

2

Arquitetura de protocolos

objetivos

Introduzir os conceitos mais avançados de redes e descrever as funções e características das camadas de protocolos.

conceitos

Protocolos, interfaces, modelo OSI, arquitetura TCP/IP e camadas de protocolos.

Conceito de protocolo

Protocolo é um conjunto de regras que controla a interação de duas máquinas ou dois processos semelhantes ou com funções semelhantes. Para que dois computadores se comuniquem, é necessário que usem o mesmo protocolo. Sem protocolos, o computador não pode reconstruir, no formato original, a sequência de bits recebida de outro computador.



Um protocolo é um conjunto de regras que controla a interação de duas máquinas ou dois processos semelhantes ou com funções semelhantes. Sem protocolos, o computador não pode reconstruir no formato original a sequência de bits recebida de outro computador. Para que dois computadores se comuniquem, é necessário que usem o mesmo protocolo (“que falem a mesma língua”).

Fazendo uma analogia, pode-se dizer que sem um conjunto de regras de conduta e comportamento, várias pessoas falando ao mesmo tempo e em línguas diferentes não conseguem se entender em uma reunião de trabalho.

Uma suíte de protocolos (família de protocolos) é uma coleção de protocolos que habilitam comunicação em rede de uma máquina a outra. Uma suíte de protocolos é estruturada em camadas, de forma a dividir e organizar melhor as funções. De maneira geral, as camadas superiores obtêm serviços das camadas inferiores, transferindo informações entre si através das interfaces entre camadas adjacentes.



Arquitetura em camadas

Objetivos da arquitetura em camadas:

- Estruturar o hardware e o software de um projeto de rede.
- Dividir e organizar os problemas de comunicação em camadas hierárquicas.
- Cada camada é responsável por uma função específica e usa as funções oferecidas pelas camadas inferiores.



- Uma arquitetura de rede é definida pela combinação dos diversos protocolos nas várias camadas.

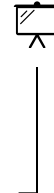


Para melhor estruturação do hardware e do software de um determinado projeto de rede, os problemas de comunicação são divididos e organizados em camadas hierárquicas. Cada camada é responsável por uma função específica e construída utilizando as funções e serviços oferecidos pelas camadas inferiores.

Conceito de camada

O que faz uma camada?

- Comunica-se somente com as camadas adjacentes.
- Usa serviços da camada inferior.
- Provê serviços à camada superior.



As camadas de protocolos formam a base de uma arquitetura de rede. Elas permitem a decomposição de um único e complexo problema de comunicação em protocolos cooperativos mais simples, mas esta decomposição é também uma decomposição funcional. As camadas de protocolos resolvem classes distintas de problemas de comunicação.

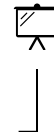
A interação entre as camadas é baseada em duas premissas básicas:

- Cada camada se comunica somente com as camadas adjacentes (superior e inferior).
- Cada camada usa serviços da camada inferior e provê serviços à camada superior.

As funções e os protocolos das camadas são definidos tendo em vista essas premissas. Passaremos agora a descrever, de forma resumida, as funções de cada camada.

Conceito de interface

Conjunto de regras que controla a interação de duas máquinas ou dois processos diferentes ou com funções diferentes. As camadas de protocolos transferem informações entre si através das interfaces.



Uma interface é um conjunto de regras que controla a interação de duas máquinas ou dois processos diferentes ou com funções diferentes. As camadas inferiores prestam serviços para as camadas superiores, que recebem os dados através das interfaces entre elas. Esses dados das camadas superiores são inseridos nas estruturas de dados das camadas inferiores.

Modelo de Referência OSI

O modelo Open Systems Interconnection (OSI) foi lançado pela International Organization for Standardization (ISO) em 1984. A ISO é uma entidade que congrega institutos nacionais de padronização de 140 países, trabalhando em parceria com organizações internacionais, governos, fabricantes e consumidores: um elo entre setores públicos e privados.



Na década de 1980, a ISO formou um grupo de trabalho para estudar o problema da incompatibilidade entre as arquiteturas de comunicação de dados dos diversos fabricantes de computadores.

Cada fabricante tinha uma arquitetura de hardware e software proprietária e, consequentemente, arquiteturas de comunicação de dados incompatíveis entre si. A ideia principal era compatibilizar, através de camadas de protocolos, as estruturas de dados das arquiteturas de comunicação, de forma a permitir que as aplicações trocassem dados entre si, ainda que funcionando em plataformas de hardware e software de diferentes fabricantes.

Histórico do modelo OSI

A motivação para a criação do modelo OSI foi a ausência de compatibilidade entre as arquiteturas de redes de fabricantes diferentes.



Em um contexto em que cada fabricante construía sua arquitetura de redes, e na ausência de compatibilidade entre elas, o Modelo de Referência OSI (Open Systems Interconnection) foi concebido para permitir a interoperabilidade das arquiteturas proprietárias de redes de computadores que existiam na década de 1970.

Os primeiros trabalhos nesse sentido foram feitos por um grupo da Honeywell, em meados dos anos 70. Esse grupo estudou algumas das soluções existentes, incluindo o sistema da IBM de arquitetura de rede (SNA) e o trabalho em protocolos que estava sendo feito para a Arpanet (TCP/IP). O resultado desse esforço foi o desenvolvimento de uma arquitetura de sete camadas, conhecida internamente como a arquitetura de sistemas distribuídos (DSA).

Enquanto isso, em 1977, o British Standards Institute propôs à ISO que criasse uma arquitetura padrão para definir a infraestrutura de comunicações para processamento distribuído. Como resultado desta proposta, a ISO formou uma subcomissão de Interconexão de Sistemas Abertos (Comitê Técnico 97, Subcomitê 16). Quando o grupo ISO se reuniu em Washington, a equipe Honeywell apresentou a sua solução. Um consenso foi alcançado na reunião: a arquitetura em camadas satisfaria a maioria dos requisitos de Interconexão de Sistemas Abertos, com a capacidade de ser ampliada mais tarde para atender a novos requisitos. A versão provisória do modelo foi publicada em março de 1978. A próxima versão, com alguns pequenos acertos, foi publicada em junho de 1979 e, posteriormente, padronizada. O modelo OSI resultante é essencialmente o mesmo que o modelo DSA desenvolvido em 1977.

Objetivos de um sistema aberto

A norma ISO foi publicada internacionalmente pela primeira vez em 1984, sob o número ISO 7498, e pode ser obtida gratuitamente na internet. Os objetivos de um sistema aberto podem ser resumidos em:

- **Interoperabilidade** – capacidade que sistemas abertos possuem de troca de informações entre eles, mesmo que sejam fornecidos por fabricantes distintos.
- **Interconectividade** – maneira pela qual os computadores de fabricantes distintos podem ser conectados.
- **Portabilidade da aplicação** – capacidade de um software ser executado em várias plataformas diferentes.
- **Escalabilidade** – capacidade de um software ser executado com desempenho aceitável em máquinas de capacidades diversas, desde computadores pessoais até supercomputadores.



Estrutura em camadas

Objetivos da estrutura em camadas:

- Reduzir complexidade.
- Padronizar interfaces.
- Facilitar engenharia modular.
- Assegurar interoperabilidade de tecnologias.



- Acelerar evolução.
- Simplificar o ensino e o aprendizado.



Figura 2.1
Modelo de
Referência OSI.

O modelo de referência OSI permite:

- A visualização das funções de comunicação de dados que ocorrem em cada camada;
- Uma estrutura que pode ser usada para entender como a informação viaja pela rede;
- A compreensão, visualização e resolução de problemas ao enviar e receber dados numa rede;
- O entendimento de como a informação ou pacote de dados trafega, com origem nos programas aplicativos, e através do meio físico da rede (por exemplo, fios) chega até outro programa aplicativo localizado em outro computador da rede, mesmo que origem e destino tenham diferentes tipos físicos de rede.

O modelo estruturado em camadas reduz a complexidade dos protocolos de cada camada, uma vez que a modularidade de funções das camadas permite a simplificação do projeto de cada camada e, conseqüentemente, simplificam o ensino e aprendizado dos usuários da rede.

A estrutura de camadas permite também a padronização de interfaces, assegura a interoperabilidade de tecnologias utilizadas nas diversas camadas e acelera a evolução do modelo como um todo.

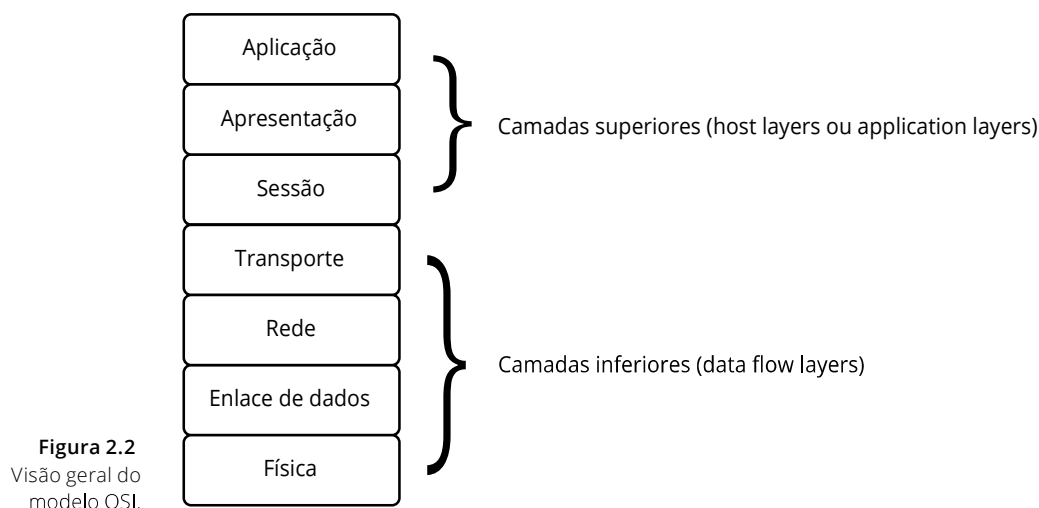
Camadas do modelo OSI

Modelo de 7 camadas:

- Data Flow Layers – 4 camadas inferiores.
- Application Layers – 3 camadas superiores.

O modelo de 7 camadas pode ser visto como dois subconjuntos de 4 e 3 camadas, conforme mostra a figura seguinte. As 4 primeiras camadas (de baixo para cima) são denominadas Camadas Inferiores (Data Flow Layers). Elas controlam basicamente as funções de rede e procuram oferecer serviços de transferência de dados com qualidade aceitável para as aplicações que utilizam a rede.

As 3 camadas seguintes, denominadas Camadas Superiores (Application Layers) tratam somente das funções específicas das aplicações, sem preocupação com os detalhes de redes. Assim, as aplicações podem se concentrar nas funções dos sistemas que os usuários estão utilizando.



Camada física

A função geral da camada física é ser responsável pela transmissão dos bits através de um canal de comunicação. Entre suas funções específicas podemos listar:

- Representação dos bits (nível elétrico, duração do sinal, codificação).
- Forma e nível dos pulsos ópticos.
- Mecânica dos conectores.
- Função de cada circuito do conector.

Na camada física, ocorre a especificação das interfaces para o meio físico, no qual o sinal será transmitido:

- Par trançado - Unshielded Twisted Pair (UTP) Cat5, Cat5e, Cat6;
- Fibra óptica monomodo ou multimodo;
- Cabo coaxial 10Base2 e 10Base5;
- Wireless (micro-ondas).

O tipo de sinalização inclui a definição do nível de sinal (voltagem) e a duração de cada bit, bem como as transições entre zeros e uns. A codificação dos bits provê mecanismos para garantir uma melhor confiabilidade na comunicação (maior detecção e correção de erros de interpretação dos bits). Envolve o controle da frequência de envio de zeros e uns em sequência, a quantidade de transições entre zeros e uns para permitir a recuperação de sinal de relógio etc. O tipo de codificação está altamente relacionado com a velocidade de transmissão dos bits no canal (meio físico).

Tipos mais comuns de codificação:

- **NRZ** – Non Return to Zero é um tipo de código de linha no qual só há tensão elétrica quando se transmite o símbolo 1; o símbolo 0 é a ausência de tensão;
- **AMI** – Alternated Mark Inversion é um método de codificação nas transmissões E1 e T1, no qual “1s” consecutivos têm a polaridade oposta;
- **HDB3** – técnica de sinalização bipolar, ou seja, depende tanto dos pulsos positivos quanto dos negativos. As regras de codificação seguem as da AMI, com exceção de quando surge uma sequência de quatro zeros consecutivos, em que é utilizado um bit especial de violação;

- **Manchester** – tipo de código de linha usado em redes Ethernet, no qual o bit 0 é representado como uma transição positiva (subida) no meio do intervalo de sinalização do bit. Com o bit 1 ocorre o contrário, transição negativa (descida).

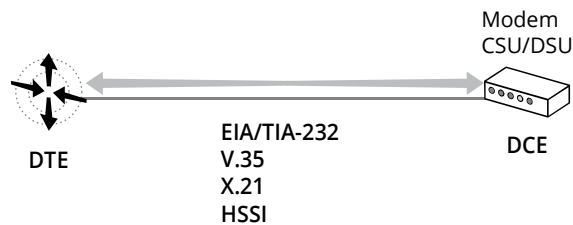


Figura 2.3
Camada física:
interfaces DTE/DCE.

Na camada física ocorre a definição dos padrões de interface:

Data Terminal Equipment (DTE)

Terminologia tradicional em comunicação de dados para um dispositivo que recebe ou origina dados sobre uma rede. Tipicamente um computador ou um terminal não programável. Marca a terminação do dispositivo do usuário no link WAN.

Data Communication Equipment (DCE)

Terminologia tradicional em comunicação de dados para equipamentos que habilitam que um DTE comunique-se com uma linha telefônica ou circuito de dados. O DCE estabelece, mantém e termina a conexão, bem como realiza as conversões necessárias para a comunicação. Marca a terminação do dispositivo do provedor de serviços no link WAN. Geralmente, este dispositivo cuida do sinal de clock (relógio de sincronismo). Também chamado de equipamento terminador de circuito.

A Figura 2.3 mostra alguns dos padrões de interface mais comuns para o ambiente WAN. Outros padrões também dignos de nota são: V.24 (usado para comunicação entre computador e modem telefônico), G.703 (usado para conexões E1/T1) e EIA/TIA-449, entre outros. Muitas vezes, o tipo de DCE usado pelo Service Provider (SP) determina o tipo de interface a ser utilizada no equipamento DTE (roteador, geralmente). Alternativamente, o proprietário do DTE, de acordo com o equipamento DTE que possui, pode solicitar ao provedor de serviços a interface física a ser usada.

O DCE pode ser analógico (modem) ou digital (CSU/DSU – Channel Service Unit/Data Service Unit – Unidade de Serviço de Canal/Unidade de Serviço de Dados), dependendo do circuito da operadora ser analógico ou digital. A interface DTE/DCE é digital e foi muito bem padronizada, porque interliga equipamentos de indústrias diferentes (telecomunicações e informática).



A camada física do modelo OSI trata das interfaces com o meio físico, e não do meio físico propriamente dito.

Camada de enlace de dados

A camada de enlace de dados tem a função geral de ser responsável pela detecção de erros – Frame Check Sequence (FCS). Entre suas funções específicas podemos listar:

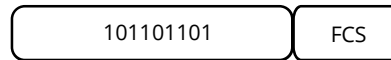
- Endereços físicos de origem e destino.
- Define protocolo da camada superior.
- Topologia de rede.
- Sequência de quadros.
- Controle de fluxo.

- Connection-oriented ou connectionless .

Em caso de erro, pode ocorrer descarte de quadros ou correção de erros (feita por camada superior).

Essa camada trata os endereços físicos das interfaces de rede (endereços MAC). No quadro consta a informação do protocolo de camada de rede que foi encapsulado ou, dito de outra forma, a quem pertencem os dados que estão sendo transportados no quadro.

Figura 2.4
Frame Check
Sequence.



Controle de fluxo

Processo de início-fim de *handshaking* que impede que seu modem receba quantidade excessiva de dados do seu computador ou de outro modem. O controle de fluxo de software é chamado de XON/XOFF (transmissor ativado e desativado). O controle de fluxo de hardware é chamado de RTS/CTS (Request/Clear to Send).

O protocolo dessa camada é dependente da topologia do meio físico. Em enlaces WAN, essa camada normalmente executa procedimentos de **controle de fluxo** e de sequência, além da verificação de erros, através de um cálculo polinomial padrão executado sobre todos os bits do quadro, exceto o próprio FCS.

Em enlaces LAN, normalmente apenas são executados procedimentos de verificação de erros. O protocolo de enlace de dados também pode ser orientado à conexão (estabelece uma conexão ponto-a-ponto antes de enviar os quadros) ou sem conexão (não estabelece conexão).

Funções:

- Transformar o meio físico de comunicação numa linha livre de erros de transmissão;
- Estruturação dos dados em quadros (frames);
- A camada de enlace provê transporte dos quadros ao longo do meio físico.

A camada de enlace também é responsável pelo controle do acesso ao meio (Media Access Control). Quando o meio é compartilhado, é necessária a definição de algoritmos que garantam que os dispositivos sejam organizados para acessar o meio de forma não conflitante.

Analogia de acesso ao meio: todos falando ao mesmo tempo numa mesa e ninguém se entendendo.

Camada de rede

A camada de rede tem a função geral de endereçamento e roteamento. Entre suas funções específicas podemos listar:

- Tratamento dos problemas de tráfego na rede: congestionamento.
- Escolha das melhores rotas através da rede.
- Define endereços lógicos de origem e destino associados ao protocolo da camada 3.
- Interconecta diferentes camadas de enlace de dados.

Principais funções da camada de rede:

- **Endereçamento** – método de atribuição de endereço e de localização de um host em uma rede, utilizando o endereço como identificador lógico do host.
- **Roteamento** – identifica o processamento e direcionamento de pacotes de dados, por meio de seus endereços, de uma rede para outra.
- Tratamento dos problemas de tráfego na rede como congestionamento;
- Escolha das melhores rotas através da rede.

A camada de rede também oferece os seguintes serviços:

- ▣ **Datagrama** – os pacotes são enviados sem que uma conexão entre origem e destino seja previamente estabelecida (sem conexão).
- ▣ **Circuito virtual** – antes do envio dos pacotes é estabelecida uma conexão entre origem e destino, que permanece enquanto durar a transferência de pacotes (orientado à conexão).

Dispositivos da camada de redes (camada 3) cuidam do endereçamento lógico (ex.: endereços IP, endereços IPX, endereços Apple Talk). Exemplo: roteadores.

Note que a camada 2 cuidava do endereçamento físico (ex.: endereços MAC).

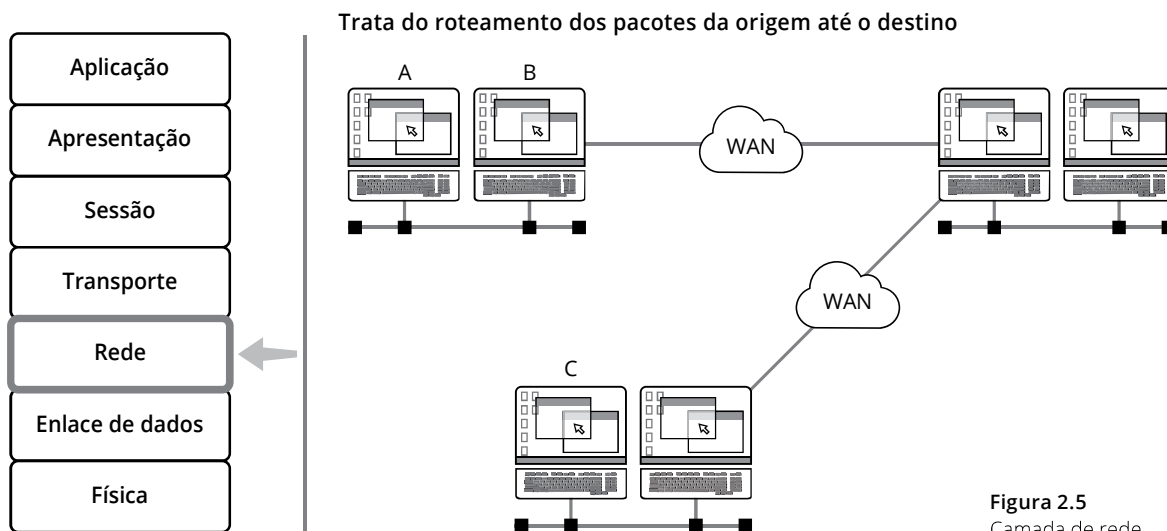


Figura 2.5
Camada de rede.

Camada de transporte

A camada de transporte tem a função geral de conectividade fim-a-fim. Entre suas funções específicas podemos listar:

- ▣ Recebe os dados da camada de sessão, os divide se necessário, e passa-os para a camada de rede.
- ▣ Garante que todas as partes cheguem corretamente ao destino.
- ▣ Implementa uma conversação fim-a-fim.
- ▣ Responsável pelo término e pela criação de conexões, quando necessário.
- ▣ Controle de fluxo fim-a-fim.
- ▣ Identifica as aplicações de camadas superiores.
- ▣ Estabelece conectividade fim-a-fim entre aplicações.
- ▣ Oferece serviços confiáveis, ou não, para a transferência dos dados.

Conforme a camada de transporte envia seus segmentos de dados, ela também deve assegurar a integridade dos dados. Para garantir a integridade dos dados, a camada de transporte é orientada à conexão (connection-oriented).

Algumas razões para a realização de transporte confiável:

- ▣ Assegurar que o dispositivo de origem da informação receba reconhecimento (acknowledgement) dos segmentos entregues;

- Permitir a retransmissão de quaisquer segmentos sobre os quais não forem fornecidos reconhecimentos;
- Reorganizar segmentos na ordem correta no dispositivo de destino, já que os pacotes de origem podem seguir diferentes caminhos, com diferentes tempos de entrega ao destino e, portanto, chegando fora da ordem original;
- Permite controlar e compatibilizar a taxa de envio e recepção de dados através do controle de fluxo.

Exemplos de protocolos da camada de transporte: TCP e UDP (da pilha de protocolos IP) e SPX (da pilha de protocolos IPX Novell):

- TCP é orientado à conexão (connection-oriented) e, portanto, oferece serviço confiável, isto é, garantia de entrega ao destinatário;
- UDP é dito não orientado à conexão (connectionless). Oferece velocidade e simplicidade, mas não oferece confiabilidade.

A funcionalidade de transporte é realizada segmento a segmento. Isto significa que diferentes segmentos de dados provenientes de diferentes aplicações (enviados para o mesmo ou para muitos destinos) são enviados na base “first come, first served” (primeiro a chegar, primeiro a ser processado).

Camada de sessão

A camada de sessão tem a função geral de permitir que aplicações em diferentes máquinas estabeleçam uma sessão entre si. Entre suas funções específicas podemos listar:

- Gerencia o controle de diálogos, permitindo a conversação em ambos os sentidos, ou em apenas um.
- Sincronização do diálogo (transferência de arquivos, programas).

A camada de sessão permite que duas aplicações em computadores diferentes estabeleçam uma sessão de comunicação. Nesta sessão, essas aplicações definem a forma como será feita a transmissão de dados, e coloca marcações nos dados que estão sendo transmitidos. Se porventura a rede falhar, os computadores reiniciam a transmissão dos dados a partir da última marcação recebida pelo computador receptor.

A camada de sessão disponibiliza serviços como pontos de controle periódicos, a partir dos quais a comunicação pode ser restabelecida em caso de pane na rede.

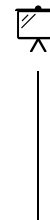
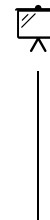
A camada de sessão (camada 5) estabelece, gerencia e termina sessões entre aplicações. Ela coordena as solicitações e respostas de serviços que ocorrem quando aplicações de diferentes hosts estabelecem comunicação.

Camada de apresentação

A camada de apresentação tem a função geral de representação da informação: sintaxe e semântica. Entre suas funções específicas podemos listar:

- Realiza certas funções de forma padrão, como por exemplo, conversão de códigos de caracteres (EBCDIC, ASCII etc).
- Compressão, criptografia, codificação de inteiro, ponto flutuante etc.

A camada de apresentação, também chamada de camada de tradução, converte o formato do dado recebido pela camada de aplicação em um formato comum a ser usado na transmissão desse dado, ou seja, um formato entendido pelo protocolo usado.



Um exemplo comum é a conversão do padrão de caracteres (código de página) quando o dispositivo transmissor usa um padrão diferente do padrão **ASCII**, padrão muito usado em todo o mundo. Podem existir outros usos, como compressão de dados e criptografia.

ASCII

American Standard Code for Information Interchange, padrão no qual números, letras maiúsculas e minúsculas, sinais de pontuação, símbolos e códigos de controle correspondem a números binários de 0 a 127.

A compressão de dados processa os dados recebidos da camada 7 e os comprime como se fosse um compactador comumente encontrado em computadores (como Zip ou Rar), e a camada de apresentação do dispositivo receptor fica responsável por descompactar esses dados. A transmissão dos dados torna-se mais rápida, já que haverá menos dados a transmitir: os dados recebidos da camada de aplicação foram “encolhidos” e enviados à camada de sessão.

Para aumentar a segurança, pode-se usar algum esquema de criptografia neste nível, sendo que os dados só serão decodificados na camada de apresentação do dispositivo receptor.

Funções da camada de apresentação (camada 6) do modelo OSI:

- Responsável pela apresentação de dados numa forma que o dispositivo de destino possa compreender;
- Serve como tradutor, às vezes entre formatos diferentes, para dispositivos que necessitam se comunicar pela rede;
- Outra função é a cifração/decifração de dados.

Camada de aplicação

A camada de aplicação define uma variedade de protocolos necessários à comunicação. Exemplos: terminais virtuais, transferência de arquivos, correio eletrônico, áudio e videoconferência, acesso remoto, gerência de redes.

A camada de aplicação faz a interface entre o protocolo de comunicação e o aplicativo que pediu ou receberá a informação através da rede. Por exemplo, ao solicitar a recepção de e-mails através do aplicativo de e-mail, este entrará em contato com a camada de aplicação efetuando tal solicitação. Tudo nesta camada é direcionado aos aplicativos. Terminal remoto e transferência de arquivos são exemplos de aplicativos de rede.

Esta camada trata de questões relacionadas às aplicações de rede, e não às aplicações de computador não baseadas em rede. Aplicações como planilhas eletrônicas, processadores de texto e apresentações no PowerPoint não são aplicações de rede. Correio eletrônico, transferência de arquivos, acesso remoto e áudio/videoconferência, entre outras, são aplicações de rede.



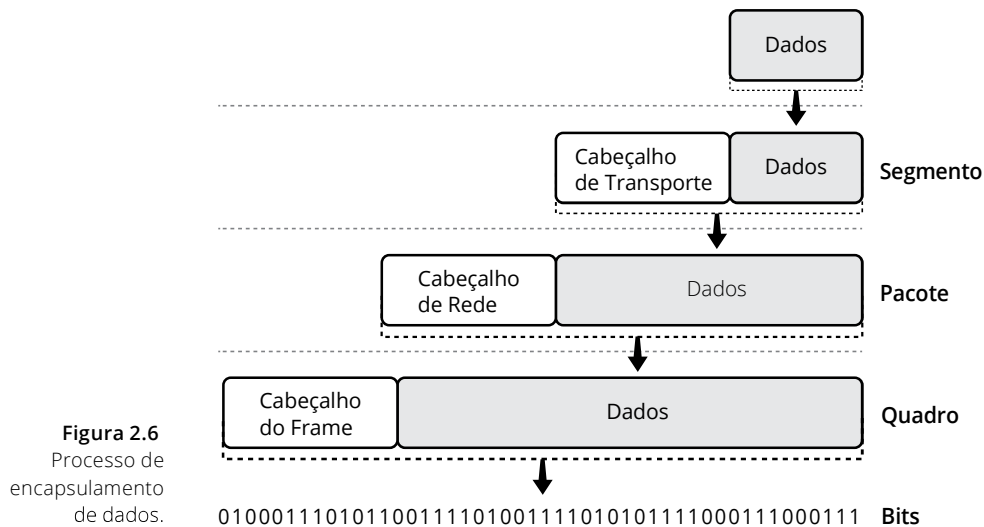
A camada de aplicação do modelo OSI refere-se aos protocolos adotados pelas aplicações de rede e não as próprias aplicações de usuário.

Encapsulamento de dados

Processo que assegura a correta transferência e recuperação de dados – Protocol Data Unit (PDU).

Após a breve descrição das camadas do Modelo de Referência OSI apresentada, vamos exemplificar como as camadas de protocolos transferem informações.





A Figura 2.6 ilustra o processo de transferência de dados da aplicação em uma arquitetura de rede, que, para simplificar, adota apenas 4 camadas, onde os dados da aplicação são entregues à camada de transporte; esta precisa adicionar informações de controle aos dados, para que a camada de transporte do outro lado possa saber o que fazer com os dados. Essas informações são o cabeçalho de transporte. O conjunto cabeçalho/dados é chamado de Protocol Data Unit – PDU (Unidade de Dados do Protocolo) da camada de transporte. Em geral, essa PDU é chamada de Segmento.

A PDU de transporte é entregue à camada de rede que, por sua vez, adiciona suas informações de controle para que os dados possam trafegar pelas redes entre origem e destino. Essas informações são o cabeçalho de rede. O conjunto cabeçalho/dados é chamado de Protocol Data Unit – PDU (Unidade de Dados do Protocolo) da camada de rede. Geralmente, essa PDU é chamada de Datagrama ou Pacote.

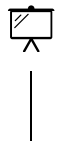
A PDU de rede é entregue à camada de enlace de dados que, por sua vez, adiciona suas informações de controle para que os dados possam trafegar pelo meio físico, entre origem e destino. Essas informações são o cabeçalho de enlace de dados. O conjunto cabeçalho/dados também é chamado de PDU da camada de enlace de dados. Essa PDU é chamada de Quadro.

Finalmente, esse conjunto de informações é enviado pelo meio físico na forma de um fluxo de bits desestruturados. A camada física não tem ideia do que esse fluxo de bits representa.

Comunicação par-a-par

Comunicação em que os pontos se comunicam através da PDU de suas respectivas camadas.

Por exemplo, as camadas de rede da origem e destino são pares e usam pacotes para se comunicar.



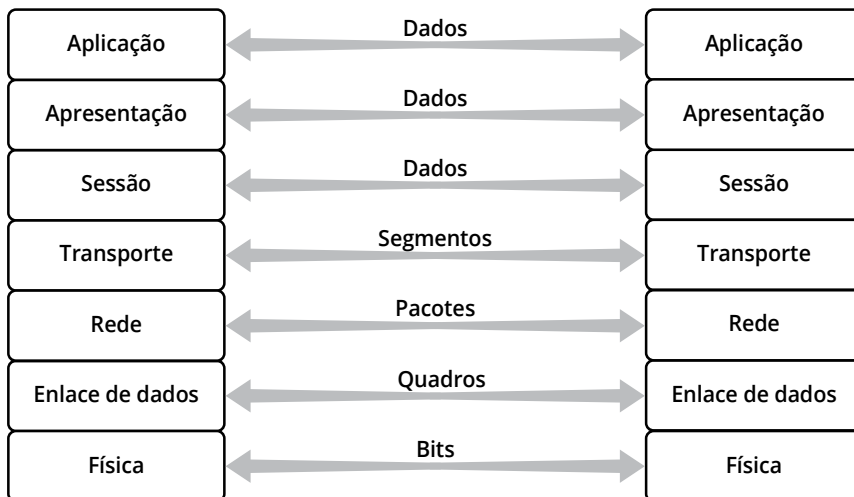


Figura 2.7
Comunicação
par-a-par no
modelo OSI.

Cada camada usa seu próprio protocolo e os serviços da camada inferior para estabelecer comunicação com sua camada par no outro sistema.

Arquitetura TCP/IP

- ▣ Modelo DoD.
- ▣ Documentos de padronização.
- ▣ Conceito de inter-rede.
- ▣ Características básicas.
- ▣ Funções das camadas.
- ▣ Tipos de endereços (lógico e físico).



Essa arquitetura foi concebida para interligar os centros de computação das universidades americanas. Portanto, surgiu como uma rede acadêmica, não como uma rede comercial ou pública de qualquer natureza.

A alternativa existente na época (década de 1960) era a interligação via linhas telefônicas dedicadas (LPs) utilizando equipamentos e software dos fabricantes dos grandes main-frames, principalmente a IBM.

Esse projeto foi concebido no Departamento de Defesa dos EUA e é conhecido como modelo Department of Defense (DoD). A documentação do projeto foi elaborada pela comunidade acadêmica americana envolvida no desenvolvimento do projeto. A proposta da rede inovou em muitos aspectos os conceitos de rede existentes na época e foi tão bem aceita que perdura até os dias de hoje, mantendo sua concepção original nas linhas gerais.

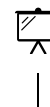
A seguir passamos a descrever as características desse projeto em maiores detalhes.

Histórico

Origem em um projeto militar, desenvolvido a partir de proposta da RAND Co. de 1964, como início do desenvolvimento em 1969. Comutação de pacotes:

- ▣ Rede não confiável.
- ▣ Mensagens divididas em pedaços (pacotes).
- ▣ Roteamento independente por pacote.





- Armazena e encaminha (store and forward).
- Rede experimental ARPANet.

Na década de 60, a RAND Corporation, uma das maiores empresas americanas envolvidas em estratégias para a Guerra Fria, se deparou com um estranho problema estratégico: como as autoridades governamentais americanas poderiam continuar se comunicando após uma guerra nuclear? Além disso, havia a questão da forma como a própria rede poderia ser comandada e controlada. Qualquer autoridade central ou quartel general central seria um alvo óbvio e imediato para um míssil inimigo. O centro da rede seria o primeiro lugar a ser destruído.

A RAND se ocupou deste quebra-cabeça com segredo militar, e chegou a uma solução audaciosa. A proposta da RAND se tornou pública em 1964. Em primeiro lugar, a rede não teria “nenhuma autoridade central”. Além disso, ela seria projetada desde o princípio para operar mesmo destrocada. O princípio era simples: assumiu-se que a rede não era confiável o tempo todo. Ela seria projetada tendo em mente a ideia de “receber e passar adiante”, de modo a transcender sua própria falta de confiabilidade. Cada nó da rede seria igual a todos os outros nós da rede (em termos de status e função), cada um com sua própria autoridade para originar, passar e receber mensagens.



Para obter estes padrões, pesquise por “rfc-index”. Se souber o número do RFC, faça a pesquisa em: <http://www.ietf.org/rfc/rfcNNNN.txt>, onde NNNN = número do RFC desejado.

As mensagens por sua vez seriam divididas em pacotes, com cada pacote endereçado separadamente. Cada pacote começaria de um nó de origem e terminaria no nó de destino final especificado. Cada pacote “viajaria” pela rede sendo tratado de forma individual. A rota seguida por cada pacote através da rede não teria importância. Apenas os resultados finais teriam importância. Basicamente, o pacote seria passado como uma batata quente, de nó para nó, mais ou menos na direção do seu destino final, até chegar ao destino correto. Se grande parte da rede tivesse sido explodida, isso simplesmente não importaria; os pacotes ainda permaneceriam na rede, percorrendo os nós que eventualmente ainda sobrevivessem. Este sistema de transmissão desorganizado pode ser ineficiente quando comparado, por exemplo, com o sistema telefônico; no entanto, ele seria extremamente robusto.

A rede experimental formada pelas universidades americanas foi chamada de ARPANet. As especificações dos protocolos foram elaboradas através de documentos chamados RFCs – Request for Comments (Solicitação de Comentários), que se tornaram os padrões universais.

Década de 70

1970-1979:



Comutação de pacotes

Técnica de comutação em que a comunicação entre as extremidades se processa através da transmissão de blocos (pacotes) de informação, havendo ocupação do canal apenas durante o envio dos pacotes, liberando-o para outra informação nos espaços livres.

- Agência Arpa desenvolve estudos para interconexão de redes baseada em comutação de pacotes.
- Construção da rede ARPANet.
- Surgem as primeiras especificações da família de protocolos TCP/IP para definição dos detalhes de comunicação e convenções para interconectar as redes e realizar o roteamento de tráfego.

Em meados da década de 70, em função da importância da tecnologia de inter-redes, uma agência do Departamento de Defesa (DoD) do governo americano, Advanced Research Projects Agency (Arpa), financiou pesquisas para desenvolvimento de uma tecnologia de inter-redes baseada na **comutação de pacotes**. Dessa iniciativa, resultou a construção da rede ARPANet.

A tecnologia Arpa inclui um conjunto de padrões de redes que especificam os detalhes da comunicação entre os computadores, além de um conjunto de convenções para interco-



nectar as redes individuais e realizar o roteamento do tráfego entre elas. Essa tecnologia, oficialmente denominada família de protocolos TCP/IP, é conhecida como TCP/IP.

Década de 80

1980-1985:

- ▣ Família de protocolos TCP/IP é padronizada na ARPAnet.
- ▣ Início da emergente internet.
- ▣ Arpanet é dividida em duas redes:
 - ▣ Pesquisa experimental (ARPAnet).
 - ▣ Comunicação militar (Milnet).
- ▣ Arpa disponibiliza implementação de baixo custo do TCP/IP e financia a integração em sistemas Unix.

No início da década de 80, a Arpa adotou a família de protocolos TCP/IP em suas redes de pesquisas, demarcando o início da internet. Posteriormente, em 1983, a ARPAnet foi dividida em duas redes: uma para pesquisa experimental, que continuou a ser denominada ARPAnet, e outra para comunicação militar, que foi denominada Milnet.

Para incentivar a adoção da família de protocolos TCP/IP em universidades e centros de pesquisa, a Arpa ofereceu uma implementação de baixo custo e financiou a integração dos protocolos TCP/IP em sistemas Unix. Como resultado, a distribuição do BSD Unix da Universidade de Berkeley incorporou novos serviços e disponibilizou mecanismos que facilitaram a programação de aplicações distribuídas usando os protocolos TCP/IP.

Década de 90

1985-1990:

- ▣ National Science Foundation (NSF) incentiva a expansão de redes TCP/IP para a comunidade científica.
- ▣ Criação do backbone da rede NSFNET.
 - ▣ Interligação de centros de supercomputação.
 - ▣ Conexão com a ARPAnet.
- ▣ Adoção dos protocolos TCP/IP por organizações comerciais.
- ▣ Crescimento do tamanho e uso da internet no mundo.

Em 1985, a National Science Foundation (NSF), agência de fomento de ciências do governo americano, incentivou a expansão de redes TCP/IP para a maioria dos cientistas americanos, por reconhecer o potencial da comunicação em rede para a comunidade científica. Como resultado desse esforço, surgiu um novo backbone de longa distância, denominado NSFNET, que interligava todos os centros de supercomputação e se conectava com a ARPAnet.

A partir de 1986, a NSF financiou diversas redes regionais com o objetivo de interconectar a comunidade científica das várias regiões. Todas estas redes adotavam os protocolos TCP/IP e faziam parte da assim denominada internet. Cerca de sete anos após seu surgimento, a internet já era composta por centenas de redes localizadas nos Estados Unidos e na Europa. Desde então, continuou a crescer rapidamente, em tamanho e em uso. A adoção dos protocolos TCP/IP e o avanço da internet não se limitaram a projetos financiados pelas agências governamentais. A partir de 1990, diversas organizações comerciais adotaram os protocolos TCP/IP e começaram a se conectar à internet.



Embora inicialmente tenha sido um projeto de pesquisa financiado pelo governo americano, a adoção dos protocolos TCP/IP excedeu as expectativas originais. A intenção inicial era desenvolver uma tecnologia de interconexão de redes baseada na técnica de comutação de pacotes. Hoje, essa família de protocolos forma a base tecnológica da internet, a maior rede de longa distância existente e, reconhecidamente, o exemplo mais expressivo de interconexão de redes de computadores, pois interconecta milhões de computadores em universidades, escolas, empresas e lares.

Família de protocolos TCP/IP

Conjunto de padrões de redes que permite a interconexão de redes e sistemas heterogêneos, como redes físicas com diferentes tecnologias de acesso, e equipamentos desenvolvidos por diferentes fabricantes, com arquiteturas de hardware distintas que executam diferentes sistemas operacionais.

Quem pode usar?

- Qualquer organização que queira interconectar suas diversas redes na forma de uma inter-rede.
- Não requer uma conexão com a internet.

A família de protocolos TCP/IP permite a interconexão de diferentes tipos de computadores de diversos fabricantes, equipados com arquiteturas distintas de hardware, executando múltiplos sistemas operacionais e usando diferentes tecnologias de acesso.

A internet é apenas uma demonstração concreta da viabilidade da tecnologia TCP/IP. Essa família de protocolos pode ser utilizada, por qualquer organização, como tecnologia para conectar internamente os componentes de uma única rede ou para interconectar suas diversas redes na forma de uma inter-rede, independentemente de estar ou não conectada à internet.

Para entender o funcionamento da família de protocolos TCP/IP, vamos apresentar o modelo de interconexão desse tipo de rede, enfatizando os mecanismos que viabilizam a interação dos diversos protocolos. As diversas tecnologias de redes definem como os dispositivos devem se conectar às respectivas redes. Já uma tecnologia de inter-rede define como as redes são interconectadas entre si, permitindo que cada equipamento possa se comunicar com os demais equipamentos das várias redes.

Em uma inter-rede TCP/IP, duas ou mais redes físicas somente podem ser interconectadas por um equipamento especial, chamado roteador, cuja função é encaminhar pacotes de uma rede para outra. Para rotear corretamente os pacotes, os roteadores precisam conhecer a topologia da inter-rede, e não apenas as redes físicas às quais estão diretamente conectados. Assim, eles precisam manter informações de roteamento de todas as redes que fazem parte da inter-rede.

Os usuários enxergam a inter-rede como uma rede virtual única à qual todos os dispositivos estão conectados, independentemente da forma das conexões físicas. Para isso, uma inter-rede TCP/IP adota um mecanismo de endereçamento universal, baseado em endereços IP, que permite a identificação única de cada dispositivo.

Motivação para nova família de protocolos

A evolução das tecnologias de comunicação e a redução dos custos dos computadores constituem os principais fatores para a ampla adoção das redes de computadores nas organizações. As redes são projetadas, essencialmente, para compartilhar recursos de hardware e software e viabilizar a troca de informações entre usuários. No entanto, as atuais tecnolo-



gias de redes restringem o número de dispositivos conectados e são, geralmente, incompatíveis entre si. Por exemplo, dispositivos conectados a uma rede que adota a tecnologia Ethernet não interagem diretamente com outros que utilizam a tecnologia Token Ring. Isso dificulta a comunicação entre grandes grupos de usuários, e impede que usuários de redes distintas se comuniquem entre si.

Solução para nova família de protocolos

Alternativas:

- ▣ Adotar mecanismos que permitam a interoperabilidade.
- ▣ Interconectar as diferentes redes.
- ▣ Compatibilizar a heterogeneidade das múltiplas tecnologias de redes.

A solução para isso é a tecnologia de inter-redes.

Para viabilizar essa comunicação, a única alternativa é adotar mecanismos que permitam a interoperabilidade, interconectando e compatibilizando as múltiplas redes heterogêneas. A interconexão dessas várias redes é denominada inter-rede.

Tecnologia de inter-redes

Conjunto de protocolos que permitem a interconexão de redes heterogêneas. Benefícios:

- ▣ Acomoda múltiplas plataformas de hardware e software.
- ▣ Esconde detalhes do hardware de rede.
- ▣ Permite a comunicação dos dispositivos de forma independente do tipo de rede física adotada.

Nas últimas décadas, a tecnologia de inter-redes foi desenvolvida para possibilitar a interconexão de diferentes tipos de tecnologias de redes, acomodando múltiplas plataformas de hardware e software, com base em um conjunto de protocolos que definem as regras de comunicação. Essa tecnologia esconde detalhes do hardware de rede e permite que os dispositivos se comuniquem, independentemente do tipo de rede física adotada.

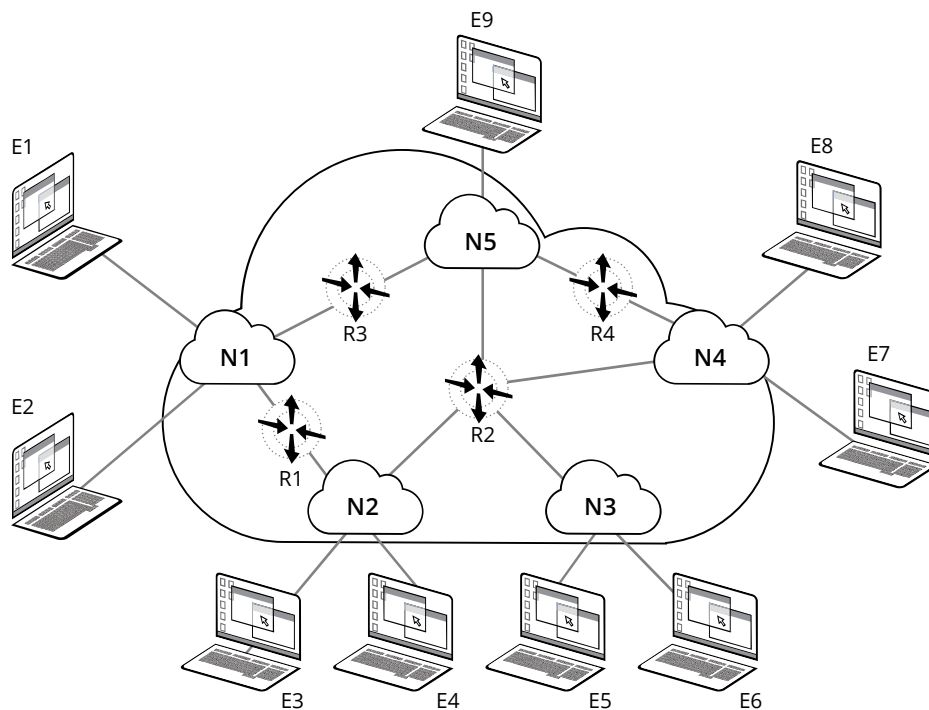


Figura 2.8
Modelo inter-rede.

Modelo de interconexão



Roteador:

- Possui conexões com duas ou mais redes.
- Não provê conexão direta com todas as redes físicas.
- Roteia pacotes de uma rede para outra.
- Mantém informações de roteamento para todas as redes.
- Também denominado gateway ou sistema intermediário.

Estação:

- Dispositivo do usuário conectado a alguma rede física da inter-rede.
- Estação multihomed pode atuar como um roteador; requer ativação da função de roteamento de pacotes entre redes.
- Também denominada host ou sistema final.

Visão do usuário:

- Usuários veem a inter-rede como uma rede virtual única à qual todos os dispositivos estão conectados.
- Usuários não conhecem as diversas redes físicas individuais.
- Adota um mecanismo de endereçamento universal, baseado em endereços IP, que permite a identificação única de cada dispositivo da inter-rede.

A Figura 2.8 ilustra o modelo de interconexão de uma inter-rede TCP/IP. Neste exemplo, quando a estação E1 deseja enviar pacotes para a estação E3, encaminha os pacotes através da rede N1 para o roteador R1, que, por sua vez, entrega-os diretamente para a estação E3, através da rede N2.

É importante notar que os roteadores não estabelecem conexão direta entre todas as redes físicas. Para alcançar um determinado destino, pode ser necessário encaminhar os pacotes através de diversos roteadores e redes intermediárias. Observe que podem existir diferentes alternativas de encaminhamento dos pacotes entre alguns pares de estações.

No exemplo da figura, quando a estação E1 deseja transmitir pacotes para a estação E5, pode encaminhá-los, através da rede N1, para os roteadores R1 ou R3, que se apresentam como possíveis alternativas até o destino. Se E1 adotar o caminho via R1, este, por sua vez, roteia os pacotes para o roteador R2 através da rede N2. Por fim, R2 entrega os pacotes para a estação E5 através da rede N3.

Por definição, um roteador possui conexões físicas com duas ou mais redes. Qualquer dispositivo que possua várias conexões físicas é denominado multihomed. Uma estação pode também ser multihomed. Caso o roteamento de pacotes seja habilitado, uma estação multihomed pode operar como um roteador. Portanto, roteadores não são, necessariamente, equipamentos especializados na função de roteamento, mas podem ser estações convencionais com várias conexões físicas e que possuem a função de roteamento configurada.

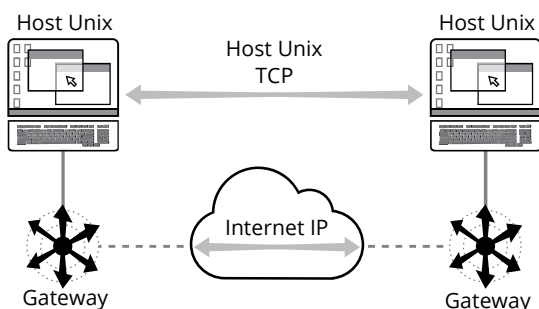
No TCP/IP, estações são também conhecidas como hosts ou sistemas finais. Por ser a internet um exemplo concreto de inter-rede TCP/IP, pode-se concluir que ela é composta por uma coleção de diferentes redes físicas independentes, interconectadas por meio de diversos roteadores. Entretanto, essa estrutura de interconexão de redes não é percebida pelos usuários da internet, que a veem apenas como uma rede global única que permite a comunicação das estações a ela conectadas.



A inter-rede adota um mecanismo de endereçamento universal baseado em endereços IP, que permite a identificação única de cada dispositivo na inter-rede, não importando em qual rede física ele está conectado. É baseado nesse mecanismo de endereçamento universal que os roteadores encaminham os pacotes entre as diversas redes físicas que compõem a inter-rede.

Arquitetura em camadas

Uma arquitetura de rede, tal como a definida pela família de protocolos TCP/IP, é uma combinação de diferentes protocolos nas várias camadas.



- TCP - Transmission Control Protocol
- IP - Internet Protocol

Figura 2.9
Concepção da arquitetura TCP/IP.

A Figura 2.9 resume a concepção da arquitetura TCP/IP. Os dois principais protocolos são o TCP e o IP, que fazem as funções das camadas de Transporte e Rede, respectivamente. Abaixo do IP está a rede física e acima do TCP a aplicação. O TCP, padronizado pelo RFC 793, é um protocolo fim-a-fim, denominado pelos projetistas da internet como "Host to Host Protocol".

O IP, encarregado do roteamento de pacotes e padronizado pelo RFC 791, é o protocolo inter-redes ou *Internet Protocol*. O gateway que conecta o host à internet, é o que hoje chamamos de roteador. Ainda é usada a denominação "gateway padrão" para indicar o endereço do roteador que faz a conexão de um host com as demais redes.

Camadas da arquitetura TCP/IP

A arquitetura de rede definida pela família de protocolos TCP/IP é denominada arquitetura internet TCP/IP, ou simplesmente arquitetura TCP/IP. Conforme ilustra a Figura 2.10, a arquitetura TCP/IP é organizada em quatro camadas: Aplicação, Transporte, Rede e Interface de Rede (Rede Física).

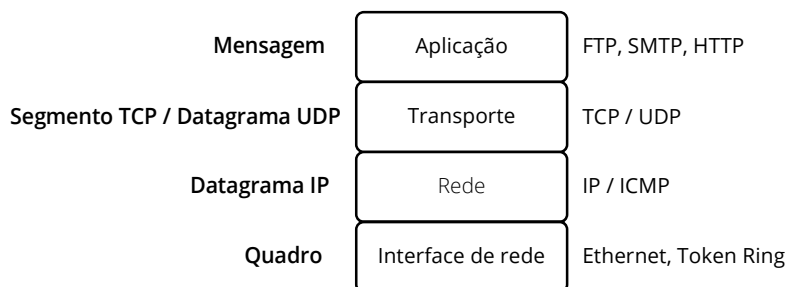
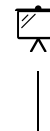


Figura 2.10
Camadas da arquitetura TCP/IP.

Camada de aplicação

A camada de aplicação define a sintaxe e a semântica das mensagens trocadas entre aplicações. É a única camada cuja implementação é realizada através de processos do sistema operacional.



A camada de aplicação trata os detalhes específicos de cada tipo de aplicação. Na família de protocolos TCP/IP, existem diversos protocolos de aplicação que são suportados por quase todos os sistemas. Por exemplo:

- Telnet – terminal virtual;
- FTP (File Transfer Protocol) – transferência de arquivos;
- SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) – correio eletrônico;
- SNMP (Simple Network Management Protocol) – gerenciamento de redes;
- DNS (Domain Name System) – mapeamento de nomes em endereços de rede;
- HTTP (Hypertext Transfer Protocol) – WWW (World Wide Web).

Cada protocolo de aplicação define a sintaxe e a semântica das mensagens trocadas entre os programas de aplicação. Em geral, a camada de aplicação é implementada usando processos de usuários, que são representações do sistema operacional para programas em execução. Por outro lado, as demais camadas (transporte, inter-rede e interface de rede) são implementadas diretamente no núcleo (kernel) do sistema operacional.

Camada de transporte

A camada de transporte provê comunicação fim-a-fim entre aplicações.

TCP (Transmission Control Protocol):

- Orientado à conexão.
- Provê fluxo confiável de dados.
- Divide o fluxo de dados em segmentos.

UDP (User Datagram Protocol):

- Provê serviço de datagrama não confiável.



Protocolo orientado a conexão

Adota o conceito de conexão para gerenciar a comunicação entre as entidades comunicantes.

Protocolo não orientado a conexão

Trata cada unidade de dados como uma entidade individual, que é enviada da origem ao destino sem a necessidade de estabelecer uma conexão entre as entidades comunicantes.

A camada de transporte provê a comunicação fim-a-fim entre aplicações. A arquitetura TCP/IP define dois diferentes protocolos de transporte:

- TCP – Transmission Control Protocol é um **protocolo orientado a conexão** que provê um fluxo confiável de dados, oferecendo serviços de controle de erro, controle de fluxo e sequência. O TCP divide o fluxo de dados em segmentos que são enviados de uma estação para outra de forma confiável, garantindo que sejam entregues à aplicação destino na sequência correta e sem erros.
- UDP – User Datagram Protocol é um protocolo mais simples, **não orientado a conexão**, que oferece um serviço de datagrama não confiável. O UDP apenas envia pacotes, denominados datagramas UDP, de uma estação para outra, mas não garante que sejam entregues à aplicação destino.



Camada de rede

A camada de rede realiza transferência e roteamento de pacotes entre dispositivos da inter-rede.

IP (Internet Protocol):

- Provê serviço de datagrama não confiável.
- Envia, recebe e roteia datagramas IP.

ICMP (Internet Control Message Protocol):

- Permite a troca de informações de erro e controle entre camadas de rede de estações distintas.

A camada de rede, também conhecida como camada de inter-rede, é responsável pela transferência de dados entre dispositivos da inter-rede. É nela que se realiza a função de roteamento. Os principais componentes desta camada são os seguintes protocolos:

- IP – o Internet Protocol oferece um serviço de datagrama não confiável entre dispositivos da inter-rede. O protocolo IP envia, recebe e roteia pacotes, denominados datagramas IP, entre as várias estações da inter-rede, mas não garante que os mesmos sejam entregues à estação destino. Com isso, datagramas podem ser perdidos, duplicados ou chegarem em sequência diferente daquela em que foram enviados.
- ICMP – o Internet Control Message Protocol auxilia o protocolo IP, pois é usado pelas camadas de rede de estações distintas para troca de mensagens de erro e outras informações de controle essenciais.

Camada de interface de rede

- Compatibiliza a tecnologia da rede física com o protocolo IP.
- Aceita datagramas IP e transmite na rede física sob a forma de quadros.
- Trata os detalhes de hardware da conexão física e transmissão de dados.
- Geralmente inclui o driver de dispositivo e a placa de rede.

A camada de interface de rede, também conhecida como camada de enlace de dados, é responsável por aceitar datagramas IP da camada de rede e transmiti-los, na rede física específica, na forma de quadros. Ela compatibiliza a tecnologia da rede física com o protocolo IP.

Geralmente, esta camada inclui o driver de dispositivo no sistema operacional e a respectiva placa de rede, tratando os detalhes de hardware para conexão física com a rede e transmissão de dados no meio físico. Assim, podemos dizer que a camada de interface de rede é basicamente suportada pela própria tecnologia da rede física.

Encapsulamento

Os processos de encapsulamento e desencapsulamento são essenciais para a compreensão do funcionamento da arquitetura em camadas TCP/IP. Em qualquer arquitetura em camadas, inclusive na arquitetura TCP/IP, os dados são gerados pelas aplicações e, em seguida, descem na pilha de protocolos até serem efetivamente enviados através da rede física. Durante a descida na pilha de protocolos, esses dados passam por um processo denominado encapsulamento.



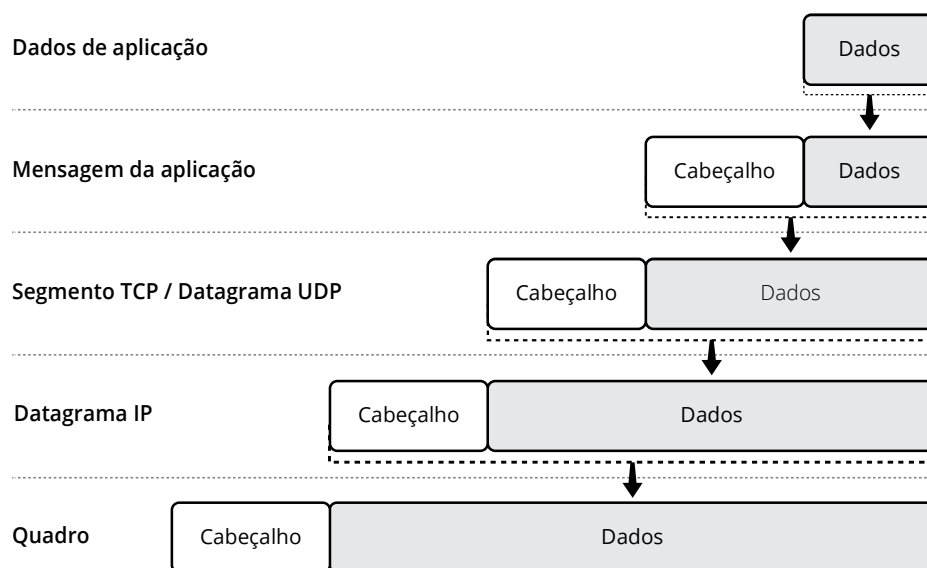


Figura 2.11
Processo de encapsulamento TCP/IP.

A Figura 2.11 mostra o processo de encapsulamento que ocorre quando uma aplicação envia dados na arquitetura TCP/IP. Conforme se pode constatar, cada camada adiciona informações de controle aos dados recebidos da camada imediatamente superior e, em seguida, entrega os dados e o controle adicionados à camada inferior.

Os dados recebidos e as informações de controle de uma camada são conjuntamente denominados “unidade de dados do protocolo” da camada (Protocol Data Unit ou simplesmente PDU). É importante notar que a unidade de dados do protocolo de uma determinada camada é encapsulada diretamente no campo de dados da camada imediatamente inferior.

Na arquitetura TCP/IP, o processo de encapsulamento começa com a entrega dos dados a serem transmitidos para a entidade da camada de aplicação, que, por sua vez, monta mensagens do protocolo específico da aplicação. Tais mensagens são entregues à camada de transporte. Cada aplicação decide o mecanismo de transporte que deve utilizar. Se a aplicação adota o protocolo TCP, as mensagens são encapsuladas em segmentos. O protocolo TCP divide o fluxo de dados em segmentos que são enviados de uma estação para outra de forma confiável, garantindo que sejam entregues à aplicação destino na sequência correta e sem erros. Se a aplicação adota o protocolo UDP, as mensagens são encapsuladas em datagramas UDP. O protocolo UDP apenas envia pacotes, denominados datagramas UDP, de uma estação para outra, mas não garante que sejam entregues à aplicação destino.

Os dois protocolos de transporte, TCP e UDP, transportam suas unidades de dados (segmentos e datagramas) usando o protocolo IP. Dessa forma, segmentos TCP e datagramas UDP são igualmente encapsulados no campo de dados de datagramas IP. Por fim, datagramas IP são encapsulados em quadros da rede física, para serem efetivamente transmitidos.

Na prática, o protocolo IP é utilizado pelos protocolos ICMP, TCP e UDP. Assim, cada datagrama IP deve utilizar algum identificador no cabeçalho para indicar o protocolo que está sendo encapsulado no campo de dados. Essa identificação é realizada usando um campo do cabeçalho do datagrama IP, denominado *protocol* (protocolo), que contém os valores 1, 6 e 17 para sinalizar que os dados transportados pertencem aos protocolos ICMP, TCP e UDP, respectivamente.

Da mesma forma, diferentes aplicações podem utilizar os protocolos TCP e UDP como mecanismos de transporte. Para isso, cada segmento TCP e cada datagrama UDP devem utilizar algum identificador no cabeçalho para indicar a aplicação que está sendo encapsulada no

campo de dados. Essa identificação é realizada usando o conceito de porta, um número inteiro associado a cada programa de aplicação específico. Os cabeçalhos de segmentos TCP e datagramas UDP possuem campos que identificam as portas das aplicações comunicantes.

Exercício de fixação 1

Demonstração do processo de encapsulamento

Para exemplificar as camadas de protocolos, vamos analisar um quadro capturado em uma rede local Ethernet durante uma sessão de um host com um servidor web, que usa o protocolo de aplicação HTTP, e o protocolo de transporte TCP. Mostraremos o processo de encapsulamento descrito na parte teórica. Recorde a Figura 2.11, que mostra o processo de encapsulamento.

Para que possamos analisar conjuntamente o mesmo quadro, usaremos um arquivo com os quadros previamente capturados, nomeado “Sessao2_captura1”. Para abrir este arquivo de captura, utilizando o Wireshark, selecionamos o ícone da barra de ferramentas que representa uma pasta (6º da esquerda para a direita).

Para esta análise, selecionamos o pacote nº 258, enviado do servidor web para o host do usuário, exatamente como mostrado na figura a seguir (tela principal do Wireshark). Neste caso, ambos estão na mesma rede local.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
258	7.325574	192.168.0.1	192.168.0.199	HTTP	132	HTTP/1.1 200 OK
+ Frame 258: 132 bytes on wire (1056 bits), 132 bytes captured (1056 bits)						
+ Ethernet II, Src: D-Link_f8:4c:6b (00:17:9a:f8:4c:6b), Dst: AcerNetx_01:d3:06 (00:60:67:01:d3:06)						
+ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.1 (192.168.0.1), Dst: 192.168.0.199 (192.168.0.199)						
+ Transmission Control Protocol, Src Port: http (80), Dst Port: rockwell-cs (2223)						
+ Hypertext Transfer Protocol						
0000	00 60 67 01 d3 06 00 17	9a f8 4c 6b 08 00 45 00	. .q..... ..Lk..E.			
0010	00 76 00 06 00 00 40 06	f8 63 c0 a8 00 01 c0 a8	.v.....@. .c.....			
0020	00 c7 00 50 08 af 03 b5	0e cb dc d9 cb ae 50 10	...P.....P.			
0030	16 d0 51 94 00 00 48 54	54 50 2f 31 2e 31 20 32	..Q...HT TP/1.1 2			
0040	30 30 20 4f 4b 0d 0a 43	6f 6e 74 65 6e 74 2d 54	00 OK..C ontent-T			
0050	79 70 65 3a 20 61 70 70	6c 69 63 61 74 69 6f 6e	ype: app lication			
0060	2f 78 2d 6a 61 76 61 73	63 72 69 70 74 0d 0a 43	/x-javas cript..C			
0070	6f 6e 6e 65 63 74 69 6f	6e 3a 20 63 6c 6f 73 65	onnectio n: close			
0080	0d 0a 0d 0a				

Na janela inferior, há o conteúdo total do pacote (132 bytes), representado na forma hexadecimal (da posição x'0000' até a posição x'0083'). Cada linha representa 16 bytes (8 linhas x 16 = 128 + 4 = 132 bytes). Na janela imediatamente acima estão representadas as diversas camadas de protocolos, a saber:

- **Camada física** – frame 258 (132 bytes on wire, 132 bytes captured); identifica o quadro no arquivo e conta a quantidade de bytes total;
- **Camada de enlace de dados** – Ethernet II, Src: D-Link_f8:4c:6b (00:17:9a:f8:4c:6b), Dst: AcerNetx_01:d3:06 (00:60:67:01:d3:06); identifica os endereços físicos de origem e destino do quadro; em ambos identifica o fabricante da placa de rede pelos 3 primeiros octetos;
- **Camada de rede** – Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.1 (192.168.0.1), Dst: 192.168.0.199 (192.168.0.199); identifica os endereços de rede IP de origem e destino;
- **Camada de transporte** – Transmission Control Protocol, Src Port: http (80), Dst Port: 2223 (2223), Seq: 1, Ack: 305, Len: 78; identifica o protocolo TCP e as respectivas portas TCP que representam as aplicações de cada lado;

Figura 2.12
Detalhe da camada de enlace de dados do pacote 258.

- **Camada de aplicação** – Hypertext Transfer Protocol; identifica o protocolo da aplicação.

Cada camada, quando selecionada, faz com que os bytes correspondentes fiquem destacados na janela inferior. A figura anterior mostra o cabeçalho da camada de enlace de dados que tem o tamanho de 14 bytes. Se tivéssemos selecionado a camada física, todo o quadro estaria em destaque (132 bytes). As próximas figuras mostram em destaque os dados das camadas de rede, transporte e aplicação, respectivamente.

Na figura seguinte estão destacados os bytes do cabeçalho do protocolo IP (20 bytes).

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
258	7.325574	192.168.0.1	192.168.0.199	HTTP	132	HTTP/1.1 200 OK
+ Frame 258: 132 bytes on wire (1056 bits), 132 bytes captured (1056 bits)						
+ Ethernet II, Src: D-Link_f8:4c:6b (00:17:9a:f8:4c:6b), Dst: AcerNetx_01:c						
+ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.1 (192.168.0.1), Dst: 192.168						
+ Transmission Control Protocol, Src Port: http (80), Dst Port: rockwell-cs						
+ Hypertext Transfer Protocol						
0000	00 60 67 01 d3 06 00 17	9a f8 4c 6b 08 00 45 00	.g.....Lk..E.			
0010	00 76 00 06 00 00 40 06	f8 63 c0 a8 00 01 c0 a8	.v....@. .C.....			
0020	00 c7 00 50 08 af 03 b5	0e cb dc d9 cb ae 50 10	..P.....P.			
0030	16 d0 51 94 00 00 48 54	54 50 2f 31 2e 31 20 32	..Q...HT TP/1.1 2			
0040	30 30 20 4f 4b 0d 0a 43	6f 6e 74 65 6e 74 2d 54	00 OK..C ontent-T			
0050	79 70 65 3a 20 61 70 70	6c 69 63 61 74 69 6f 6e	ype: app lication			
0060	2f 78 2d 6a 61 76 61 73	63 72 69 70 74 0d 0a 43	/x-javas cript..C			
0070	6f 6e 6e 65 63 74 69 6f	6e 3a 20 63 6c 6f 73 65	onnectio n: close			
0080	0d 0a 0d 0a				

Figura 2.13 Na figura seguinte estão destacados os bytes do cabeçalho do protocolo TCP (20 bytes).

Detalhe da
camada de rede
do pacote 258.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
258	7.325574	192.168.0.1	192.168.0.199	HTTP	132	HTTP/1.1 200 OK
+ Frame 258: 132 bytes on wire (1056 bits), 132 bytes captured (1056 bits)						
+ Ethernet II, Src: D-Link_f8:4c:6b (00:17:9a:f8:4c:6b), Dst: AcerNetx_01:c						
+ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.1 (192.168.0.1), Dst: 192.168						
+ Transmission Control Protocol, Src Port: http (80), Dst Port: rockwell-cs						
+ Hypertext Transfer Protocol						
0000	00 60 67 01 d3 06 00 17	9a f8 4c 6b 08 00 45 00	.g.....Lk..E.			
0010	00 76 00 06 00 00 40 06	f8 63 c0 a8 00 01 c0 a8	.v....@. .C.....			
0020	00 c7 00 50 08 af 03 b5	0e cb dc d9 cb ae 50 10	..P.....P.			
0030	16 d0 51 94 00 00 48 54	54 50 2f 31 2e 31 20 32	..Q...HT TP/1.1 2			
0040	30 30 20 4f 4b 0d 0a 43	6f 6e 74 65 6e 74 2d 54	00 OK..C ontent-T			
0050	79 70 65 3a 20 61 70 70	6c 69 63 61 74 69 6f 6e	ype: app lication			
0060	2f 78 2d 6a 61 76 61 73	63 72 69 70 74 0d 0a 43	/x-javas cript..C			
0070	6f 6e 6e 65 63 74 69 6f	6e 3a 20 63 6c 6f 73 65	onnectio n: close			
0080	0d 0a 0d 0a				

Figura 2.14
Detalhe da camada
de transporte do
pacote 258.

Finalmente, na figura a seguir aparecem em destaque os bytes correspondentes à mensagem HTTP, incluindo o cabeçalho e os dados da aplicação. Note que essa mensagem tem o tamanho de 78 bytes, conforme informado pelo Wireshark, linha da camada de transporte, último campo (Len: 78). Observe que, como o protocolo TCP é o único que faz a interface com a aplicação, somente ele poderia saber o tamanho da mensagem da aplicação.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
258	7.325574	192.168.0.1	192.168.0.199	HTTP	132	HTTP/1.1 200 OK
+ Frame 258: 132 bytes on wire (1056 bits), 132 bytes captured (1056 bits)						
+ Ethernet II, Src: D-Link_f8:4c:6b (00:17:9a:f8:4c:6b), Dst: AcerNetx_01:						
+ Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.0.1 (192.168.0.1), Dst: 192.168.0.199						
+ Transmission Control Protocol, Src Port: http (80), Dst Port: rockwell-c						
+ Hypertext Transfer Protocol						
0000	00 60 67 01 d3 06 00 17	9a f8 4c 6b 08 00 45 00	.g.....Lk..E.			
0010	00 76 00 06 00 00 40 06	f8 63 c0 a8 00 01 c0 a8	.v....@.C.....			
0020	00 c7 00 50 08 af 03 b5	0e cb dc d9 cb ae 50 10	...P.....P.			
0030	16 d0 51 94 00 00 48 54	54 50 2f 31 2e 31 20 32	..Q...HT TP/1.1 2			
0040	30 30 20 4f 4b 0d 0a 43	6f 6e 74 65 6e 74 2d 54	00 OK..C ontent-T			
0050	79 70 65 3a 20 61 70 70	6c 69 63 61 74 69 6f 6e	ype: app lication			
0060	2f 78 2d 6a 61 76 61 73	63 72 69 70 74 0d 0a 43	/x-javas cript..C			
0070	6f 6e 6e 65 63 74 69 6f	6e 3a 20 63 6c 6f 73 65	onnectio n: close			
0080	0d 0a 0d 0a				

Figura 2.15
Detalhe da camada de aplicação do pacote 258.

Verificação final do tamanho total do quadro:

14 bytes (cabeçalho Ethernet) + 20 bytes (cabeçalho IP) + 20 bytes (cabeçalho TCP) + 78 bytes (mensagem da aplicação) = 132 bytes.

Desencapsulamento

Na recepção, ocorre o processo inverso ao encapsulamento. Conforme mostra a Figura 2.16, cada unidade de dados sobe na pilha de protocolos até que os dados sejam efetivamente entregues ao programa de aplicação. Cada camada trata as suas informações de controle, realizando funções específicas de acordo com a informação contida no cabeçalho.

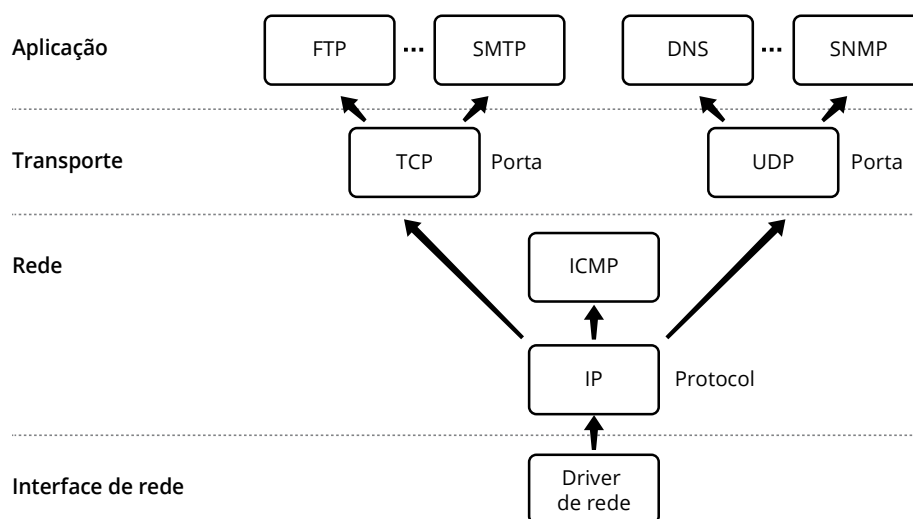


Figura 2.16
Processo de desencapsulamento TCP/IP.

Em seguida, o cabeçalho da unidade de dados é removido e apenas o campo de dados é entregue à camada imediatamente superior. Consequentemente, o campo de dados de uma dada camada representa a unidade de dados (cabeçalho somado aos dados propriamente ditos) da camada imediatamente superior. Esse processo é denominado desencapsulamento.

Vamos acompanhar os detalhes desse processo. O processo de desencapsulamento começa com a recepção de um quadro da rede física. A camada de interface de rede realiza o tratamento adequado do quadro, efetuando, por exemplo, a detecção de erros de transmissão. Assim, após realizar suas funções, a camada de interface de rede entrega o respectivo datagrama diretamente ao protocolo IP, implementado no sistema operacional.

Caso a estação em questão seja o destino final do datagrama, o protocolo IP entrega o conteúdo do campo de dados do datagrama à camada de transporte ou ao protocolo ICMP. Para tal, o campo *Protocol* (protocolo) do datagrama é avaliado para identificar se o conteúdo é uma mensagem ICMP, um segmento TCP ou um datagrama UDP, e, depois, realizar a entrega ao protocolo correspondente (ICMP, TCP ou UDP, respectivamente).

Por fim, baseados nos campos do cabeçalho que identificam as portas das aplicações comunicantes, os protocolos TCP e UDP extraem a mensagem encapsulada e entregam diretamente ao programa de aplicação de destino. Já no caso de uma mensagem ICMP, a unidade de dados já atingiu o destino final e, assim, não sobe mais na pilha de protocolos.

O processo de desencapsulamento ocorre tanto na estação de destino quanto nos vários roteadores intermediários. No entanto, como os datagramas IP devem ser encaminhados adiante nos roteadores intermediários, a unidade de dados encapsulada no datagrama IP não sobe na pilha de protocolos. Em vez disso, o datagrama IP passa por um novo processo de encapsulamento. Em conjunto, os processos de encapsulamento e desencapsulamento asseguram a correta comunicação entre entidades pares de uma dada camada. Ou seja, a entidade de destino sempre recebe uma cópia idêntica da unidade de dados enviada pela entidade de origem.

Interação dos protocolos

Para alcançar uma determinada estação de destino, datagramas IP devem (se possível) ser roteados através de diversos roteadores e redes intermediárias. A Figura 2.17 ilustra uma inter-rede TCP/IP que será utilizada para a análise do processo de interação dos protocolos.

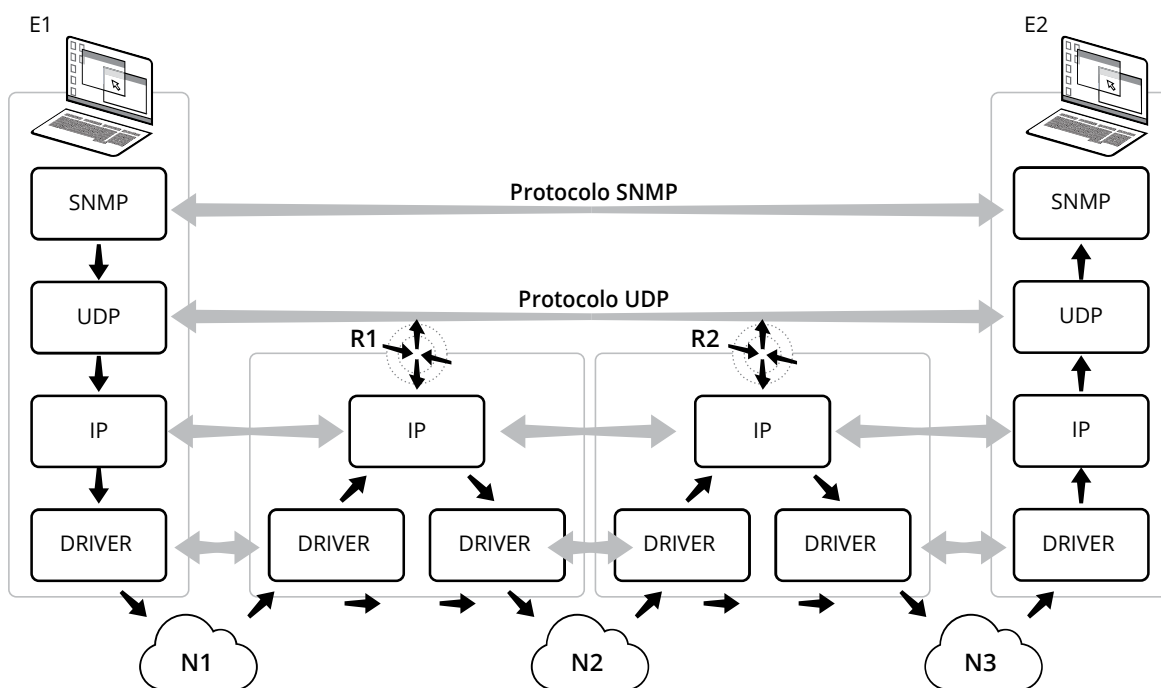


Figura 2.17
Interação dos
protocolos TCP/IP.

Essa inter-rede é composta por três redes físicas distintas (N1, N2 e N3), interconectadas por dois roteadores (R1 e R2). Vamos supor que a estação E1 deseje transmitir uma mensagem do protocolo de aplicação SNMP para a estação E2 usando o protocolo UDP como mecanismo de transporte. As seguintes etapas podem ser observadas na inter-rede analisada:

- Logo após montar uma mensagem SNMP, o programa de aplicação na estação E1 solicita ao sistema operacional que envie a mensagem usando o protocolo UDP, tendo como destino a estação E2.
- O sistema operacional monta um datagrama UDP, incluindo no cabeçalho os identificadores das portas associadas às aplicações de origem e destino, e encapsula a mensagem SNMP no campo de dados.
- Em seguida o sistema operacional encapsula o datagrama UDP em um datagrama IP, incluindo no cabeçalho os endereços IP das estações de origem e destino, e insere o datagrama UDP no campo de dados. Além disso, o cabeçalho do datagrama IP sinaliza no campo *Protocol* que transporta um datagrama UDP.
- Baseado nas informações de roteamento mantidas na estação E1, o sistema operacional roteia o datagrama IP para o roteador R1. Nesse processo, o datagrama IP é encapsulado em um quadro da rede física N1 e, então, transmitido pela camada de interface de rede.
- Após receber o quadro da rede física N1, a camada de interface de rede associada à rede N1 do roteador R1 extrai o datagrama IP e o decodifica.
- Ao observar o endereço IP de destino no cabeçalho do datagrama, o roteador R1 percebe que esse datagrama não é endereçado a ele e a nenhuma estação da rede N2.
- O roteador R1 encaminha o datagrama para o roteador R2, baseado nas informações de roteamento mantidas no roteador R1. Nesse processo, o datagrama IP é encapsulado em um quadro da rede física N2, e então transmitido pela camada de interface de rede associada a essa rede.
- Quando recebe o quadro da rede física N2, a camada de interface de rede associada à rede N2 do roteador R2 extrai o datagrama IP e o decodifica. Pelo endereço IP de destino, informado no cabeçalho do datagrama, o roteador também percebe que o roteador R2 não é o destino final desse datagrama.
- Com base nas informações de roteamento mantidas no roteador R2, ele descobre que pode enviar o datagrama IP diretamente para a estação de destino. Assim, o datagrama IP é encapsulado em um quadro da rede física N3 e então transmitido pela camada de interface de rede associada a essa rede.
- Ao receber o quadro, a camada de interface de rede da estação E2 extrai o datagrama IP e o decodifica. Como o endereço IP de destino (informado no cabeçalho do datagrama) é o da própria estação E2, o sistema operacional percebe que o datagrama é destinado àquela estação.
- O sistema operacional avalia o campo *Protocol* do datagrama IP e descobre que um datagrama UDP é transportado no campo de dados. O sistema operacional extrai o datagrama UDP.
- Em seguida, o sistema operacional extrai do datagrama UDP a mensagem SNMP e a entrega ao programa de aplicação destino após identificar a porta associada a esta aplicação. Isso encerra a interação dos vários protocolos.

Em síntese, os sistemas operacionais utilizam os protocolos das várias camadas para montar, enviar, receber e processar unidades de dados de suas respectivas camadas. Por exemplo, o sistema operacional utiliza o protocolo IP para montar datagramas e solicitar que sejam enviados à camada de interface de rede. Além disso, recebe e processa os datagramas IP extraídos pela camada de interface de rede.

Durante o envio de datagramas IP, cada datagrama pode ser roteado diretamente para a estação de destino ou para algum roteador intermediário. Por outro lado, na recepção de datagramas IP, se a estação for o destino, o datagrama recebido é localmente repassado à camada de transporte. Caso contrário, o datagrama recebido é roteado para a estação de destino ou para outro roteador intermediário. As camadas de aplicação e transporte sempre usam protocolos fim-a-fim. Ou seja, tais protocolos transportam unidades de dados diretamente entre as estações de origem e destino. Portanto, na figura, apenas as estações E1 e E2 apresentam as camadas de aplicação e transporte.

As camadas inter-rede e interface de rede adotam protocolos que permitem a troca de unidades de dados apenas entre equipamentos conectados a uma mesma rede física. Dessa forma, as camadas inter-rede e interface de rede estão presentes nas estações comunicantes e nos vários roteadores intermediários. Pelo fato de conectar várias redes físicas, cada roteador pode possuir diversas implementações da camada de interface de rede; cada uma delas específica para um determinado tipo de rede física. Por exemplo, uma conexão a uma rede local através de uma interface Fast Ethernet, e uma conexão de longa distância através de uma interface POS. Entretanto, roteadores possuem apenas uma única implementação da camada de rede, porque o protocolo IP é adotado em toda a inter-rede para garantir a interoperabilidade dos vários dispositivos.

Endereços físicos e lógicos

Endereço físico:

- É o endereço da estação do usuário na rede física.
- Somente identifica o equipamento, não a rede.
- Não é roteável entre as redes físicas.
- Exemplo: endereço MAC Ethernet.

Endereço lógico:

- Identifica a rede física e a estação do usuário na rede.
- É roteável entre as redes físicas.
- Exemplo: endereço IP.

Existem inúmeras diferenças entre endereço físico e endereço lógico, das quais destacamos:

- Endereço físico está associado à camada de enlace, servindo para identificar somente o equipamento, sem considerar a rede em que ele se encontra.
- Do ponto de vista do endereçamento físico, todos os equipamentos pertencem à mesma rede.
- Endereço lógico identifica a rede na qual o equipamento se encontra e também o próprio equipamento dentro da rede.
- O endereço lógico permite que os equipamentos estejam situados em redes diferentes.



Comparação das arquiteturas TCP/IP e OSI

A figura seguinte compara a pilha de protocolos TCP/IP com o modelo OSI de referência:

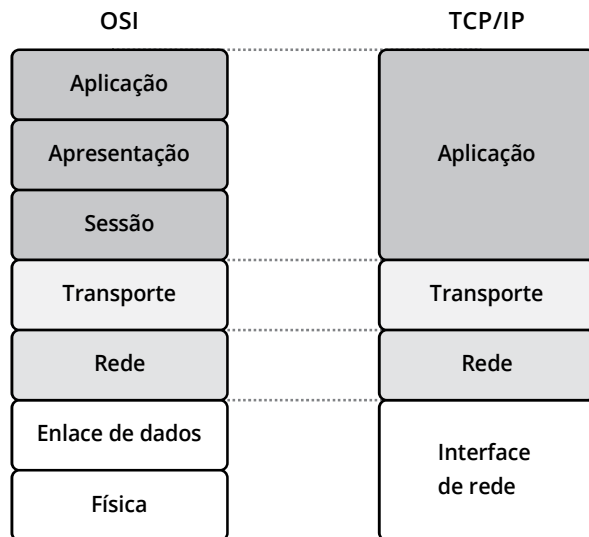


Figura 2.18
Pilha de protocolos TCP/IP versus Modelo OSI.

- As duas camadas inferiores podem ser chamadas de camadas de interface de redes.
- A camada de rede é chamada de camada internet, no modelo TCP/IP.
- Os termos pacote (packet) e datagrama (datagram) são praticamente intercambiáveis. Entretanto, um datagrama IP é uma unidade de transmissão fim-a-fim da camada de rede (antes da fragmentação e depois da remontagem), enquanto um pacote é uma unidade de dados (PDU) passada entre as camadas de rede e de enlace de dados. Um pacote pode conter um datagrama completo ou “pedaços” menores a serem transmitidos (fragmentos).
- A camada de transporte é funcionalmente similar nos dois modelos.
- As camadas de sessão, apresentação e aplicação do modelo OSI correspondem à camada de aplicação na arquitetura TCP/IP.
- O modelo TCP/IP é real e usado na prática, enquanto o modelo OSI é mais utilizado para fins acadêmicos.



Roteiro de Atividades 2

Atividade 2.1 – Captura de pacotes

1. Vamos ativar o Wireshark, como fizemos no capítulo anterior, só que desta vez para configurar um filtro de captura.

Na tela inicial do Wireshark, em vez de selecionar o botão “Start”, vamos selecionar o botão “Options” na interface de rede local. Teremos então a tela a seguir. Na janela “Capture Filter”, digite a palavra *host* e seu endereço IP, conforme mostra a figura. Este é um exemplo de filtro de captura.

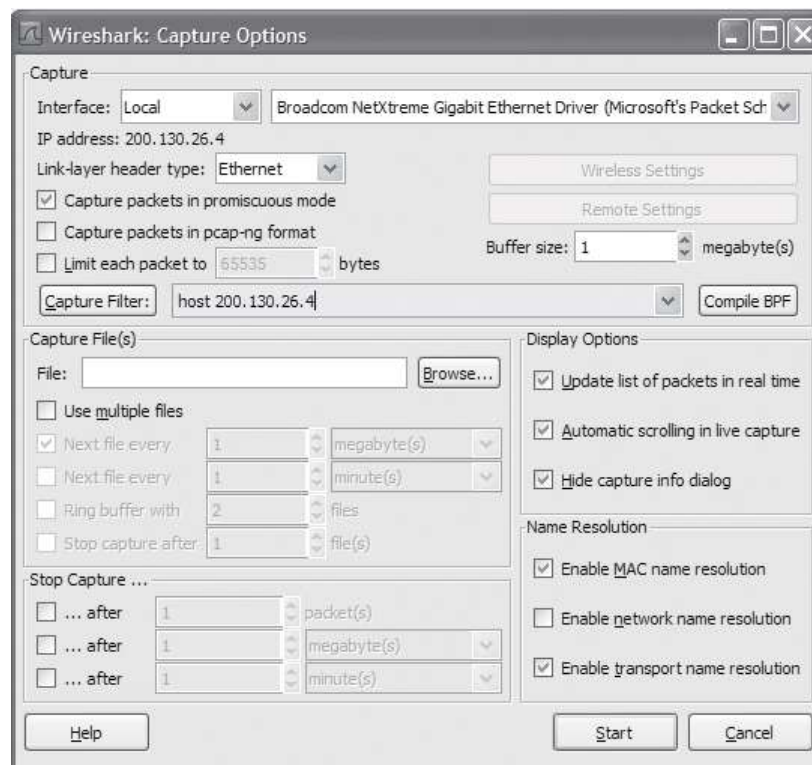


Figura 2.19
Opções de captura
de pacotes do
Wireshark.

Em seguida, clique em “Start” para iniciar a captura. Porém, serão capturados somente os pacotes que contêm o endereço IP especificado. Os demais pacotes IP serão descartados.

2. Vamos agora executar uma simples captura de pacotes, navegando no site: <http://esr.rnp.br>

Aguarde até que toda a página do site tenha sido carregada, feche a janela do navegador, volte para a janela do Wireshark (que ficou aberta) e só então termine a captura de pacotes clicando no quarto ícone da esquerda para a direita da barra de ferramentas (*Stop the running live capture*). A janela de captura do Wireshark deve ser semelhante à mostrada na figura a seguir, onde está destacado o quadro 251 (tela parcial).



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
251	4.162664	200.130.26.4	173.194.27.39	TCP	62	ftranhc > http [SYN] s
252	4.190640	173.194.27.39	200.130.26.4	TCP	62	http > ftranhc [SYN, s
253	4.190672	200.130.26.4	173.194.27.39	TCP	54	ftranhc > http [ACK] s
254	4.191093	200.130.26.4	173.194.27.39	HTTP	333	GET /edged1/update2/1.
255	4.218975	173.194.27.39	200.130.26.4	TCP	60	http > ftranhc [ACK] s
256	4.220161	173.194.27.39	200.130.26.4	TCP	456	[TCP segment of a rea
257	4.220385	173.194.27.39	200.130.26.4	TCP	1314	[TCP segment of a rea
258	4.220470	200.130.26.4	173.194.27.39	TCP	54	ftranhc > http [ACK] s
259	4.220476	173.194.27.39	200.130.26.4	TCP	1314	[TCP segment of a rea
260	4.220558	173.194.27.39	200.130.26.4	TCP	1314	[TCP segment of a rea
261	4.220615	200.130.26.4	173.194.27.39	TCP	54	ftranhc > http [ACK] s
262	4.220670	173.194.27.39	200.130.26.4	TCP	1314	[TCP segment of a rea
263	4.220721	173.194.27.39	200.130.26.4	TCP	1314	[TCP segment of a rea
264	4.220720	200.130.26.4	173.194.27.39	TCP	54	ftranhc > http [ACK] s
+ Frame 251: 62 bytes on wire (496 bits), 62 bytes captured (496 bits)						
+ Ethernet II, Src: Dell_e0:cc:45 (00:18:8b:e0:cc:45), Dst: ExtremeN_41:24:f0 (00:04:96:41:24:f0)						
+ Internet Protocol Version 4, Src: 200.130.26.4 (200.130.26.4), Dst: 173.194.27.39 (173.194.27.39)						
+ Transmission Control Protocol, Src Port: ftranhc (1105), Dst Port: http (80), Seq: 0, Len: 0						

Note a grande quantidade de pacotes trocada entre o seu computador (IP: 200.130.26.4) e o servidor do site www.esr.rnp.br (IP: 173.194.27.39), apenas para abrir a página inicial do site. É fácil perceber que uma navegação demorada vai gerar uma grande quantidade de pacotes capturados, podendo dificultar a análise detalhada de um volume considerável de dados.

Figura 2.20
Quadro 251 capturado pelo Wireshark.

Este exemplo de captura de pacotes pode ser aplicado a qualquer site e também para outras aplicações, como e-mail e downloads.

Atividade 2.2 – Caminhos de rede

Considere a rede da Figura 2.21:

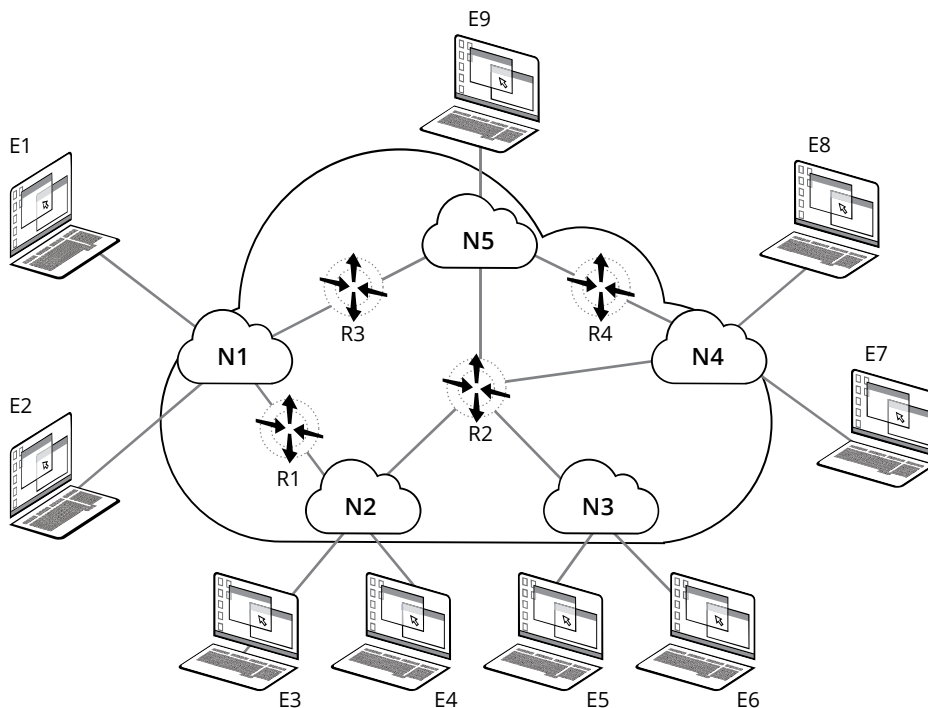


Figura 2.21
Rede da Atividade 2.2.

1. Identifique um possível caminho a ser seguido por pacotes enviados da estação E2 para a estação E8. Adote uma narrativa semelhante àquela apresentada no tópico “modelo de interconexão”, em que essa figura é discutida.

2. Considere que existe uma conexão entre o roteador R2 e a rede N1. Essa nova conexão exerce alguma influência na sua resposta anterior? Explique.

Atividade 2.3 – Estações multihomed

Na mesma rede da figura anterior, considere que a estação E9 possui uma conexão com a rede N5 (como já mostrado na figura anterior) e que uma nova conexão com a rede N4 foi acrescentada (não ilustrada na figura anterior).

1. É correto afirmar que a estação E9 é multihomed? Explique.

2. A existência de múltiplas conexões assegura que a estação E9 opere como um roteador? Em caso afirmativo, apresente a justificativa.

3. Se a estação E9 não opera como um roteador, existe alguma forma de transformar essa estação em roteador? Explique.

Atividade 2.4 – Modelo OSI

Um fabricante de equipamentos de rede lhe enviou um catálogo de produtos. Um trecho do catálogo é transcrito abaixo:

Switch-Router Ethernet XYZ Super-Plus

Recursos L2: até 8000 endereços

Recursos L3: 20000 rotas

Consulte-nos também sobre a linha Mega Power, com a tecnologia de inspeção profunda de pacotes que permite a criação de filtros L7.

Você sabe que os fabricantes costumam usar o modelo ISO/OSI como referência. Explique para alguém que só conheça a arquitetura TCP/IP o que o anúncio acima quer dizer.
