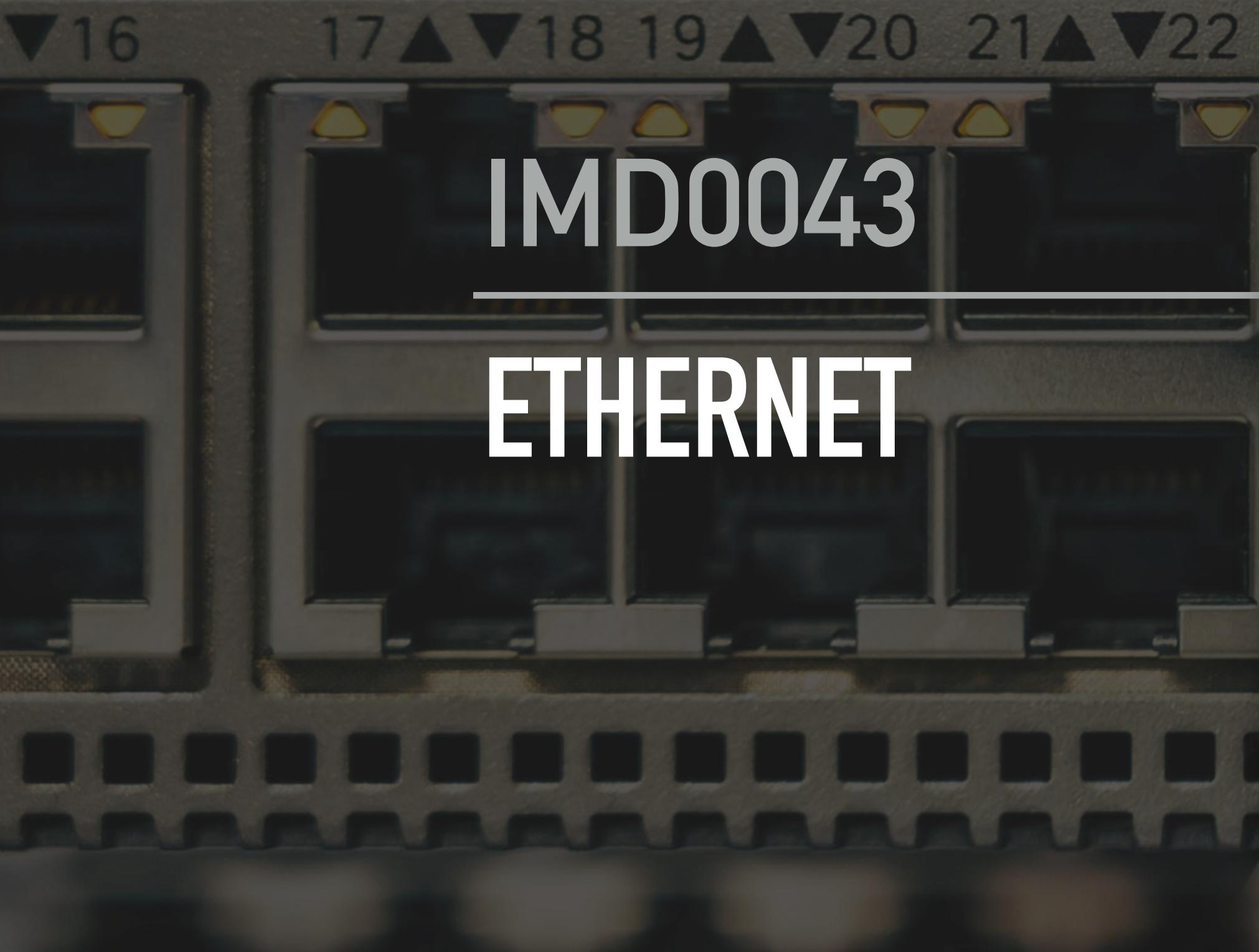


The Ethernet

A Local Area Network

Data Link Layer
and
Physical Layer
Specifications



digital

Digital Equipment Corporation
Maynard, MA

intel

Intel Corporation
Santa Clara, CA

XEROX

Xerox Corporation
Stamford, CT

Version 1.0

September 30, 1980

CAMADA DE APLICAÇÃO

CAMADA DE TRANSPORTE

CAMADA DE REDE

CAMADA DE ENLACE

CAMADA FÍSICA

CONSTRUINDO A CAMADA DE ENLACE SOBRE A CAMADA FÍSICA

- ▶ Camada física envia (ou recebe) *bits* em um *link*, e encaminha para a camada de enlace (ou envia através do meio de transmissão)

- ▶ Na camada física do destino:

0101011001111101111101111100101000111

- ▶ Desafio: como pegar os *bits* acima e converter para:

0101011001111101111101111100101000111

- ▶ **Problema:** como a camada de enlace separa os dados em “pedaços” corretos?

- ▶ Inclusive pedaços pertencentes a aplicações diferentes!

- ▶ Camada de enlace faz **interface** com a camada física usando **quadros**

- ▶ Implementado no adaptador de rede
 - ▶ Finalmente: o que são quadros?





ENQUADRAMENTO: IDENTIFICANDO INÍCIO E FIM DE QUADROS

- ▶ Abordagem de sentinela (padrão de bits):
 - ▶ ex: 01111110 para início, 01111111 para fim.



- ▶ Problema: e se o padrão sentinela ocorrer dentro do quadro?
- ▶ Solução: preenchimento de *bits*
 - ▶ Quem envia insere um 0 após cinco 1s no conteúdo do quadro
 - ▶ Quem recebe sempre remove um 0 após detectar cinco 1s

QUANDO O DESTINO DETECTAR CINCO 1S



- ▶ Se o próximo *bit* é 0, remove e começa a contar novamente
 - ▶ Pois esse é um *bit* de preenchimento
 - ▶ não podemos estar no início/fim do quadro (esses precisam de seis/sete 1s)
- ▶ Se o próximo *bit* é 1 (ex: temos seis 1s) então:
 - ▶ Se o próximo *bit* é 0, temos início de quadro
 - ▶ Porque destino recebeu 0111110
 - ▶ Se o próximo *bit* é 1, temos fim de quadro
 - ▶ Porque destino recebeu 0111111

EXEMPLO

- ▶ Dados originais, incluindo SoF e EoF:

01111110011111101111101111100101111111

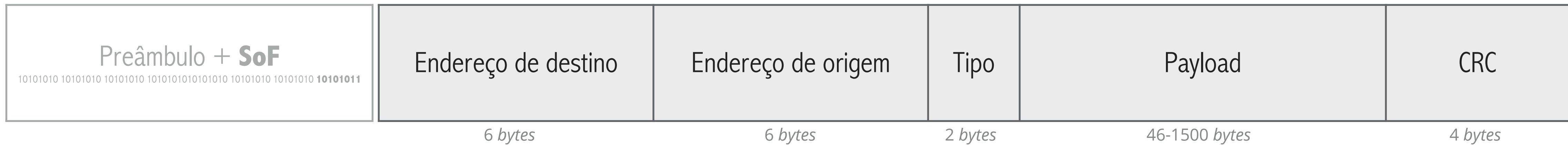
- ▶ Regra do transmissor: cinco 1s => insere um 0
- ▶ Após o preenchimento de bits no transmissor:

01111110011111010111110011111000101111111

- ▶ Regra do receptor: cinco 1s e próximo bit 0 => remove 0

01111110111111011111011111001011111111

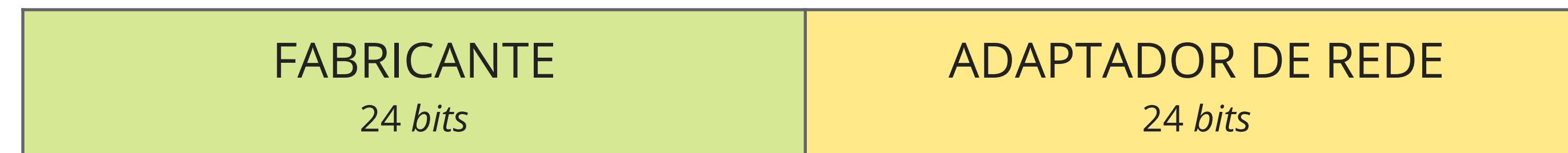
QUADROS ETHERNET (II)



- ▶ Preâmbulo (não faz parte efetiva do quadro Ethernet):
 - ▶ 7 bytes para sincronização de *clock*
10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010
 - ▶ 1 byte para indicar o início do quadro (SoF - Start of Frame)
10101011
- ▶ **Endereços**: 6 + 6 bytes (endereços MAC)
- ▶ **Tipo** do protocolo: 2 bytes, indicando o protocolo da camada superior (ex: IP)
- ▶ **Payload**: dados, máximo de 1500 bytes, mínimo de 46 bytes
- ▶ **CRC**: 4 bytes para detecção de erros

ENDEREÇOS DE ORIGEM E DESTINO

- ▶ Quadros estão na camada de enlace, portanto, utilizam **endereços de nível 2**
- ▶ Endereços **MAC**
 - ▶ Endereços numéricos associados ao adaptador de rede
 - ▶ Espaço de endereçamento de 6 bytes (ex: 00-15-C5-49-04-A9)
 - ▶ Único, *hard-coded* no adaptador quando é fabricado
- ▶ Alocação **hierárquica**:
 - ▶ **Blocos**: Designados aos fabricantes de adaptadores de rede (ex: Dell, Cisco, etc)
 - ▶ **Adaptadores**: Designados pelos fabricantes, dentro do seu bloco



ENDEREÇOS MAC

00:1c:0f:bf:2f:04

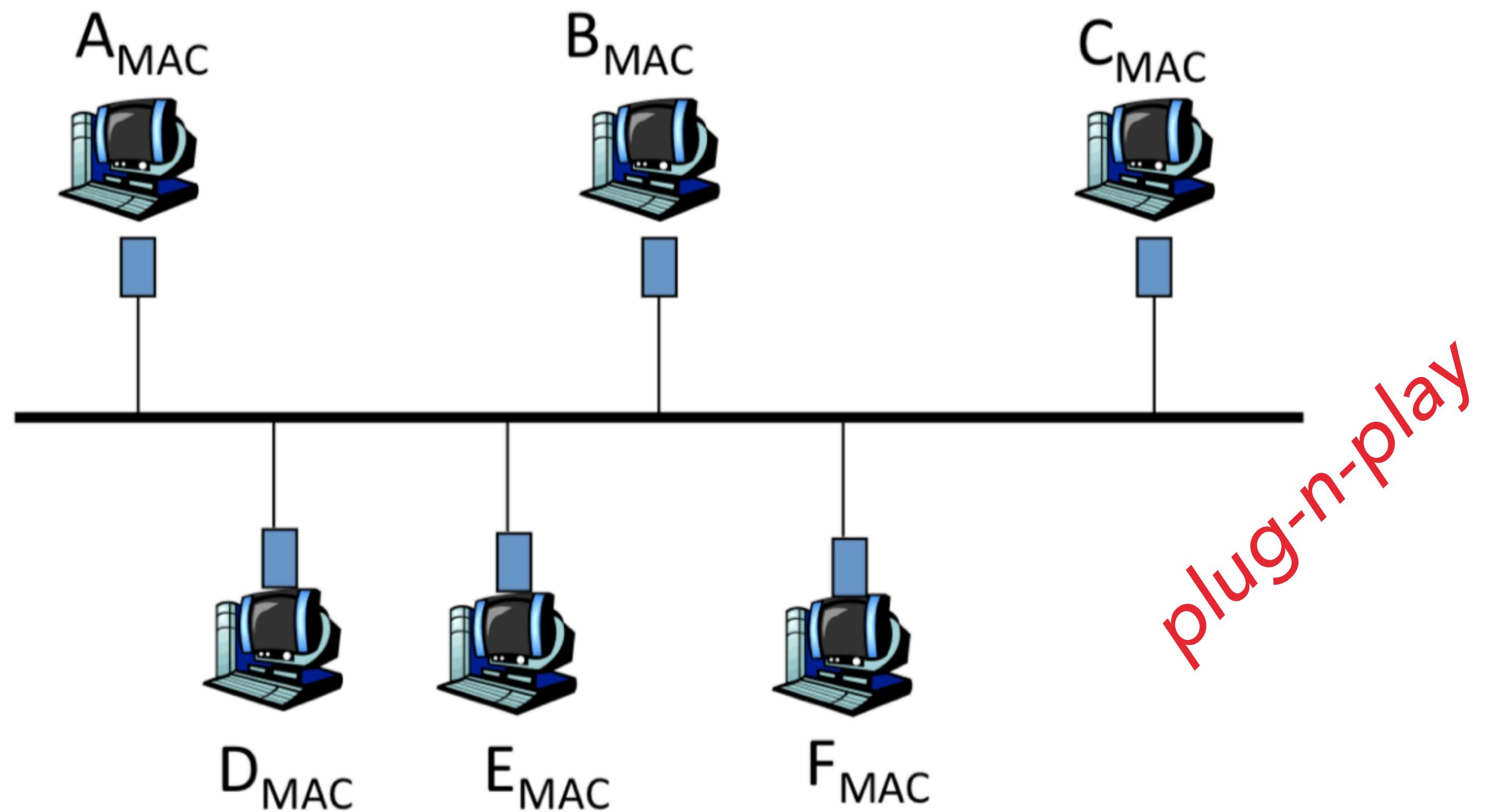
001c.0fbf.2f04

00-1c-0f-bf-2f-04

ETHERNET TRADICIONAL

- ▶ [Origem] Camada de enlace recebe dados da camada de rede
- ▶ [Origem] Camada de enlace divide os dados em quadros
 - ▶ Como saber os endereços de origem e destino?
- ▶ [Origem] Camada de enlace passa o quadro para a camada física
 - ▶ Enquadra e faz o *broadcast* na rede Ethernet
- ▶ Cada camada física recupera o quadro e envia para a camada de enlace
 - ▶ Que envia para a camada de rede somente o endereço de destino é o mesmo do adaptador de rede;
 - ▶ ou o endereço de destino é o endereço de *broadcast* (FF:FF:FF:FF:FF)

ETHERNET TRADICIONAL

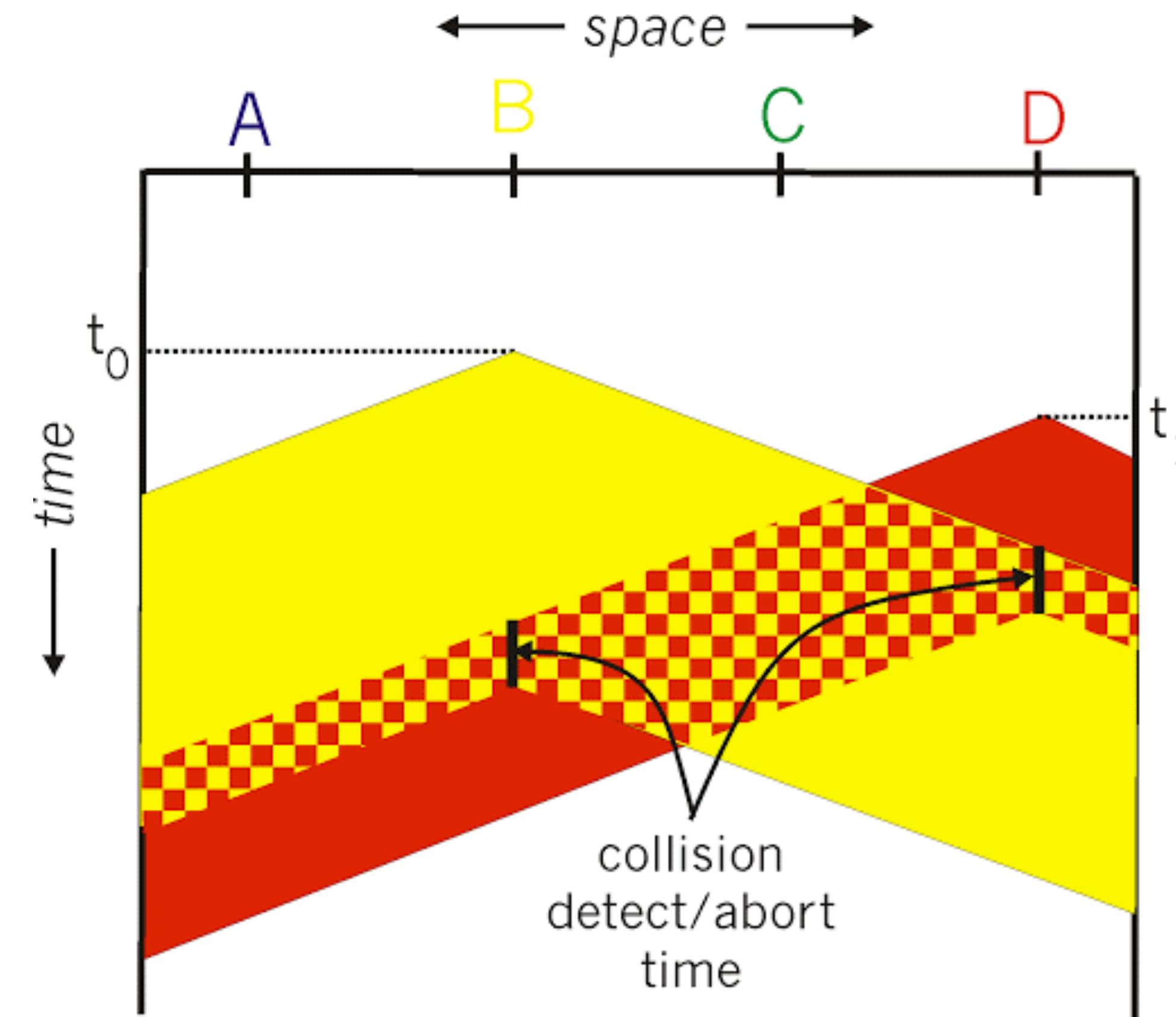


ETHERNET COMUTADA (SWITCHED)

Por que Ethernet comutada?

DETECÇÃO DE COLISÃO LIMITA E ESCALABILIDADE DA ETHERNET

- ▶ **B** e **D** podem detectar a ocorrência da colisão
- ▶ Porém, precisamos de restrições em:
 - ▶ tamanho mínimo do quadro
 - ▶ distância máxima



LIMITES DE ESCALABILIDADE DA ETHERNET TRADICIONAL



Atraso de propagação depende do comprimento físico do link

- ▶ Tempo de propagar um *bit* de uma ponta a outra

Suponha que A envia um pacote no instante de tempo 0

- ▶ B escuta o meio livre todo o tempo antes de d
- ▶ ... então B começa a transmitir um pacote

B detecta a colisão no tempo d , e envia sinal de interferência (*jamming*)

- ▶ Mas A não pode detectar a colisão antes de $2d$ (pior cenário!)
- ▶ A deve ter um tamanho de quadro suficiente para que o tempo de transmissão seja $> 2d$
- ▶ Tempo de transmissão $> 2 * (\text{atraso de propagação})$

LIMITES DE ESCALABILIDADE DA ETHERNET TRADICIONAL



EVOLUÇÃO

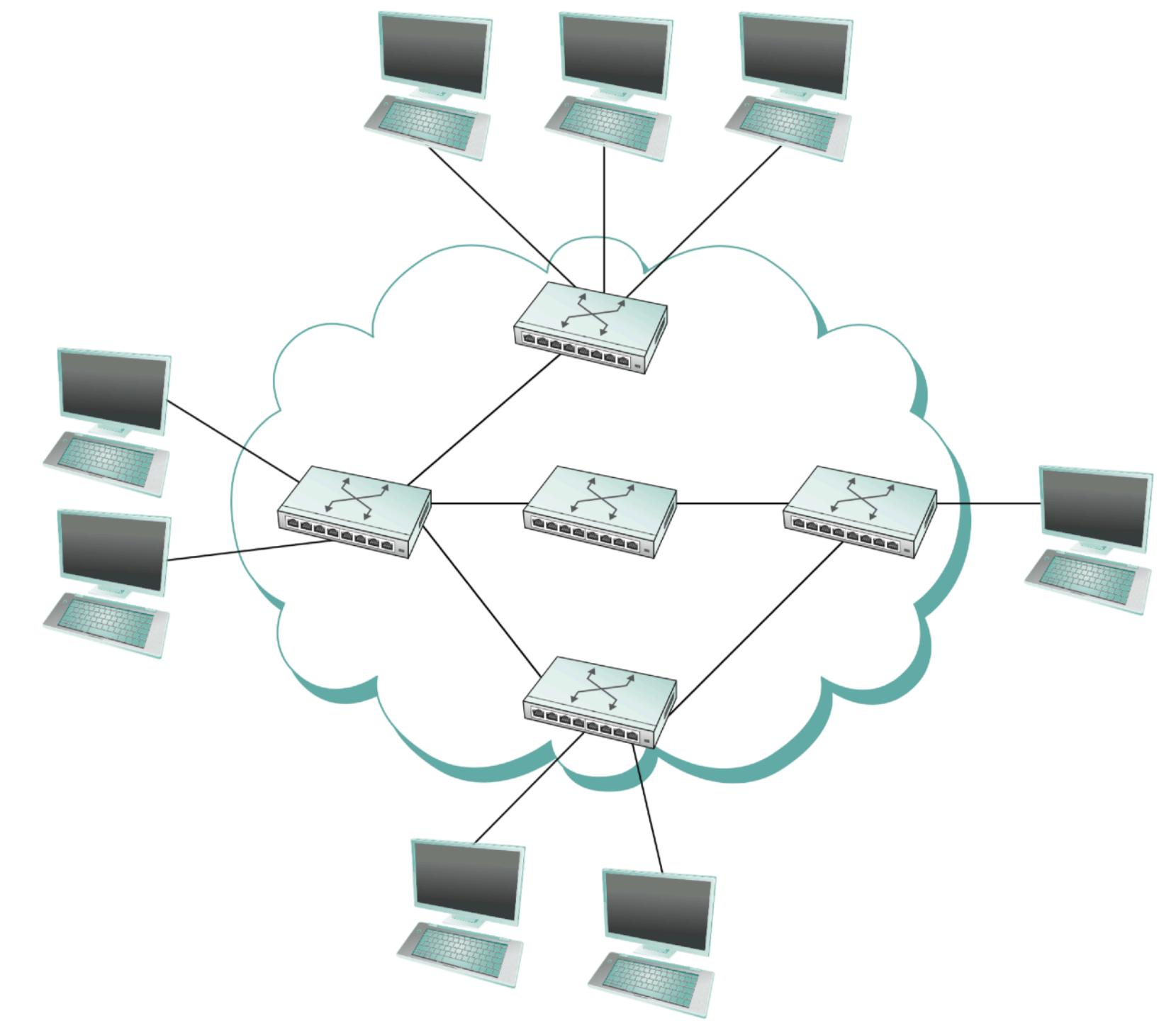
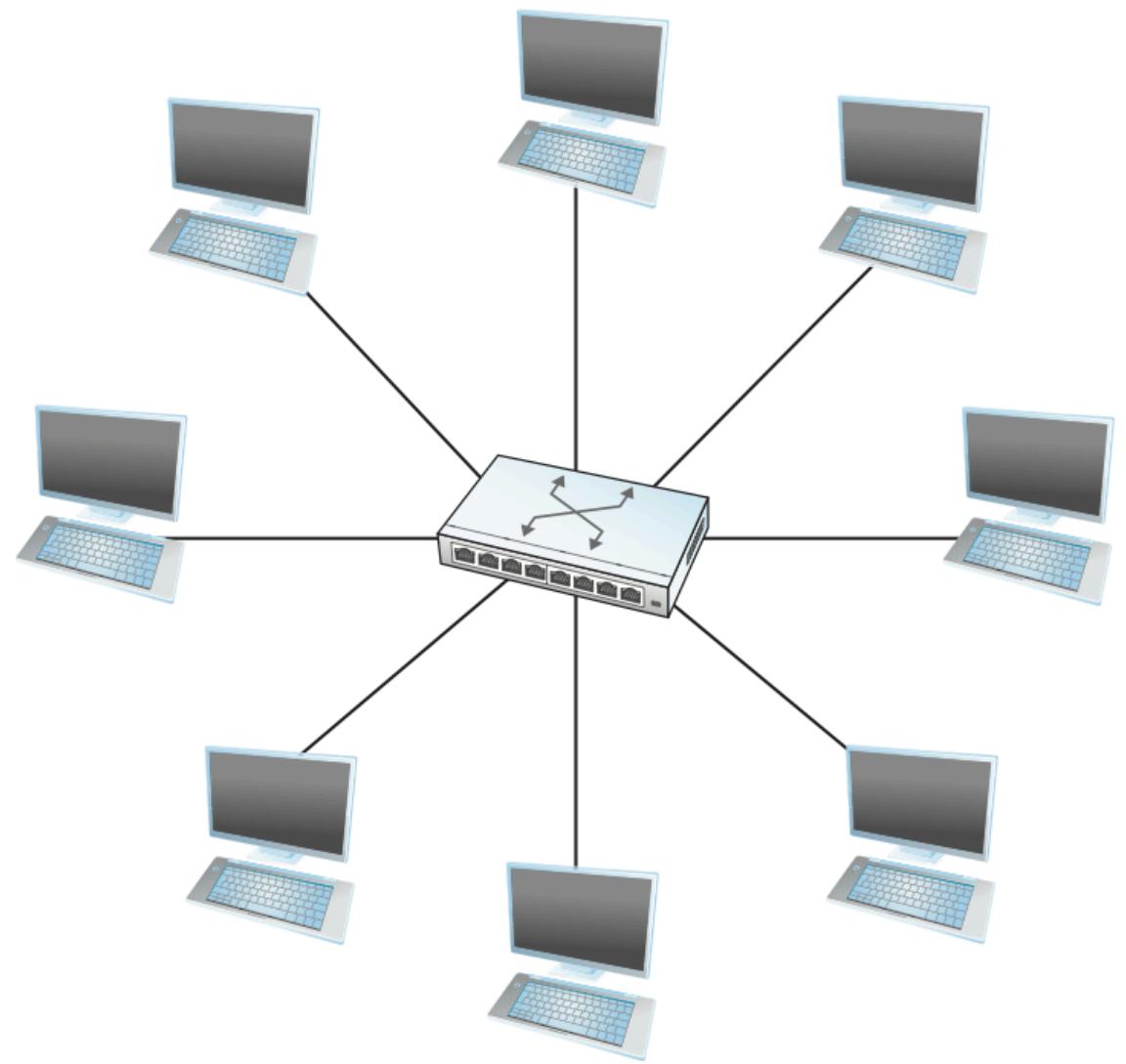
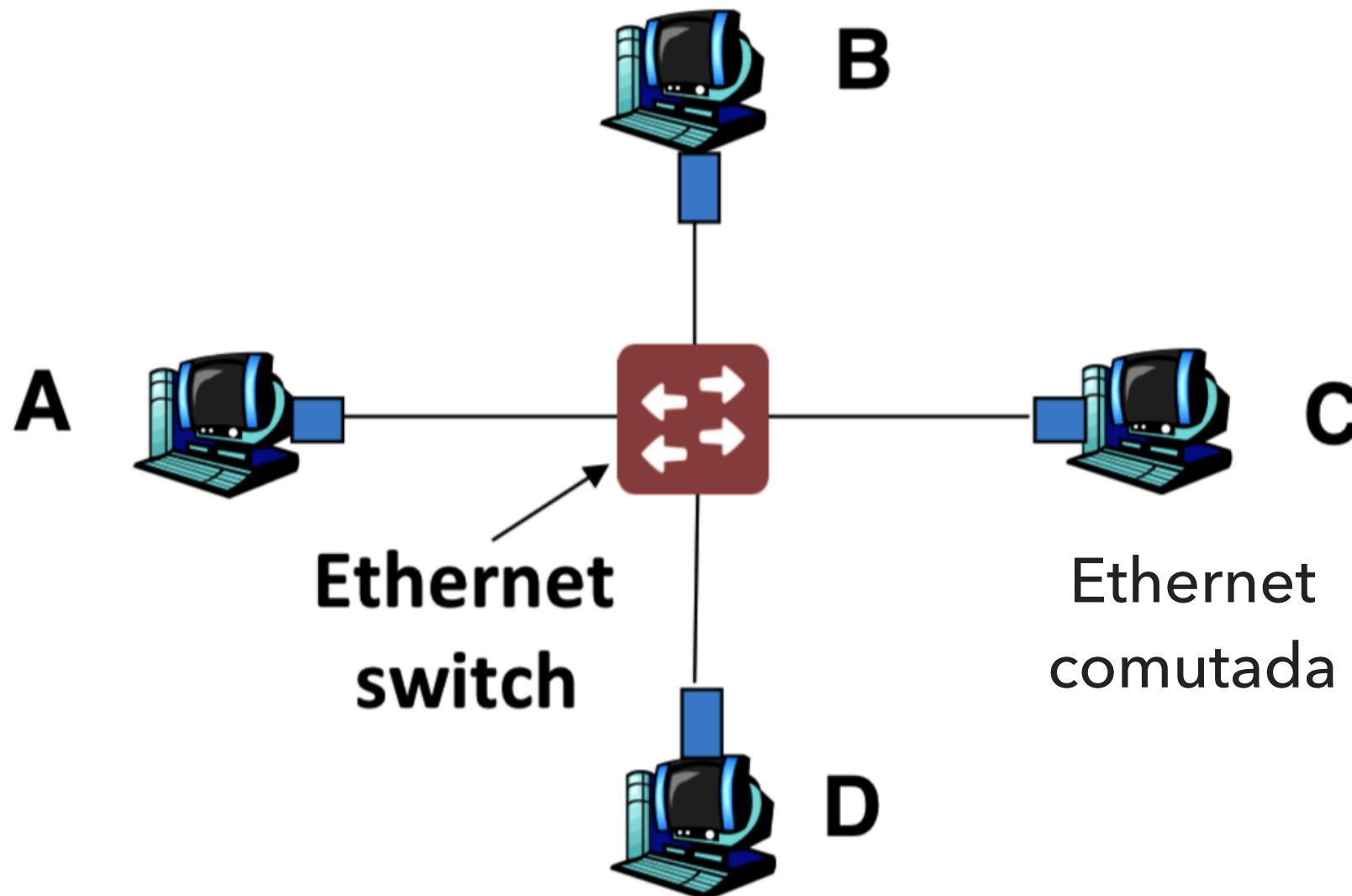
Ethernet foi inventada como uma tecnologia *broadcast*

- ▶ Hosts compartilham o canal
- ▶ Cada pacote é recebido por todos os hosts
- ▶ CSMA/CD para controle de acesso

Ethernet atuais são **comutadas**

- ▶ Meio de transmissão ponto-a-ponto entre switches
- ▶ Meio de transmissão ponto-a-ponto entre host e switch
- ▶ Compartilhar somente quando necessário (usando CSMA/CD)

ETHERNET COMUTADA



- ▶ Permite comunicação concorrente (simultânea)
- ▶ Host A pode falar com host C, enquanto B fala com D
- ▶ Sem colisões = não existe necessidade de CSMA/CD
- ▶ Sem restrições* no comprimento dos *links* ou tamanho do *frame*

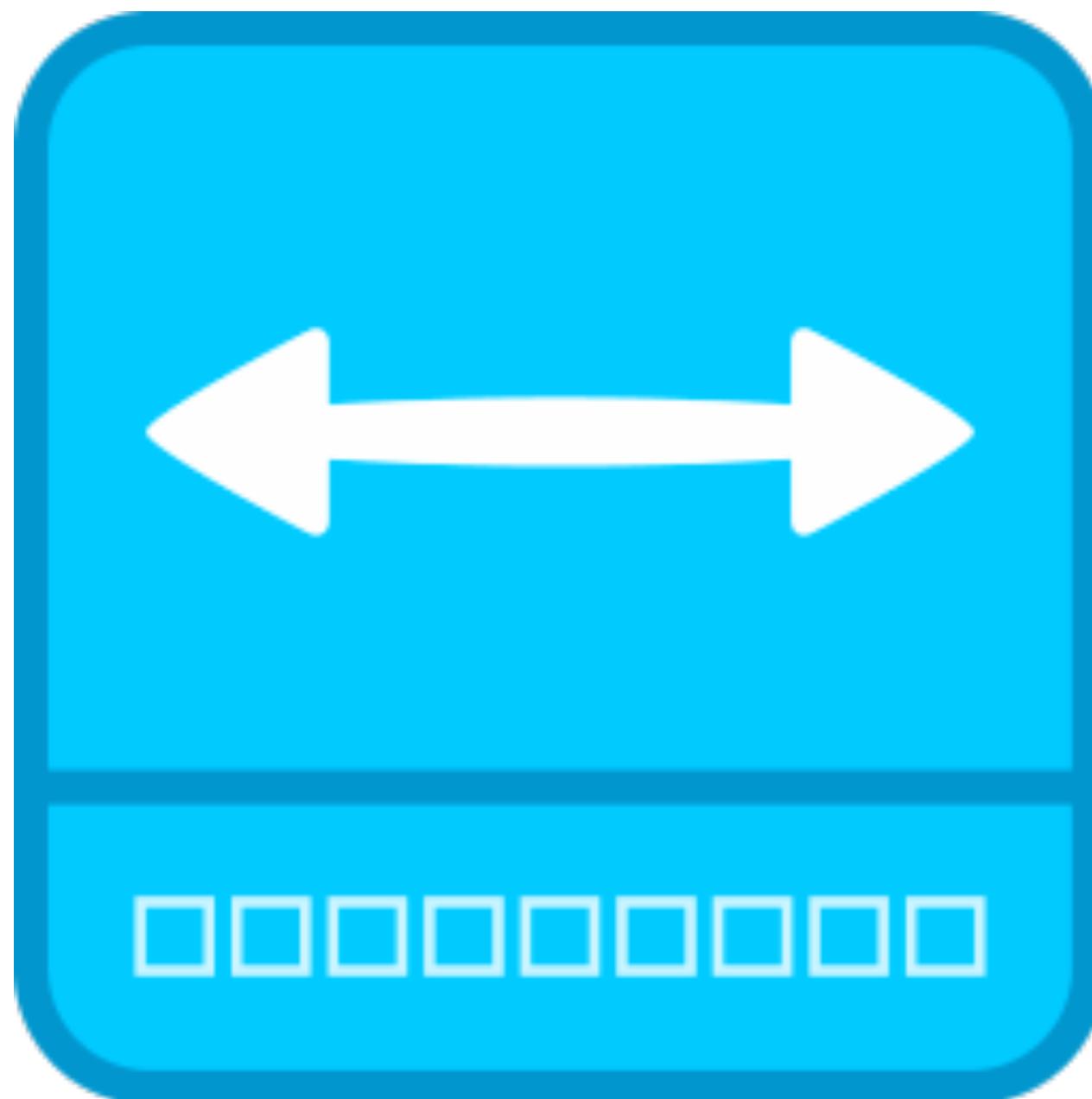
HUBS? HISTÓRIA...

Atenuação

Repetidor multi-portas

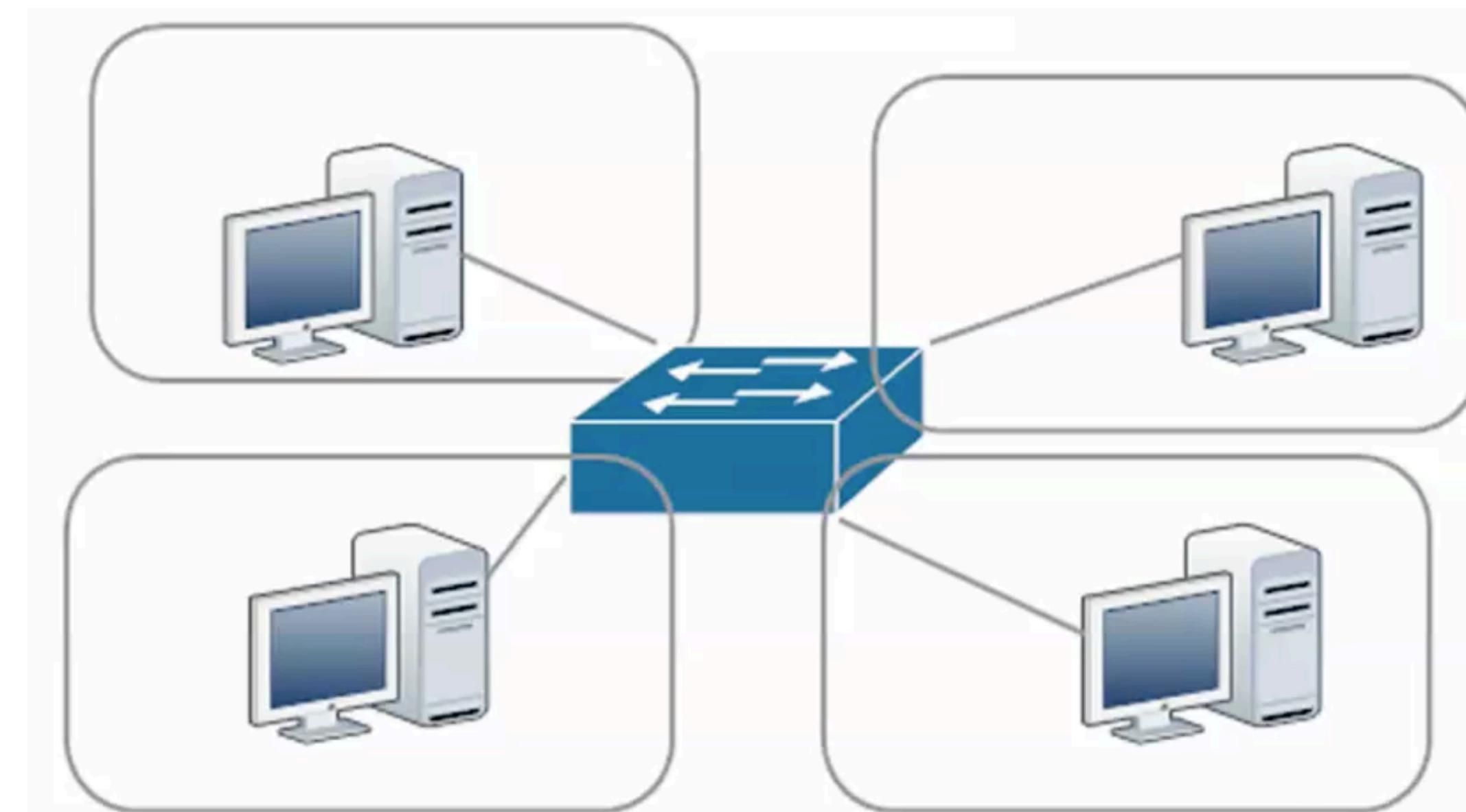
Domínio de colisão

Domínio de broadcast



SWITCHES

- ▶ Cada host em uma porta = **microsegmentação!**
- ▶ Cada host no seu próprio **domínio de colisão**



SWITCHES

Quando um *switch* **recebe** um *frame*:

encaminha (*forward*); ou

filtra (em outras palavras... *dropa*); ou

inunda (*flood*)



SWITCHES: TABELA MAC

Tabela de endereços MAC (L2)

Todo quadro contém dois endereços:

origem e destino

Para qual endereço o switch olha primeiro?



SWITCHES: TABELA MAC

Que tal entradas estáticas?

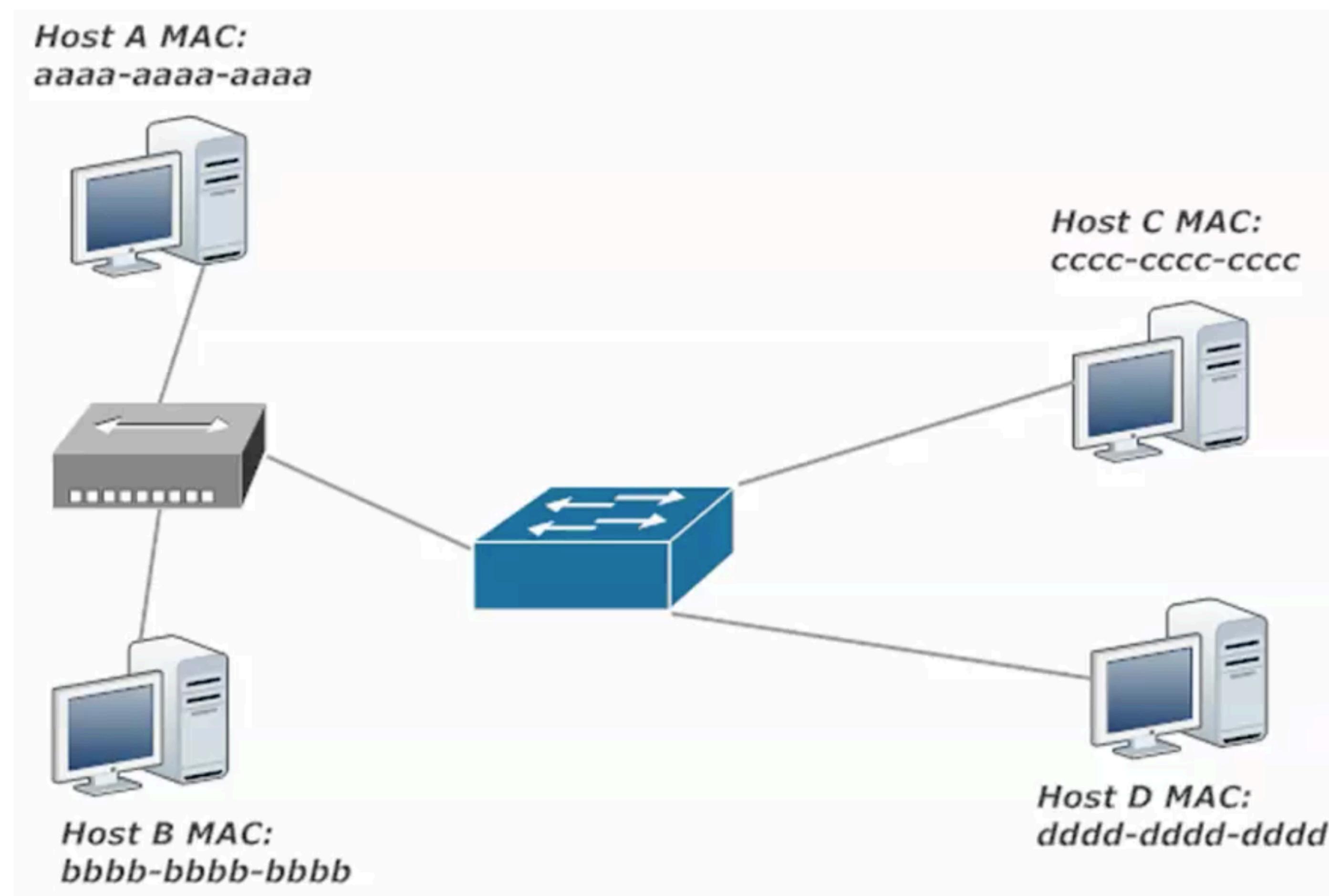
adicionar novo host?

porta down e você troca de porta?

Eficiência: construir **dinamicamente** a tabela!



EXEMPLIFICANDO: TABELA MAC



EXEMPLIFICANDO: TABELA MAC

Para entradas relativas aos hosts conectados:

aprender dinamicamente

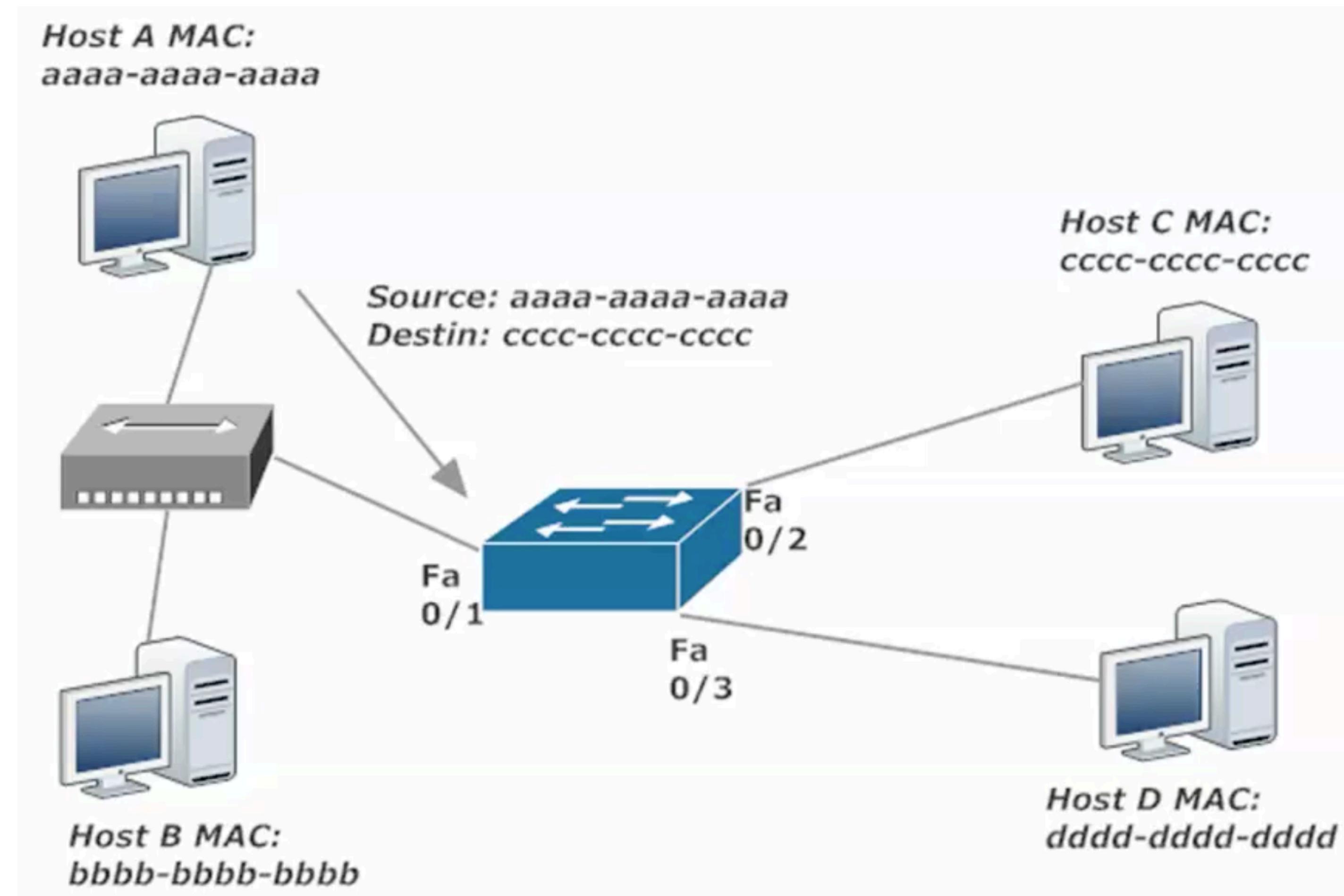
admin configurar entradas estáticas

Cenário:

Host A envia um quadro para o Host C

Passa pelo hub e chega no switch (porta Fa0/1)

EXEMPLIFICANDO: TABELA MAC



EXEMPLIFICANDO: TABELA MAC

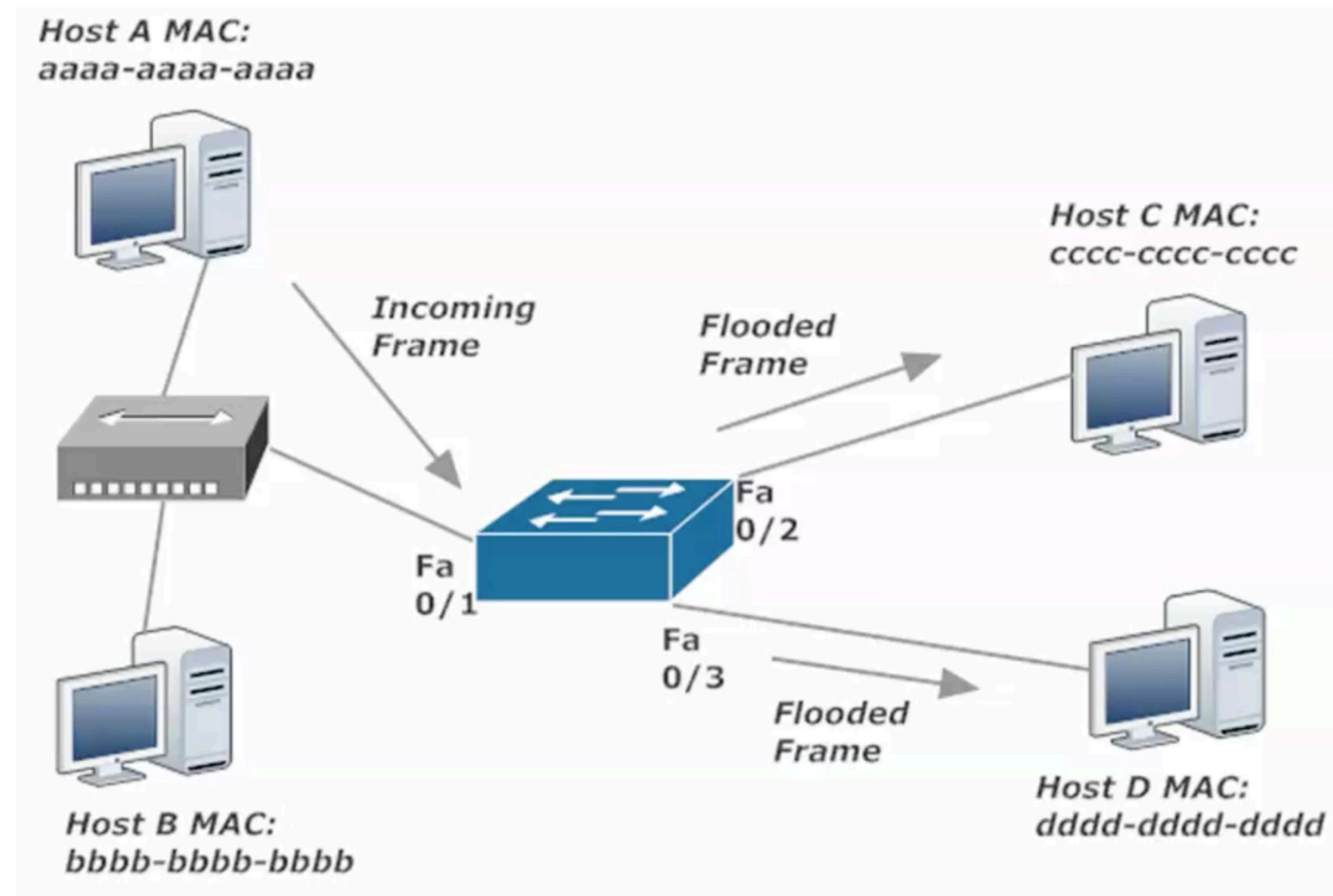
Mac Address Table			
Vlan	Mac Address	Type	Ports
1	aaaa.aaaa.aaaa	DYNAMIC	Fa0/1

Decisão do switch: *forward*, *filter* ou *flood*

Confere endereço de destino e tabela MAC...

Não tem entrada? *flood*

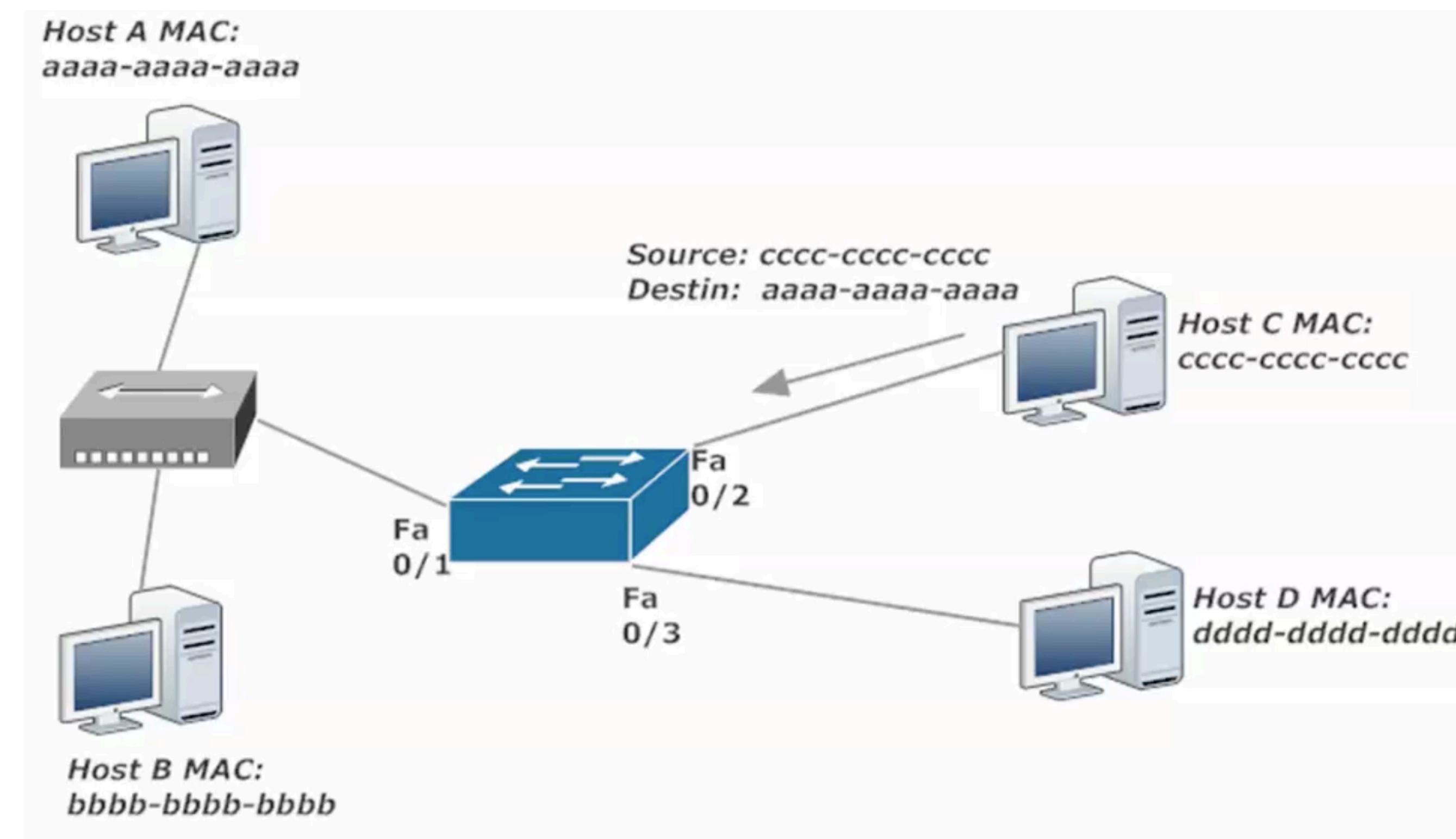
EXEMPLIFICANDO: TABELA MAC



EXEMPLIFICANDO: TABELA MAC

Cenário:

Host C envia um quadro para o Host A



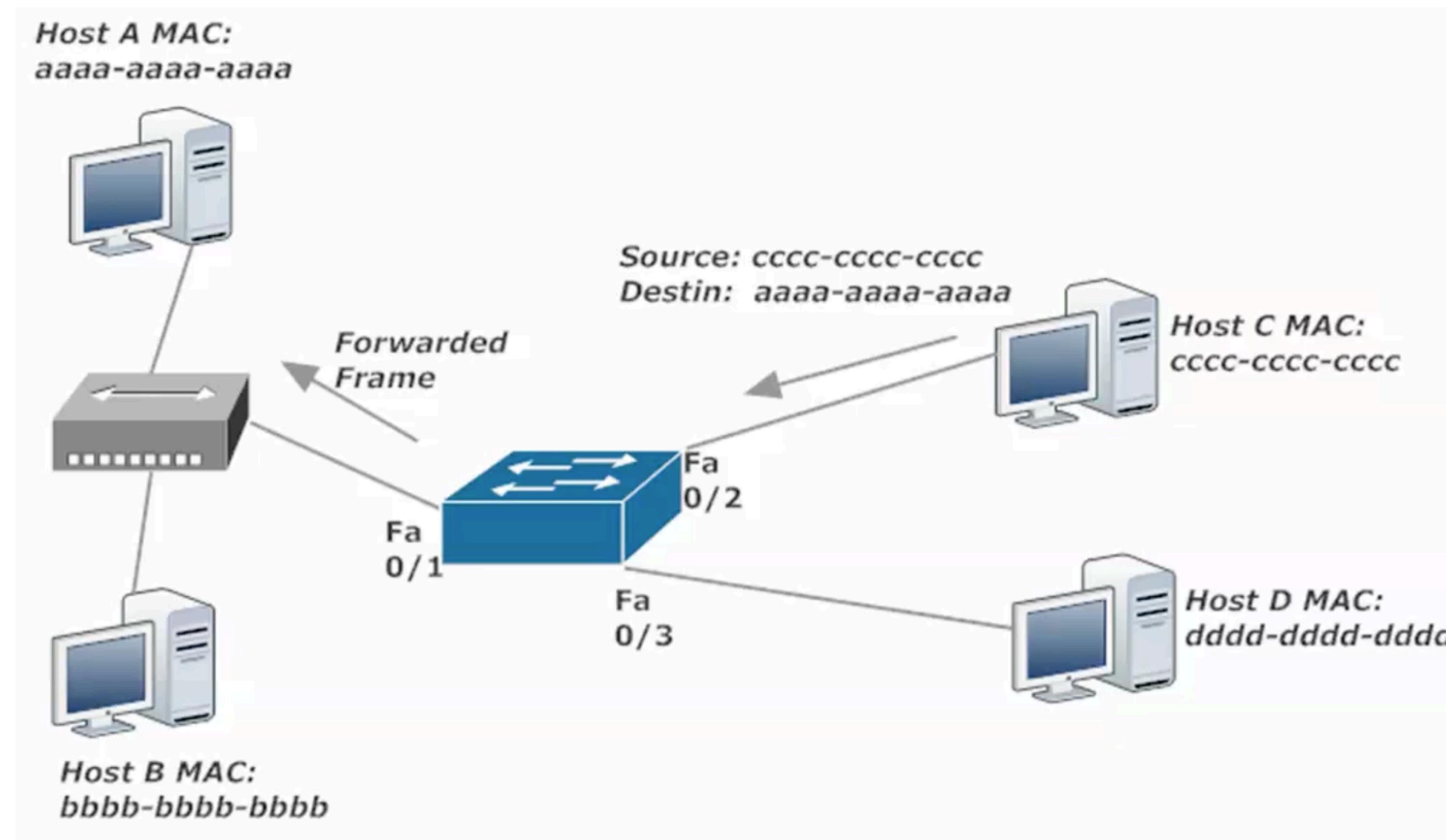
EXEMPLIFICANDO: TABELA MAC

```
SWITCH1#show mac address
```

Mac Address Table

Vlan	Mac Address	Type	Ports
-----	-----	-----	-----
1	aaaa.aaaa.aaaa	DYNAMIC	Fa0/1
1	cccc.cccc.cccc	DYNAMIC	Fa0/2

EXEMPLIFICANDO: TABELA MAC

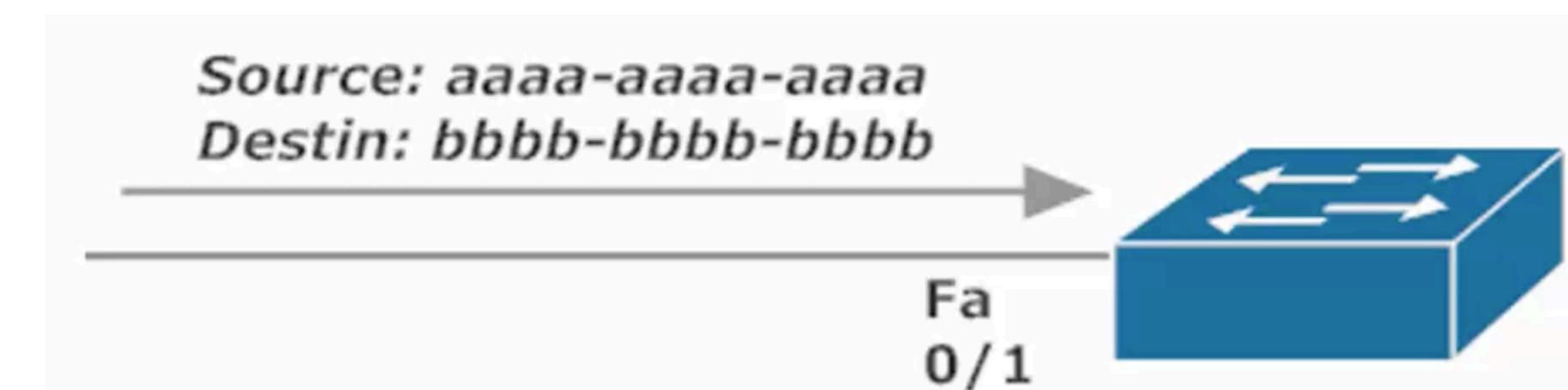


EXEMPLIFICANDO: TABELA MAC

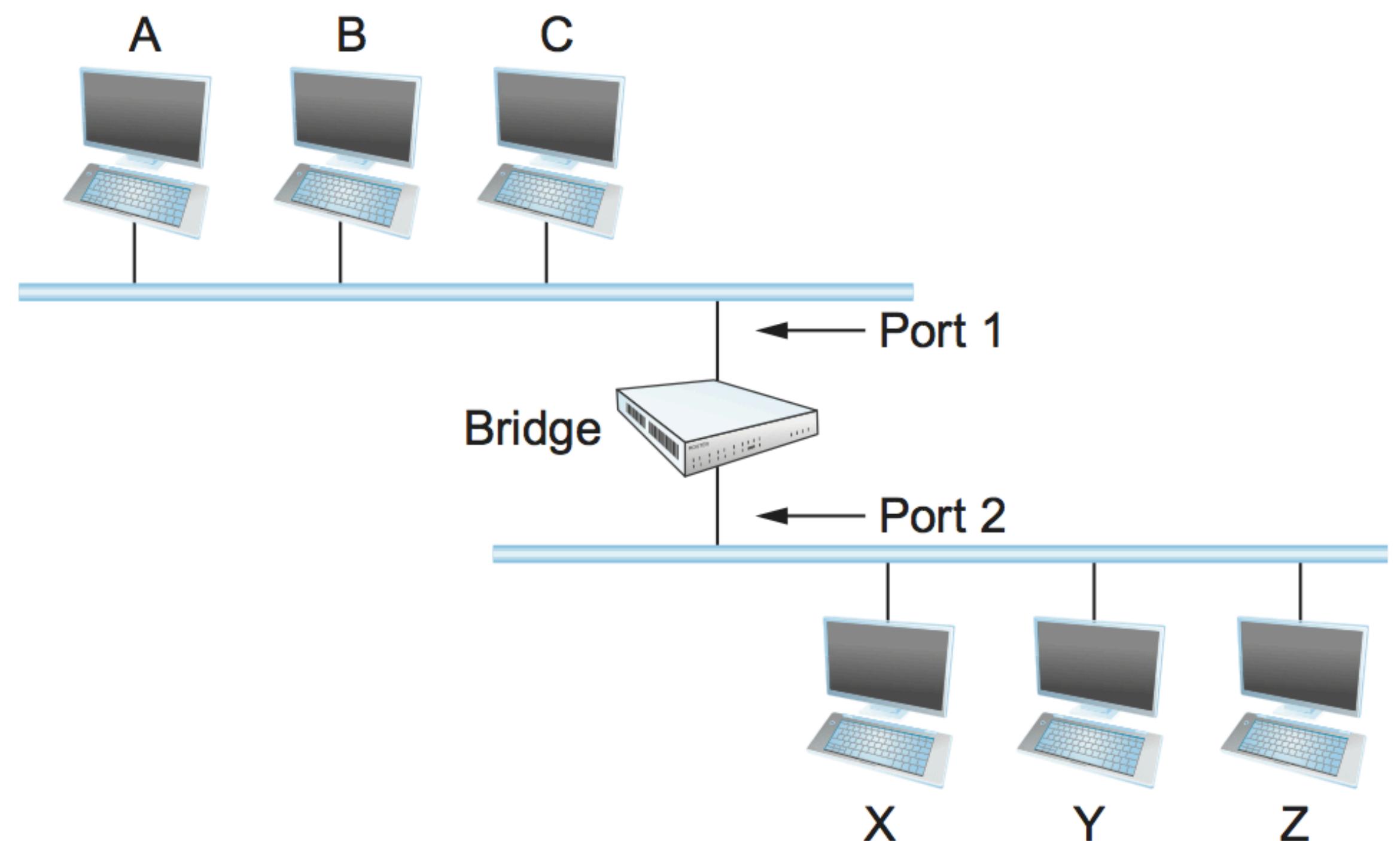
Depois de um tempo...

Mac Address Table				
Vlan	Mac Address	Type	Ports	
1	aaaa.aaaa.aaaa	DYNAMIC	Fa0/1	
1	bbbb.bbbb.bbbb	DYNAMIC	Fa0/1	
1	cccc.cccc.cccc	DYNAMIC	Fa0/2	
1	dddd.dddd.dddd	DYNAMIC	Fa0/3	

Se host A envia para host B, o que o switch faz? filter/drop



EXEMPLIFICANDO: TABELA MAC



Host	Porta
A	1
B	1
C	1
X	2
Y	2
Z	2

FRAMES BROADCAST

Broadcast frames também são enviados a todas as portas (exceto a remetente)

FF-FF-FF-FF-FF-FF

Tabela MAC:

Entradas estáticas = persistentes

Entradas dinâmicas = 5min (300s), *default*

E se eu mudar o dispositivo de porta? Ou se eu desligar?

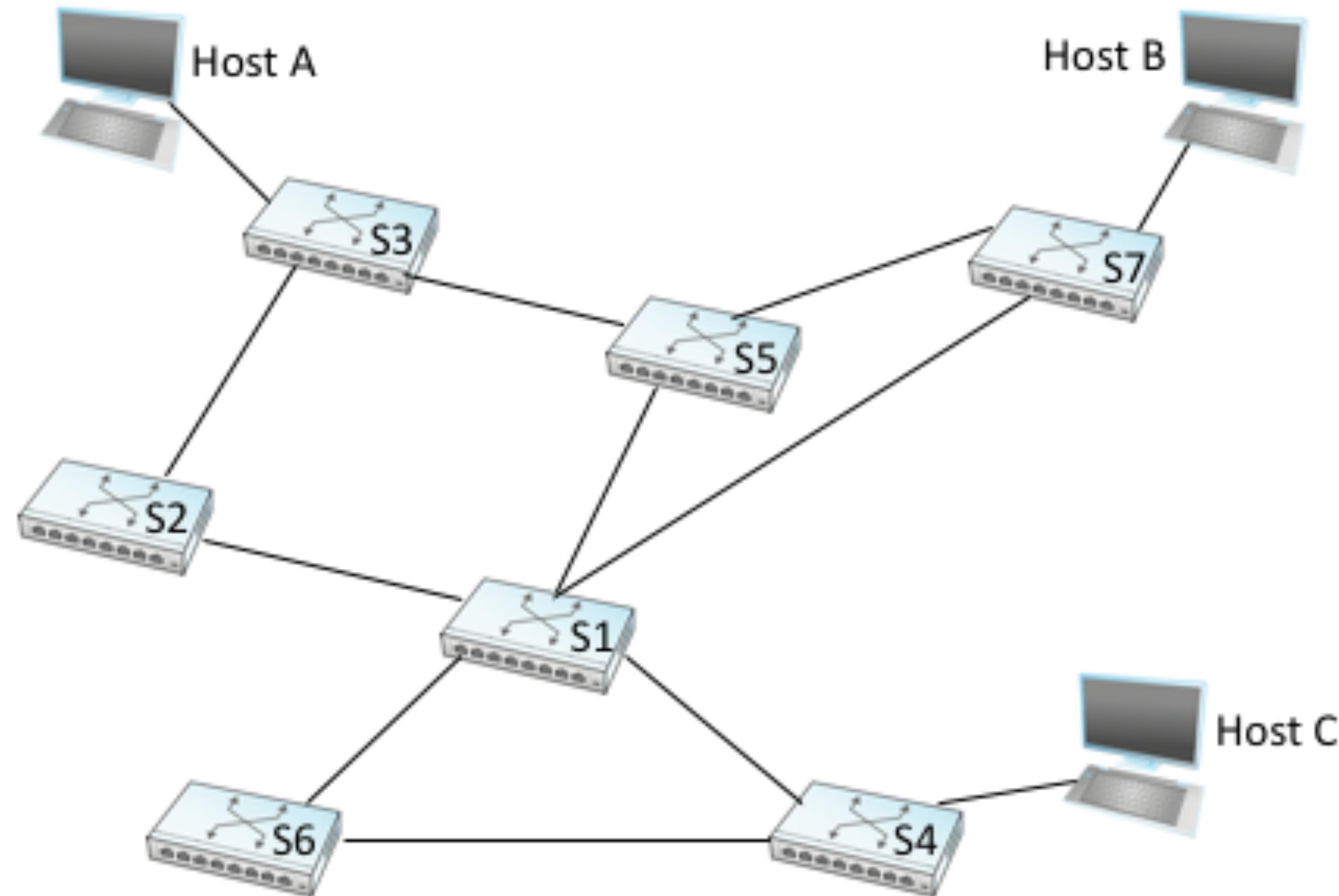
RESUMINDO...

Forwarding acontece quando o switch tem a entrada para o MAC de destino. O quadro será encaminhado somente para a porta indicada na tabela.

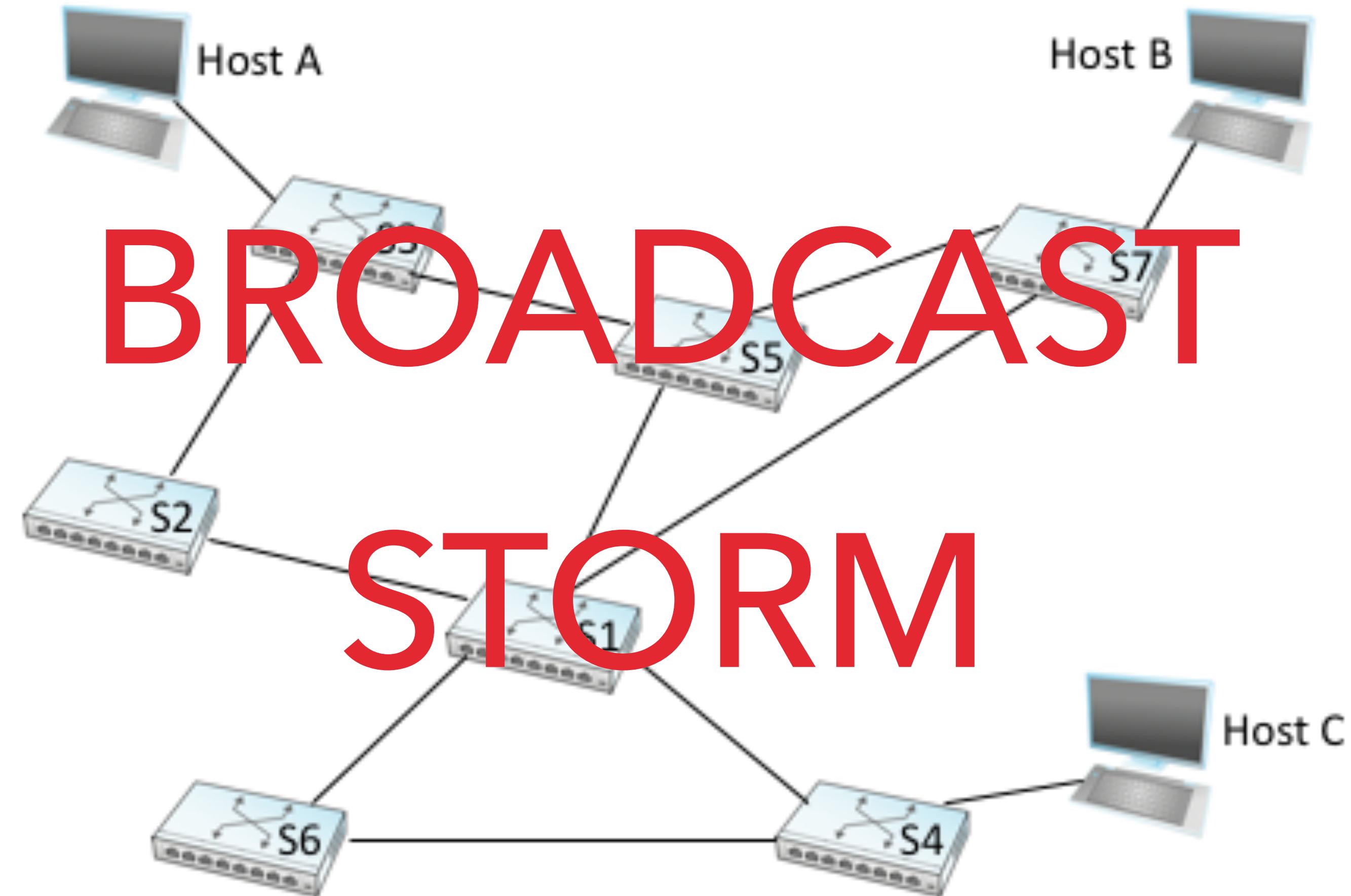
Flooding acontece quando o switch não tem entrada para o MAC de destino. O quadro é enviado para todas as portas, com exceção da porta de origem.

Filter acontece quando o MAC de origem e de destino estão localizados na mesma porta. O quadro é simplesmente descartado.

ENCAMINHAMENTO EM REDES LOCAIS (LAN)



ENCAMINHAMENTO EM REDES LOCAIS (LAN)



COMO EVITAR A TEMPESTA DE BROADCAST?

Se livrar dos loops!