida é comum e, diga-se passagem, possui um certo fundamento. Se partíssemos para o controle industrial com os mesmos subsídios técnicos usados na Internet, que garantias teríamos? O desconhecimento do atual nível de evolução da Ethernet industrial permite que tais dúvidas e tabus similares se propaguem, mas em contrapartida o crescente número de indústrias que adotam esta tecnologia provoca, no mínimo, a curiosidade do usuário final.

5 CONCLUSÃO

Como o sucesso da Ethernet não depende apenas de fatores técnicos conforme explicitado, é extremamente gratificante para quem pesquisa e estuda temas como este perceber que esta brilhante e inovadora tecnologia, tradicionalmente rechaçada como *fieldbus*, tende a ser o padrão do futuro. Novamente, os sistemas industriais têm evoluído acompanhando as tendências mundiais no que tange à relação custo-benefício, à penetração no mercado e aos subsídios técnicos. Acredito que cada vez mais a globalização dos conhecimentos tende a derrubar as fronteiras tecnológicas, difundindo os padrões abertos como este em epígrafe e favorecendo o aprimoramento contínuo, beneficiando a todos os envolvidos.

Agradecimentos

A Rogério Ribeiro da Silva Martins, Sérgio Cordeiro, Lino Garzón Sandoval, Daniel Milani Galletti, Schneider Electric Brasil.

REFERÊNCIAS

- 1 POZZUOLI, Marzio P. Industrial Ethernet – Issues and Requirements. Janeiro de 2003. Disponível em: <http://www.ruggedcom.com>. Acesso em março de 2010

BIBLIOGRAFIA

- 1 OPEN DEVICENET VENDORS ASSOCIATION. Ethernet IP Infrastructure Guidelines. Março de 2007. Disponível em: <http://www.odva.org> . Acesso em março de 2010
- 2 PETERSON, Larry L, DAVIE, Bruce S. Computer Networks. Morgan Kaufman Publishers. 1996.
- 3 STEVENS, L. Transparent Ready User Guide. Outubro de 2009. Disponível em: <http://www.schneider-electric.com> . Acesso em março de 2010
- 4 TORRES, Gabriel e LIMA, Cássio. O Modelo de Referência OSI para Protocolos de Rede. Abril de 2007. Disponível em: <http://www.clubedohardware.com.br> . Acesso em março de 2010.