

Capítulo 1: Roteiro

1.1 O que é a Internet?

1.2 Borda da rede

- ❑ sistemas finais, redes de acesso, enlaces

1.3 Núcleo da rede

- ❑ comutação de circuitos, comutação de pacotes, estrutura da rede

1.4 Atraso, perda e vazão nas redes comutadas por pacotes

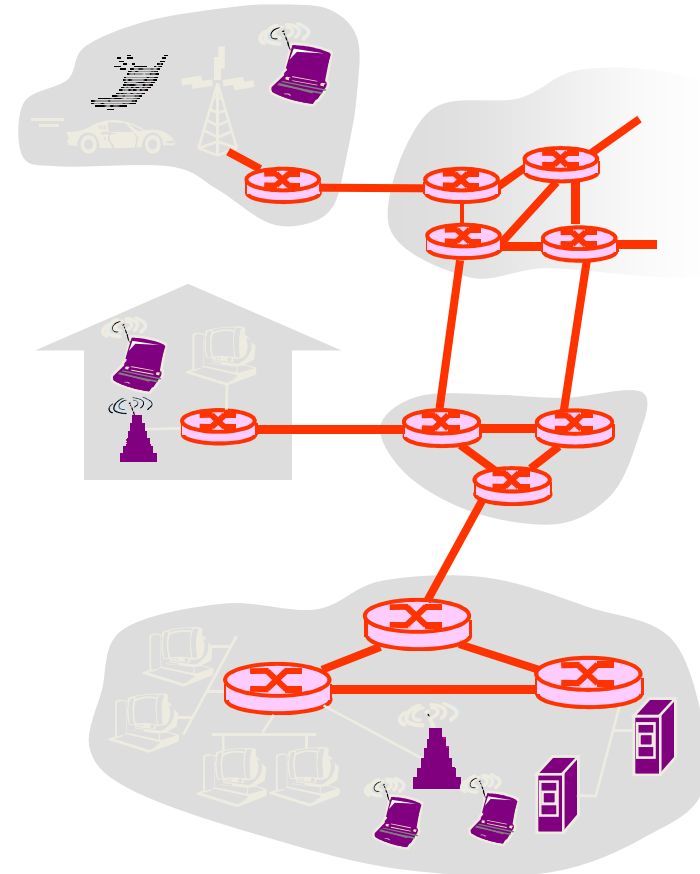
1.5 Camadas de protocolo, modelos de serviço

1.6 Redes sob ataque: segurança

1.7 História

O núcleo da rede

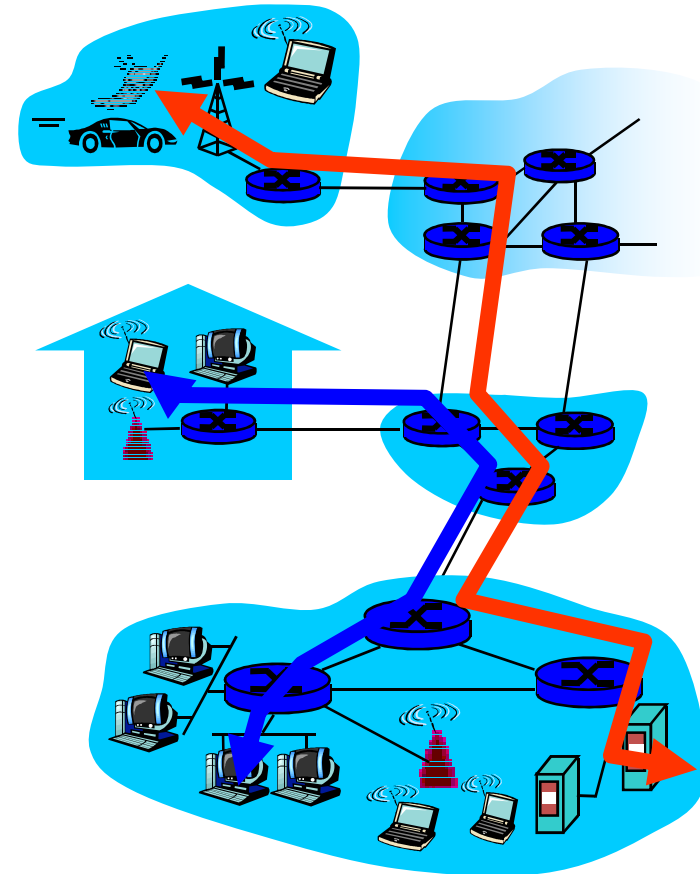
- malha de roteadores interconectados
- a **questão fundamental:**
como os dados são transferidos pela rede?
 - **comutação de circuitos:**
circuito dedicado por chamada: rede telefônica
 - **comutação de pacotes:**
dados enviados pela rede em “pedaços” discretos



Núcleo da rede: comutação de circuitos

recursos fim a fim
reservados para
“chamada”

- largura de banda do enlace, capacidade de comutação
- recursos dedicados: sem compartilhamento
- desempenho tipo circuito (garantido)
- exige preparação de chamada



recursos de rede (p. e.,
largura de banda)
divididos em “pedaços”

- pedaços alocados a chamadas
- pedaço de recurso *ocioso* se não usado por chamada particular (*sem compartilhamento*)

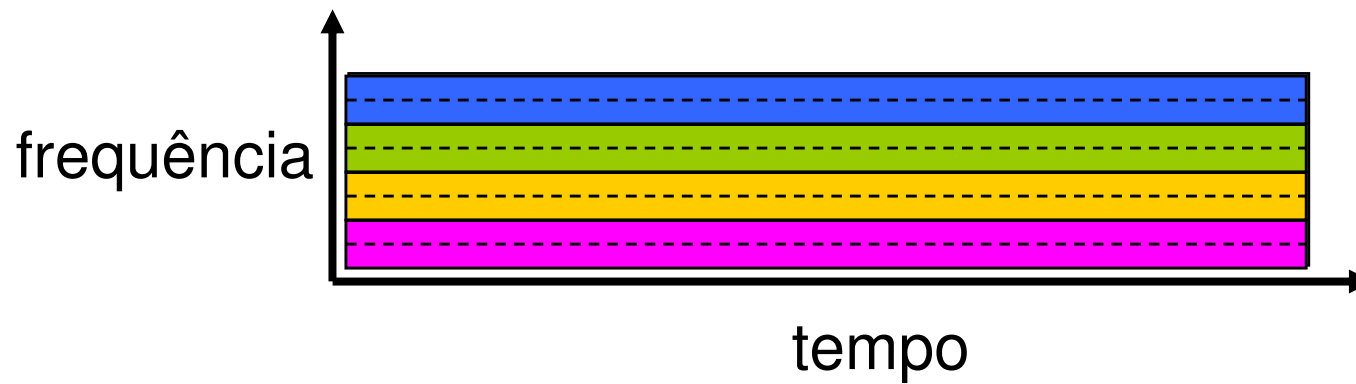
- ❑ dividindo largura de banda do enlace em “pedaços”
 - ❖ divisão de frequência
 - ❖ divisão de tempo

Comutação de circuitos: FDM e TDM

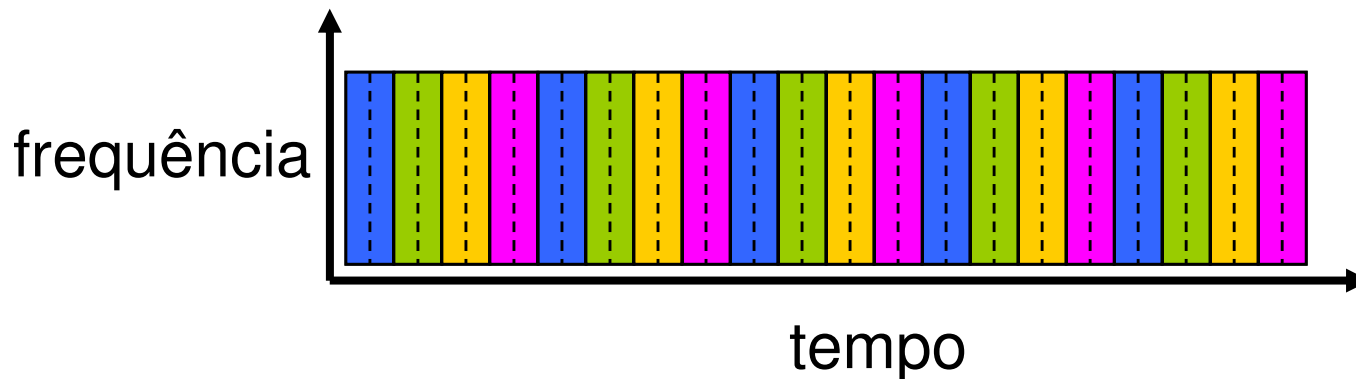
Exemplo:

4 usuários

FDM



TDM



Núcleo da rede: comutação de pacotes

cada fluxo de dados fim a fim
dividido em *pacotes*

- usuário A, pacotes de B *compartilham* recursos da rede
- cada pacote usa largura de banda total do enlace
- recursos usados *quando necessários*

Divisão da largura de banda em "pedaços"

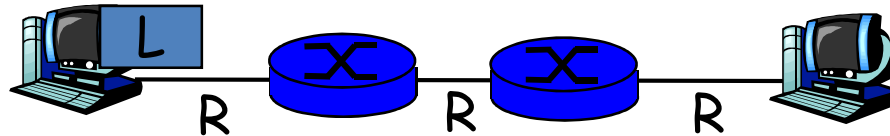
Alocação dedicada

Reserva de recursos

disputa por recursos:

- ❑ demanda de recurso agregado pode exceder quantidade disponível
- ❑ congestionamento: fila de pacotes, espera por uso do enlace
- ❑ *store and forward*: pacotes se movem um salto de cada vez
 - ❖ Nó recebe pacote completo antes de encaminhar

Comutação de pacotes: *store-and-forward*



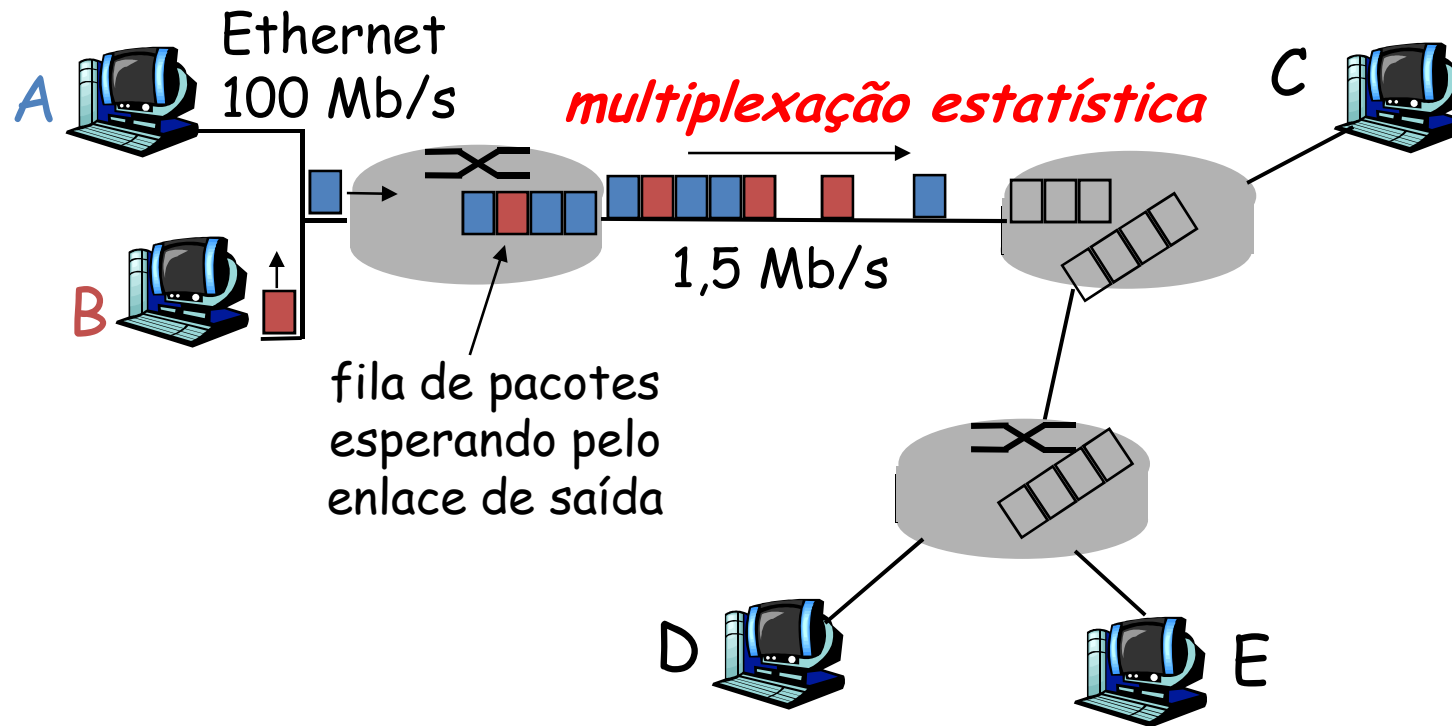
- leva L/R segundos para transmitir (*push out*) pacote de L bits para enlace em R bps
- *store-and-forward*: pacote inteiro deve chegar ao roteador antes que possa ser transmitido no próximo enlace
- atraso = $3L/R$ (supondo zero atraso de propagação)

Exemplo:

- $L = 7,5$ Mbits
- $R = 1,5$ Mbps
- atraso de transmissão = 15 s

} mais sobre atraso adiante...

Comutação de pacotes: multiplexação estatística



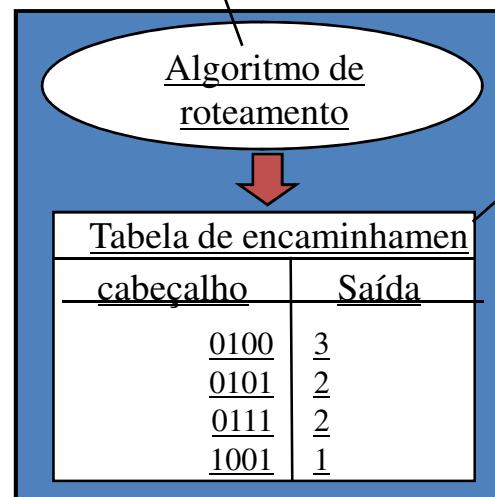
Sequência de pacotes A & B não tem padrão fixo, largura de banda compartilhada por demanda → ***multiplexação estatística***.

TDM: cada hospedeiro recebe mesmo slot girando quadro TDM.

Funções principais do núcleo da rede

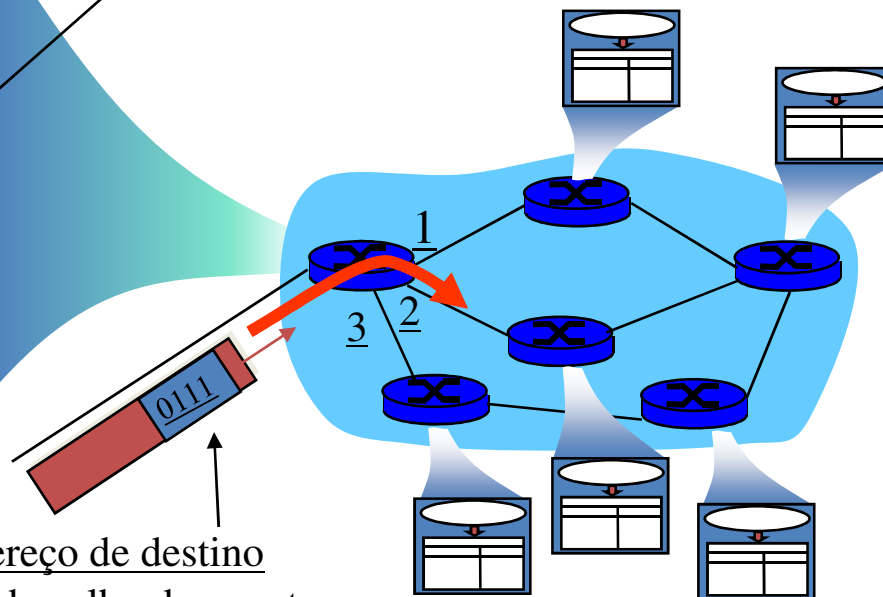
roteamento: determina a rota origem-destino tomada pelos pacotes

- **Algoritmos de roteamento**



Encaminhamento: move os pacotes da entrada do roteador para a saída apropriada

Endereço de destino no cabeçalho do pacote



A comutação de pacotes é a “grande vencedora”?

- ótima para dados em rajadas
 - compartilhamento de recursos
 - mais simples, sem configuração de chamada
- **congestionamento excessivo:** atraso e perda de pacotes
 - protocolos necessários para transferência de dados confiável, controle de congestionamento
- **P: Como fornecer comportamento tipo circuito?**
 - largura de banda garante necessário para aplicações de áudio/vídeo
 - ainda um problema não resolvido (Capítulo 7)

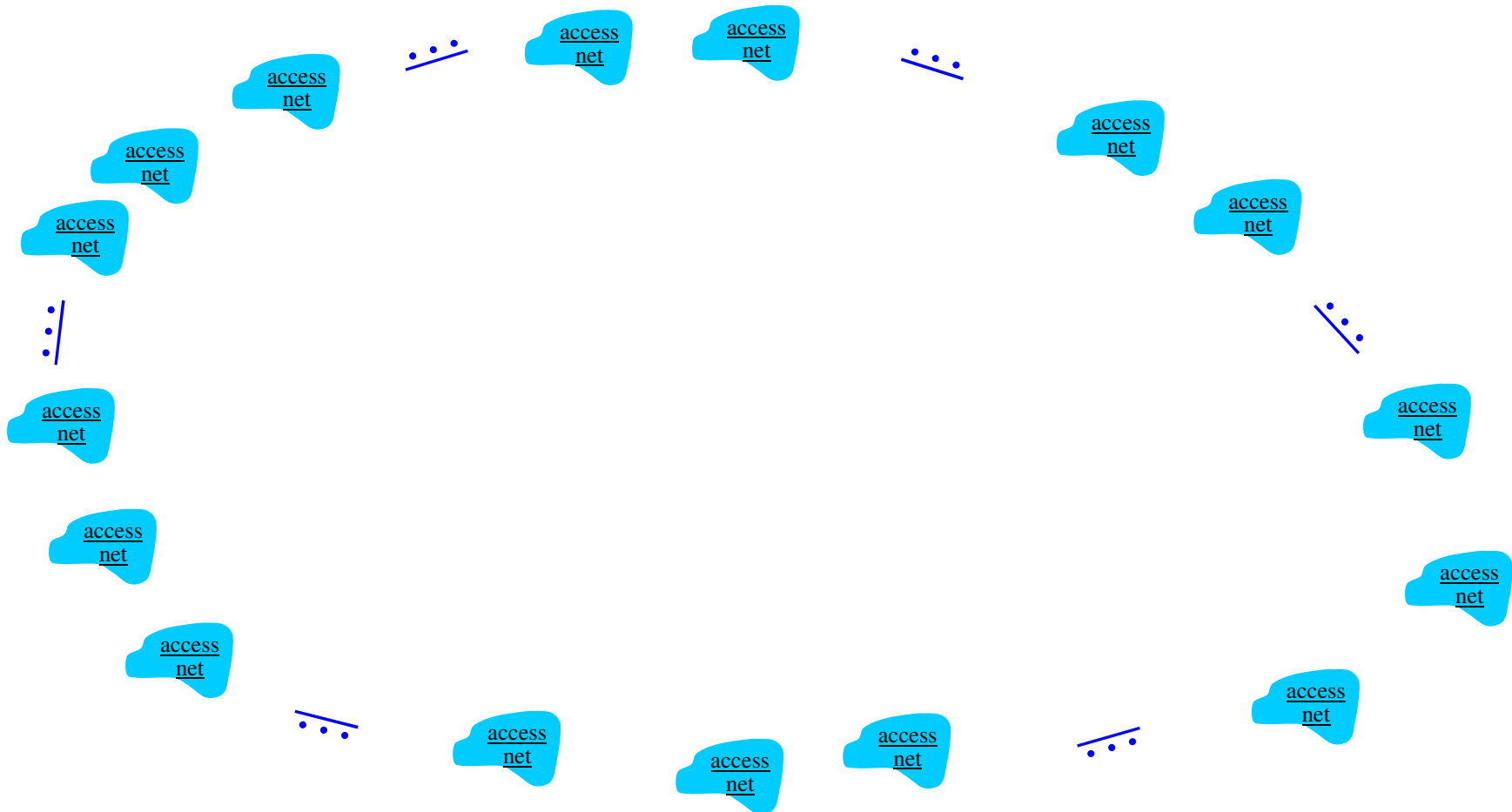
P: Analogias humanas de recursos reservados (comutação de circuitos) *versus* alocação por demanda (comutação de pacotes)?

Estrutura da Internet: rede de redes

- ❖ Sistemas finais conectam-se a Internet via **ISPs de acesso** (Internet Service Providers)
 - Residencial, empresarial e universitário
- ❖ ISPs de acesso devem ser interconectados.
 - ❖ Da mesma maneira que qualquer dois hosts podem enviar pacotes entre si
- ❖ A rede de redes resultante é muito complexa
 - ❖ Sua evolução foi guiada por **políticas econômicas e nacionais**

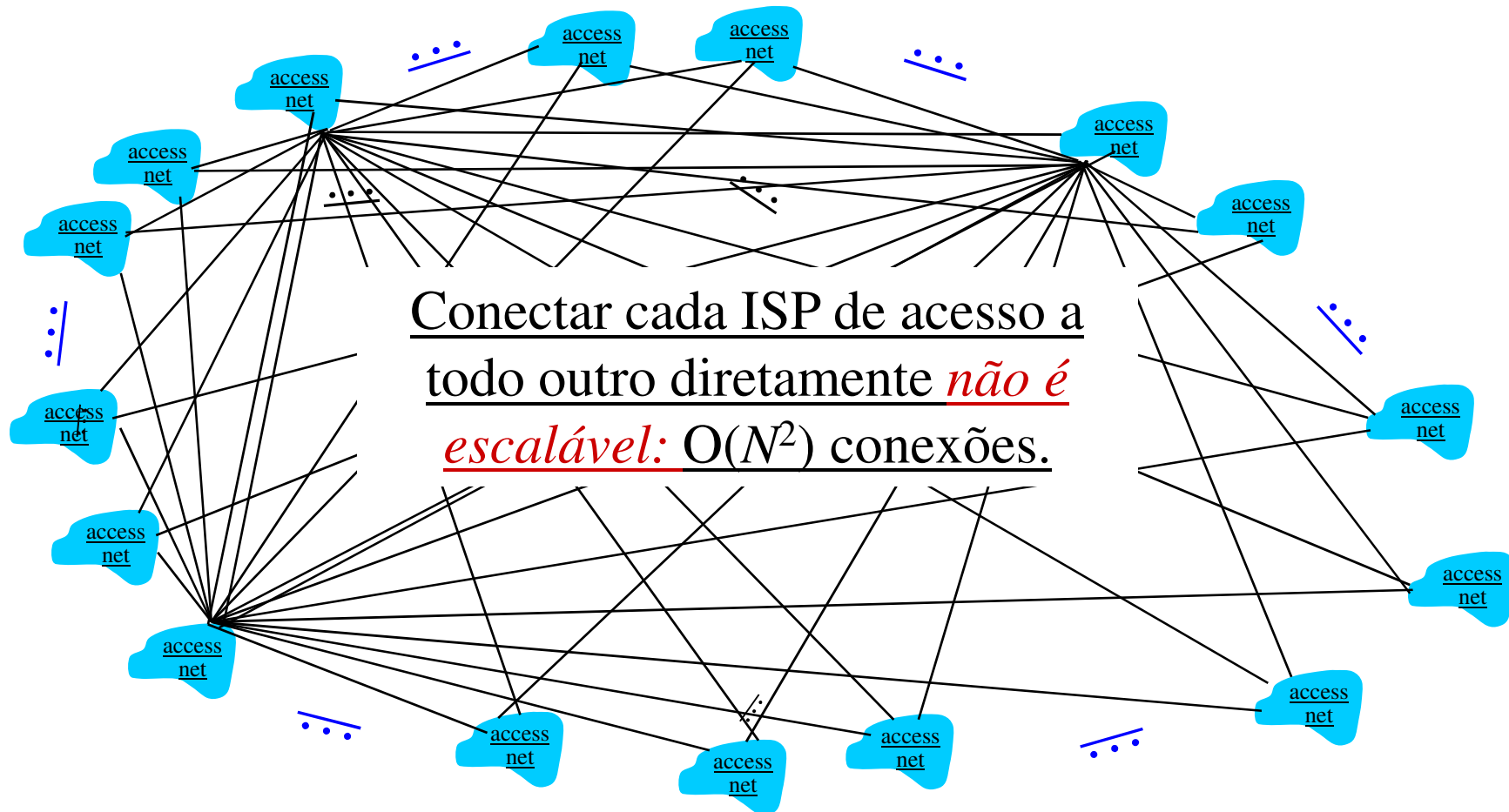
Estrutura da Internet: rede de redes

Pergunta: dado milhões de ISPs de acesso, como conectá-los em uma mesma rede?



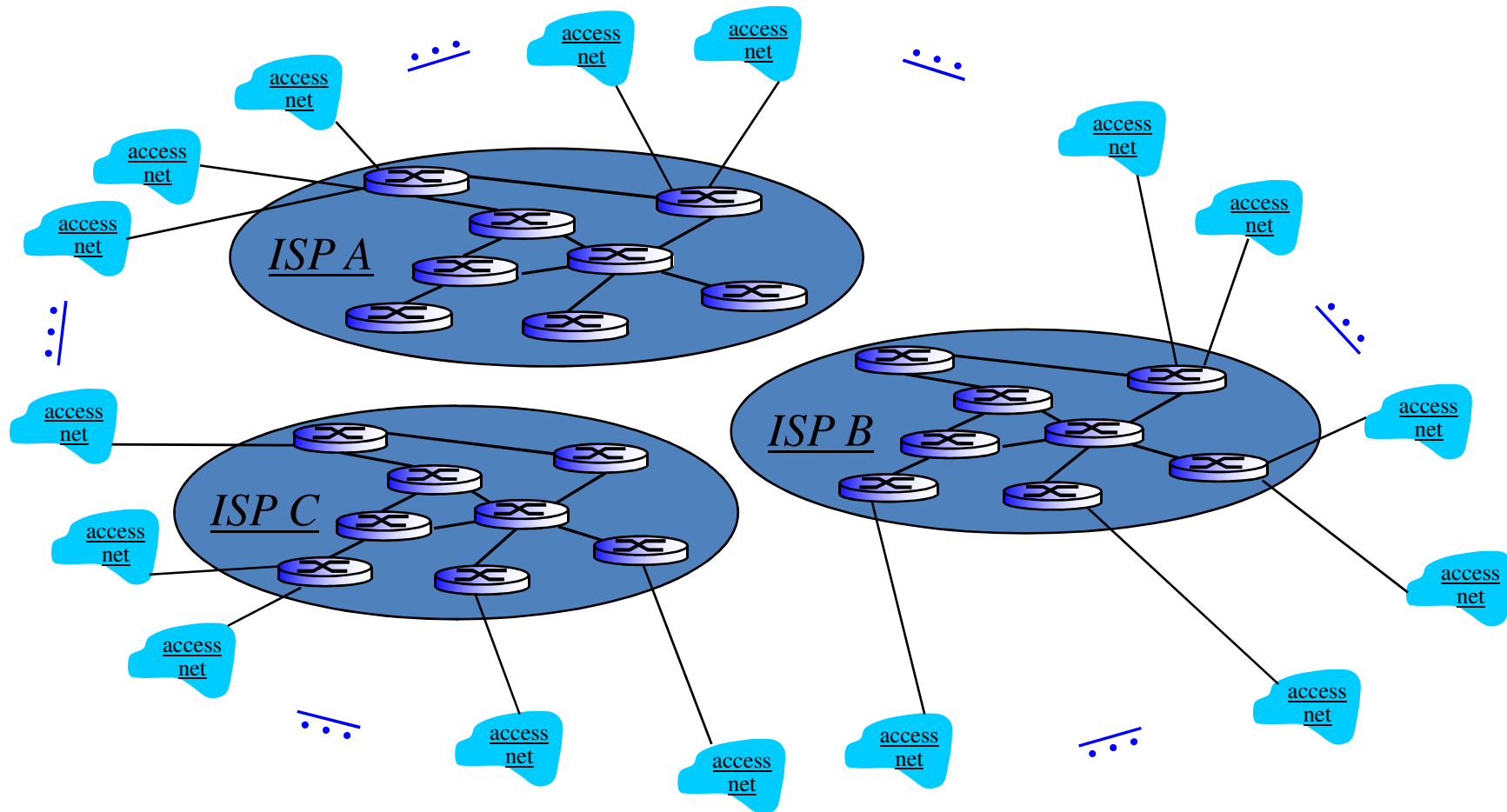
Estrutura da Internet: rede de redes

Opção: conectar cada ISP de acesso todo outro ISP de acesso?



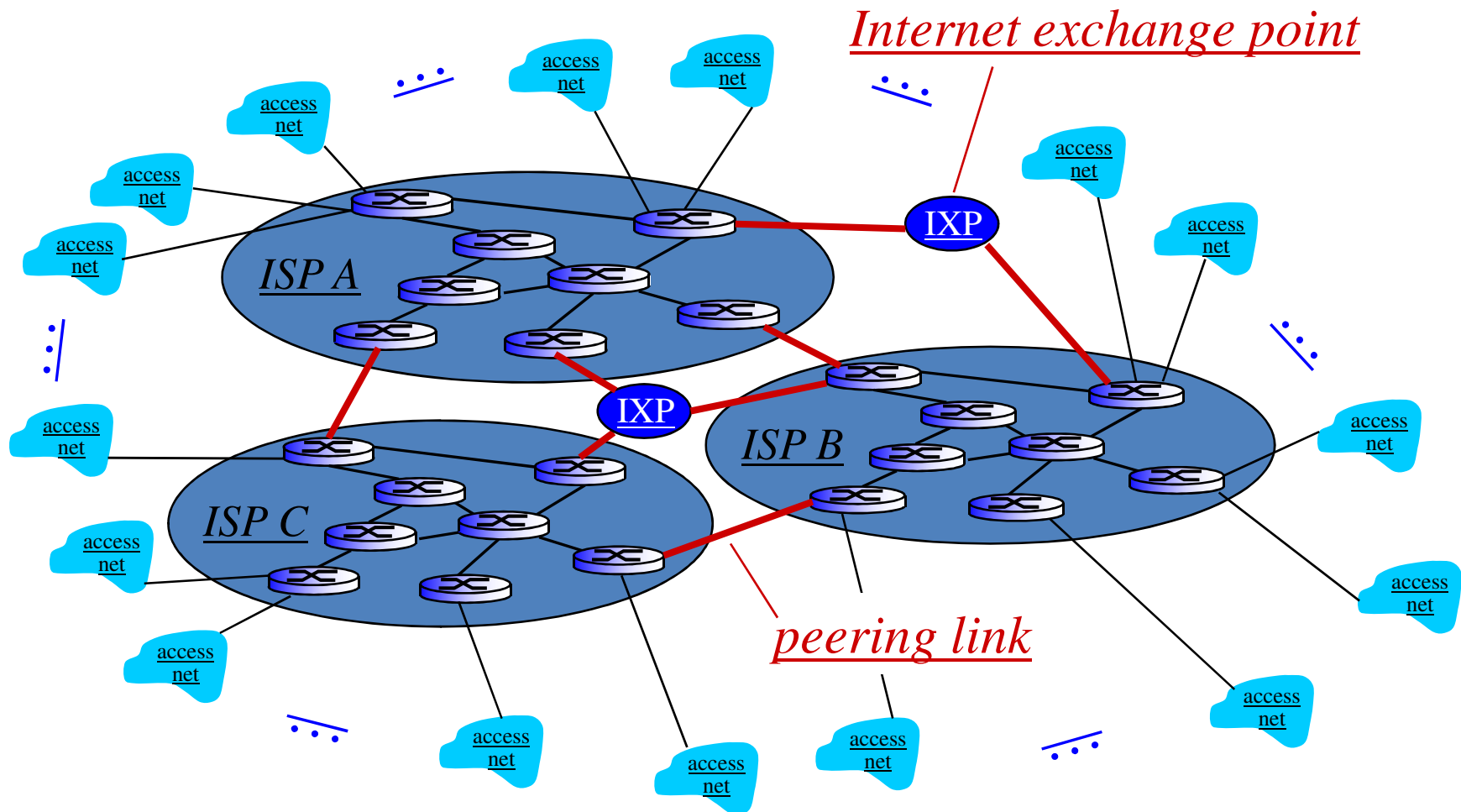
Estrutura da Internet: rede de redes

Mas se um único ISP global é um negócio viável, existirão competidores



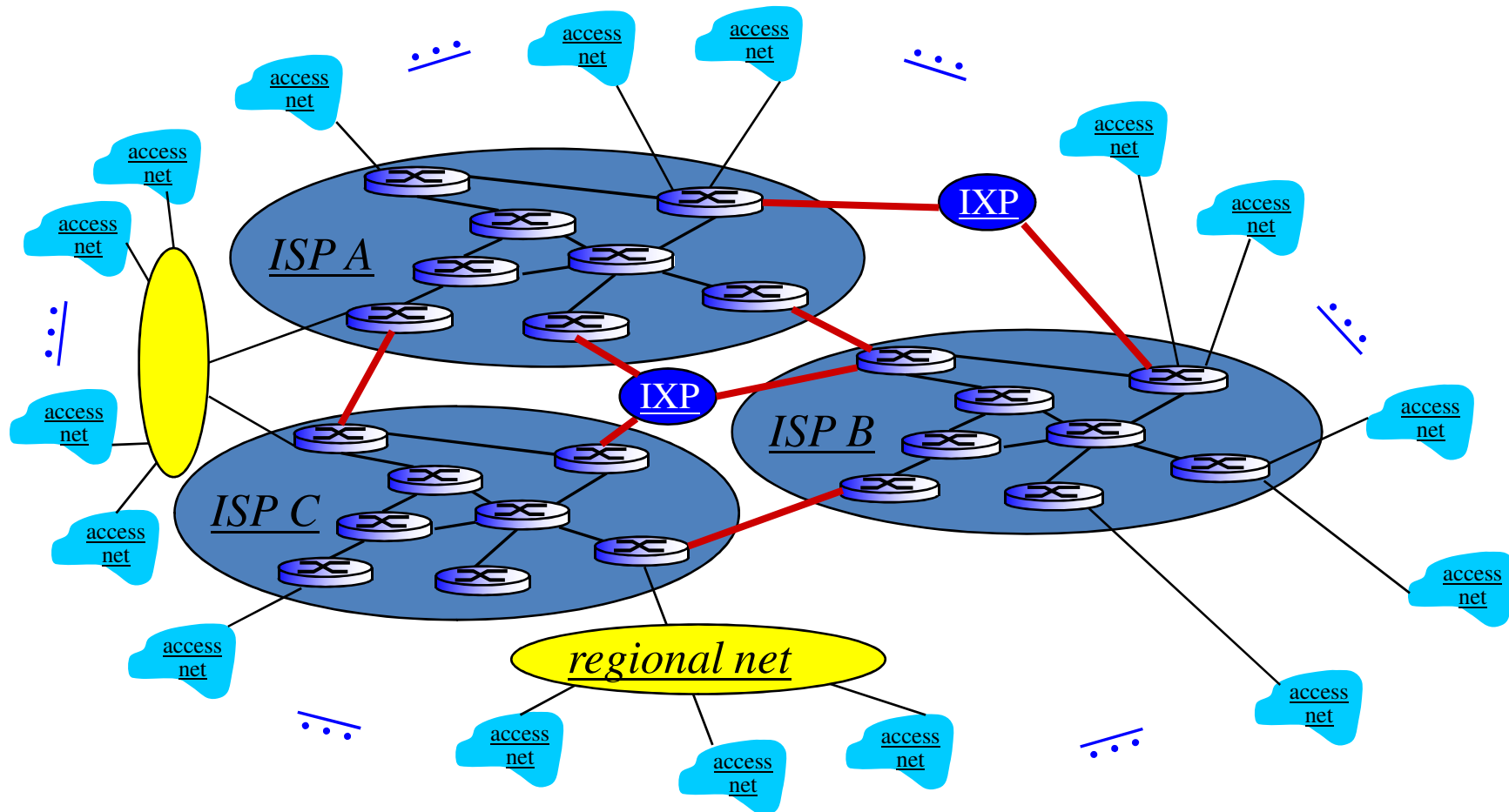
Estrutura da Internet: rede de redes

Se se um único ISP global é um negócio viável, existirão competidores que devem ser interconectados



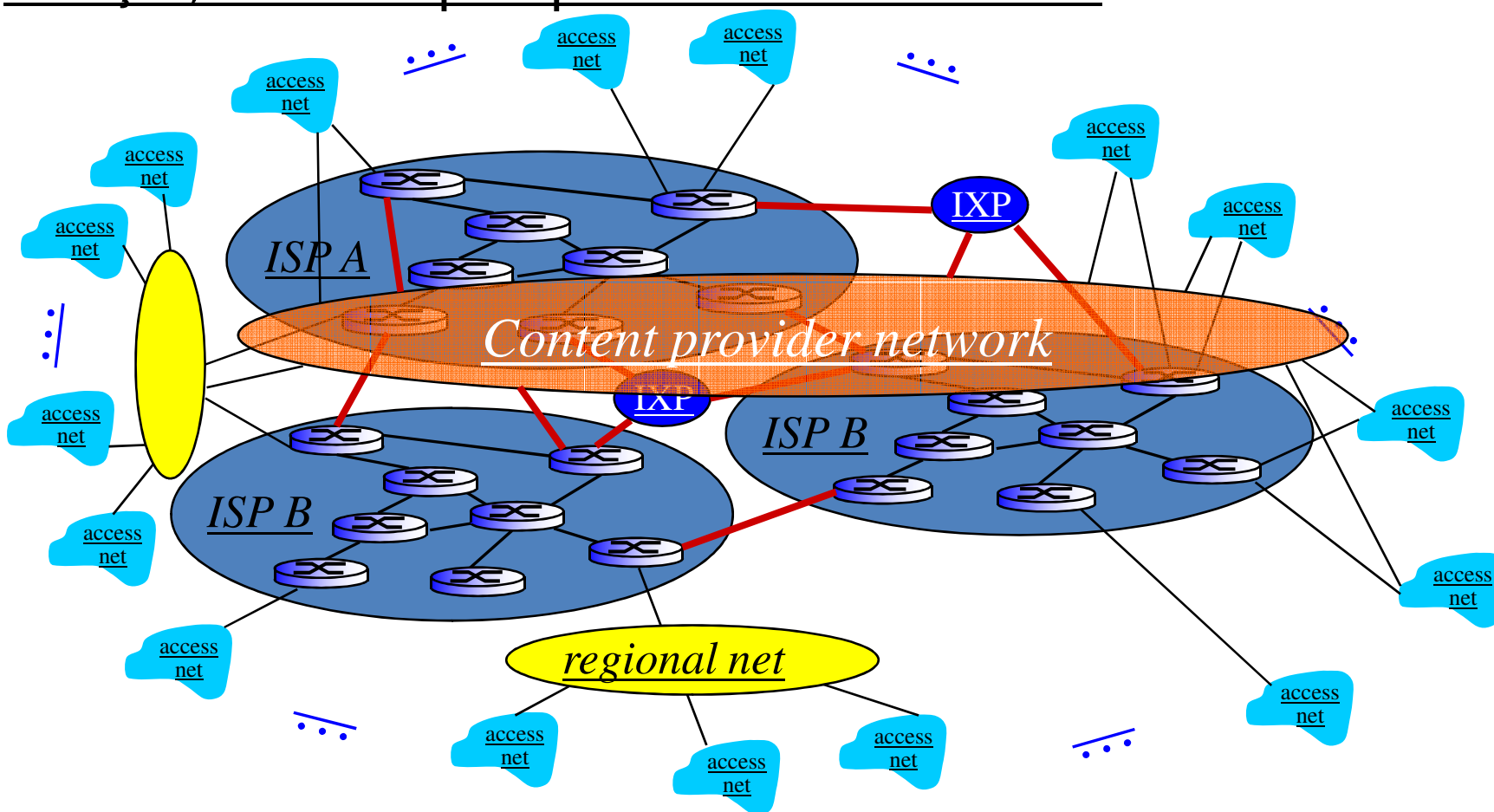
Estrutura da Internet: rede de redes

... e redes regionais devem surgir para conectar as redes de acesso aos ISPs

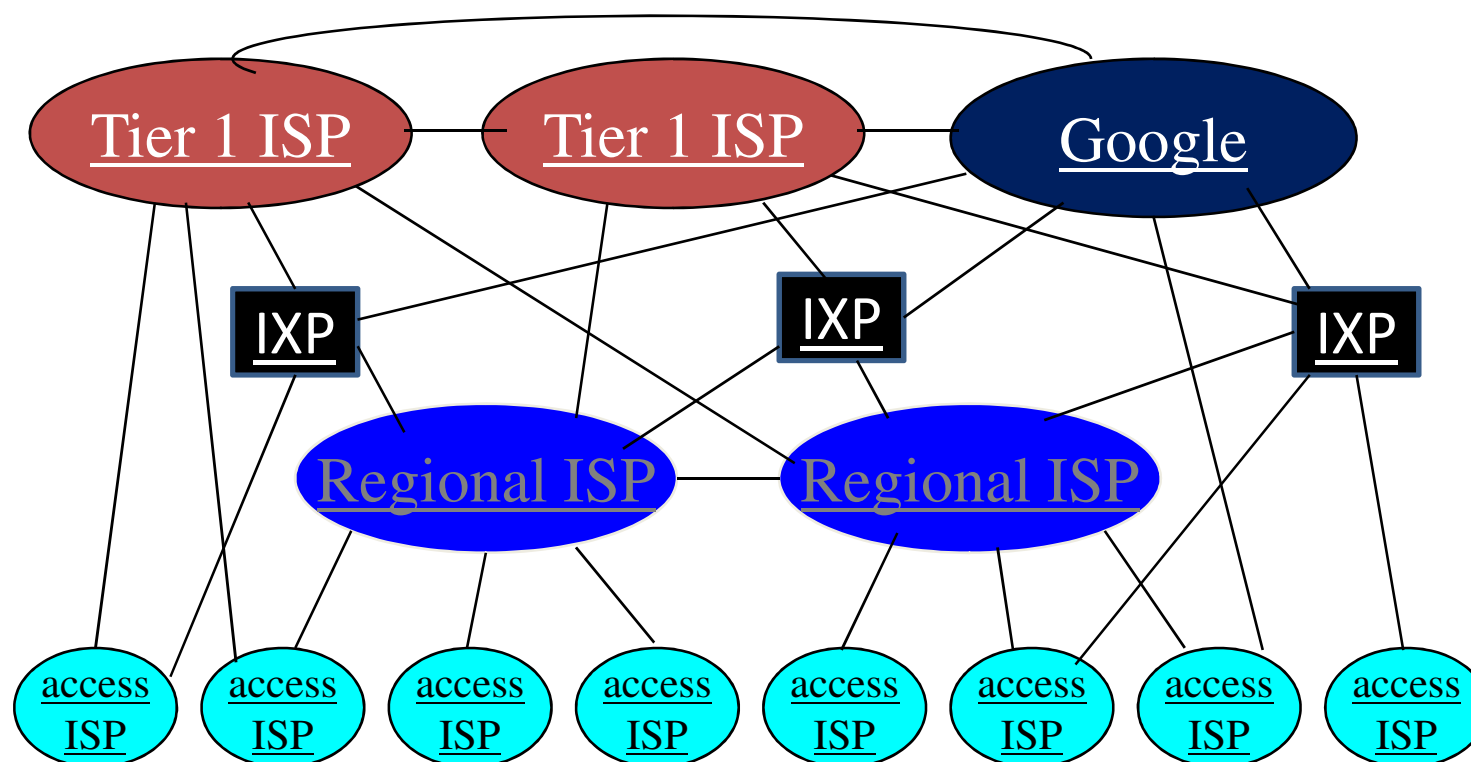


Estrutura da Internet: rede de redes

... e as redes de provedor de conteúdo (e.g., Google, Microsoft, Akamai) devem administrar suas próprias redes para trazer serviços, conteúdo para perto dos usuários finais

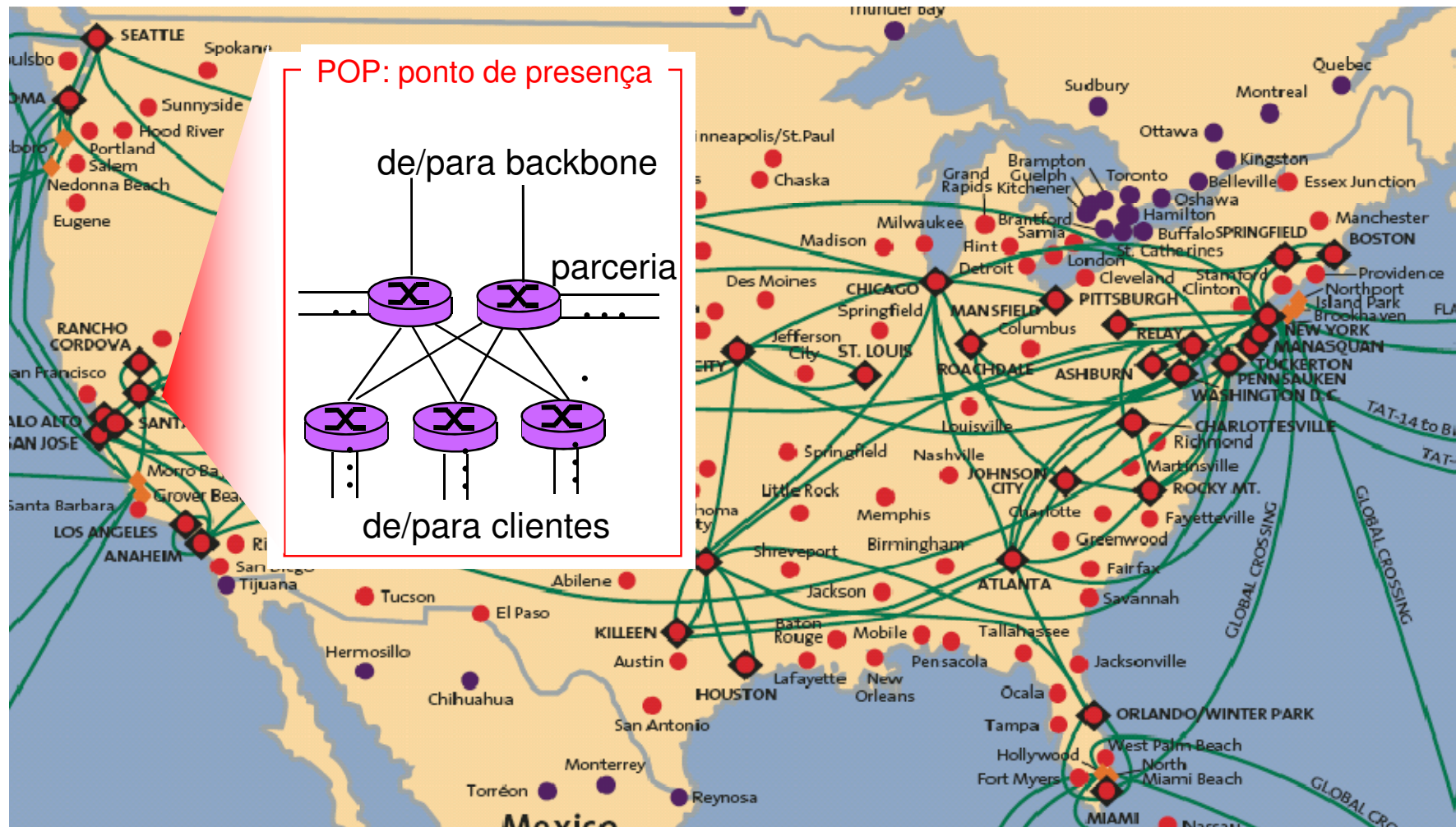


Estrutura da Internet: rede de redes



- no centro: pequeno # de grandes redes bem conectadas
 - “tier-1” ISPs comerciais (e.g., Level 3, Sprint, AT&T, Embratel), cobertura nacional e internacional
 - Rede de provedor de conteúdo (e.g, Google): rede privada que conecta seus data centers a Internet, oferecem passagem pelos ISPs tier-1 e regionais

ISP nível 1: p. e., Sprint



Capítulo 1: Roteiro

1.1 O que é a Internet?

1.2 Borda da rede

- sistemas finais, redes de acesso, enlaces

1.3 Núcleo da rede

- comutação de circuitos, comutação de pacotes, estrutura da rede

1.4 Atraso, perda e vazão nas redes comutadas por pacotes

1.5 Camadas de protocolo, modelos de serviço

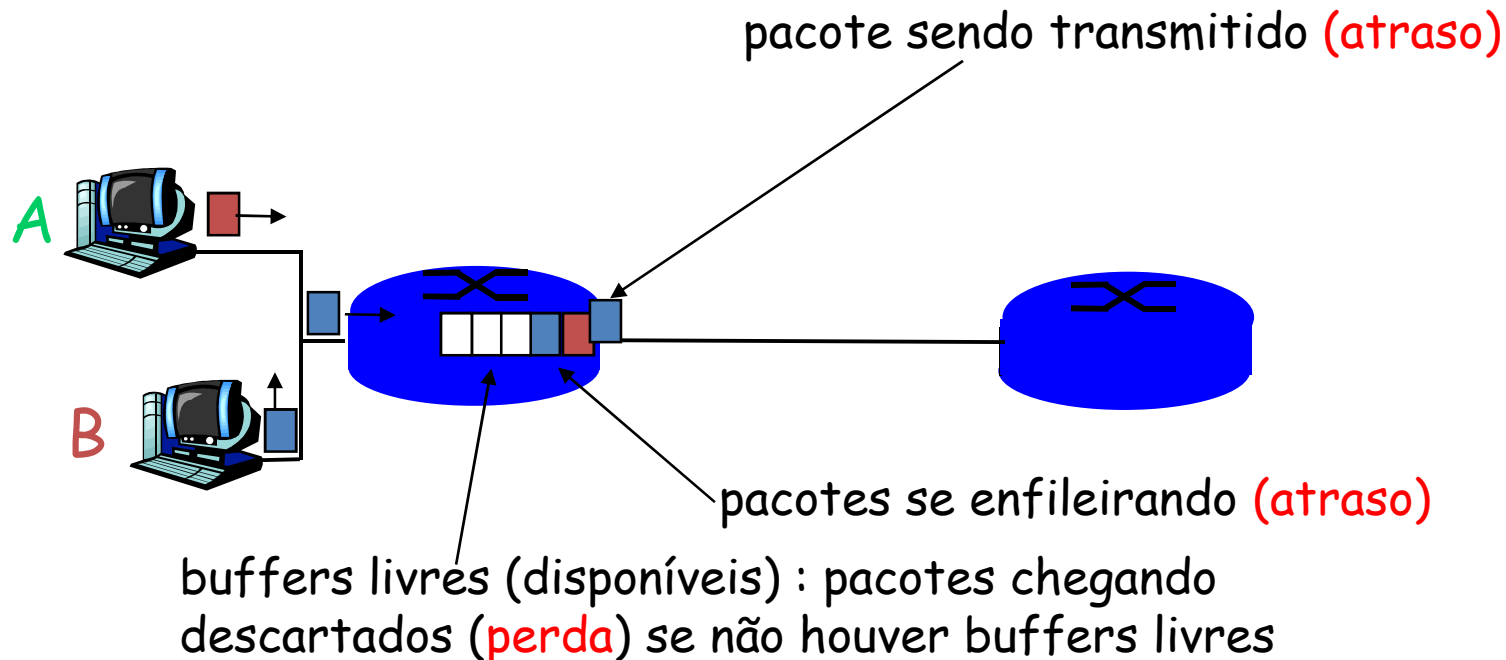
1.6 Redes sob ataque: segurança

1.7 História

Como ocorrem a perda e o atraso?

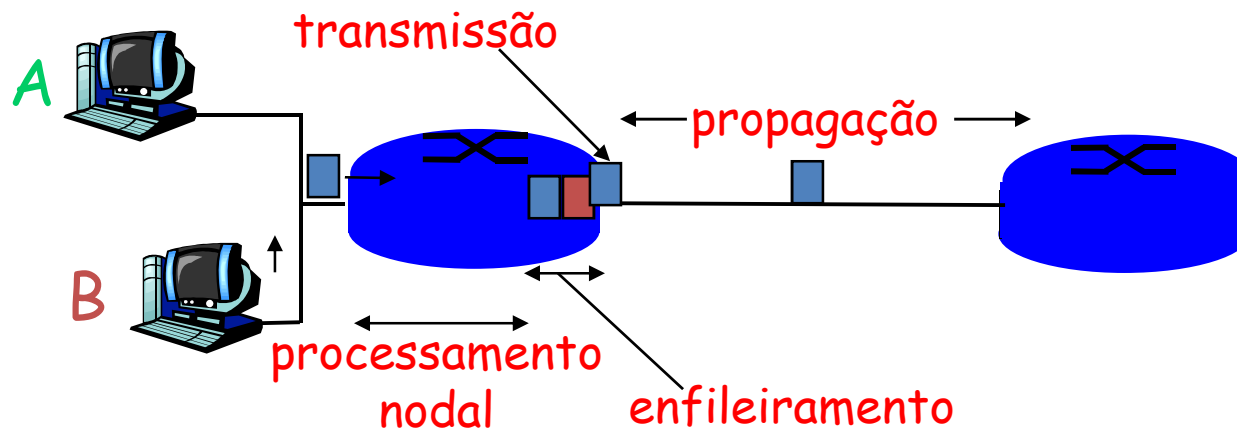
pacotes se *enfileiram* em buffers de roteador

- taxa de chegada de pacotes ao enlace ultrapassa capacidade de saída do enlace
- pacotes se enfileiram, esperam por sua vez



Quatro fontes de atraso de pacote

- 1. processamento nodal:
 - verificar erros de bit
 - determinar enlace de saída
- 2. enfileiramento
 - ❖ tempo esperando por transmissão no enlace de saída
 - ❖ depende do nível de congestionamento do roteador



Atraso nas redes comutadas por pacotes

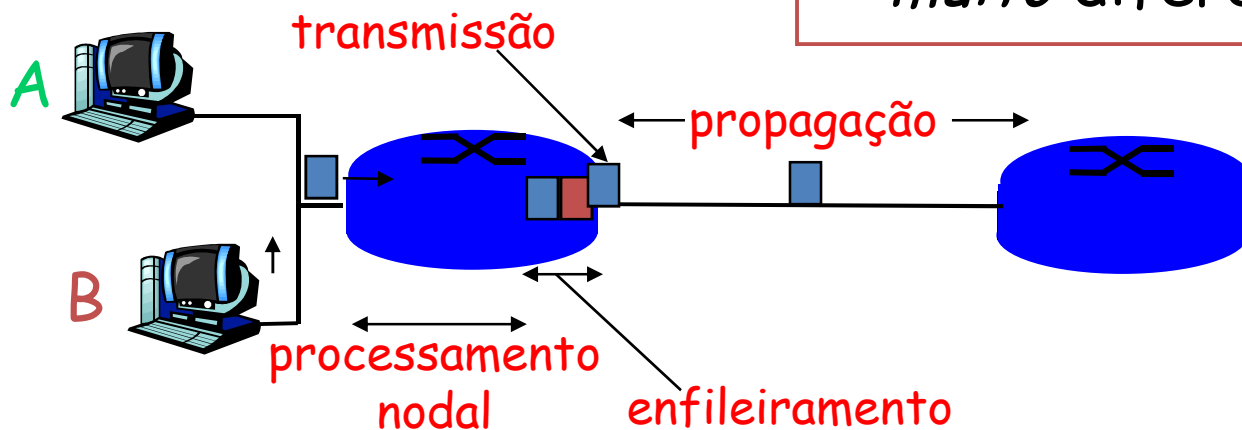
3. atraso de transmissão:

- R = largura de banda do enlace (bps)
- L = tamanho do pacote (bits)
- tempo para enviar bits no enlace = L/R

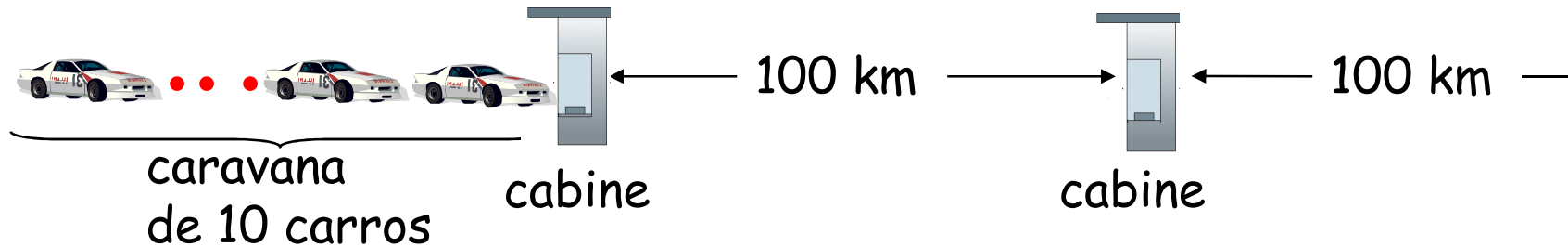
4. atraso de propagação:

- d = tamanho do enlace físico
- s = vel. de propagação no meio ($\sim 2 \times 10^8$ m/s)
- atraso de propagação = d/s

Nota: s e R são quantidades *muito* diferentes!

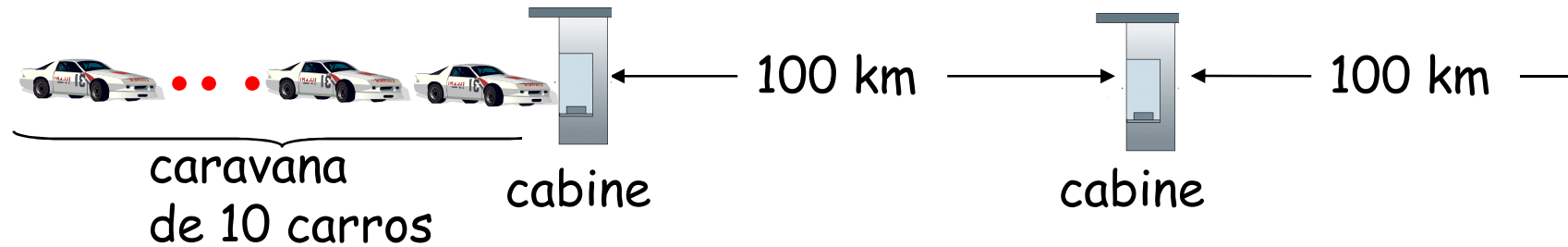


Analogia da caravana



- carros se “propagam” a 100 km/h
- cabines de pedágio levam 12 s para atender carro (tempo de transmissão)
- carro ~ bit; caravana ~ pacote
- **P: Quanto tempo para a caravana formar fila antes da 2ª cabine?**

- tempo para “empurrar” caravana inteira pela cabine na estrada = $12 \times 10 = 120$ s
- tempo para último carro se propagar da 1ª à 2ª cabine de pedágio: $100 \text{ km} / (100 \text{ km/h}) = 1 \text{ h}$
- **Resposta: 62 minutos**



- carros agora se “propagam” a 1000 km/h
- cabine agora leva 1 min para atender um carro
- **P: Os carros chegarão à 2ª cabine antes que todos os carros sejam atendidos na 1ª cabine?**
- **Sim!** Após 7 min, 1º carro na 2ª cabine e 3 carros ainda na 1ª cabine.
- **1º bit do pacote pode chegar ao 2º roteador antes que o pacote seja totalmente transmitido no 1º roteador!**
 - Ver applet Ethernet no site da AWL

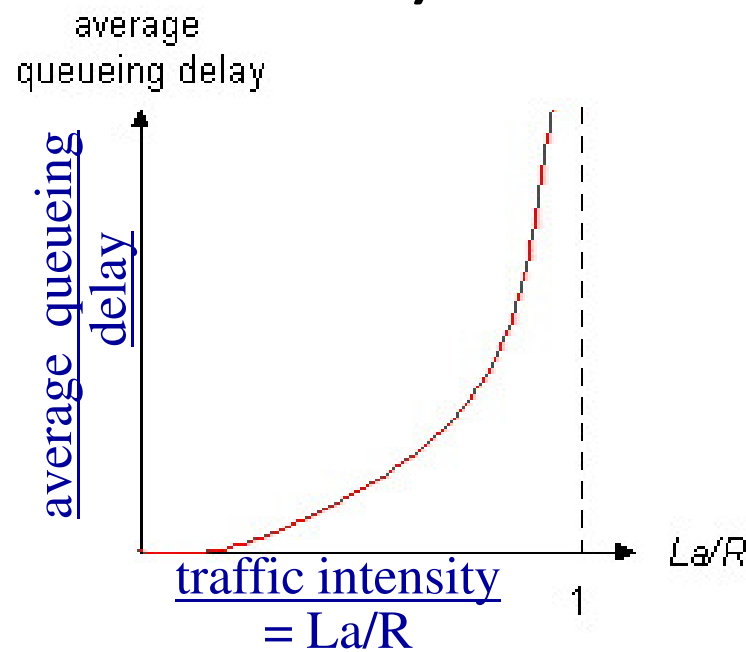
Atraso nodal

$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{fila}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

- d_{proc} = atraso de processamento
 - normalmente, poucos microssegundos ou menos
- d_{fila} = atraso de enfileiramento
 - depende do congestionamento
- d_{trans} = atraso de transmissão
 - $= L/R$, significativo para enlaces de baixa velocidade
- d_{prop} = atraso de propagação
 - alguns microssegundos a centenas de ms

Queueing delay (revisited)

- R : link bandwidth (bps)
- L : packet length (bits)
- a : average packet arrival rate



- ❖ $La/R \sim 0$: avg. queueing delay small
- ❖ $La/R \rightarrow 1$: avg. queueing delay large
- ❖ $La/R > 1$: more “work” arriving than can be serviced, average delay infinite!



$La/R \sim 0$

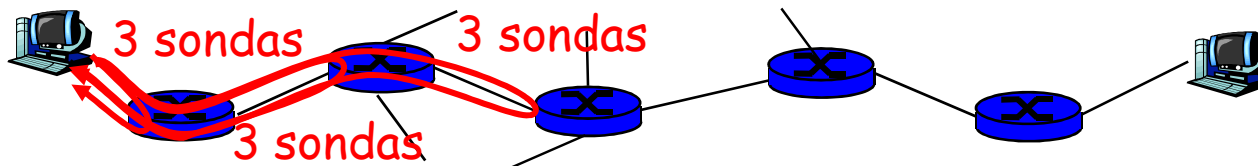


$La/R \rightarrow 1$

* Check out the Java applet for an interactive animation on queuing and loss


Atrasos e rotas “reais” da Internet

- Como são os atrasos e perdas “reais” da Internet?
- Programa Traceroute: fornece medida do atraso da origem ao roteador ao longo do caminho de fim a fim da Internet para o destino. Para todo i :
 - envia três pacotes que alcançarão roteador i no caminho para o destino
 - roteador i retornará pacotes ao emissor
 - emissor temporiza intervalo entre transmissão e resposta.



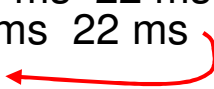
traceroute: gaia.cs.umass.edu para www.eurecom.fr

Tres medições de atraso de
gaia.cs.umass.edu para cs-gw.cs.umass.edu



```
1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9) 22 ms 18 ms 22 ms
7 nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46) 22 ms 22 ms 22 ms
8 62.40.103.253 (62.40.103.253) 104 ms 109 ms 106 ms
9 de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129) 109 ms 102 ms 104 ms
10 de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50) 113 ms 121 ms 114 ms
11 renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54) 112 ms 114 ms 112 ms
12 nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13) 111 ms 114 ms 116 ms
13 nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102) 123 ms 125 ms 124 ms
14 r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110) 126 ms 126 ms 124 ms
15 eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54) 135 ms 128 ms 133 ms
16 194.214.211.25 (194.214.211.25) 126 ms 128 ms 126 ms
17 * * *
18 * * *
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms
```

enlace trans-oceânico



* significa sem resposta (sonda perdida, roteador sem resposta)

