

Redes de Computadores

Parte 02 – Núcleo e avaliação da rede

Prof. Kleber Vieira Cardoso



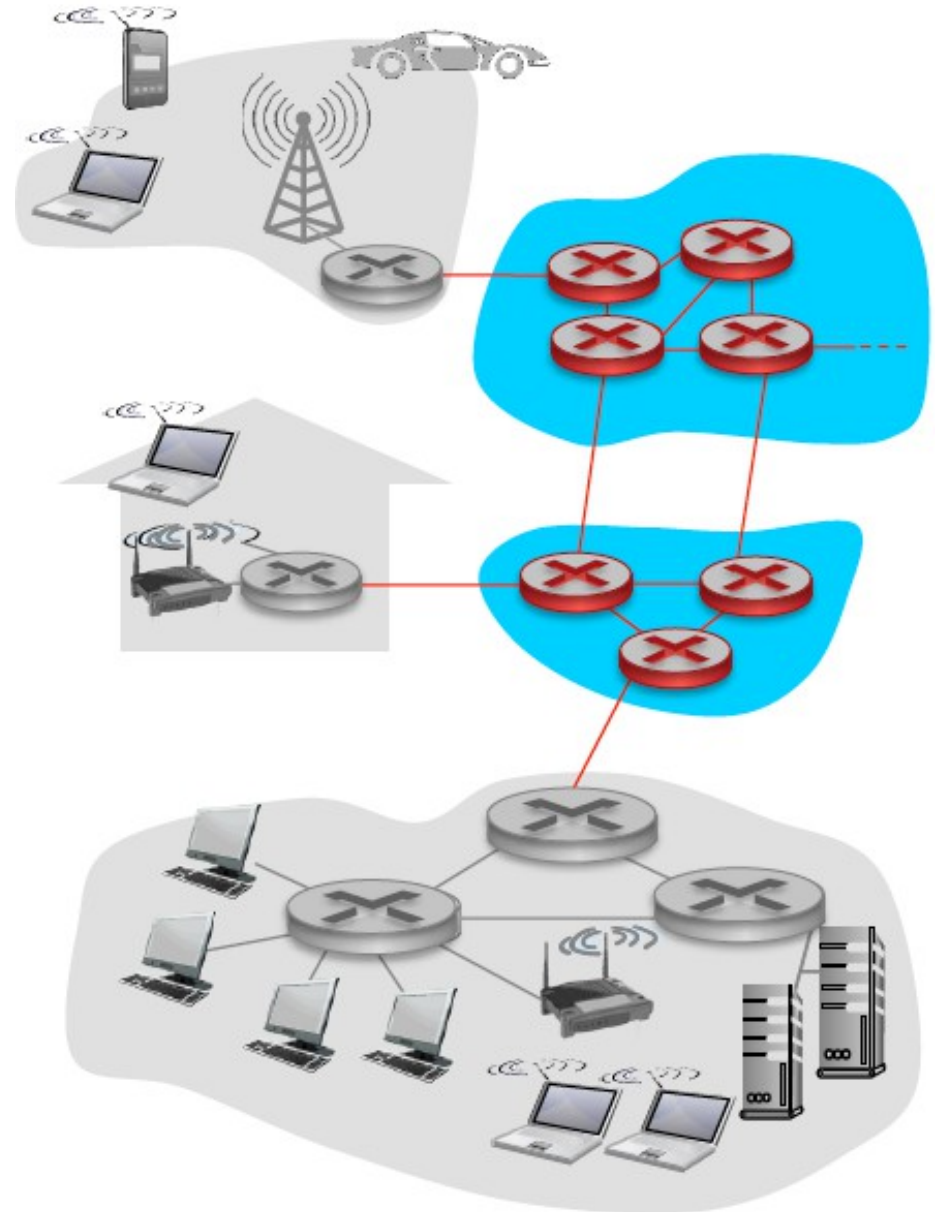
INSTITUTO DE
INFORMÁTICA
UFG

Tópicos

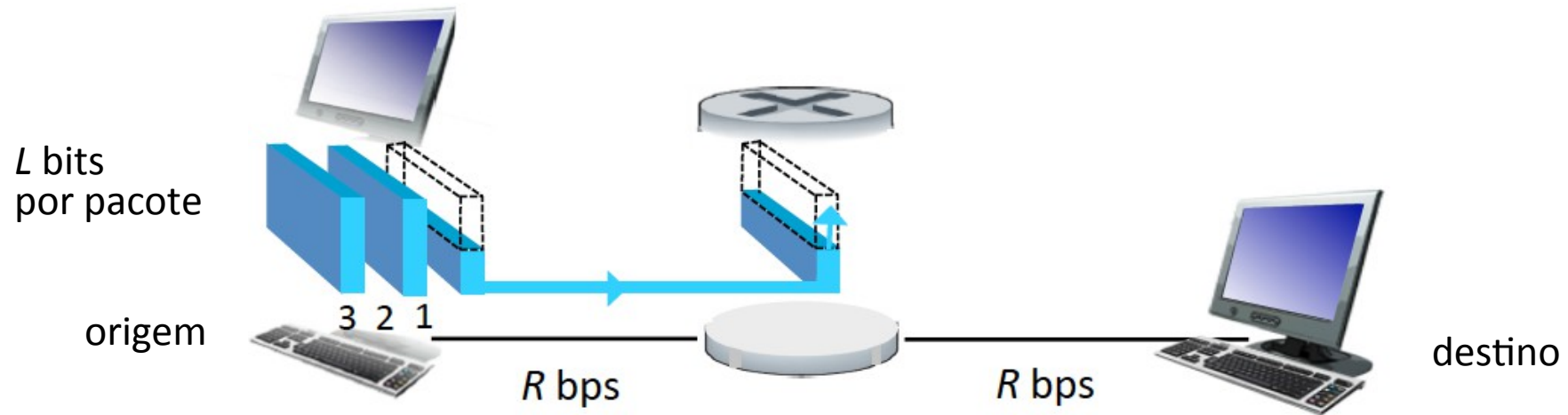
- O núcleo da rede
 - Comutação de circuitos e pacotes
 - Estrutura da rede
- Avaliando a rede
 - Atraso, perda e vazão

O núcleo da rede

- ❑ Malha de roteadores interconectados
- ❑ **Comutação de pacotes:** sistemas finais dividem as mensagens da camada de aplicação em pacotes
 - Pacotes são encaminhados a partir de um roteador para o próximo, passando por enlaces no caminho da origem até o destino
 - Cada pacote é transmitido na capacidade total do enlace



Comutação de pacotes: armazena e retransmite



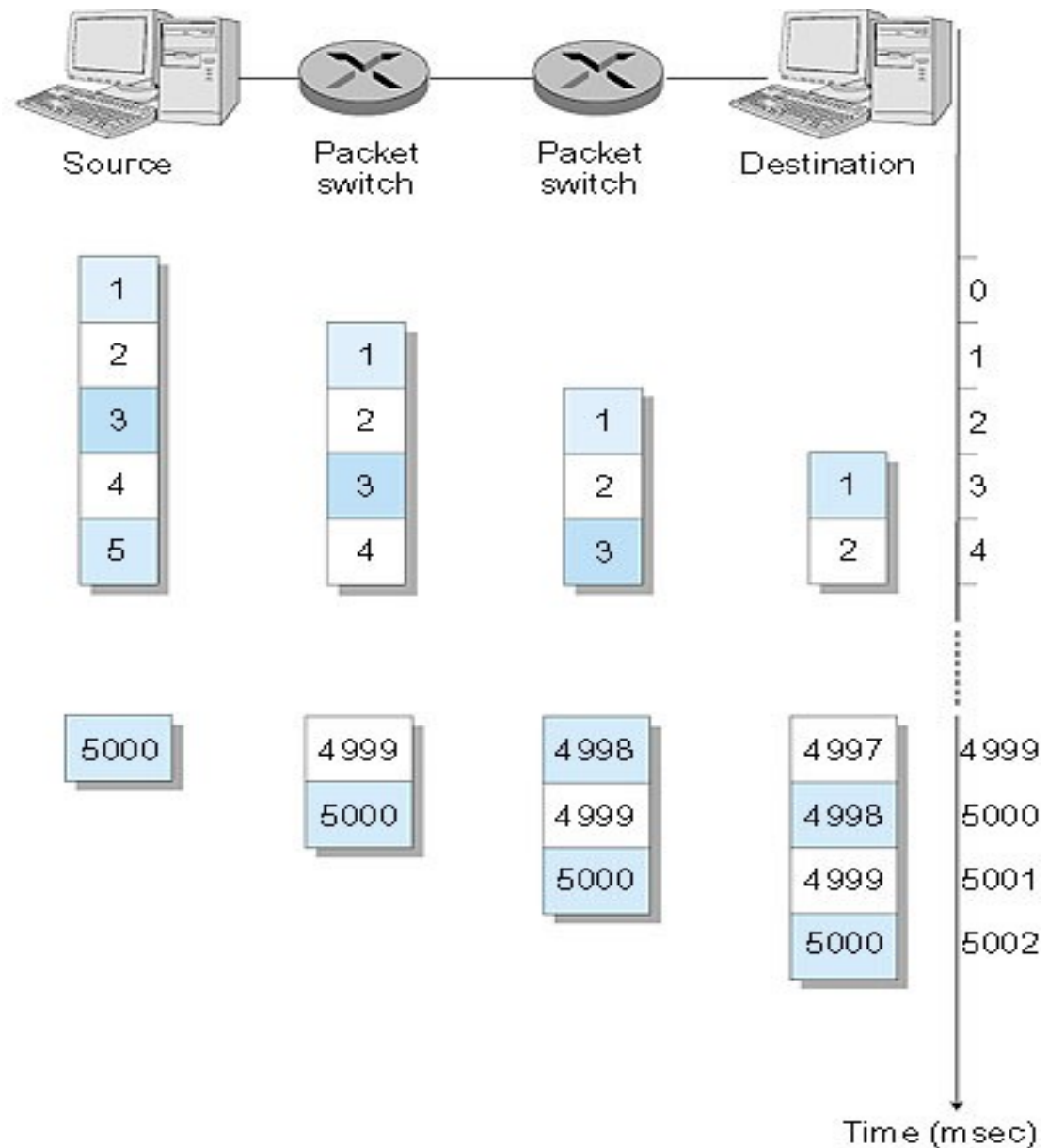
- Leva L/R segundos para transmitir ("empurrar") um pacote de L bits em um enlace de R bps
- **Armazena e retransmite:** pacote inteiro deve chegar no roteador antes dele poder ser transmitido para o próximo enlace
- Atraso fim-a-fim do exemplo = $2L/R$ (assumindo atraso de propagação igual a zero)

Exemplo numérico:

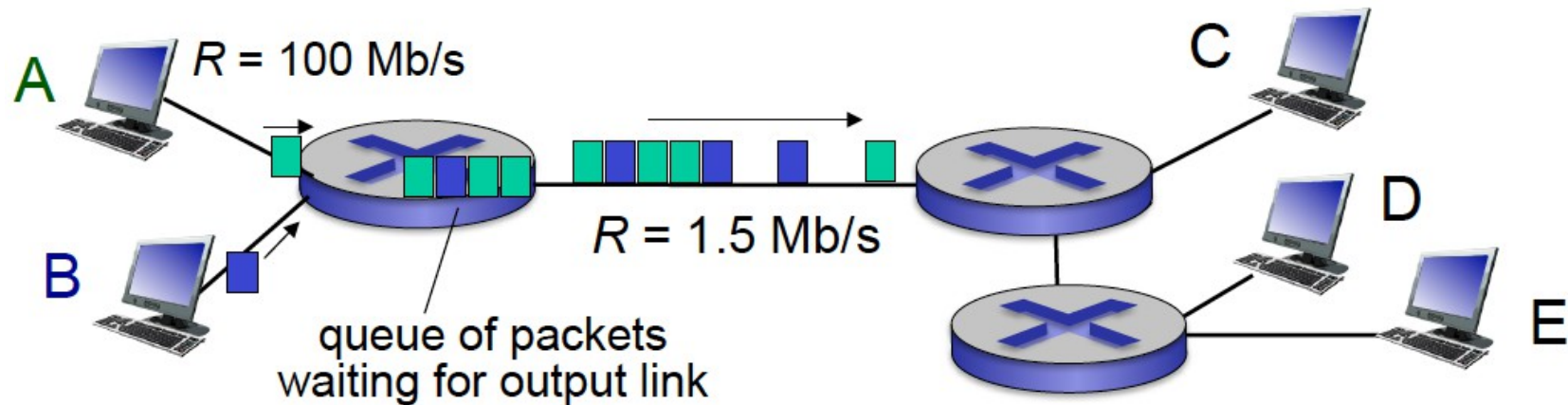
- $L = 7,5$ Mbits
- $R = 1,5$ Mbps
- Atraso de transmissão de um salto (um *hop*) = 5 seg.
- Atraso de transmissão fim-a-fim = 10 seg.

Armazena e retransmite: outro exemplo

- ❑ Mensagem da aplicação
(L) = 5 Mbits ou 5000 Kbits
- ❑ Capacidade de cada enlace (R) = 1 Mbps
- ❑ Atraso de transmissão fim-a-fim = $3L/R = 3 \times 5\text{Mbits}/1\text{Mbps} = 15\text{s}$
- ❑ E se a mensagem for dividida em 5000 pacotes de 1 Kbit?



Comutação de pacotes: atraso na fila e perda



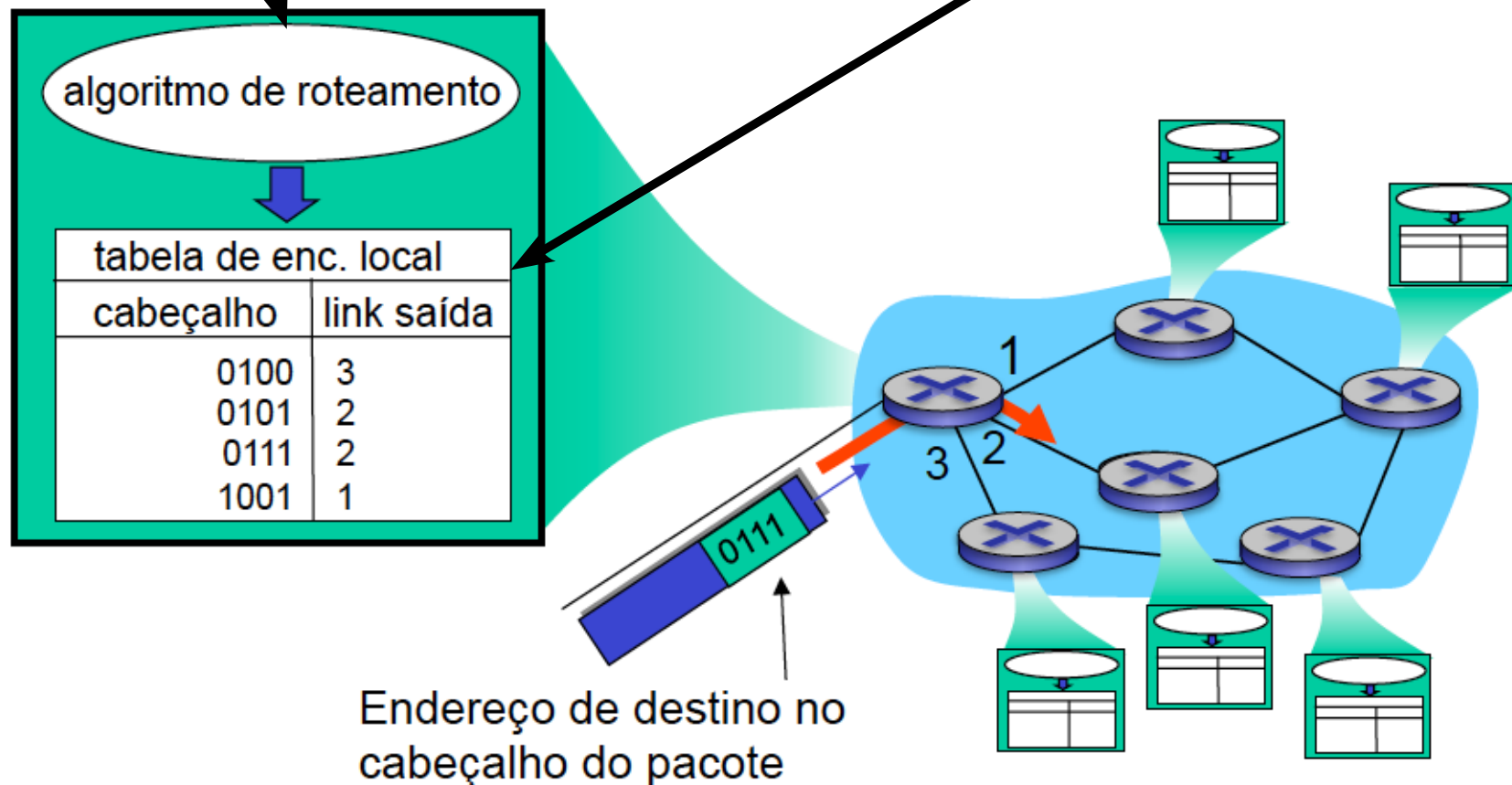
Fila e perda:

Se taxa de chegada (em bits) para o enlace excede a taxa de transmissão desse enlace por um certo período de tempo:
pacotes serão enfileirados e vão esperar para serem transmitidos
pacotes podem ser descartados (perdidos) se a memória (*buffer*) encher

Duas funções críticas do núcleo

Roteamento: determina a rota entre origem e destino a ser seguida pelos pacotes

Encaminhamento: move pacotes a partir da entrada do roteador para a saída adequada



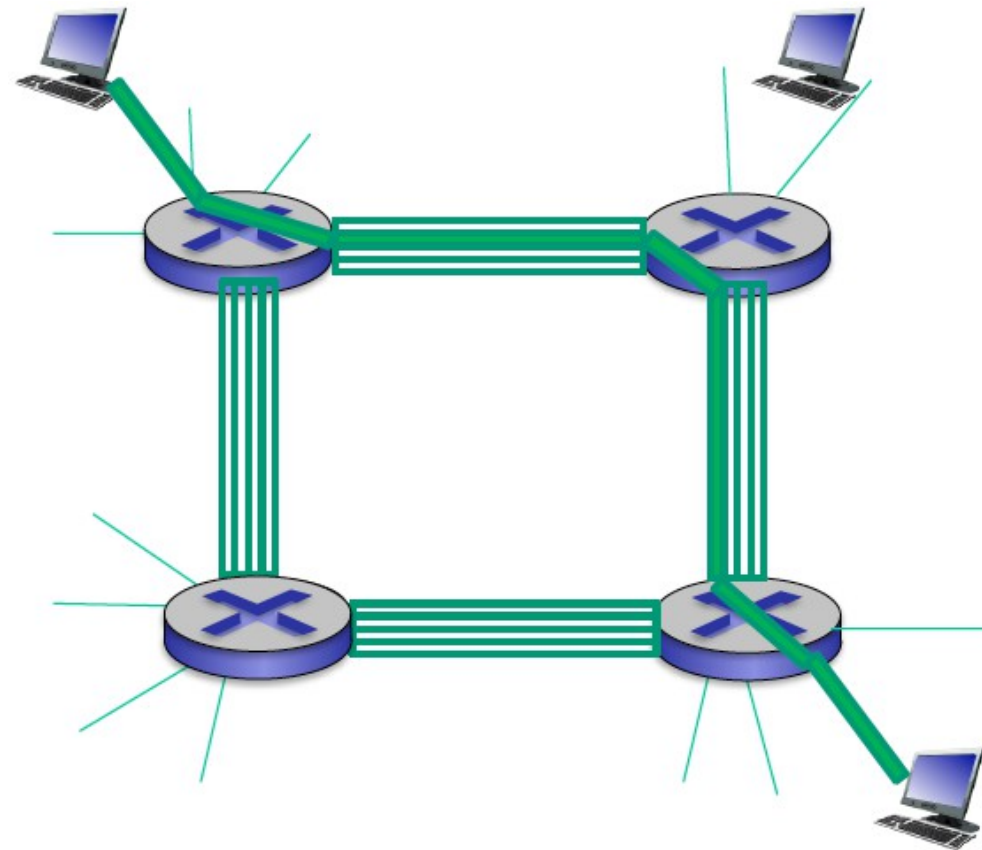
Tópicos

- O núcleo da rede
 - Comutação de circuitos e pacotes
 - Estrutura da rede
- Avaliando a rede
 - Atraso, perda e vazão

Núcleo alternativo: comutação de circuitos

Recursos fim-a-fim são reservados para "chamada" entre origem e destino:

- No diagrama, cada enlace tem 4 circuitos
 - A chamada usa 2º circuito no enlace de cima e 1º circuito no enlace da direita
- Recursos dedicados: sem compartilhamento, desempenho garantido
- Recursos desperdiçados: se enlace não é usado, fica ocioso
- Comumente usado nas redes de telefonia tradicionais

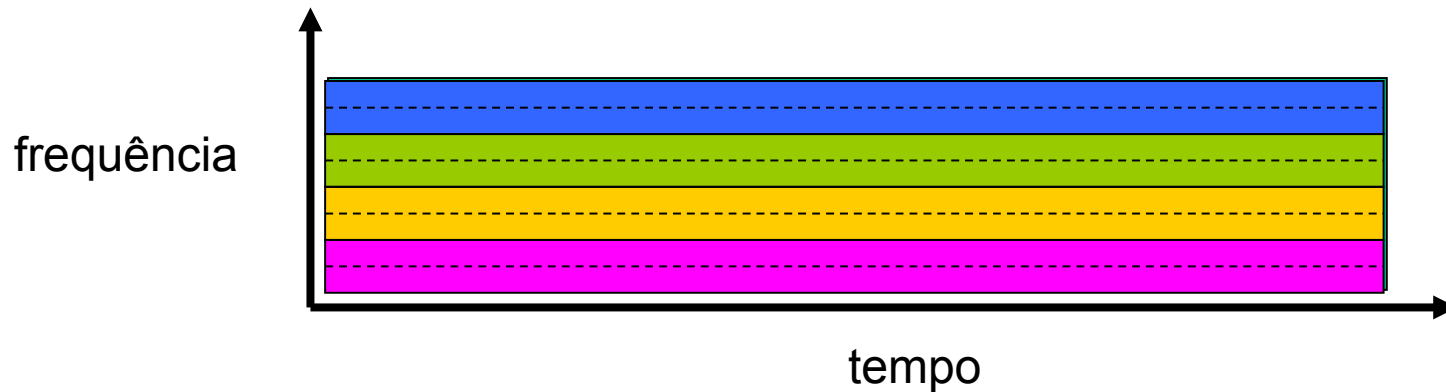


Comutação de Circuitos: FDM e TDM

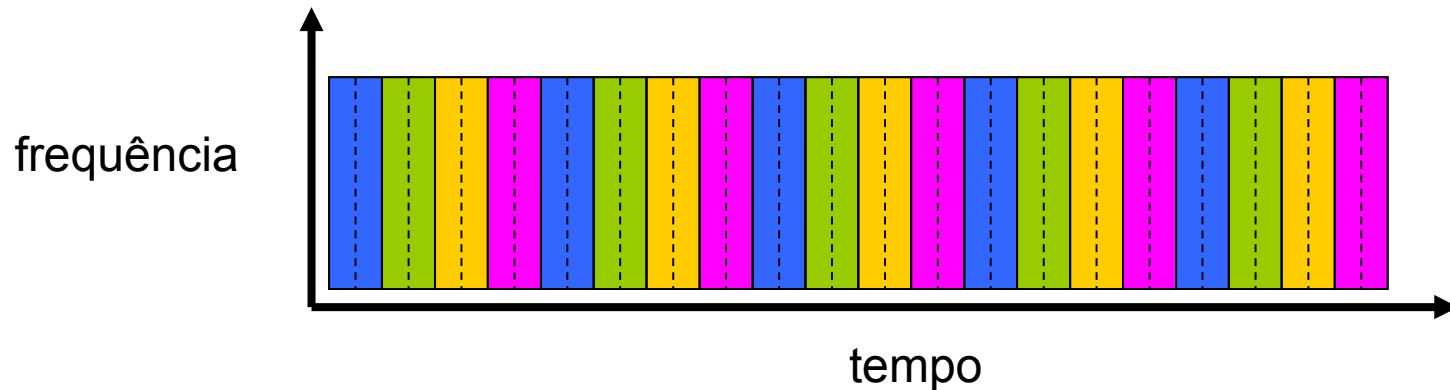
Exemplo:

FDM (*Frequency Division Multiplexing*)

4 usuários



TDM (*Time Division Multiplexing*)

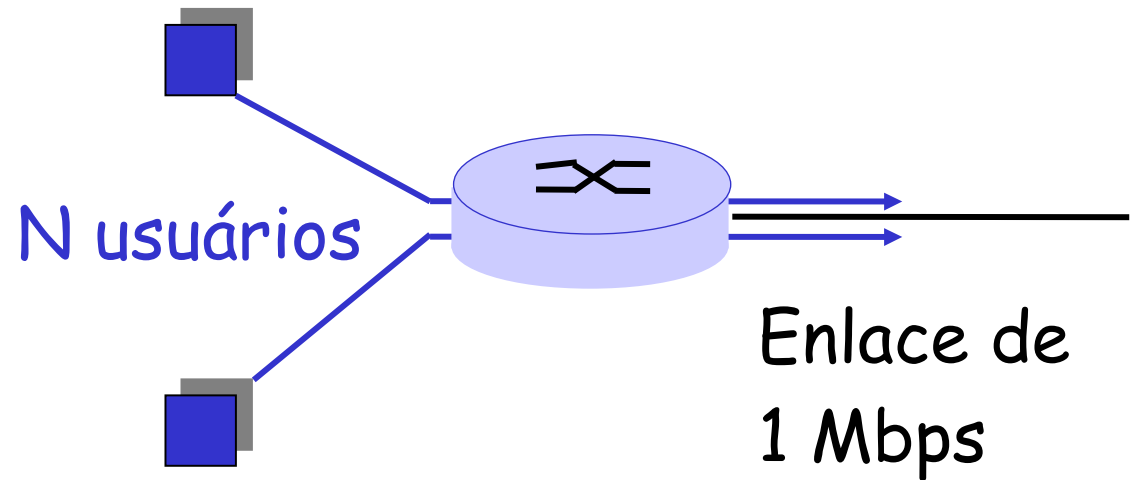


Comutação de pacotes vs. comutação de circuitos

A comutação de pacotes permite que mais usuários usem a rede!

□ Exemplo numérico

- Enlace de 1 Mbps
- cada usuário:
 - 100Kbps quando “ativo”
 - ativo 10% do tempo
- comutação por circuitos:
 - 10 usuários
- comutação por pacotes:
 - com 35 usuários, a probabilidade de ter mais que 10 ativos é aproximadamente 0,0004 (0,04%)
 - Ativo 20%, prob. é $\sim 0,0747$ (7,47%)
 - Ativo 30%, prob. é $\sim 0,49$ (49%)



Comutação de pacotes vs. comutação de circuitos

A comutação de pacotes é sempre melhor?

- ❑ Ótima para dados em surtos (rajadas)
 - compartilhamento dos recursos
 - não necessita estabelecimento de conexão
- ❑ Está sujeita a congestionamentos: atraso e perda de pacotes
 - necessita de protocolos para transferência confiável de dados, controle de congestionamento
- ❑ P: Como fornecer um comportamento do tipo circuito?
 - Afinal, aplicações de áudio e vídeo (em tempo real) exigem esse tipo de comportamento
 - Porém, ainda é um problema não resolvido na Internet

Tópicos

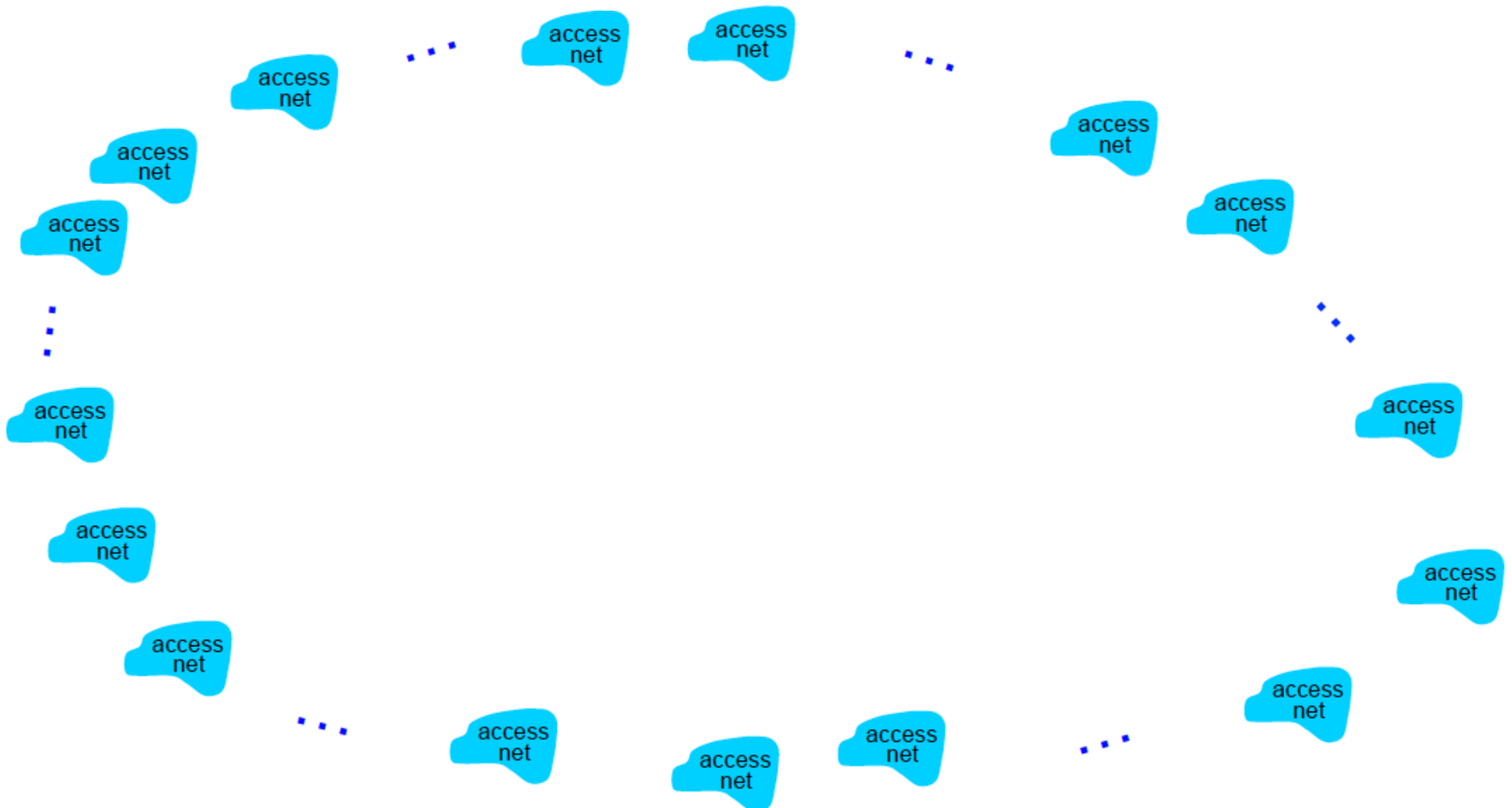
- O núcleo da rede
 - Comutação de circuitos e pacotes
 - Estrutura da rede
- Avaliando a rede
 - Atraso, perda e vazão

Estrutura da Internet

- Sistemas finais se conectam à Internet através de ISPs (*Internet Service Providers*)
 - Residencial, empresa, universidade...
- ISPs de acesso precisam também se interconectar
 - Para permitir que quaisquer 2 *hosts* possam trocar pacotes
- Rede resultante de redes é muito complexo
 - Evolução tem sido guiada por aspectos econômicos e políticas nacionais
- Vamos a uma abordagem passo-a-passo para descrever a estrutura da Internet atual

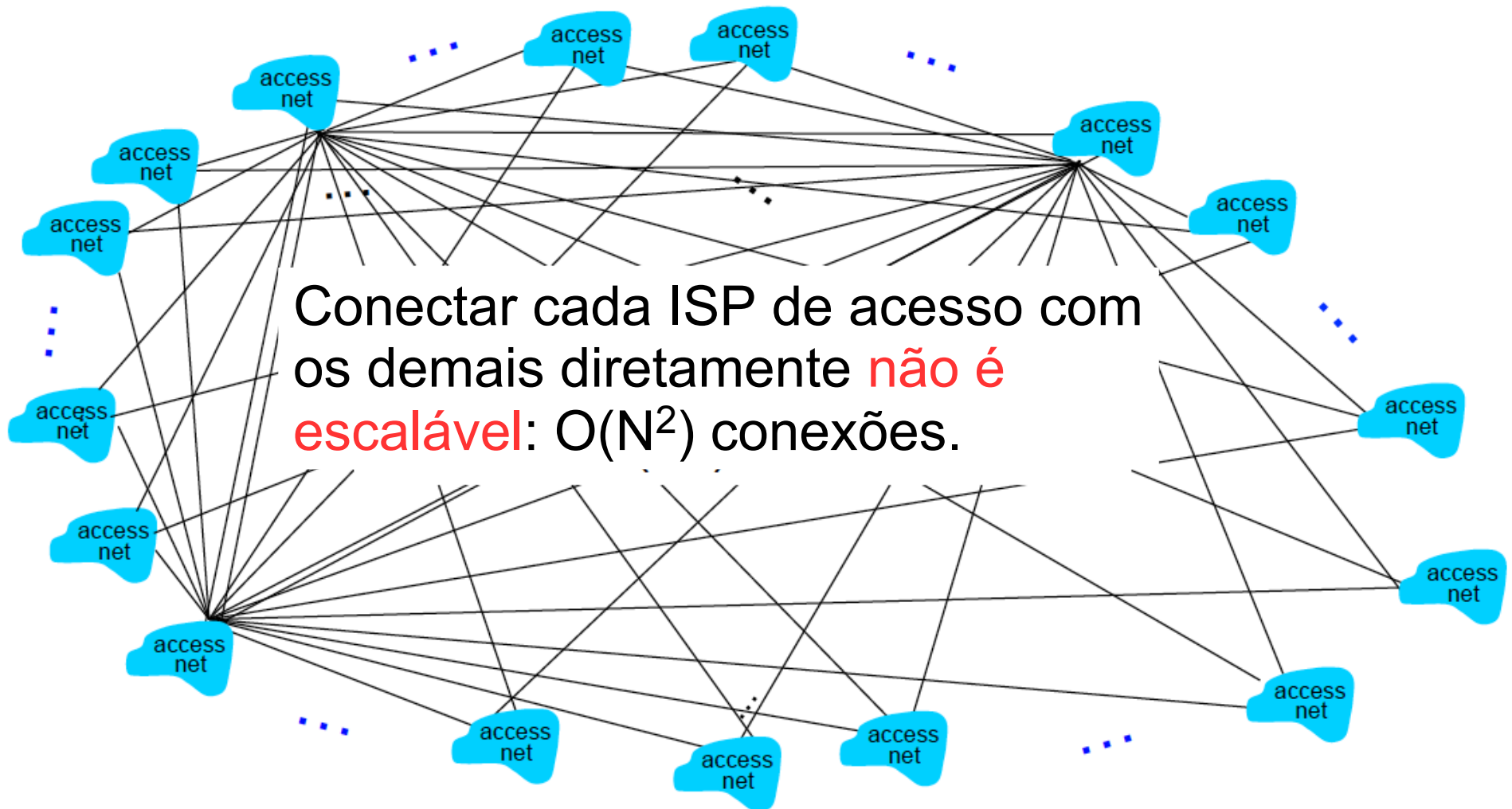
Estrutura da Internet

- Como conectar milhões de ISPs de acesso?



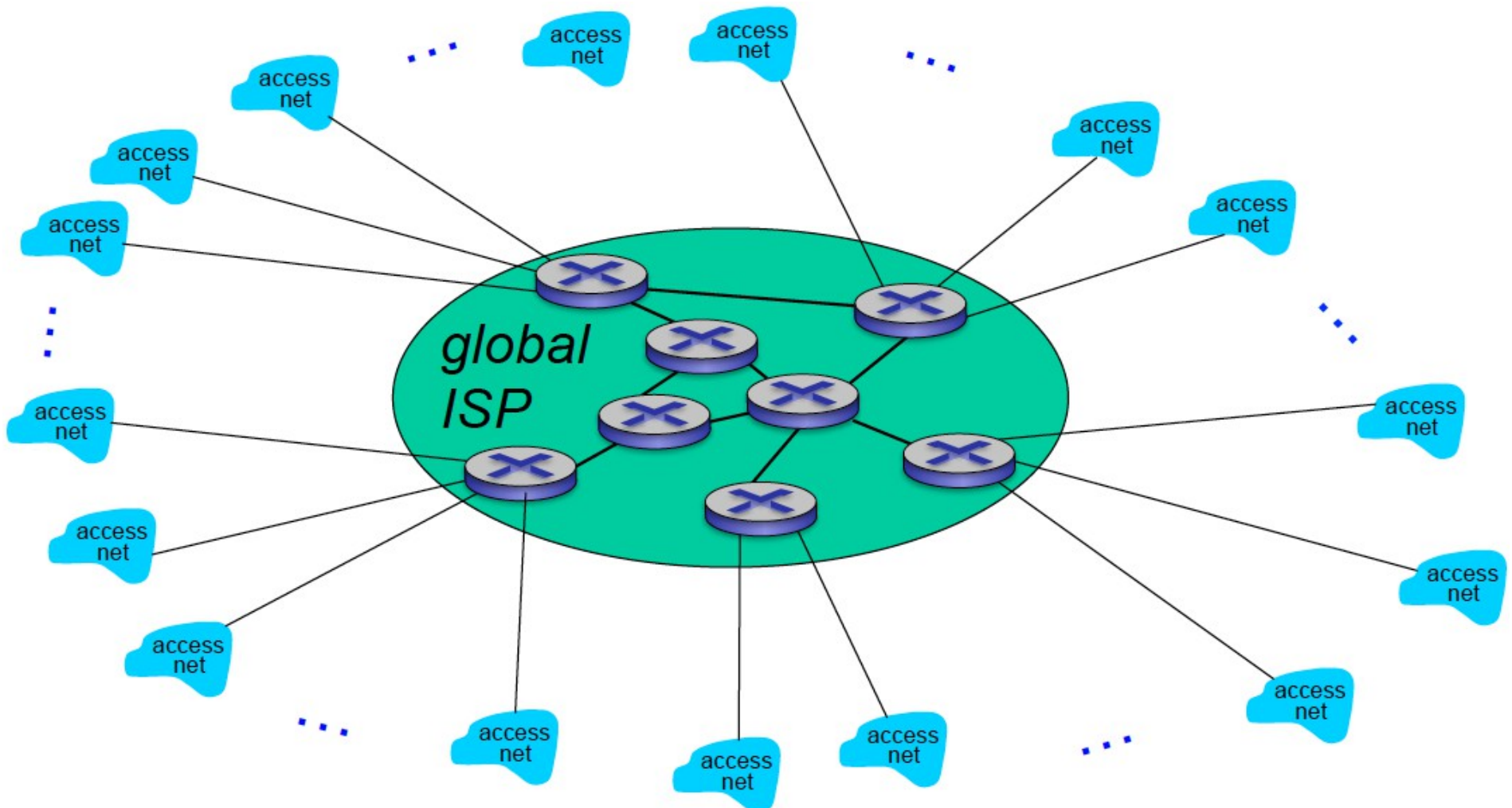
Estrutura da Internet

- Opção: conectar cada ISP de acesso com todos os demais



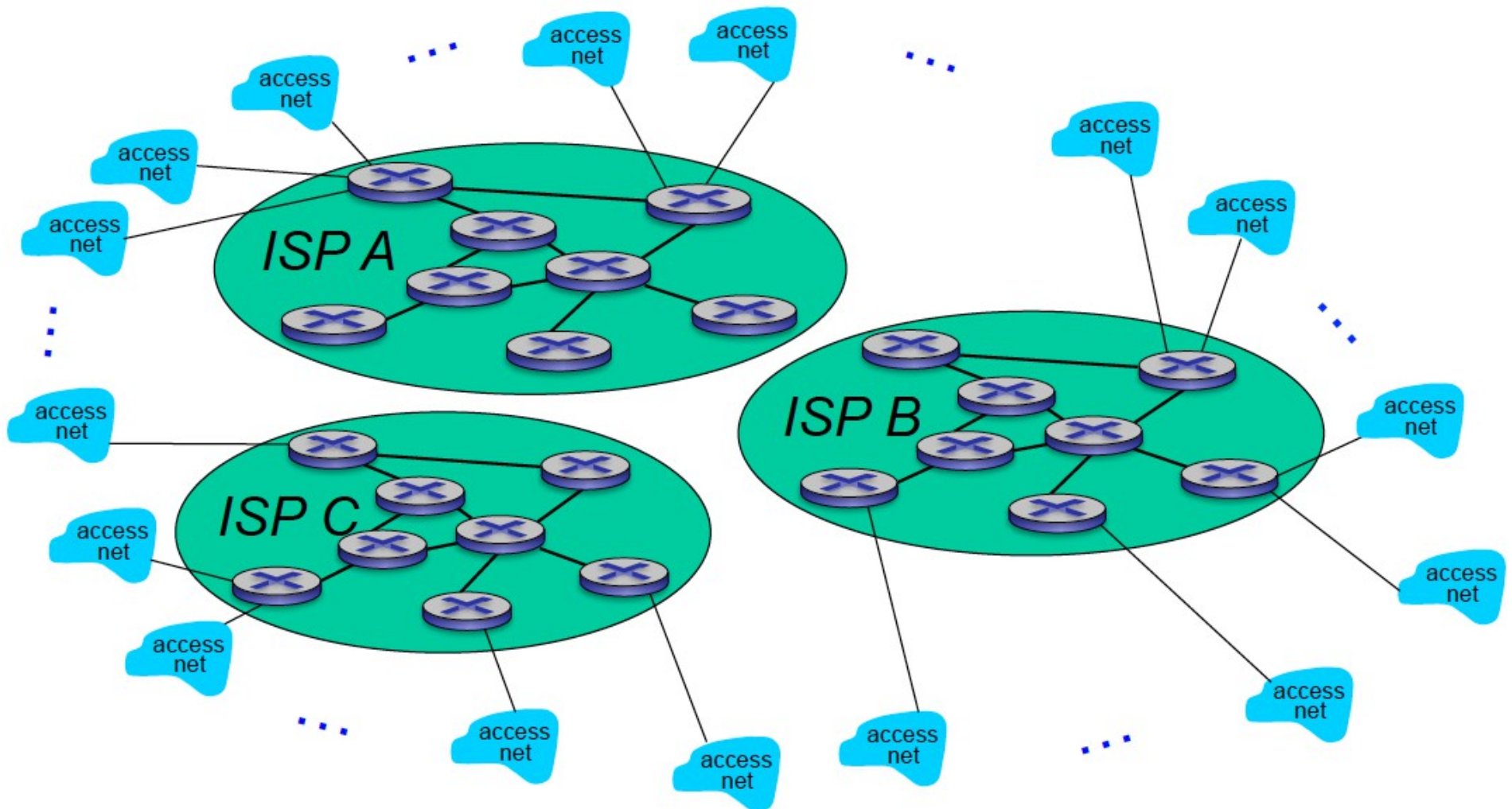
Estrutura da Internet

- Opção: conectar cada ISP de acesso a um ISP de trânsito global
 - ISPs consumidor e provedor têm acordo econômico



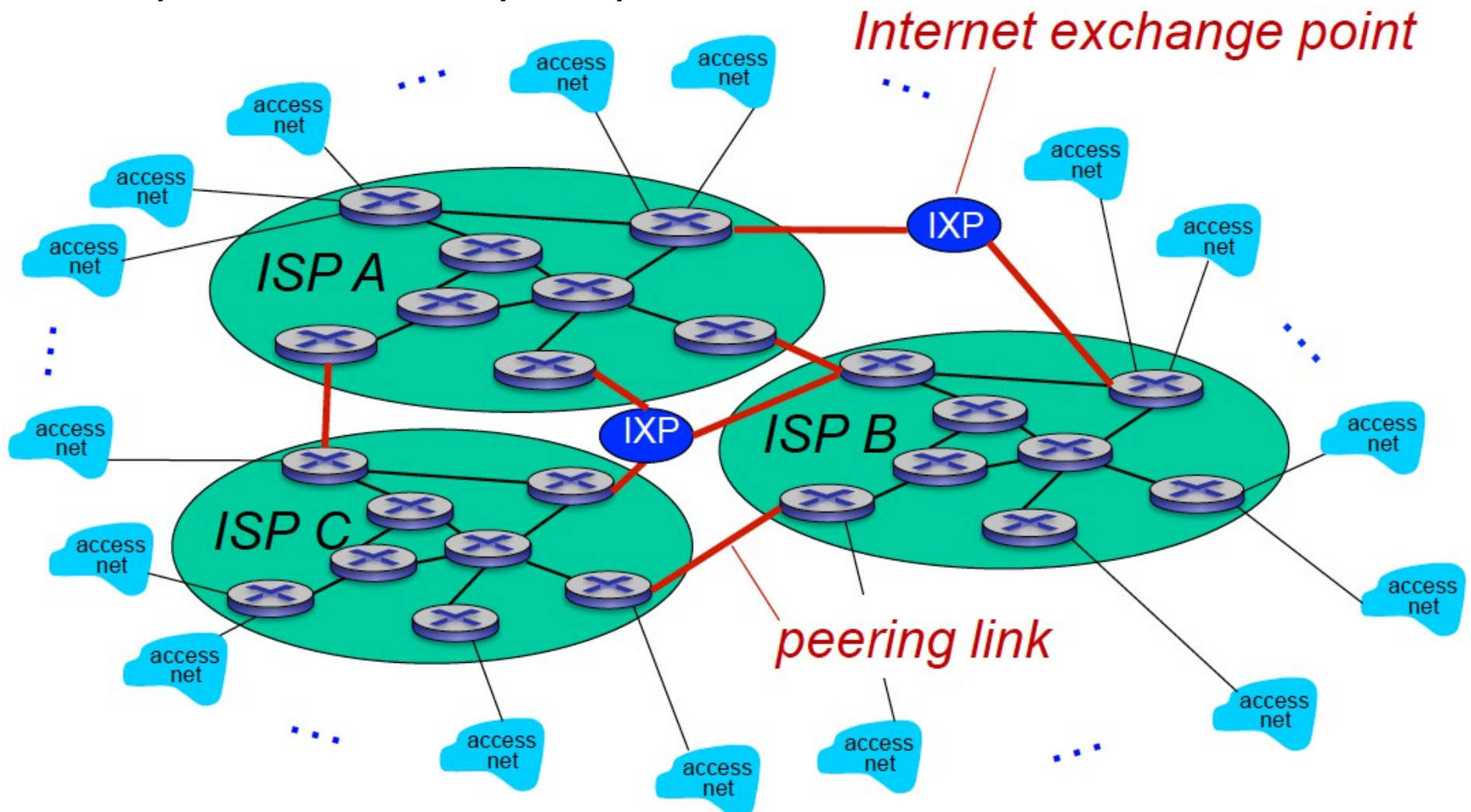
Estrutura da Internet

- Naturalmente, se ISP global é um negócio viável, então surgem competidores...



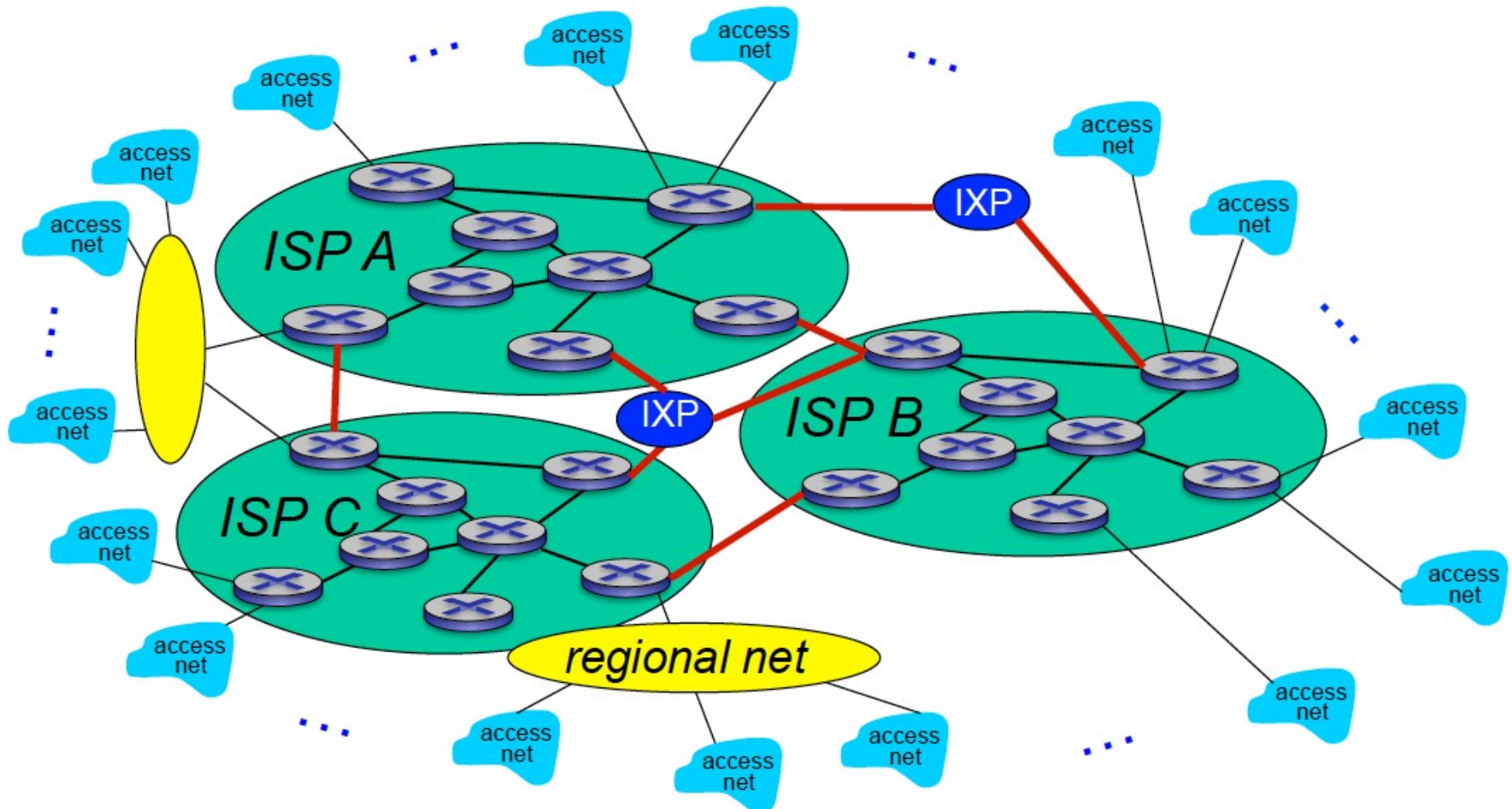
Estrutura da Internet

- Naturalmente, se ISP global é um negócio viável, então surgem competidores... os quais precisam ser interconectados



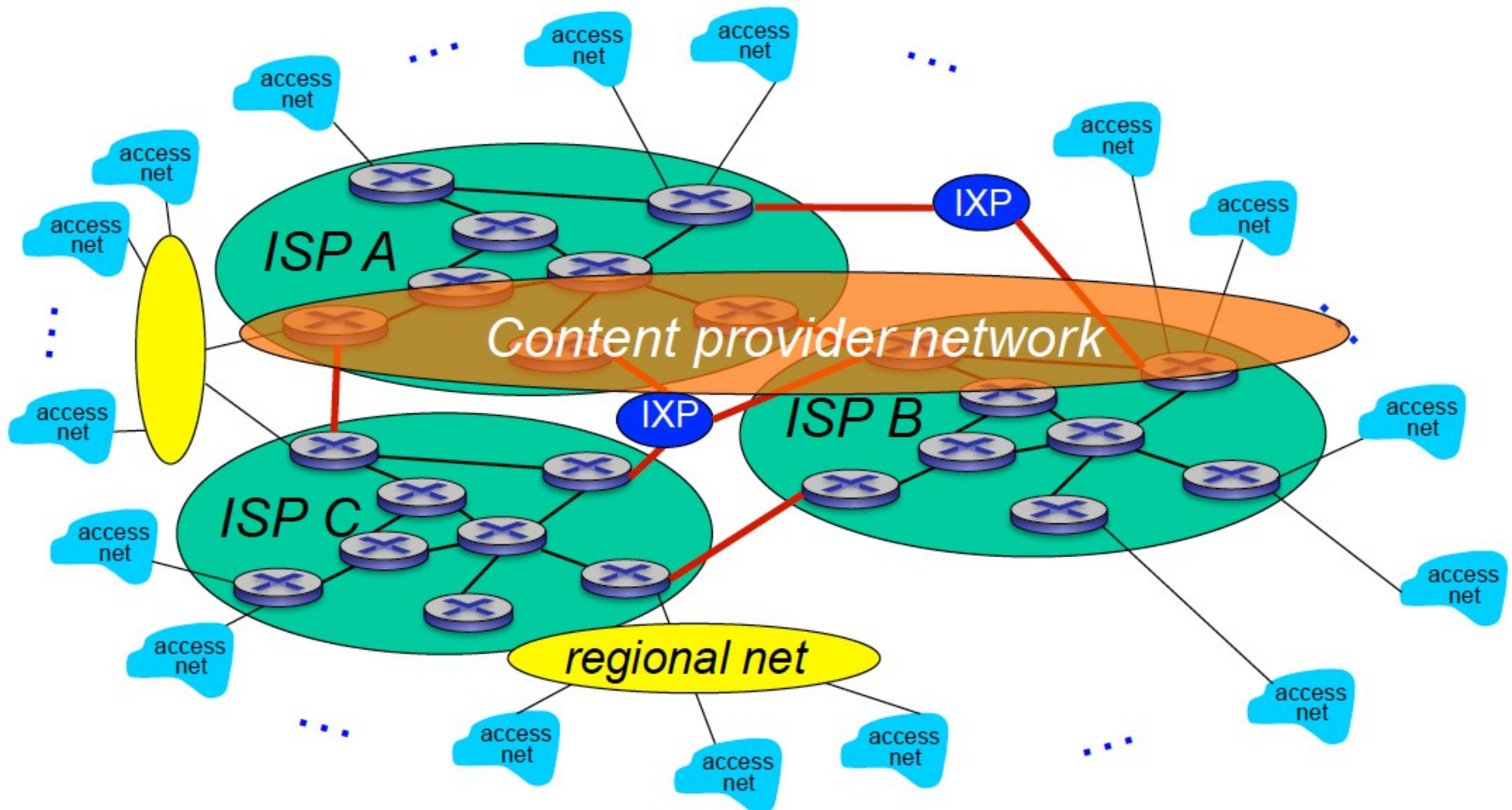
Estrutura da Internet

- ... e redes regionais podem surgir para conectar redes de acesso a ISPs



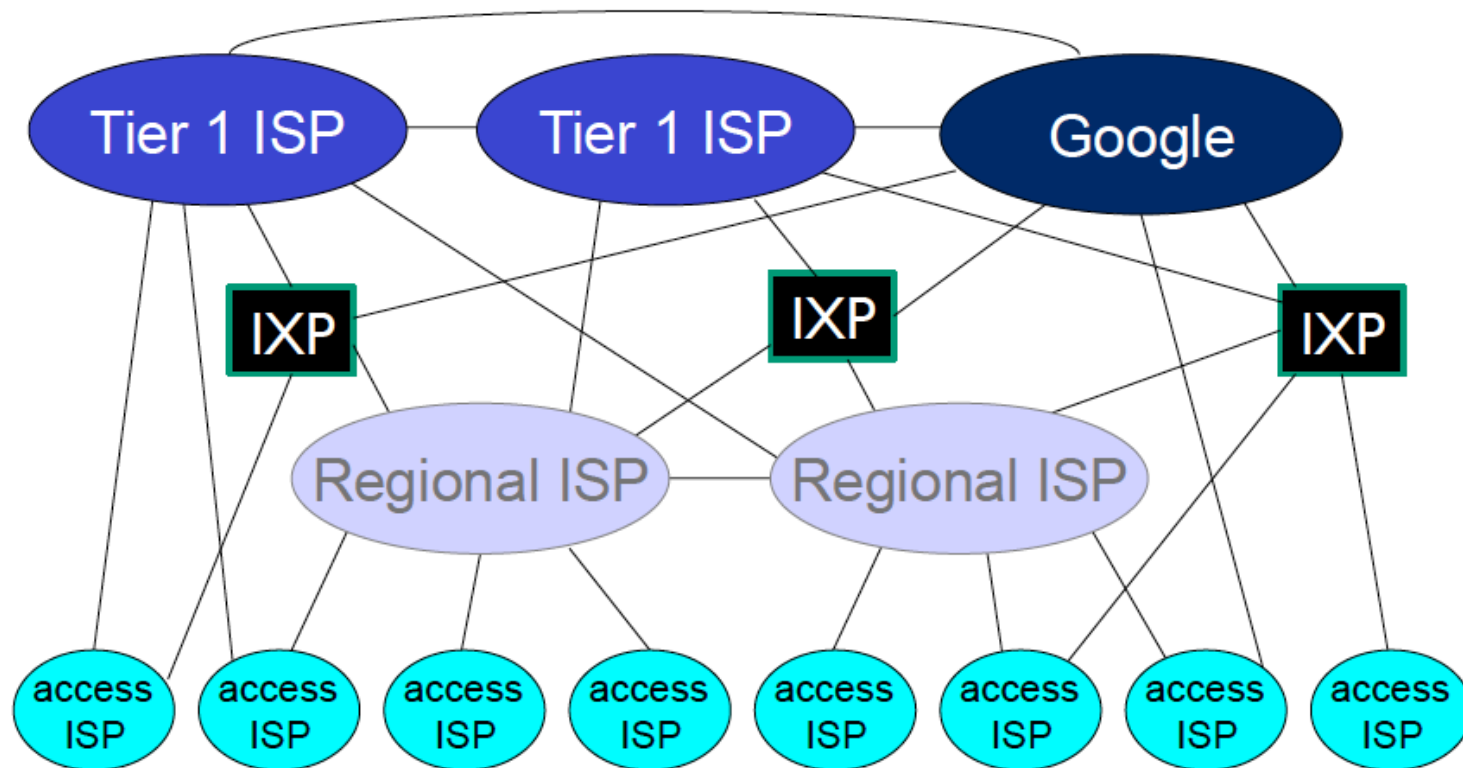
Estrutura da Internet

- ... e redes de fornecimento de conteúdo (e.g., Google, Microsoft, Akamai) podem ter redes próprias para trazer serviços e conteúdo para próximo dos usuários



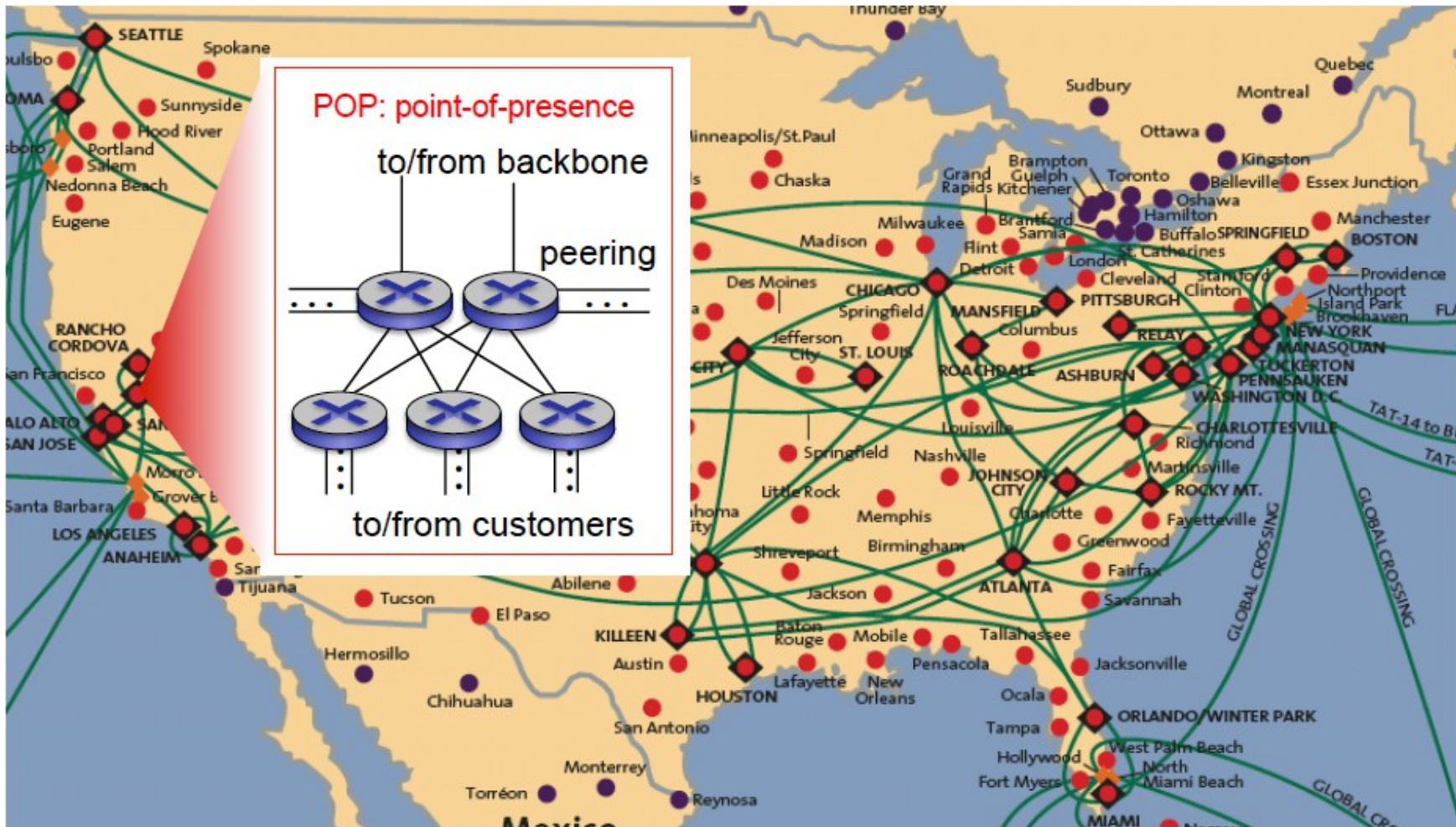
Estrutura da Internet

- Pequeno número de redes grandes “bem conectadas”
 - ISPs “tier-1” (e.g., Level 3, Sprint, AT&T, NTT) com cobertura nacional e internacional
 - Rede de fornecimento de conteúdo (e.g., Google): rede privada que conecta centros de dados à Internet, frequentemente “pulando” ISPs “tier-1” e, às vezes, até ISPs regionais



Estrutura da Internet

- ISP “tier-1” – e.g., Sprint



- ISP nacional – e.g., RNP

[illegible]

Tópicos

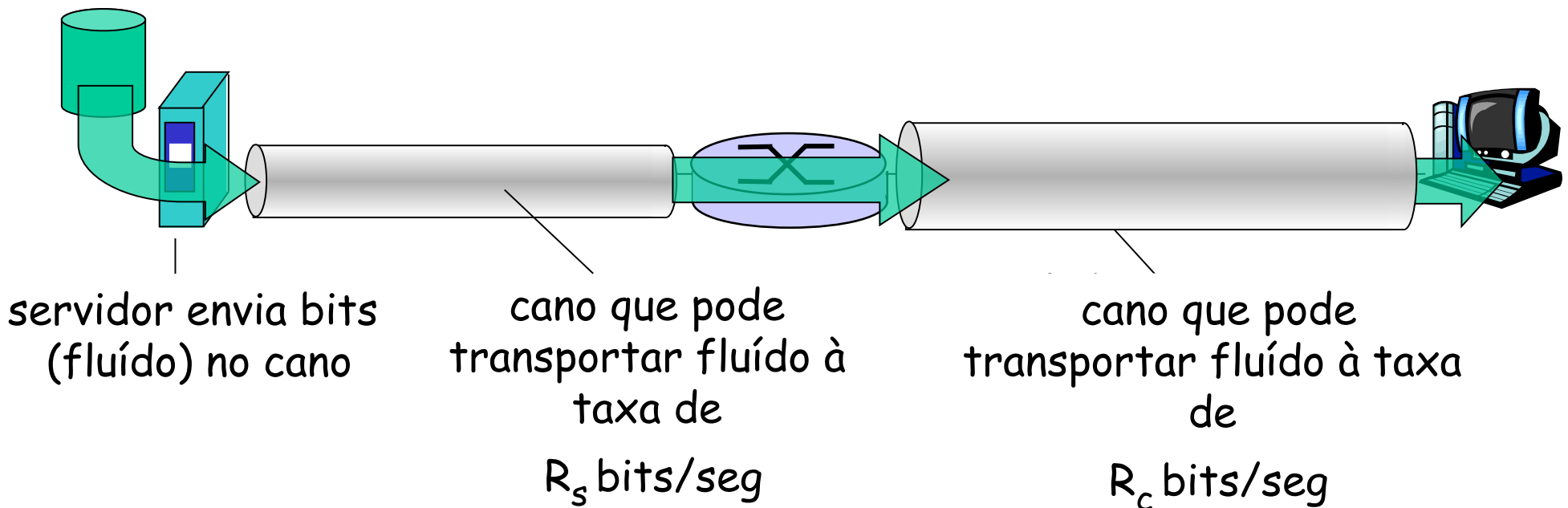
- O núcleo da rede
 - Comutação de circuitos e pacotes
 - Estrutura da rede
- Avaliando a rede
 - Atraso, perda e vazão

Parâmetros de desempenho da rede

- Vazão – velocidade de transmissão
 - Depende dos equipamentos e dos enlaces
- Perda – não chegada de um pacote ao destino
 - Na Internet, a principal causa de perdas ainda são os transbordos de buffer, i.e., congestionamentos
- Atraso – tempo gasto em alguma operação
 - E.g., atraso de transmissão, ou seja, tempo gasto para transmitir
- Outros: *jitter*, distribuição das perdas, etc.

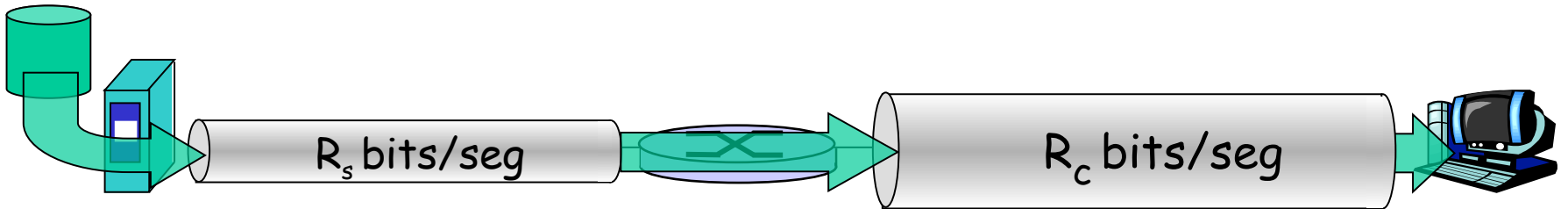
Vazão (Throughput)

- *vazão*: taxa (bits/unidade de tempo) na qual os bits são transferidos entre o transmissor e o receptor
 - *instantânea*: taxa num certo instante de tempo
 - *média*: taxa num período de tempo mais longo

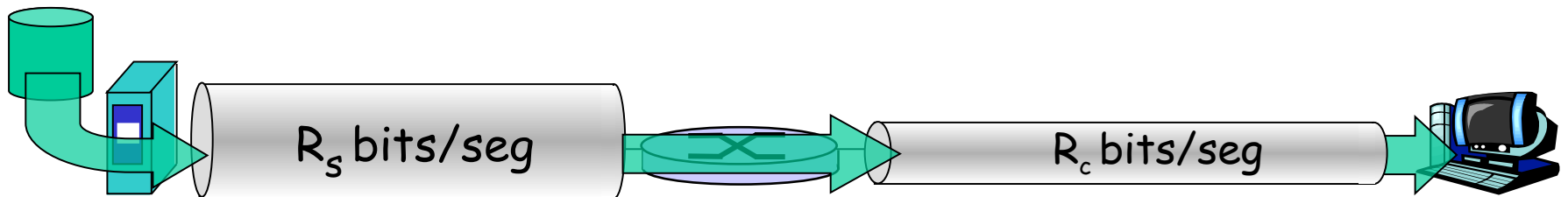


Vazão (gargalo)

- $R_s < R_c$ Qual é a vazão média fim-a-fim?



- $R_s > R_c$ Qual é a vazão média fim-a-fim?

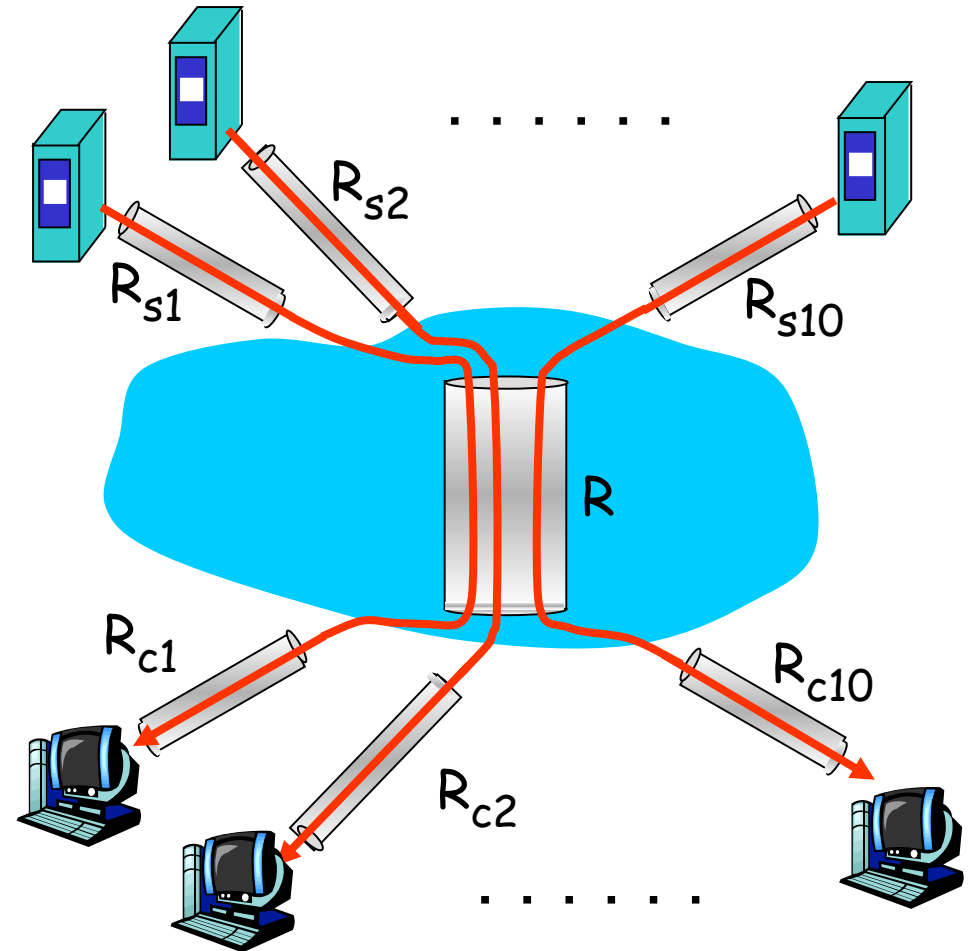


Enlace de gargalo

Enlace no caminho fim-a-fim que restringe a vazão fim-a-fim

Vazão: cenário comum na Internet

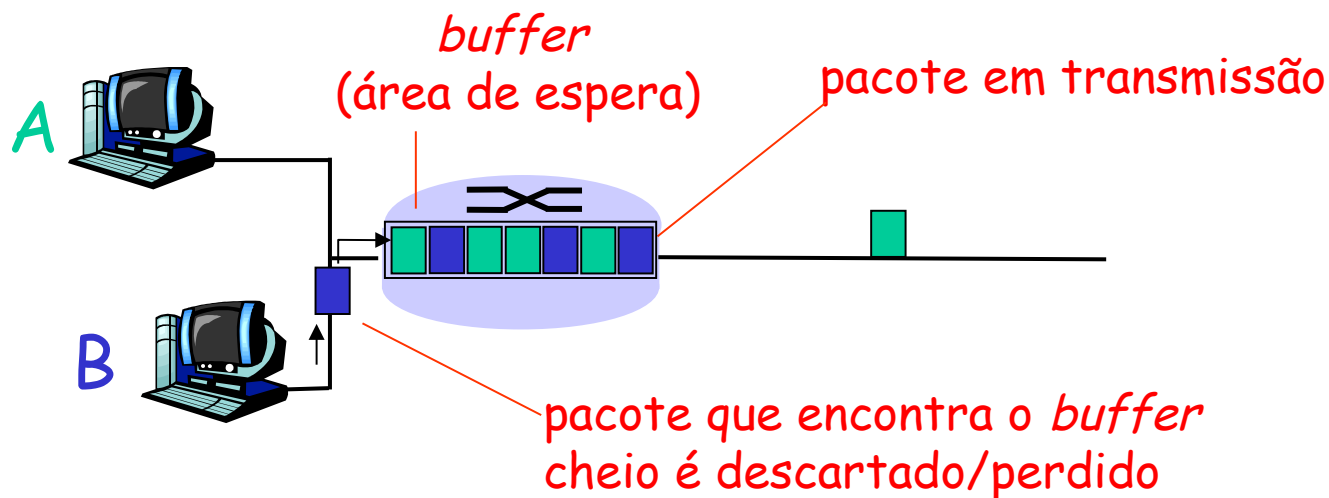
- Vazão por conexão fim-a-fim: $\min(R_{cN}, R_{sN}, R/10)$
- Na prática: R_{cN} ou R_{sN} são frequentemente o gargalo



10 conexões compartilham (de modo justo) o enlace gargalo do *backbone* de R bits/seg

Perda de pacotes

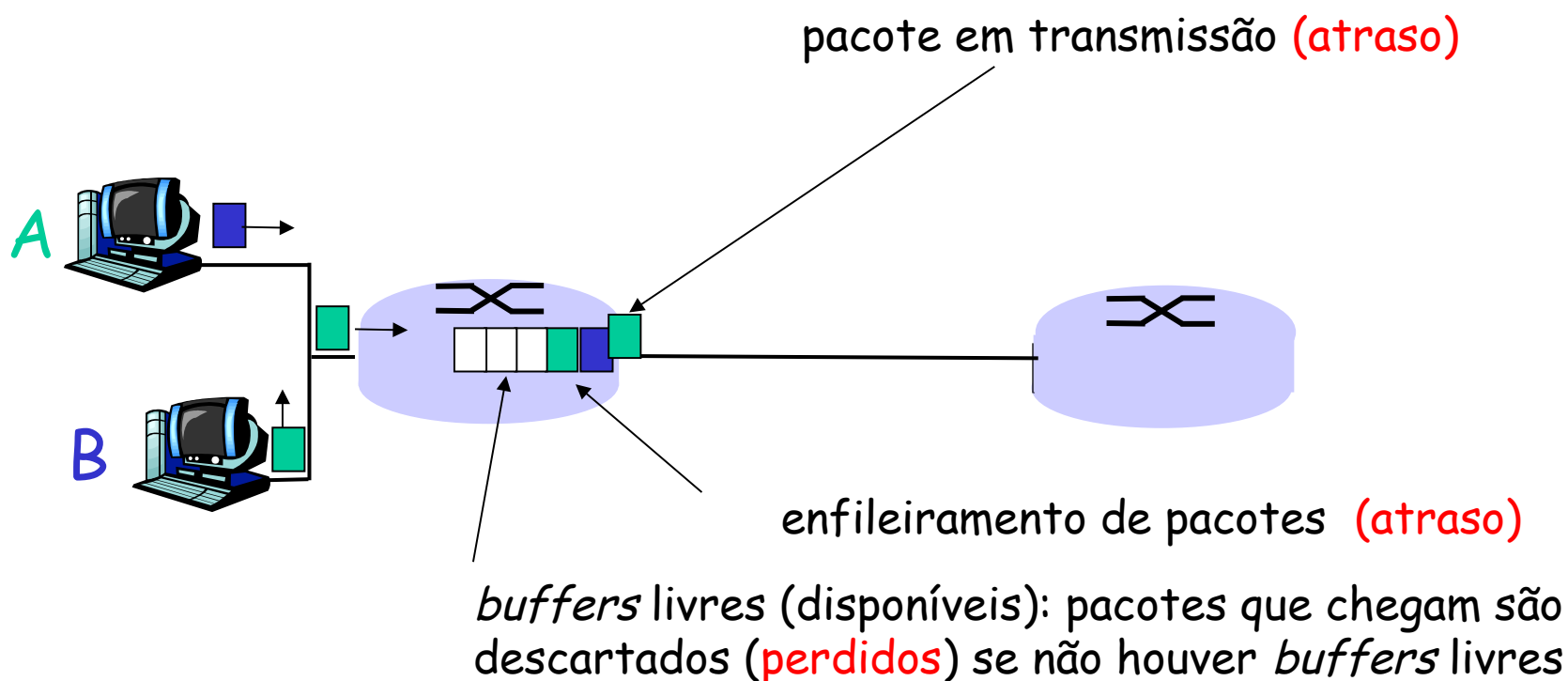
- Fila (*buffer*) anterior a um canal possui capacidade finita
- quando um pacote chega numa fila cheia, o pacote é descartado (perdido)
- o pacote perdido pode ser retransmitido pelo nó anterior, pelo sistema origem, ou não ser retransmitido



Como ocorrem as perdas e atrasos?

Pacotes são enfileirados nos *buffers* do roteador

- taxa de chegada de pacotes ao enlace excede a capacidade do enlace de saída
- pacotes enfileirados obedecem uma fila



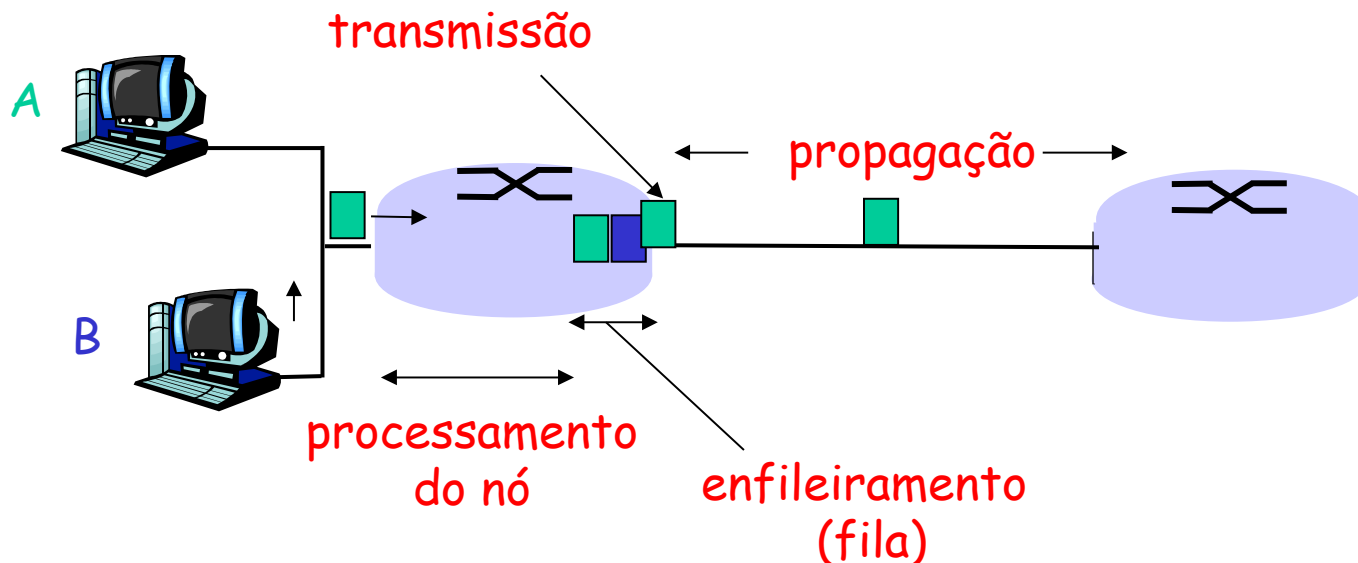
Quatro fontes de atraso dos pacotes

1. processamento do nó:

- verificação de bits errados
- identificação do enlace de saída

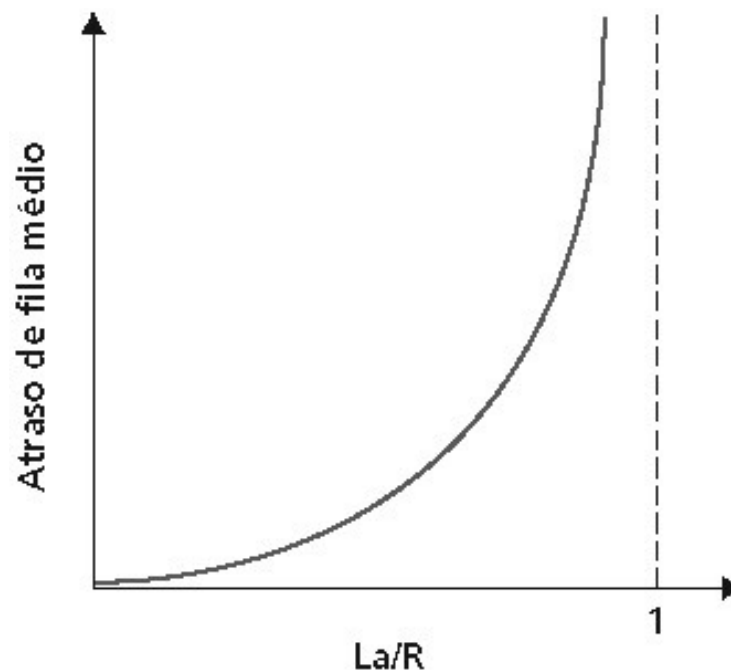
2. enfileiramento

- tempo de espera no enlace de saída até a transmissão
- depende do nível de congestionamento do roteador



Atraso de enfileiramento

- R =largura de banda do enlace (bps)
- L =comprimento do pacote (bits)
- a =taxa média de chegada de pacotes



Intensidade de tráfego = La/R

- $La/R \sim 0$: pequeno atraso de enfileiramento
- $La/R \rightarrow 1$: grande atraso
- $La/R > 1$: chega mais "trabalho" do que a capacidade de atendimento, atraso médio infinito!

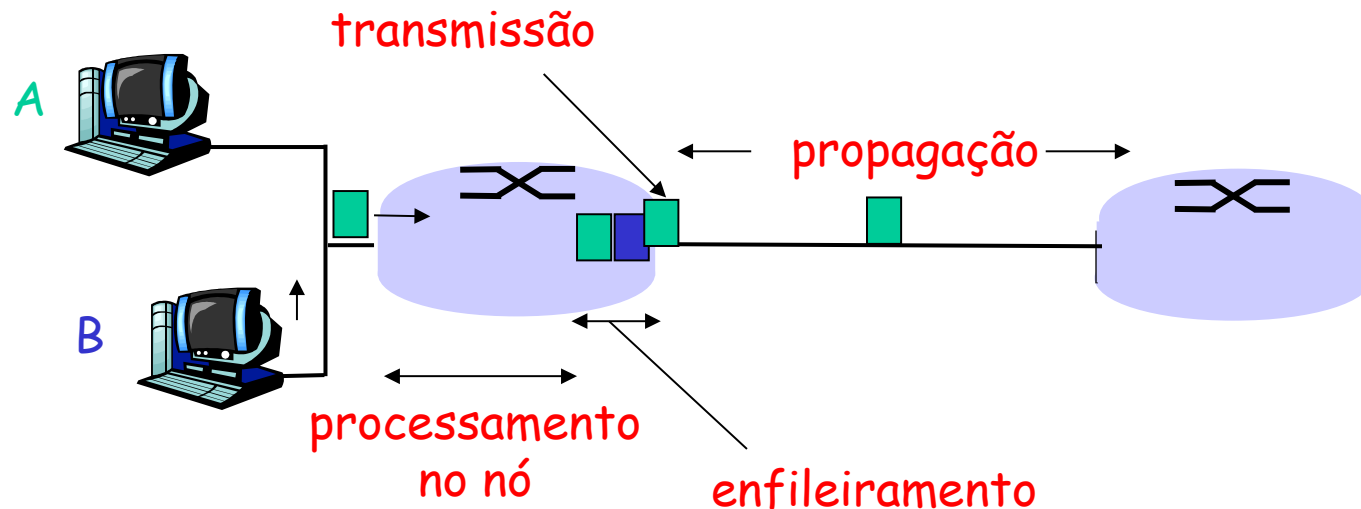
Atraso em redes comutadas por pacotes

3. Atraso de transmissão:

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

4. Atraso de propagação:

- d = comprimento do enlace
- s = velocidade de propagação no meio ($\sim 2 \times 10^8$ m/seg)
- atraso de propagação = d/s



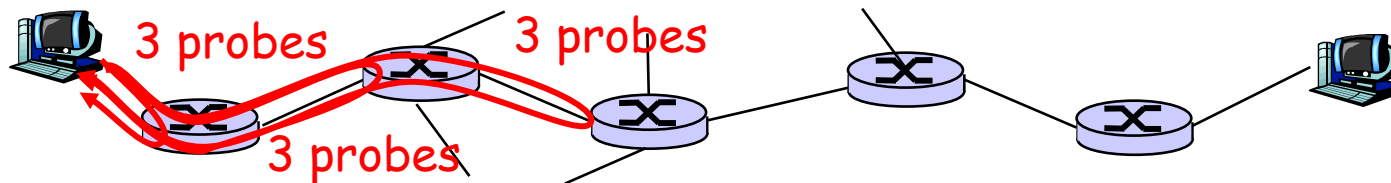
Atraso por nó

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

- d_{proc} = atraso de processamento
 - tipicamente de poucos microsecs. ou menos
- d_{fila} = atraso de enfileiramento
 - depende do congestionamento
- d_{trans} = atraso de transmissão
 - $= L/R$, significativo para canais de baixa velocidade
- d_{prop} = atraso de propagação
 - poucos microsecs. a centenas de msecs.

Atrasos e rotas "reais" da Internet

- Como são os atrasos e as perdas reais da Internet?
- Programa Traceroute: fornece medições de atraso da fonte até os diversos roteadores ao longo do caminho fim-a-fim até o destino. Para cada roteador X:
 - envia três pacotes que alcançarão o roteador X no caminho até o destino
 - o roteador X devolverá os pacotes ao transmissor
 - o transmissor calcula o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão e a chegada da resposta



Atrasos e rotas "reais"

traceroute: atrasos de ida-e-volta (RTTs) no caminho da origem até o destino

Outros: pingplotter, mtr, vários programas windows (tracert)

traceroute to www.ufg.br (200.137.221.67), 64 hops max, 52 byte packets

```
1 192.168.1.1 (192.168.1.1) 2.154 ms 0.934 ms 1.698 ms
2 10.1.1.1 (10.1.1.1) 2.339 ms 2.646 ms 2.167 ms
3 201-67-92-254.gnace704.dsl.brasiltelecom.net.br (201.67.92.254) 20.185 ms 21.972 ms 21.843 ms
4 brt-10g1-0-0-spopn-border.brasiltelecom.net.br (201.10.241.14) 62.991 ms 58.155 ms 60.076 ms
5 as1916.sp.ptt.br (200.219.130.4) 57.447 ms 56.446 ms 90.249 ms
6 200.143.252.210 (200.143.252.210) 49.018 ms 50.919 ms 54.368 ms
7 so-0-2-0-r1-df.bkb.rnp.br (200.143.252.17) 52.155 ms 53.137 ms 50.080 ms
8 200.143.252.50 (200.143.252.50) 61.004 ms 54.049 ms 51.553 ms
9 200.18.160.11 (200.18.160.11) 56.127 ms 53.378 ms 55.837 ms
10 200.137.224.74 (200.137.224.74) 51.452 ms 54.865 ms 52.627 ms
11 h2001371924.ufg.br (200.137.192.4) 57.670 ms 55.536 ms 54.858 ms
12 www.ufg.br (200.137.221.67) 57.469 ms 60.986 ms 59.976 ms
```

Traceroute (www.traceroute.org)

Origem: registro.br

1	ar01 (200.160.2.253)	1.296 ms	0.722 ms	0.689 ms	~	0.902 ms
2	ge-0-1-0.0.gw03.registro.br (200.160.0.243)	0.403 ms	0.411 ms	0.411 ms	~	0.408 ms
3	as1916.sp.ptt.br (200.219.130.4)	0.497 ms	0.542 ms	0.516 ms	~	0.518 ms
4	200.143.252.210 (200.143.252.210)	0.609 ms	0.600 ms	0.604 ms	~	0.604 ms
5	so-0-2-0-r1-df.bkb.rnp.br (200.143.252.17)	15.931 ms	15.926 ms	15.916 ms	~	15.924 ms
6	200.143.252.50 (200.143.252.50)	18.976 ms	18.998 ms	18.959 ms	~	18.978 ms
7	200.18.160.11 (200.18.160.11)	19.322 ms	19.150 ms	19.223 ms	~	19.232 ms
8	200.137.224.74 (200.137.224.74)	19.402 ms	18.984 ms	18.971 ms	~	19.119 ms
9	h2001371924.ufg.br (200.137.192.4)	20.220 ms	20.144 ms	20.443 ms	~	20.269 ms
10	www.ufg.br (200.137.221.67)	19.170 ms	19.246 ms	19.133 ms	~	19.183 ms

Exercícios

- 1) Suponha que exista exatamente um comutador de pacotes entre um computador de origem e um de destino. As taxas de transmissão entre a máquina de origem e o comutador e entre esse e a máquina de destino são R_1 e R_2 , respectivamente. Admitindo que um roteador use comutação de pacotes do tipo armazena-e-reenvia, qual é o atraso total fim a fim para enviar um pacote de comprimento L ? (Desconsidere formação de fila, atraso de propagação e atraso de processamento.)

Exercícios

- 2) Suponha que usuários compartilhem um enlace de 2 Mbits/s e que cada usuário transmita continuamente a 1 Mbit/s, mas cada um deles transmite apenas 20% do tempo.
- a) Quando a comutação de circuitos é utilizada, quantos usuários podem ser admitidos?
 - b) Para o restante deste problema, suponha que seja utilizada a comutação de pacotes. Por que não haverá atraso de fila (significativo) antes de um enlace se dois ou menos usuários transmitirem ao mesmo tempo? Por que haverá atraso de fila se três usuários transmitirem ao mesmo tempo?
 - c) Determine a probabilidade de um dado usuário estar transmitindo.
 - d) Suponha agora que haja três usuários. Determine a probabilidade de, a qualquer momento, os três usuários transmitirem simultaneamente. Determine a fração de tempo durante o qual a fila cresce.

Exercícios

3) Quanto tempo um pacote de 1.000 bytes leva para se propagar através de um enlace de 2.500 km de distância, com uma velocidade de propagação de $2,5 \cdot 10^8$ m/s e uma taxa de transmissão de 2 Mbits/s? Em geral, quanto tempo um pacote de comprimento L leva para se propagar através de um enlace de distância d , velocidade de propagação s , e taxa de transmissão de R bits/s? Esse atraso depende do comprimento do pacote? Depende da taxa de transmissão?