



CAPÍTULO 6

Subcamada de Acesso ao Meio
Protocolos de Acesso Múltiplo

REDES DE COMPUTADORES 1

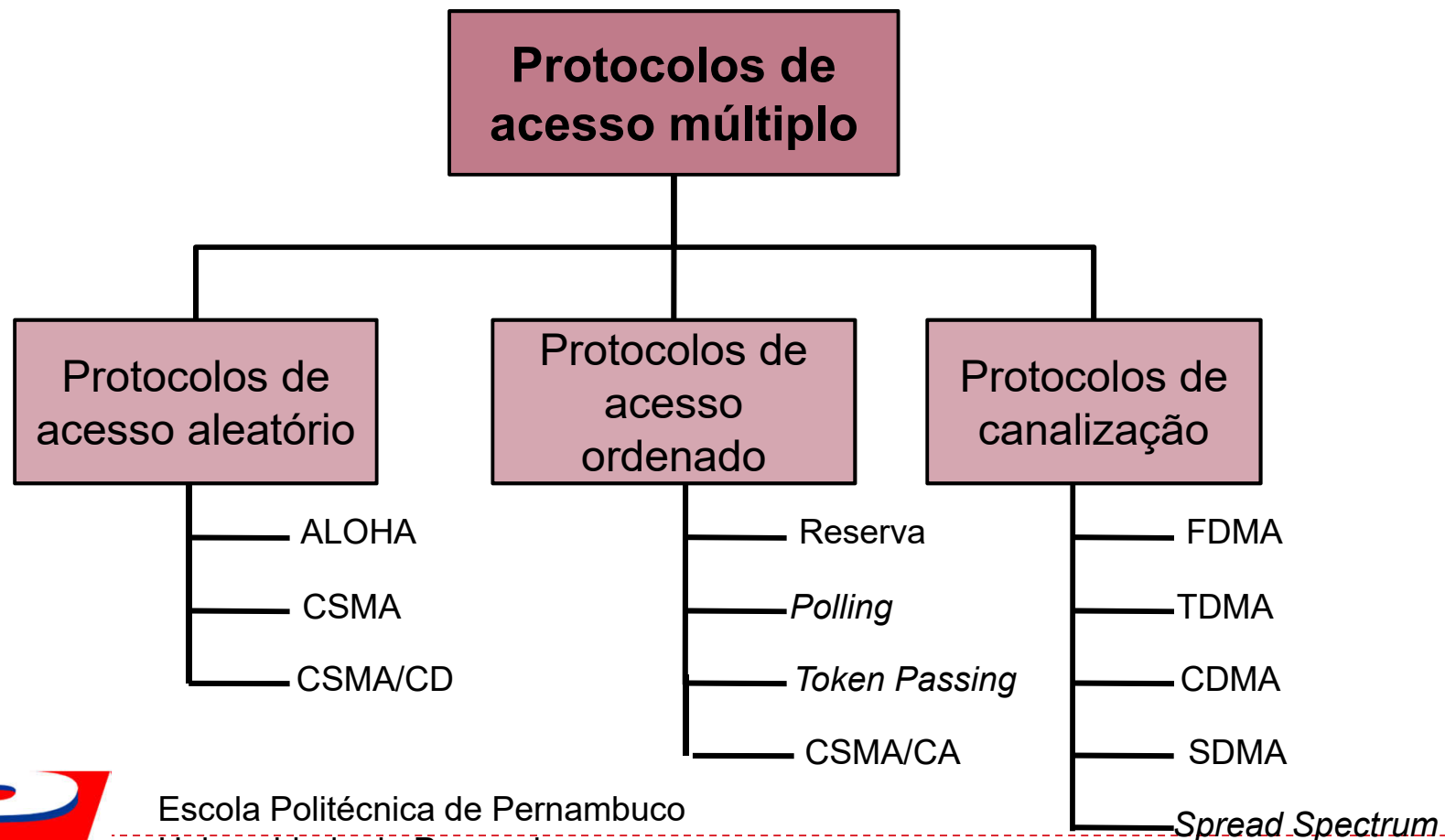
Engenharia de Telecomunicações

6. A SUBCAMADA DE ACESSO AO MEIO

- ▶ As redes podem ser divididas em duas categorias:
 - ▶ as que usam conexões ponto a ponto (geralmente WAN)
 - ▶ as que utilizam canais de difusão (normalmente LAN)
- ▶ Na literatura, os canais de difusão as vezes são referidos como canais de multiacesso ou canais de acesso aleatório.
- ▶ Em qualquer rede de difusão, usuários podem tentar acessar o meio simultaneamente e por isso se faz necessário um mecanismo de controle.
- ▶ A subcamada de acesso ao meio, MAC (Media Access Control), especialmente importante em LANs que, em sua maioria, utilizam um canal de multiacesso como base de sua comunicação.

6. A SUBCAMADA DE ACESSO AO MEIO

- ▶ A principal função dessa Subcamada da camada de Enlace é definir como alocar um único canal de difusão entre usuários concorrentes.
- ▶ Há três tipos básicos de protocolos.



6. A SUBCAMADA DE ACESSO AO MEIO

- ▶ Há três tipos básicos de protocolos de Acesso Múltiplo:
 - ▶ Canalização ou alocação estática. São usadas técnicas de multiplexação para compartilhar os recursos da rede sem que haja conflitos, maximizando a utilização de todos os recursos.
 - ▶ Acesso aleatório. Qualquer estação pode enviar um frame quando quiser iniciar uma transmissão.
 - ▶ Acesso ordenado. As estações consultam-se mutuamente para determinar qual delas irá transmitir.

6.1 Protocolos de Acesso por Canalização

- ▶ As técnicas de acesso múltiplo permitem o compartilhamento de recursos entre os usuários de um sistema.
- ▶ Contudo, isso deve ser feito sem que haja degradação no desempenho do sistema.
- ▶ Podem ser mencionadas 5 técnicas de acesso múltiplo: por divisão de **Tempo**, de **Frequência**, de **Código**, de **Espaço**, e **Espalhamento Espectral**.

6.1 Protocolos de Acesso por Canalização

- ▶ TDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo).
 - ▶ O tempo é dividido em pequenos intervalos, chamados de slots. Em cada slot, um único usuário lança mão do canal; todos os outros se mantêm em silêncio.
 - ▶ O TDMA compartilha uma única frequência de portadora com vários usuários por tempos não sobrepostos.
 - ▶ Esse sistema transmite dados no método buffer-and-burst (guardar-e-enviar), de modo que a transmissão é não contínua mas em rajadas.
 - ▶ O tempo de guarda deve ser minimizado.

6.1 Protocolos de Acesso por Canalização

- ▶ FDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência).
 - ▶ O FDMA atribui canais individuais a usuários individuais. É a implementação da técnica FDM.
 - ▶ Durante o período de chamada nenhum outro usuário pode compartilhar o mesmo canal.
 - ▶ Todos os canais porém compartilham a mesma antena e o mesmo sistema de RF, o que leva a uma não linearidade no comportamento dos dispositivos.
 - ▶ Isso pode gerar uma intermodulação, isto é, harmônicos das portadoras podem interferir nos canais adjacentes.

6.1 Protocolos de Acesso por Canalização

- ▶ CDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Código).
 - ▶ O sinal da mensagem de banda estreita é multiplicado por um sinal de banda larga muito grande, chamado de sinal de espalhamento.
 - ▶ O sinal de espalhamento é um sinal pseudo-aleatório que é ortogonal aos demais sinais possíveis.
 - ▶ Todos os usuários usam a mesma frequência da portadora e podem transmitir simultaneamente, mas como cada usuário tem seu sinal pseudo-aleatório, apenas ele pode decodificar e recuperar o sinal da mensagem.
 - ▶ A decodificação é feita por filtros de correlação temporal para detectar apenas a palavra código desejada. Uma forma de implementar essa operação é usando a transformada de Fourier..

6.1 Protocolos de Acesso por Canalização

- ▶ CDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Código).
 - ▶ A capacidade do CDMA não é determinística, uma vez que o principal fator limitante é o patamar de potência. O CDMA pode ser de dois tipos:
 - **FH-CDMA (frequency hopping CDMA):** Usa características do TDMA e do FDMA. De fato, a cada slot a transmissão de um determinado usuário se dá por um canal diferente. A mudança entre as frequências (frequency hopping) de transmissão segue um código pré-estabelecido entre transmissor e o receptor.
 - **DS-CDMA (direct sequence CDMA):** Cada usuário do sistema possui um código privado e único. Conhecem-no apenas o terminal e a central. Os sinais enviados por a um usuário são multiplicados por seu código, que tem uma taxa bem superior à dos sinais originais.

6.1 Protocolos de Acesso por Canalização

- ▶ SDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Espaço).
 - ▶ Esse sistema controla a energia radiada por cada usuário no espaço. Ela localiza as coordenadas geográficas dos terminais, alocando dinamicamente as faixas de frequência disponíveis para os locais onde têm terminais.
 - ▶ O sistema então segmenta a área de cobertura com base na potências admitidas.
 - ▶ A setorização é um tipo primitivo do SDMA, onde a segmentação é fixa. Essas áreas diferentes cobertas pelo raio da antena podem ser servidas pela mesma frequência (TDMA e CDMA) ou por diferentes (FDMA).

6.1 Protocolos de Acesso por Canalização

- ▶ *Spread Spectrum* (Acesso Múltiplo por Espalhamento Espectral)
 - ▶ Os sistemas de acesso múltiplo por espalhamento espectral SSMA utilizam sinais com largura de banda de transmissão com várias ordem de grandeza maior do que mínimo exigido para a largura de banda RF.
 - ▶ Ela também oferece imunidade à interferência de caminho múltiplo e capacidade robusta ao acesso múltiplo. Porém, como muitos usuário podem compartilhar a mesma largura de banda de espalhamento espectral sem interferir um com o outro.
 - ▶ O acesso múltiplo por salto em frequência (FHMA) é um sistema em que as frequências da portadora dos usuário individuais são variadas ao longo do tempo.

6.2 Protocolos de Acesso Aleatório

- ▶ Como estação pode enviar um frame quando quiser iniciar uma transmissão, naturalmente, haverá colisões e os frames que colidirem serão danificados.
- ▶ A estação transmissora deve receber um ACK durante um certo intervalo de tempo, ou então considerar que o frame foi perdido.
- ▶ Sistemas em que vários usuários compartilham um canal comum de forma que possa gerar conflitos em geral são conhecidos como sistemas de disputa.

6.2 Protocolos de Acesso Aleatório

▶ 6.2.1 ALOHA ORIGINAL

- ▶ Na década de 1970, Norman Abramson e seus colegas da Universidade do Havaí elaboraram um método novo e sofisticado para resolver o problema de alocação de canais em sinais de Radio (não havia como conectar as várias ilhas por cabo).
- ▶ A ideia de funcionamento é:
 - ▶ Se um usuário quisesse enviar algo, ele simplesmente o fazia, sem preocupação com as transmissões alheias.
 - ▶ Se ninguém enviasse ao mesmo tempo, recebia a confirmação.
 - ▶ Se não recebesse confirmação, retransmitia.

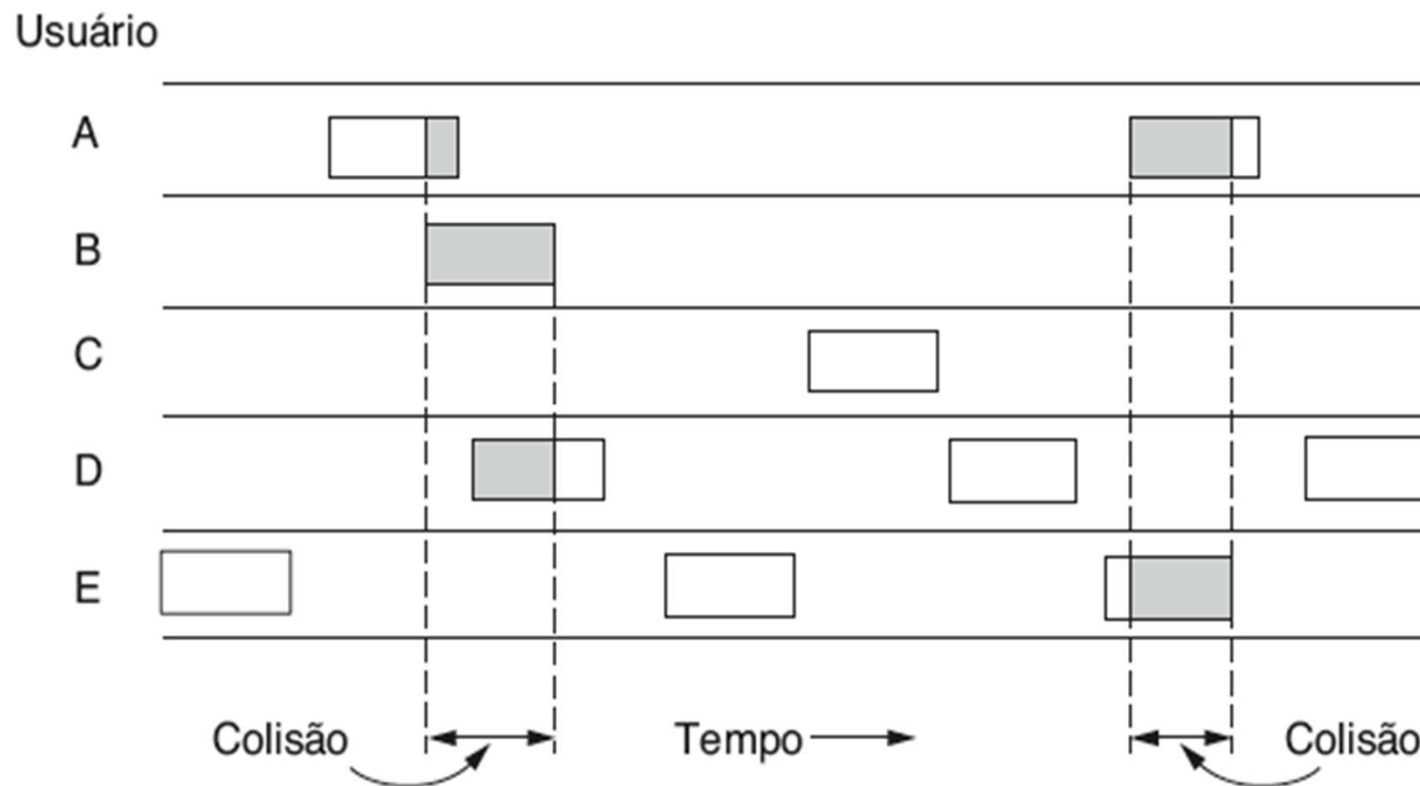
6.2 Protocolos de Acesso Aleatório

▶ 6.2.1 ALOHA ORIGINAL

- ▶ Colisões ocorrem, mas podem ser detectadas pela escuta da saída do canal (transmitem, recebem e analisam seu próprio sinal - talvez modificado), como outros usuários o fazem:
 - ▶ Com uma LAN, a detecção é quase imediata
 - ▶ Com satélite, há um atraso por volta de 270 ms
- ▶ Se o quadro foi destruído, o usuário espera e o envia após um tempo arbitrário.
 - ▶ Tempos constantes acarretariam repetições das colisões
- ▶ Se não for possível escutar o canal, são necessárias confirmações (ACK).

6.2 Protocolos de Acesso Aleatório

▶ 6.2.1 ALOHA ORIGINAL



No ALOHA original, o tempo na transmissão de quadros é completamente aleatório.

6.2 Protocolos de Acesso Aleatório

▶ 4.2.1 ALOHA ORIGINAL

- ▶ A probabilidade de k quadros serem gerados durante determinado tempo de quadro no qual G quadros são esperados é obtida pela distribuição de Poisson.

$$\Pr[k] = \frac{G^k \times e^{-G}}{k!}$$

G = carga oferecida (número médio de quadros gerados por tempo de quadro).

P = probabilidade de uma transmissão ser bem sucedida, obtida para $k=0$.

- ▶ Em um intervalo com duração de dois tempos, a probabilidade de nenhum outro quadro ser iniciado durante o período de vulnerabilidade é $P = e^{-2G}$. Como a vazão (S) é a carga (G) multiplicada pela probabilidade, tem-se:

$$S = Ge^{-2G}$$

6.2 Protocolos de Acesso Aleatório

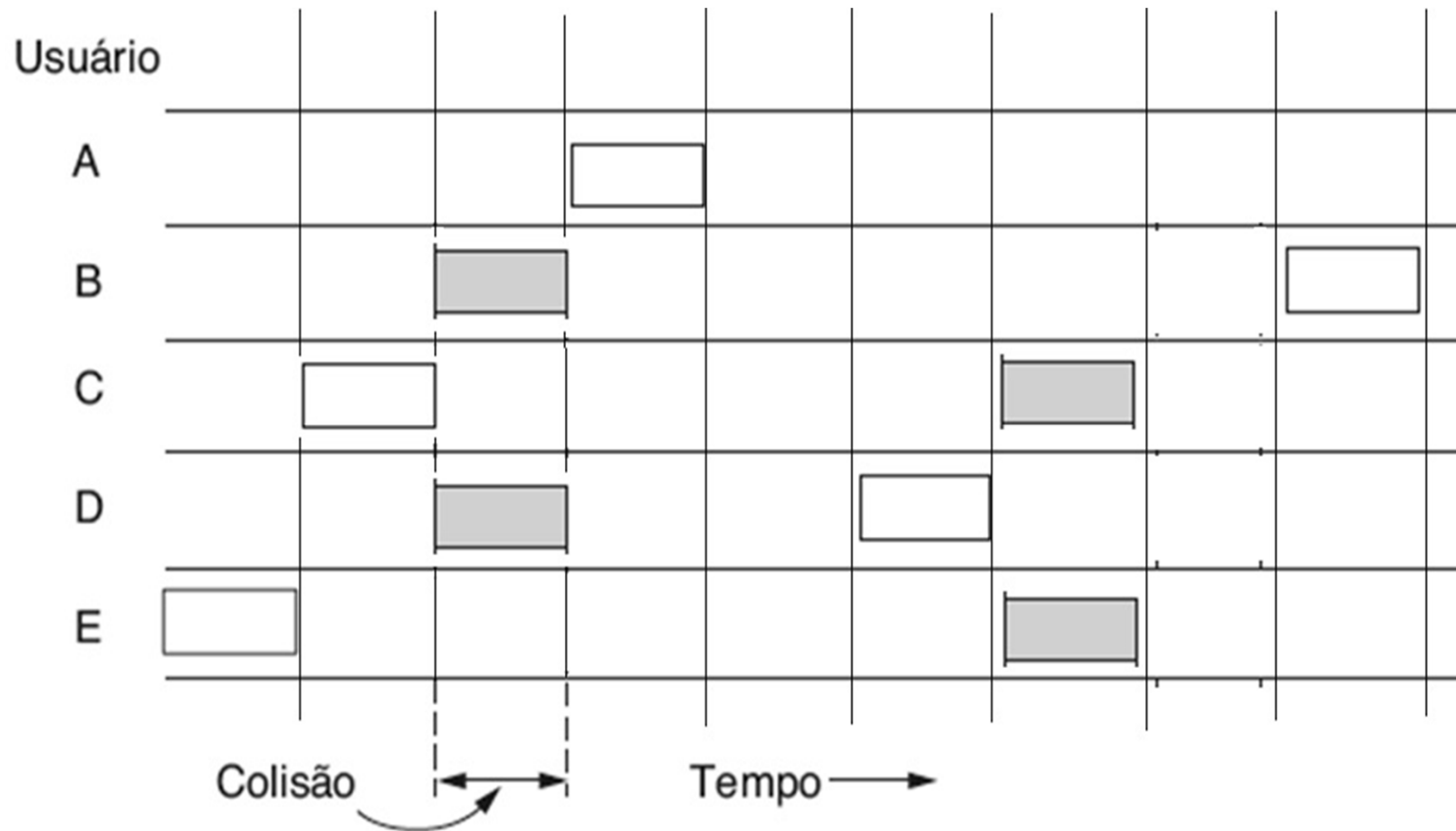
▶ 4.2.2 SLOTTED ALOHA

- ▶ O tempo é dividido em intervalos discretos correspondentes a um slot.
- ▶ Os usuários transmitem apenas no início de um slot.
 - ▶ Requer que os usuários concordem em relação às fronteiras dos slots.
 - ▶ Sincronismo – Uma forma seria uma das estações emitir um sinal no início de cada intervalo.
- ▶ A probabilidade de não haver outro tráfego durante o mesmo slot de um quadro é $P = e^{-G}$. Ao passo que a probabilidade de haver colisão é $P_c = 1 - e^{-G}$. Assim, a vazão é:

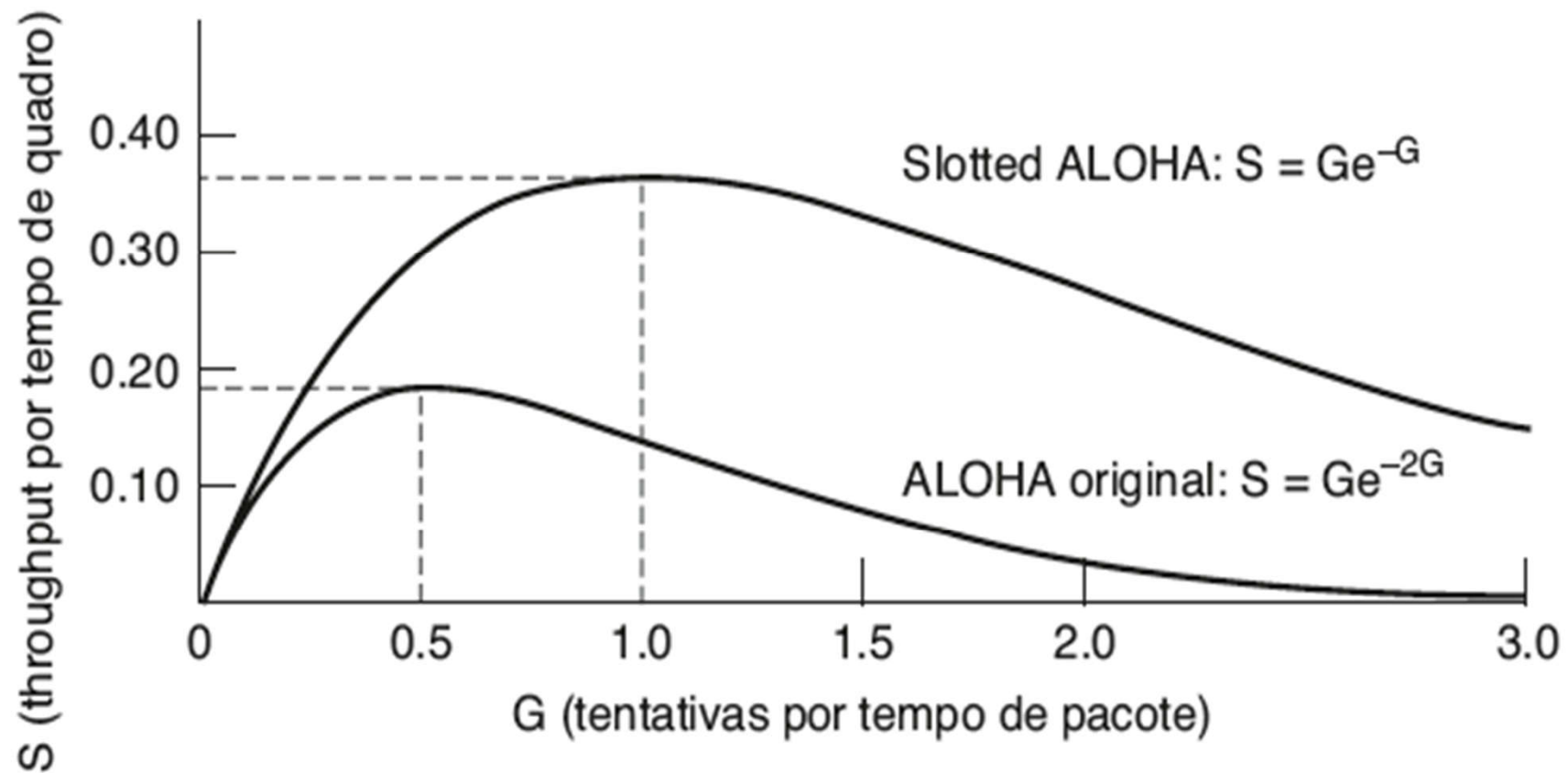
$$S = Ge^{-G}$$

6.2 Protocolos de Acesso Aleatório

SLOTTED ALOHA



6.2 Protocolos de Acesso Aleatório



Throughput e o tráfego no sistema ALOHA.

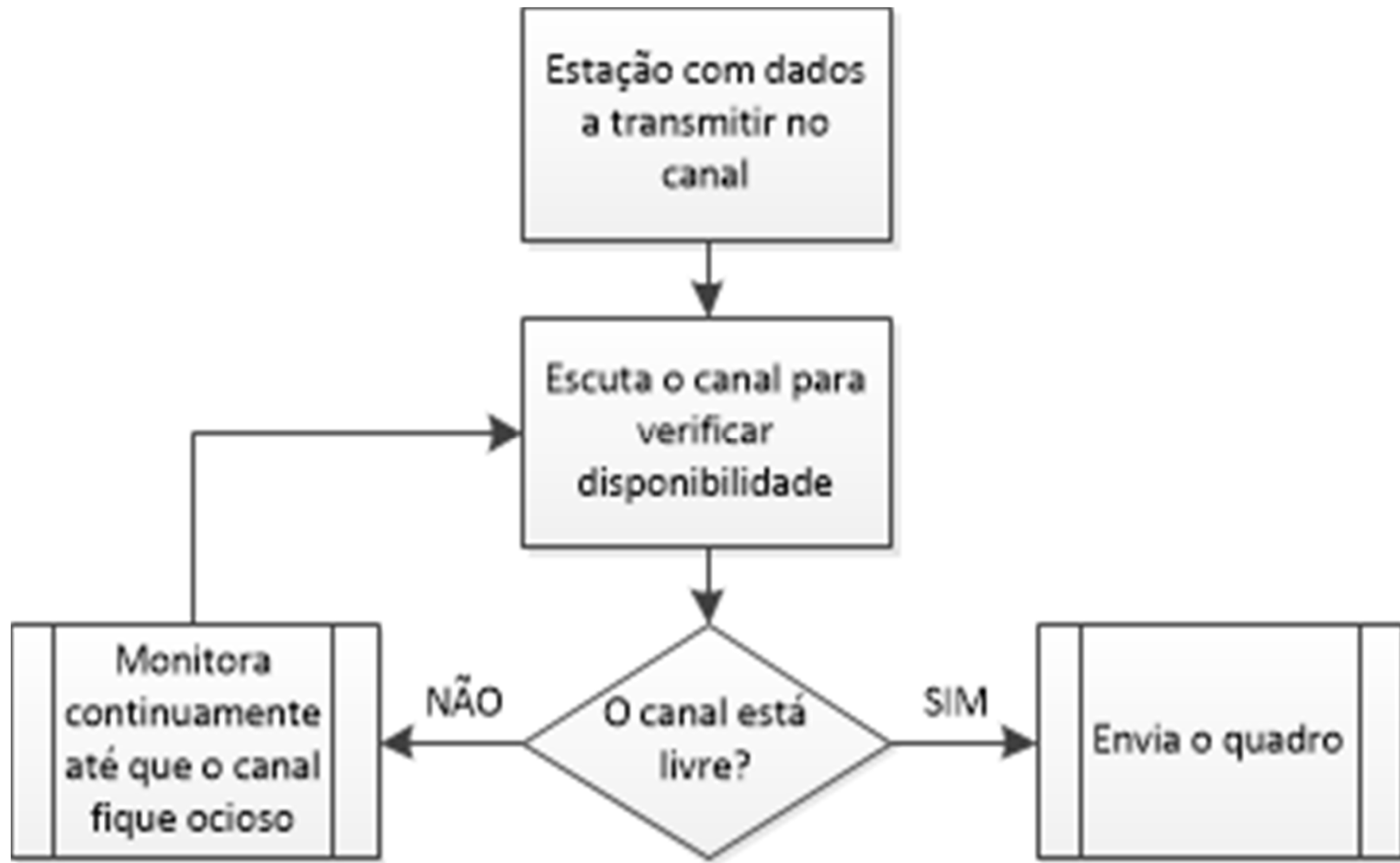
6.2 Protocolos de Acesso Aleatório

▶ 6.2.3 CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

- ▶ Os protocolos nos quais as estações escutam uma portadora (isto é, uma transmissão) e funcionam de acordo com ela são denominados protocolos com detecção de portadora (carrier sense protocols).
- ▶ O CSMA é um protocolo que verifica a disponibilidade (se outra transmissão já foi iniciada) do canal para poder transmitir, e assim evitar colisões entre pacotes.
- ▶ Este protocolo pode ser do tipo persistente ou não persistente

6.2 Protocolos de Acesso Aleatório

- Fluxograma de funcionamento do CSMA persistente :



6.2 Protocolos de Acesso Aleatório

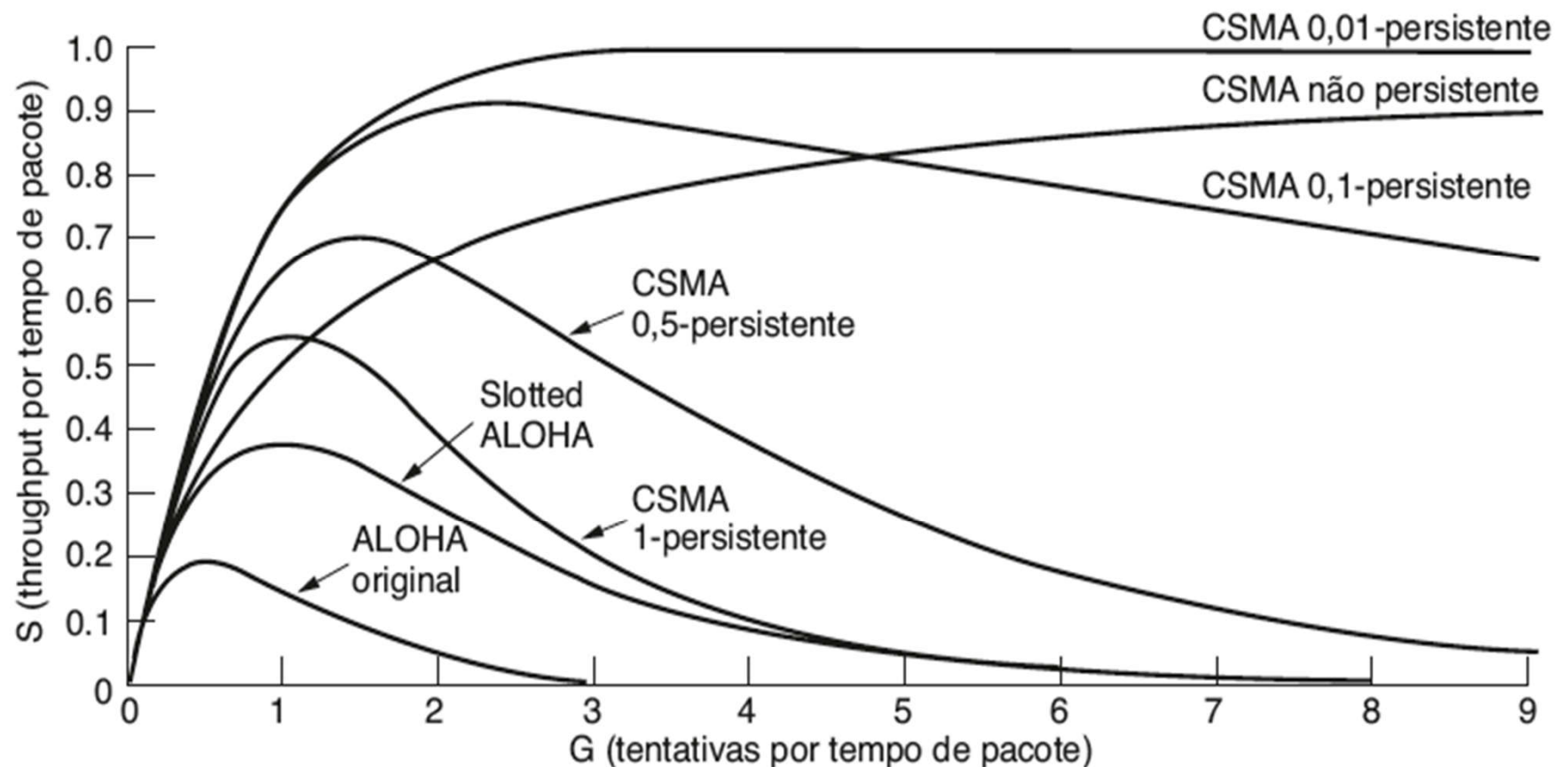
▶ CSMA Persistente:

- ▶ Pode ser 1-persistente no qual a estação transmite sempre que encontrar o canal ocioso e se ocorrer colisão, a estação espera um tempo aleatório e recomeça o processo;
- ▶ Pode ser P persistente, no qual a estação monitora o canal, e se este estiver disponível há uma probabilidade p de enviar os pacotes, ou uma probabilidade $(1-p)$ de esperar outro momento para transmitir.

▶ CSMA não Persistente:

- ▶ Na estratégia não-persistente, após verificar a disponibilidade do canal, caso este esteja ocupado, não monitora continuamente até liberar, mas espera-se um tempo aleatório e torna a verificar.

6.2 Protocolos de Acesso Aleatório



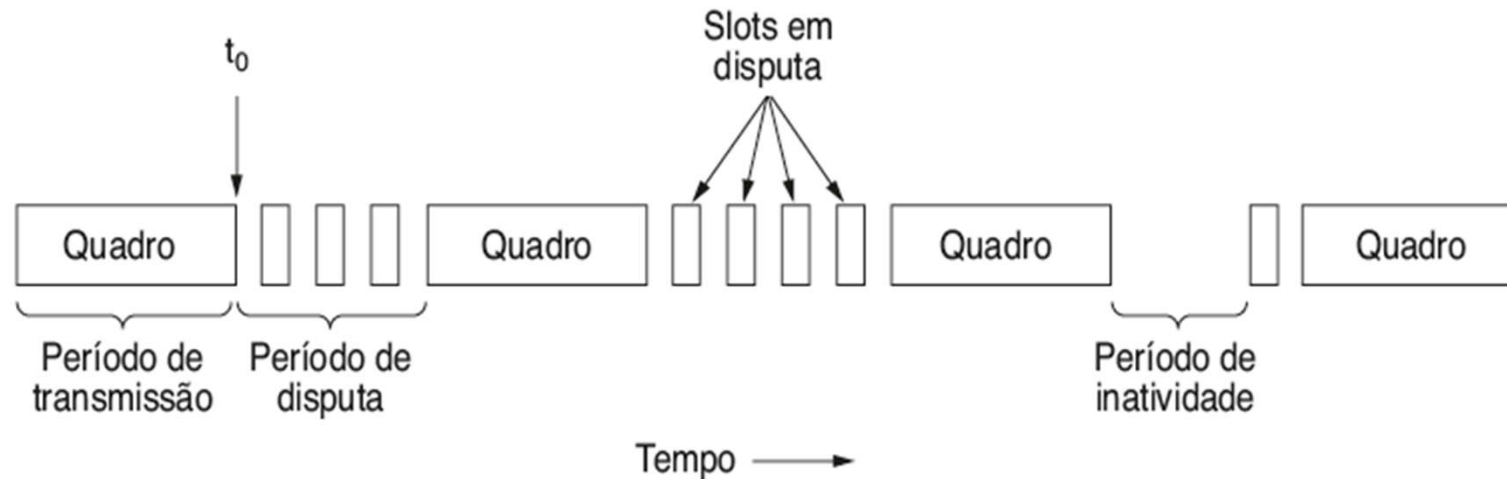
Utilização do canal de acesso por vários protocolos em função da carga.

6.2 Protocolos de Acesso Aleatório

- ▶ CSMA CD (Collision Detection):
 - ▶ Um avanço consiste em as estações cancelarem suas transmissões assim que detectam uma colisão
 - ▶ Colisões podem ser detectadas ao observar a potência ou a largura dos pulsos do sinal recebido e compará-la com a do sinal transmitido
 - ▶ A interrupção de envios de quadros em colisão assim que percebido economiza tempo e largura de banda
 - ▶ O método CSMA/CD possui períodos alternados de disputas e de transmissão, com a ocorrência de períodos de inatividade quando todas as estações estiverem em repouso

6.2 Protocolos de Acesso Aleatório

▶ CSMA CD (Collision Detection):



- ▶ Como calcular o tempo necessário para uma estação garantir que não houve colisão?
- ▶ Seja τ o tempo de propagação entre duas estações mais distantes da rede

6.2 Protocolos de Acesso Aleatório

- ▶ CSMA CD (Collision Detection):
 - ▶ No pior caso:
 - ▶ Em $t = t_0$ uma das estações distantes começa a transmitir
 - ▶ Em $t = t_0 + \tau - \varepsilon$ a estação mais distante começar a transmitir
 - ▶ Apenas em $t = t_0 + 2\tau - \varepsilon$ a primeira estação detectará a colisão
 - ▶ Uma estação não pode ter certeza de que se apoderou do canal antes de transmitir pelo tempo 2τ
 - ▶ Após 2τ , colisão não pode mais ocorrer
 - ▶ Em um cabo coaxial de 1 Km de comprimento, $\tau \cong 5\mu s$

6.3 Protocolos de Acesso Ordenado

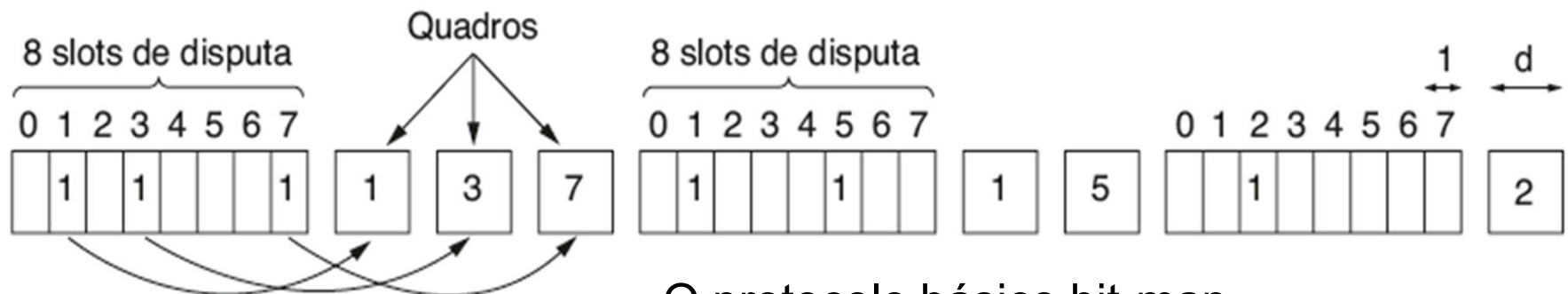
- ▶ As estações consulta-se mutuamente para determinar qual delas irá transmitir.
- ▶ **PROTOCOLO COM RESERVA**
- ▶ No acesso com reserva, uma estação solicita reserva antes de transmitir. O tempo é dividido em intervalos, e em cada intervalo é enviado um frame de reserva antes do frame de dados.
- ▶ Num sistema com N estações, o frame de reserva contém N bits reservados para identificar cada estação. Apenas o bit da estação liberada é setado em um.

6.3 Protocolos de Acesso Ordenado

- ▶ Protocolos como esse, nos quais o desejo de transmitir é difundido antes de ocorrer a transmissão real, são chamados protocolos de reserva.
- ▶ **CSMA CA (Collision Avoid):**
 - ▶ O CSMA/CA é livre de colisão, onde as estações monitoram persistentemente o canal, e se este estiver disponível espera um tempo aleatório para transmitir.
 - ▶ Nesse momento ela inicia um timer a espera do ACK, e se este vier a transmissão foi bem sucedida. Caso contrário, se o timer acabar a transmissão falhou.

6.3 Protocolos de Acesso Ordenado

- ▶ A forma básica de implementar o CSMA/CA, é a de mapa de bits.
 - Cada período de disputa consiste exatamente em N slots. A estação solicita e “trava” o slot. Nenhuma outra estação poderá transmitir durante esse slot.
 - Se um usuário i tiver um quadro para transmitir, ele enviará um bit 1 no slot i do mapa de bits
 - O Usuário j não pode usar o slot do usuário i
 - Quando um usuário recebe o mapa de bits, ele tem o conhecimento completo de quais estações desejam transmitir



O protocolo básico bit-map.

6.3 Protocolos de Acesso Ordenado

- Como todas as estações concordam sobre quem será a próxima a transmitir, nunca haverá colisões.
- Após a última estação pronta ter transmitido seu pacote, um evento que todas as estações podem monitor com facilidade, inicia-se outro período de disputa e agendamento de N bits.
- Se uma estação ficar pronta logo após seu slot de bits ter passado, ela não conseguirá transmitir e precisará permanecer inativa até que todas as outras estações tenham tido a chance de transmitir e o mapa de bits tenha voltado a passar por ela

6.3 Protocolos de Acesso Ordenado

▶ PROTOCOLO POLLING

- ▶ A técnica do polling é usada em topologias em que se tem uma estação principal e as outras são secundárias. Toda troca de informação passa pela estação principal.
- ▶ Se uma estação secundária quer transmitir ela solicita à principal.
- ▶ Se há uma solicitação de envio a principal pergunta a secundária se ela está apta a receber.

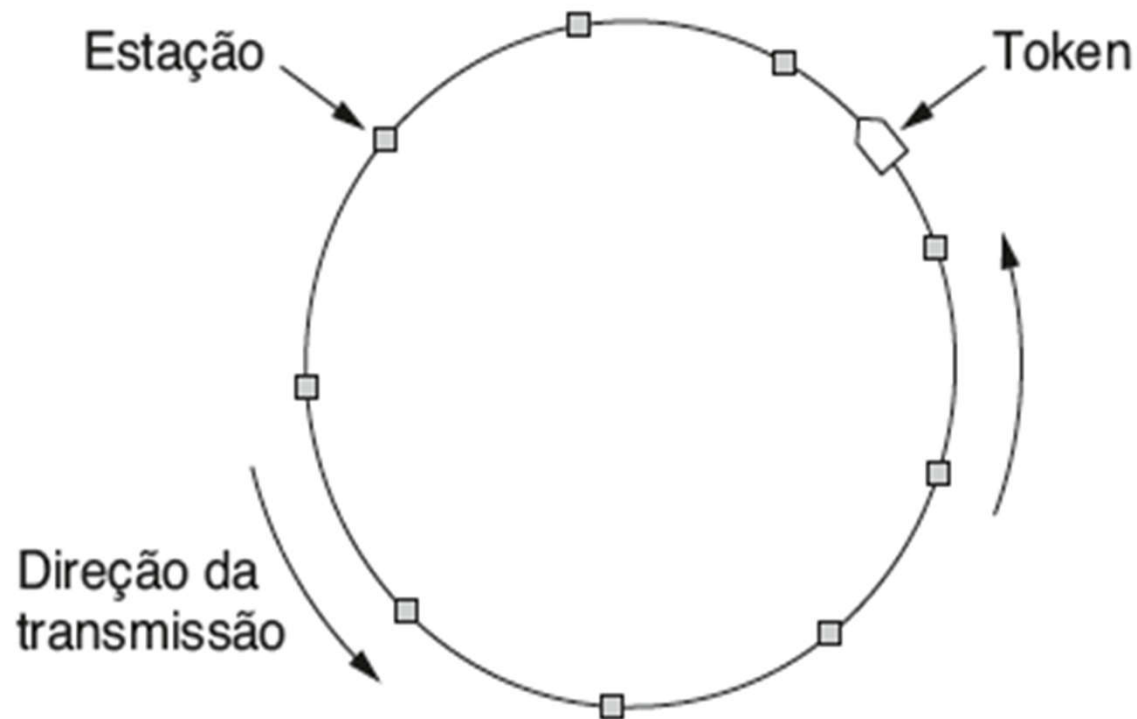
6.3 Protocolos de Acesso Ordenado

▶ PROTOCOLO PASSAGEM DE TOKENS

- ▶ No método de passagem de permissão (Token-passing), uma estação é autorizada a enviar quando recebe um frame de permissão.
- ▶ Ela é usada em topologia anel, assim os frames passam de uma estação pelas vizinhas.
- ▶ Quando os dados não estiverem sendo transmitidos, a permissão circula pelo anel. A estação que recebeu a permissão envia os dados e no fim libera a permissão que circula no anel.

6.3 Protocolos de Acesso Ordenado

- ▶ Diagrama esquemático do funcionamento:



Topologia em anel: token ring.