

transmissão e perda de pacotes, a situação se altera. Se a resposta consistisse em centenas de pacotes, alguns dos quais pudessem se perder durante a transmissão, como o cliente saberia que alguns fragmentos se perderam? Como o cliente saberia que o pacote último realmente recebido foi de fato o último pacote enviado? Suponha que o cliente quisesse um segundo arquivo. Como ele poderia distinguir o pacote 1 do segundo arquivo de um pacote 1 perdido do primeiro arquivo quando repentinamente tivesse encontrado o caminho até o cliente? Em resumo, no mundo real, um simples protocolo de solicitação/resposta sobre uma rede não confiável freqüentemente é inadequado. No Capítulo 3, estudaremos em detalhes uma variedade de protocolos que superam esses e outros problemas. Por enquanto, basta dizer que às vezes é muito conveniente ter um fluxo de bytes confiável e ordenado entre processos.

### 1.3.5 O relacionamento entre serviços e protocolos

Serviços e protocolos são conceitos diferentes, embora sejam confundidos com freqüência. No entanto, essa distinção é tão importante que vamos enfatizá-la mais uma vez. Um serviço é um conjunto de primitivas (operações) que uma camada oferece à camada situada acima de la. O serviço define as operações que a camada está preparada para executar em nome de seus usuários, mas não informa absolutamente nada sobre como essas operações são implementadas. Um serviço se relaciona a uma interface entre duas camadas, sendo a camada inferior o fornecedor do serviço e a camada superior o usuário do serviço.

Já o protocolo é um conjunto de regras que controla o formato e o significado dos pacotes ou mensagens que são trocados pelas entidades pares contidas em uma camada. As entidades utilizam protocolos com a finalidade de implementar suas definições de serviço. Elas têm a liberdade de trocar seus protocolos, desde que não alterem o serviço visível para seus usuários. Portanto, o serviço e o protocolo são independentes um do outro.

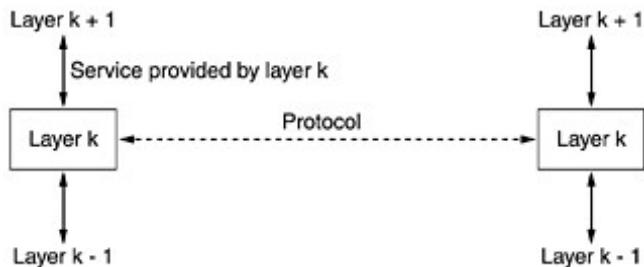
Em outras palavras, os serviços estão relacionados às interfaces entre camadas, como ilustra a Figura 1.19. Em contraste, os protocolos se relacionam aos pacotes enviados entre entidades pares de máquinas diferentes. É importante não confundir esses dois conceitos.

Vale a pena fazer uma analogia com as linguagens de programação. Um serviço é um objeto ou um tipo de dados abstrato em uma linguagem orientada a objetos. Ele define as operações que podem ser executadas sobre um objeto, mas não especifica como essas operações são implementadas. Um protocolo se refere à

implementação do serviço e, consequentemente, não é visto pelo usuário do serviço.

Em protocolos mais antigos, não havia muita distinção entre o serviço e o protocolo. Na prática, uma camada normal poderia ter uma primitiva de serviço SEND PACKET, com o usuário fornecendo um ponteiro para um pacote totalmente montado. Essa organização significava que todas as mudanças no protocolo ficavam imediatamente visíveis para os usuários. Hoje, a maioria dos projetistas de redes considera tal projeto um sério equívoco.

**Figura 1.19.** O relacionamento entre um serviço e um protocolo



## 1.4 Modelos de referência

Depois de discutirmos em termos abstratos o conceito de redes divididas em camadas, vamos ver alguns exemplos práticos. Nas duas seções a seguir, examinaremos duas importantes arquiteturas de rede, o modelo de referência OSI e o modelo de referência TCP/IP. Embora os protocolos associados ao modelo OSI raramente sejam usados nos dias de hoje, o modelo em si é de fato bastante geral e ainda válido, e as características descritas em cada camada ainda são muito importantes. O modelo TCP/IP tem características opostas: o modelo propriamente dito não é

muito utilizado, mas os protocolos têm uso geral. Por essa razão, examinaremos ambos em detalhes. Além disso, às vezes é possível aprender mais com os fracassos do que com os sucessos.

### 1.4.1 O modelo de referência OSI

O modelo OSI (exceto o meio físico) é mostrado na Figura 1.20. Esse modelo se baseia em uma proposta desenvolvida pela ISO (International Standards Organization) como um primeiro passo em direção à padronização internacional dos protocolos empregados nas diversas camadas (Day e Zimmermann, 1983). Ele foi revisto em 1995 (Day, 1995). O modelo é chamado **Modelo de Referência ISO OSI (Open Systems Interconnection)**, pois ele trata da interconexão de sistemas abertos — ou seja, sistemas que estão abertos à comunicação com outros sistemas. Para abreviar, vamos denominá-lo simplesmente modelo OSI.

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

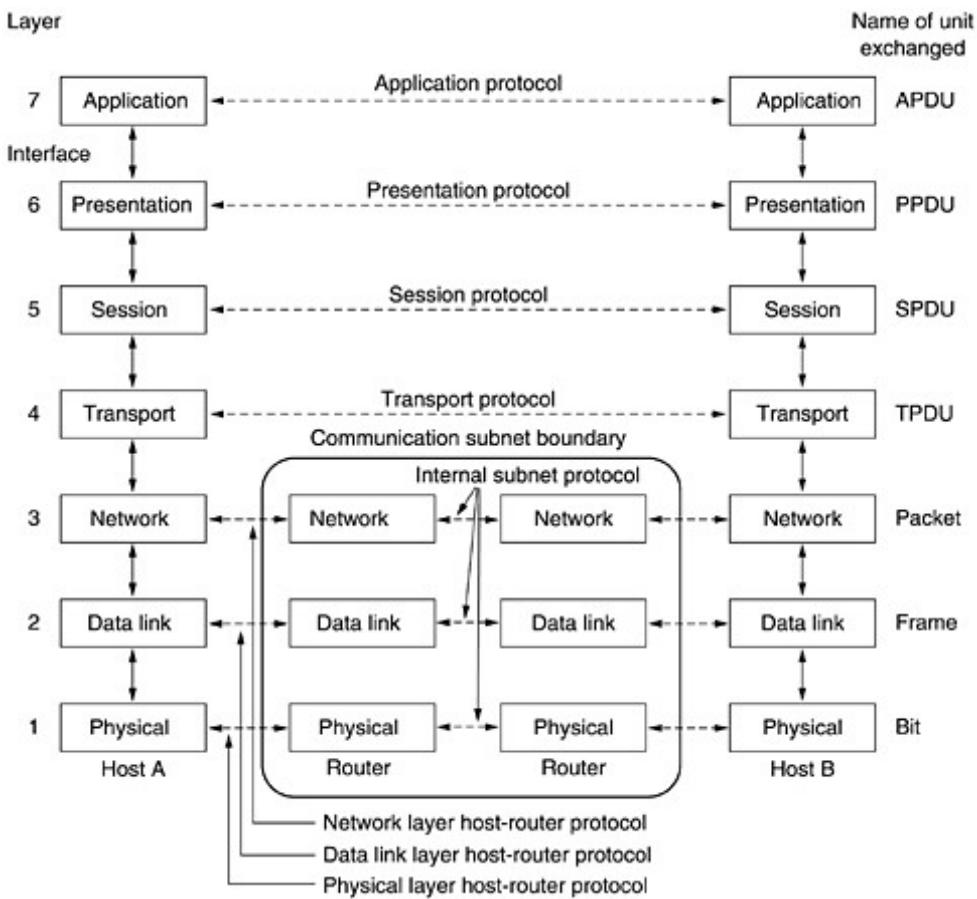
1. Uma camada deve ser criada onde houver necessidade de outro grau de abstração.
2. Cada camada deve executar uma função bem definida.
3. A função de cada camada deve ser escolhida tendo em vista a definição de protocolos padronizados internacionalmente.
4. Os limites de camadas devem ser estabelecidos para minimizar o fluxo de informações pelas interfaces.
5. O número de camadas deve ser grande o bastante para que funções distintas não precisem ser desnecessariamente colocadas na mesma camada e pequeno o suficiente para que a arquitetura não se torne difícil de controlar.

Em seguida, discutiremos cada uma das camadas do modelo, começando pela camada inferior. Observe que o modelo OSI propriamente dito não é uma arquitetura de rede, pois não especifica os serviços e os protocolos exatos que devem ser usados em cada camada. Ele apenas informa o que cada camada deve fazer. No entanto, a ISO também produziu padrões para todas as camadas, embora esses padrões não façam parte do próprio modelo de referência. Cada um foi publicado como um padrão internacional distinto.

#### A camada física

A camada física trata da transmissão de bits brutos por um canal de comunicação. O projeto da rede deve garantir que, quando um lado enviar um bit 1, o outro lado o receberá como um bit 1, não como um bit 0. Nesse caso, as questões mais comuns são a voltagem a ser usada para representar um bit 1 e um bit 0, a quantidade de nanosegundos que um bit deve durar, o fato de a transmissão poder ser ou não realizada nos dois sentidos simultaneamente, a forma como a conexão inicial será estabelecida e de que maneira ela será encerrada quando ambos os lados tiverem terminado, e ainda quantos pinos o conector de rede terá e qual será a finalidade de cada pino. Nessa situação, as questões de projeto lidam em grande parte com interfaces mecânicas, elétricas e de sincronização, e com o meio físico de transmissão que se situa abaixo da camada física.

**Figura 1.20.** O modelo de referência OSI



## A camada de enlace de dados

A principal tarefa da camada de enlace de dados é transformar um canal de transmissão bruta em uma linha que pareça livre de erros de transmissão não detectados para a camada de rede. Para executar essa tarefa, a camada de enlace de dados faz com que o transmissor divida os dados de entrada em quadros de dados (que, em geral, têm algumas centenas ou alguns milhares de bytes), e transmita os quadros seqüencialmente. Se o serviço for confiável, o receptor confirmará a recepção correta de cada quadro, enviando de volta um quadro de confirmação.

Outra questão que surge na camada de enlace de dados (e na maioria das camadas mais altas) é como impedir que um transmissor rápido envie uma quantidade excessiva de dados a um receptor lento. Com freqüência, é necessário algum mecanismo que regule o tráfego para informar ao transmissor quanto espaço o buffer do receptor tem no momento. Muitas vezes, esse controle de fluxo e o tratamento de erros estão integrados.

As redes de difusão têm uma questão adicional a ser resolvida na camada de enlace de dados: como controlar o acesso ao canal compartilhado. Uma subcamada especial da camada de enlace de dados, a subcamada de controle de acesso ao meio, cuida desse problema.

## A camada de rede

A camada de rede controla a operação da sub-rede. Uma questão fundamental de projeto é determinar a maneira como os pacotes são roteados da origem até o destino. As rotas podem se basear em tabelas estáticas, "amarradas" à rede e raramente alteradas. Elas também podem ser determinadas no início de cada conversação; por exemplo, uma sessão de terminal (como um logon em uma máquina remota). Por fim, elas podem ser altamente dinâmicas, sendo determinadas para cada pacote, com o objetivo de refletir a carga atual da rede.

Se houver muitos pacotes na sub-rede ao mesmo tempo, eles dividirão o mesmo caminho, provocando gargalos. O controle desse congestionamento também pertence à camada de rede. De modo mais geral, a qualidade do serviço fornecido (retardo, tempo em trânsito, instabilidade etc.) também é uma questão da camada de rede. Quando um pacote tem de viajar de uma rede para outra até chegar a seu destino, podem surgir muitos problemas. O endereçamento utilizado pela segunda rede pode ser diferente do que é empregado pela primeira rede. Talvez a segunda rede não aceite o pacote devido a seu tamanho excessivo. Os protocolos podem ser diferentes e assim

por diante. Cabe à camada de rede superar todos esses problemas, a fim de permitir que redes heterogêneas sejam interconectadas.

Nas redes de difusão, o problema de roteamento é simples, e assim a camada de rede com freqüência é estreita, ou mesmo inexistente.

## A camada de transporte

A função básica da camada de transporte é aceitar dados da camada acima dela, dividi-los em unidades menores caso necessário, repassar essas unidades à camada de rede e assegurar que todos os fragmentos chegarão corretamente à outra extremidade. Além do mais, tudo isso deve ser feito com eficiência e de forma que as camadas superiores fiquem isoladas das inevitáveis mudanças na tecnologia de hardware.

A camada de transporte também determina que tipo de serviço deve ser fornecido à camada de sessão e, em última análise, aos usuários da rede. O tipo de conexão de transporte mais popular é um canal ponto a ponto livre de erros que entrega mensagens ou bytes na ordem em que eles foram enviados. No entanto, outros tipos possíveis de serviço de transporte são as mensagens isoladas sem nenhuma garantia relativa à ordem de entrega e à difusão de mensagens para muitos destinos. O tipo de serviço é determinado quando a conexão é estabelecida. (Observe que é impossível conseguir um canal livre de erros; o que as pessoas realmente entendem por essa expressão é que a taxa de erros é baixa o suficiente para ser ignorada na prática.) A camada de transporte é uma verdadeira camada fim a fim, que liga a origem ao destino. Em outras palavras, um programa da máquina de origem mantém uma conversação com um programa semelhante instalado na máquina de destino, utilizando os cabeçalhos de mensagens e as mensagens de controle. Nas camadas inferiores, os protocolos são trocados entre cada uma das máquinas e seus vizinhos imediatos, e não entre as máquinas de origem e de destino, que podem estar separadas por muitos roteadores. A diferença entre as camadas de 1 a 3, que são encadeadas, e as camadas de 4 a 7, que são camadas fim a fim, é ilustrada na Figura 1.20.

## A camada de sessão

A camada de sessão permite que os usuários de diferentes máquinas estabeleçam sessões entre eles. Uma sessão oferece diversos serviços, inclusive o controle de diálogo (mantendo o controle de quem deve transmitir em cada momento), o gerenciamento de símbolos (impedindo que duas partes tentem executar a mesma operação crítica ao mesmo tempo) e a sincronização (realizando a verificação periódica de transmissões longas para permitir que elas continuem a partir do ponto em que estavam ao ocorrer uma falha).

## A camada de apresentação

Diferente das camadas mais baixas, que se preocupam principalmente com a movimentação de bits, a camada de apresentação está relacionada à sintaxe e à semântica das informações transmitidas. Para tornar possível a comunicação entre computadores com diferentes representações de dados, as estruturas de dados a serem intercambiadas podem ser definidas de maneira abstrata, juntamente com uma codificação padrão que será usada durante a conexão. A camada de apresentação gera ncia essas estruturas de dados abstratas e permite a definição e o intercâmbio de estruturas de dados de nível mais alto (por exemplo, registros bancários).

## A camada de aplicação

A camada de aplicação contém uma série de protocolos comumente necessários para os usuários. Um protocolo de aplicação amplamente utilizado é o HTTP (HyperText Transfer Protocol), que constitui a base para a World Wide Web. Quando um navegador deseja uma página da Web, ele envia o nome da página desejada ao servidor, utilizando o HTTP. Então, o servidor transmite a página de volta. Outros protocolos de aplicação são usados para transferências de arquivos, correio eletrônico e transmissão de notícias pela rede.

### 1.4.2 O modelo de referência TCP/IP

Vamos deixar de lado o modelo de referência OSI e passar ao modelo de referência usado na "avó" de todas as redes de computadores geograficamente distribuídas, a ARPANET, e sua sucessora, a Internet mundial. Embora tenhamos deixado para depois a apresentação da história da ARPANET,

será de grande utilidade entender alguns de seus principais aspectos. A ARPANET era uma rede de pesquisa patrocinada pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD). Pouco a pouco, centenas de universidades e repartições públicas foram conectadas, usando linhas telefônicas dedicadas. Quando foram criadas as redes de rádio e satélite, começaram a surgir problemas com os protocolos existentes, o que forçou a criação de uma nova arquitetura de referência. Desse modo, a habilidade para conectar várias redes de maneira uniforme foi um dos principais objetivos de projeto, desde o início. Mais tarde, essa arquitetura ficou conhecida como **Modelo de Referência TCP/IP**, graças a seus dois principais protocolos. Esse modelo foi definido pela primeira vez em (Cerf e Kahn, 1974). Uma nova perspectiva foi oferecida mais tarde em (Leiner et al., 1985). A filosofia de projeto na qual se baseia o modelo é discutida em (Clark, 1988).

Diante da preocupação do Departamento de Defesa dos EUA de que seus preciosos hosts, roteadores e gateways de interconexão de redes fossem destruídos de uma hora para outra, definiu-se também que a rede deveria ser capaz de sobreviver à perda de hardware de sub-redes, com as conversações existentes sendo mantidas em atividade. Em outras palavras, o Departamento de Defesa dos EUA queria que as conexões permanecessem intactas enquanto as máquinas de origem e de destino estivessem funcionando, mesmo que algumas máquinas ou linhas de transmissão intermediárias deixassem de operar repentinamente. Além disso, era necessária uma arquitetura flexível, capaz de se adaptar a aplicações com requisitos divergentes como, por exemplo, a transferência de arquivos e a transmissão de dados de voz em tempo real.

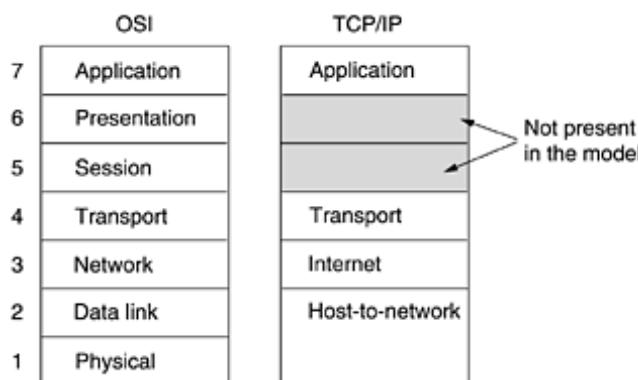
## A camada inter-redes

Todas essas necessidades levaram à criação de uma rede de comutação de pacotes baseada em um camada de interligação de redes sem conexões. Essa camada, chamada camada inter-redes, integra toda a arquitetura. Sua tarefa é permitir que os hosts injetem pacotes em qualquer rede e garantir que eles trafegarão independentemente e até o destino (talvez em uma rede diferente). Eles podem chegar até mesmo em uma ordem diferente daquela em que foram enviados, obrigando as camadas superiores a reorganizá-los, caso a entrega em ordem seja desejável. Observe que, nesse caso, a expressão "inter-rede" é usada em sentido genérico, muito embora essa camada esteja presente na Internet.

A analogia usada nesse caso diz respeito ao sistema de correio (convencional). Uma pessoa pode deixar uma sequência de cartas internacionais em uma caixa de correio em um país e, com um pouco de sorte, a maioria delas será entregue no endereço correto no país de destino. Provavelmente, as cartas atravessarão um ou mais gateways internacionais ao longo do caminho, mas esse processo é transparente para os usuários. Além disso, o fato de cada país (ou seja, cada rede) ter seus próprios selos, tamanhos de envelope preferidos e regras de entrega fica oculto dos usuários.

A camada inter-redes define um formato de pacote oficial e um protocolo chamado IP (Internet Protocol). A tarefa da camada inter-redes é entregar pacotes IP onde eles são necessários. O roteamento de pacotes é uma questão de grande importância nessa camada, assim como a necessidade de evitar o congestionamento. Por esses motivos, é razoável dizer que a função da camada inter-redes do TCP/IP é muito parecida com a da camada de rede do OSI. A Figura 1.21 mostra a correspondência entre elas.

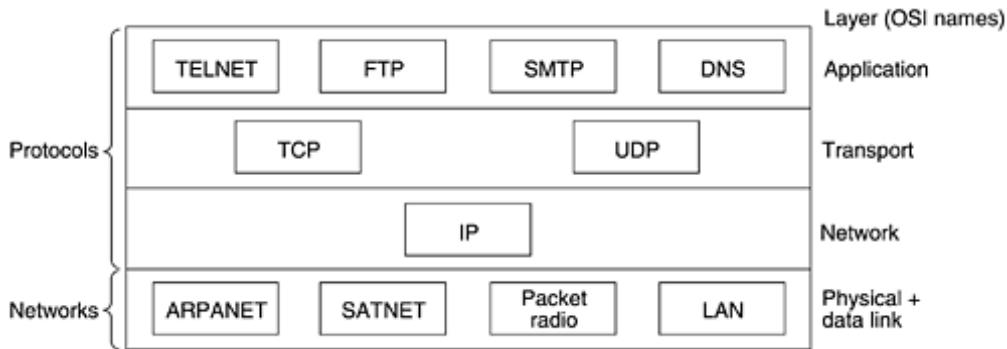
**Figura 1.21.** O modelo de referência TCP/IP



## A camada de transporte

No modelo TCP/IP, a camada localizada acima da camada inter-redes é chamada **camada de transporte**. A finalidade dessa camada é permitir que as entidades pares dos hosts de origem e de destino mantenham uma conversação, exatamente como acontece na camada de transporte OSI. Dois protocolos fim a fim foram definidos aqui. O primeiro deles, o TCP (Transmission Control Protocol — protocolo de controle de transmissão), é um protocolo orientado a conexões confiável que permite a entrega sem erros de um fluxo de bytes originário de uma determinada máquina em qualquer computador da inter-rede. Esse protocolo fragmenta o fluxo de bytes de entrada em mensagens discretas e passa cada uma delas para a camada inter-redes. No destino, o processo TCP receptor volta a montar as mensagens recebidas no fluxo de saída. O TCP também cuida do controle de fluxo, impedindo que um transmissor rápido sobrecarregue um receptor lento com um volume de mensagens maior do que ele pode manipular. [arte: ver original p. 43a]

**Figura 1.22.** Protocolos e redes no modelo TCP/IP inicial



## A camada de aplicação

O modelo TCP/IP não tem as camadas de sessão e de apresentação. Como não foi percebida qualquer necessidade de, elas não foram incluídas. A experiência com o modelo OSI demonstrou a correção dessa tese: elas são pouco usadas na maioria das aplicações.

Acima da camada de transporte, encontramos a camada de aplicação. Ela contém todos os protocolos de nível mais alto. Dentre eles estão o protocolo de terminal virtual (TELNET), o protocolo de transferência de arquivos (FTP) e o protocolo de correio eletrônico (SMTP), como mostra a Figura 1.22. O protocolo de terminal virtual permite que um usuário de um computador se conecte a uma máquina distante e trabalhe nela. O protocolo de transferência de arquivos permite mover dados com eficiência de uma máquina para outra. Originalmente, o correio eletrônico era um tipo de transferência de arquivos; no entanto, foi desenvolvido mais tarde um protocolo especializado para essa função (o SMTP). Muitos outros protocolos foram incluídos com o decorrer dos anos, como o DNS (Domain Name Service), que mapeia os nomes de hosts para seus respectivos endereços de rede, o NNTP, o protocolo usado para mover novos artigos de notícias da USENET, e o HTTP, o protocolo usado para buscar páginas na World Wide Web, entre muitos outros.

## A camada host/rede

Abaixo da camada inter-redes, encontra-se um grande vazio. O modelo de referência TCP/IP não especifica muito bem o que acontece ali, exceto o fato de que o host tem de se conectar à rede utilizando algum protocolo para que seja possível enviar pacotes IP. Esse protocolo não é definido e varia de host para host e de rede para rede. Os livros e a documentação que tratam do modelo TCP/IP raramente descrevem esse protocolo.

### 1.4.3 Uma comparação entre os modelos de referência OSI e TCP/IP

Os modelos de referência OSI e TCP/IP têm muito em comum. Os dois se baseiam no conceito de uma pilha de protocolos independentes. Além disso, as camadas têm praticamente as mesmas funções. Por exemplo, em ambos os modelos estão presentes as camadas que englobam até a camada de transporte para oferecer um serviço de transporte fim a fim independente da rede a processos que desejam se comunicar. Essas camadas formam o provedor de transporte. Mais uma

vez, em ambos os modelos, as camadas acima da camada de transporte dizem respeito aos usuários orientados a aplicações do serviço de transporte.

Apesar dessas semelhanças fundamentais, os dois modelos também têm muitas diferenças. Nesta seção do livro, vamos nos deter nas principais diferenças existentes entre os dois modelos de referência. É importante notar que estamos comparando os modelos de referência, e não as pilhas de protocolos

correspondentes. Os protocolos propriamente ditos serão discutidos em seguida. Para examinar as semelhanças e as diferenças entre o TCP/IP e o OSI, consulte (Piscitello e Chapin, 1993).

O modelo OSI tem três conceitos fundamentais:

- Serviços
- Interfaces
- Protocolos

Provavelmente, a maior contribuição do modelo OSI seja tornar explícita a distinção entre esses três conceitos. Cada camada executa alguns serviços para a camada acima dela. A definição do serviço informa o que a camada faz, e não a forma como as entidades acima dela o acessam ou como a camada funciona. Essa definição estabelece a semântica da camada.

A interface de uma camada informa como os processos acima dela podem acessá-la. A interface especifica quais são os parâmetros e os resultados a serem esperados. Ela também não revela o funcionamento interno da camada.

Finalmente, os protocolos utilizados em uma camada são de responsabilidade dessa camada. A camada pode usar os protocolos que quiser, desde que eles viabilizem a realização do trabalho (ou seja, fornecem os serviços oferecidos). Ela também pode alterar esses protocolos sem influenciar o software das camadas superiores.

Essas idéias se adaptam perfeitamente aos novos conceitos da programação orientada a objetos. Um objeto, assim como uma camada, tem um conjunto de métodos (operações) que os processos externos ao objeto podem invocar. A semântica desses métodos define o conjunto de serviços que o objeto oferece. Os parâmetros e os resultados dos métodos formam a interface do objeto. O código interno do objeto é seu protocolo, que não é visível nem interessa aos elementos que estão fora do objeto.

Originalmente, o modelo TCP/IP não distinguia com clareza a diferença entre serviço, interface e protocolo, embora as pessoas tenham tentado adaptá-lo ao modelo OSI. Por exemplo, os únicos serviços reais oferecidos pela camada inter-redes são SEND IP PACKET (enviar pacote IP) e RECEIVE IP PACKET (receber pacote IP).

Por essa razão, os protocolos do modelo OSI são mais bem encapsulados que os do modelo TCP/IP e podem ser substituídos com relativa facilidade, conforme as mudanças da tecnologia. Um dos principais objetivos das diversas camadas de protocolos é permitir a implementação dessas alterações.

O modelo de referência OSI foi concebido antes de os protocolos correspondentes terem sido criados. Isso significa que o modelo não foi desenvolvido com base em um determinado conjunto de protocolos, o que o deixou bastante flexível e genérico. No entanto, por não terem experiência no assunto, os projetistas não tinham muita noção sobre a funcionalidade que deveria ser incluída em cada camada.

Por exemplo, a camada de enlace de dados lidava originalmente com redes ponto a ponto. Quando surgiram as redes de difusão, foi preciso criar uma nova camada no modelo. Quando as pessoas começaram a criar redes reais com base no modelo OSI e nos protocolos existentes, elas perceberam que as especificações de serviço obrigatórias não eram compatíveis. Portanto, foi necessário enxertar no modelo subcamadas de convergência que permitissem atenuar as diferenças. Por fim, como acreditava que cada país teria uma rede controlada pelo governo e baseada nos protocolos OSI, o comitê não se preocupou com as conexões inter-redes. Para encantar a história: na prática, tudo aconteceu de maneira muito diferente da teoria.

Com o TCP/IP, ocorreu exatamente o contrário: como os protocolos vieram primeiro, o modelo foi criado como uma descrição desses protocolos. Os protocolos não tiveram problemas para se adaptar ao modelo. Foi um casamento perfeito. O único problema foi o fato de o modelo não se adaptar a outras pilhas de protocolos. Conseqüentemente, ele não tinha muita utilidade para descrever outras redes que não faziam uso do protocolo TCP/IP.

Deixando a filosofia de lado e entrando em questões mais práticas, uma diferença óbvia entre os dois modelos está no número de camadas: o modelo OSI tem sete camadas e o TCP/IP tem quatro. Ambos têm as camadas de (inter-) rede, transporte e aplicação, mas as outras são diferentes.

Outra diferença está na área da comunicação sem conexão e da comunicação orientada a conexões. Na camada de rede, o modelo OSI é compatível com a comunicação sem conexão e com a comunicação orientada a conexões; no entanto, na camada de transporte, o modelo aceita apenas a comunicação orientada a conexões, onde ela de fato é mais importante (pois o serviço de transporte é visível para os usuários). O modelo TCP/IP só tem um modo de operação na camada de rede (sem conexão), mas aceita ambos os modos na camada de transporte, oferecendo aos usuários a possibilidade de escolha. Essa escolha é especialmente importante para os protocolos simples de solicitação/resposta.

#### 1.4.4 Uma crítica aos protocolos e ao modelo OSI

Nem o modelo OSI e seus respectivos protocolos nem o modelo TCP/IP e seus respectivos protocolos são perfeitos. Os dois têm sido alvo de uma série de críticas. Nesta seção e na próxima, vamos examinar algumas delas; começaremos pelo modelo OSI e, em seguida, examinaremos o TCP/IP.

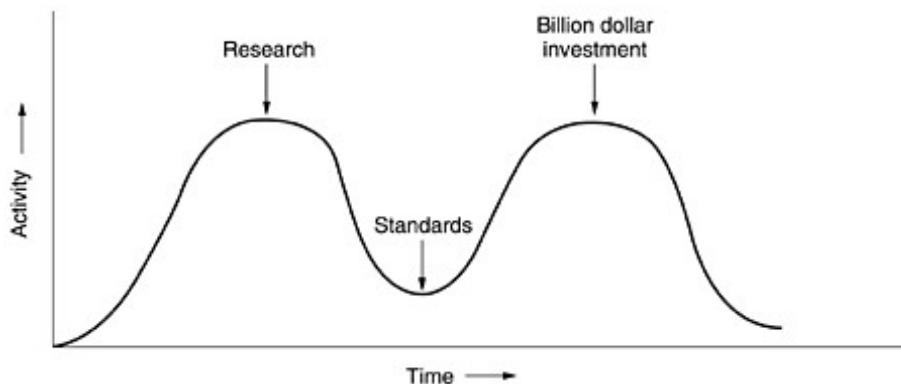
Na época em que a segunda edição americana deste livro foi publicada (1989), muitos especialistas tinham a impressão de que os protocolos e o modelo OSI controlariam o mundo e atropelariam tudo que se pusesse em seu caminho. Isso não aconteceu. Por quê? Vale a pena fazer uma revisão de algumas lições, que podem ser resumidas da seguinte maneira:

- Momento ruim.
- Tecnologia ruim.
- Implementações ruins.
- Política ruim.

#### Momento ruim

Vamos começar pelo problema mais importante: momento ruim. O momento em que um padrão é estabelecido é de fundamental importância para seu sucesso. David Clark, do M.I.T., tem uma teoria sobre os padrões que ele chama apocalipse dos dois elefantes, ilustrada na Figura 1.23.

**Figura 1.23.** O apocalipse dos dois elefantes



Essa figura mostra o volume de atividades relacionadas a um novo assunto. Quando o assunto é descoberto, há uma grande atividade de pesquisa na forma de discussões, artigos e reuniões. Após algum tempo dessa atividade inicial, as empresas descobrem o assunto e tem início a onda de bilhões de dólares em investimentos.

É essencial que os padrões sejam desenvolvidos entre os dois "elefantes". Se eles forem desenvolvidos muito cedo, antes de a pesquisa ser concluída, o assunto poderá não estar devidamente amadurecido e, consequentemente, surgirão padrões ruins. Se eles forem desenvolvidos muito tarde, muitas empresas talvez já tenham feito investimentos maciços para descobrir maneiras diferentes de tirar proveito dessa nova tecnologia e, portanto, os padrões serão efetivamente ignorados. Se o intervalo entre os dois elefantes for muito curto (porque todo mundo está ansioso para aproveitar as oportunidades anunciadas), a equipe de desenvolvimento dos padrões poderá se precipitar.

Hoje se sabe que o lançamento dos protocolos do padrão OSI foi precipitado. Os protocolos TCP/IP concorrentes já estavam sendo amplamente utilizados nas universidades de pesquisa na época em que apareceram os protocolos OSI. Antes mesmo do início da onda de investimentos de bilhões de dólares, o mercado acadêmico já era suficientemente grande, e muitos fabricantes começaram a oferecer produtos TCP/IP, apesar de estarem cautelosos. Quando surgiu o OSI, eles não estavam dispostos a investir em uma segunda pilha de protocolos enquanto ela não se tornasse uma imposição do mercado. Com todas as empresas aguardando que alguém desse o primeiro passo, o modelo OSI não saiu do papel.

## **Tecnologia ruim**

A segunda razão para que o OSI não vingasse estava nas falhas do modelo e dos protocolos. A escolha de sete camadas foi mais política do que técnica. Duas camadas (a de sessão e a de apresentação) estão praticamente vazias, enquanto duas outras (de enlace de dados e de rede) se encontram sobrecarregadas.

O modelo OSI, juntamente com os protocolos e as definições de serviços inter-relacionados, é extraordinariamente complexo. Quando empilhados, os padrões impressos chegam a quase um metro de altura. Além disso, eles são de difícil implementação e sua operação não é nada eficiente. Nesse contexto, vale a pena lembrar o enigma proposto por Paul Mockapetris e citado em (Rose, 1993):

**P:** O que você vê quando cruza com um mafioso que adota um padrão internacional?

**R:** Alguém quemhe faz uma oferta que você não pode entender.

Além de ser incompreensível, outro problema com o OSI é que algumas funções, como endereçamento, controle de fluxo e controle de erros, aparecem repetidamente em cada camada. Por exemplo, Saltzer et al. (1984) lembraram que, para ser eficaz, o controle de erros deve ser feito na camada mais alta, de modo que sua repetição em cada uma das camadas inferiores seja desnecessária e ineficiente.

## **Implementações ruins**

Devido à enorme complexidade do modelo e dos protocolos, ninguém ficou surpreso com o fato de as implementações iniciais serem lentas, pesadas e gigantescas. Todas as pessoas que as experimentaram, saíram chamuscadas. Não demorou muito para que elas associasse ao "OSI" a "baixa qualidade". A imagem resistiu inclusive às significativas melhorias a que os produtos foram submetidos com o decorrer do tempo.

Por outro lado, uma das primeiras implementações do TCP/IP fazia parte do UNIX de Berkeley e era muito boa (sem contar que era gratuita). As pessoas começaram a usá-lo rapidamente, criando assim uma grande comunidade de usuários que, por sua vez, estimulou novas melhorias, que só serviram para aumentar ainda mais a base de usuários. Nesse caso, a espiral foi claramente ascendente.

## **Política ruim**

Devido à implementação inicial, muitas pessoas, em particular no universo acadêmico, pensaram que o TCP/IP era parte do UNIX e, na década de 1980, as universidades tinham verdadeira adoração pelo UNIX.

Por outro lado, o OSI era considerado uma criação dos ministérios de telecomunicações europeus, da Comunidade Europeia e, mais tarde, do governo dos Estados Unidos. Essa crença só era verdadeira em parte, mas a idéia de um punhado de burocratas tentando empurrar um padrão tecnicamente inferior pela garganta dos pobres pesquisadores e programadores que de fato

trabalhavam no desenvolvimento de redes de computadores não foi de muita ajuda. Algumas pessoas viram nesse desenvolvimento uma repetição de um episódio da década de 1960, quando a IBM anunciou que a PL/I era a linguagem do futuro; mais tarde, essa afirmação foi desmentida pelo Departamento de Defesa dos EUA, que afirmou que a linguagem do futuro seria a Ada.

#### 1.4.5 Uma crítica ao modelo de referência TCP/IP

Os protocolos e o modelo TCP/IP também tiveram os seus problemas. Em primeiro lugar, o modelo não diferencia com a necessária clareza os conceitos de serviço, interface e protocolo. A boa prática da engenharia de software exige uma diferenciação entre especificação e implementação, algo que o OSI faz com muito cuidado, ao contrário do TCP/IP. Consequentemente, o modelo TCP/IP não é o melhor dos guias para a criação de novas redes com base em novas tecnologias.

Em segundo lugar, o modelo TCP/IP não é nem um pouco abrangente e não consegue descrever outras pilhas de protocolos que não a pilha TCP/IP. Por exemplo, seria praticamente impossível tentar descrever a Bluetooth usando o modelo TCP/IP.

Em terceiro lugar, a camada host/rede não é realmente uma camada no sentido em que o termo é usado no contexto dos protocolos hierarquizados. Trata-se, na verdade, de uma interface (entre as camadas de rede e de enlace de dados). A distinção entre uma interface e uma camada é crucial e você deve considerá-la com cuidado.

Em quarto lugar, o modelo TCP/IP não faz distinção (nem sequer menciona) entre as camadas física e de enlace de dados. Elas são completamente diferentes. A camada física está relacionada às características de transmissão do fio de cobre, dos cabos de fibra óptica e da comunicação sem fio. A tarefa da camada de enlace de dados é delimitar o início e o final dos quadros e enviá-los de um lado a outro com o grau de confiabilidade desejado. Um modelo mais adequado deve incluir as duas camadas como elementos distintos. O modelo TCP/IP não faz isso.

Por fim, apesar de os protocolos IP e TCP terem sido cuidadosamente projetados e bem implementados, o mesmo não aconteceu com muitos outros protocolos produzidos pela comunidade acadêmica. As implementações desses protocolos eram distribuídas gratuitamente, o que acabava difundindo seu uso de tal forma que se tornou difícil substituí-las. Hoje em dia, a fidelidade a esse produto é motivo de alguns embarracos. Por exemplo, o protocolo de terminal virtual, o TELNET, foi projetado para um terminal TTY mecânico, capaz de processar 10 caracteres por segundo. Ele não reconhece o mouse e as interfaces gráficas do usuário. No entanto, esse protocolo é usado em larga escala ainda hoje, 25 anos depois de seu surgimento.

Em resumo, apesar de seus problemas, o modelo OSI (sem as camadas de sessão e apresentação) mostrou-se excepcionalmente útil para a discussão das redes de computadores. Por outro lado, os protocolos OSI jamais conseguiram se tornar populares. Ocorre exatamente o contrário com o TCP/IP: o modelo é praticamente inexistente, mas os protocolos são usados em larga escala. Como os cientistas da computação gostam de valorizar aquilo que eles próprios desenvolvem, usaremos neste livro um modelo OSI modificado, mas nos concentraremos basicamente no TCP/IP e em protocolos afins, bem como em recursos mais modernos, como 802, SONET e Bluetooth. Na verdade, a estrutura básica deste livro utilizará o modelo híbrido da Figura 1.24.

**Figura 1.24.** O modelo de referência híbrido que será usado neste livro

5	Camada de aplicação
4	Camada de transporte
3	Camada de rede
2	Camada de enlace de dados
1	Camada física

#### 1.5 Exemplos de redes

O assunto de redes de computadores abrange muitos tipos diferentes de redes, grandes e pequenas, bem conhecidas e pouco conhecidas. Elas têm diferentes objetivos, escalas e tecnologias. Nas seções a seguir, examinaremos alguns exemplos, para termos uma idéia da variedade existente na área de redes de computadores.