

# **Engenharia de Computação**

# **Redes de Computadores**

## **Aula 2 – parte 1**

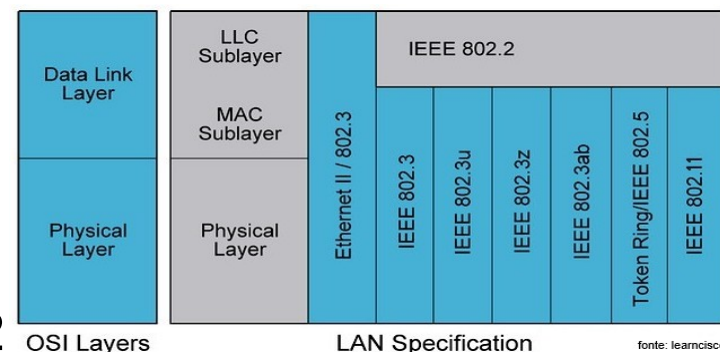
**Prof. Fernando Barreto**

**[informatica-ap@utfpr.edu.br](mailto:informatica-ap@utfpr.edu.br)**

- Equivale à camada Física e Enlace do modelo OSI
- Padronização: IEEE, EIA, ITU-T, ISO, ANSI
- Funções diferenciadas se for LAN, MAN ou WAN
- Funções da camada Física:
  - Transmitir/Receber bits no meio físico usando técnicas de sinalização/codificação de sinais
- Funções da camada de Enlace:
  - Organizar os bits em Frames/Quadros, definindo um início/cabeçalho e um trailer (fim do frame/quadro)
  - Endereçamento físico
  - Pode fornecer controle de erros, controle de fluxo, ser orientado ou não a conexão, confirmação de mensagens ou não.

- IEEE 802 – estabelece padrões para comunicação de equipamentos em LANs, tanto camada física quanto camada de enlace.
- Mais comuns em LANs:
  - 802.1 – VLAN, Bridging, Spanning Tree
  - 802.2 – Link Logical Control
  - **802.3 – Ethernet**
  - 802.11 – Wireless LAN
  - 802.15 – Personal Area Network (PAN)
- Implementado pelas Network Interface Cards (NIC) e Drivers de Rede.

Camada de enlace subdividida em:



## LLC (Logical Link Control) 802.2:

- Subcamada comum entre redes IEEE 802
- Prevê Identificação/Tipo do Protocolo da camada superior (extensão SNAP), e serviços pouco usados (orientado a conexão, controle de fluxo e sequência , pois a camada de transporte fica responsável...)
  - Redes variantes de Ethernet (802.3) em geral não adotam
    - Tipo do Protocolo já está no cabeçalho do Frame/Quadro (Ethernet II)
  - Redes IEEE 802.11 adotam 802.2 SNAP para Tipo do Protocolo

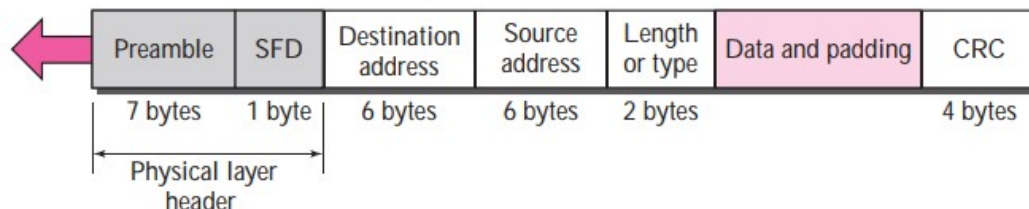
## MAC (Media Access Control):

- Endereçamento físico
- Gerenciamento de Frame/Quadro
  - Cada IEEE 802.?? tem um Quadro/Frame especificado
- Controle de Acesso ao meio conforme a tecnologia de rede local
- Pode oferecer controle de erros, controle de fluxo não confiável

- Ethernet II – DIX Xerox e IEEE 802.3 (1997)

**Preamble:** 56 bits of alternating 1s and 0s.

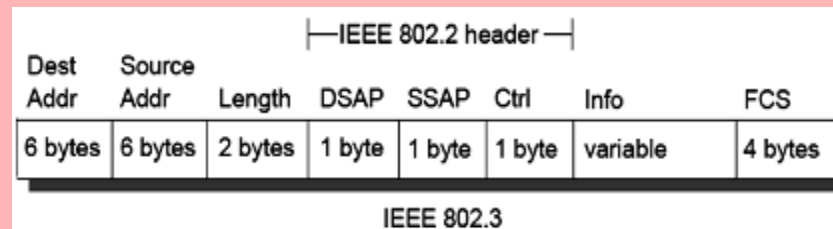
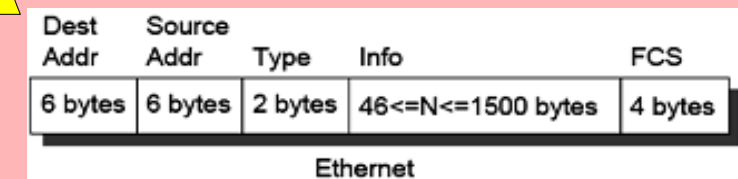
**SFD:** Start frame delimiter, flag (10101011)



- Preâmbulo+SFD:** sincronizar clock no destino + início do Quadro
- MAC Destino e MAC Origem** em hexa com 6 bytes cada
- Length / Type:** 2 bytes (IEEE 802.3 se < 0x0600 [1536]) (EtherType se >= 0x0600)
  - EtherType: <https://www.iana.org/assignments/ieee-802-numbers/ieee-802-numbers.xhtml>
    - 0x0800 (IPv4), 0x86DD (IPv6), 0x0806 (ARP), 0x88CC (LLDP),
- Data:** de 46 bytes (padding com 0s) até máximo 1500 bytes
  - Tam. mín. do Frame é 64 bytes, máx. (MTU) 1518 bytes (Headers,CRC)
    - Uso de extensões podem aumentar (suporte VLANs 802.1q: 1522 bytes)
- CRC:** 4 bytes somente para detecção de erros

**OBS:** Final de Quadro: Ausência de sinal da portadora ou gerar símbolo especial (end of stream delimiter)

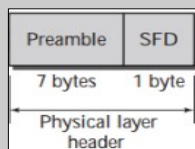
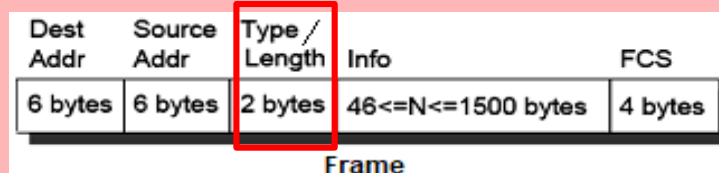
- Ethernet II – DIX Xerox e IEEE 802.3 (1997)



Camada de Enlace

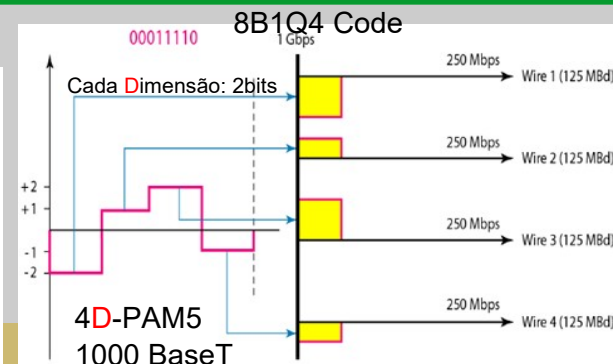
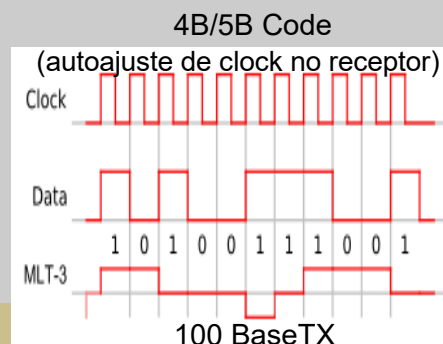
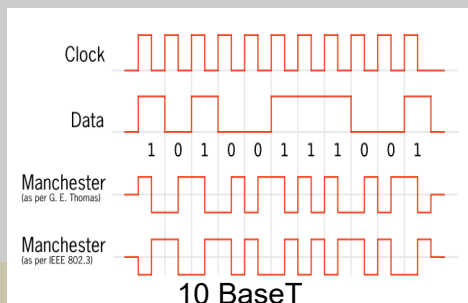
Se  $\geq 0x0600$   
**Type** é EtherType

Se  $< 0x0600$   
**Length** seguido de cabeçalho LLC



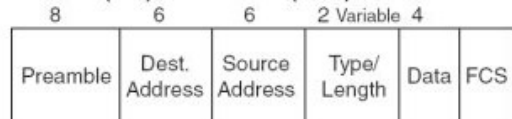
....101001110100010110011010010010011011011011100101001001010.....001100110101011001100100100000111111010110101010101001....

Camada Física

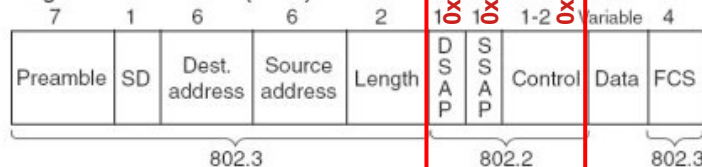


- DSAP (Dest. Service Access Point), SSAP (Source Service A. P.) e Control
  - São de 1 byte cada e sem ID de protocolos da camada superior (IPv4 seria 0x6 – não adotado..., IPv6 nem possui).
  - **Solução:** extensão **SubNetwork Access Protocol (SNAP)**
    - LLC – DSAP e SSAP em **0xAA** → indica extensão SNAP
    - LLC – Control com 1 byte em **0x03** → indica sem conexão, sem confirmação e sem controle fluxo (padrão implementado nas NICs)
    - SNAP – OUI em **0x000000** → campo TYPE é interpretado como **EtherType**

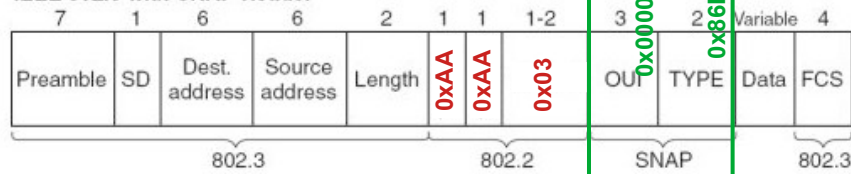
Ethernet (DIX) and Revised (1997) IEEE 802.3



Original IEEE Ethernet (802.3)



IEEE 802.3 with SNAP Header



## IP em Frame Ethernet II

Type: 0x0800 = IPv4 ou 0x86DD = IPv6  
Data: pacote IP (de 46 até 1500 bytes)

## IP em Frame 802.3 + LLC SNAP

Length: tamanho Data < 0x05D4

DSAP: **0xAA** e SSAP: **0xAA** → SNAP

Control: **0x03** (1 byte apenas)

SNAP:

- OUI: **0x000000** (3 bytes) → TYPE é **EtherType**

- TYPE: **0x0800** = IPv4 , **0x86DD** = IPv6 (2 bytes)

Data: pacote IP (de 38 até 1492 bytes)

- **Endereço de Destino e Origem Unicast**
  - Normalmente identifica uma única NIC na rede local
  - 3 bytes iniciais é do **fabricante**
    - Organizational Unique Identifier - **OUI** <http://standards-oui.ieee.org/oui/oui.txt>
  - 3 últimos bytes **gerados pelo fabricante**
  - Exemplo de um OUI pertencente à Cisco: **00-60-2F-3A-07-BC**
    - Analise o endereço MAC da NIC de seu computador e celular !!!
  - OBS sobre o 1º byte (da esquerda p/ direita):
    - 1º bit menos significativo é Individual/Group Bit: se 0 indica Unicast, se 1 indica Multicast
    - 2º bit menos significativo é Local/Global Bit : 0 é Universal (fábrica), 1 é Local (sobrepõe...)
- **Endereço de Destino Broadcast**
  - Todos bits em 1 (FF-FF-FF-FF-FF-FF) – todas as NICs da rede local processam
- **Endereços de Destino Multicast** (1º bit menos significativo em 1)
  - NICs processam **endereço MAC especial** + **últimos bits** do endereço IP
    - IPv4: **01-00-5E-0x-xx-xx** até **01-00-5E-7x-xx-xx** (23 bits IP Multicast 224.0.0.0 a 239.255.255.255)
    - IPv6: **33-33-xx-xx-xx-xx** (últimos 32 bits de IPv6 Multicast FF00::/8)



- Combinações dos 2 bits do 1º byte
  - IEEE aloca 3 primeiros bytes para fabricantes com bit universal e bit de grupo, ambos em 0
  - IEEE (<https://standards.ieee.org/wp-content/uploads/import/documents/tutorials/eui.pdf>): "NOTE – Approximately 18 organizational identifiers assigned to early Ethernet implementers, before IEEE 802.3 standards have the (universal) bit equal to one", ou seja Local...

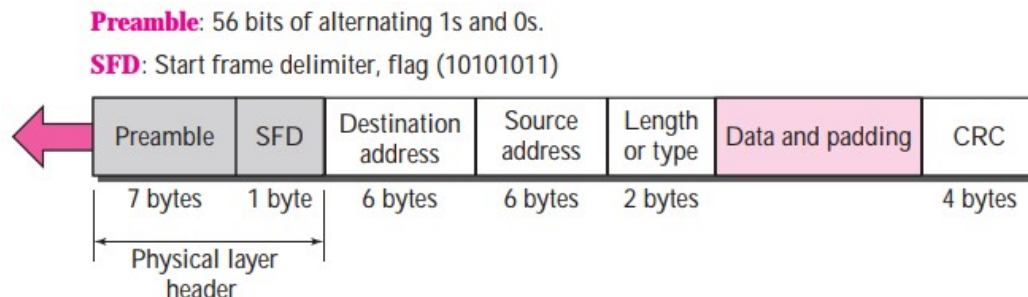
Universal/Local and Individual/Group bits in MAC addresses

I/G \ U/L	Universally administered	Locally administered
<b>Unicast (individual)</b>	x0-xx-xx-xx-xx-xx x4-xx-xx-xx-xx-xx x8-xx-xx-xx-xx-xx xC-xx-xx-xx-xx-xx	x2-xx-xx-xx-xx-xx x6-xx-xx-xx-xx-xx xA-xx-xx-xx-xx-xx xE-xx-xx-xx-xx-xx
<b>Multicast (group)</b>	x1-xx-xx-xx-xx-xx x5-xx-xx-xx-xx-xx x9-xx-xx-xx-xx-xx xD-xx-xx-xx-xx-xx	x3-xx-xx-xx-xx-xx x7-xx-xx-xx-xx-xx xB-xx-xx-xx-xx-xx xF-xx-xx-xx-xx-xx

Fonte: wikipedia

- Endereços MAC de grupo padronizados:
  - <https://standards.ieee.org/products-programs/regauth/grpmac/public/>
- Endereços MAC randomizados (geralmente usados em hosts WiFi):
  - Possuem os bits Unicast em 0 e Locally administered em 1
  - Privacidade e evitar rastreamento ( porém não uma padronização: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/randomized-changing-mac-dg.html> )

## • Transmissão do Frame



- 1º é o Preâmbulo + SFD (ordem da seta na imagem acima...)
- Seguido dos campos: Destination Address, Source Address, Length/Type, Data, CRC
  - Byte/Octeto mais significativo de cada campo é transmitido primeiro
    - De cada byte/octeto a ser transmitido, o bit menos significativo é transmitido primeiro [seções 3.1.1, 3.2.3, 3.2.6 e 3.3 da IEEE 802.3]
  - Exemplo de Destination Address: **01-00-5E-01-23-45**
    - Transmissão dos bits: **10000000-00000000-01111010-10000000-11000100-10100010**
      - Observe que o 1º bit menos significativo do 0x**01** da estrutura do MAC address é transmitido primeiro, já sinalizando ao receptor se é unicast/multicast, e o 2º bit indica global/local
- InterPacket Gap
  - Intervalo entre transmissões de frame: 96bits (tempo que levaria para transmitir 96 bits no meio - conforme velocidade da tecnologia...)

## Preamble

Serve as a clock synchronisation mechanism and demonstrates the pace of arriving data. Repeats seven 10101010 (0xAA) patterns long enough for the receiver to set its clock. Ends with a **Start Frame Delimiter** 10101011 (0xAB) pattern which informs the physical layer that a data-link layer frame "is coming".

## Payload & Padding

Contains upper layer (layers 3 through 7) protocol data. Padding is required if payload < 46 bytes to ensure a 64 byte frame in order for CSMA/CD to function correctly.  $n = 42 - 1500$  when 802.1Q tag is present and  $46 - 1500$  when not present.

## Trailer

Error Checking. Ethernet uses Cyclical Redundancy Check (CRC).

## Interframe Gap

Pause between frames. Used for receiver clock recovery. Varies between standards but min. gap is 96 bit times (Time it takes to transfer 96 bits/12 bytes of data).



## Min. Frame Size

Header	14 bytes
Payload/Padding	46 bytes
Trailer	4 bytes
<b>Total</b>	<b>64 bytes</b>

## Max. Frame Size

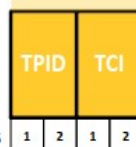
Header w/802.1q tag	18 bytes
Payload	1500 bytes
Trailer	4 bytes
<b>Total</b>	<b>1522 bytes</b>

## MAC Fields



## Type / Length

If value of field is < 1500 (0x5DC) then **802.3 frame** is assumed and field value specifies **true length** of frame. If value of field is >= 1536 (0x0600) then **Ethernet II or DIX frame** is assumed and field value specifies **type** of upper layer protocol expected in payload. Common Values are IPv4 - 0x0800 (2048), IPv6 - 0x86DD (34525), and ARP - 0x0806 (2054).



## Tag Protocol Identifier

Always set to 0x8100 to identify that 802.1Q tag is present.

## Tag Control Information



## Universal/Local (UL) Bit

0: Universally Administered  
1: Locally Administered

## Individual/Group (IG) Bit

0: Individual (Unicast)  
1: Group (Multicast/Broadcast)

## Priority Code Point

802.1p (CoS) value. Indicates the frame priority level. 7 = highest, 0 = lowest.

## Drop Eligibility Indicator

Indicate whether frame is eligible to be dropped in times of congestion. Always set to '0' on Ethernet only networks.

## VLAN ID

Specifies which VLAN the frame belongs to. Permitted values are 1-4095 (0 & 4096 are reserved).

- Informações sobre a placa de rede:
  - `sudo lshw -class network`
- Para alterar alguma configuração da placa de rede Ethernet:
  - `sudo ethtool enp1s0`

- Wireshark
  - Analisar tráfego na interface de placa de rede do laboratório: **enp1s0**
    - Como são apresentadas as estruturas dos Frames ?
      - Quais os Frames identificados/classificados ?
      - Como o Wireshark realiza essa classificação ?
    - Há Frames de Broadcast e Multicast ?
    - Há Frames direcionados ao MAC address de sua placa de rede ?
    - Testes: geração de Frames Ethernet com PackETH

- Cisco

- OUI proprietário do vendedor com registro **00:00:0C**
- Ex: protocolo CDP , que serve para descobrir informações do hardware, software e outros detalhes de dispositivos Cisco vizinhos.

- show cdp neighbors

- Usa 802.2 LLC e SNAP:

- DSAP e SSAP: **0xAA**

- Controle: **0x03**

- SNAP:

- Org ID da Cisco **0x00000C** (IANA OID Cisco - <https://www.iana.org/assignments/ieee-802-numbers/ieee-802-numbers.xhtml>)
    - TYPE **0x2000** (<https://wiki.wireshark.org/CDP>)
    - <https://learningnetwork.cisco.com/s/article/cisco-discovery-protocol-cdp-x>

## Observar com Wireshark

MAC **Multicast**: **01:00:0C:CC:CC:CC**, onde **00:00:00C** é um OUI da Cisco. Ao ativar o bit menos significativo no 1º byte: 0x0**1** , indica ser multicast.

802.2 LLC com SNAP

- Link Layer Discovery Protocol (LLDP)
  - Alternativa padronizada de descobrimento das informações dos ativos de rede em relação aos protocolos proprietários (ex: CDP da Cisco)
  - Frame:
    - MAC destino multicast: 01:80:c2:00:00:0e
    - EtherType: 0x88cc
    - Contém informações sobre o equipamento (desde hardware, software, configuração de portas,...) e de qual porta recebeu o Frame



- ▼ Ethernet II, Src: Cisco\_64:c4:91 (0c:d0:f8:64:c4:91), Dst: LLDP\_Multicast (01:80:c2:00:00:0e)
  - ▼ Destination: LLDP\_Multicast (01:80:c2:00:00:0e)
    - Address: LLDP\_Multicast (01:80:c2:00:00:0e)
      - .... ..0. .... = LG bit: Globally unique address (factory default)
      - .... ..1. .... = IG bit: Group address (multicast/broadcast)
  - ▼ Source: Cisco\_64:c4:91 (0c:d0:f8:64:c4:91)
    - Address: Cisco\_64:c4:91 (0c:d0:f8:64:c4:91)
      - .... ..0. .... = LG bit: Globally unique address (factory default)
      - .... ..0. .... = IG bit: Individual address (unicast)
    - Type: 802.1 Link Layer Discovery Protocol (LLDP) (0x88cc)
    - Trailer: 100000
  - ▼ Link Layer Discovery Protocol
    - ▶ Chassis Subtype = MAC address, Id: 0c:d0:f8:64:c4:80
    - ▶ Port Subtype = Interface name, Id: Fa0/17
    - ▶ Time To Live = 120 sec
    - ▶ System Name = Switch
    - ▼ [truncated]System Description = Cisco IOS Software, C2960 Software (C2960-LANBASEK9-M), Version 15.2(4)E8, RELEASE SOF1
      - 0000 110. .... = TLV Type: System Description (6)
      - .... ..0 1111 0010 = TLV Length: 242
      - System Description [truncated]: Cisco IOS Software, C2960 Software (C2960-LANBASEK9-M), Version 15.2(4)E8, RELEASE SC
    - ▶ Port Description = FastEthernet0/17
    - ▶ Capabilities
      - ▶ Telecommunications Industry Association TR-41 Committee - Media Capabilities
      - ▶ Telecommunications Industry Association TR-41 Committee - Inventory - Hardware Revision
      - ▶ Telecommunications Industry Association TR-41 Committee - Inventory - Software Revision
      - ▶ Telecommunications Industry Association TR-41 Committee - Inventory - Manufacturer Name
      - ▶ Telecommunications Industry Association TR-41 Committee - Inventory - Model Name
      - ▶ Telecommunications Industry Association TR-41 Committee - Network Policy
      - ▶ Telecommunications Industry Association TR-41 Committee - Network Policy
      - ▶ Telecommunications Industry Association TR-41 Committee - Extended Power-via-MDI
    - ▶ IEEE - Port VLAN ID
    - ▼ Ieee 802.3 - MAC/PHY Configuration/Status
      - 1111 111. .... = TLV Type: Organization Specific (127)
      - .... ..0 0000 1001 = TLV Length: 9
      - Organization Unique Code: 00:12:0f (Ieee 802.3)
      - IEEE 802.3 Subtype: MAC/PHY Configuration/Status (0x01)
        - ▶ Auto-Negotiation Support/Status: 0x03
        - ▶ PMD Auto-Negotiation Advertised Capability: 0x6c00
        - ▶ Same in inverse (wrong) bitorder
        - Operational MAU Type: 100BaseTXFD - 2 pair category 5 UTP, full duplex mode (0x0010)
    - ▶ End of LLDPDU

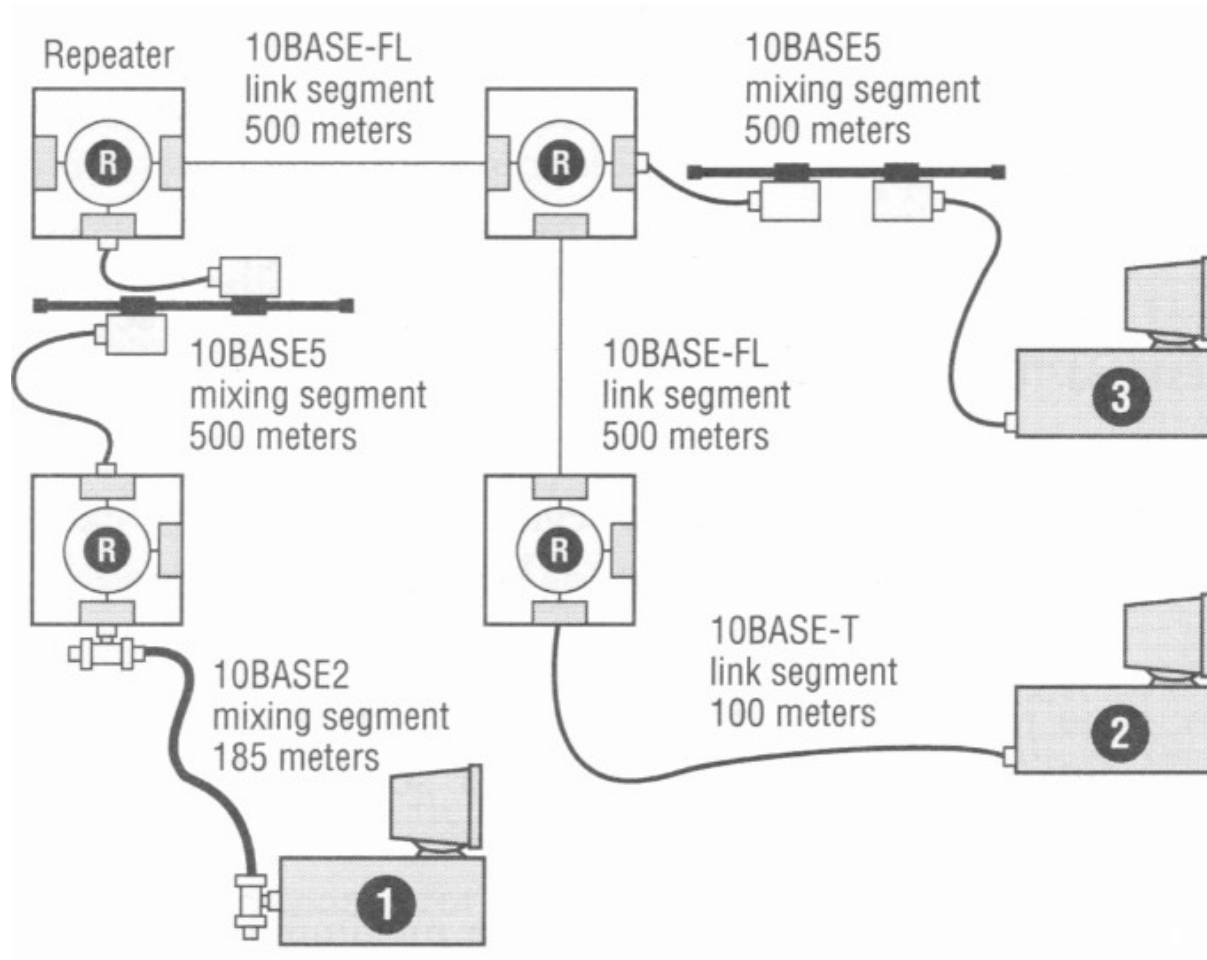


- Wireshark
  - Análise de tráfego CDP e LLDP gerado por equipamentos da CISCO
    - Como ele aparece ?
  - Apareceu algum tráfego diferente do professor ?

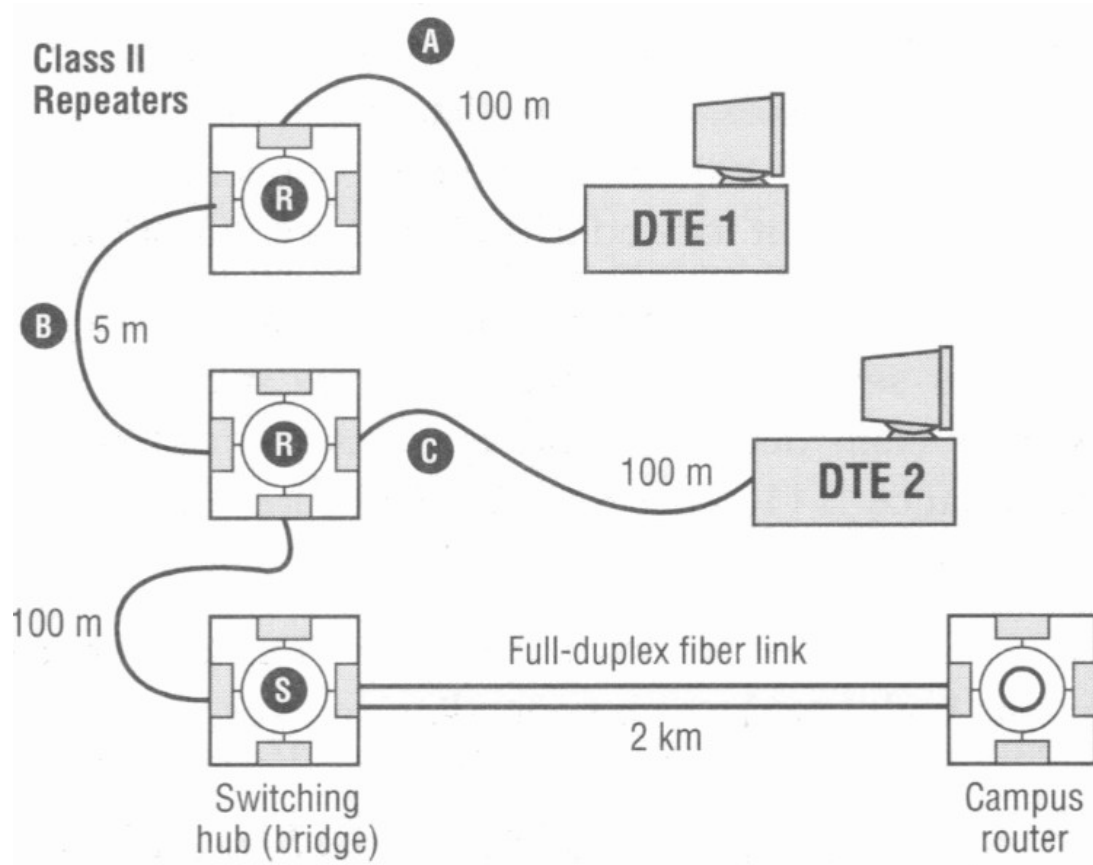
## Auto-negociação: velocidade e qual padrão duplex...

- **Half-Duplex** (redes multiacesso - Repetidor/Hub)
  - **Carrier Sense Media Access/Collision Detection (CSMA/CD)**
    - Verificar se o meio físico está ocupado, se estiver deve esperar até que fique ocioso para então transmitir. Se houver uma colisão (pelo menos duas máquinas detectaram que o meio está ocioso e transmitiram) as estações continuam transmitindo (JAM) até atingir o tamanho mínimo do Frame, interrompem a transmissão, esperam um tempo aleatório e começam novamente.
  - Tamanho mínimo do Frame em 64 bytes: tempo para todas as máquinas detectarem uma colisão. Limita o tamanho da rede.
    - 10Base[2, 5, T, FL] : máximo 5 segmentos de rede , 4 Hubs (IEEE 802.3-2018 section 1, pg. 379)
    - 100BaseT: máximo 2 Hubs com máximo de 205 metros entre dispositivos finais ou intermediários (IEEE 802.3-2018 section 2, pg. 336 , tabela 29-2)
    - 1000BaseT: máximo 1 Hub com máximo de 200 metros entre dispositivos finais ou intermediários (IEEE 802.3-2018 section 3, pg. 320 , tabela 42-2)

- Half-Duplex (10Base[2,5,T, FL])
  - Máximo 2500m



- Half-Duplex (100BaseT – 802.3u)
  - Máximo 205m

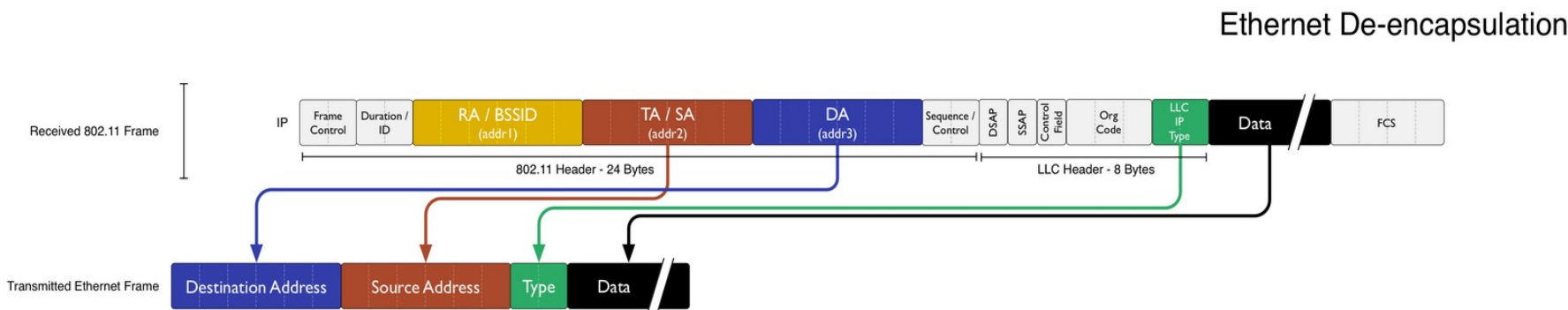
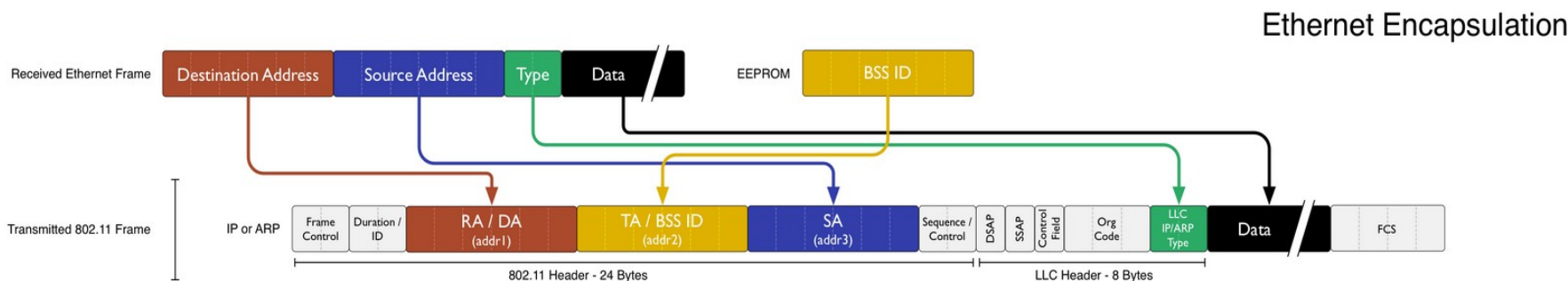


- Mais informações sobre cabeamento 802.3, pinos, conectores/plugs podem ser encontradas nesse site:
- <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/routers/10000-series-routers/46792-ethbase.html>

- **Full-Duplex**

- Padrão adotado pelas variações IEEE 802.3 atuais
- Não é necessário adotar **CSMA/CD**
  - Tamanho limite da rede: uso de switches – especificação do cabo ou padrão adotado de fibra
- Padrão inicial Full-Duplex foi IEEE 802.3x
  - Controle de Fluxo: MAC Control Frame (EtherType 0x8808)
    - Endereço de Destino Multicast especial: **01-80-C2-00-00-01** , switch recebe e não é repassado a outras portas
      - » Útil entre switches com múltiplos tráfegos (portas como tronco de dados... )
    - **MAC Control Opcode**: 2 bytes (permite usos no futuro...)
      - » Opcode de Controle de Fluxo **PAUSE 0x0001**
      - » Seguido de 2 bytes: informa quanto tempo de PAUSE
      - » Switch que foi sinalizado atrasará o envio dos frames...

- Opera na camada 2 (exceção sw3)
  - Converte entre tecnologias MACs diferentes (ex: 802.3 ↔ 802.11)



- Geralmente mantém equipamentos em Full-duplex
- Mantém uma tabela que relaciona 1 ou + endereços MAC com uma porta do switch
- Gerencia tabela de MAC address para comutar/encaminhar
  - Se Frame com MAC destino não existente na tabela, ou Broadcast, ou Multicast, comuta-se para todas as portas do switch (exceto para a porta que o Frame chegou)
  - Aprendizado por demanda (todo Frame que chega, o switch analisa o MAC origem para registrar na tabela em que porta está)
    - Tempo de permanência na tabela (geralmente 5min se não atualizar..)
    - Recursos: definir entrada explicitamente, filtros (se hardware permitir...)
  - Se Frame com MAC destino existente na tabela, encaminha para a porta registrada



- Comutação store-and-forward
  - Recebe o Quadro inteiro, calcula o CRC (descarta se tiver erros) para depois encaminhar para a porta correta com base no MAC destino.
    - Útil em cenários com QoS configurado
- Comutação cut-through
  - Recebe parcialmente o Quadro, obtém o MAC destino, e inicia o encaminhamento para a porta correta. Não verifica CRC.
    - Fast-Forward: encaminha imediatamente após ler o MAC de destino. Menor latência (mais rápido e o mais adotado)
    - Fragment Free: armazena os primeiros 64bytes do quadro antes de encaminhar (possibilita detectar colisão)
- Possibilidade de Loops em links redundantes
  - Frame com MAC destino não existente na tabela MAC (ou broadcast/multicast) é encaminhado para todas as portas (menos a que chegou). Se existe circuito na rede, cria-se um loop
    - Spanning Tree Protocol (STP) ou Shortest Path Bridging (SPB) – IEEE 802.1aq

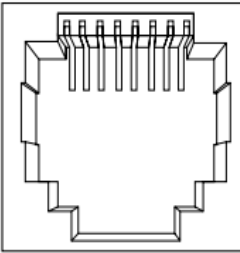
- Buffers de memória dos switches

## Memory Buffering Methods

Método	Descrição
<b>Memória por porta</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Os quadros são armazenados em filas vinculadas a entradas e portas de saída.</li><li>• Um quadro é transmitido para a porta de saída somente quando todos os quadros à frente na fila foram transmitidos com sucesso.</li><li>• É possível para um único quadro atrasar a transmissão de todos os quadros na memória devido a uma porta de destino ocupada.</li><li>• Esse atraso ocorre mesmo que os outros quadros possam ser transmitidos para portas de destino abertas.</li></ul>
<b>Memória compartilhada</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deposita todos os quadros em um buffer de memória comum compartilhado por todos os switches e a quantidade de memória de buffer necessária por uma porta é alocada dinamicamente.</li><li>• Os quadros no buffer são vinculados dinamicamente ao destino permitindo que um pacote seja recebido em uma porta e, em seguida, transmitida em outra porta, sem movê-la para uma fila diferente.</li></ul>

- Tipo de cabo a ser utilizado para interligar interfaces
- Para Ethernet (MDI-X)
  - Permite ajustar automaticamente a interface conforme o tipo de cabo usado para interligar equipamentos
    - Cisco: na interface utilizar "mdi auto"
    - Cisco: ativado por padrão no IOS 12.2(18)SE ou superior
  - Se não tiver o auto MDI-X definido, atenção:
    - Crossover/Cruzado: 568A – 568B
    - Straight/Direto: 568A – 568A ou 568B – 568B

	Hub	Switch	Router	Workstation
Hub	Crossover	Crossover	Straight	Straight
Switch	Crossover	Crossover	Straight	Straight
Router	Straight	Straight	Crossover	Crossover
Workstation	Straight	Straight	Crossover	Crossover

Pin	Label	1 2 3 4 5 6 7 8
1	TP0+	
2	TP0-	
3	TP1+	
4	TP2+	
5	TP2-	
6	TP1-	
7	TP3+	
8	TP3-	



Fone: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/routers/10000-series-routers/46792-ethbase.html>

- Cabo Rolled/Console RJ45 – todos os pinos invertidos

- Aula IOS
- Laboratório PacketTracer
  - Criar uma LAN com 2 switches de nomes swA e swB, interligados com 1 cabo gigabit ethernet
    - swA terá IP 192.168.0.1 e netmask 255.255.255.0
    - swB terá IP 192.168.0.2 e netmask 255.255.255.0
    - Senhas (definir por último para facilitar configuração inicial):
      - EXEC do usuário (Console será "cisco" e SSH será user "cisco" e senha "cisco")
      - EXEC privilegiado será "aula"
      - Adicionar mais recursos de segurança, conforme aula de IOS
  - Criar alguns PCs para se conectar a esses switches
    - Cada PC com um IP entre 192.168.0.(10 até 30) netmask 255.255.255.0
  - Práticas:
    - Quais tipos de cabos deverão ser usados ?
    - Como acessar os switches através do console ?
    - Como acessar os switches através de VTY ?