

1. Suponha que os nós **A** e **B** estejam no mesmo segmento de uma Ethernet de 10 Mbps e que o atraso de propagação entre os dois nós seja de 245 tempos de bit. Imagine que **A** e **B** enviem quadros ao mesmo tempo, que estes colidam e que, então, **A** e **B** escolham valores diferentes de K no algoritmo CSMA/CD. Suponha que **A** e **B** comecem a transmitir em $t = 0$ tempos de bit. Ambos detectam colisões em $t = 245$ tempos de bit. Suponha que $K_A = 0$ e $K_B = 1$. Considere que o sinal para anunciar que ocorreu uma colisão possui comprimento 48 bits, e o sinal para anunciar o reinício da transmissão possui comprimento de 96 bits. Em que tempo **B** programa a sua retransmissão? Em que tempo **A** começa a transmissão? Em que tempo o sinal de **A** chega a **B**? **B** se abstém de transmitir em seu tempo programado?

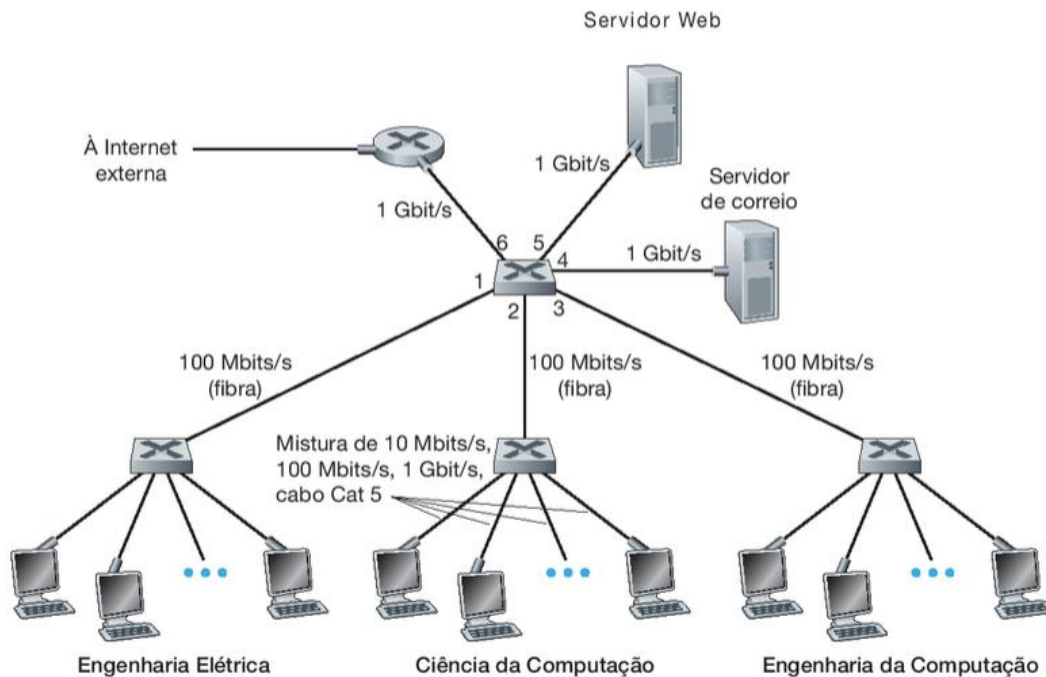
Tempos de bit	Evento
0	A e B inicia a transmissão.
245	A e B detecta colisão e abortam a transmissão.
$245 + 48 = 293$	A e B enviam sinal anunciando a ocorrência de congestionamento.
$293 + 245 = 538$	Último bit da transmissão anterior de B chega a A , e de A chega em B . A detecta canal ocioso.
$538 + 96 = 634$	A aguarda mais 96 tempos de bit antes de reiniciar a transmissão.
$293 + 512 = 805$	B aguarda canal ocioso. Ele irá aguardar ainda 96 bits antes de reiniciar a transmissão como rege o protocolo
$634 + 245 = 879$	O sinal da transmissão de A chega a B

Observação: A transmissão de **A** chega a **B** antes que **B** reinicie a retransmissão ($805 + 96 = 901$). Assim, **B** retarda o início da sua transmissão, aguardando ociosidade do canal. Não haverá nova colisão de **A** e **B**. O fator 512 usado no algoritmo de recuo exponencial é suficiente para o tempo de propagação entre os nós **A** e **B**.

2. Em uma Ethernet de 10Mbps são transmitidos quadros de comprimento fixo de 1500 bytes. Considerando o tempo de propagação entre dois adaptadores igual ao tempo de 250 bits, calcular a eficiência da Ethernet sob o protocolo CSMA/CD.

$$\eta = \frac{1}{1 + 5 \cdot \frac{t_{prop}}{t_{tx}}} \therefore \eta = 0,91$$

3. Considerando a figura abaixo, e admitindo que todos os enlaces têm 100 Mbps.
- a. Qual é a vazão total máxima agregada que pode ser atingida entre os 9 hospedeiros e 2 servidores nessa rede? Você pode supor que qualquer hospedeiro ou servidor pode enviar a qualquer outro servidor ou hospedeiro? Por quê?



Se todos os 11 = 9 + 2 nós transmitem dados na maior taxa possível (100 Mbps), a máxima vazão agregada possível é de $11 \cdot 100 = 1100$ Mbps.

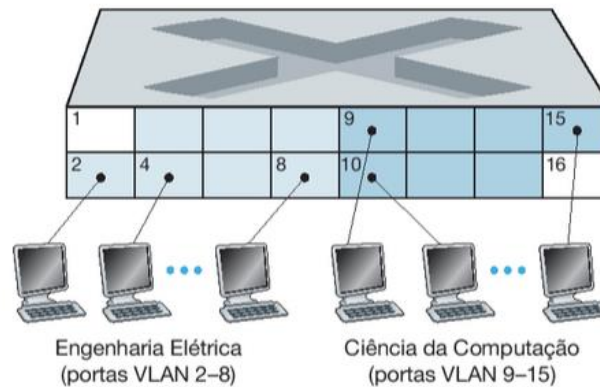
- b. Suponha que os três comutadores departamentais sejam substituídos por hubs. Todos os enlaces têm 100Mbps. Qual é a vazão total máxima agregada que pode ser atingida?

Cada departamento possui um domínio de colisão e tem a vazão máxima de 100 Mbps. Os enlaces que conectam o servidor web e o servidor de caixa postal possuem uma vazão máxima de 100 Mbps. Assim, somando os três domínios de colisão, o servidor web e o servidor de caixa postal, a máxima vazão agregada será de 500 Mbps.

4. Seja uma rede de 6 nós, rotulados de A até F, conectados em estrela a um comutador Ethernet. Suponha que (1) B envia um quadro a E, (2) E responde com um quadro a B, (3) A envia um quadro a B, (4) B responde com um quadro a A. A tabela do comutador está inicialmente vazia. Mostre o estado da tabela do comutador antes e depois de cada evento. Para cada um dos eventos, identifique os enlaces em que o quadro transmitido será encaminhado e justifique suas respostas.

Ação	Estado da tabela do comutador	Enlace encaminhado	Justificativa
B envia o quadro a E	Comutador aprende a interface correspondente a B	A, C, D, E e F	A tabela do comutador não conhece ainda a interface que E está conectado.
E responde com um quadro a B	Comutador aprende a interface correspondente a E	B	O comutador já conhece a interface correspondente a B.
A envia o quadro a B	Comutador aprende a interface correspondente a A	B	O comutador já conhece a interface correspondente a B
B responde com um quadro a A	Estado mantido	A	O comutador já conhece a interface correspondente a A

5. Considere um único comutador VLAN como mostrado abaixo. Suponha que um roteador externo está conectado à porta 1 do comutador. Atribua endereços IP aos hospedeiros EE e CS e à interface do roteador.



Os endereços IP dos três computadores encontrados no departamento EE poderão ser:

192.168.0.1, 192.168.0.2, 192.168.0.3, 192.168.0.4, sub-rede 192.168.0.0/24

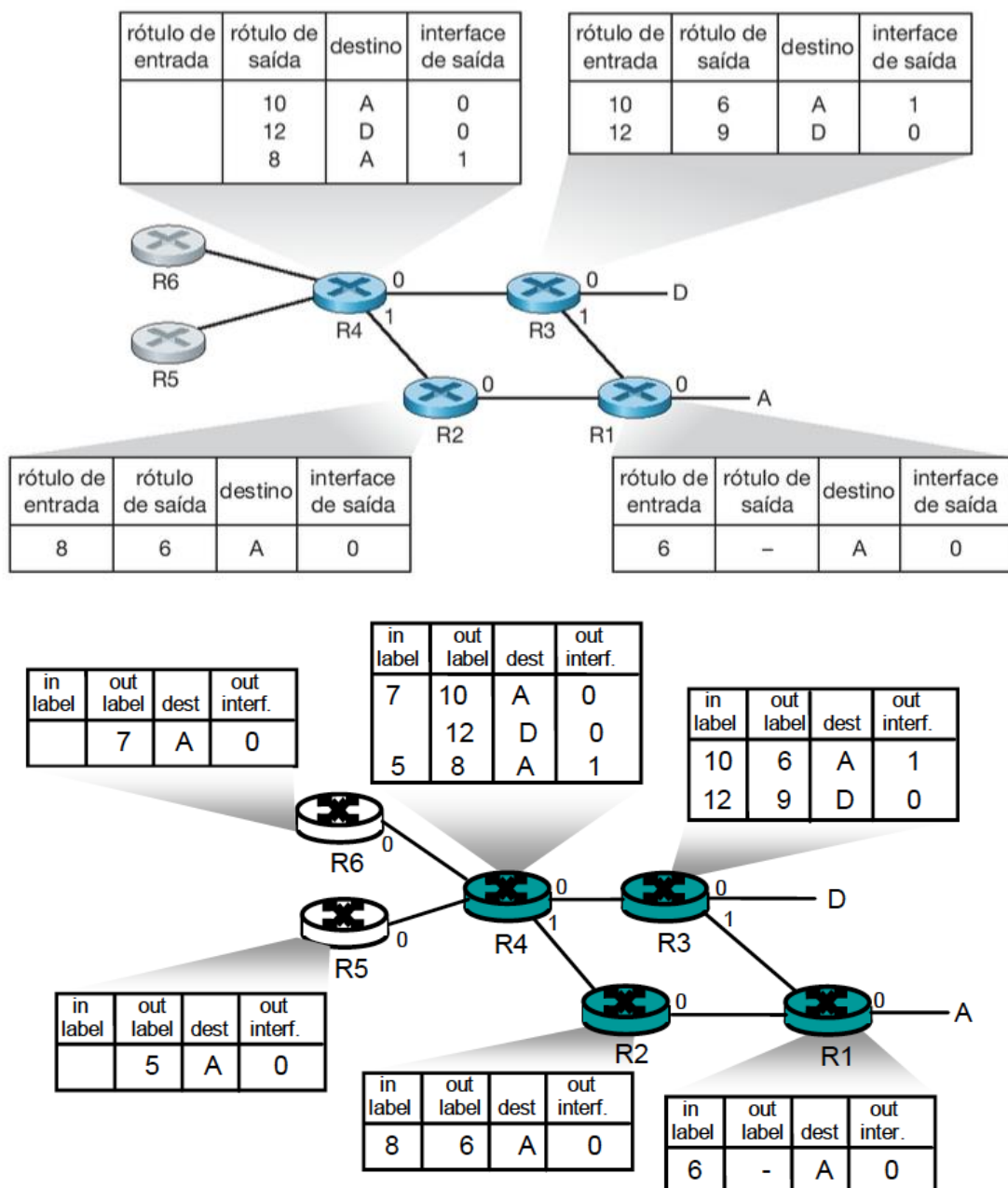
Os endereços IP dos três computadores encontrados no departamento CS poderão ser:

192.168.1.1, 192.168.1.2, 192.168.1.3, 192.168.1.4, sub-rede 192.168.1.0/24

A interface do roteador na porta é configurada para as duas sub-redes (192.168.0.0/24 e 192.168.1.0/24). Cada sub-rede é associada a um identificador da VLAN (VLAN ID) assim: 192.168.0.0/24 está associado a VLAN 11 e 192.168.1.0/24 está associado a VLAN 12. O que significa que todo o tráfego para 192.168.0.0/24 será rotulado com a

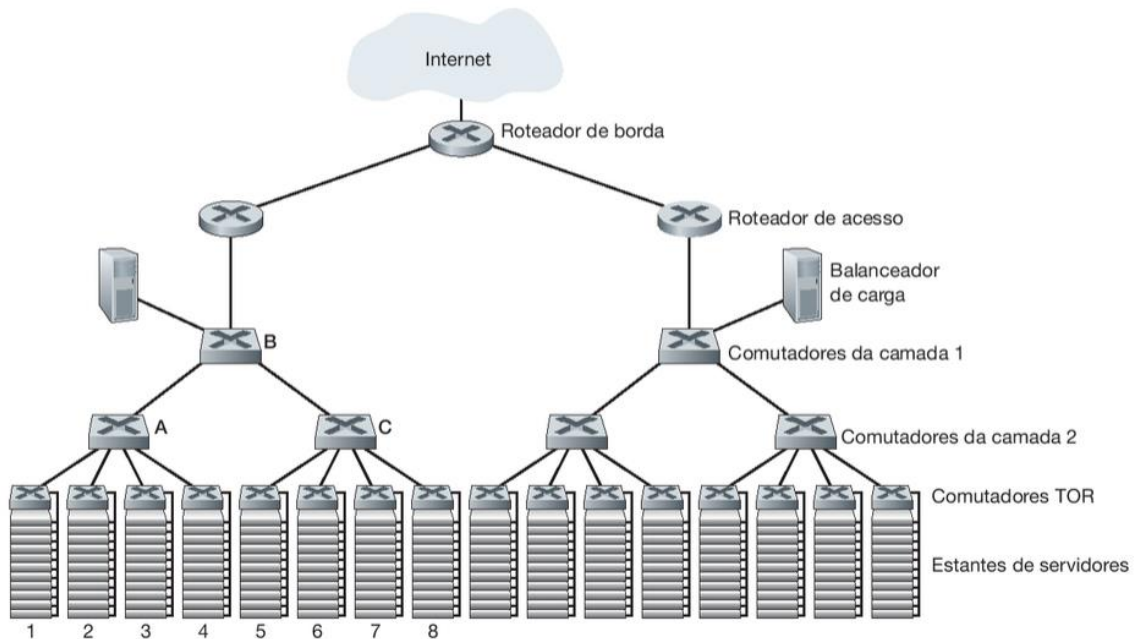
VLAN 11 conforme IEEE 802.1q, e todo o tráfego para 192.168.1.0/24 será rotulado com a VLAN 12.

6. Considere a rede MPLS mostrada abaixo e suponha que os roteadores R5 e R6 agora são habilitados para MPLS. Imagine que queremos executar engenharia de tráfego de modo que pacotes de R6 destinados a A sejam comutados para A via R6-R4-R3-R1, e pacotes de R5 destinados a A sejam comutados via R5-R4-R2-R1. Mostre as tabelas MPLS em R5 e R6, bem como a tabela modificada em R4, que tornariam isso possível.



7. Considere a rede do datacenter com topologia hierárquica da figura abaixo. Suponha agora que haja 80 pares de fluxos entre a primeira e a nona estante, e assim por diante. Suponha ainda que todos os enlaces na rede seja de 10 Gbps, exceto os enlaces entre os hospedeiros e os comutadores TOR, que são de 1 Gbps.

- a. Cada fluxo tem a mesma taxa de dados. Determine a velocidade máxima de um fluxo.



O problema pode ser subdividido em partes.

- (i) Taxa máxima considerando os fluxos entre os comutadores TOR e comutadores da camada 2:

$$\frac{10}{80} \text{ Gbps} = 125 \text{ Mbps}$$

- (ii) Considerando os fluxos entre os comutadores da camada 2 e camada 1:

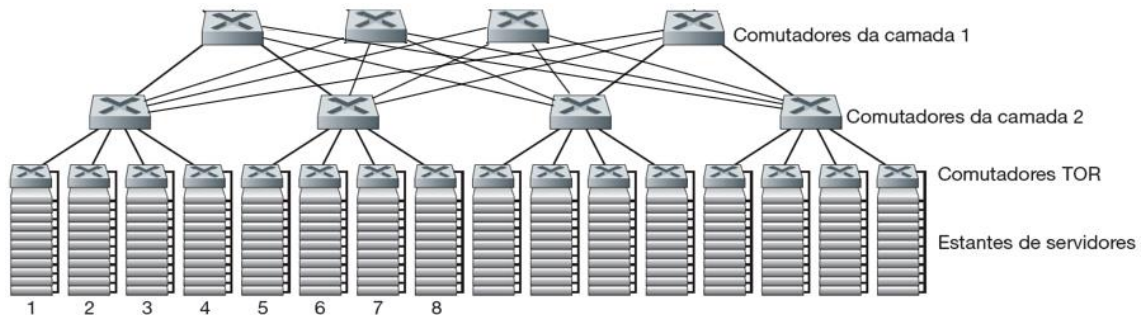
$$\frac{10}{4 \cdot 80} = 31,25 \text{ Mbps}$$

- (iii) Considerando os fluxos entre os comutadores da camada 1 e roteadores de acesso e roteador de borda:

$$\frac{10}{2 \cdot 4 \cdot 80} = 15,62 \text{ Mbps}$$

Resp.: A taxa máxima será delimitada pelo mínimo dos trechos (i) a (iii), ou seja: 15,62Mbps

- b. Para o mesmo padrão de tráfego, determine a taxa máxima de um fluxo para a topologia altamente interconectada da figura abaixo.



Repetindo a análise do item (a):

- (i) Taxa máxima considerando os fluxos entre os comutadores TOR e comutadores da camada 2:

$$\frac{10}{80} \text{ Gbps} = 125 \text{ Mbps}$$

- (ii) A topologia altamente conectada oferece 4 caminhos distintos entre os comutadores da camada 2 e camada 1, totalizando uma capacidade agregada de $4 \cdot 10 \text{ Gbps} = 40 \text{ Gbps}$. Assim, considerando os fluxos entre os comutadores da camada 2 e camada 1, agora em uma topologia altamente conectada, temos

$$\frac{10 \cdot 4}{4 \cdot 80} = 125 \text{ Mbps}$$

Resp.: o tráfego não precisa ser encaminhado para os roteadores de acesso e roteador de borda, assim, a taxa máxima é de 125Mbps por fluxo. Ou seja, quadruplicou a capacidade de tráfego entre os racks comparando com o item (a).

- c. Agora, suponha que haja um padrão de tráfego semelhante, mas envolvendo 20 fluxos em cada hospedeiro e 160 pares de fluxos. Determine as taxas de fluxo máximas para as duas topologias.

Repetindo a análise do item (a), mas agora considerando o trecho entre os hospedeiros e o comutador TOR.

- (i) Taxa máxima considerando os fluxos entre os hospedeiros e o comutador TOR, lembrando que 20 fluxos por hospedeiro divide um enlace de 1 Gbps.

$$\frac{1}{20} \text{ Gbps} = 50 \text{ Mbps}$$

Considerando a topologia do item (a).

- (ii) Taxa máxima entre o comutador TOR e os comutadores da camada 2:

$$\frac{10}{160} \text{ Gbps} = 62,5 \text{ Mbps}$$

- (iii) Taxa máxima entre os comutadores da camada 2 e os da camada 1:

$$\frac{10}{160 \cdot 4} = 15,6 \text{ Mbps}$$

- (iv) Taxa máxima entre os comutadores da camada 1 e os roteadores de acesso

$$\frac{10}{2 \cdot 160 \cdot 4} = 7,81 \text{ Mbps}$$

Resp.: a taxa máxima é de 7,81 Mbps

Considerando a topologia do item (b).

- ii. Taxa máxima entre os comutadores TOR e os comutadores da camada 2:

$$\frac{10}{160} \text{ Gbps} = 62,5 \text{ Mbps}$$

- iii. Taxa máxima entre os comutadores da camada 2 e os da camada 1:

$$\frac{10 \cdot 4}{160 \cdot 4} = 62,5 \text{ Mbps}$$

Resp.: a taxa máxima é de 50 Mbps. A taxa é limitada pelo trecho entre o hospedeiro e o comutador TOR.

8. Considere o envio direto de uma fonte de voz codificada digitalmente. Suponha que a fonte esteja codificada a uma taxa constante de 128kbps. Considere que cada pacote esteja integralmente cheio antes de a fonte enviá-lo para a rede. O tempo exigido para encher um pacote é o atraso de empacotamento.

- a. Determine, em termos de L, o atraso de empacotamento em milissegundos.

$$t = \frac{L \cdot 8}{128 \cdot 10^3} \text{ ms}$$

- b. Os atrasos de empacotamento maiores do que 20 ms podem causar ecos perceptíveis e desagradáveis. Determine o atraso de empacotamento para L = 1500 bytes.

$$t = \frac{1500 \cdot 8}{128 \cdot 10^3}$$

$$t = 93,75 \text{ ms}$$

- c. Calcule o atraso de armazenagem e repasse em um único comutador para uma taxa de enlace R = 622Mbps para L = 1500 bytes.

$$t = \frac{L \cdot 8}{R} = \frac{1500 \cdot 8}{622 \cdot 10^6} = 19,4 \mu\text{s}$$

Conclusão 1: o atraso de armazenamento e repasse é pequeno em comparação com o atraso de empacotamento.

Conclusão 2: trabalhar com tamanho de pacotes de 1500 bytes ou maior para aplicações de voz em tempo real (VOIP) não é recomendado.