



Redes Industriais

Aula 03 - O modelo OSI e protocolos de comunicação HART e CAN



Material Didático do Instituto Metrópole Digital - IMD
Versão 5.0 - Todos os Direitos reservados

Apresentação

Nesta aula, vamos conhecer o modelo OSI e entender o motivo da padronização dos protocolos de comunicação. Veremos também todas as suas camadas e a importância de cada uma delas para o processo de comunicação. Posteriormente, falaremos dos protocolos de comunicação HART e CAN mostrando suas funcionalidades e aplicações.

Objetivos

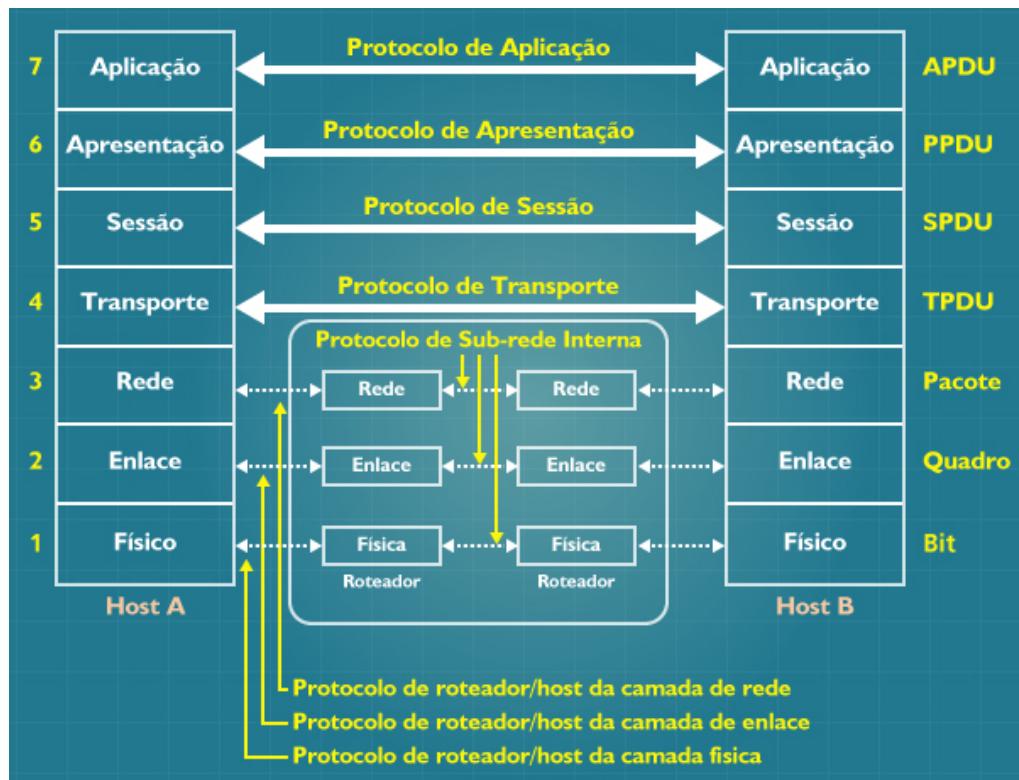
- Definir o modelo OSI e suas camadas.
- Descrever as topologias de redes indústrias.
- Identificar o protocolo de comunicação HART e as suas aplicações.
- Identificar o protocolo de comunicação CAN e as suas aplicações.

Modelo OSI

É chamado de modelo de referência Open Systems Interconnection (ISO/OSI), pois refere-se à interconexão de sistemas abertos, a qual trata de sistemas que estão abertos à comunicação com outros sistemas. A partir de agora, o trataremos apenas como modelo OSI.

As redes industriais seguem os mesmos objetivos de qualquer sistema de conexão de dispositivos, sejam eles microprocessados ou não. Anteriormente, a interligação dos primeiros computadores, tanto de uso corporativo como de uso industrial, levou ao desenvolvimento de soluções proprietárias, isto é, somente o fabricante detinha o conhecimento da tecnologia envolvida. Isso dificultava e, muitas vezes, impossibilitava a interconexão de dispositivos de fabricantes diferentes. Para facilitar a interconexão de sistemas de diferentes fornecedores, a International Standards Organization (ISO) desenvolveu um modelo de referência chamado de modelo OSI, publicado em 1978 e revisado em 1984. Atualmente, muitos protocolos usados não seguem fielmente o modelo OSI ou foram criados antes dele (ex.: TCP/IP). No entanto, é mais fácil comparar e classificar os diversos protocolos existentes com esse modelo que iremos estudar.

Figura 01 - O modelo de referência OSI.



Fonte: Tanenbaum (2003, p. 46).

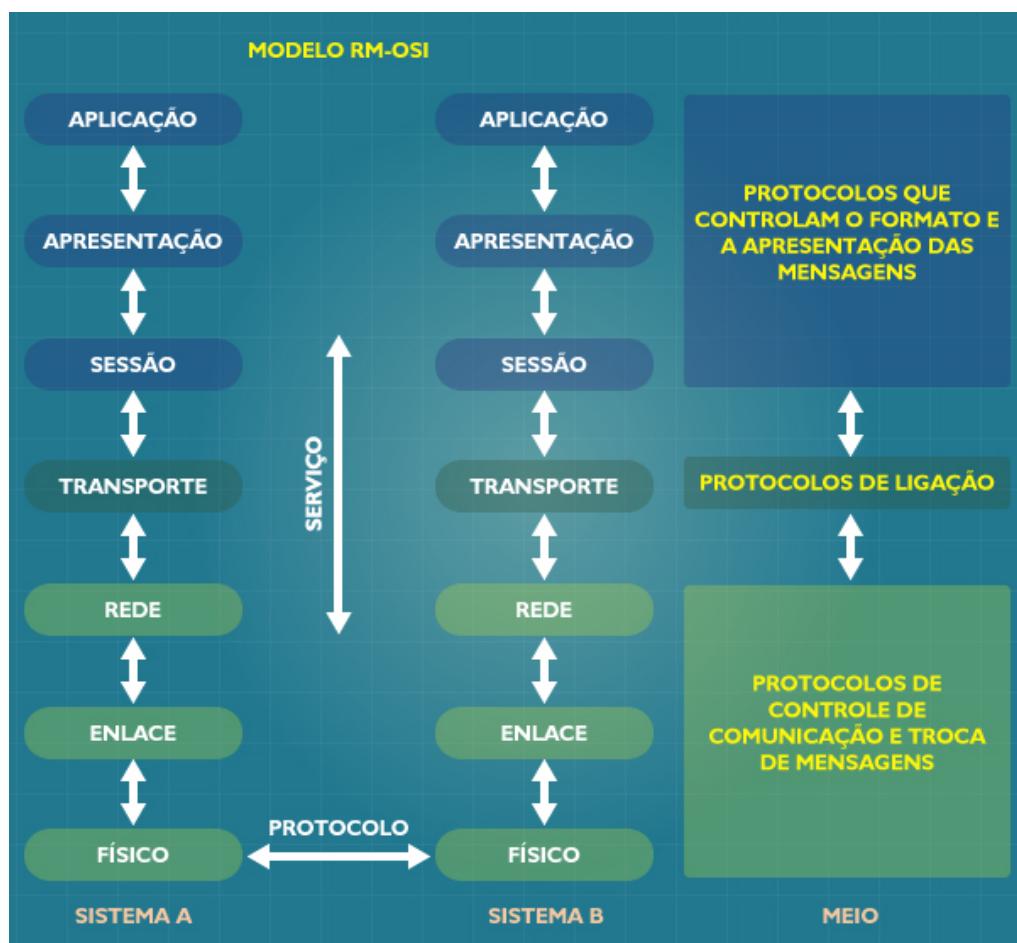
O modelo OSI tem sete camadas. Veja a seguir um resumo dos princípios aplicados para se chegar às sete camadas.

1. Quando houver necessidade de detalhar uma área, deve ser criada uma camada.
2. Cada camada deve executar uma função bem definida.
3. A função de cada camada deve ser escolhida visando aos protocolos já padronizados pelo mundo.
4. Os limites de camadas devem ser escolhidos para diminuir o fluxo de informações pelas interfaces.
5. O número de camadas deve ser grande o bastante para que funções diferentes não precisem ser colocadas na mesma camada e deve também ser pequeno o suficiente para que a arquitetura não se torne difícil de controlar.

As sete camadas do modelo OSI

As camadas são organizadas de forma que cada uma delas, essencialmente, preste serviço à camada superior. Cada camada do modelo refere-se a uma parte especial do processo de comunicação. O objetivo de separar em camadas foi o de simplificar o modo como o hardware e software de rede trabalham juntos, o que também facilitou o diagnóstico e a resolução de problemas, fornecendo um método específico que mostra como os componentes envolvidos devem funcionar.

Figura 02 - As sete camadas do modelo OSI.



Fonte: <http://www.hugoferreira.com/wp-content/uploads/2009/05/osi_model_thumb11.jpg>.

Acesso em: 9 abr. 2015.

Vejamos a seguir, de forma resumida, as funções de cada camada do modelo.

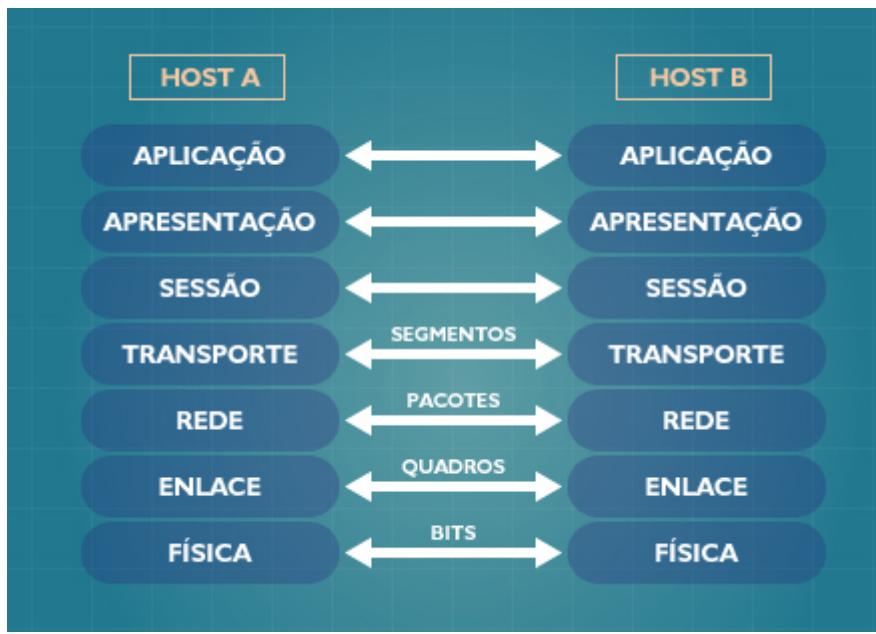
- A **camada de aplicação** disponibiliza um conjunto de interfaces para as aplicações usarem e terem acesso aos serviços de rede.
- A **camada de apresentação** converte dados em um formato genérico para transmissão. Nas mensagens recebidas, ela converte os dados para um formato que a aplicação de destino seja capaz de entender.
- A **camada de sessão** habilita duas aplicações para manter comunicações ativas, simultaneamente, através da rede.
- A **camada de transporte** gerencia a transmissão de dados através da rede.
- A **camada de rede** lida com o endereçamento das mensagens e a sua rota de entrega, assim como traduz os endereços de rede em seus endereços físicos.
- A **camada de enlace** envia quadros de dados da camada de rede para a camada física.
- A **camada física** converte bits em sinais elétricos para as mensagens enviadas e sinais elétricos em bits para mensagens recebidas.

Encapsulamento dos dados

O encapsulamento consiste na junção das informações do protocolo e possibilita que estas trafeguem corretamente pela rede. Uma boa analogia seria, por exemplo, uma mensagem que precisa ser passada de uma pessoa para outra, em sala com pessoas de vários países diferentes (supondo claro que todos falem apenas suas línguas nativas), desse modo, precisaremos de tradutores para cada integrante da sala para que possam entender a mensagem. Assim é o encapsulamento, cada vez que o pacote de dados desce ou sobe pelas camadas do modelo OSI, ele recebe cabeçalhos (bits colocados no início da mensagem) e outras informações que são essenciais para a interpretação na camada que ele irá trafegar.

Uma vez que o dado é enviado da origem, ele viaja através da camada de aplicação para baixo através das outras camadas. O encapsulamento é o fluxo dos dados que são trocados passando por alterações à medida que as redes executam seus serviços. O processo é iniciado na camada de aplicação e desce até a física para a transmissão, e na recepção vai da camada física até a camada de aplicação.

Figura 03 - Encapsulamento de dados nas camadas do modelo.



Fonte: desconhecida

A informação manipulada pelos protocolos de cada camada é chamada de Protocol Data Unit (PDU) ou Unidade de Dados do Protocolo (UDP). Usaremos no texto a sigla em inglês PDU para se referir a esse protocolo, pois é a forma como é mais conhecido na área de redes. Em cada camada o protocolo recebe um nome diferente, como vimos na Figura 3.

- Na camada física, o PDU é tratado como bits, pois nessa camada há o tráfego dos dados pelo meio físico (cabos, fibra, rádio etc.).
- Na camada de enlace, o PDU é conhecido agora por frame ou **quadro**.
- Na camada de rede, o PDU é chamado de **pacote**.
- Na camada de transporte, o PDU é chamado de **segmento**.

Uma camada de protocolo pode ser implementada em software e em hardware ou numa combinação dos dois, dependendo da aplicação a que se destina.

Veja um vídeo para reforçar a ideia do processo de encapsulamento dos dados no modelo OSI.

Fonte:<https://www.youtube.com/watch?v=0NUOHaqAh9w>

Atividade 01

1. Faça uma pesquisa sobre as diferenças entre os modelos de referência OSI e TPC/IP e apresente um quadro comparativo de suas vantagens e desvantagens.

Topologia de rede

As topologias identificam como os elementos de uma rede são interligados. A topologia de rede é capaz de descrever a forma física, bem como a lógica de interligação.

Topologias físicas de rede

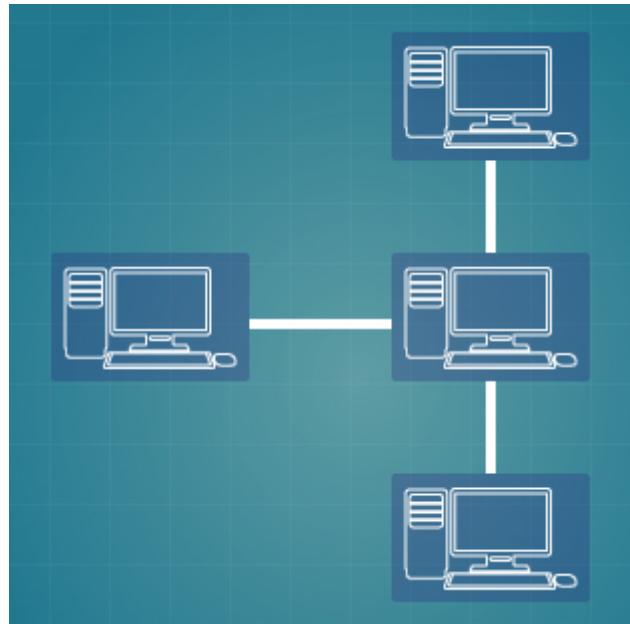
As topologias físicas descrevem o modo como as linhas de dados (meio físico) conectam os dispositivos da rede. Veremos a seguir as principais topologias físicas.

Ponto a ponto

Na topologia ponto a ponto cada nó recebe o dado e o reenvia para o seu destino, ou seja, ele tem a função de repetidor. Cada segmento da rede tem um transmissor (TX) e um receptor (RX). A confiabilidade de cada nó define a confiabilidade da rede. As primeiras linhas de telégrafo que acompanhavam as linhas férreas são um exemplo desse tipo de conexão. Outros exemplos de rede

ponto a ponto são: conexão a Internet Solution Provider (ISP) via linha telefônica discada, configuração de CLP ou interface homem-máquina ou microcontrolador via porta serial.

Figura 04 - Topologia física ponto a ponto.



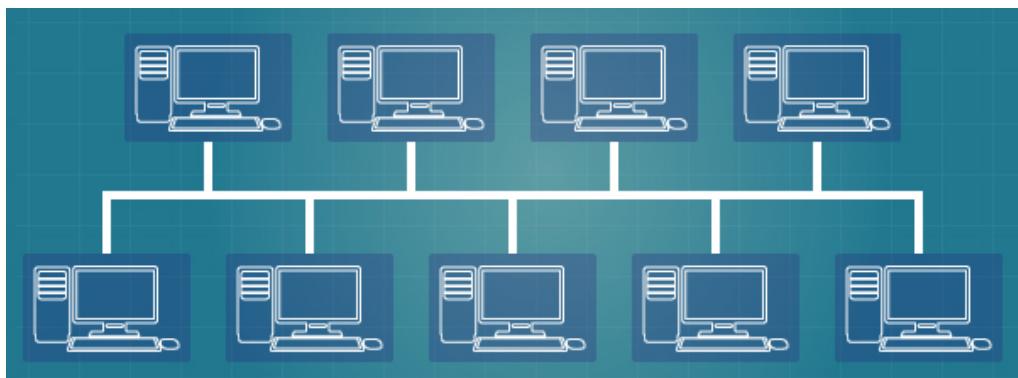
Fonte: <http://4.bp.blogspot.com/topologia+ponto+a+ponto+e+multiponot+barramento.png>.

Acesso em: 9 abr. 2015.

Barra

A topologia em barra, ou barramento, é a mais comum entre as redes industriais. Nessa topologia, quando uma estação transmite um dado, todas as outras o recebem. A montagem “daisy-chain” é obtida quando o segmento de derivação “drop” tem comprimento nulo. A confiabilidade do cabeamento define a confiabilidade da rede. Danos no cabeamento ou falta de terminação podem levar ao colapso da rede em barra.

Figura 05 - Topologia física barra.

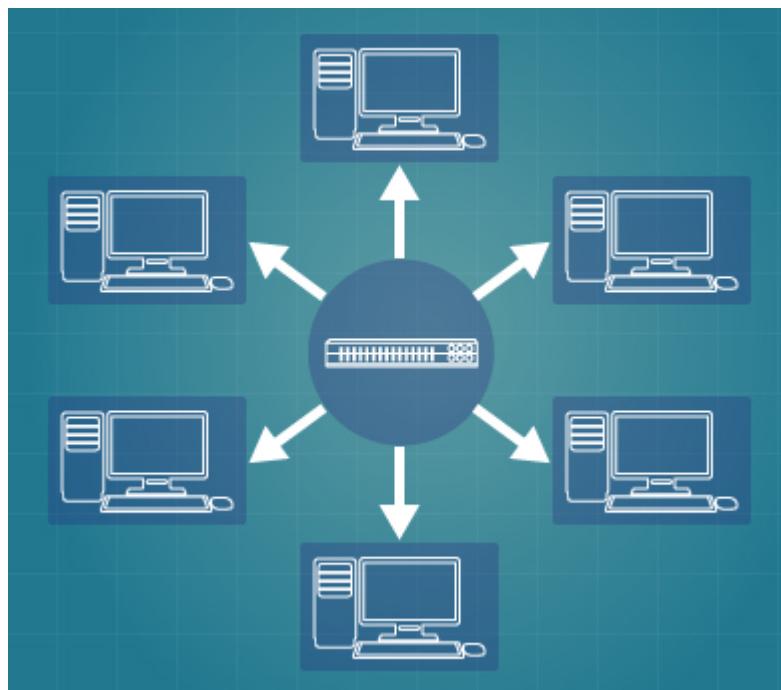


Fonte: <<https://estudoderedes.files.wordpress.com/2012/04/topologia-de-rede-em-barramento.jpg>>. Acesso em: 9 abr. 2015.

Estrela

A topologia em estrela teve o seu auge nos tempos dos MainFrames com seus vários periféricos, como impressoras, terminais e gravadores magnéticos. O elemento central era responsável por estabelecer conexões ponto a ponto entre seus dispositivos. Hoje é mais uma ideia que uma realidade. No papel, uma rede local ethernet utilizando um HUB parece ser uma estrela, mas internamente funciona como um barramento. Essa topologia permite a identificação de erros mais facilmente. Por isso, danos no cabeamento levam ao colapso somente o segmento de rede que utiliza esse cabo. A confiabilidade do elemento central define a confiabilidade da rede. Uma central telefônica com seus ramais pode ser um exemplo de uma rede em estrela.

Figura 06 - Topologia física em estrela.

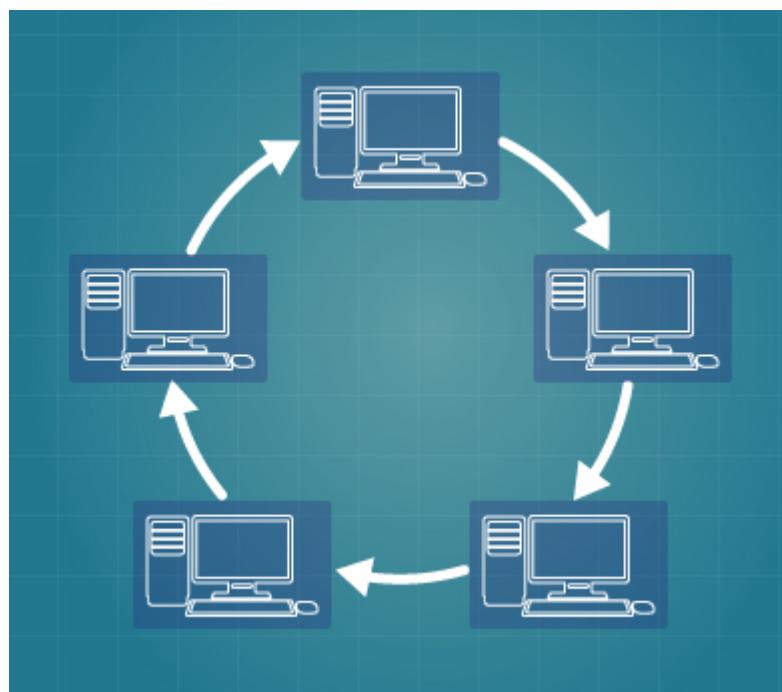


Fonte: <[http://www.netdownloads.com.br/upload/imagens_upload/11\(8\).jpg](http://www.netdownloads.com.br/upload/imagens_upload/11(8).jpg)>. Acesso em: 9 abr. 2015.

Anel

Na topologia física em anel, a informação entra em um nó, o qual retira os dados que lhe pertencem, adiciona outros e os reenvia ao próximo nó. Com protocolos avançados e hardware adicional, os nós podem redirecionar as mensagens em casos de danificação física do anel aumentando a confiabilidade da rede. Podem ocorrer atrasos de transmissão à medida que a rede se expande. Em uma rede em anel unidirecional, a confiabilidade do nó define a confiabilidade da rede.

Figura 07 - Topologia física em anel.

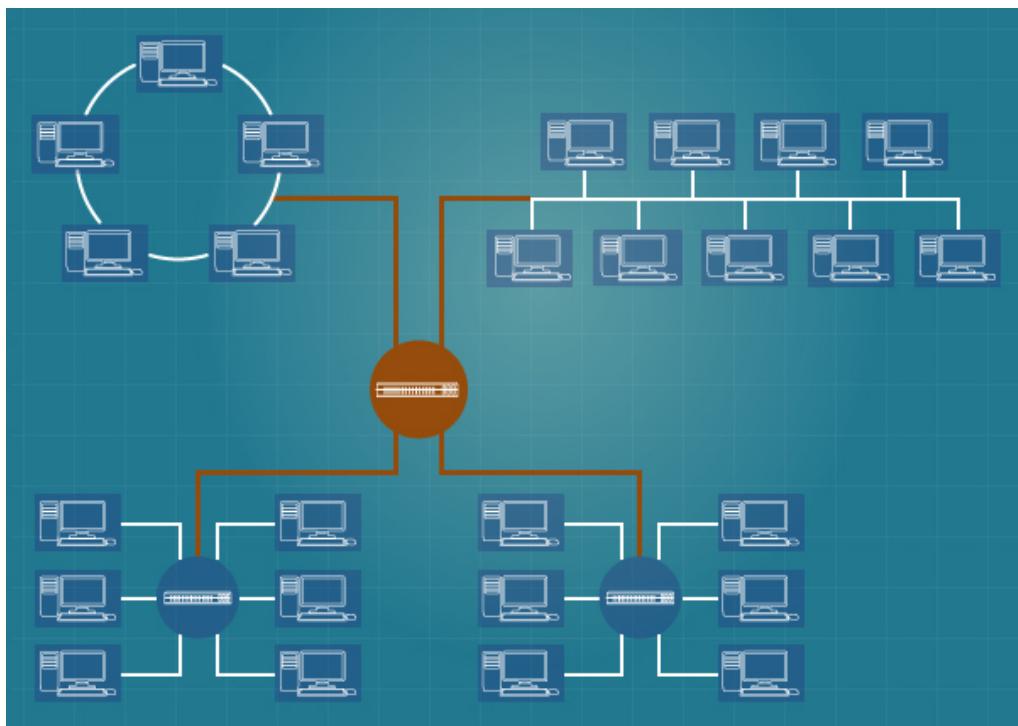


Fonte: <[http://www.netdownloads.com.br/upload/imagens_upload/10\(10\).jpg](http://www.netdownloads.com.br/upload/imagens_upload/10(10).jpg)>. Acesso em: 9 abr. 2015.

Hibridas

As topologias híbridas são aquelas que mesclam algumas das topologias mostradas anteriormente. Não há como definir uma melhor topologia, no entanto, o protocolo utilizado e o layout físico podem ser fatores decisivos na definição da melhor topologia. Pela confiabilidade e facilidade de expansão, a topologia em estrela é a primeira a ser considerada, mas dispositivos espalhados geograficamente podem inviabilizar o seu uso.

Figura 08 - Topologia física híbrida.



Fonte: <http://www.teleco.com.br/imagens/tutoriais/tutorialrcompam_figura7.jpg>. Acesso em: 9 abr. 2015.

Topologia lógica de rede

A topologia lógica é definida a partir da análise do tráfego dos sinais entre os dispositivos e não da maneira como eles estão interligados fisicamente. No barramento lógico, é necessário um eficiente controle de acesso ao meio, de modo que todos tenham a possibilidade de enviar os seus dados, mas evitando que dois ou mais dispositivos tentem enviar dados ao mesmo tempo (colisões). Nós usamos protocolos de controle de acesso ao meio todo o tempo. Como exemplo, observe os comandos a seguir:

- Dê a todos uma oportunidade de falar.
- Não fale até que alguém fale com você ou tenha uma informação importante a transmitir.
- Não monopolize a conversa.
- Levante a mão se tem uma pergunta a fazer.

- Não interrompa uma pessoa quando ela estiver falando.
- Não durma quando alguém estiver passando uma informação.

Os dois tipos de topologias lógicas mais comuns são o Broadcast e a passagem Token. Na primeira, o nó envia seus dados a todos os nós espalhados pela rede (Ethernet). Já na passagem de Token, um sinal de Token controla o envio de dados pela rede (Token Ring). Assim, apenas o nó que tiver o Token (permissão para usar a rede) pode usar a rede.

Atividade 02

1. Faça uma pesquisa e identifique qual o principal tipo de topologia física e lógica usada na automação industrial e apresente suas aplicações.

Protocolo de comunicação Hart

Há muitos anos o padrão para transmissão da informação de instrumentos de campo tem sido o uso de sinais de corrente entre 4 e 20 mA. A disseminação de instrumentos inteligentes (microprocessados) levou à necessidade de parametrizações e à disponibilidade de informações adicionais. O protocolo Highway Addressable Remote Transducer (HART) permite que a informação principal seja transmitida pelo sinal de 4-20 mA, e informações adicionais ou parâmetros de configuração e diagnóstico sejam transmitidos digitalmente pela mesma fiação e ao mesmo tempo. Foi criado pela Rosemount na década de 1980 e mantido pela HART Communication Foundation desde 1993. Na prática, a comunicação HART é usada para calibração, configuração e diagnóstico de transmissores de variáveis de processo, como pressão, vazão, temperatura, nível etc.

As principais características do protocolo são:

- acesso remoto a todos os parâmetros;
- diagnósticos do instrumento;
- suporte a instrumentos multivariáveis;

- estado do dispositivo on-line;
- compatível com fiação existente para 4-20 mA;
- padrão aberto.

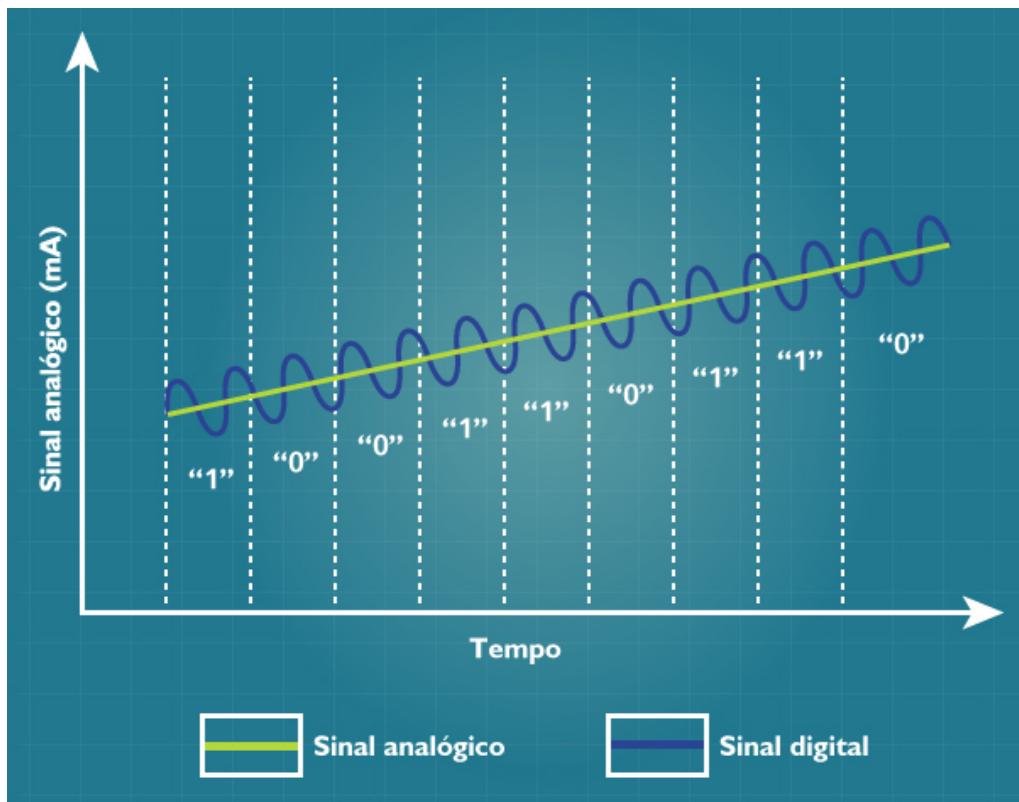
O protocolo HART está presente apenas em três camadas do modelo OSI

- A camada física (1) especifica como os dispositivos serão conectados mecânica e eletricamente (tipo de cabo, distâncias, aterramento) e define de que forma o sinal digital será codificado.
- A camada de enlace (2) divide a informação a ser transmitida em pacotes, adiciona os bits referentes à detecção de erros e controla o acesso ao meio.
- A camada de aplicação (7) define comandos, respostas, tipos de dados e decodifica os relatórios de status do dispositivo.

Comunicação digital + analógica

O Protocolo HART adiciona ao sinal de corrente 4-20 mA um sinal digital com modulação FSK a 1200 bps. Na camada física do protocolo HART, vemos que a transmissão de informações digitais sobre os sinais de 4-20 mA existentes usa uma codificação derivada do padrão Bell 202 FSK. A modulação é feita com sinais senoidais com 0,5 mA de pico de corrente. Como o valor médio de uma senoide é igual a zero, a informação digital não altera o valor da corrente analógica.

Figura 09 - Modulação do protocolo HART.



Fonte: <http://www.mecatronicaatual.com.br/files/image/hart figura 01_5.jpg>. Acesso em: 9 abr. 2015.

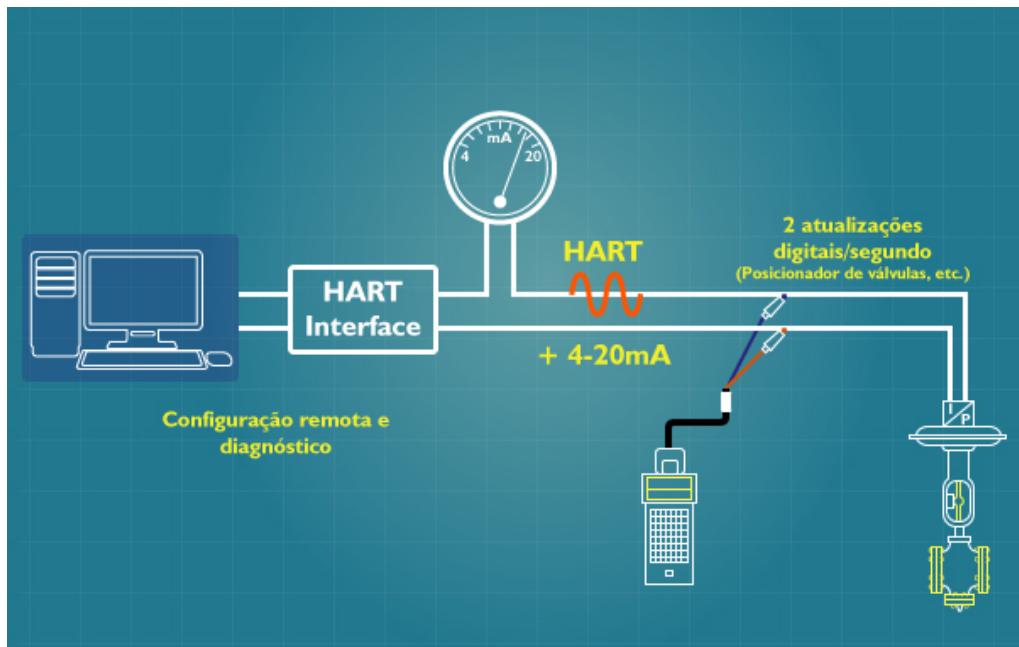
Controle de acesso ao meio

Os dispositivos que utilizam o protocolo HART são divididos em mestre e escravos. Somente os dispositivos mestres podem iniciar uma comunicação. Consequentemente, os escravos somente respondem às solicitações dos mestres. Os comandos são definidos na camada de aplicação do protocolo. O mestre primário pode ser um PLC ou um computador com uma interface serial-HART (Modem). O mestre secundário geralmente é um dispositivo móvel para configuração (HANDHELD).

Os mestres possuem os circuitos que provocam as variações de correntes na linha (modulador). Já os escravos possuem circuitos que transformam essas variações de corrente em tensão e decodificam o sinal recebido (demodulador). Durante uma resposta os papéis são invertidos.

A Figura 10, a seguir, mostra a aplicação típica do protocolo HART em uma rede ponto a ponto, em que um PC obtém informações de uma válvula de controle e do sinal de pressão e atua no posicionamento da válvula.

Figura 10 - Controle de abertura e fechamento de uma válvula.



Fonte: <<http://www.smar.com/Images/Hart-fig3.jpg>>. Acesso em: 9 abr. 2015.

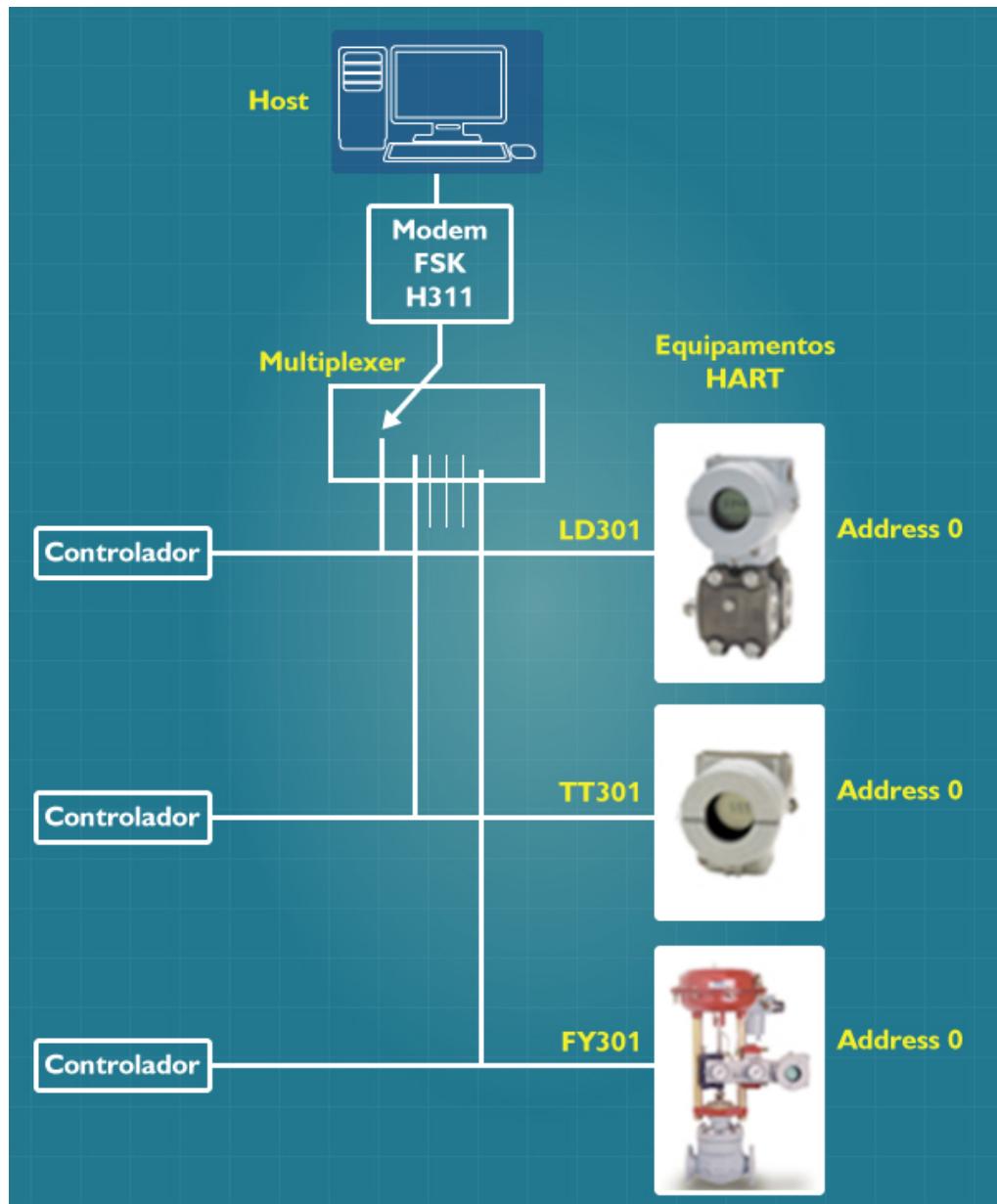
Rede de comunicação HART

O protocolo HART permite montar uma rede de comunicação totalmente digital com até 15 dispositivos escravos acessados por até dois mestres, em um mesmo par de fios, com até 3.000 metros de comprimento a uma taxa de transmissão de 1200 bps. Em caso de equipamentos intrinsecamente seguros, são permitidos apenas quatro dispositivos.

O uso de multiplexadores permite o acesso a um maior número de instrumentos, além dos 15 possíveis em uma rede com o HART. Os multiplexadores possuem vários canais de comunicação HART, com suporte aos modos de acesso ponto a ponto, burst ou em rede (multidrop ou barramento). A comunicação entre o multiplexador e o sistema de supervisão SCADA é efetuada através de canais de comunicação serial RS-232, RS-485 ou Ethernet. No sistema de supervisão, temos

acesso a todos os dados dos dispositivos e podemos efetuar os comandos disponíveis. Essa é uma solução aplicável a instalações novas, pois elimina possíveis CLPs ou módulos de entrada e saída analógicos existentes em 4-20 mA.

Figura 11 - Uso do multiplexador em rede HART.



Fonte: <http://www.smar.com/images/index150_fig37.jpg>. Acesso em: 9 abr. 2015.

Protocolo CAN

O protocolo Controller Area Network (CAN), que foi desenvolvido pela BOSCH na década de 1980 e tornou-se um padrão internacional (ISO 11898) em 1994, foi especialmente desenvolvido para rápida troca de dados entre controladores eletrônicos em veículos motorizados. O protocolo CAN também pode ser usado na implementação de redes de dispositivos microprocessados industriais, por exemplo, como um barramento interno de máquinas ferramentas, como interconexão de sistemas de medição distribuídos, funções de controle e monitoração do nível inferior ao superior ou como um barramento de campo para interligar sensores, atuadores e interfaces homem-máquinas (IHM).

Figura 12 - Sistemas de um automóvel.



Fonte: <<http://www.talktomycar.co.uk/images/bywire1.jpg>>. Acesso em: 9 abr. 2015.

O protocolo CAN é baseado em uma arquitetura multimestre, pois todos os controladores têm direitos iguais e funcionalidade de mestre. A grande vantagem disso é que cada controlador tem livre acesso ao meio de transmissão, sendo capaz de enviar uma mensagem sempre que necessário ou em resposta a um evento. Obviamente colisões podem ocorrer e devem ser contornadas. A arquitetura

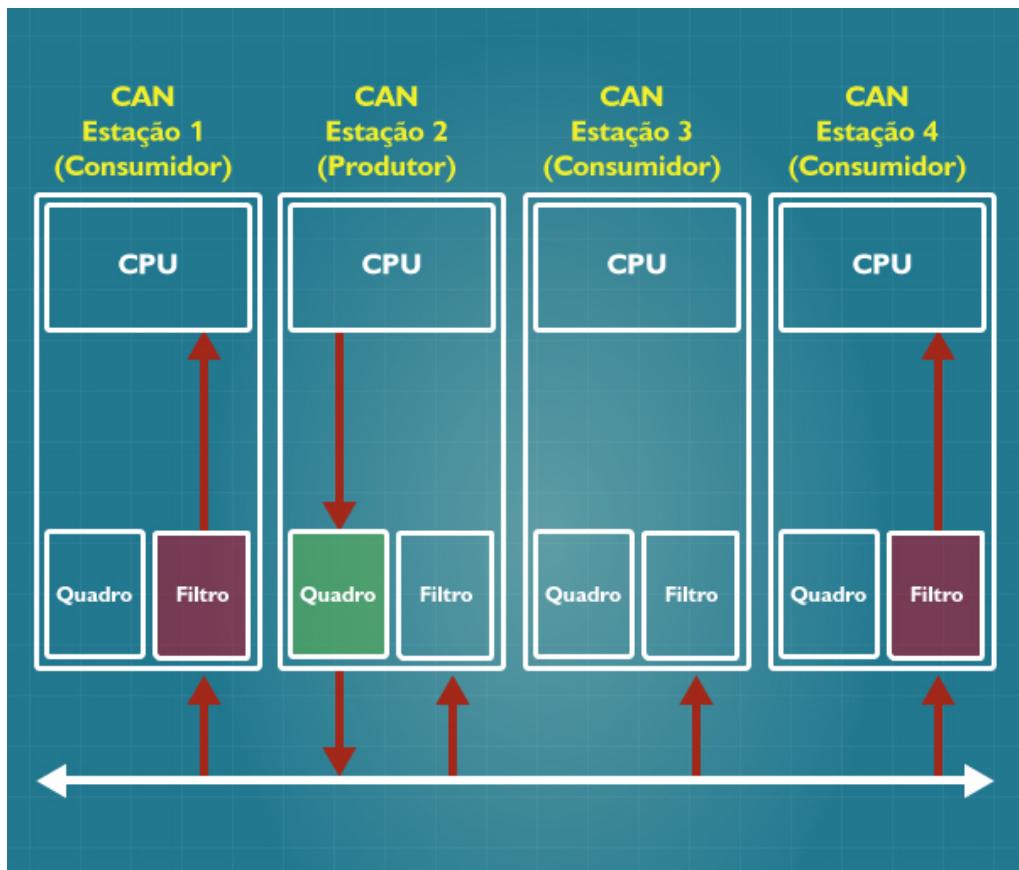
multimestre tem um efeito positivo na disponibilidade da rede, pois, se houver falha de um controlador, isso não leva a um colapso do barramento, uma vez que os controladores não possuem endereço. As suas mensagens possuem identificadores usados tanto para definirem prioridades em uma disputa pelo meio como para os demais nós decidirem se devem ou não processar a mensagem em trânsito. Os identificadores com menor valor binário têm a mais alta prioridade.

As especificações do protocolo CAN detalham partes da camada física e da camada de enlace, mas não especificam cabos e conectores e também o significado dos dados entregues ou solicitados. As diferenças primárias entre o uso do CAN em automóveis e em aplicações industriais são encontradas nas camadas de aplicação e de usuário do protocolo, que definem o significado do dado transmitido. Especificações da camada de aplicação desenvolvidas para automação industrial tipicamente focam a necessidade por comunicações cíclicas, determinísticas e sincronizadas. Os protocolos DeviceNet, SDS, CANopen, SAE J1939 (aplicação em ônibus e caminhões) e CAN Kingdom são baseados no CAN, mas adicionam especificações de cabeamento e conexão além da interpretação de dados presentes na camada de aplicação, tornando impossível a comunicação entre essas redes baseadas em CAN.

Controle de acesso ao meio

O protocolo CAN utiliza o modelo de troca de dados produtor-consumidor seguindo uma filosofia até então inovadora e bem mais eficiente que os protocolos mestre-escravo (ponto a ponto), quando há a necessidade de transferir dados entre vários elementos da rede. No modelo produtor-consumidor uma mensagem de um produtor é enviada ao meio (broadcast) e pode ser utilizada por vários consumidores.

Figura 13 - Comunicação protocolo CAN.



Fonte: Adaptado de Silva (2005).

A Figura 13 mostra o momento em que a estação 2 efetua um broadcast de sua mensagem no barramento tornando-se um produtor de dados. As estações 1 e 4 são consumidores, pois recebem a mensagem, enquanto que a estação 3 não a processa.

Resumo

Nesta aula, foi apresentado o modelo OSI e sua importância nas redes industriais. Mostramos como é feita sua padronização e os seus objetivos. Abordamos as topologias físicas e lógicas de redes industriais mostrando como elas são empregadas. Introduzimos os conceitos dos protocolos de comunicação HART e CAN, expondo como eles realizam a comunicação, seu acesso ao meio e suas principais aplicações industriais.

Autoavaliação

1. Qual o objetivo do modelo OSI da ISO?
2. Qual a diferença entre as camadas do modelo OSI?
3. Por que devem ser utilizadas topologias física e lógica em uma rede?
4. Qual a principal aplicação do protocolo HART?
5. O protocolo CAN pode ser usado em redes industriais ou apenas em sistemas de automóveis? Apresente um exemplo.

Para verificar suas respostas, clique [aqui](#).

Respostas

1. Qual o objetivo do modelo OSI da ISO?

Facilitar a interconexão de sistemas de diferentes fornecedores, já que antes dele, a interligação dos primeiros computadores, tanto de uso corporativo como de uso industrial, levou ao desenvolvimento de soluções proprietárias, isto é, somente o fabricante detinha o conhecimento da tecnologia envolvida. Isso dificultava e, muitas vezes, impossibilitava a interconexão de dispositivos de fabricantes diferentes.

2. Qual a diferença entre as camadas do modelo OSI?

- A camada de aplicação disponibiliza um conjunto de interfaces para as aplicações usarem e terem acesso aos serviços de rede.
- A camada de apresentação converte dados em um formato genérico para transmissão. Nas mensagens recebidas, ela converte os dados para um formato que a aplicação de destino seja capaz de entender.
- A camada de sessão habilita duas aplicações para manter comunicações ativas, simultaneamente, através da rede.
- A camada de transporte gerencia a transmissão de dados através da rede.
- A camada de rede lida com o endereçamento das mensagens e a sua rota de entrega, assim como traduz os endereços de rede em seus endereços físicos.
- A camada de enlace envia quadros de dados da camada de rede para a camada física.
- A camada física converte bits em sinais elétricos para as mensagens enviadas e sinais elétricos em bits para mensagens recebidas.

3. Por que devem ser utilizadas topologias física e lógica em uma rede?

As topologias físicas descrevem o modo como as linhas de dados (meio físico) conectam os dispositivos da rede (ponto a ponto barramento, estrela, anel e híbridas).

A topologia lógica é definida a partir da análise do tráfego dos sinais entre os dispositivos e não da maneira como eles estão interligados fisicamente. No barramento lógico, é necessário um eficiente controle de acesso ao meio, de modo que todos tenham a possibilidade de enviar os seus dados, mas evitando que dois ou mais dispositivos tentem enviar dados ao mesmo tempo (colisões).

4. Qual a principal aplicação do protocolo HART?

O protocolo Highway Addressable Remote Transducer (HART) permite que a informação principal seja transmitida pelo sinal de 4-20 mA, e informações adicionais ou parâmetros de configuração e diagnóstico sejam transmitidos digitalmente pela mesma fiação e ao mesmo tempo.

5. O protocolo CAN pode ser usado em redes industriais ou apenas em sistemas de automóveis? Apresente um exemplo.

Pode ser utilizada em ambas, tanto redes industriais quanto sistemas automotivos. Um exemplo é o protocolo DeviceNet utilizado em automação industrial para troca de dados entre dispositivos de controle. Ela utiliza Controller Area Network (CAN), e define uma camada de aplicação para cobrir uma faixa dos perfis de dispositivos. Aplicações típicas incluem troca de comunicação, dispositivos de segurança, e controle de entrada/saída de redes.

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/DeviceNet>

Referências

SILVA, W. A. C. M. **Notas de aula da disciplina Comunicação de Dados.** Natal: IFRN, 2005.

TANENBAUM, A. S. **Redes de computadores.** 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.