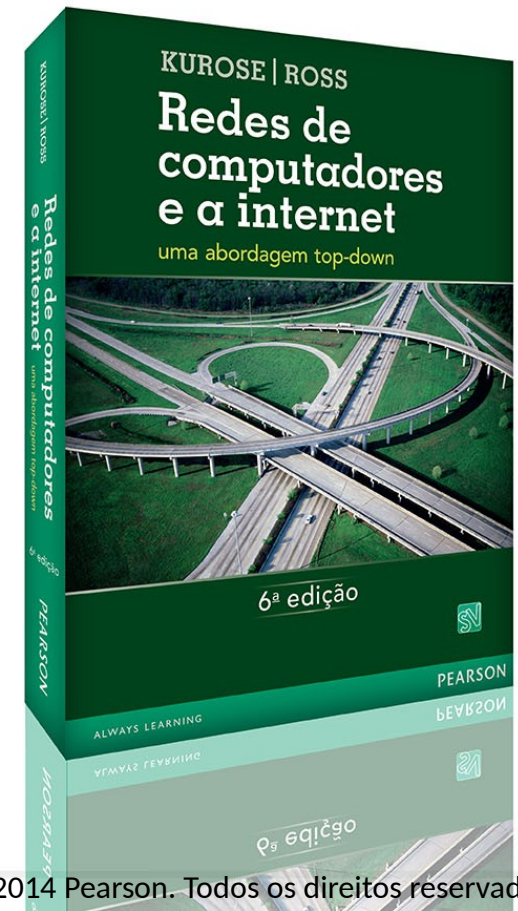
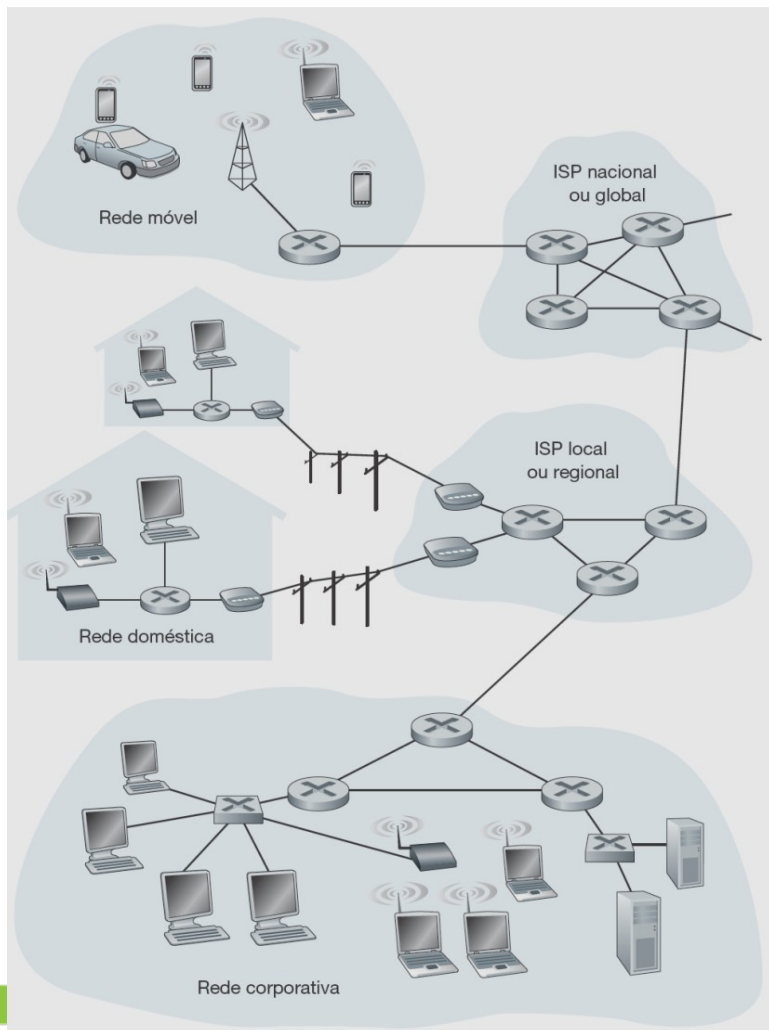


Capítulo 1

Redes de computadores e a Internet



O que é a Internet?



- O trabalho pioneiro de interconexão de redes, sob o patrocínio da DARPA, criou basicamente uma *rede de redes* e o termo **internetting** foi cunhado para descrever esse trabalho.
- Alguns componentes da Internet

Legenda:

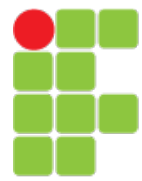


Uma descrição dos componentes da rede

- Sistemas finais são conectados entre si **por enlaces (*links*) de comunicação e comutadores (*switches*) de pacotes.**
- Eles acessam a Internet por meio de **Provedores de Serviços de Internet.**
- Os sistemas finais, os comutadores de pacotes e outras peças da Internet executam **protocolos** que controlam o envio e o recebimento de informações.
- O **TCP** e o **IP** são dois dos mais importantes da Internet.

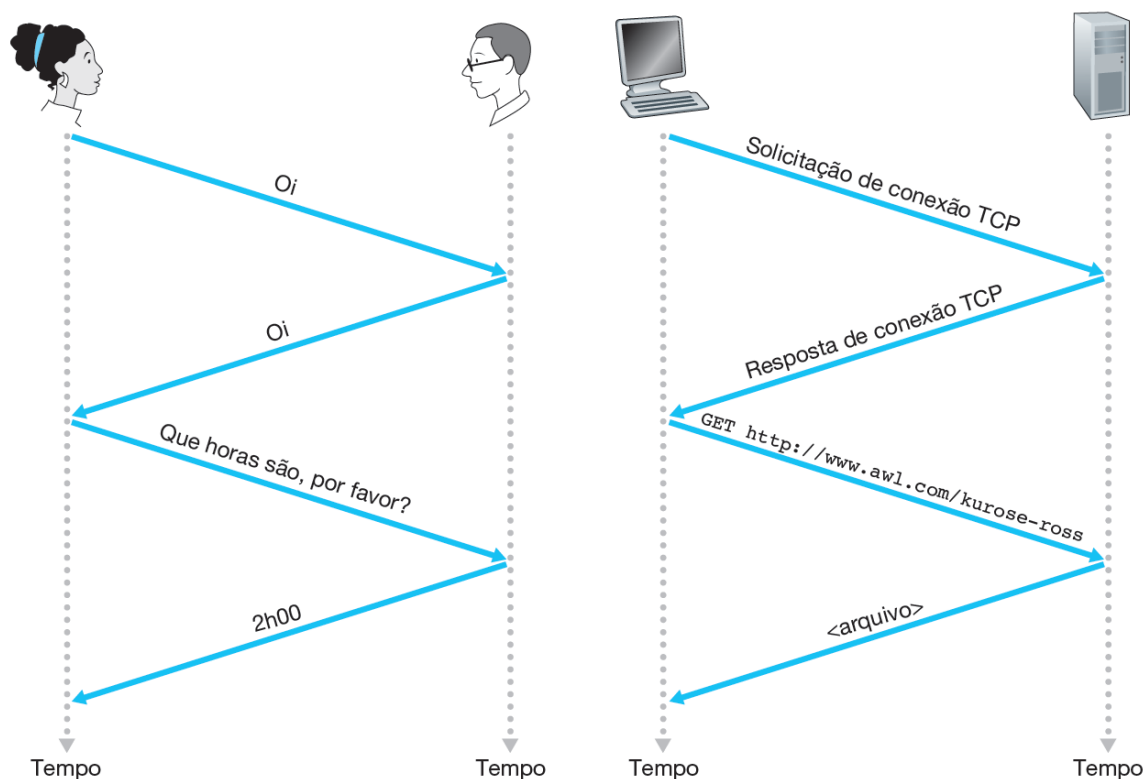
Uma descrição do serviço

- Os sistemas finais ligados à Internet oferecem uma **Interface de Programação de Aplicação (API)**.
- Ela especifica como o programa solicita à infraestrutura da Internet que envie dados a um programa de destino específico.
- Essa API da Internet é um conjunto de regras que o software emissor deve cumprir para que a Internet seja capaz de enviar os dados ao programa de destino.

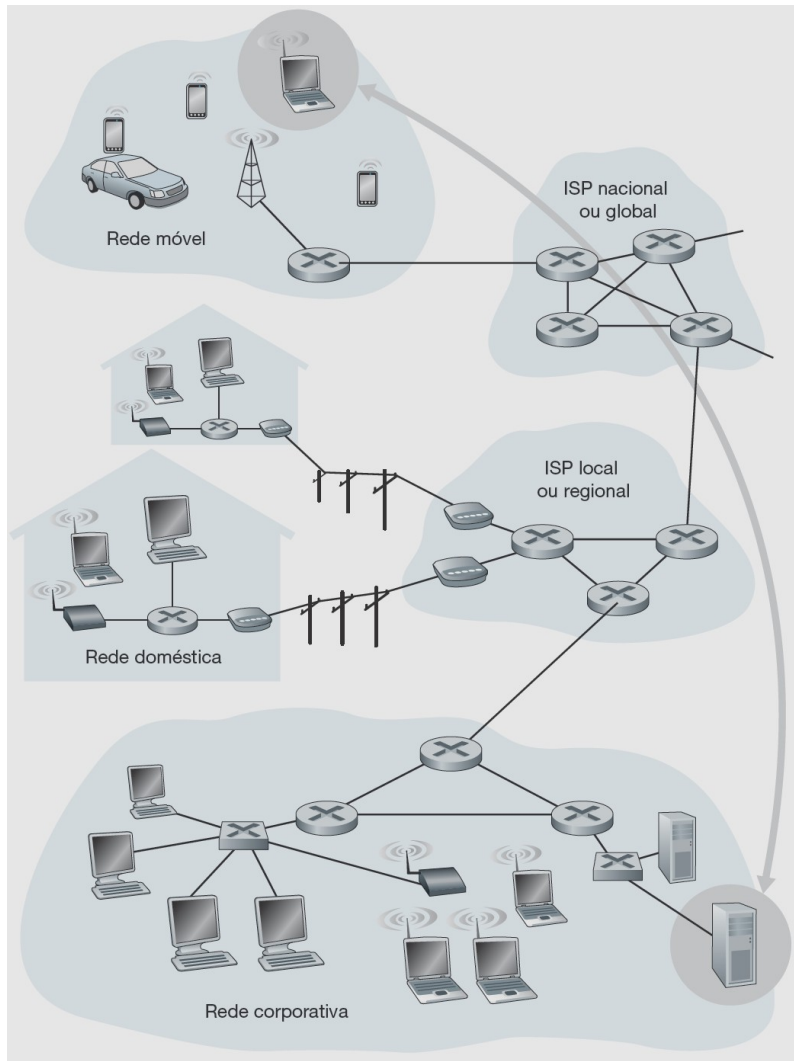


O que é um protocolo?

Protocolos definem os **formatos**, a **ordem** e as **ações** a serem tomadas na transmissão e recepção de mensagens.

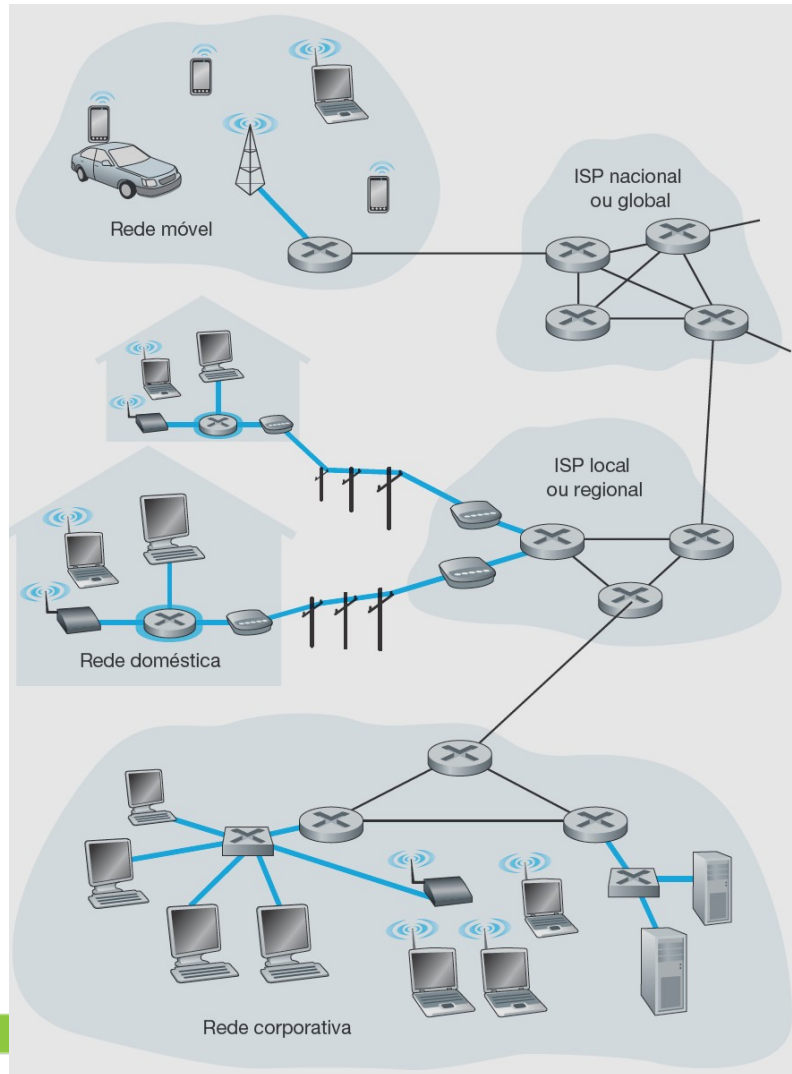


A periferia da Internet



- Interação entre sistemas finais

Redes de acesso



- Rede física que conecta um sistema final ao primeiro roteador de um caminho partindo de um sistema final até outro qualquer.

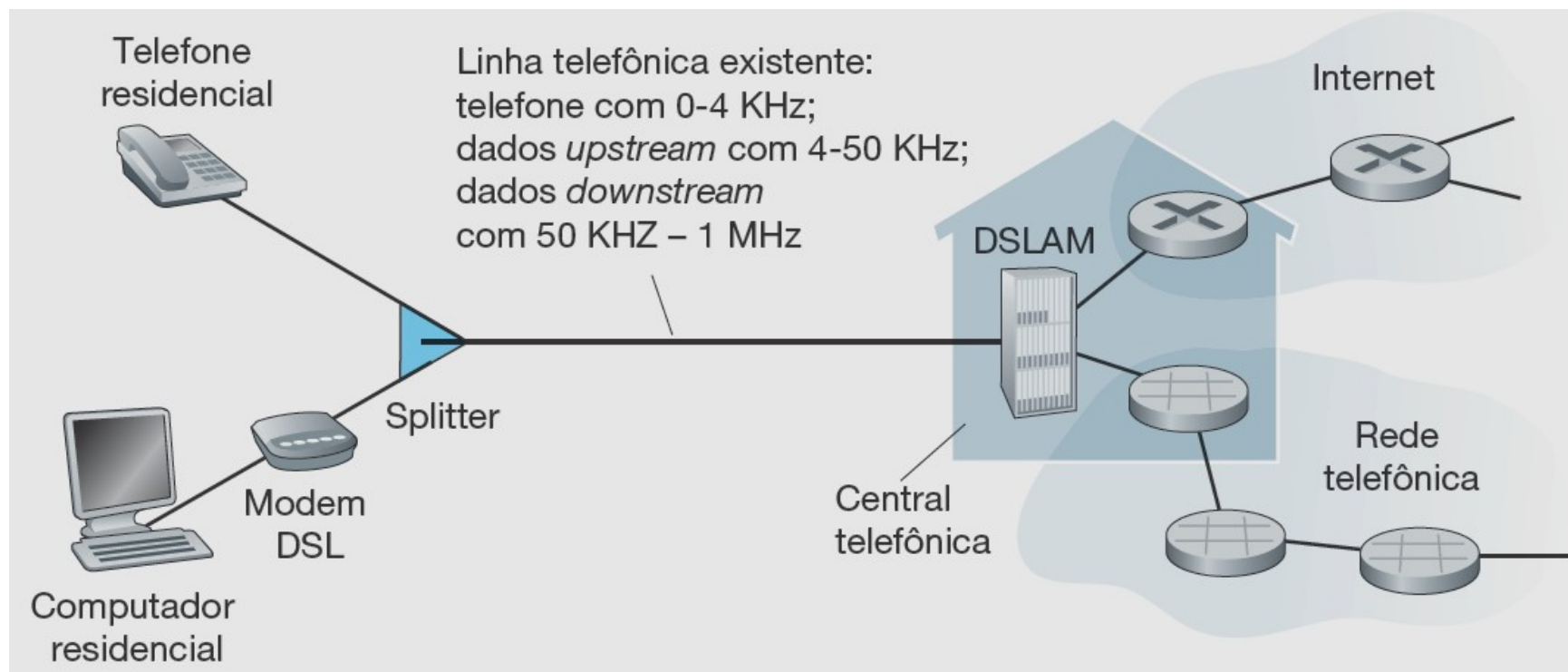
Acesso doméstico: DSL, cabo, FTTH, discado, 5G e satélite

Os tipos de acesso residencial banda largas predominantes são a linha digital de assinante (DSL), a cabo ou fibra ótica (FTTH - *Fiber-to-the-Home*).

No **DSL**, a linha telefônica conduz, simultaneamente, dados e sinais telefônicos tradicionais, que são codificados em frequências diferentes.

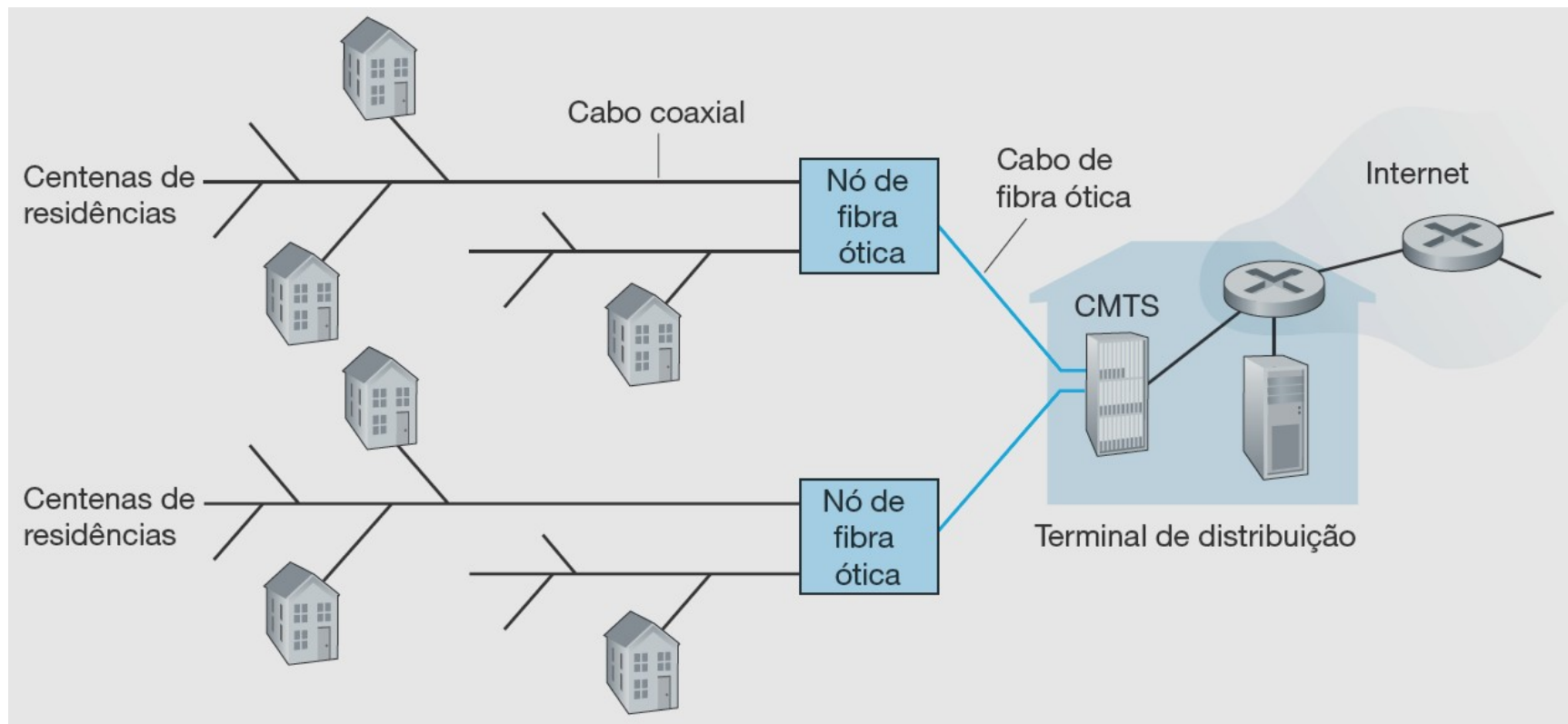
Acesso doméstico: DSL, cabo, FTTH, discado, 5G e satélite

- Acesso à Internet por DSL



Acesso doméstico: DSL, cabo, FTTH, discado, 5G e satélite

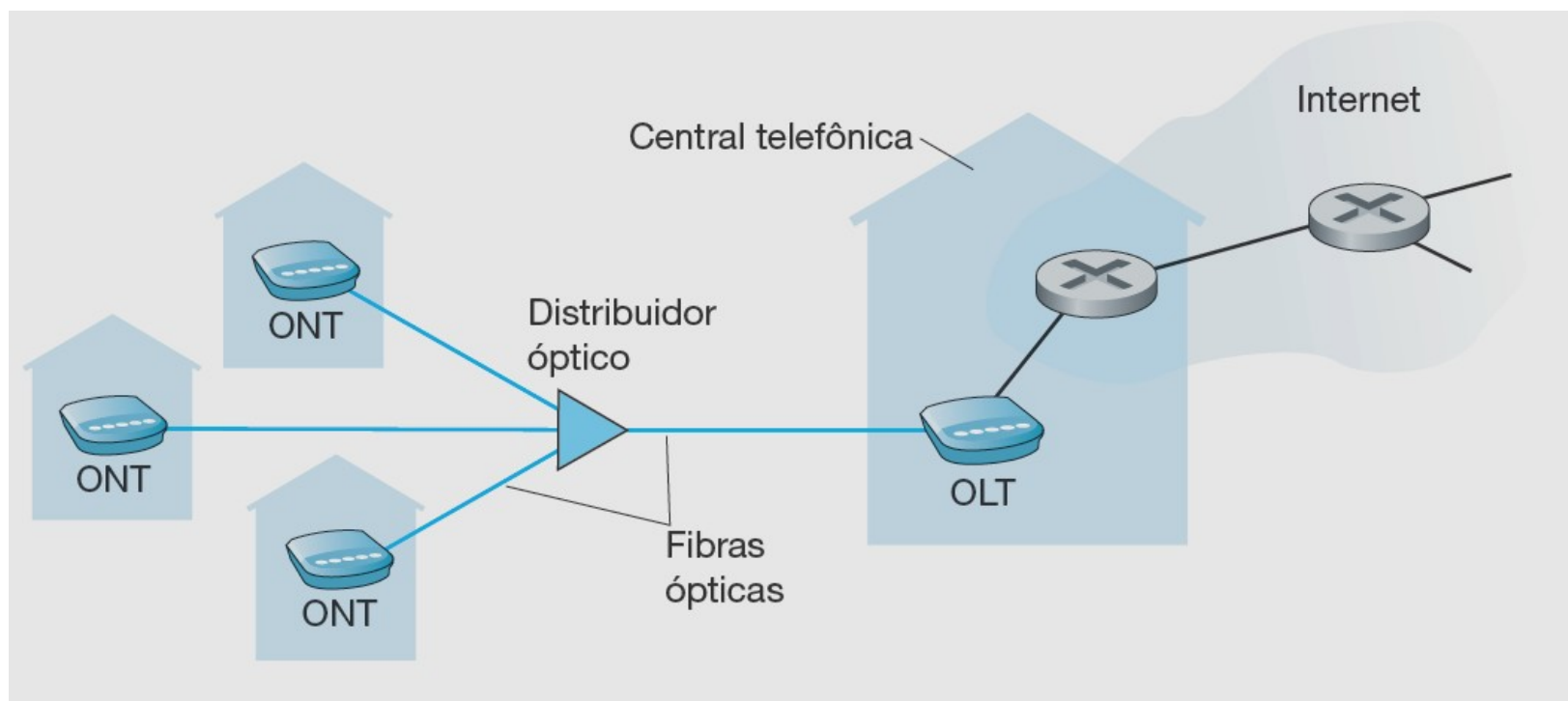
- Uma rede de acesso híbrida fibra-coaxial



Acesso doméstico: DSL, cabo, FTTH, discado, 5G e satélite

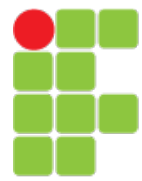
- O conceito da FTTH é simples — oferece um caminho de fibra ótica da CT diretamente até a residência.

OLT – *Optical Line Terminal*, ONT – *Optical Network Terminal*



Acesso doméstico: DSL, cabo, FTTH, discado, 5G e satélite

- Em locais onde DSL, cabo e FTTH não estão disponíveis, um enlace de satélite pode ser empregado para conexão em velocidades, até bem pouco tempo, não maiores do que 1 Mbit/s.
- **StarLink:** taxas de 100 Mbps até 1 Gbps.
- **Viasat:** taxas de 15 até 30 Mbps
- **HughesNET**



Acesso doméstico: DSL, cabo, FTTH, discado, 5G e satélite

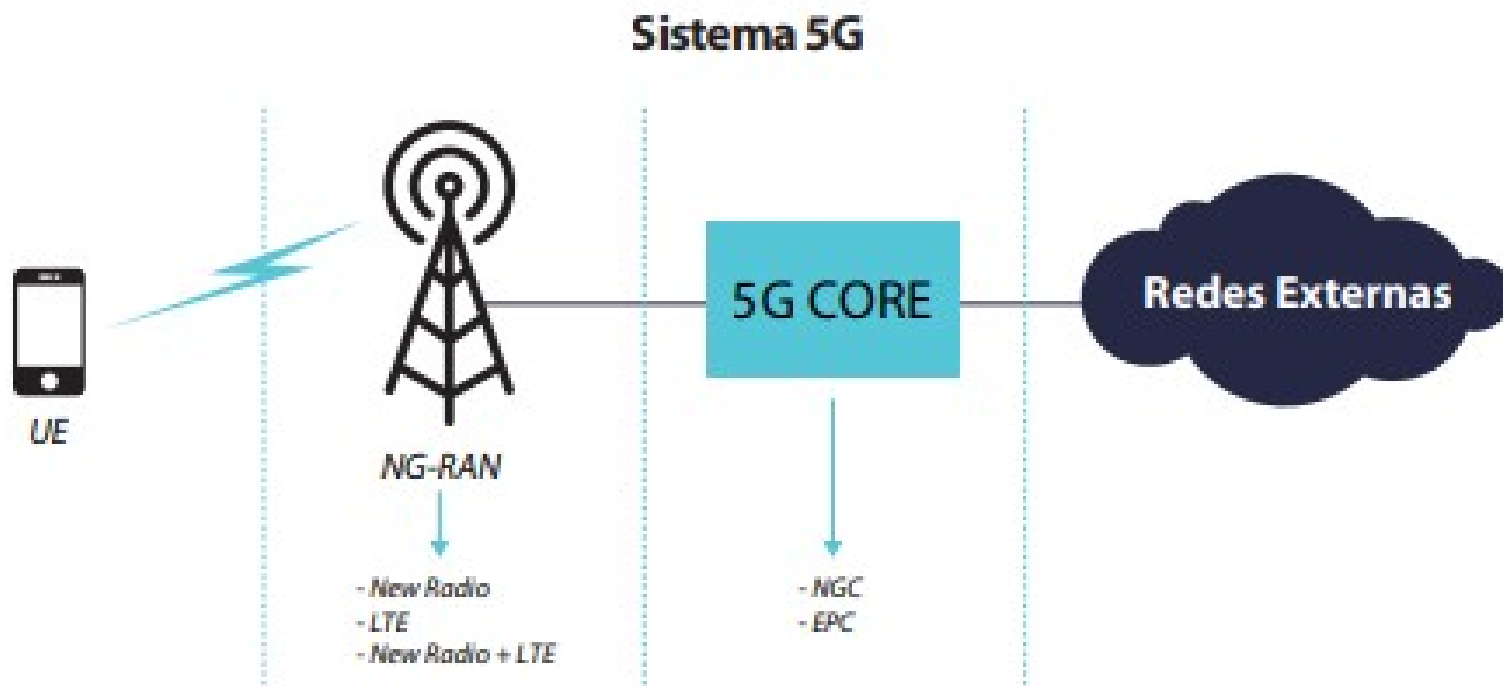
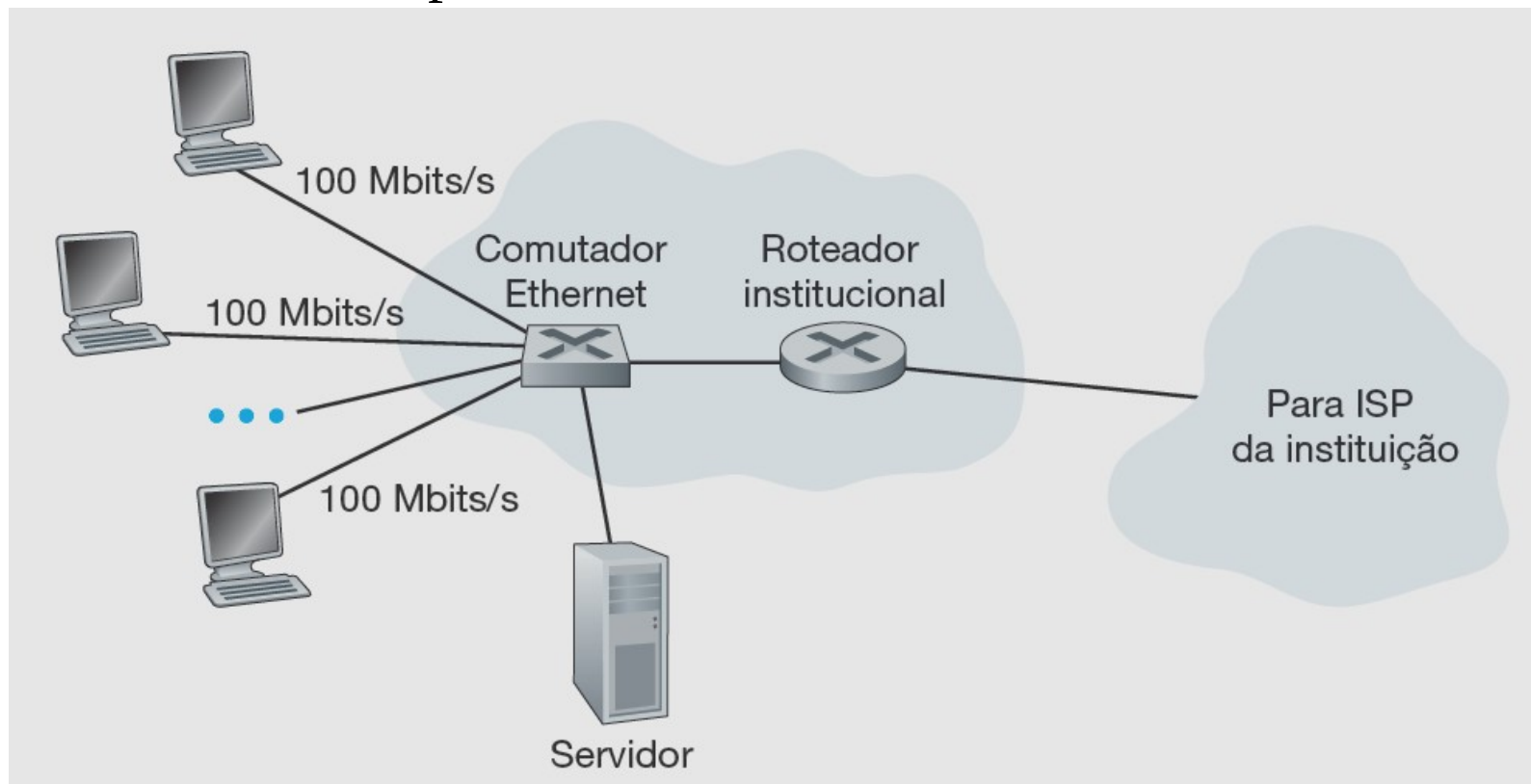


Figura: <https://www.linkedin.com/pulse/arquitetura-5g-r%C3%B4mulo-melo/>

Acesso na empresa (e na residência): Ethernet e Wi-Fi

- Acesso a internet por ethernet

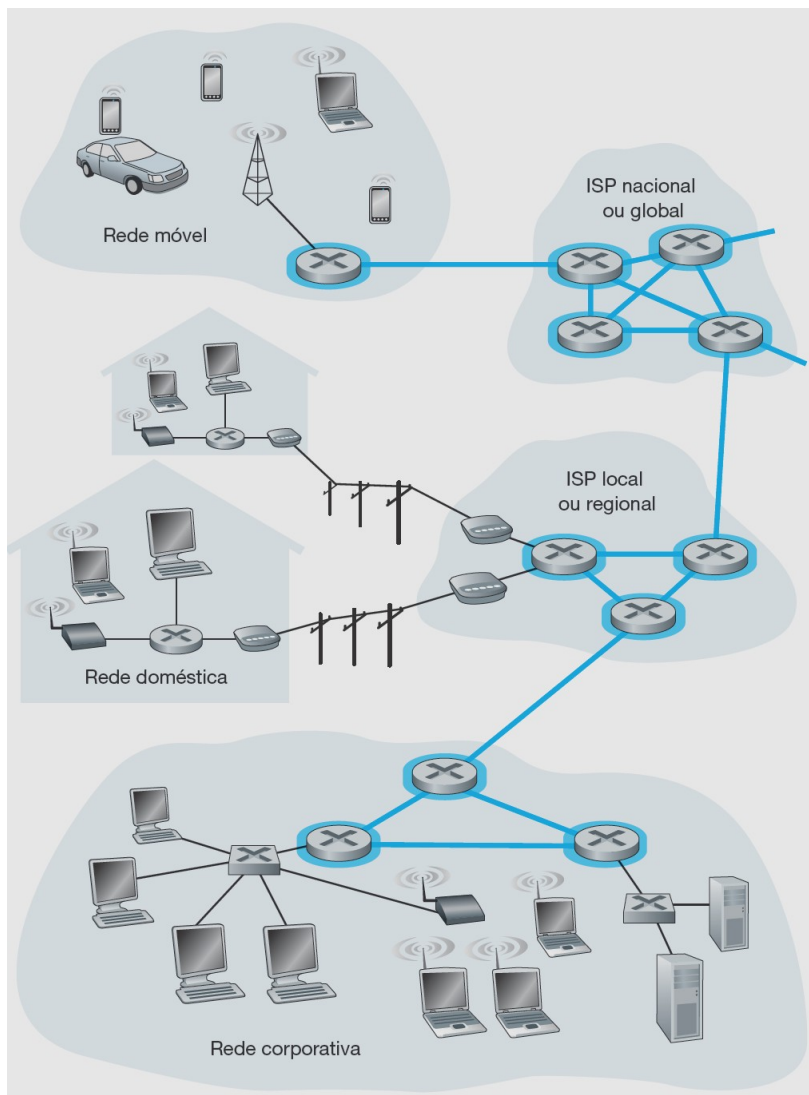


<http://www.pop-sc.rnp.br/publico/monitoramento.php>

Meios físicos

- O bit, ao viajar da origem ao destino, passa por uma série de pares transmissor-receptor, que o recebem por meio de ondas eletromagnéticas ou pulsos ópticos que se propagam por um **meio físico**.
- Alguns exemplos de meios físicos são par de fios de cobre trançados, cabo coaxial, cabo de fibra ótica multimodo, espectro de rádio terrestre e espectro de rádio por satélite.
- Os meios físicos se enquadram em duas categorias: meios guiados e meios não guiados.

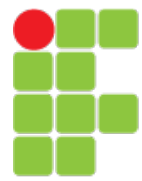
O núcleo da rede



- O núcleo da rede

Comutação de pacotes

- Em uma aplicação de rede, sistemas finais trocam **mensagens** entre si.
- Para enviar uma mensagem de um sistema final de origem para um destino, o originador fragmenta mensagens longas em porções de dados menores, denominadas **pacotes**.
- Entre origem e destino, cada um deles percorre enlaces de comunicação e **comutadores de pacotes**.
- Há dois tipos principais de comutadores de pacotes: **roteadores** e **comutadores de camada de enlace**.



Transmissão armazena-e-reenvia

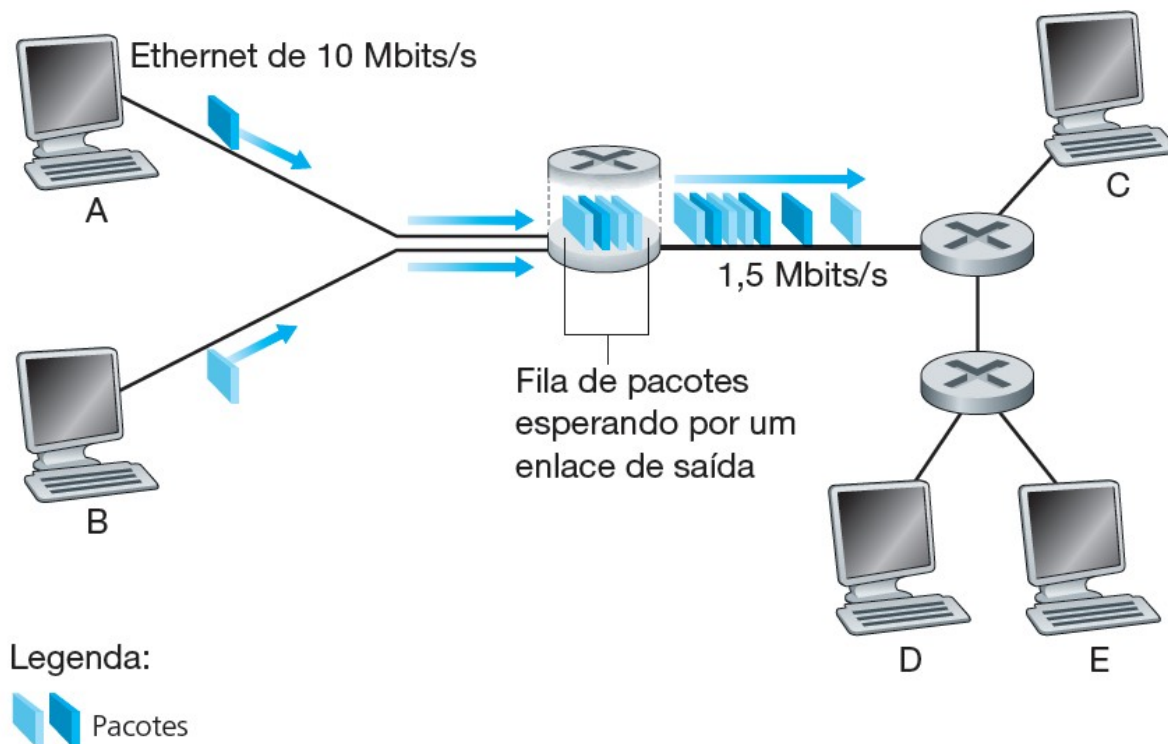
- Significa que o comutador de pacotes deve receber o pacote inteiro antes de poder começar a transmitir o primeiro bit para o enlace de saída. **Por quê?**
- Ex.: Se origem tiver pacotes de L bits, então levará L/R segundos para o pacote chegar (inteiro) ao roteador e levará mais L/R segundos para transmitir do roteador ao Destino, portanto, $2L/R$ s:

$$d_{\text{fim a fim}} = N(L/R)$$



Transmissão armazena-e-reenvia

- A figura abaixo ilustra uma rede simples de comutação de pacotes.



Legenda:



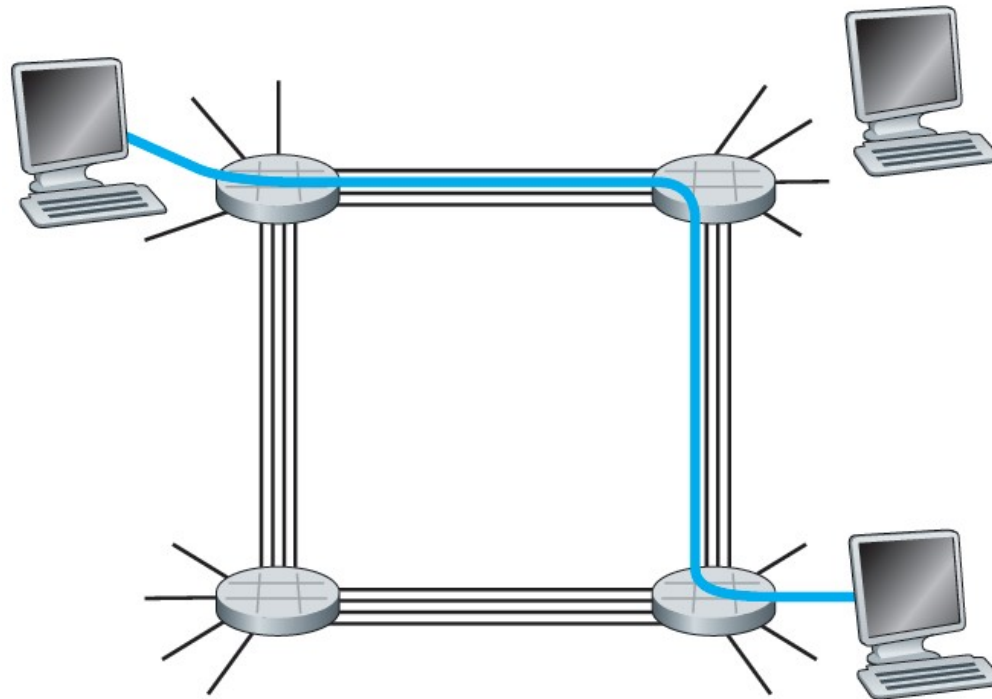
Tabelas de repasse e protocolos de roteamento

- Cada roteador possui uma tabela de encaminhamento que mapeia os endereços de destino para enlaces de saída desse roteador.
- O processo de roteamento fim a fim é semelhante a um motorista que não quer consultar o mapa, preferindo pedir informações.
- Um protocolo de roteamento pode, por exemplo, determinar o caminho mais curto de cada roteador a cada destino e utilizar os resultados para configurar as tabelas de encaminhamento nos roteadores.

traceroute

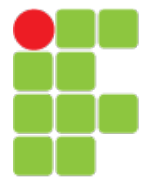
Comutação de circuitos

- As redes de telefonia tradicionais são exemplos de redes de comutação de circuitos.



Multiplexação em redes de comutação de circuitos

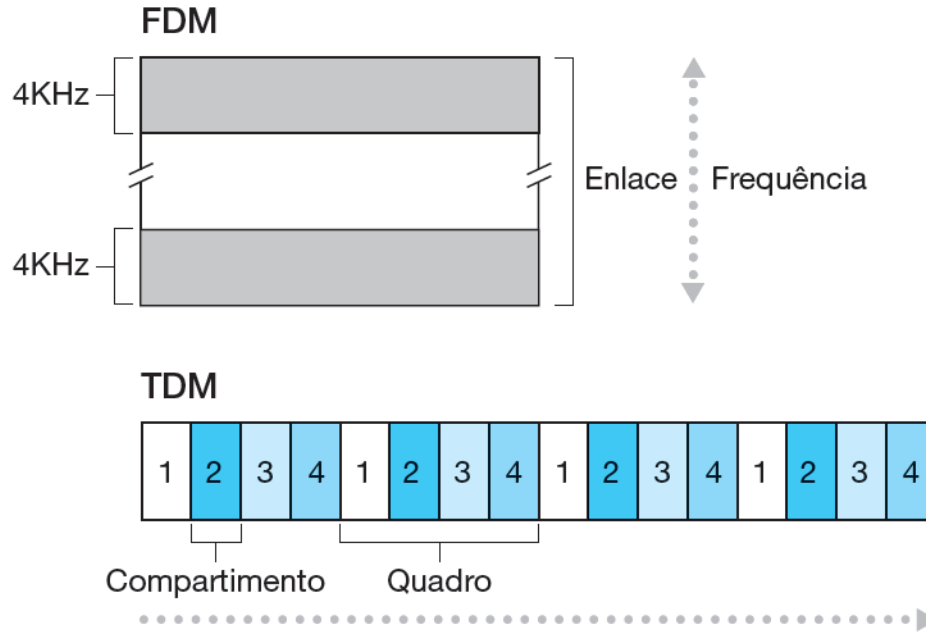
- Um circuito é implementado em um enlace por **multiplexação por divisão de frequência (FDM)** ou por **multiplexação por divisão de tempo (TDM)**.
- A figura a seguir ilustra as técnicas FDM e TDM para um enlace de rede que suporta até quatro circuitos.
- Embora tanto a comutação de pacotes quanto a de circuitos predominem nas redes de telecomunicação de hoje, a tendência é, sem dúvida, a comutação de pacotes.



Multiplexação em redes de comutação de circuitos

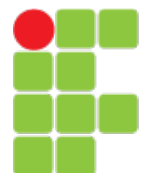
- Com FDM, cada circuito dispõe continuamente de uma fração da largura de banda.
- Com TDM, cada circuito dispõe de toda a largura de banda periodicamente, durante breves intervalos de tempo.

Problemas?



Legenda:

- 2 Todos os compartimentos de número "2" são dedicados a um par transmissor/receptor específico.



Comutação de pacotes X comutação de circuitos

Comutação de pacotes permite que mais usuários usem a mesma rede!

- Cenário:
 - Enlace de 1 Mbit/s
 - Cada usuário:
 - 100 Kbits/s quando “ativo”
 - Ativo 10% do tempo
- Comutação de circuitos: 10 usuários
- Comutação de pacotes: com 35 usuários, probabilidade de mais de 10 ativos é menor que 0,0004

Comutação de pacotes X comutação de circuitos

A **comutação de pacotes** é melhor sempre?

- ✓ Ótima para dados esporádicos
- ✓ Melhor compartilhamento de recursos
- ✓ Não há estabelecimento de chamada (sem atraso inicial)
- ✗ Em caso de congestionamento excessivo: atraso e perda de pacotes
- ✗ Protocolos são necessários para transferência confiável, controle de congestionamento
- ✗ Como obter um comportamento semelhante ao de um circuito físico?
 - Garantias de taxa de transmissão são necessárias para aplicações de áudio/vídeo
 - Problema ainda sem solução (capítulo 6)

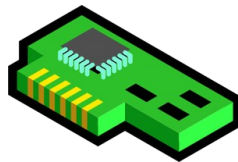
Endereçamento IP X Endereçamento de Hardware X Nomes X Endereço de Janelas

*imagens vetorizadas retiradas de <https://publicdomainvectors.org>

Endereço de Hardware

Depende da Tecnologia: caso ETHERNET (tecnologia dominante HOJE para redes multiponto – LANs - *Local Area Network*)

A placa ETHERNET possui um endereço de 6 bytes (endereço MAC) ÚNICO:

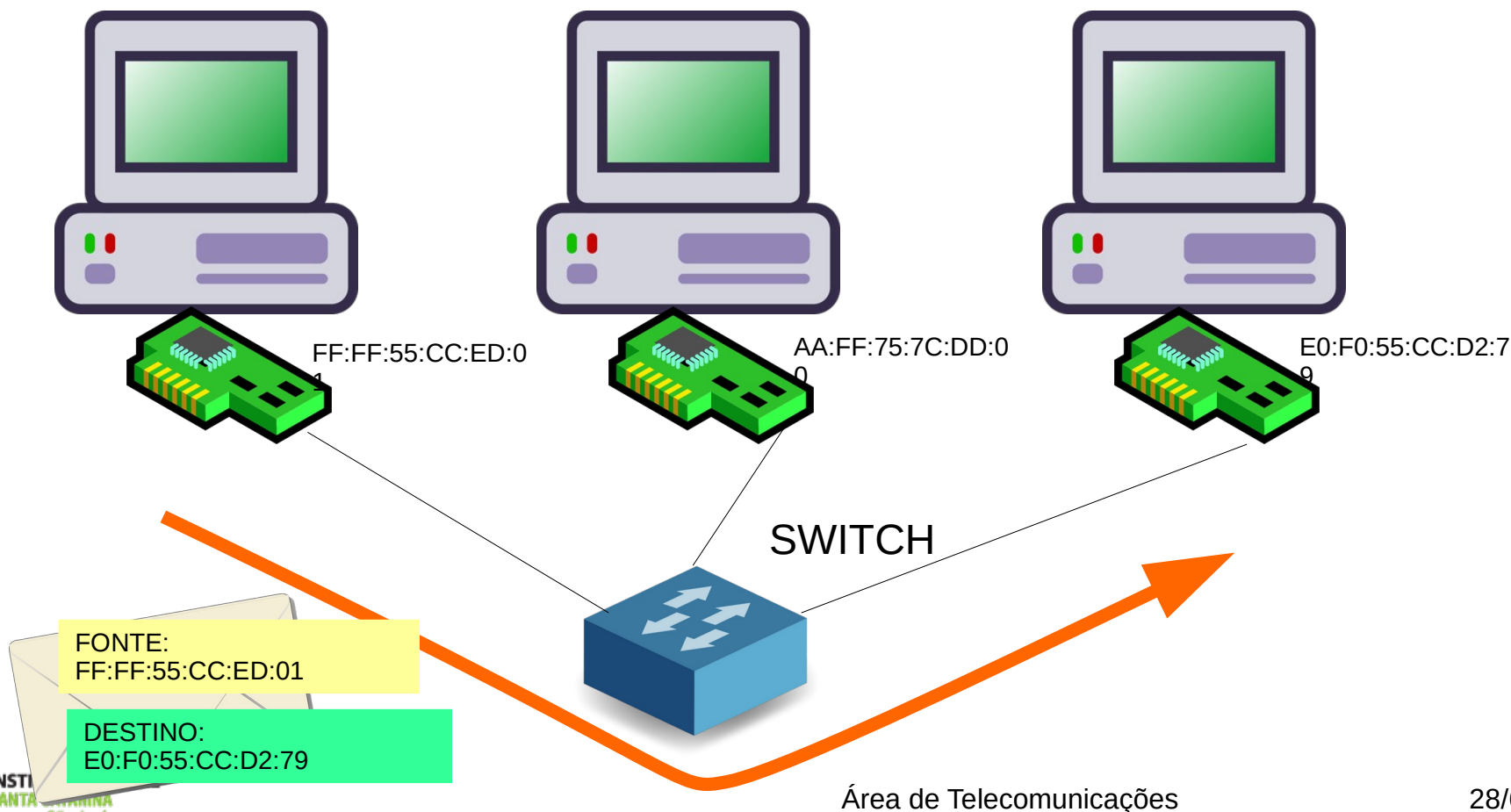


FF:FF:55:CC:ED:01

11111111:11111111:01010101:11001100:11101101:00000001

Endereço de Hardware

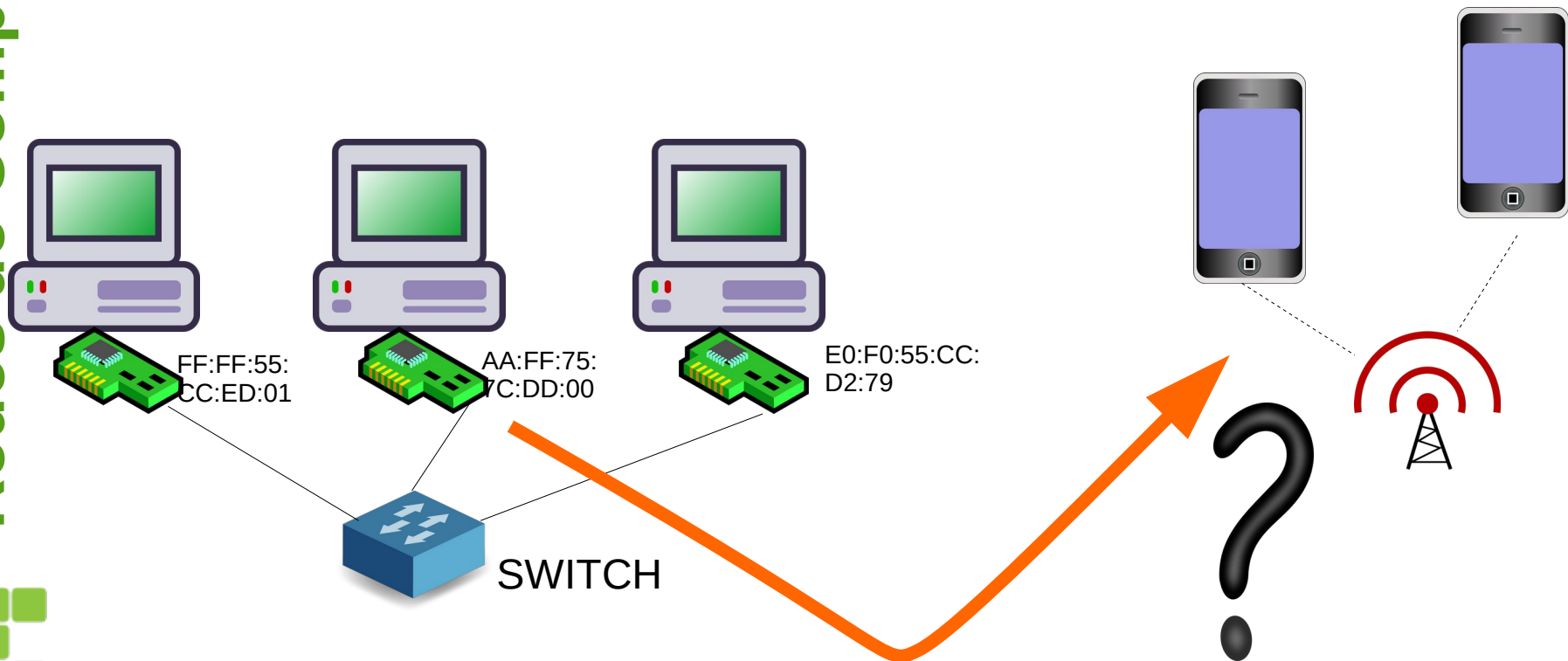
Caso ETHERNET: Quadros (Frames) ETHERNET possuem endereços de DESTINO e FONTE:



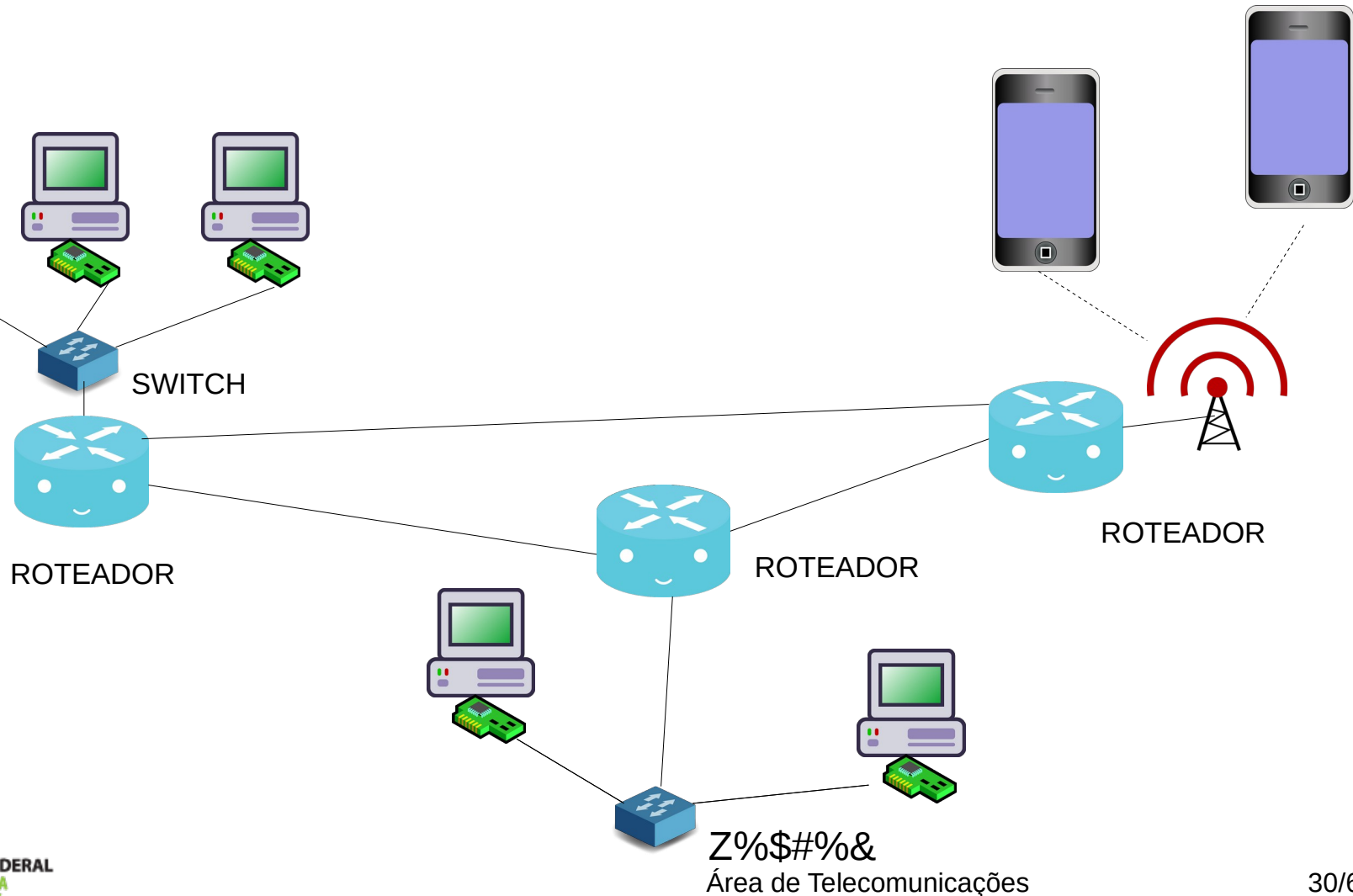
NOTAR que existem diferentes tecnologias para interligar computadores. A ETHERNET é uma delas.

PROBLEMA:

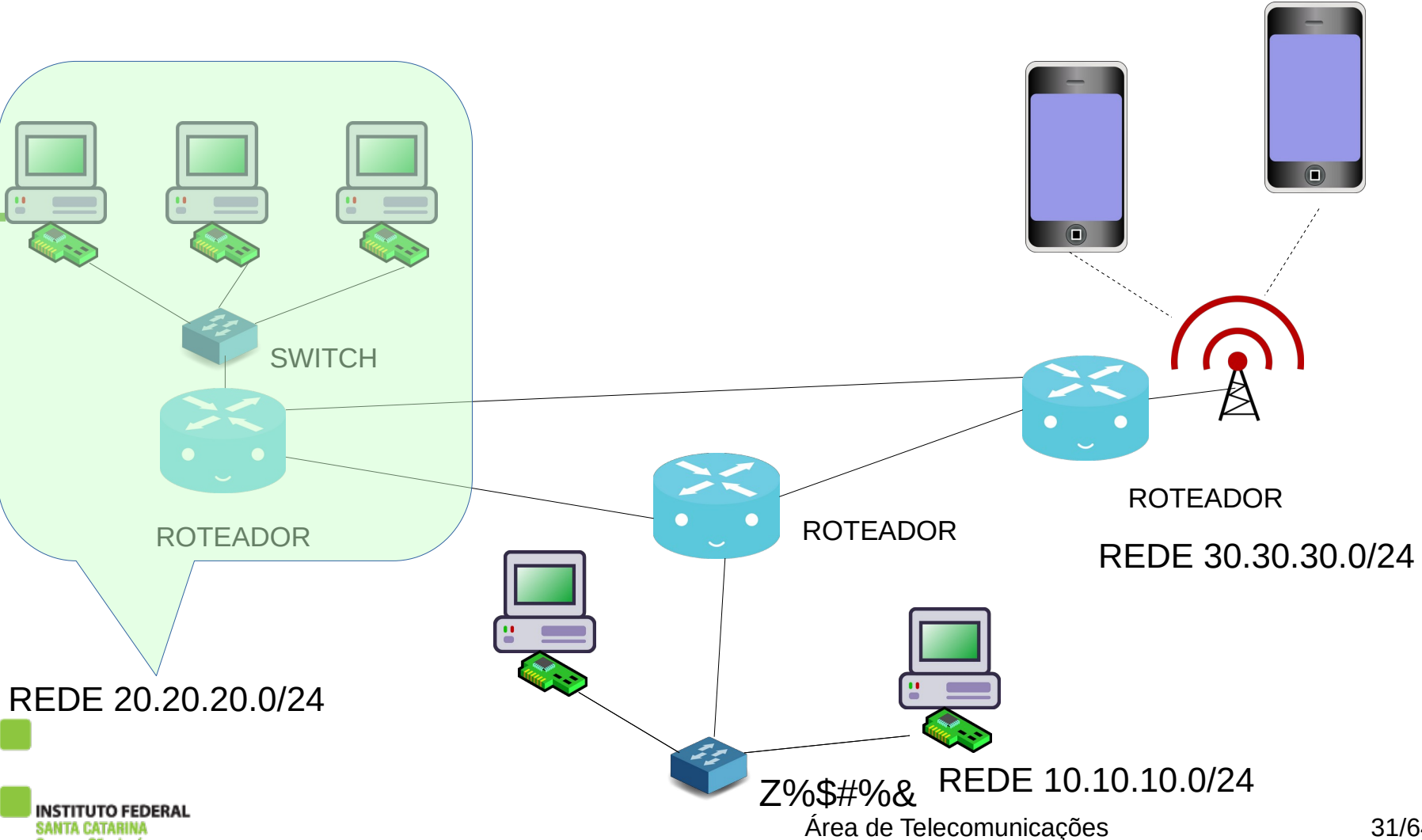
Como interligar redes com tecnologias diferentes. Endereços MACs e formato de quadros diferentes???



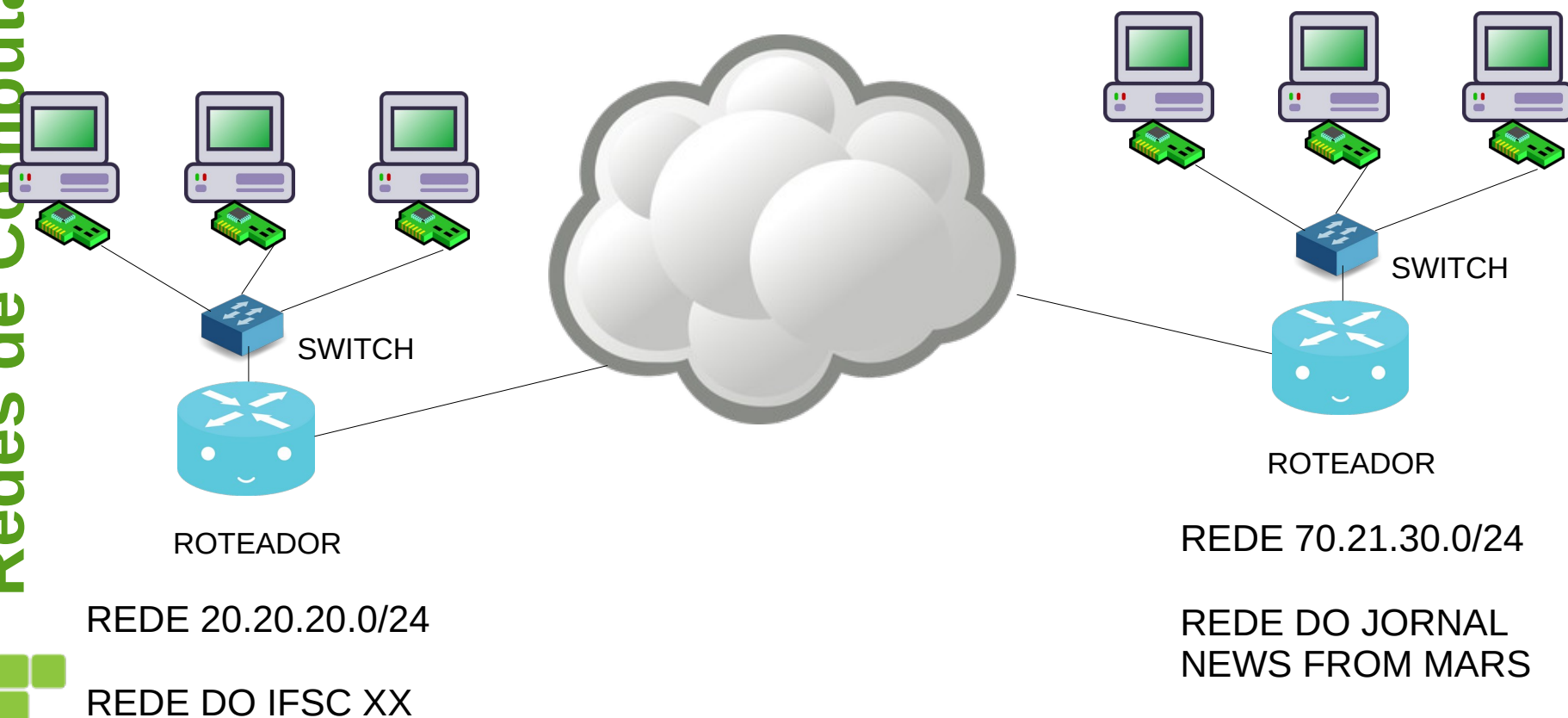
SOLUÇÃO: Rede de Redes INTERNET



INTERNET: Endereços IP independentes de tecnologia



A rede possui um endereço IP que IDENTIFICA a mesma no MUNDO



IPs x Nomes

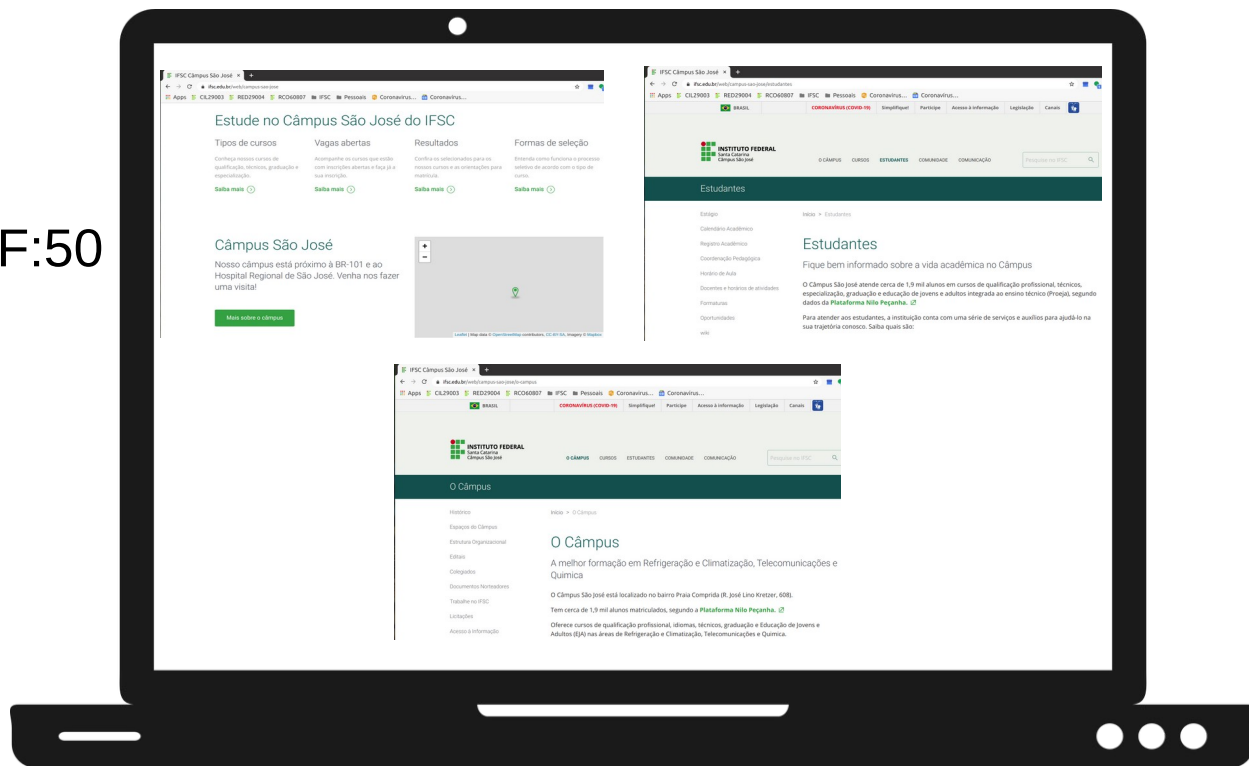
- O DNS (*Domain Name System*) é um serviço/protocolo que converte o nome digitado pelo usuário, por exemplo, NewsFromMars.com.br para seu respectivo endereço IP: 70.21.30.1.

Endereços, última palavra

Computador

IP:20.20.20.1/24

MAC: CC:55:2A:B1:EF:50



- Qual endereço que diferencia uma janela do navegador da outra?
- Na imagem, todas a janelas estão navegando no servidor do IFSC, portanto, mesmo IP de destino.

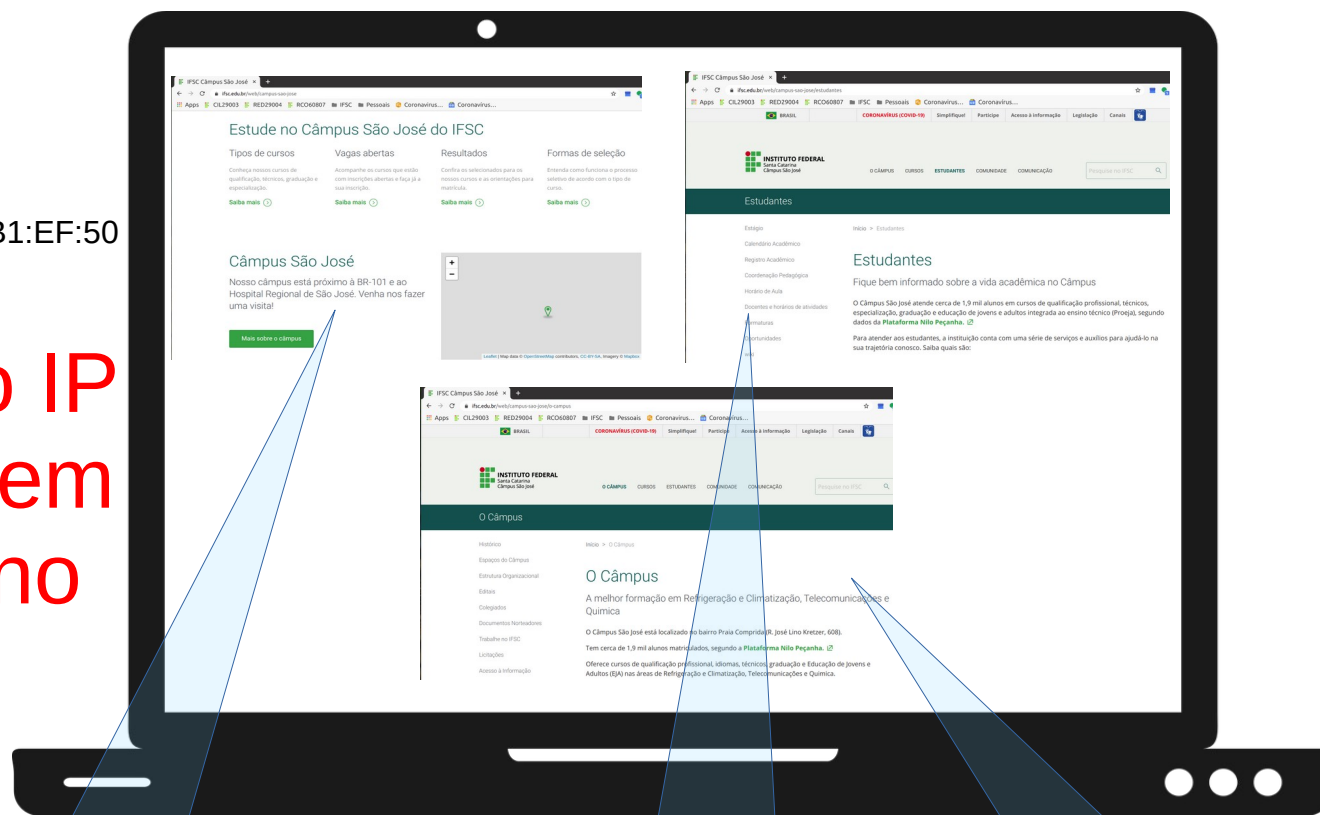
Endereços, última palavra

Computador

IP:20.20.20.1/24

MAC: CC:55:2A:B1:EF:50

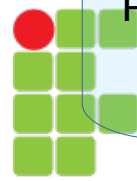
Mesmo IP
de origem
e destino



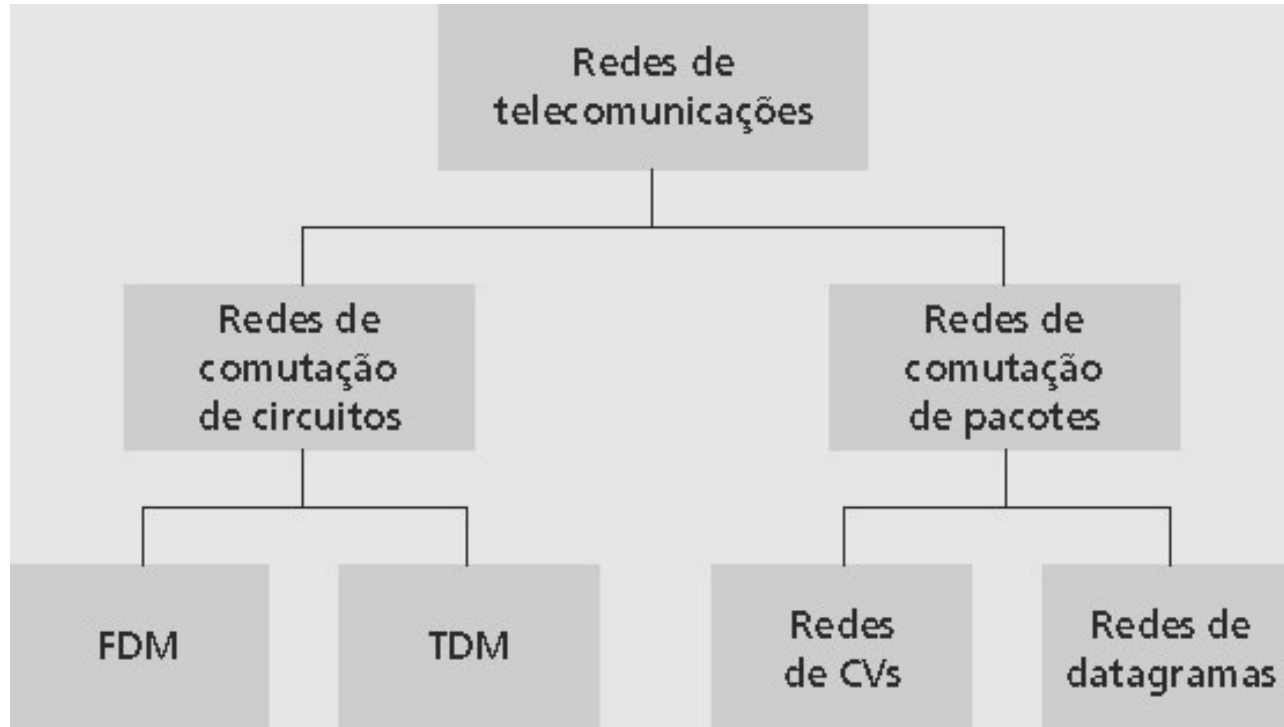
Porta de origem: 12537
Porta de destino: 80

Porta de origem: 55437
Porta de destino: 80

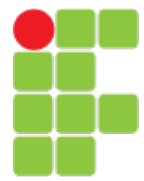
Porta de origem: 27543
Porta de destino: 80



Taxonomia da rede



- A Internet provê serviços com orientação à conexão (**TCP**) e serviços sem orientação à conexão (**UDP**) para as apps.
- CV: MPLS (*Multiprotocol Label Switching*)



Tamanho das redes

- **LAN**

Local Area Network, ou Rede de Área Local, ou ainda simplesmente Rede Local, geralmente está localizada em um edifício, escritório, campus ou até mesmo em sua residência.

- **MAN**

Metropolitan Area Network, ou Rede de Área Metropolitana, é um escopo de rede intermediário entre uma LAN e uma WAN.

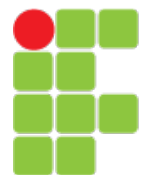
Trata-se de uma rede localizada em uma área geográfica confinada e bem definida, de tamanho médio, como por exemplo em um município ou região metropolitana.

- **WAN**

Wide Area Network, ou Rede de Área Ampla. Em uma WAN a comunicação se dá em uma distância relativamente (ou muito) longa.

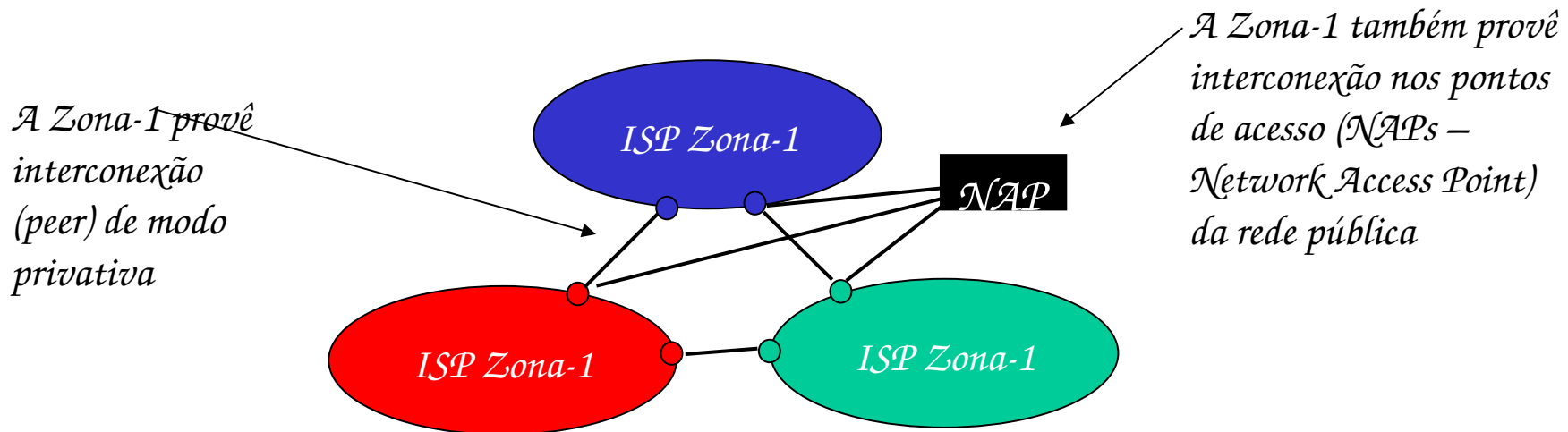
Geralmente podemos usar uma WAN para conectar uma LAN em um local a outra LAN em um local remoto, que pode estar localizada em um prédio vizinho ou do outro lado do planeta.

- PAN, BAN, WLAN....



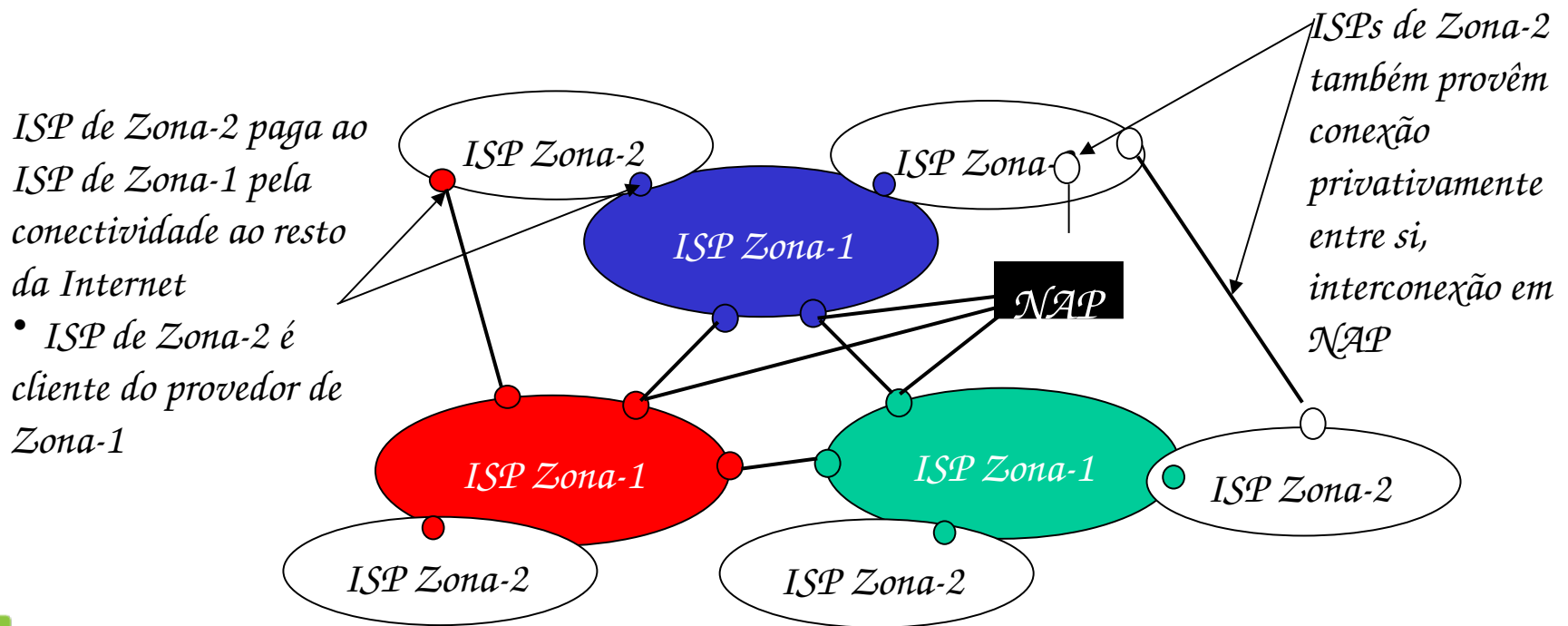
Estrutura da Internet: rede de redes

- Grosseiramente hierárquica
- **No centro:** ISPs de “zona-1” (ex.: NET, Vivo, Claro, Oi, RNP...), cobertura nacional/internacional



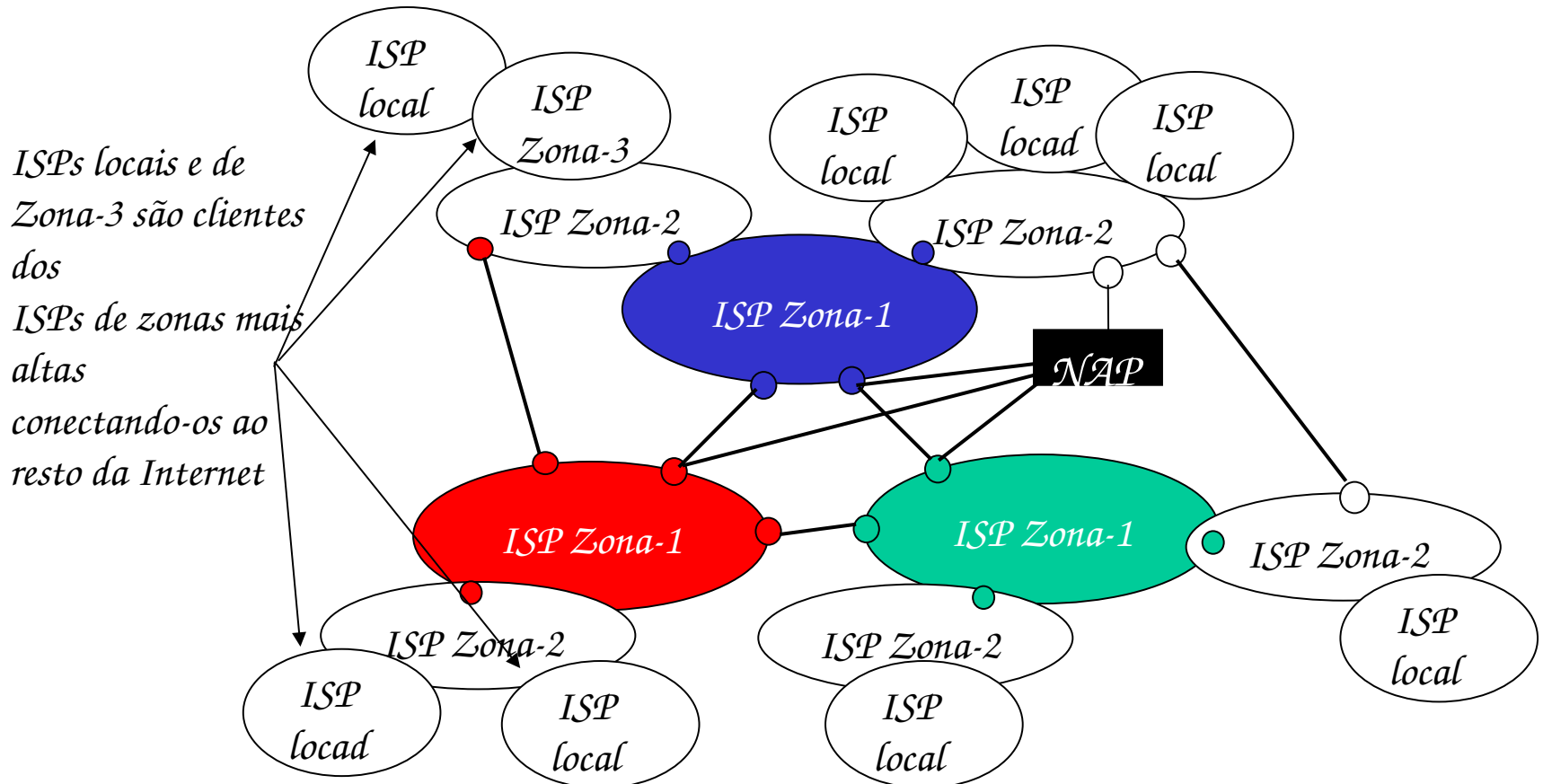
Estrutura da Internet: rede de redes

- ISPs de "Zona-2": ISPs menores (frequentemente regionais)
 - Conectam-se a um ou mais ISPs de Zona-1, possivelmente a outros ISPs de Zona-2



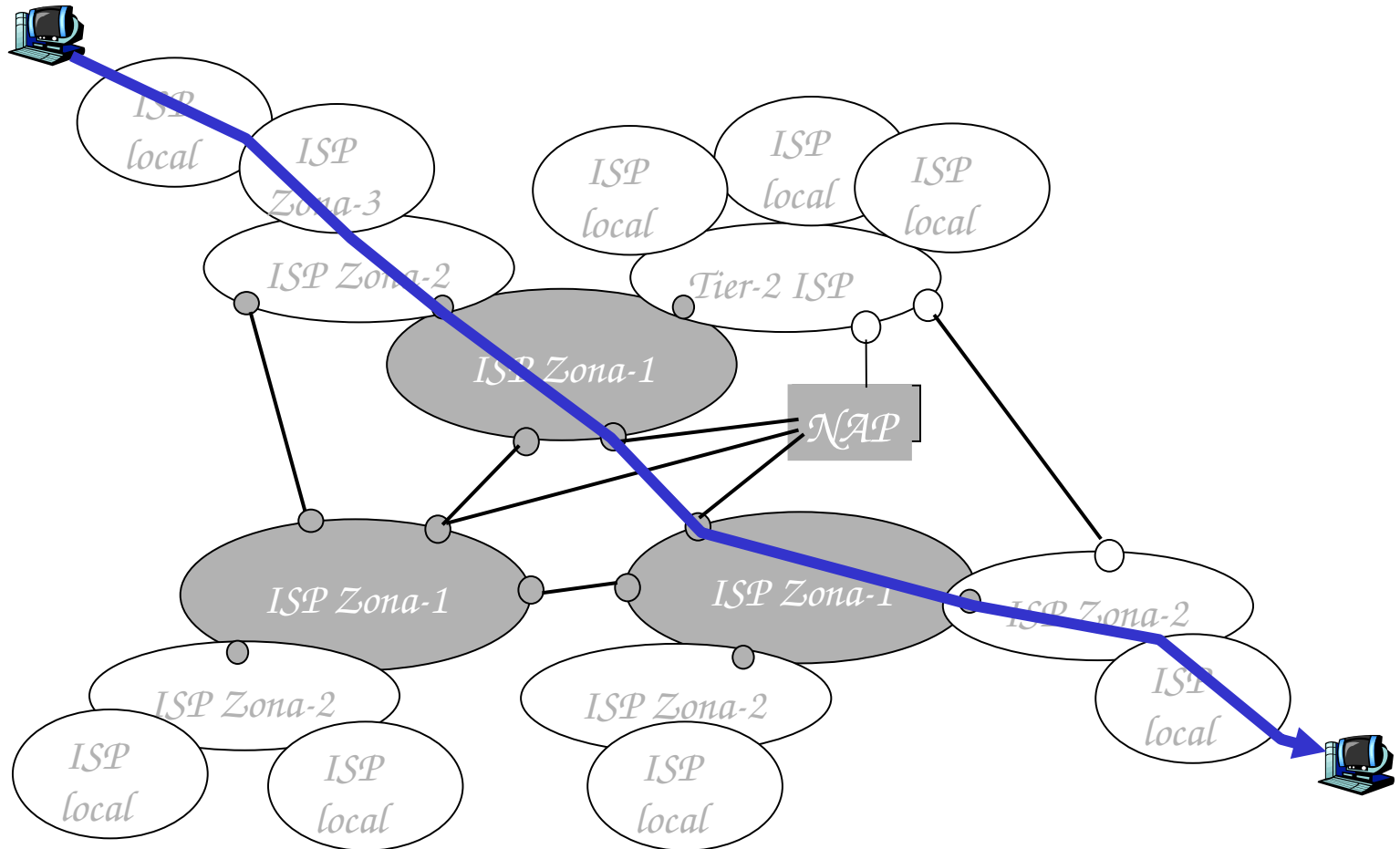
Estrutura da Internet: rede de redes

- ISPs de “Zona-3” e ISPs locais
 - Última rede de acesso (“hop”) (mais próxima dos sistemas finais)



Estrutura da Internet: rede de redes

- Um pacote passa através de muitas redes



Uma visão geral de atraso em redes de comutação de pacotes

- Um pacote começa em um sistema final (a origem), passa por uma série de roteadores e termina sua jornada em outro sistema final (o destino).
- Quando um pacote viaja de um nó fonte ao nó destino, sofre, ao longo desse caminho, diversos tipos de atraso em cada nó.

Uma visão geral de atraso em redes de comutação de pacotes

Os mais importantes deles são:

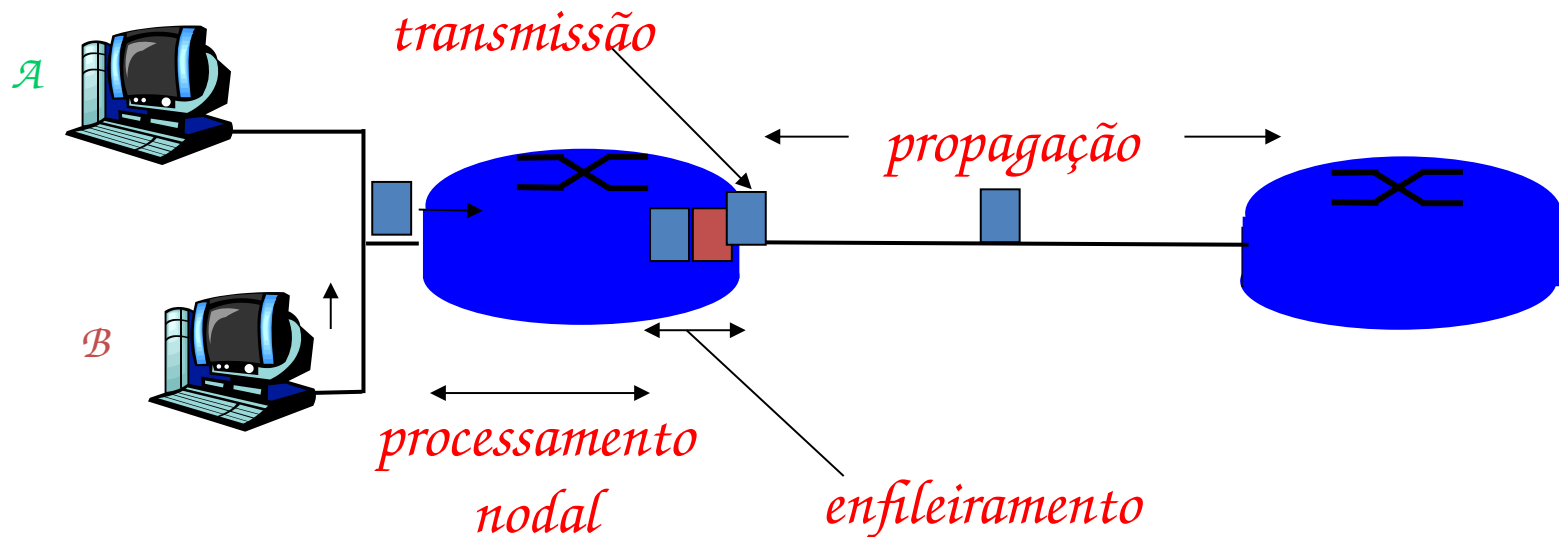
- o atraso de processamento nodal,
- o atraso de fila,
- o atraso de transmissão
- e o atraso de propagação;

juntos, eles se acumulam para formar o atraso nodal total.

O desempenho de muitas aplicações da Internet é bastante afetado por atrasos na rede. **Cite!**

Uma visão geral de atraso em redes de comutação de pacotes

- O atraso nodal no roteador A



Quais atrasos são fixos e quais são variáveis?

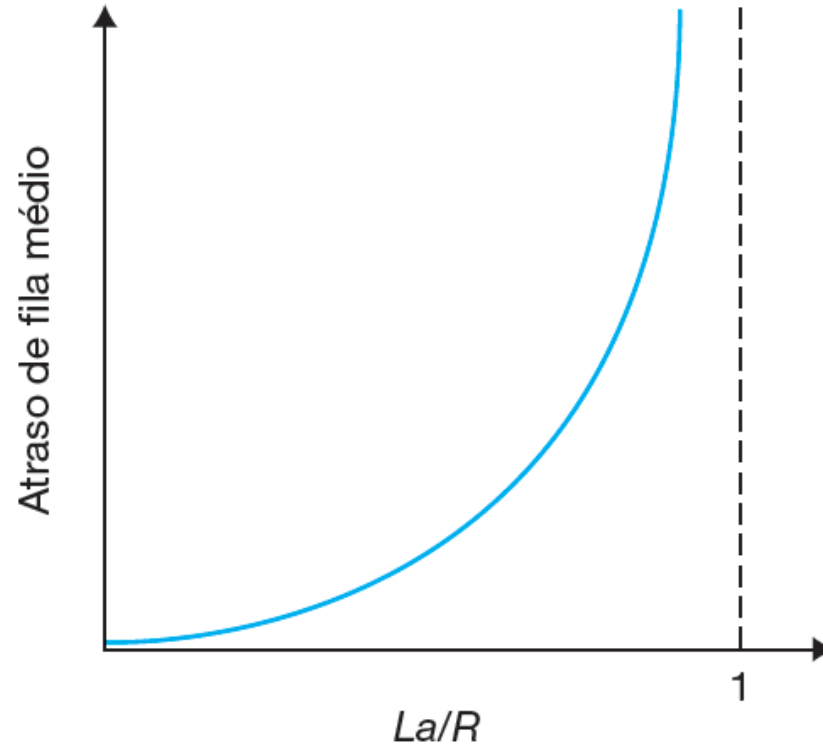
https://media.pearsoncmg.com/aw/ecs_kurose_compnetwork_7/cw/content/interactiveanimations/transmission-vs-propagation-delay/transmission-propagation-delay-ch1/index.html

Atraso de fila e perda de pacote

- Quando o atraso de fila é grande e quando é insignificante?
- A resposta depende da velocidade de transmissão do enlace, da taxa com que o tráfego chega à fila e de sua natureza em rajadas.
 - Pacotes igualmente espaçados no tempo
 - Pacotes chegando em rajadas
- Uma das regras de ouro da engenharia de tráfego é: *projete seu sistema de modo que a intensidade de tráfego não seja maior do que 1*: $L a / R > 1$, onde L = tamanho dos pacotes em bits, a é a medida de pacotes/segundo e R é a taxa de transmissão em bits/s.
- A dependência qualitativa entre o atraso de fila médio e a intensidade de tráfego é mostrada na figura a seguir.

Atraso de fila e perda de pacote

- Dependência entre atraso de fila médio e intensidade de tráfego



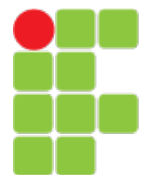
Atraso de fila e perda de pacote

- A fila é capaz de conter um número infinito de pacotes?
- O que acontece de fato é que um pacote pode chegar e encontrar uma fila cheia.
- Sem espaço disponível para armazená-lo, o roteador o descartará; isto é, ele será perdido.
- Uma perda de pacote é vista como um pacote que foi transmitido para o núcleo da rede, mas sem nunca ter emergido dele no destino.

https://media.pearsoncmg.com/aw/ecs_kurose_compnetwork_7/cw/content/interactiveanimations/queueing-loss-applet/index.html

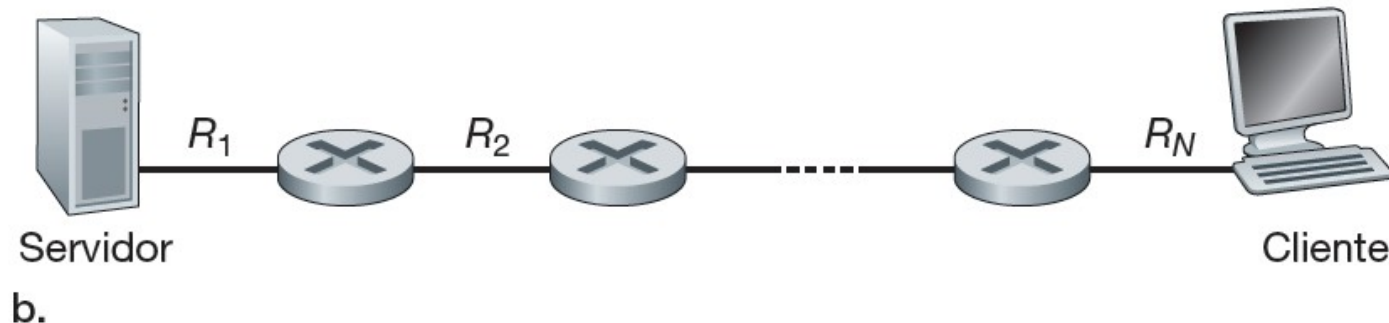
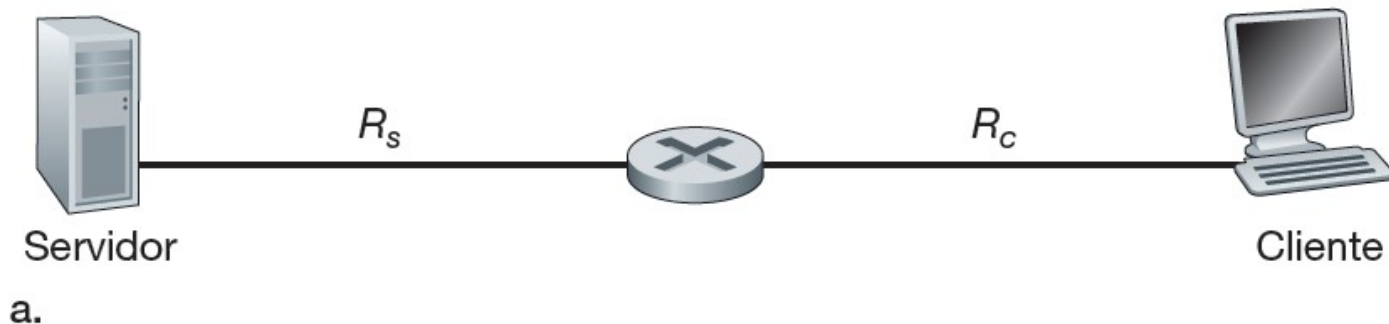
Vazão nas redes de computadores

- Para definir vazão, considere a transferência de um arquivo grande do hospedeiro A para o hospedeiro B por uma rede de computadores.
- A **vazão instantânea** a qualquer momento é a taxa (em bits/s) em que o hospedeiro B está recebendo o arquivo.
- Se o arquivo consistir em F bits e a transferência levar T segundos para o hospedeiro B receber todos os F bits, então a **vazão média** da transferência do arquivo é F/T bits/s.
- Exemplo 1: Quanto tempo leva para a transferência de um arquivo de 50000 bits por um enlace com vazão média de 1 kbps? Resposta:
$$50000\text{bits}/(1000\text{bits/s}) = 50 \text{ s}$$
- Exemplo 2: Quanto tempo leva para a transferência de um arquivo de 5 MB por um enlace com vazão média de 1 kbps? Resposta:
$$5000000 \times 8 / (1000\text{bits/s}) = 40000 \text{ s}$$

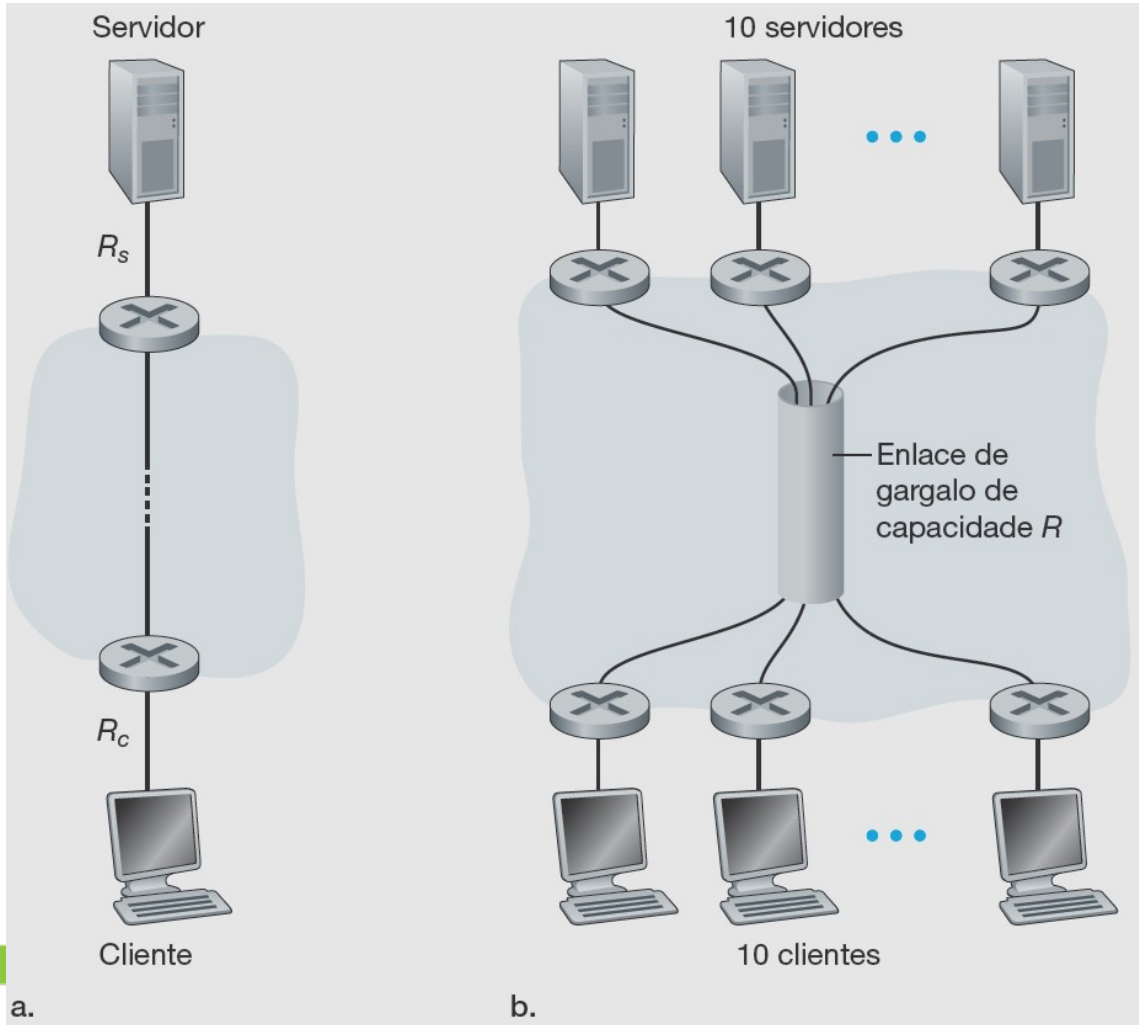


Vazão nas redes de computadores

- Vazão para uma transferência de arquivo do servidor ao cliente:
 - a) $\min\{R_s, R_c\}$
 - b) $\min\{R_1, R_2, \dots, R_N\}$



Vazão nas redes de computadores

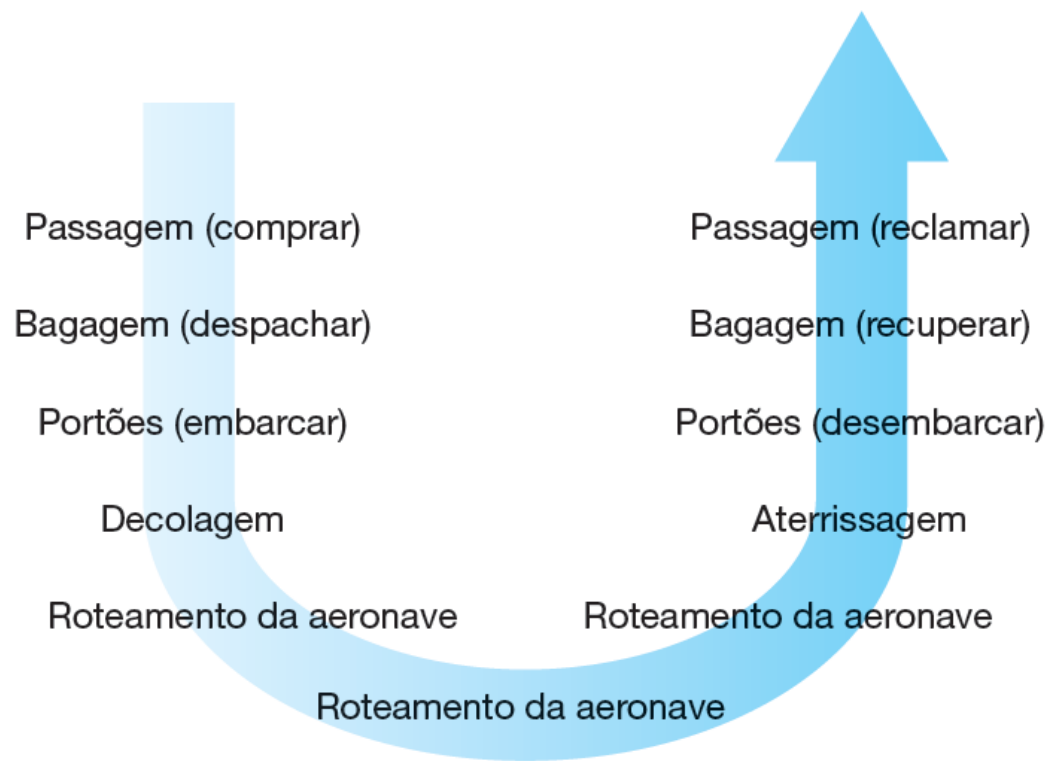


Vazão fim a fim:

- (a) O cliente baixa um arquivo do servidor;
- (b) 10 clientes fazem o download com 10 servidores

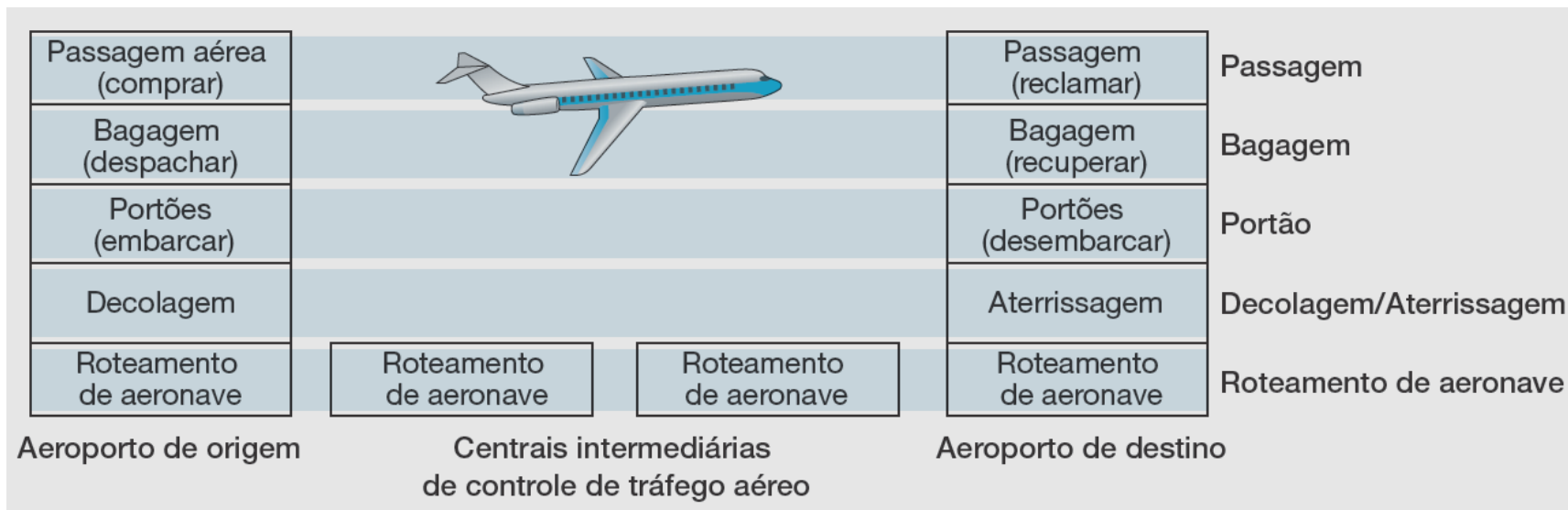
Arquitetura de camadas

- Uma viagem de avião: ações



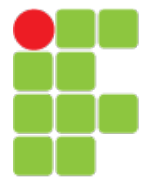
Arquitetura de camadas

- Camadas horizontais da funcionalidade de linha aérea



Arquitetura de camadas

- A segunda figura dividiu a funcionalidade da linha aérea em camadas, provendo uma estrutura com a qual podemos discutir a viagem aérea.
- Note que cada camada, combinada com as que estão abaixo dela, implementa alguma funcionalidade, algum *serviço*.
- Uma arquitetura de camadas nos permite discutir uma parcela específica e bem definida de um sistema grande e complexo.
- Essa simplificação tem considerável valor intrínseco.

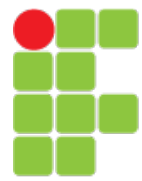
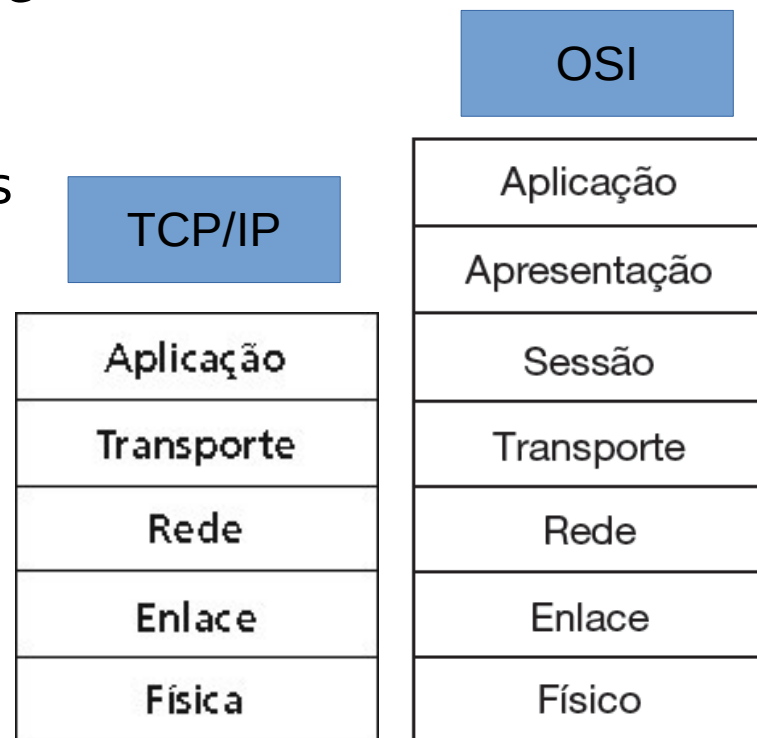


Camadas de protocolo

- Uma camada de protocolo pode ser executada em software, em hardware, ou em uma combinação dos dois.
- O sistema de camadas de protocolos tem vantagens conceituais e estruturais.
- Como vimos, a divisão em camadas proporciona um modo estruturado de discutir componentes de sistemas.
- A modularidade facilita a atualização de componentes de sistema.

Pilha de protocolos da Internet

- **Aplicação:** suporta as aplicações de rede
FTP, SMTP, HTTP
- **Transporte:** transferência de dados hospedeiro-hospedeiro
 - TCP, UDP
- **Rede:** roteamento de datagramas origem ao destino
 - IP, protocolos de roteamento
- **Enlace:** transferência de quadros entre elementos vizinhos da rede
 - PPP, Ethernet
- **Física:** bits “nos fios dos canais”



Camada de aplicação

- A camada de aplicação é onde residem aplicações de rede e seus protocolos. É de onde se origina e para onde se destinam as **Mensagens**.

Camada de transporte

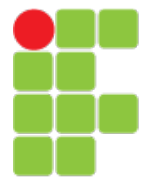
- A camada de transporte da Internet carrega mensagens da camada de aplicação entre os lados do cliente e servidor de uma aplicação, nos denominados **Segmentos**.
- Há dois protocolos de transporte na Internet:
 1. TCP e
 2. UDP.

Camada de rede

- A camada de rede da Internet é responsável pela movimentação, de um hospedeiro para outro, de pacotes da camada de rede, conhecidos como **datagramas**.

Camada de enlace

- A Camada de Enlace provê processos e métodos que permitem que os datagramas provenientes da camada de rede seja organizados em **Frames** ou **Quadros** e repassados como sequência de **bits** à Camada Física .



Camada física

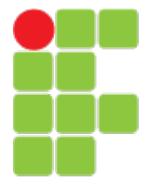
- A tarefa da camada física é movimentar os bits individuais que estão dentro do quadro de um nó para o seguinte.

O modelo OSI

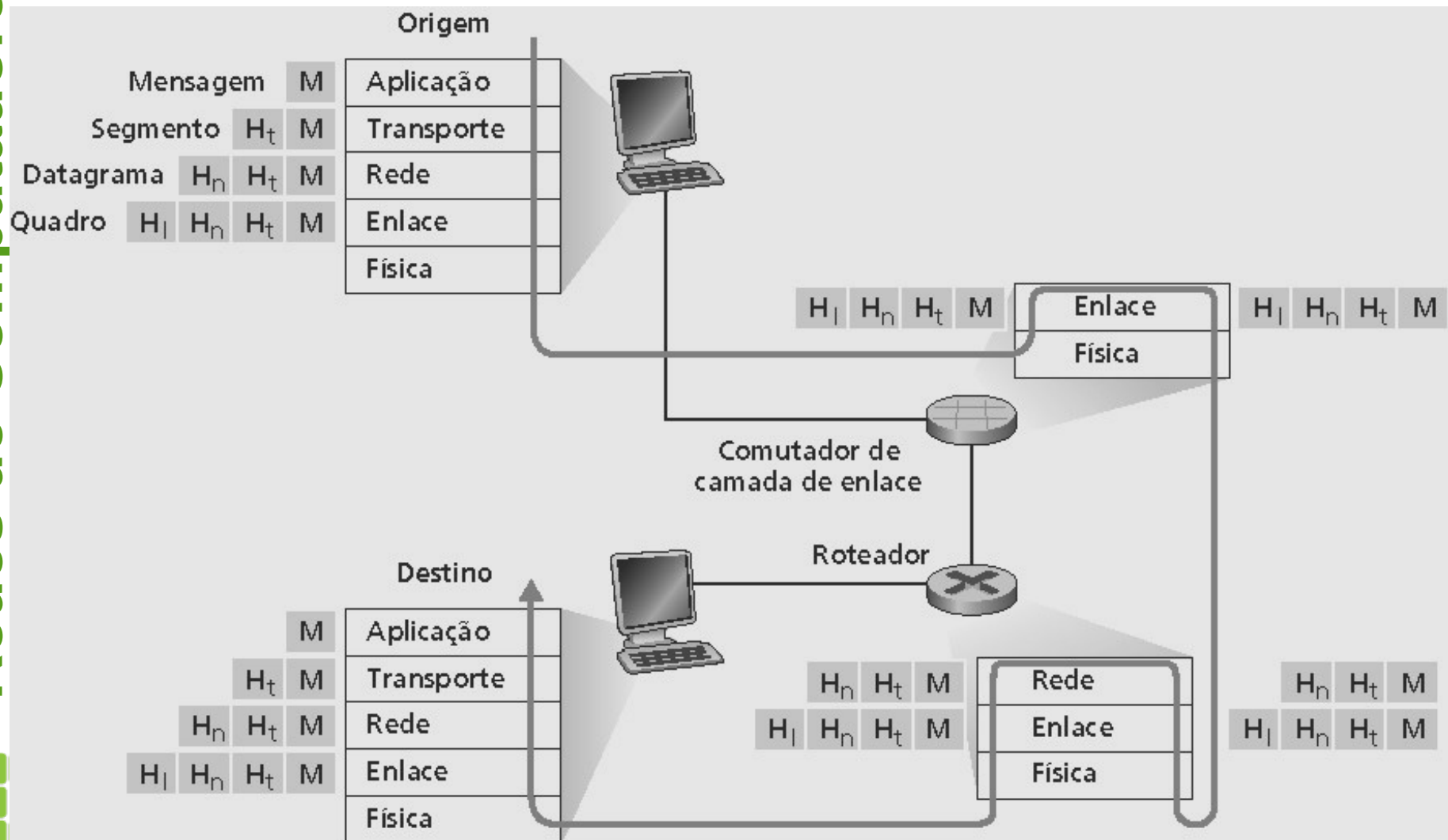
- O modelo OSI (*Open System Interconnection*) tomou forma quando os protocolos que iriam se tornar protocolos da Internet estavam em sua infância e eram um dos muitos conjuntos em desenvolvimento.
- As cinco camadas da Internet e as sete camadas do modelo de referência OSI são mostradas nas figuras a seguir.

Encapsulamento

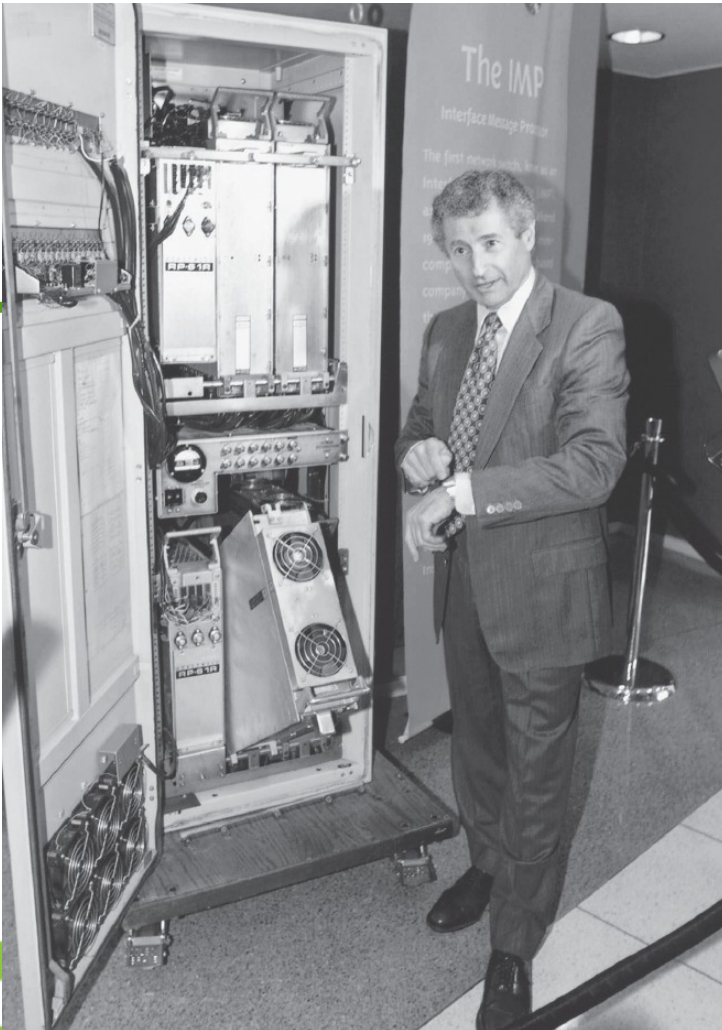
- Uma mensagem da camada de aplicação na máquina emissora é passada para a camada de transporte.
- No caso mais simples, esta pega a mensagem e anexa informações adicionais que serão usadas pela camada de transporte do lado receptor.
- A mensagem da camada de aplicação e as informações de cabeçalho da camada de transporte, juntas, constituem o segmento da camada de transporte, que **encapsula** a mensagem da camada de aplicação.



Encapsulamento



História das redes de computadores e da Internet



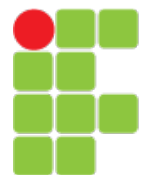
- Os primeiros passos da disciplina de redes de computadores e da Internet podem ser traçados desde o início da década de 1960.
- Na imagem ao lado, um dos primeiros comutadores de pacotes.

História das redes de computadores e da Internet

- Em 1972, a ARPAnet tinha cerca de 15 nós e foi apresentada publicamente pela primeira vez por Robert Kahn.
- A ARPAnet inicial era uma rede isolada, fechada.
- Do início a meados de 1970, surgiram novas redes independentes de comutação de pacotes.
- O trabalho pioneiro de interconexão de redes, sob o patrocínio da DARPA, criou basicamente uma *rede de redes* e o termo *internetting* foi cunhado para descrever esse trabalho.

História das redes de computadores e da Internet

- Ao final da década de 1980, o número de máquinas ligadas à Internet pública alcançaria cem mil.
- O principal evento da década de 1990 foi o surgimento da **World Wide Web**, que levou a Internet para os lares e as empresas de milhões de pessoas no mundo inteiro.
- A segunda metade da década de 1990 foi um período de tremendo crescimento e inovação.
- A inovação na área de redes de computadores continua a passos largos.



História das redes de computadores e da Internet

Os seguintes desenvolvimentos merecem atenção especial:

- Acesso à Internet por banda larga.
- Wi-Fi público de alta velocidade e acesso à Internet por redes de telefonia celular 3G, 4G e 5G.
- Redes sociais on-line.
- Provedores de serviços on-line.
- Empresas de comércio na Internet rodando suas aplicações na “nuvem”.
- IoT (*Internet of Things*)