

Desempenho de Redes de Computadores

Ricardo Couto A. da Rocha
2015



Parâmetros de Desempenho

Largura de Banda (bandwidth)

Throughput

Latência

Jitter

Escalabilidade → parâmetro típico de sistemas distribuídos



Largura de Banda

Largura de banda → velocidade de transmissão (taxa de envio de bits) em um certo enlace

Tipicamente bps

Dependente na tecnologia de transmissão

- Não significa que é fixa. Exemplo: redes sem fio





Throughput

Máxima taxa de transmissão atingida no nível de software ou em camadas específicas

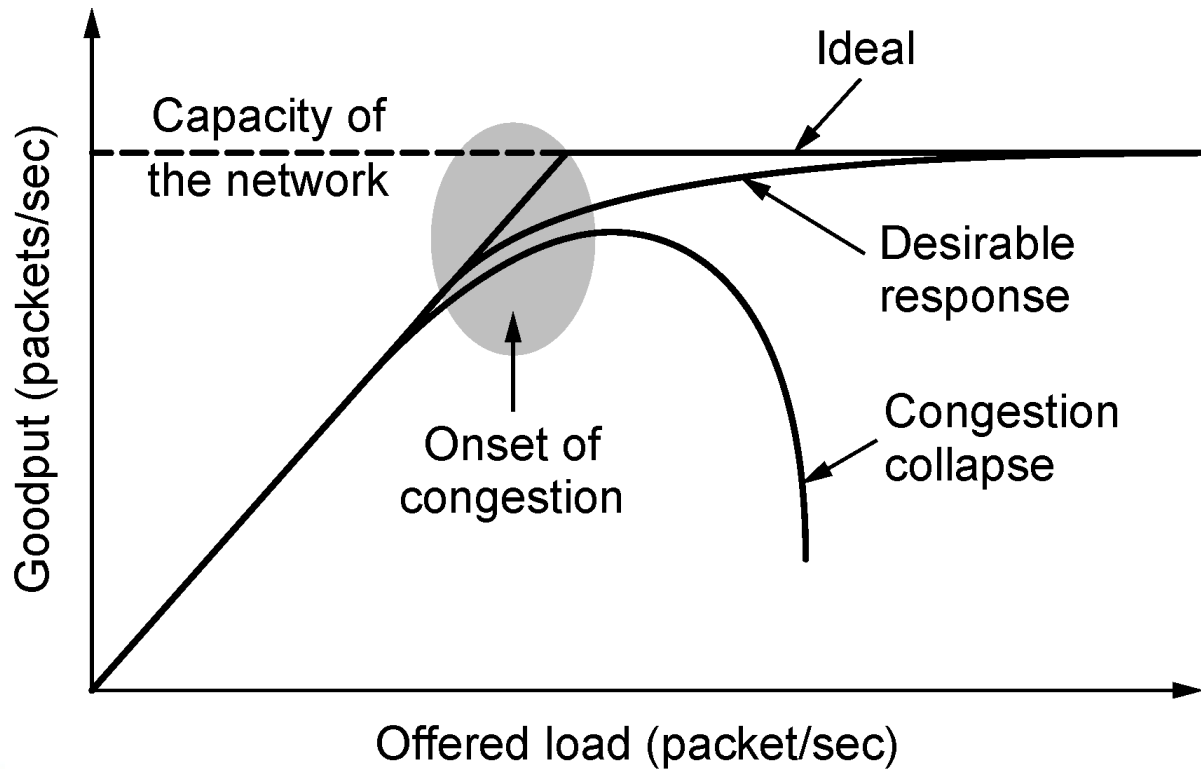
- Throughput na camada de transporte → velocidade de envio de dados de transporte

Throughput confiável (ex: TCP) leva em conta efeito dos ACKs e controles para transmitir os pacotes



Goodput

Taxa de entrega de pacotes úteis



Throughput e Eficiência

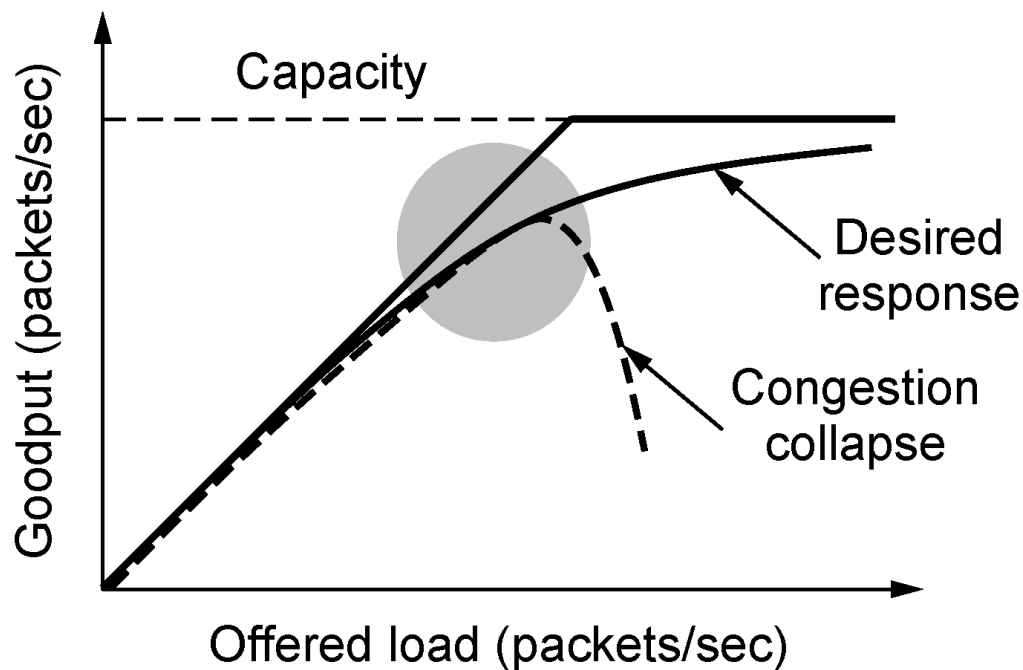
Efeito do atraso do desempenho de uso do meio de transmissão

$$\text{Potência} = \text{Carga} / \text{Atraso}$$

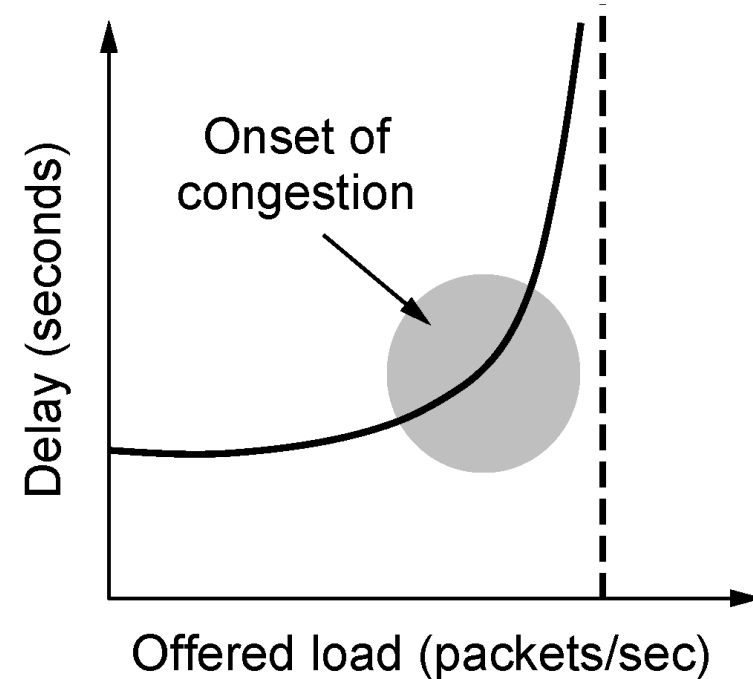
Potência melhora com a carga até o ponto em que os atrasos influenciam a comunicação



Throughput e Eficiência



(a)



(b)

(a) Goodput and (b) delay as a function of offered load.



Latência

Latência L de uma mensagem sobre um enlace

- Tempo entre o envio do primeiro bit no enlace até o recebimento do último bit no receptor do mesmo enlace.
- Medido em unidade de tempo (s, ms, us)

Dois componentes

- Atraso de propagação
- Atraso de transmissão



Latência

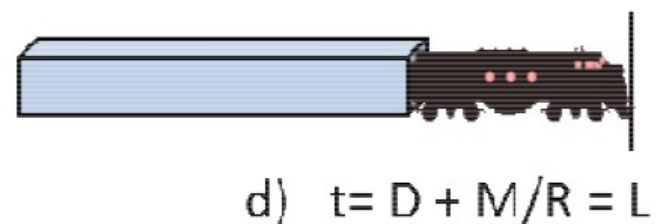
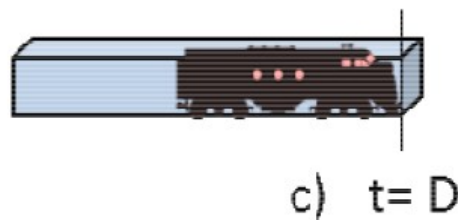
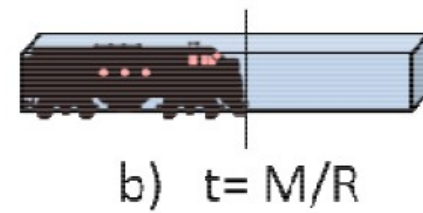
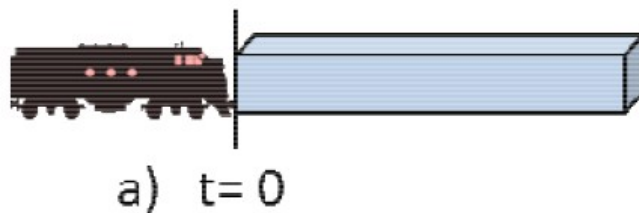
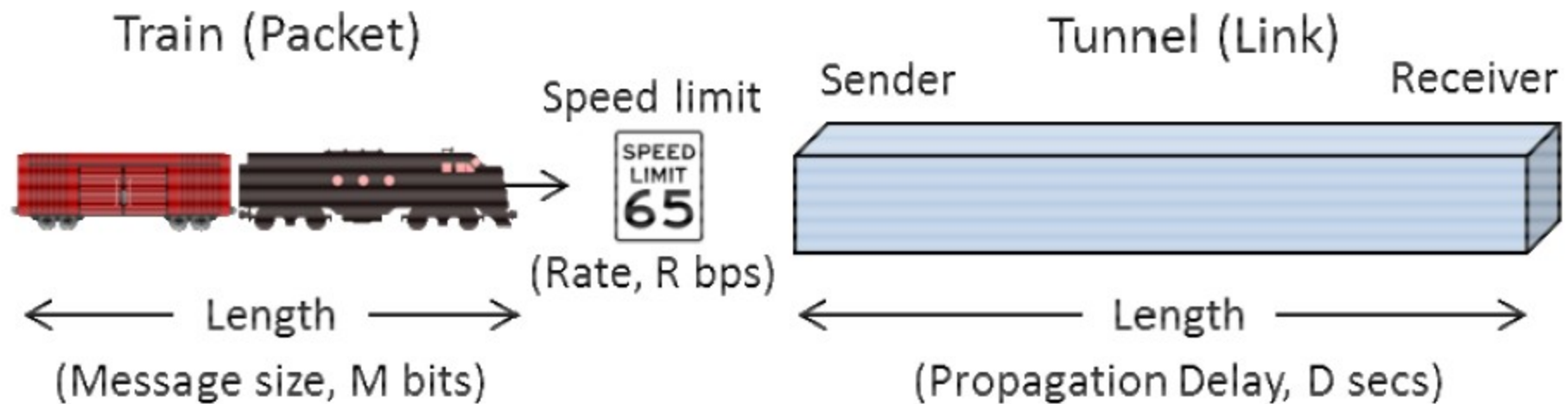
$M \rightarrow$ tamanho da mensagem

$R \rightarrow$ taxa de transmissão no enlace

$D \rightarrow$ atraso de propagação

$$L = M / R + D$$





Latência e Efeito de D

Link $D \gg M/R$

$D = 30\text{ms}$

$R = 10\text{ Mbps}$

$M = 10.000\text{ bits (aprox. de 1.5Kb)}$

$M/R\text{ de }1\text{ ms}$

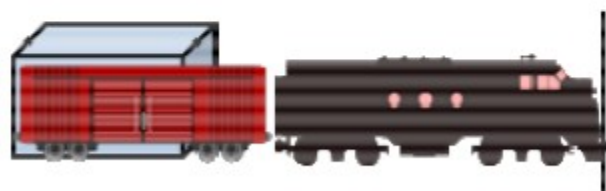




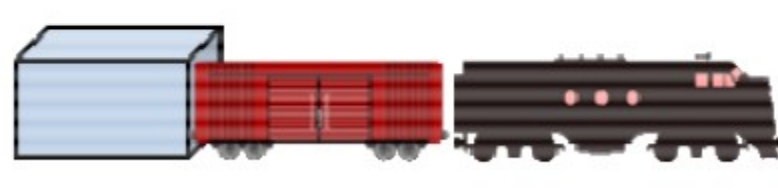
a) $t = 0$



b) $t = D$



c) $t = M/R$



d) $t = D + M/R = L$



Exemplo $D \ll M/R$

Link 802.11 (rede sem fio)

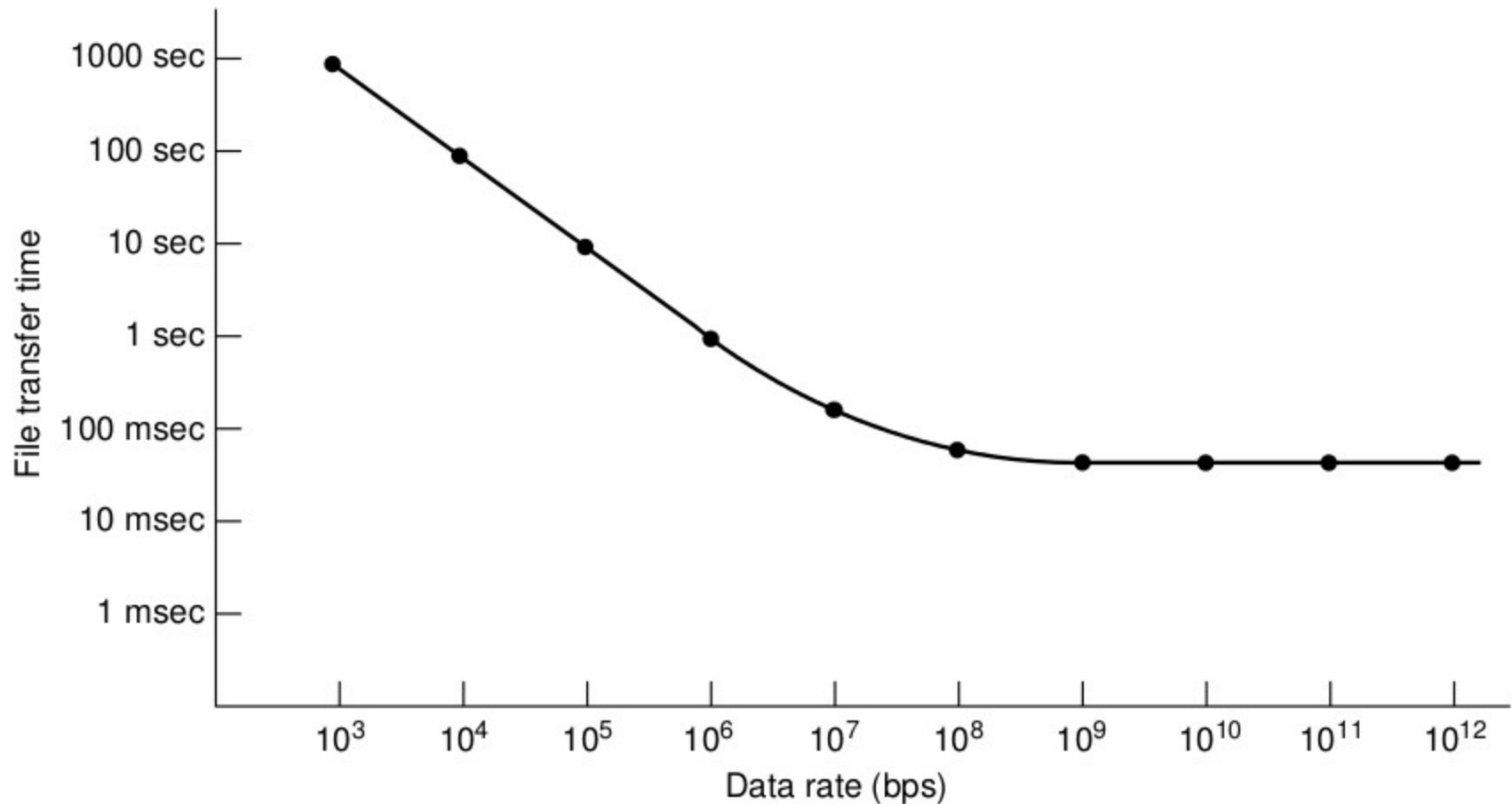
100 Mbps

30 metros \rightarrow prop. 0.1 μ s

$M/R = 0.1$ ms



Efeito em taxa efetiva de transmissão



Múltiplos Links

$$L = M \sum_i 1 / R_i + \sum_i D_i$$



Latência fim-a-fim e RTT

RTT – round-time trip

- Tempo para remetente enviar uma mensagem para um destinatário e receber uma resposta de volta

Soma de duas latências

$$\text{RTT} = 2D + M/R \text{ aprox. } 2D$$

Desconsiderando atrasos em filas

- Qual a relação com os atrasos medidos por um ping?



Vazão-Atraso

Bandwidth-delay (BD): $R * D$

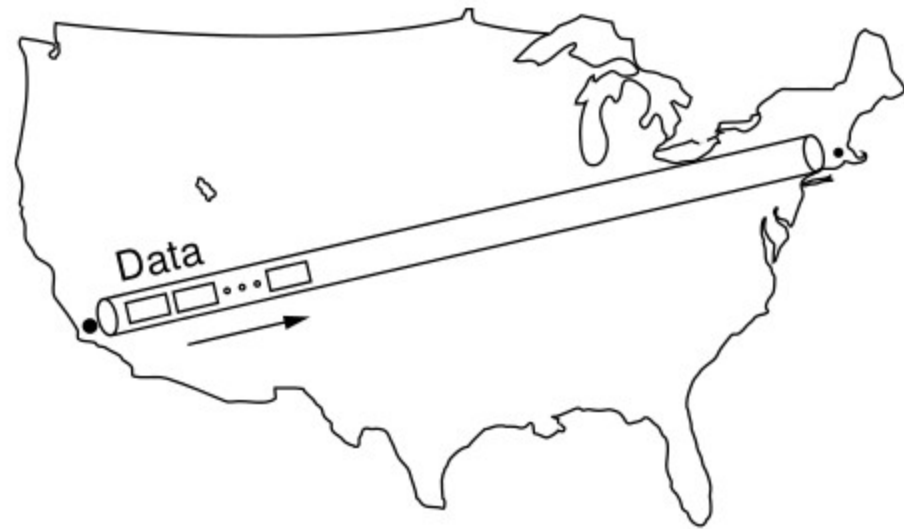
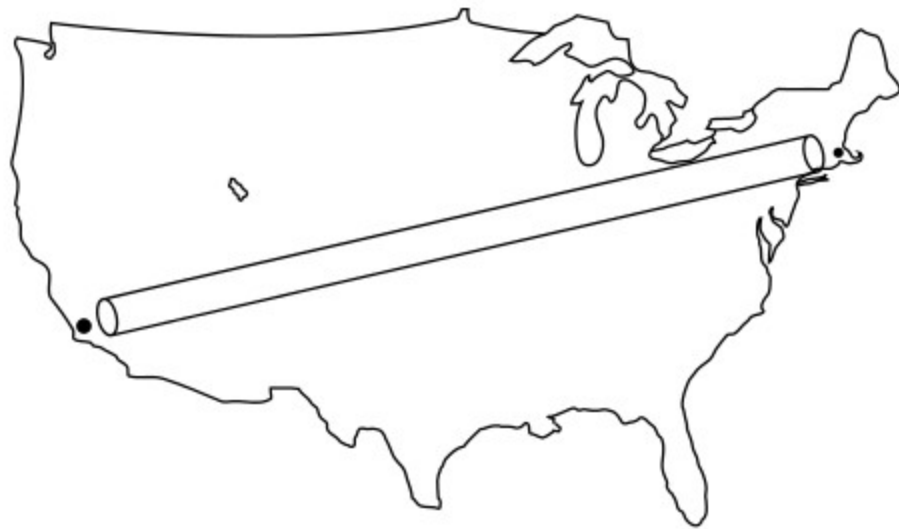
Mede quantidade de dados que estão em trânsito (não foram recebidos pelo destinatário)

$R = 100\text{Mbps}$

$D = 50\text{ms}$

$BD = ?$

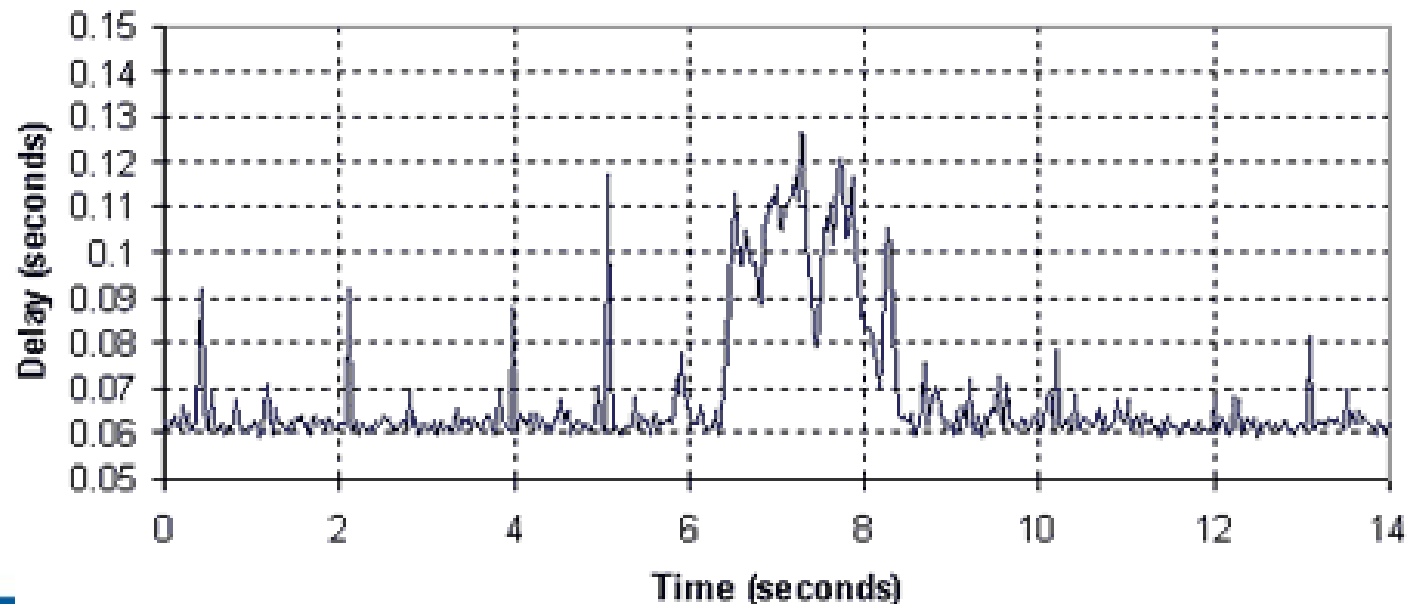




Jitter

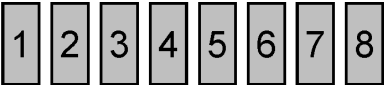
Jitter

- Variação no atraso dos pacotes enviados pela rede

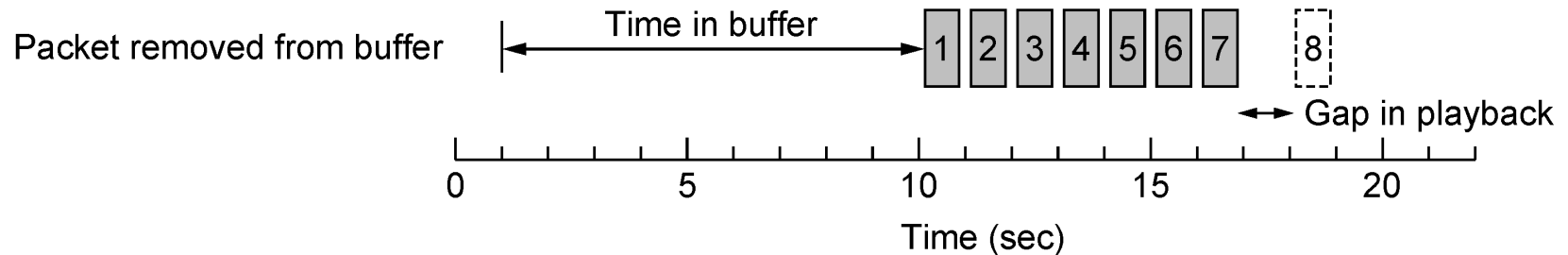



Efeito e Atenuação Jitter

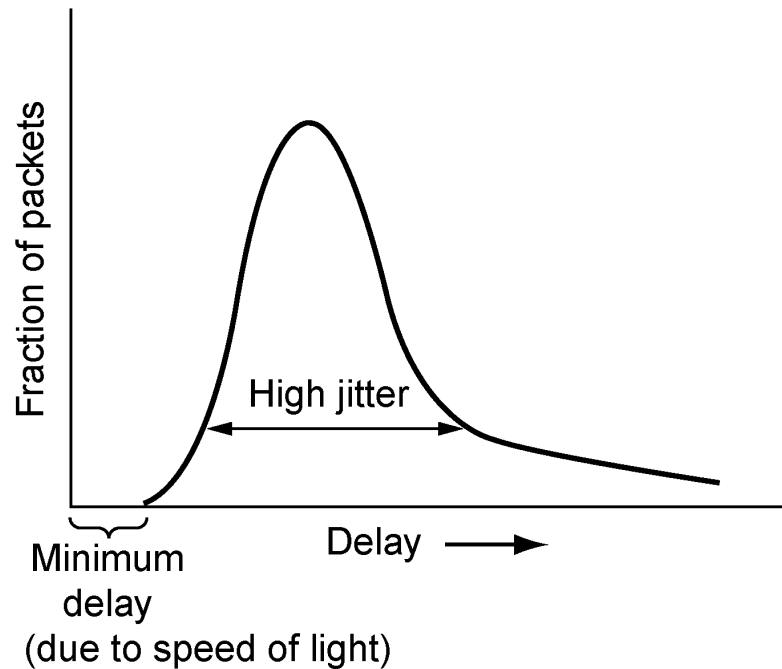
Packet departs source



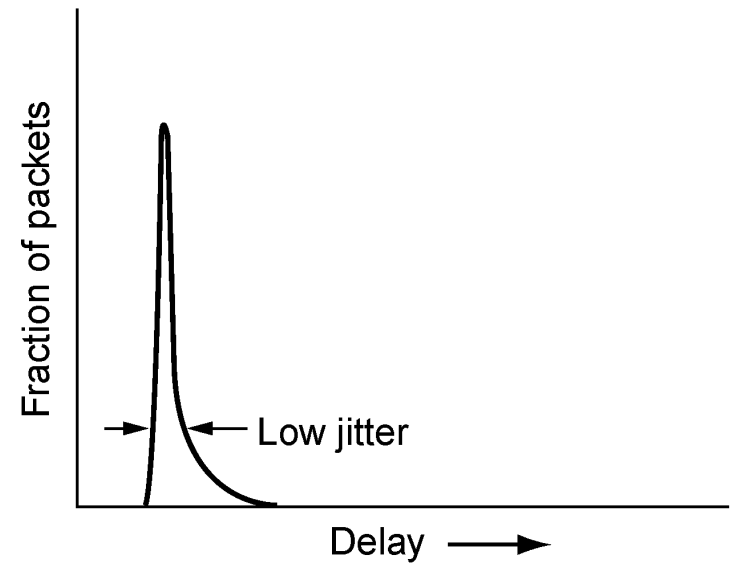
Packet arrives at buffer



Frequência dos Atrasos



(a)



(b)

(a) High jitter. (b) Low jitter.



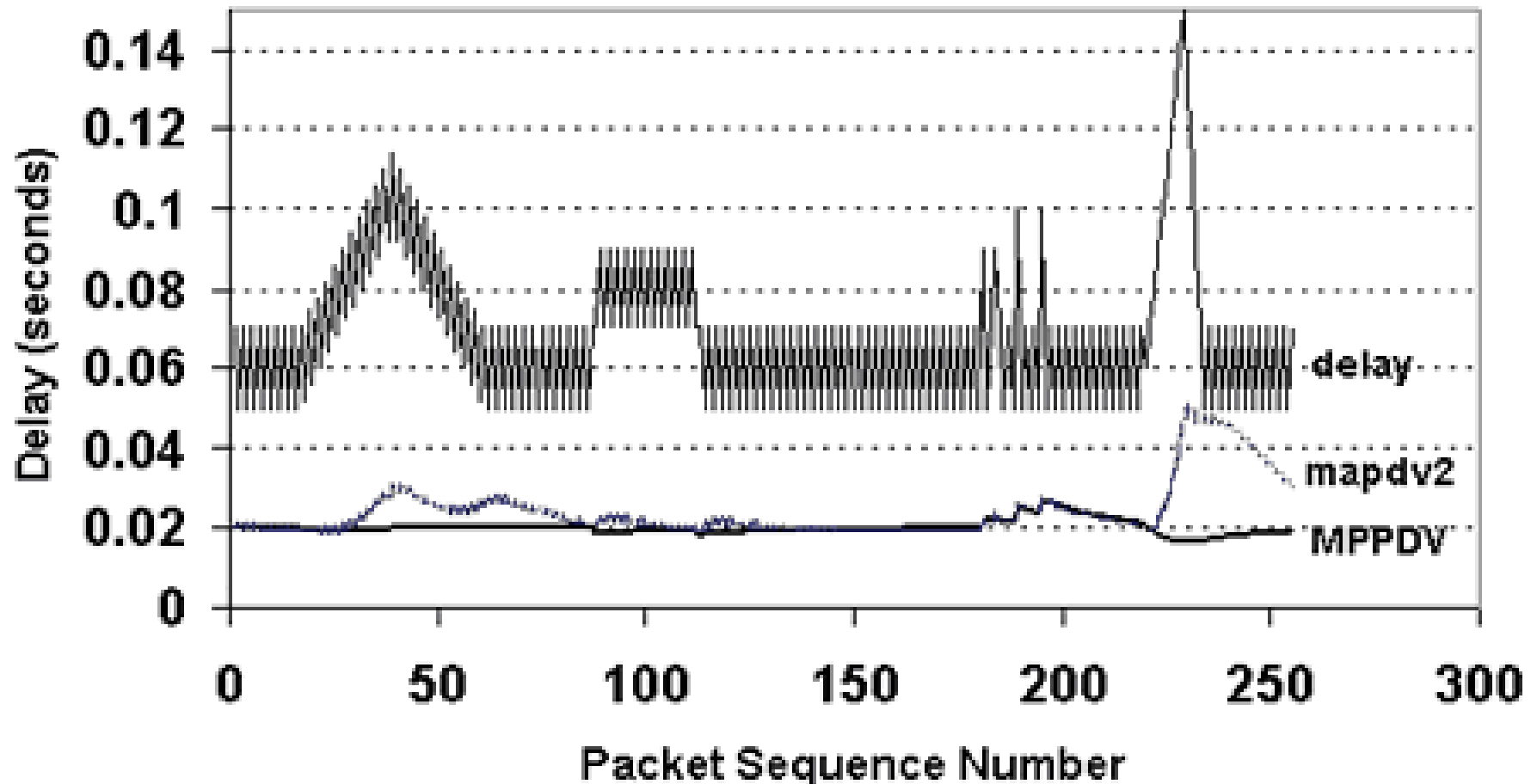
Modelos para Jitter

RTCP (RFC1889)

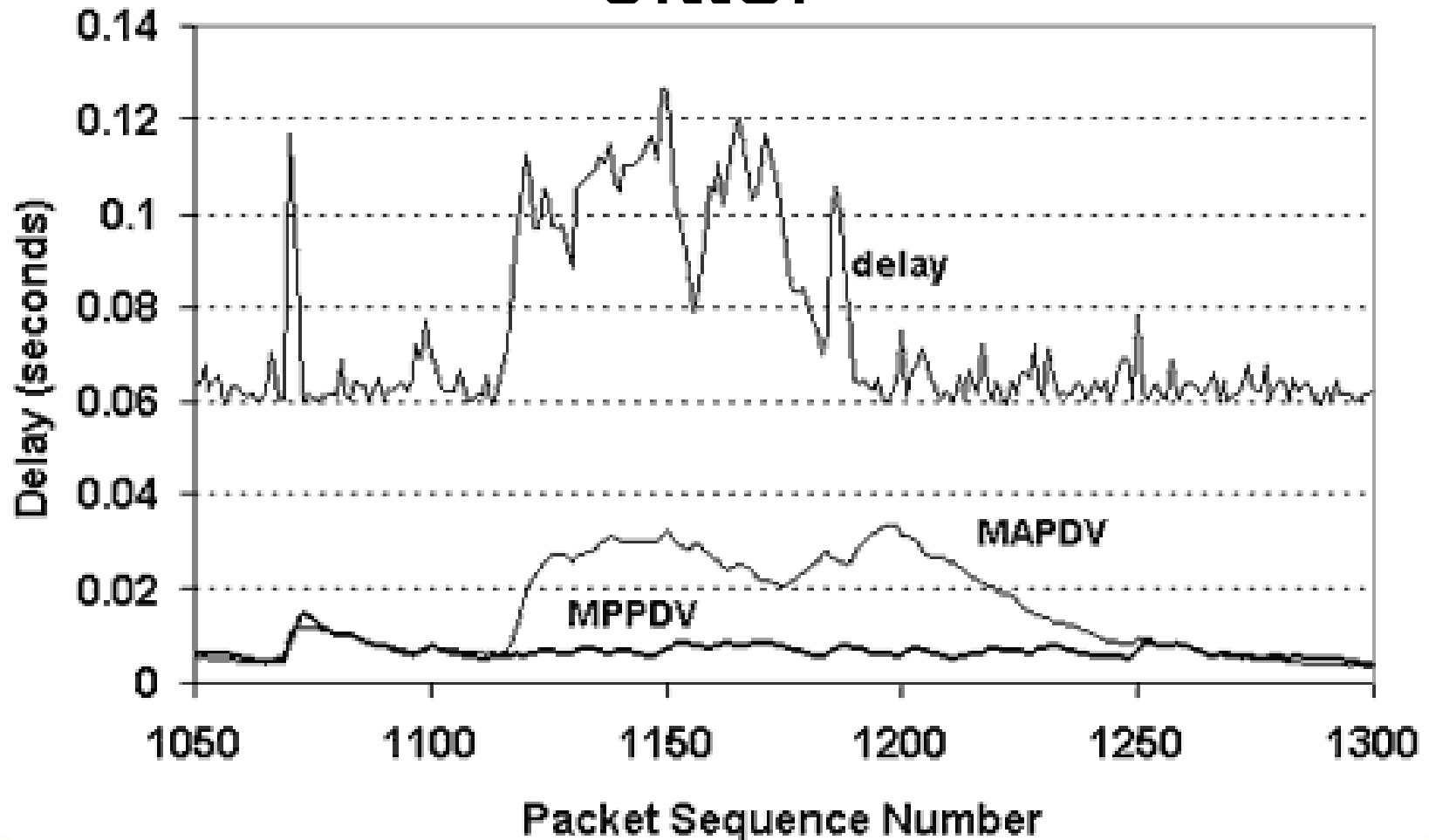
- MPPDV = **média(abs(t_i - t_{i-1}))**
- Estimada **J_i = (15 · J_{i-1} + abs(t_i - t_{i-1})) / 16**
 - média ponderada com peso maior para as últimas
- MAPDV2 = **média(abs(t_i - a_i))**
 - a_i é tempo de chegada de pacote



Comportamento de modelos para jitter



Comportamento de Modelos de Jitter



Escalabilidade

Um sistema é **escalável** se ele permanece *funcionando adequadamente* à medida que novos componentes ou parâmetros (p.ex. usuários) são acrescentados.

Escalabilidade sempre é estabelecida

- Em função de um componente ou parâmetro particular
- Dentro de um limite considerado aceitável para um cenário.

Em geral, é usado como critério de comparação entre sistemas, ao invés de valor absoluto.



Escalabilidade

Parâmetro comum em sistemas distribuídos
(camada de aplicação)

Aplicabilidade em outras camadas

- Transporte: conexões suportadas no servidor (extra protocolo)
- Rede: tamanho da rede (efeito no gerenciamento de rotas)
- Enlace: número de conexões de enlace



Modelagem do Comportamento do TCP

Vazão (throughput) no TCP é relação entre

- janela **w**
- **RTT** → tempo de ida e volta

Taxa de transmissão **w/RTT** para w

Acréscimos em **w** de 1 **MSS** até ocorrência de perda

- Entre **$W/2 * RTT$** e **W/RTT**



Vazão no TCP

Vazão é reduzida à metade e incrementada de **MSS/RTT** a cada **RTT** até **W/RTT**

Como o aumento é linear

$$\text{Vazão média de conexão} = \frac{0,75 * W}{RTT}$$

Modelo é bastante idealizado (*deconsidera variações no meio e concorrência entre conexões*)



Perdas e Efeito no Throughput do TCP

Ocorrência de perda interferem no throughput do TCP

Algoritmos de congestionamento devem ser adequados (e evoluir) com a natureza do tráfego

Exemplo: transmitir TCP a 10Gbps

- Segmentos de 1500 btes
- RTT de 100 ms



Perdas e Efeito no Throughput do TCP

Considerando janela definida no RFC3649 de fórmula de vazão média

- Janela de congestionamento com 83.333 segmentos!

Qual fatia dos segmentos poderia ser perdida sem impactar taxa 10 Gbps?

$$\text{Vazão média de conexão} = \frac{1,22 * MSS}{RTT \sqrt{L}}$$



Perdas e Efeito no Throughput do TCP

Usando a fórmula

- Probabilidade de perda de segmentos de 2×10^{-10} (ou 1 a cada 5 bilhões)

Necessidade de projetar novos algoritmos de congestionamento para redes com tal comportamento

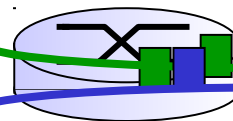


Efeito da Concorrência entre Conexões

Throughput continua sendo controlado pela janela e RTT

Concorrência causa diminuição da janela

TCP connection 1



bottleneck
router
capacity R

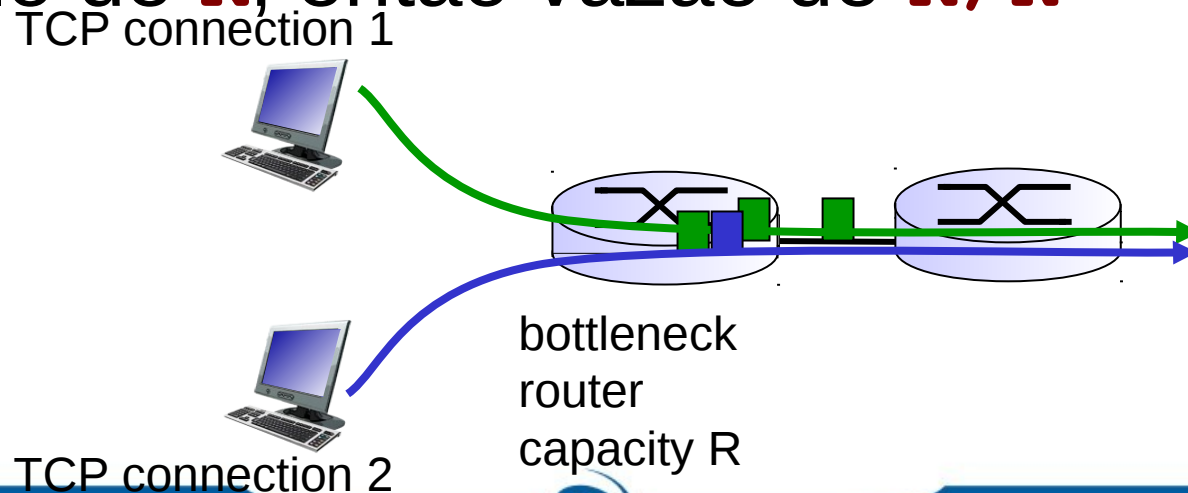
TCP connection 2



Efeito da Concorrência entre Conexões

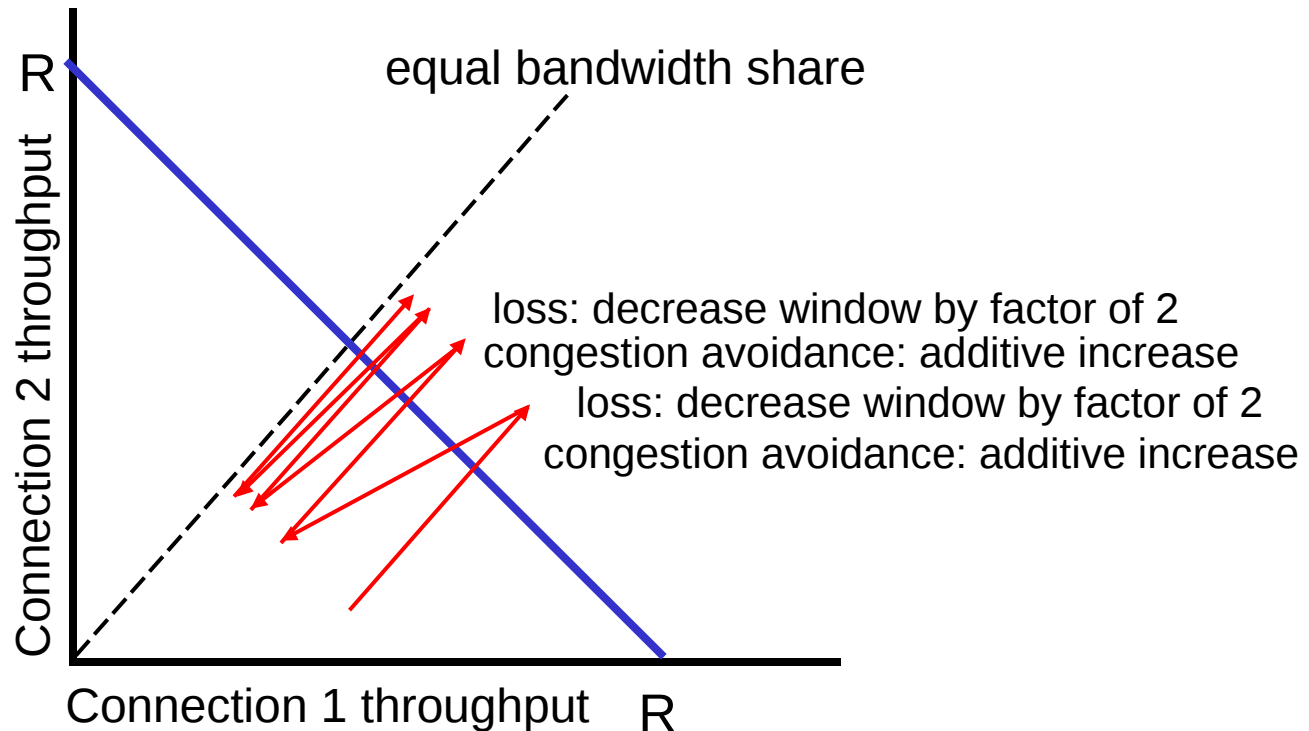
Justiça → garantir que todas as **K** conexões tem prioridade igual de acesso à rede (mesma parcela de vazão)

Gargalo de **R**, então vazão de **R/K**



Justiça entre Conexões

Como a justiça é atingida



Justiça em TCP e UDP

UDP

- aplicações multimídia não usam TCP
 - não desejam que controle de congestionamento controle taxa de transmissão

usam UDP

- video/audio enviado em taxa constante
- toleram perda de pacotes

Conexões TCP paralelas

- aplicações podem abrir múltiplas conexões paralelas entre dois hosts
- Usado pelos browsers

Exemplo: enlace com taxa R e 9 conexões existentes

- aplicação pede 1 TCP e recebe taxa $R/10$
- aplicação pede por 11 TCPs e recebe $R/2$

