

REDES LOCAIS



ARQUITETURA DE REDES LOCAIS

Prof. William F. Giozza

giozza@unb.br

2021.1

ARQUITETURA DE LAN



Local Area Network (LAN)

Conceituação

Tipos de Redes Locais

Arquitetura de Referência

OBJETIVOS DAS LANS

COMPARTILHAMENTO

- Informação
 - dados, processos etc
- recursos
 - hardware, software, banda passante etc

COMUNICAÇÃO

- acesso a banco de dados, servidores etc
- mensagens interpessoal, inter-processos etc
- Acesso à Internet

CONCEITUAÇÃO DE LAN

IEEE 802

- **rede de comunicação “broadcast”**
 - transporte de quadros (*frames*) através de meio compartilhado
- **estações heterogêneas**
 - PCs, notebooks, impressoras, periféricos, terminais, etc
- **escopo geográfico local**
 - prédio, *campus*, fábrica
- OUTRAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES
 - autonomia das estações
 - domínio privado

TIPOS DE LAN

■ EXTENSÃO (geográfica e funcional)

- Departamentais
- Backbone

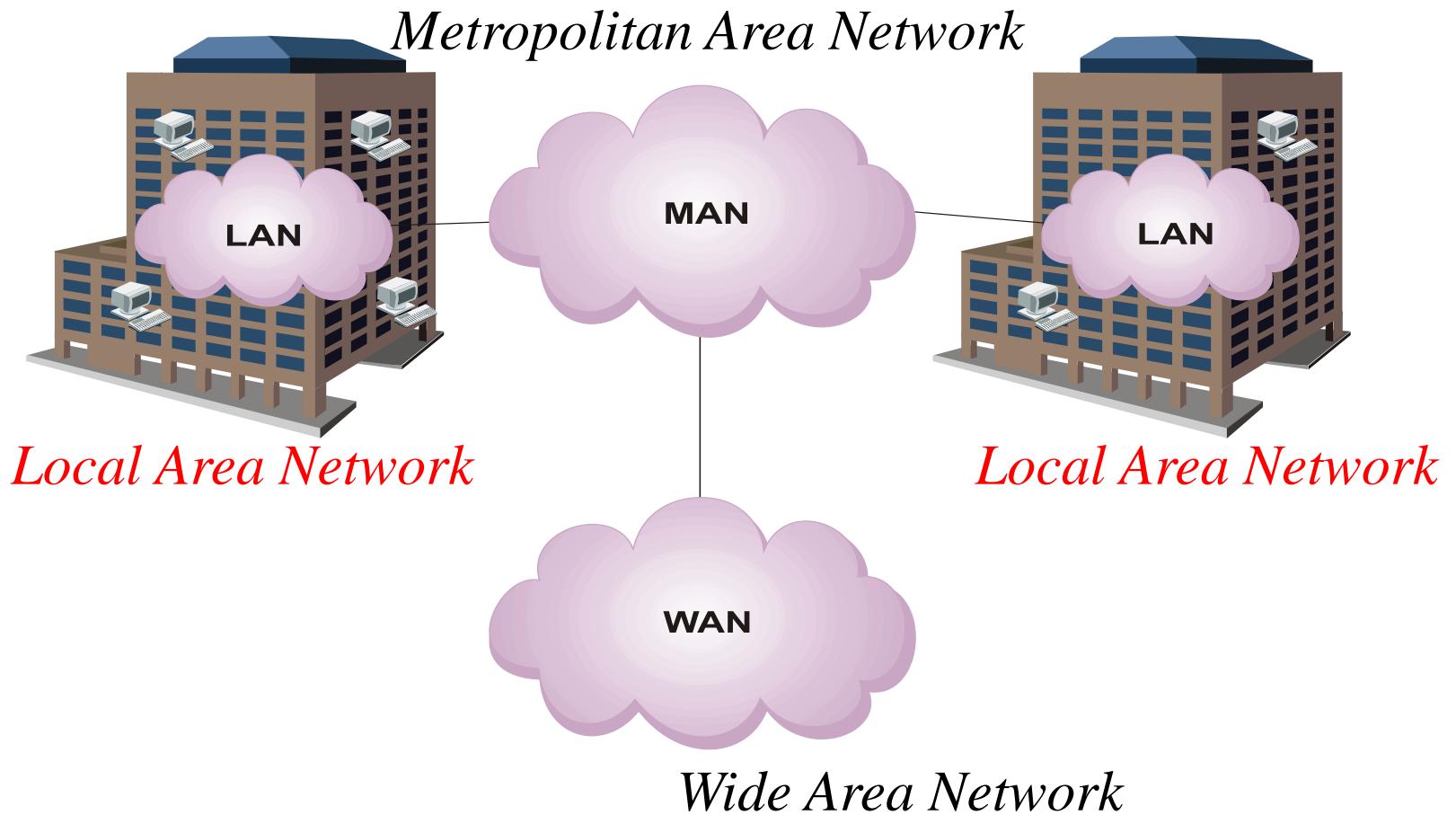
■ SERVIÇOS (aplicações)

- dados, voz, áudio, vídeo
- “integração”

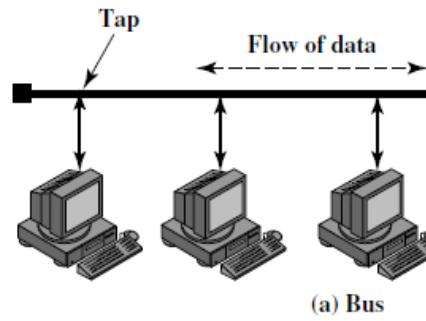
■ TECNOLOGIAS

- meios físicos, protocolos de acesso, etc
- **Cabeadas x Sem Fio**

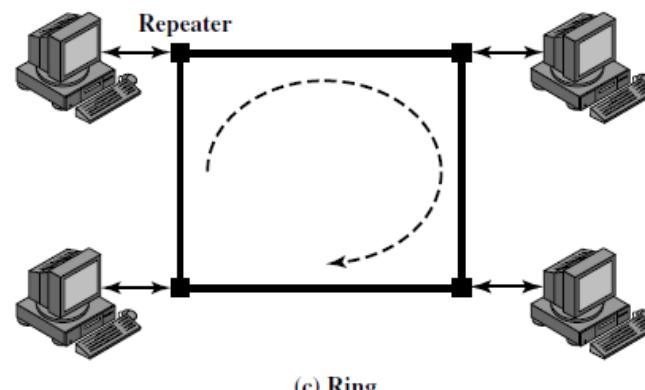
LAN / MAN/ WAN



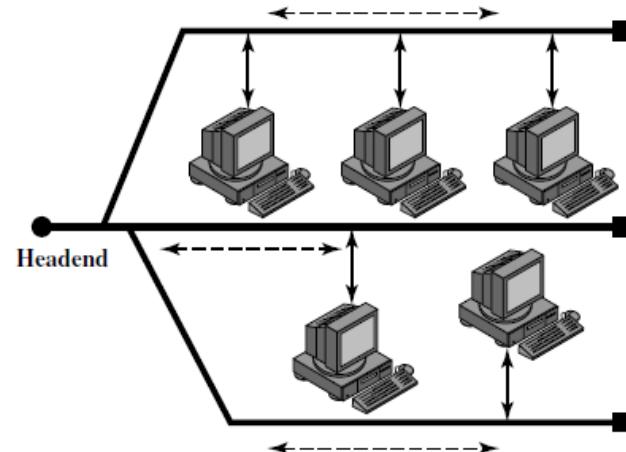
TOPOLOGIAS DE LAN



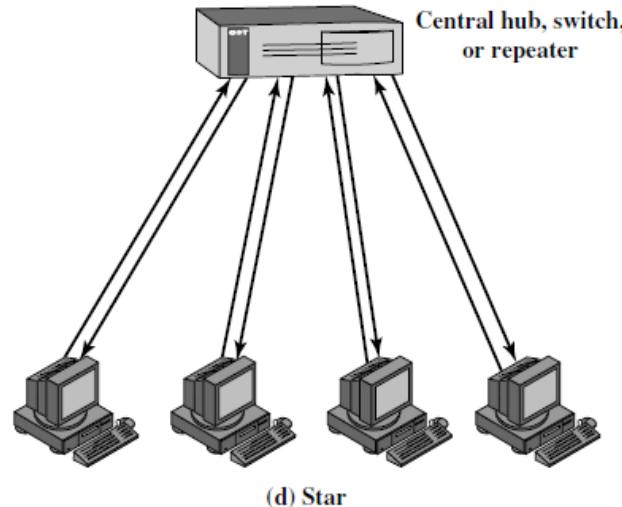
(a) Bus



(c) Ring

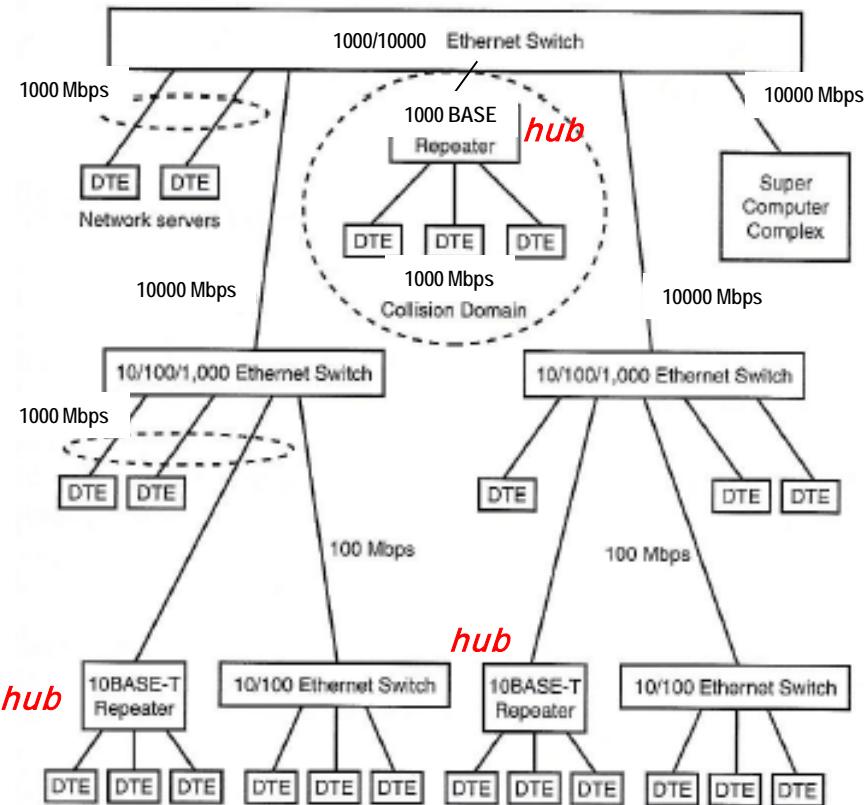


(b) Tree

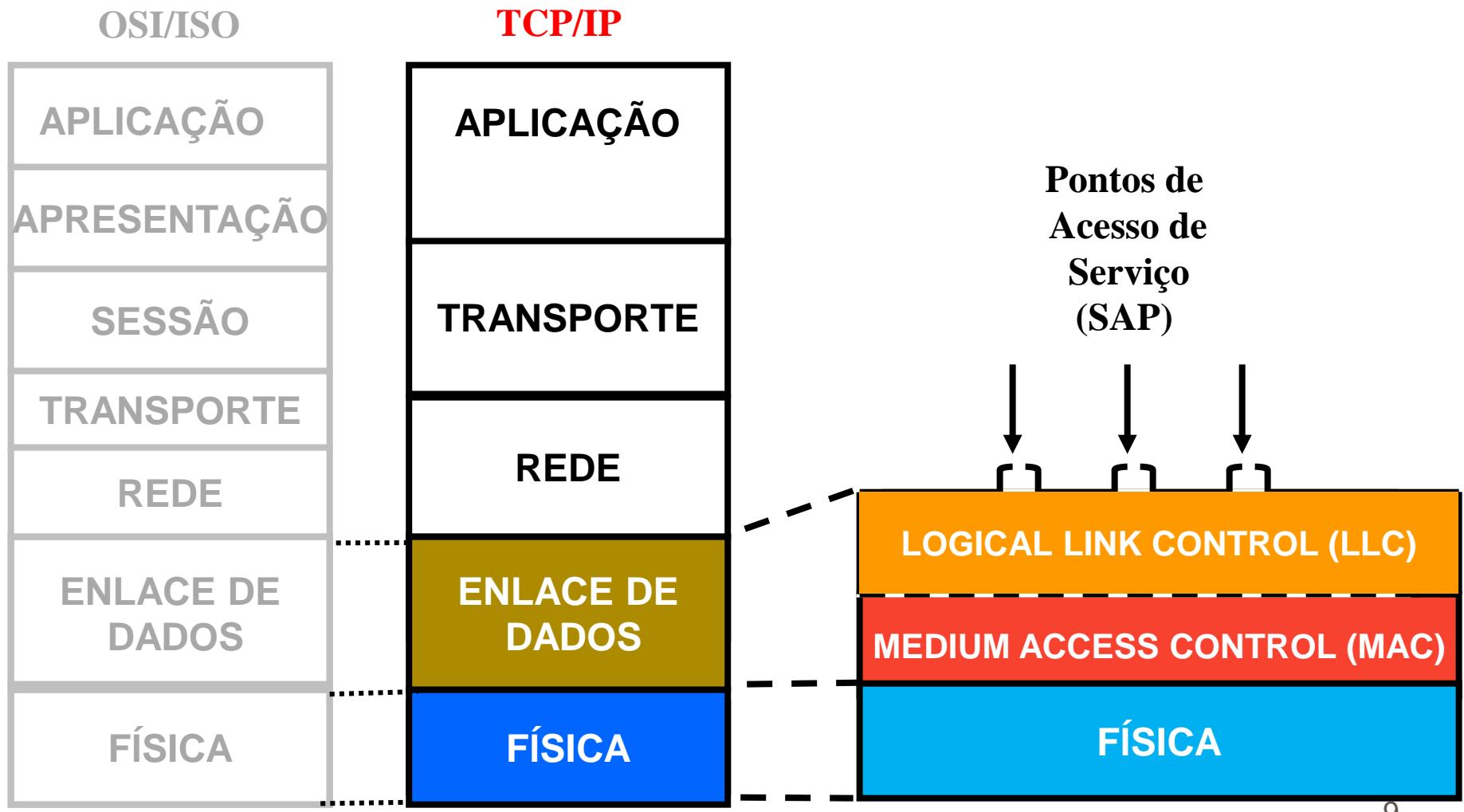


(d) Star

ÁRVORE HIERÁRQUICA

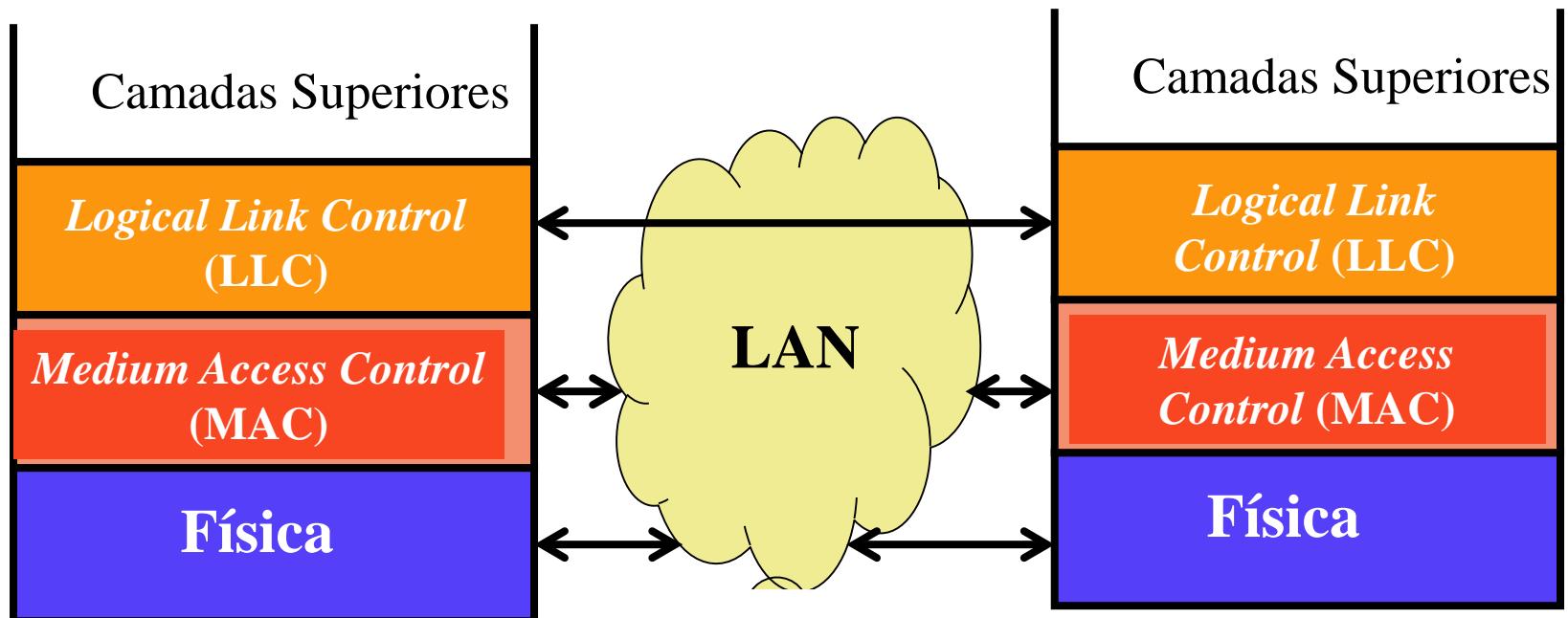


ARQUITETURAS



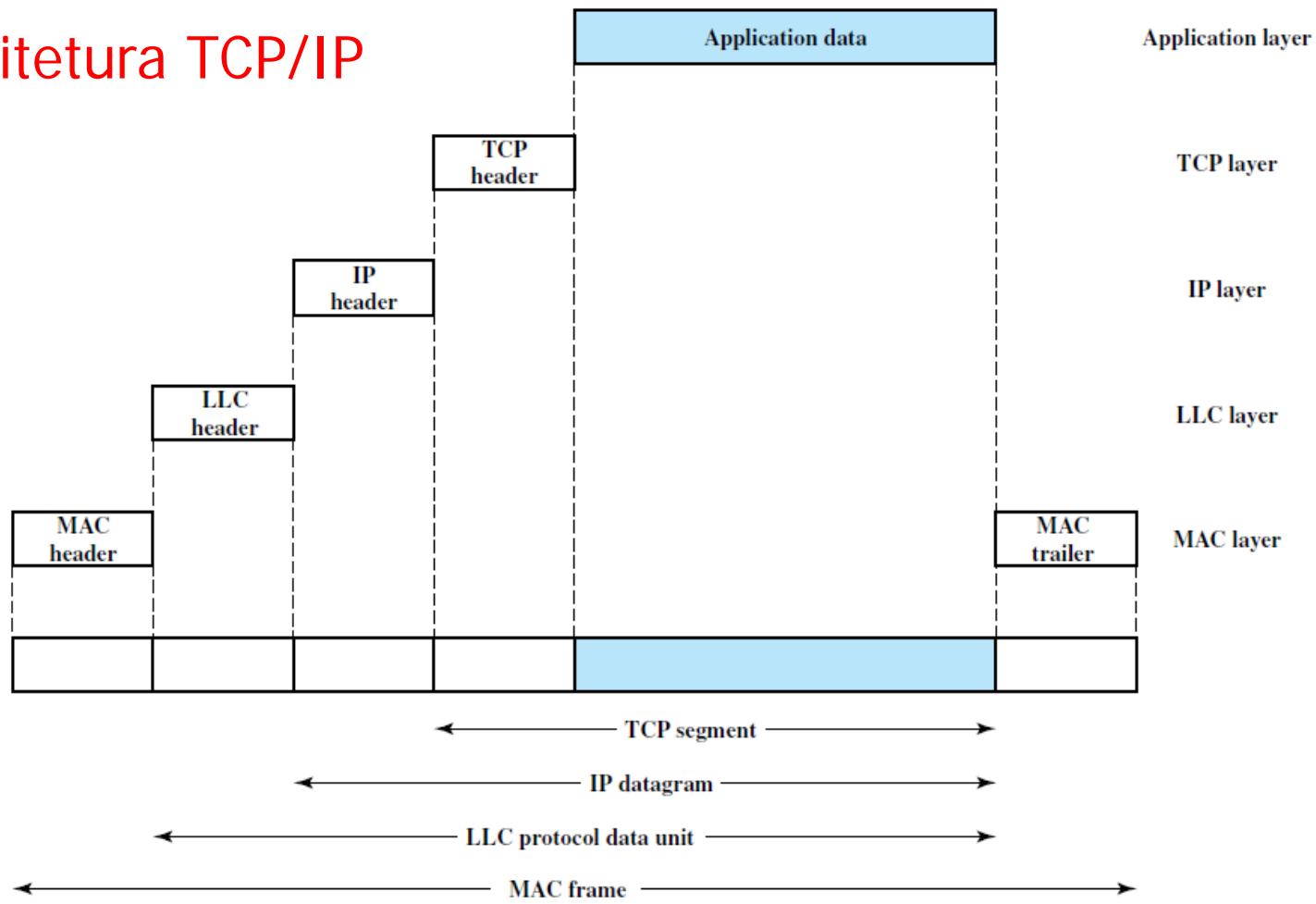
ARQUITETURA IEEE 802

IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*)



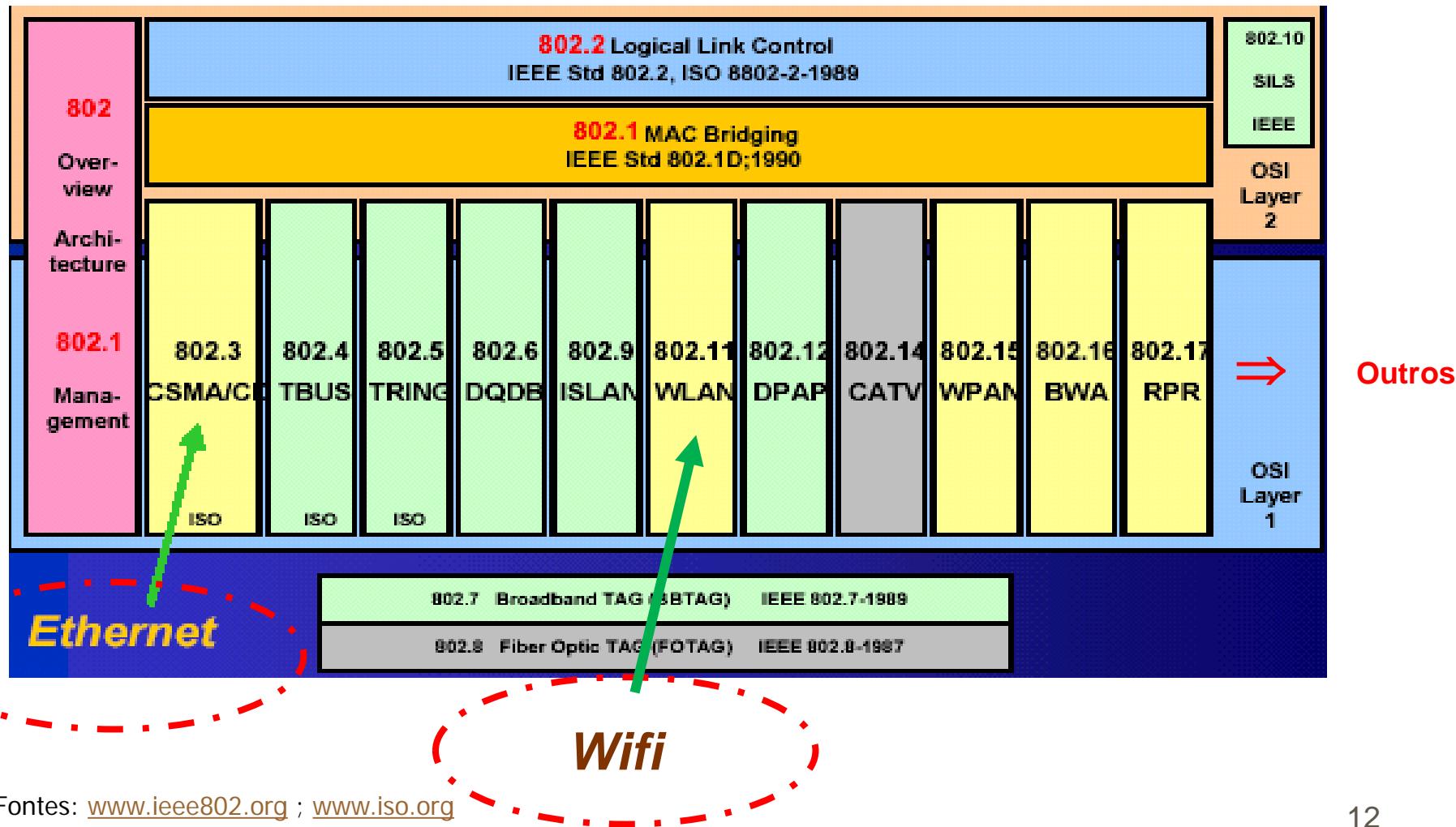
PROTOCOL DATA UNITS (PDUs)

Arquitetura TCP/IP

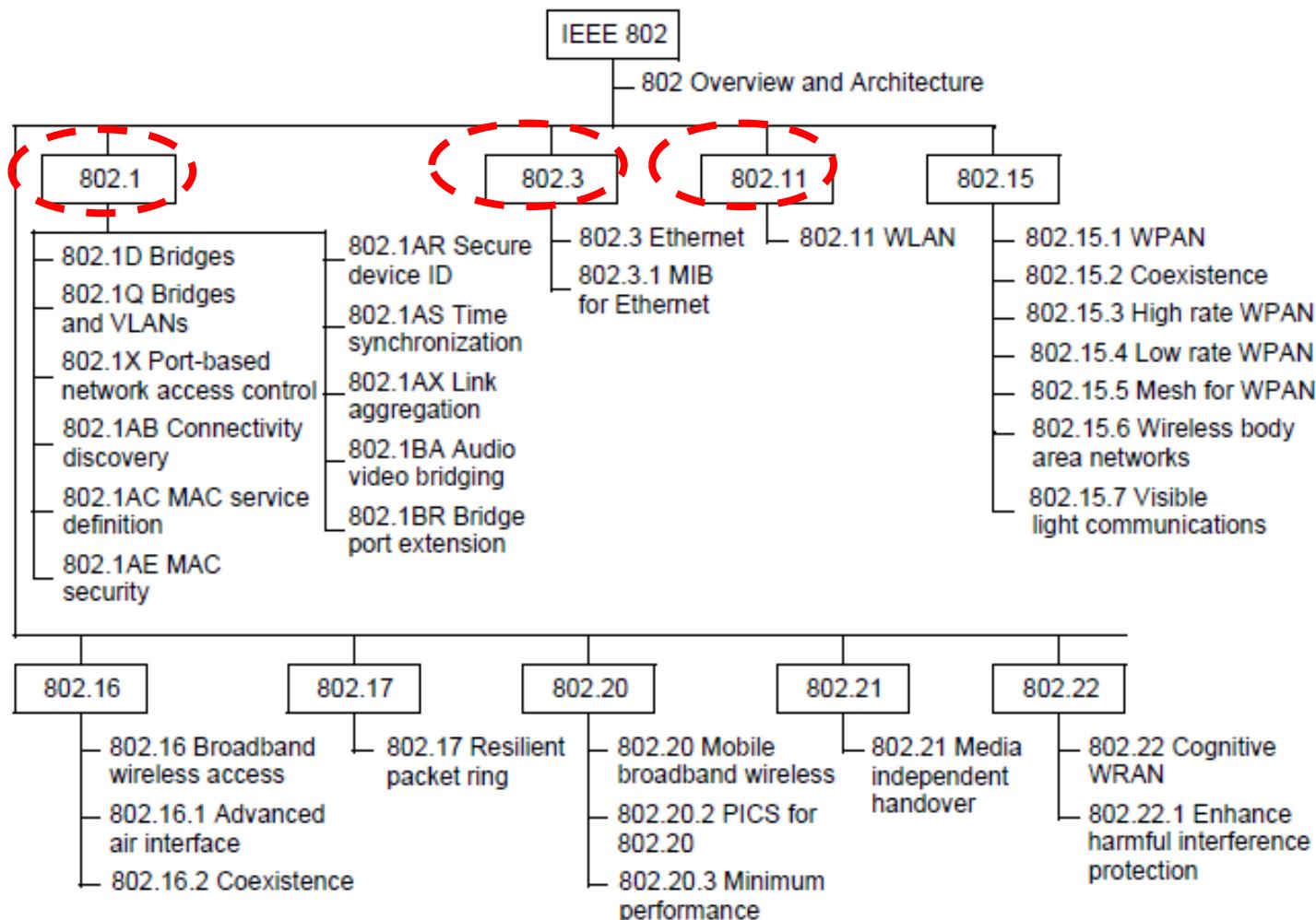


FAMÍLIA DE PADRÕES IEEE 802

(Equivalentes ISO 8802)

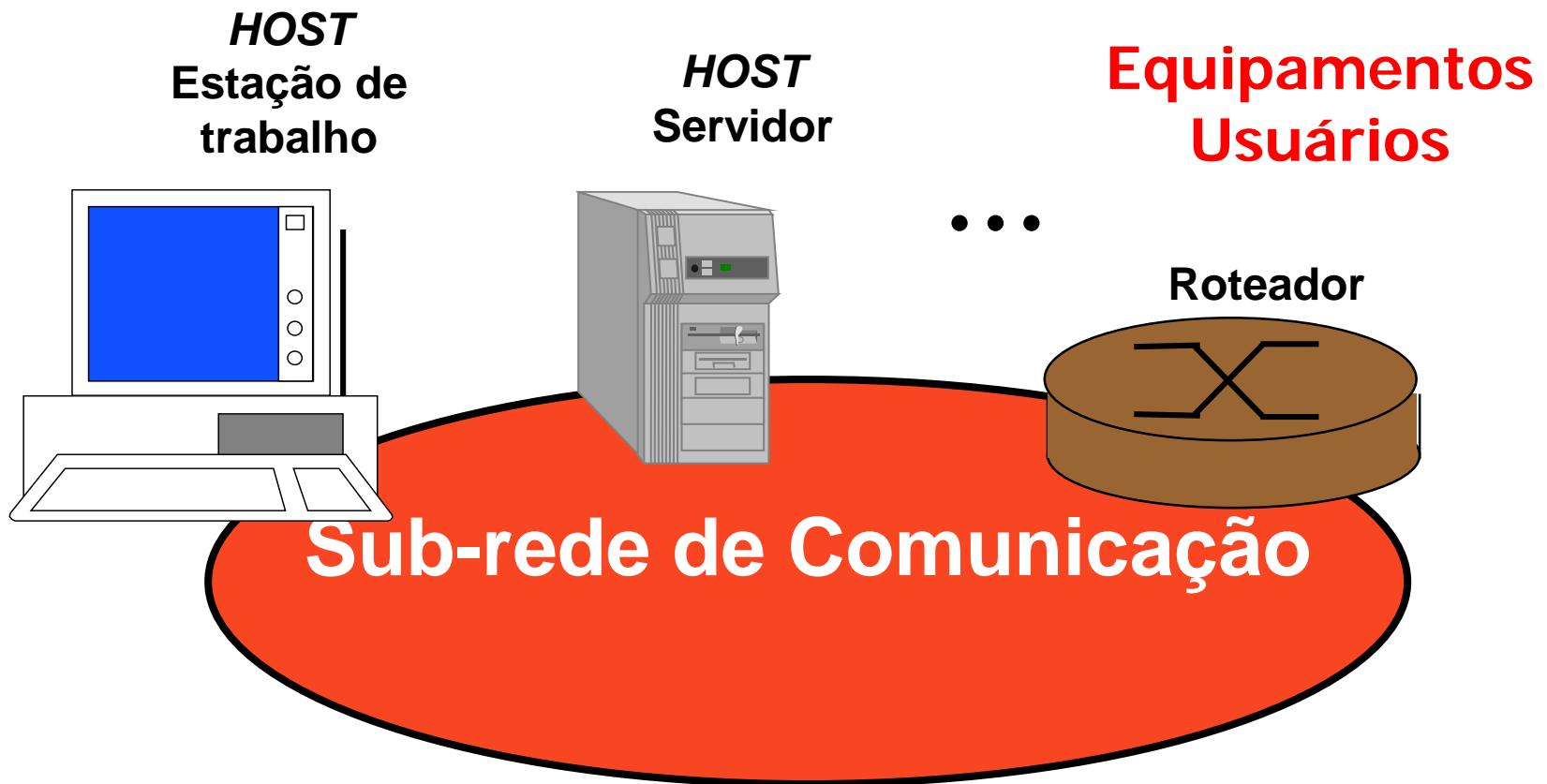


PRINCIPAIS PADRÕES IEEE 802

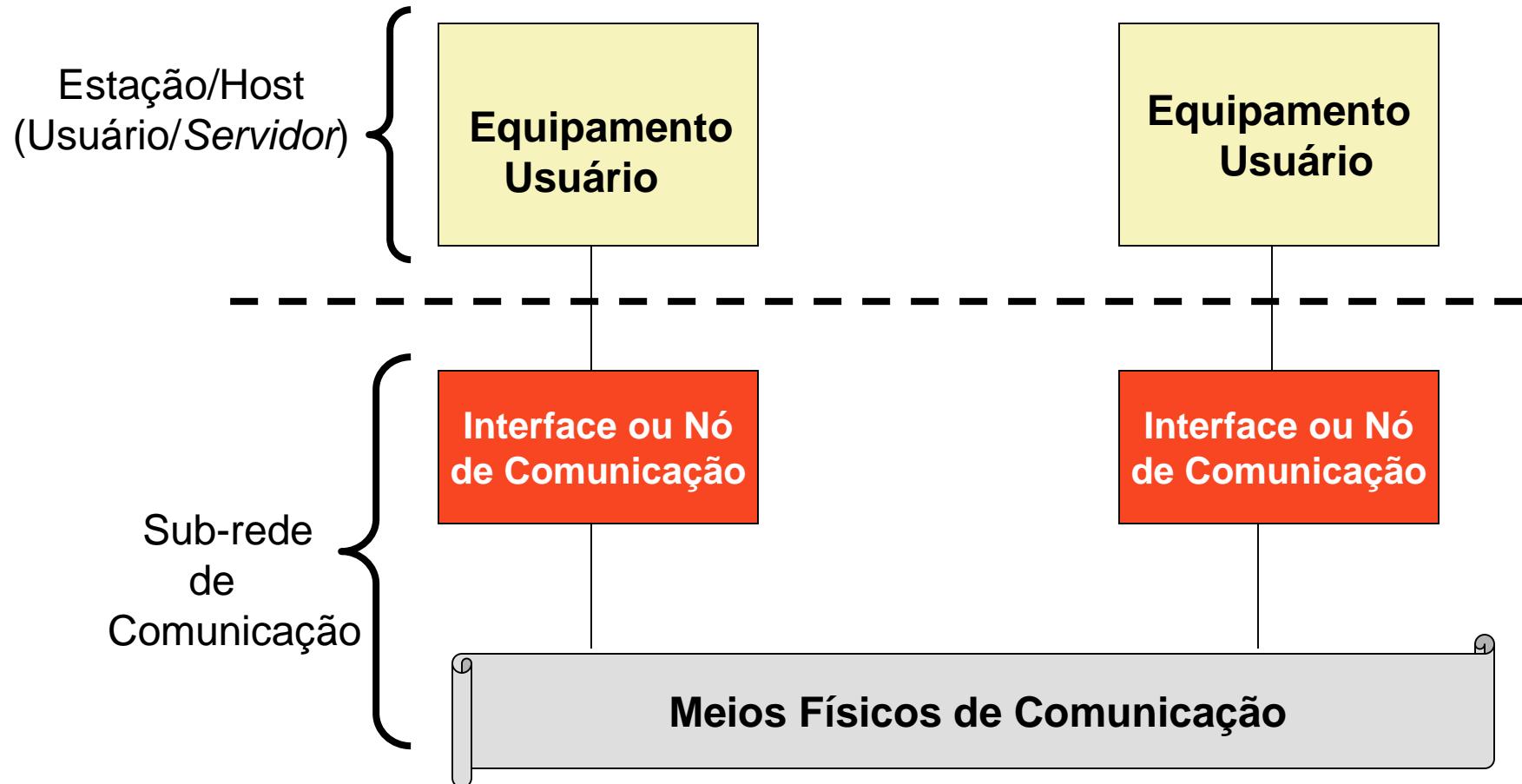


ARQUITETURA “FÍSICA”

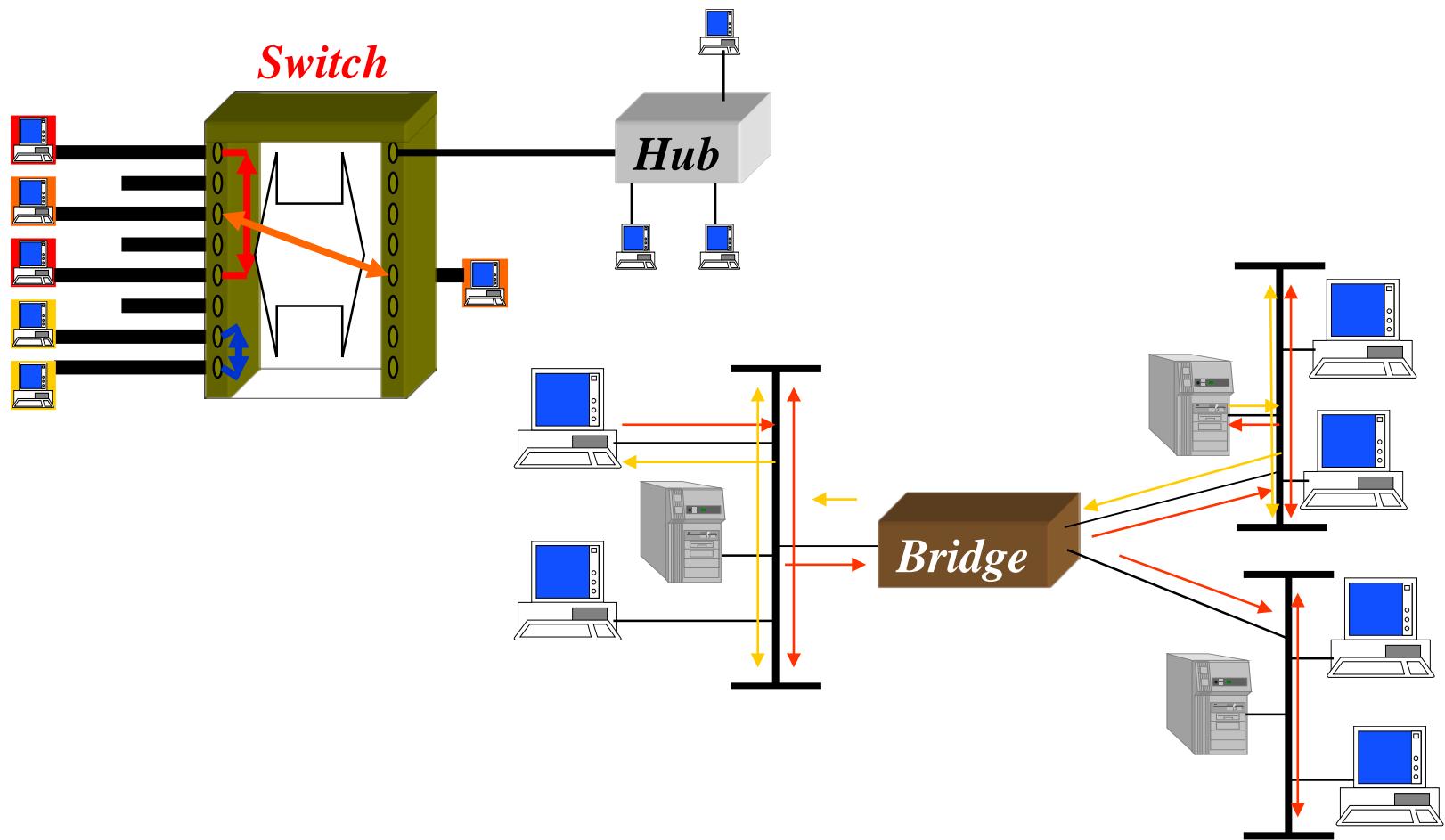
Componentes fundamentais



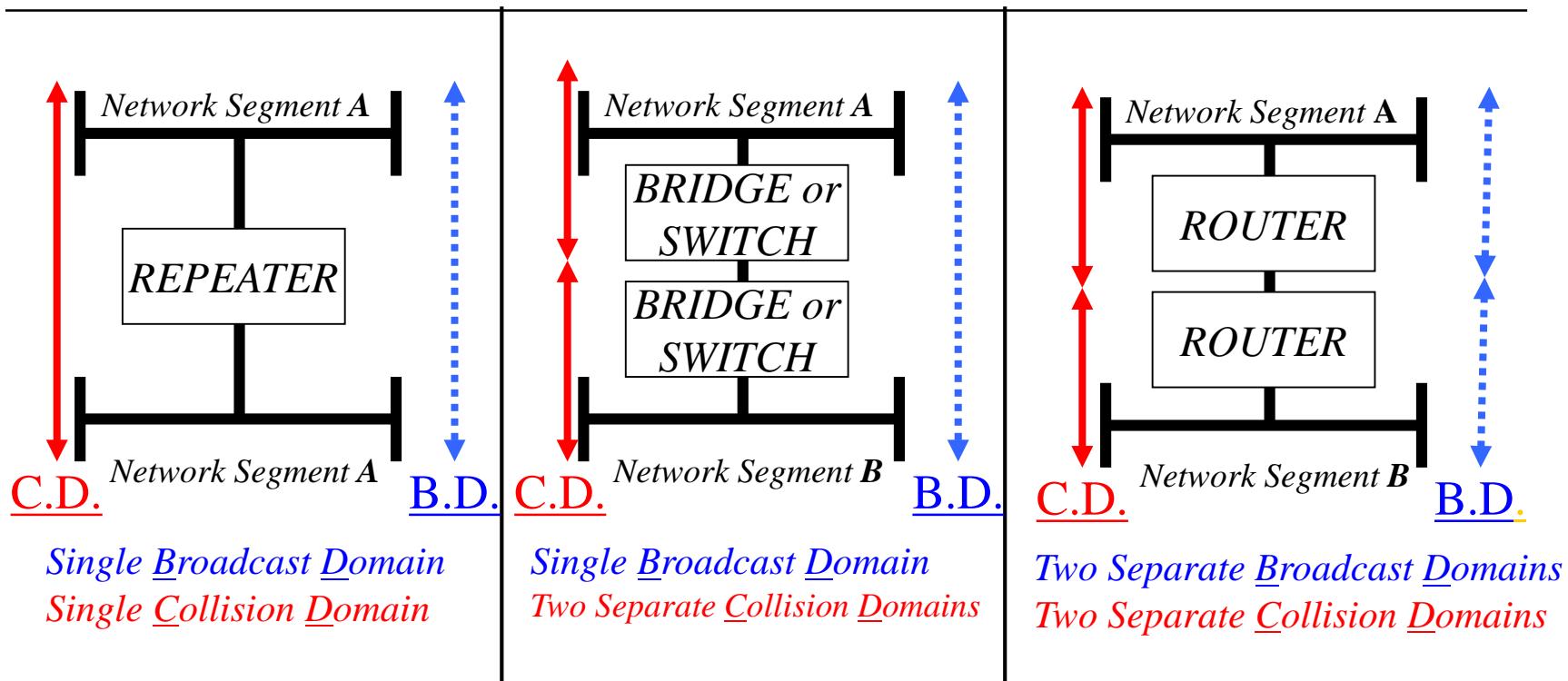
ARQUITETURA “FÍSICA”



DISPOSITIVOS DE INTERCONEXÃO DE REDES



REPETIDOR, SWITCH, ROTEADOR



REDES LOCAIS MEIOS DE TRANSMISSÃO



CARACTERÍSTICAS
TIPOS DE SUPORTES
FÍSICOS

CONCEITOS BÁSICOS



Quais são os principais atributos de um **canal de transmissão**?

Quais são as principais
características de transmissão
de um meio físico?

CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISSÃO



BANDA PASSANTE

PERDAS (ATENUAÇÃO)

IMUNIDADE AO RUÍDO

+ características operacionais

CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS



VOLUME E PESO

CONECTIVIDADE FÍSICA

SEGURANÇA

CUSTOS

- aquisição, instalação, manutenção, vida útil

TIPOS DE SUPORTES FÍSICOS

■ PAR METÁLICO TRANÇADO

- Não blindados
 - (UTP - Unshielded Twisted Pair)
 - categorias 3, 4, 5, 5e, 6, 6a
- Blindados (*shielded twisted pair*)
 - STP, FTP, Cat 7, Cat 8 etc

■ CABO COAXIAL

- banda básica, banda larga (CATV)

■ FIBRA ÓPTICA

- multimodo,
monomodo

■ “AR/ATMOSFERA”

- canais *wireless*
(*indoor e outdoor*)

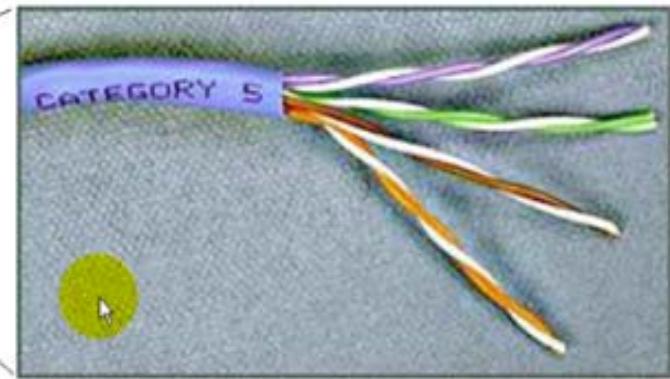
Unshielded Twisted Pair (UTP)

■ Banda passante

Por que trançado?

■ Atenuação

■ Crosstalk
(Diafonia)



■ Conectores

■ Capacidade de transmissão

CATEGORIAS DE CABO UTP

■ BANDA PASSANTE

- Categoria 3: 16 MHz @ 100m
- Categoria 4: 20 MHz @ 100m
- Categoria 5:
 - Cat 5e: 100 MHz @ 100m
 - Cat 5e: 125*MHz @ 100m
- Categoria 6:
 - Cat 6a: 250 MHz @ 100m
 - Cat 6a: 500 MHz @ 100m

CLASSIFICAÇÃO TIA/ISO

| Frequency Bandwidth | TIA (Components) | TIA (Cabling) | ISO (Components) | ISO (Cabling) |
|---------------------|------------------|---------------|-------------------------|----------------------|
| 1 - 100 MHz | Category 5e | Category 5e | Category 5e | Class D |
| 1 - 250 MHz | Category 6 | Category 6 | Category 6 | Class E |
| 1 - 500 MHz | Category 6A | Category 6A | Category 6A | Class E _A |
| 1 - 600 MHz | n/s | n/s | Category 7 | Class F |
| 1 - 1,000 MHz | n/s | n/s | Category 7 _A | Class F _A |

CAT 5e

Categoría 5: Os cabos de categoria 5 são o requisito mínimo para redes 100BASE-TX e 1000BASE-T, que são, respectivamente, os pacotes de rede de 100 e 1000 megabits usados atualmente. Os cabos cat 5 seguem padrões de fabricação muito mais estritos e suportam freqüências de até 100 MHz, o que representa um grande salto sobre os cabos cat 3.

Apesar disso, é muito raro encontrar cabos cat 5 à venda atualmente, pois eles foram substituídos pelos cabos **categoría 5e** (o "e" vem de "enhanced"), uma versão aperfeiçoada do padrão, com normas mais estritas, desenvolvidas de forma a reduzir a interferência entre os cabos e a perda de sinal, o que ajuda em cabos mais longos, perto dos 100 metros permitidos.

Os cabos cat 5e devem suportar os mesmos 100 MHz dos cabos cat 5, mas este valor é uma especificação mínima e não um número exato. Nada impede que fabricantes produzam cabos acima do padrão, certificando-os para freqüências mais elevadas. Com isso, não é difícil encontrar no mercado cabos cat 5e certificados para 110 MHz, 125 MHz ou mesmo 155 MHz, embora na prática isso não faça muita diferença, já que os 100 MHz são suficientes para as redes 100BASE-TX e 1000BASE-T.

É fácil descobrir qual é a categoria dos cabos, pois a informação vem decalcada no próprio cabo, como na foto:



CAT 6

Categoria 6: Esta categoria de cabos foi originalmente desenvolvida para ser usada no padrão Gigabit Ethernet, mas com o desenvolvimento do padrão para cabos categoria 5 sua adoção acabou sendo retardada, já que, embora os cabos categoria 6 ofereçam uma qualidade superior, o alcance continua sendo de apenas 100 metros, de forma que, embora a melhor qualidade dos cabos cat 6 seja sempre desejável, acaba não existindo muito ganho na prática.

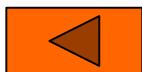
Os cabos categoria 6 utilizam especificações ainda mais estritas que os categoria 5e e suportam freqüências de até 250 MHz. ~~Além de serem usados em substituição dos cabos cat 5 e 5e, eles podem ser usados em redes 10 gigabit, mas nesse caso o alcance é de apenas 55 metros.~~



Enquanto o cabo de categoria 5E possui uma volta e meia a 2 voltas por cm, os de categoria 6 apresentam 2 ou mais voltas por cm (a quantidade de torções varia de acordo com o fabricante do cabo).

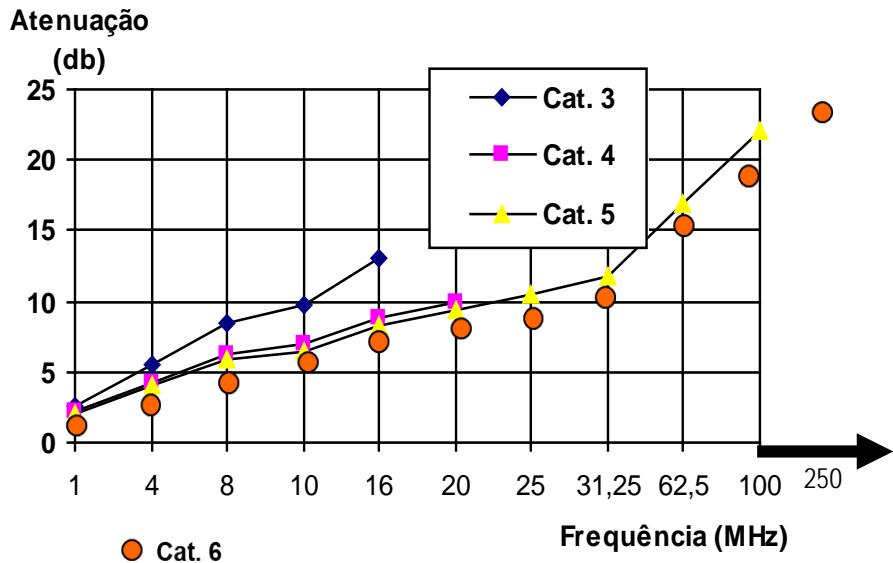
CAT 6a

- Para permitir o uso de cabos de até 100 metros em redes 10G foi criada uma nova categoria de cabos, a categoria 6a ("a" de "augmented", ou ampliado). Eles suportam freqüências de até 500 MHz e utilizam um conjunto de medidas para reduzir a perda de sinal e tornar o cabo mais resistente a interferências.
- Você vai encontrar muitas referências na web mencionando que os cabos cat 6a suportam freqüências de até 625 MHz, que foi o valor definido em uma especificação preliminar. Mas, avanços no sistema de modulação permitiram reduzir a freqüência na versão final, chegando aos 500 MHz.
- Uma das medidas para reduzir o crosstalk (interferências entre os pares de cabos) no cat 6a foi distanciá-los usando um separador. Isso aumentou a espessura dos cabos de 5.6 mm para 7.9 mm e tornou-os um pouco menos flexíveis. A diferença pode parecer pequena, mas ao juntar vários cabos ela se torna considerável:



ATENUAÇÃO EM PARES UTP

ATENUAÇÃO



Atenuação em dB

| Freqüência (MHz) | Cat. 5e | Cabo | Cat. 6 (dB) |
|------------------|---------|------|-------------|
| 0,772 | 1,8 | 1,8 | |
| 1,0 | 2,0 | 2,0 | |
| 4,0 | 4,1 | 3,8 | |
| 8,0 | 5,8 | 5,3 | |
| 10,0 | 6,5 | 6,0 | |
| 16,0 | 8,2 | 7,6 | |
| 20,0 | 9,3 | 8,5 | |
| 25,0 | 10,4 | 9,5 | |
| 31,25 | 11,7 | 10,7 | |
| 62,5 | 17,0 | 15,4 | |
| 100,0 | 22,0 | 19,8 | |
| 200,0 | - | 29,0 | |
| 250,0 | - | 32,8 | |

BITOLAS AWG

Dimensões dos fios de cobre

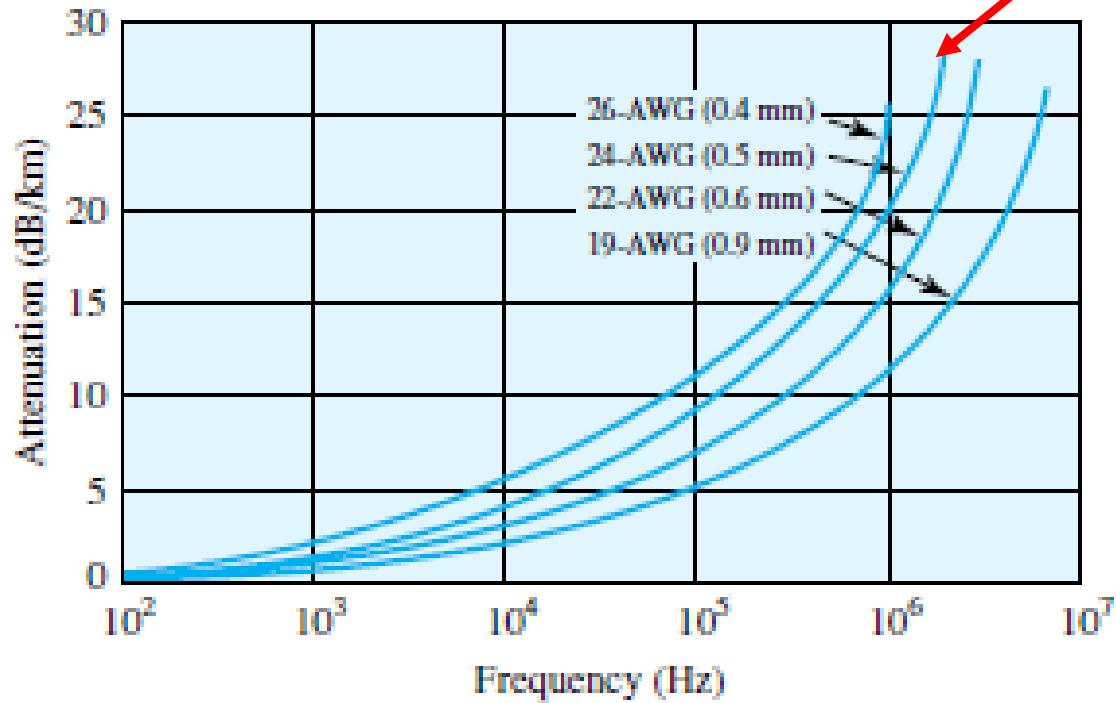
Attenuation-to-Crosstalk Ratio (ACR)

exemplo: **ACR** = 3,1 db @ **Cat 5** (100 MHz; 100 m)

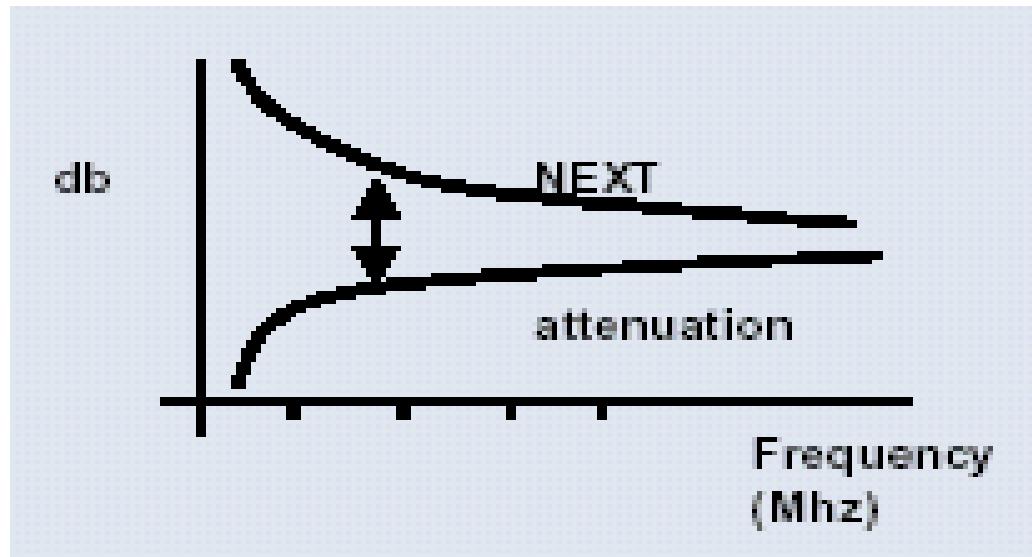
ATENUAÇÃO EM PARES UTP

Bitola do fio de cobre (AWG)

UTP Cat 5
24 AWG



Attenuation to Crosstalk Ratio (ACR)



Diferença entre *crosstalk* e *atenuação*

- Uma medida do sinal disponível para transmitir os dados
- Não faz parte da especificação 568-A mas é bastante aceita na indústria



CROSSTALK ("RUÍDO" DE DIAFONIA)

DEFINIÇÃO

- Interferência/acoplamento de sinal entre pares

TIPOS

■ NEXT

- *Near-End crossTalk*

■ FEXT

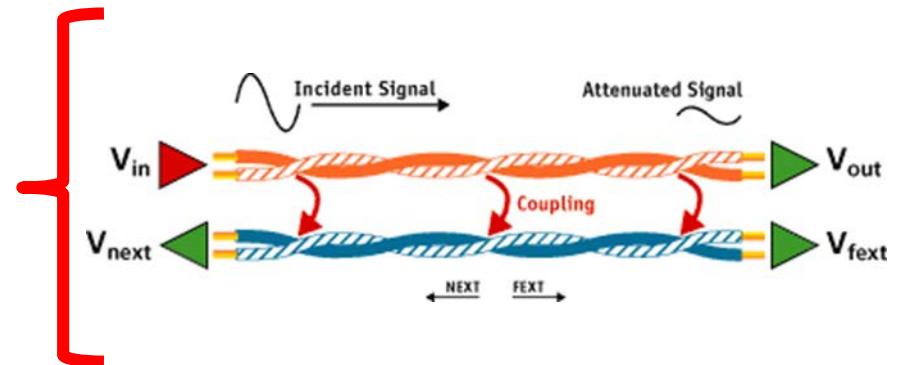
- *Far-End crossTalk*

■ PSNEXT

- *Power Sum Near-End crossTalk*

■ PS ANEXT

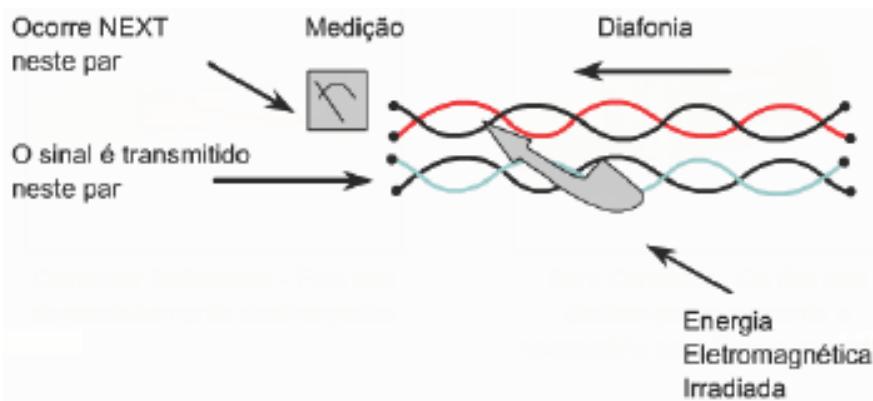
- *Power Sum Alien Near-End crossTalk*



NEXT

O **Near-end crosstalk (NEXT)** é calculado como a razão das amplitudes de voltagem do sinal de teste e do sinal de diafonia quando **medidas na mesma extremidade do cabo**

- expresso com um **valor negativo em decibéis**
- mas testadores de cabos não mostram o sinal negativo
 - uma leitura de 30 dB indica menos ruído do que uma leitura de 10 dB de NEXT.



Pair twists are what help to cancel out NEXT--**different twist rates on each pair prevent the pairs from picking up signals from adjacent pairs.**

*That's why it's important to **maintain pair twists** as close to termination as possible.*

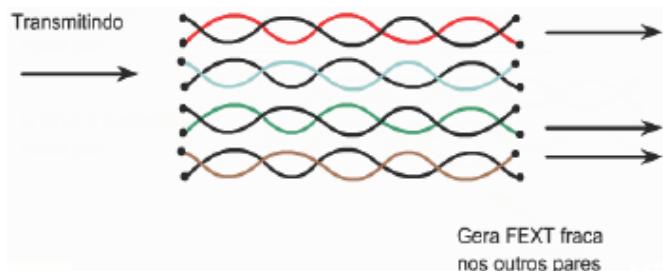
Twist rates are also optimized for crosstalk performance and isolation **has improved with each category of cable:**

- Category 6 cable characterized to 250 MHz has a NEXT value of 44.3 dB at 100 MHz compared to 35.3 dB for Category 5e at the same frequency.

FEXT

O **Far-end crosstalk (FEXT)** é calculado como a razão das amplitudes de voltagem do sinal de teste e do sinal de *crosstalk* **medido no outro extremo do cabo**

- Devido à atenuação, o *crosstalk* que ocorre longe do emissor **cria menos ruído num cabo do que o NEXT**
- O ruído causado pela FEXT ainda se propaga de volta à fonte, mas é atenuado na sua volta
 - Desta maneira, a **FEXT não é um problema tão sério quanto a NEXT**



To provide a more significant result, the **attenuation (insertion loss) is removed** from the FEXT result and referred to as **equal level far end crosstalk (ELFEXT)**:

- TIA renamed this parameter **attenuation to crosstalk ratio**, far-end, or **ACRF** for short.

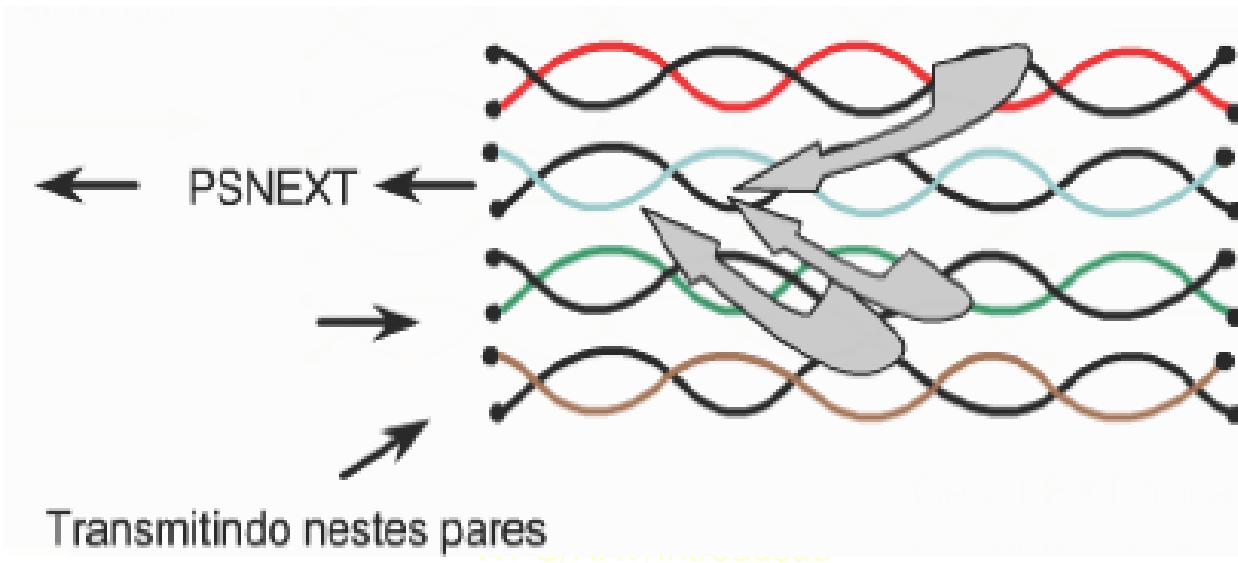
ACRF measurements are summed for each of the three disturbing pairs giving power sum **ACRF (PSACRF)**:

- PSACRF parameter used to be referred to as power sum **ELFEXT (PSELFEXT)** before the TIA renamed the parameter.

PSNEXT

O *Power Sum Near-End crossTalk (PSNEXT)* mede o **efeito cumulativo do NEXT** de todos os pares de fios no cabo

O PSNEXT é calculado para cada par de fios baseado nos efeitos da NEXT dos outros três pares



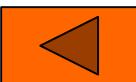
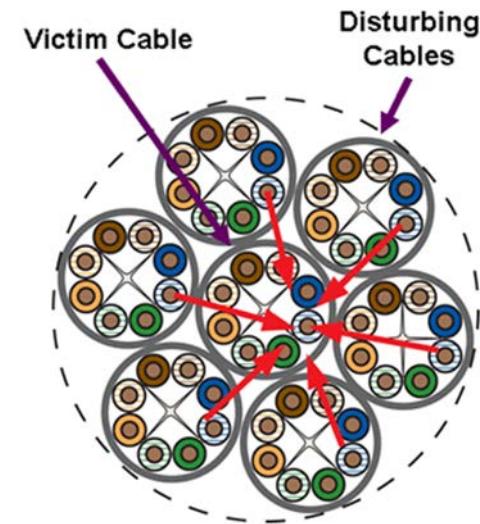
PS ANEXT

■ ALIEN CROSSTALK (ANEXT)

■ *Crosstalk entre cabos*

■ CARACTERÍSTICA

- Apesar da magnitude do ANEXT ser usualmente menor do que a do NEXT dentro do cabo, seu efeito na capacidade de canal é maior porque é mais difícil de suprimir o ANEXT com as técnicas de processamento de sinal comumente usadas atualmente nos equipamentos.



CONECTORIZAÇÃO UTP

CONECTIVIDADE FÍSICA

- | simples e flexível

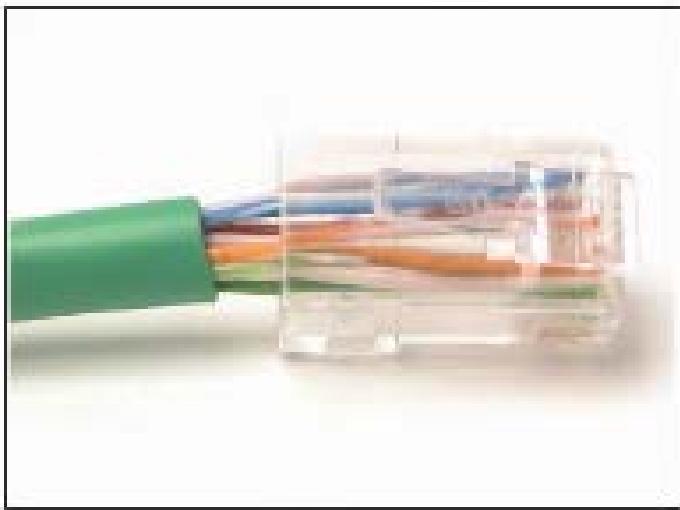
EXEMPLO

- | conector RJ 45

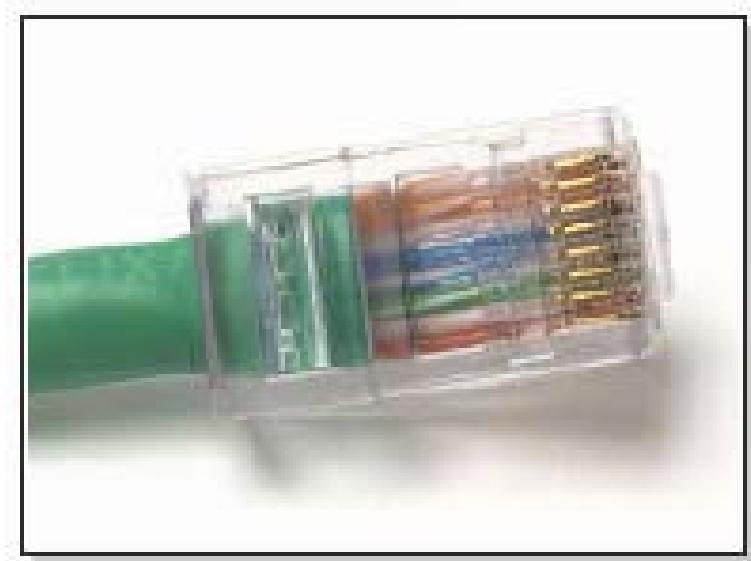


CONECTORIZAÇÃO RJ-45/CAT 5

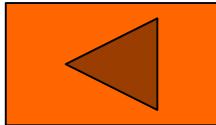
Conection defective:
wires too loose



Good example



Conecotor RJ-45/CAT 6



WFG/RAV/Introdução

CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO

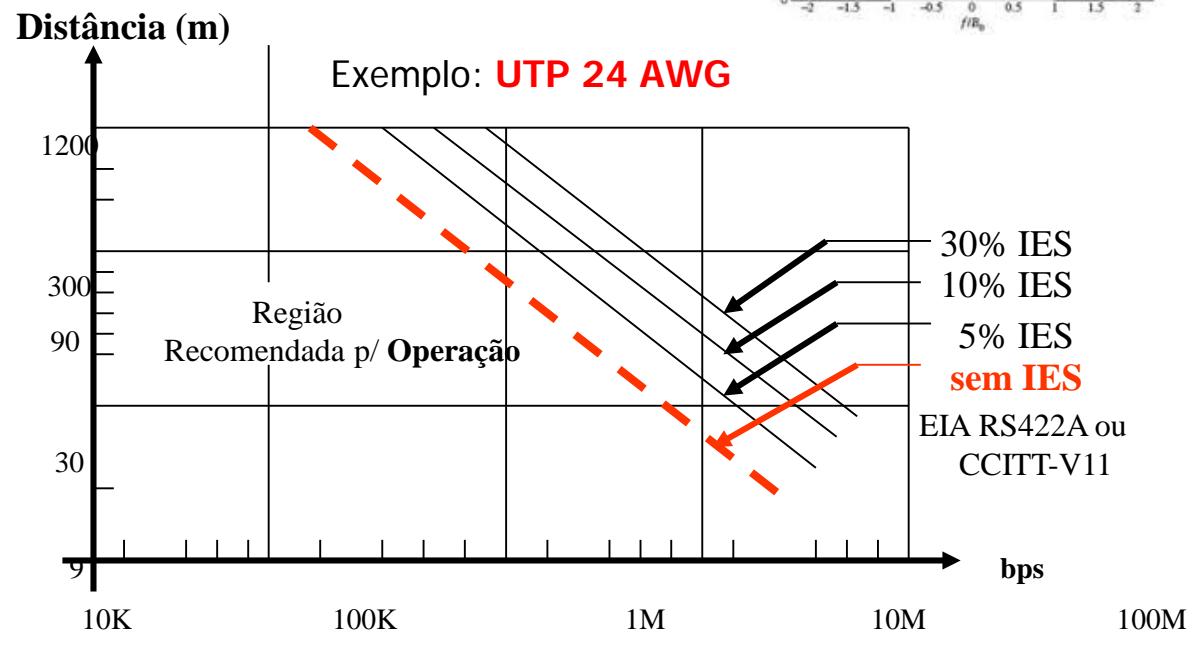
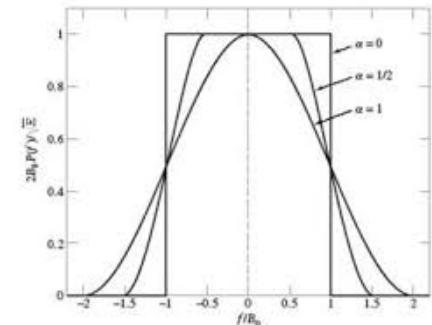
bps x Hz ?

■ CRITÉRIO DE NYQUIST
(canal sem ruído)

$$C = 2B \log_2 N$$

■ LEI DE SHANNON
(canal com ruído)
 $C = B \log_2 (1 + S/N)$

Interferência Entre Símbolos (IES)



CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO (2)

Cat 5 e 5e

- 100 BASE-TX @ 100m (1 par)
- 1000 BASE-T @ 100m (4 pares)

Cat 6

- 1 GbE @ 100m (4 pares)
- 10 GbE @ 55m (4 pares)

Cat 6a

- 10 GbE @ 100m (4 pares)

REDES LOCAIS MEIOS DE TRANSMISSÃO



CARACTERÍSTICAS
TIPOS DE SUPORTES FÍSICOS

PARTE 2
(Próxima aula)

REDES LOCAIS MEIOS DE TRANSMISSÃO



CARACTERÍSTICAS
TIPOS DE SUPORTES FÍSICOS

PARTE 2

TIPOS DE SUPORTES FÍSICOS

■ PAR METÁLICO TRANÇADO

■ não blindados (*unshielded twisted pair*)

■ UTP 3, 4, 5, 5e, 6, 6a

■ **blindados (*shielded twisted pair*)**

■ STP, FTP, "Cat 7", "Cat 8" etc

■ CABO COAXIAL

■ banda básica, banda larga (CATV)

■ FIBRA ÓPTICA

■ multimodo, monomodo

■ "ATMOSFERA"

■ tecnologias wireless

SHIELDED TWISTED PAIR (STP)

VANTAGENS

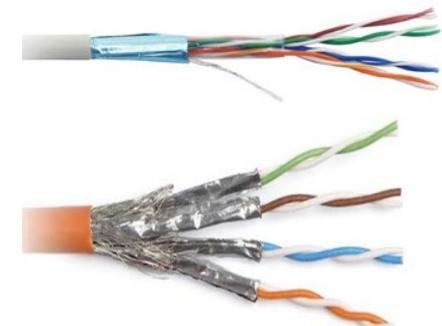
- menor emissão EMI (*electromagnetic interference*)
- maior imunidade à EMC (*electromagnetic crosstalk*)
 - linhas de potência, lâmpadas fluorescentes, etc

DESVANTAGENS

- custos
- dificuldades com **aterramentos**

TIPOS DE STP

- F/STP (*Foiled Shielded Twisted Pair*)
- S/FTP (*Screening/Foiled Shielded Twisted Pair*)



CATEGORIAS/CLASSES DE STP

- EIA/TIA (Cat 8)
- ISO ("Cat 7", Cat 8.1, Cat 8.2)

TIPOS DE STP

F/STP

- Blindagem com folha de alumínio



F/STP - Foiled Shielded Twisted Pair

S/FTP

- Blindagem em malha + pares com folha de alumínio individual



S/FTP - Screened Foiled Shielded Twisted Pair

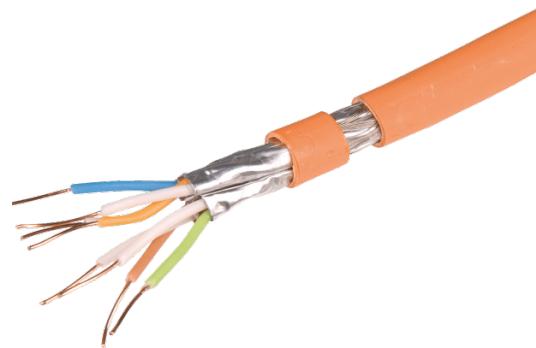


Fontes: www.hardware.com.br, catálogo Furukawa

“CAT 7”

■ BANDA PASSANTE

■ (600 MHz @ 100m)



■ PADRÃO

■ ISO/IEC 11801 (IEC 61156-5)



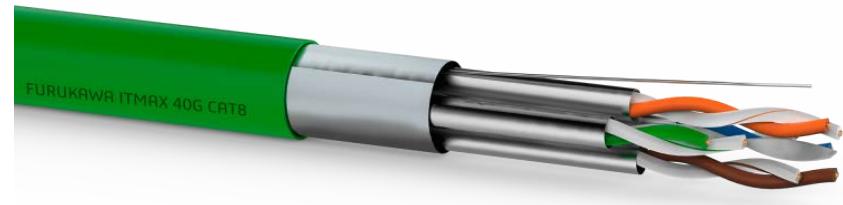
“Cat 7a”



“CAT 8”

■ BANDA PASSANTE

- (2 GHz @ 100m)

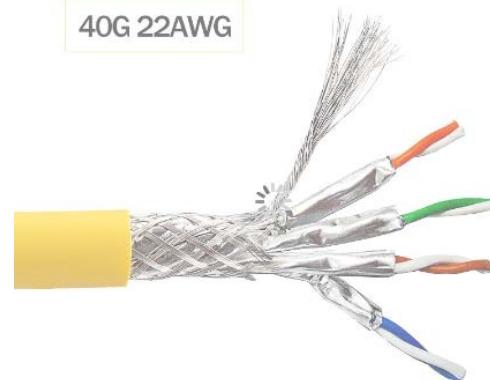


Fonte: Furukawa

■ PADRÓES

- EIA/TIA 568
- ISO/IEC 11801

CAT 8 S/FTP
40G 22AWG



Fonte: Linkwylan

■ APLICAÇÃO TÍPICA

- atender *hacks* da mesma fileira em *datacenters*
 - ⇒ 40 Gbps @ 30 metros



STP - CATEGORIAS DE DESEMPENHO

| Categoria | Frequência Máxima (MHz) | Blindagem |
|---------------------|-------------------------|------------|
| 5e | 100 | Opcional |
| 6 | 250 | Opcional |
| 6A | 500 | Opcional |
| 7 (ISO apenas) | 600 | Sim |
| 7A (ISO apenas) | 1000 | Sim |
| 8 (TIA) e 8.1 (ISO) | 2000 | Sim |
| 8.2 (ISO apenas) | 2000 | Sim |



@ 100 metros

CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISSÃO STP



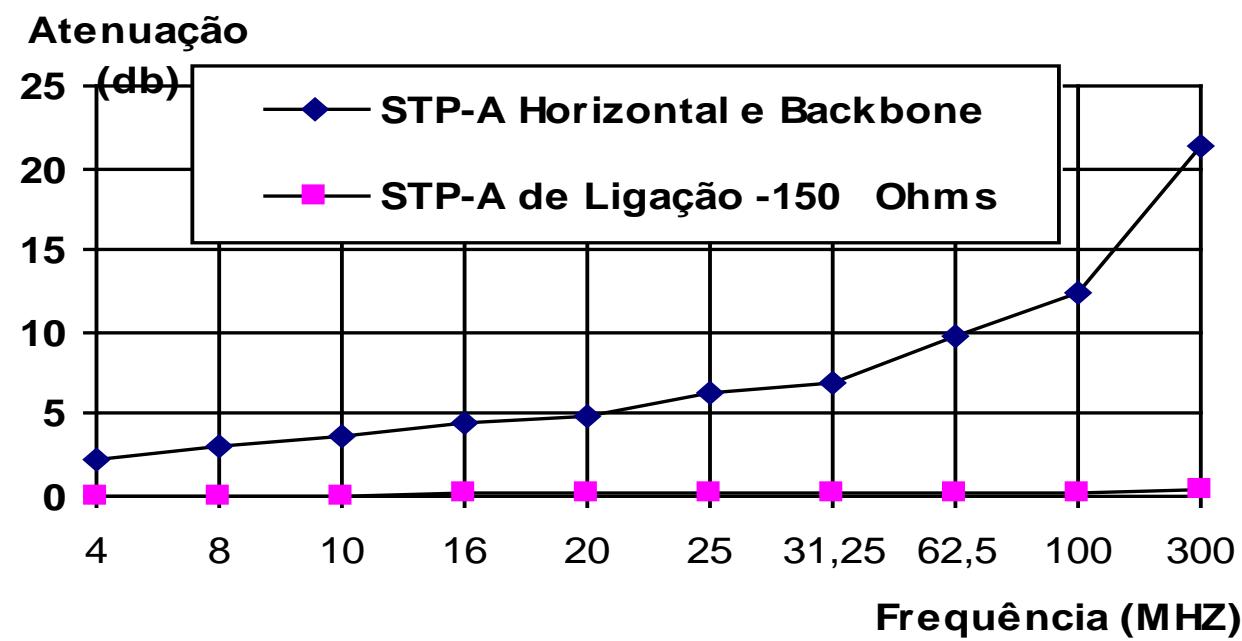
■ ATENUAÇÃO

■ CROSSTALK

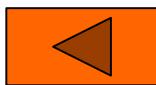
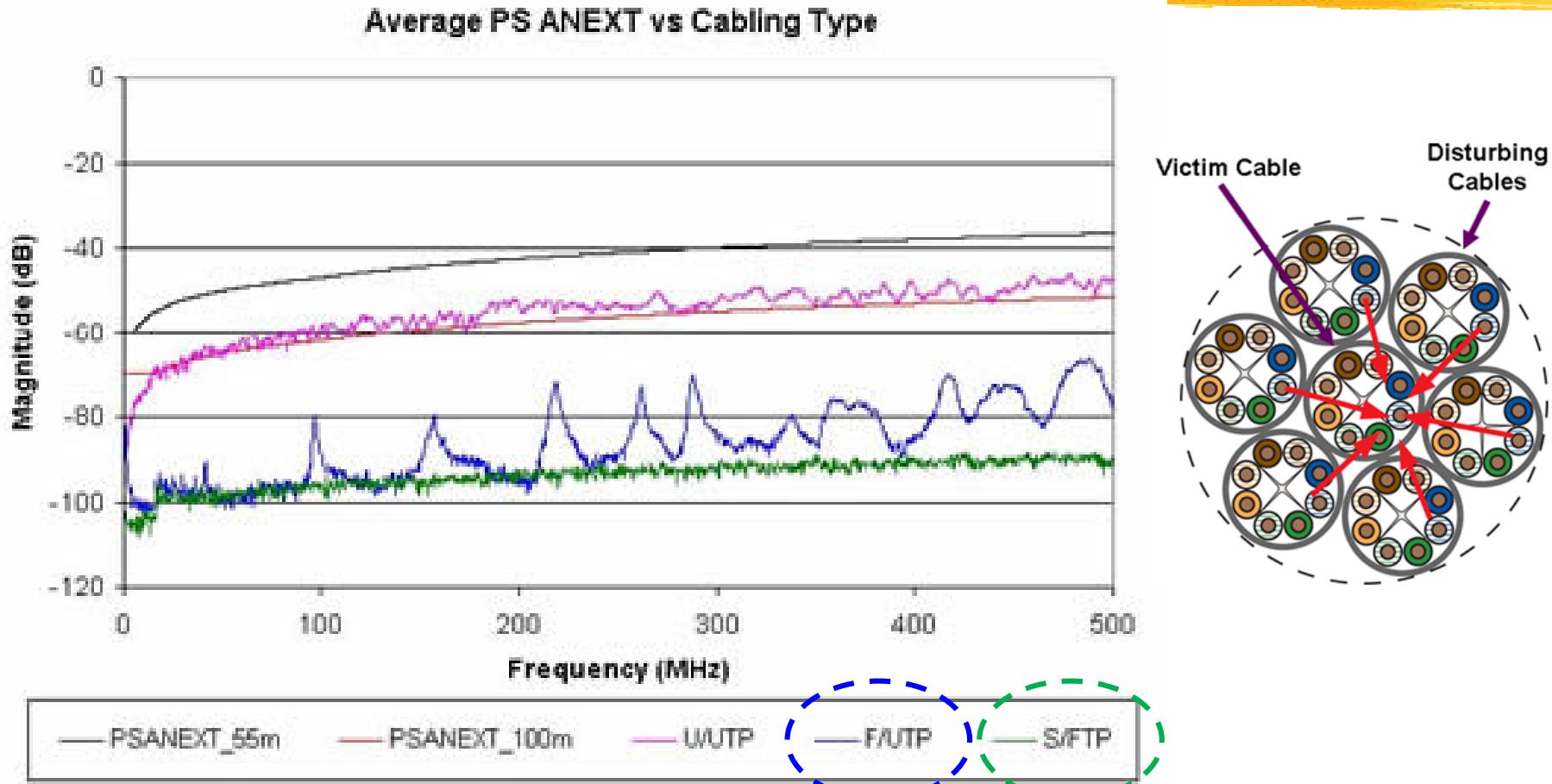
■ CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO

■ CONECTORES BLINDADOS

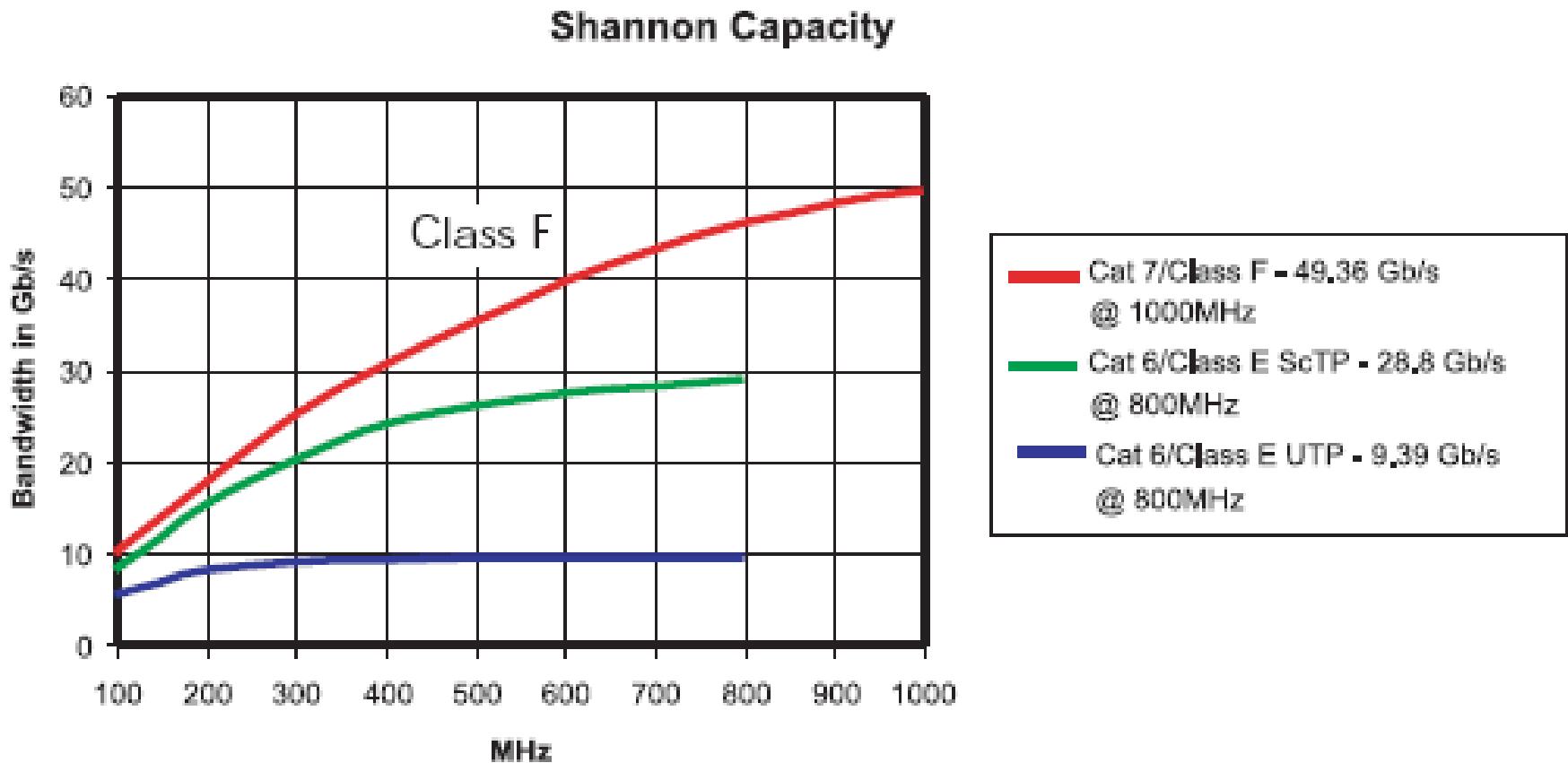
ATENUAÇÃO EM CABOS STP



CROSSTALK EM CABOS STP



CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO CAT 7/CLASSE F



QUADRO COMPARATIVO

"Cat 7"

TABLE 4: INDUSTRY STANDARDS PERFORMANCE COMPARISON AT 100 MHZ FOR CHANNELS

| | Category 5e/Class D | Category 6/Class E | Category 6A/Class E _A ¹ | Class F | Class F _A |
|--------------------------|---------------------|--------------------|---|---------|----------------------|
| Frequency Range (MHz) | 1 - 100 | 1 - 250 | 1 - 500 | 1 - 600 | 1 - 1,000 |
| Insertion Loss (dB) | 24.0 | 21.3 (21.7) | 20.9 | 20.8 | 20.3 |
| NEXT Loss (dB) | 30.1 | 39.9 | 39.9 ¹ | 62.9 | 65.0 |
| PSNEXT Loss (dB) | 27.1 | 37.1 | 37.1 ¹ | 59.9 | 62.0 |
| ACR (dB) | 6.1 | 18.6 | 18.6 | 42.1 | 46.1 |
| PSACR (dB) | 3.1 | 15.8 | 15.8 | 39.1 | 41.7 |
| ACRF (dB) | 17.4 | 23.3 | 23.3 | 44.4 | 47.4 |
| PSACRF (dB) | 14.4 | 20.3 | 20.3 | 41.4 | 44.4 |
| Return Loss (dB) | 10.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 |
| PSANEXT Loss (dB) | n/s | n/s | 60.0 | n/s | 67.0 |
| PSAACRF (dB) | n/s | n/s | 37.0 | n/s | 52.0 |
| TCL (dB) | n/s | n/s | 20.3 | 20.3 | 20.3 |
| ELTCTL ² (dB) | n/s | n/s | 0.5/0 | 0 | 0 |
| Propagation Delay (ns) | 548 | 548 | 548 | 548 | 548 |
| Delay Skew (ns) | 50 | 50 | 50 | 30 | 30 |

¹ ISO/IEC class E_A NEXT loss and PSNEXT loss requirements are more stringent than TIA category 6A limits above 330 MHz.

PSAACRF = ex-PSAELFEXT TCL Transverse Conversion Loss ELTCTL Equal Level Transverse Conversion Transfer Loss

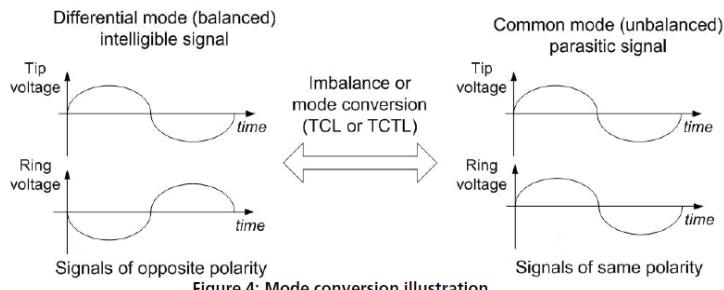
TRANSVERSE CONVERSION LOSS (TCL)

TCL

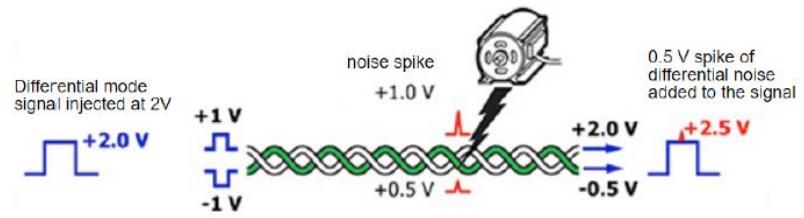
- The TCL is the measured ratio of common mode signal (adverse signal), relative to the amount of differential mode signal injected at the same end of the same pair (or vice-versa). The TCL test gives an indication of the connector's electromagnetic immunity. Therefore, the common mode signals which may come from ambient electromagnetic noise, for instance, have a risk of being converted to differential mode and being added to the intelligible signal. On the other hand, a differential mode signal may be partially converted to common mode and some equipment is more sensitive to common mode signal.

TCTL

- The TCTL is similar to the TCL, with the difference that the parasitic common mode voltage is measured at the opposite end than the injected differential mode signal. The TCTL, as well, is an indication of the connector's electromagnetic immunity.



Fonte: White paper Intertek_Cat 6A



Fonte: White paper Fluke



CONECTORES BLINDADOS

VANTAGENS

- menor emissão EMI
(*electromagnetic interference*)
- maior imunidade à EMC
(*electromagnetic crosstalk*)
 - linhas de potência,
lâmpadas
fluorescentes, etc

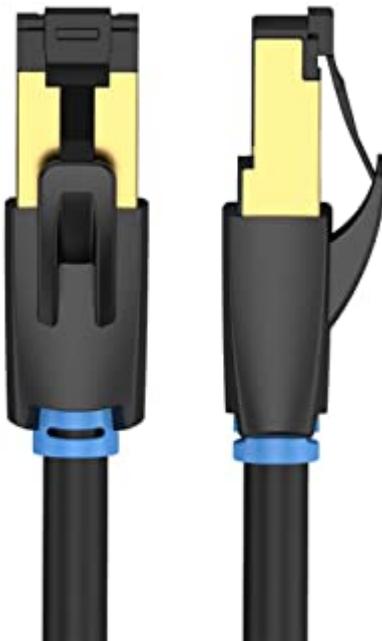
DESVANTAGENS

- custos
- dificuldades com
aterramentos!



“CAT 8”

1 GHz @ 100m



CAT8 Cabo de remendo 40Gbps
Cabo banhado a ouro Cabo macio de PVC

Fonte: amazon.com.br

Cat.8
Split-type
FTP RJ45 Modular Plug

Dovetail clip design

High-speed network | Durable anti-rust | Shielded anti-interference | Smoother game

Fonte: www.ventioncable.com



RJ45 Categoria 8.1

*Category 8.1 ISO/IEC
11801-1:2017 and
ANSI/TIA-568.2-D.*



- The Category 8.1 Punch Down Plugs are a cost-effective solution for data centers looking to upgrade their data transmission speeds without switching over to a more costly fiber-optic solution.*
- They are designed for quick and easy terminations without the need for specialized tooling.*
- This design feature allows for termination in the field and is ideal for high noise environments including military applications, medical equipment, and data center switch-to-server interconnections.*

Conector TERA

CARACTERÍSTICAS

- Padrão desenvolvido pela Siemon
- Inteiramente blindado
- Sistema especial de encaixe que reduz a possibilidade de mau contacto



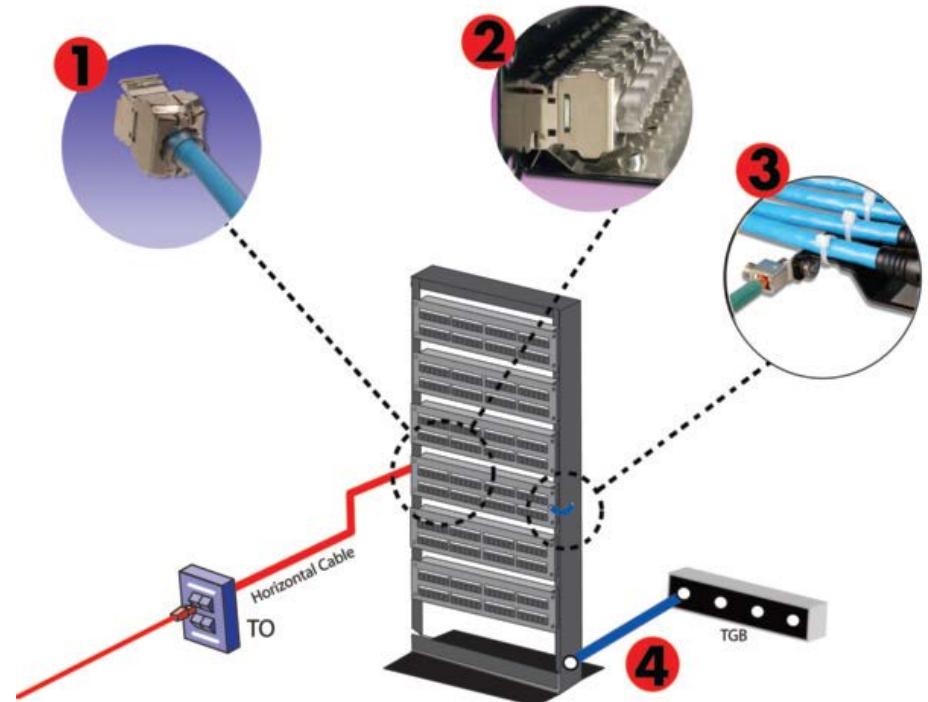
COMPONENTES DE ENLACES COM STP

| Categoria dos componentes | Categ. TIA | Classe ISO | Comprimento Máximo (m) | Qtd. Máx de Conexões | Tipo de Conector |
|---------------------------|------------|----------------|------------------------|----------------------|------------------|
| 5e | 5e | D | 100 | 4 | RJ-45 |
| 6 | 6 | E | 100 | 4 | RJ-45 |
| 6A | 6A | E _A | 100 | 4 | RJ-45 |
| 7 (ISO apenas) | - | F | 100 | 4 | Tera/GG45 |
| 7A (ISO apenas) | - | F _A | 100 | 4 | Tera/GG45 |
| 8 (TIA) e 8.1 (ISO) | 8 | I | 30 | 2 | RJ-45 |
| 8.2 (ISO apenas) | - | II | 30 | 2 | Tera/GG45 |

GG45 (*GigaGate 45*)

ATERRAMENTO

1. F/UTP cables screen or the S/FTP shield is terminated by the outlet
2. Outlet makes contact with patch panel's grounding strip as outlets are snapped into place
3. Panel is grounded to equipment rack or adjacent metal pathways via a 12 AWG wire attached to panel ground lug
4. 6 AWG ground wire connects rack to the TGB (telecommunications grounding busbar)



Fonte: White paper Siemon

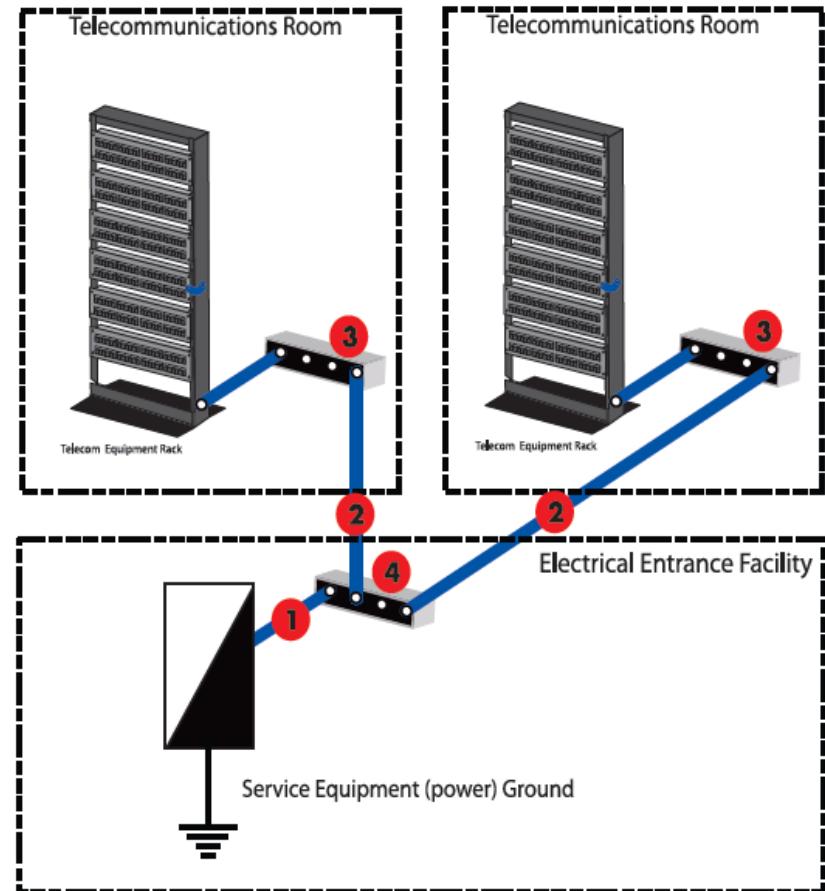
ATERRAMENTO (2)

1 Bonding conductor for telecommunications: A conductor that interconnects the telecommunications bonding infrastructure to the building's service equipment (power) ground.

2 Telecommunications bonding backbone: A conductor that interconnects the telecommunications main grounding busbar (TMGB) to the telecommunications grounding busbar (TGB).

3 Telecommunications grounding busbar: The interface to the building telecommunications grounding system generally located in telecommunications room. A common point of connection for telecommunications system and equipment bonding to ground, and located in the telecommunications room or equipment room.

4 Telecommunications main grounding busbar: A busbar placed in a convenient and accessible location and bonded by means of the bonding conductor for telecommunications to the building service equipment (power) ground.



Fonte: White paper Siemon



CABO COAXIAL BANDA BÁSICA

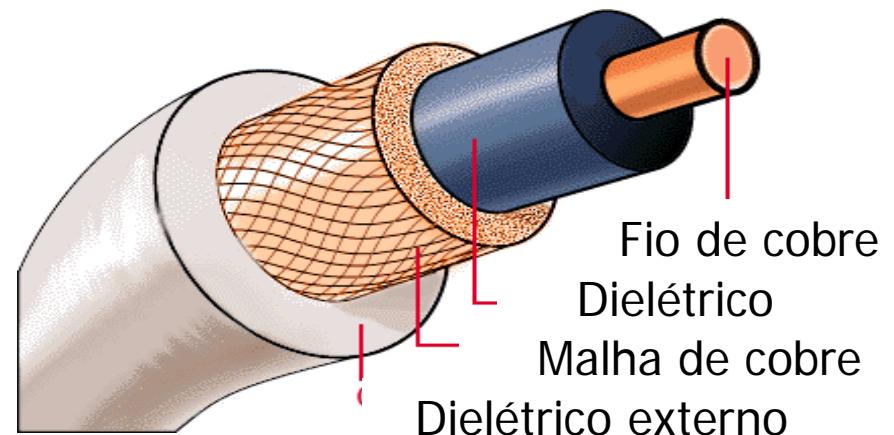
CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS

- **blindagem natural** contra ruído
- **conectividade multiponto** facilitada

TIPOS

- cabo “Ethernet” fino
- cabo “Ethernet” grosso

Estrutura típica



Cabo coaxial banda larga

CABO COAXIAL (THIN) FINO

IMPEDÂNCIA

50 ohms

DIMENSÃO

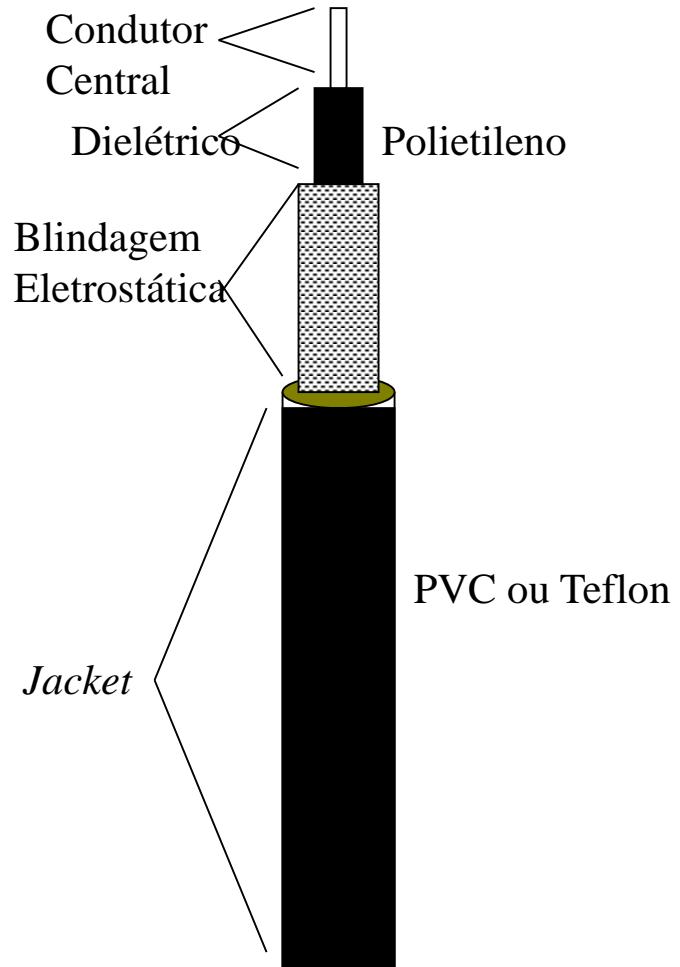
diâmetro = 4,4mm

COR

preta

TAXA/DISTÂNCIA

10 Mbps @ 900m



CABO COAXIAL (*THICK*) GROSSO

IMPEDÂNCIA

- 50 ohms

DIMENSÃO

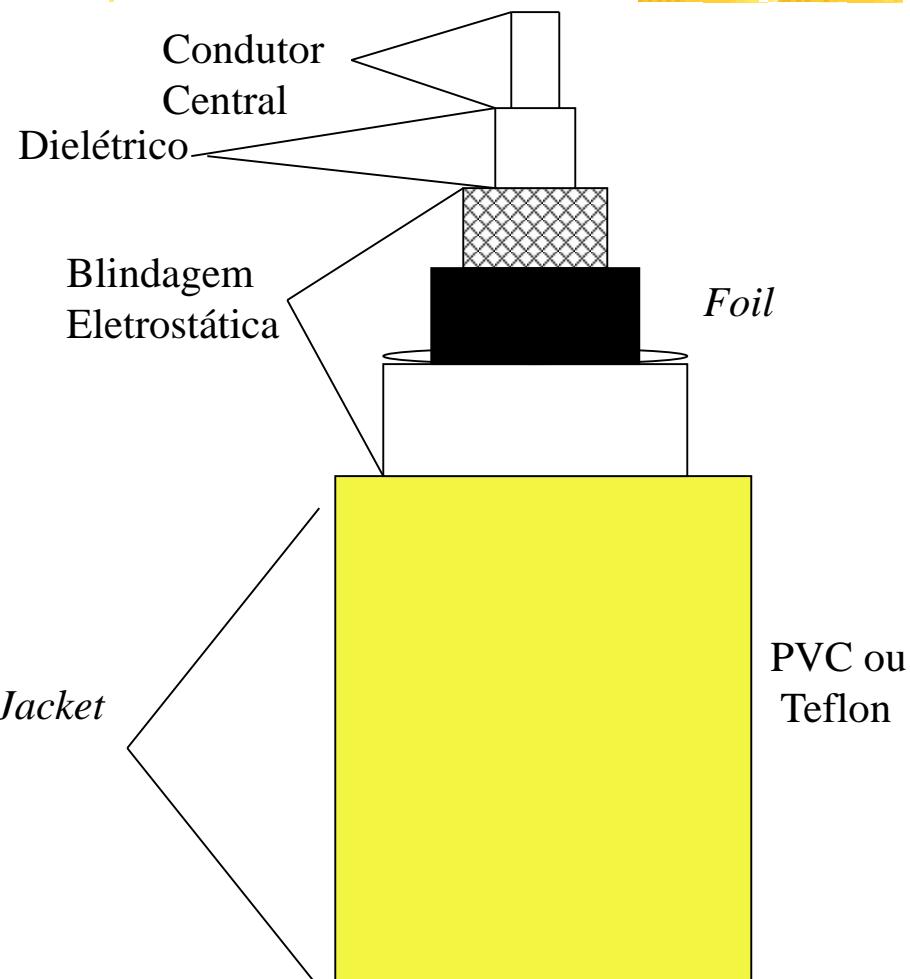
- diâmetro = 9,5mm

COR

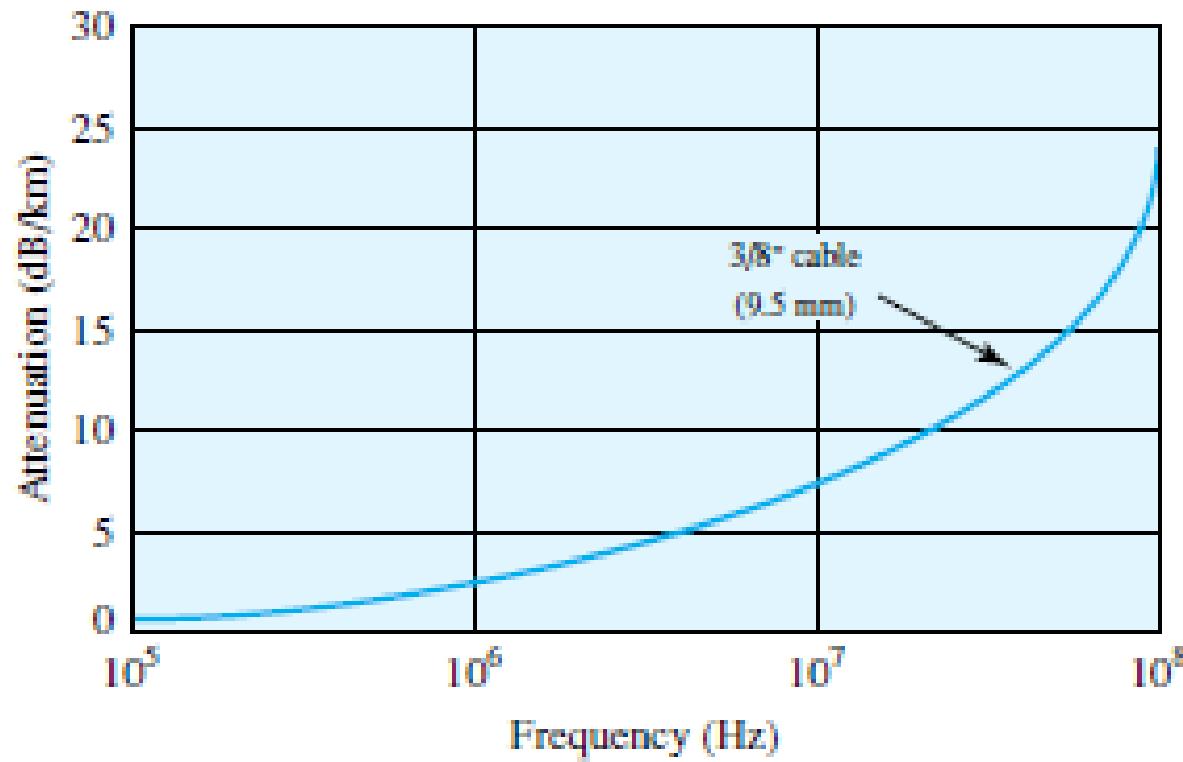
- amarela

TAXA/DISTÂNCIA

- 10 Mbps @ 2,5 km



ATENUAÇÃO EM CABO COAXIAL GROSSO



CONECTORES COAXIAIS



BNC - Bayonet Neil-Concelman



ETHERNET 10BASE2/10BASE5

Equipamento Ethernet mais antigo (no sentido horário a partir do canto superior esquerdo na Figura ao lado):

- Um transceptor Ethernet com um adaptador 10BASE2 em linha;
- um transceptor de modelo semelhante com um adaptador 10BASE5;
- um cabo AUI;
- um estilo diferente de transceptor com conector T 10BASE2 BNC;
- dois terminais 10BASE5 (conectores N);
- uma ferramenta de instalação laranja "vampire tap" (que inclui uma broca especializada em uma extremidade e uma chave de caixa na outra);
- um transceptor modelo 10BASE5 (h4000) fabricado pela DEC;
- o cabo 10BASE5 amarelo curto tem uma extremidade equipada com um conector N e a outra extremidade preparada para ter um invólucro do conector N instalado;
- o objeto retangular metade preto, metade cinza através do qual o cabo passa é uma torneira "vampira" instalada.



VAMPIRE TAP

■ 10BASE5 vampire tap Unidade de acessório médio (transceptor)



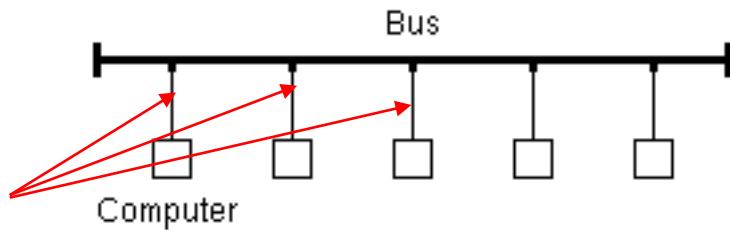
■ Torneira de vampiro desmontada. O pico isolado com ponta de metal central contata o núcleo do cabo; pontas menores contatam a blindagem do cabo. Observe a marca preta na capa do cabo indicando o local adequado para o transceptor.



Fonte: pt.qaz.wiki/wiki/Ethernet

ATTACHMENT UNIT INTERFACE (AUI)

Attachment Unit Interface (AUI)
(até 50m)



| Pinagem AUI | | |
|-------------|-------|---|
| Alfinete | Sinal | Descrição |
| 3 | DO-A | Circuito de saída de dados A |
| 10 | DO-B | Circuito de saída de dados B |
| 11 | DO-S | Proteção do circuito de saída de dados (não usado) |
| 5 | DI-A | Dados no circuito A |
| 12 | DI-B | Dados no circuito B |
| 4 | DI-S | Proteção de dados no circuito |
| 7 | CO-A | Circuito de saída de controle A (não usado) |
| 15 | CO-B | Circuito de saída de controle B (não usado) |
| 8 | CO-S | Proteção do circuito de saída de controle (não usado) |
| 2 | CI-A | Controle no circuito A |
| 9 | CI-B | Controle no circuito B |
| 1 | CI-S | Proteção no circuito de controle |
| 6 | VC | Tensão Comum (0 V) |
| 13 | VP | Tensão Plus (+12 V) |
| 14 | VS | Blindagem de Tensão (não usada) |
| Casca | PG | Terra Protetora |

CABO COAXIAL BANDA LARGA (CATV)

BANDA PASSANTE

- 1.000 MHz
- técnica FDM

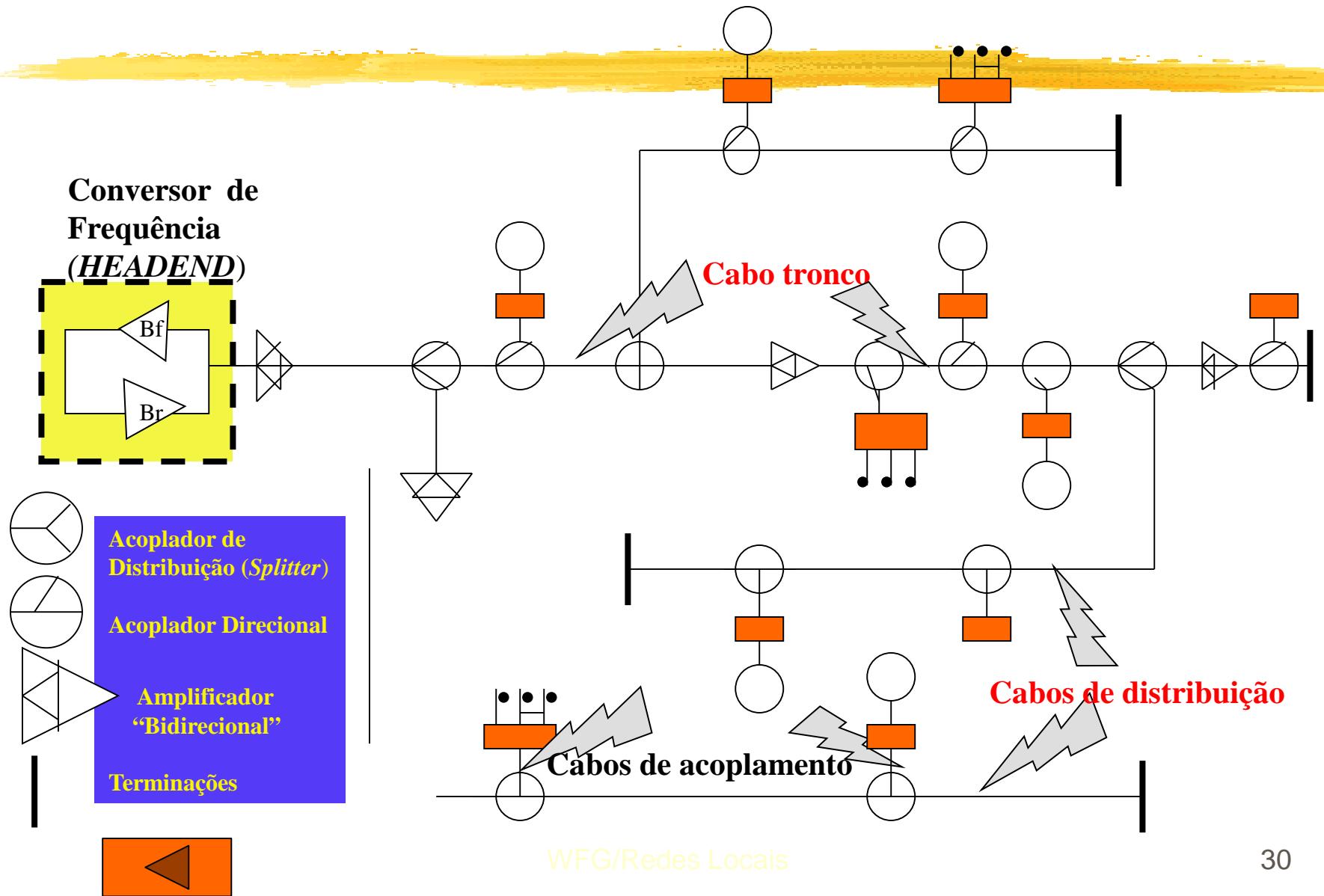


DIMENSÕES

- tronco (rígido): 2 a 2,5 cm
- distribuição (semi-rígido): 1 a 1,3 cm

CONFIGURAÇÃO TÍPICA DE SISTEMA

SISTEMA DE CATV



FIBRAS ÓPTICAS

Estrutura Básica

Tipos

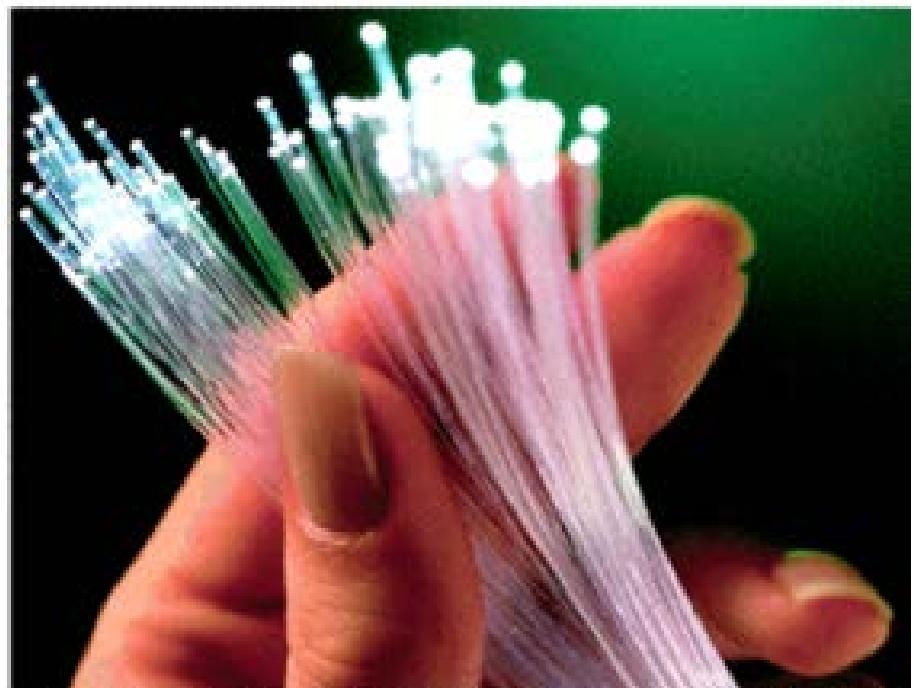
Banda Passante

Janelas de Transmissão

Padrões ISO/IEC

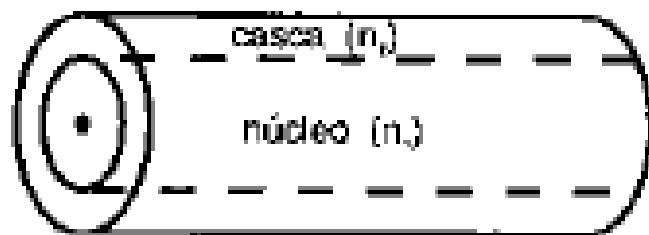
Conectores Ópticos

Cabos Ópticos

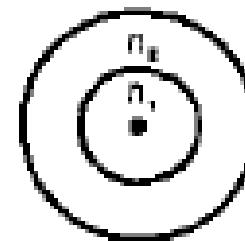


ESTRUTURA BÁSICA DA FIBRA

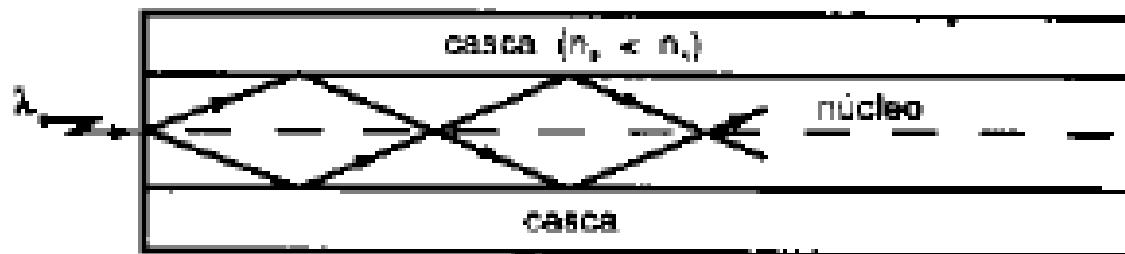
Material : sílica (+ dopantes) ou plástico



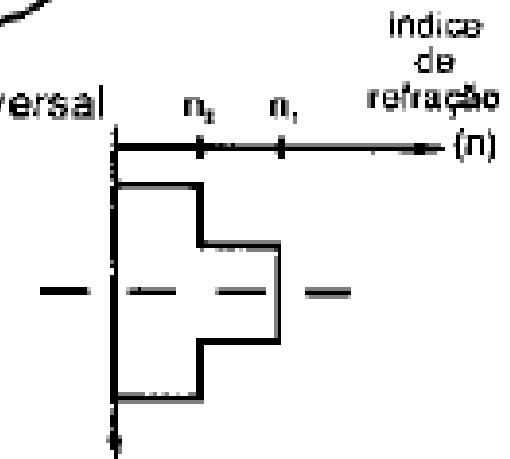
a) estrutura cilíndrica



b) seção transversal



c) corte longitudinal



d) perfil de índices



TIPOS DE FIBRA

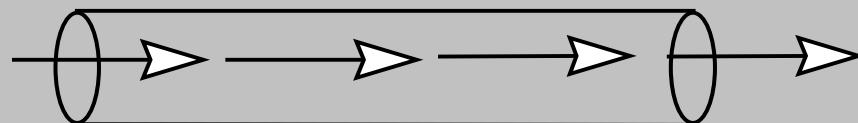
MULTIMODO

■ *MultiMode Fiber (MMF)*

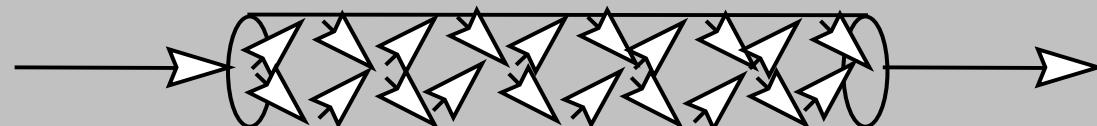
MONOMODO

■ *Single Mode Fiber (SMF)*

Monomodo - Utilizada para Backbone



Multimodo - Utilizada para Backbone e Cabeamento Horizontal. 62.5/125



BANDA PASSANTE



■ MULTIMODO ÍNDICE DEGRAU

- 20-40 MHz.km

■ MULTIMODO ÍNDICE GRADUAL

- 400-800 MHz.km >>> 4 a 8 GHz em 100 metros!

■ MONOMODO

- 100's GHz.km



JANELAS DE TRANSMISSÃO

■ 850 nm

■ 3,0 a 5,0 dB/km

■ 1300 nm

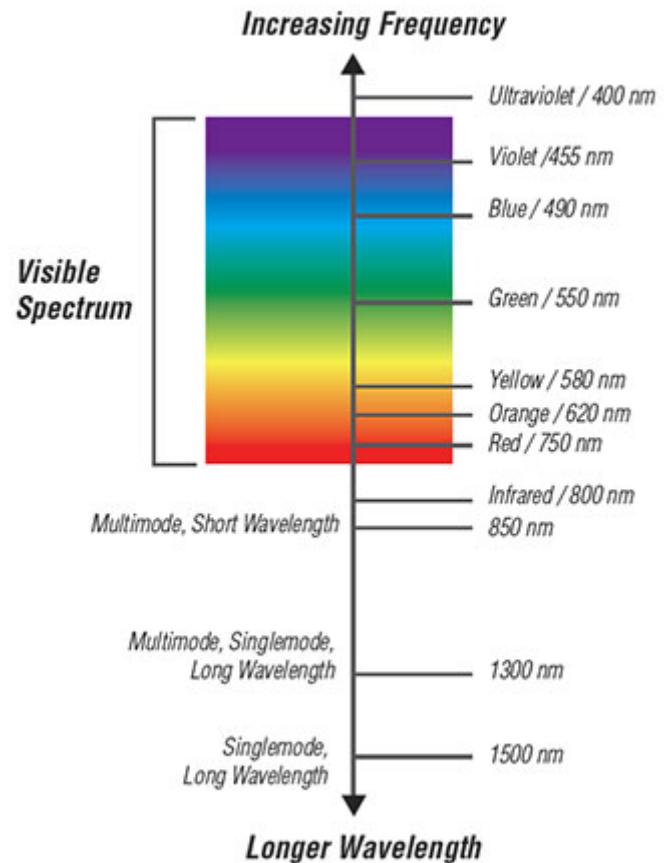
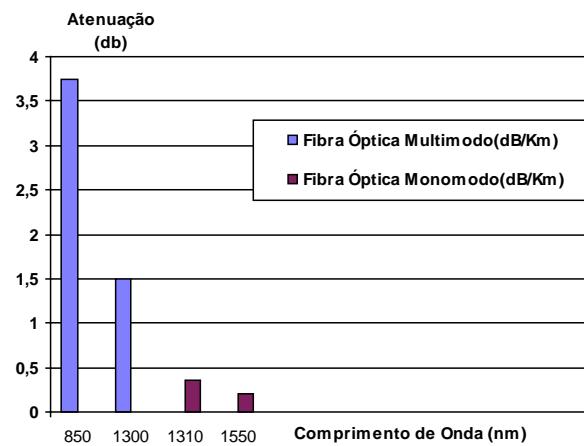
■ 0,7 a 1,5 dB/km

■ 1550 nm

■ 0,2 a 0,4 dB/km

■ luz visível

■ 100's dB/km



PADRÕES MMF ISO/IEC 1801

| Fiber Type | Max. attenuation (db/km) | | Min. modal bandwidth (MHz x km) | | |
|------------|--------------------------|--------|---------------------------------|--------|---------------|
| | | | Overfilled launch | | Laser launch |
| | 850nm | 1300nm | 850nm | 1300nm | 850nm |
| OM1 | 3,5 | 1,5 | 200 | 500 | Not specified |
| OM2 | 3,5 | 1,5 | 500 | 500 | Not specified |
| OM3 | 3,5 | 1,5 | 1500 | 500 | 2000 |
| OM4 | 3,5 | 1,5 | 3500 | 500 | 4700 |

Table-2: Multi Mode Fiber Characteristics for OM1, OM2, OM3 and OM4

OM3/
OM4

OM5

40 Gbps

100 Gbps

400 Gbps

Padrões SMF ISO/IEC

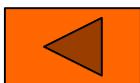


- OS1 @ ITU-T G.652 a/b
- OS2 @ ITU-T G.652 c/d

OM3 e OM4 @ 850nm

| Cable Type | 1GbE | | 10GbE | | 40 /100GbE | |
|------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|
| | Loss (dB) | Length (m) | Loss (dB) | Length (m) | Loss (dB) | Length (m) |
| OM3 | 4.5 | 1000 | 2.6 | 300 | 1.9 | 100 |
| OM4 | 4.8 | 1100 | 3.1 | 1100 | 1.5 | 150 |

Loss and Length Limits at 850nm



OM5 @ 400GbE

400GBASE-SR4.2 Link Power Budget

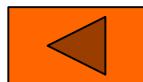
| Parameter | OM3 | OM4 | OM5 | Unit |
|---|------|------|------|--------|
| Effective modal bandwidth at 850 nm ^a | 2000 | 4700 | 4700 | MHz-km |
| Effective modal bandwidth at 918 nm | 1210 | 1850 | 2890 | MHz-km |
| Power budget (for max TDECQ) | | 6.6 | | dB |
| Operating distance | 70 | 100 | 150 | m |
| Channel insertion loss ^c | 1.8 | 1.9 | 2 | dB |
| Allocation for penalties ^d (for max TDECQ) | | 4.6 | | dB |
| Additional insertion loss allowed | 0.2 | 0.1 | 0 | dB |



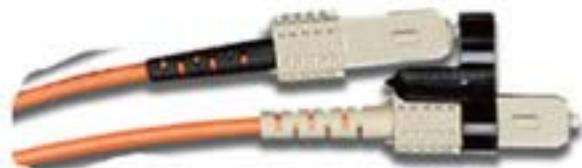
Fibras SMF ISO/IEC 11801

Singlemode Fiber Types (by ISO 11801 Cabling Standard convention)

| SM Cabled Fiber Designation | Wavelength (nm) | Max CABLE Loss (dB/km) | Cable Type | Typical Reach (meters) |
|--|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| OS1 | 1310 & 1550 | 1.0 | Typically Tight Buffer | 2000 |
| OS1a | 1310, 1383 , 1550 | 1.0 | Typically Tight Buffer | 2000 |
| OS2 | 1310, 1383, 1550 | 0.4 | Typically Loose Tube | 10,000 |



CONECTORES ÓPTICOS



SC simplex, duplex



LC duplex



MT-RJ



ST simplex

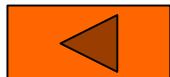


LC simplex



MPO/MTP

Fonte: <https://www.siemon.com.br/>

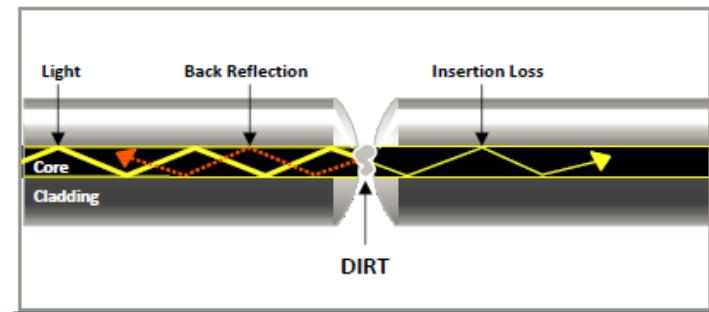


*What Makes a **BAD** Fiber Connection?*

■ A single particle mated into the core of a fiber can cause significant **back reflection**, **insertion loss** and even equipment damage.

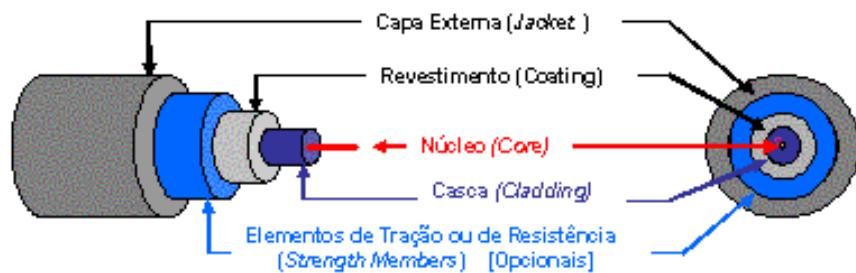
■ Today's connector design and production techniques have eliminated most of the challenges to achieving **Core Alignment** and **Physical Contact**.

■ What remains challenging is maintaining a **Pristine End-face**. As a result, **CONTAMINATION** is the #1 source of troubleshooting in optical networks.

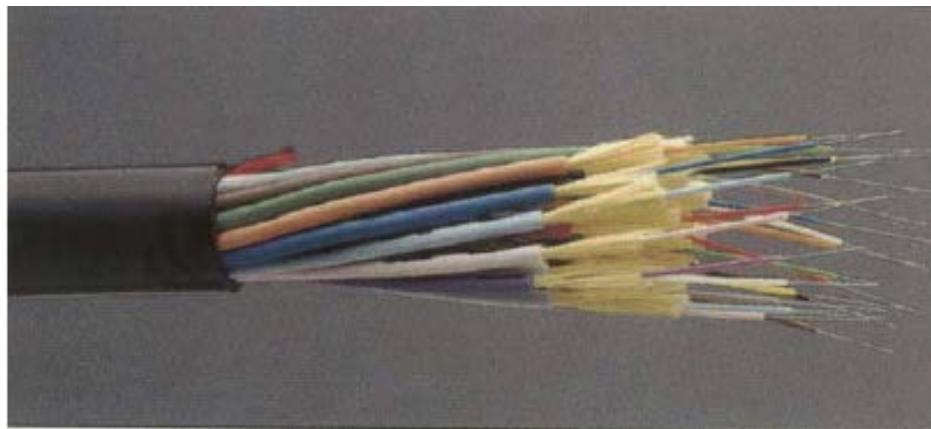


CABOS ÓPTICOS

MONOFIBRA



MULTIFIBRAS



"ESPAÇO LIVRE" / *WIRELESS*

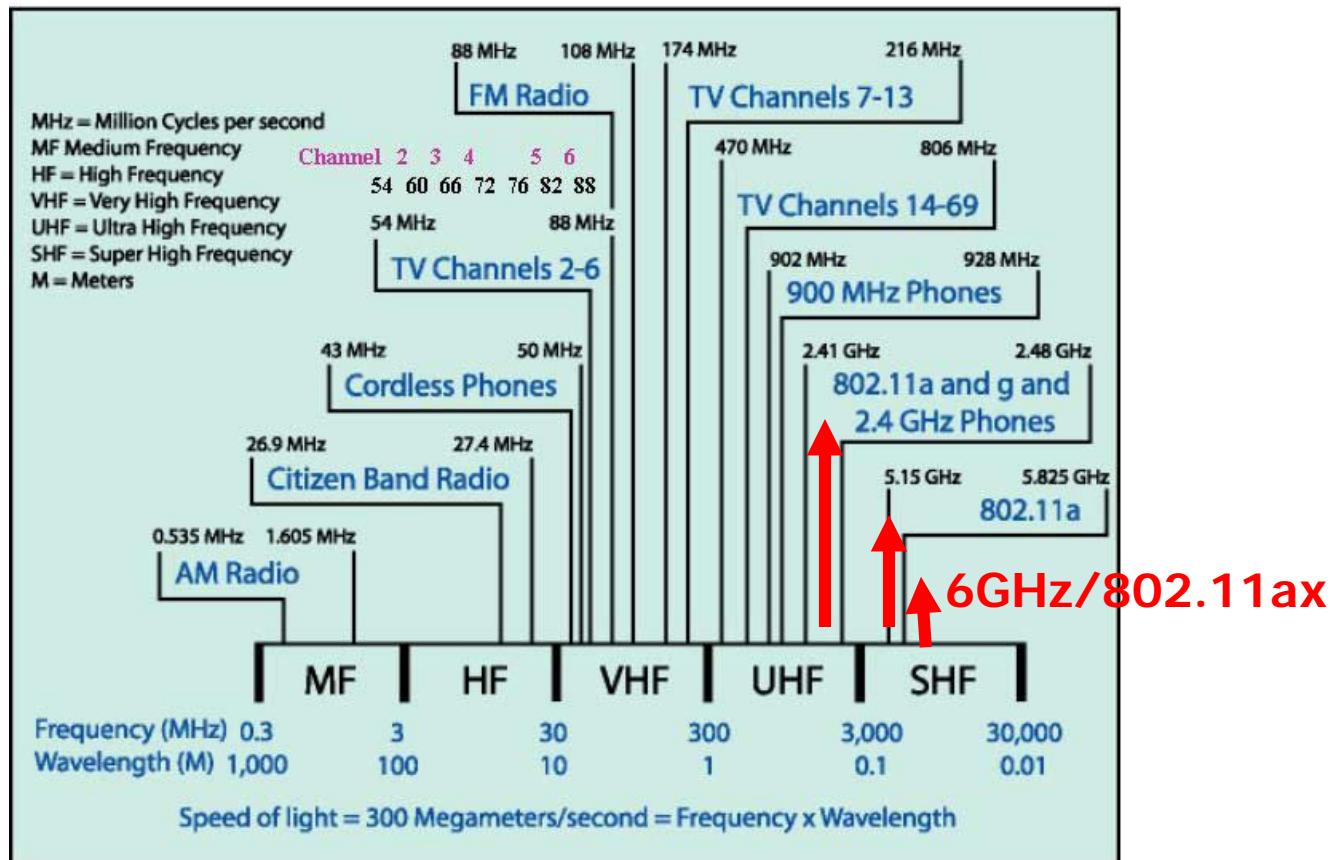


■ ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS

■ TECNOLOGIAS WIRELESS

■ APLICABILIDADE

ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS



3 kHz 30 kHz 300 kHz 3 MHz 30 MHz 300 MHz 3 GHz 30 GHz 300 GHz



TECNOLOGIAS WIRELESS

MICROONDAS

- bandas **ISM**
 - 902-928 MHz; 2,4-2,48 GHz; 5,725-5,850 GHz
 - *spread spectrum (@ IEEE 802.11)*
- banda em **6 GHz**
 - Wi-fi 6 (IEEE 802.11ax)
- bandas sob licença
 - 18,82-18,87 GHz
 - 19,16-19,21 GHz



INFRAVERMELHO

- *direct beam*
- difusão

APLICABILIDADE DAS TECNOLOGIAS WIRELESS

■ APLICAÇÕES

- *Indoor*
- *Outdoor*

■ VANTAGENS OPERACIONAIS

- **mobilidade**
- **agilidade**
- **flexibilidade**

■ COMPROMISSOS

- **taxas e alcances limitados**
- **ruídos e interferências**
- disponibilidade de frequências (@ regulamentação)

REFERÊNCIAS

- www.bicsi.org
- www.hdbaset.org
- www.tiafotc.org
- www.siemon.com
 - www.siemon.com/us/white_papers/04-03-01_cabling-life.asp
- www.cablinginstall.com
- www.dipolnet.com
- www.flukenetworks.com

REDES LOCAIS MEIOS DE TRANSMISSÃO

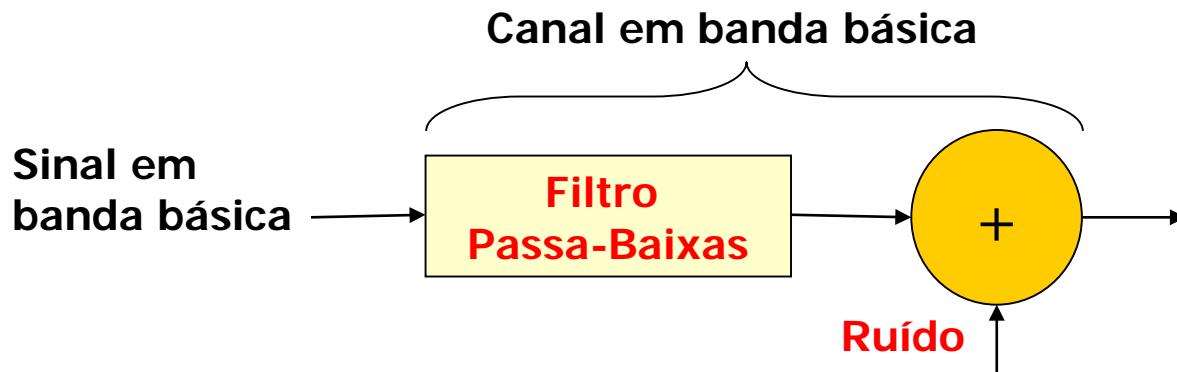


CODIFICAÇÃO EM
BANDA BÁSICA

e

MODULAÇÃO DE
SINAIS DIGITAIS

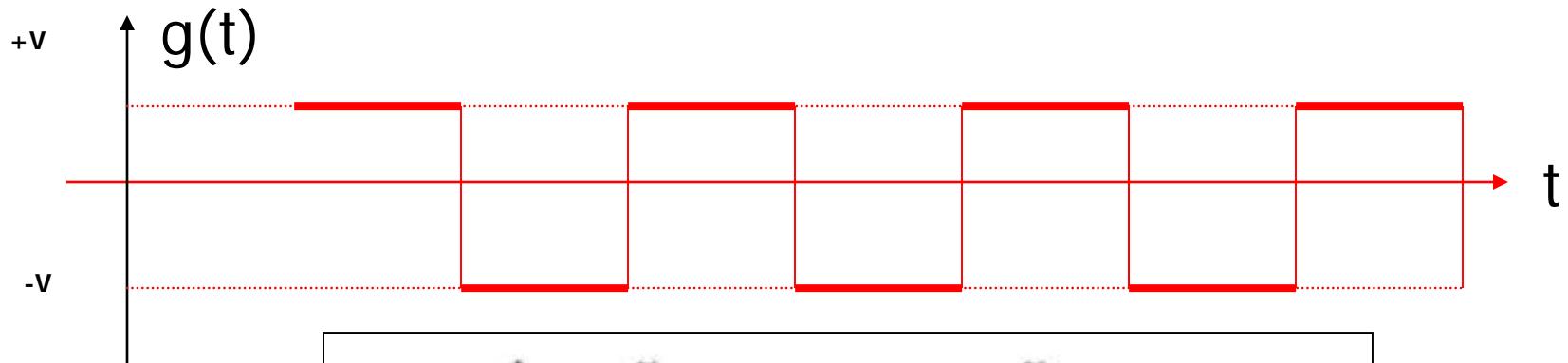
CANAL EM BANDA BÁSICA



CARACTERÍSTICAS

- **único canal para comunicação** através do meio físico, de modo que somente um dispositivo pode transmitir por vez
- os sinais **não precisam** ser multiplexados em uma **freqüência portadora** de informação.

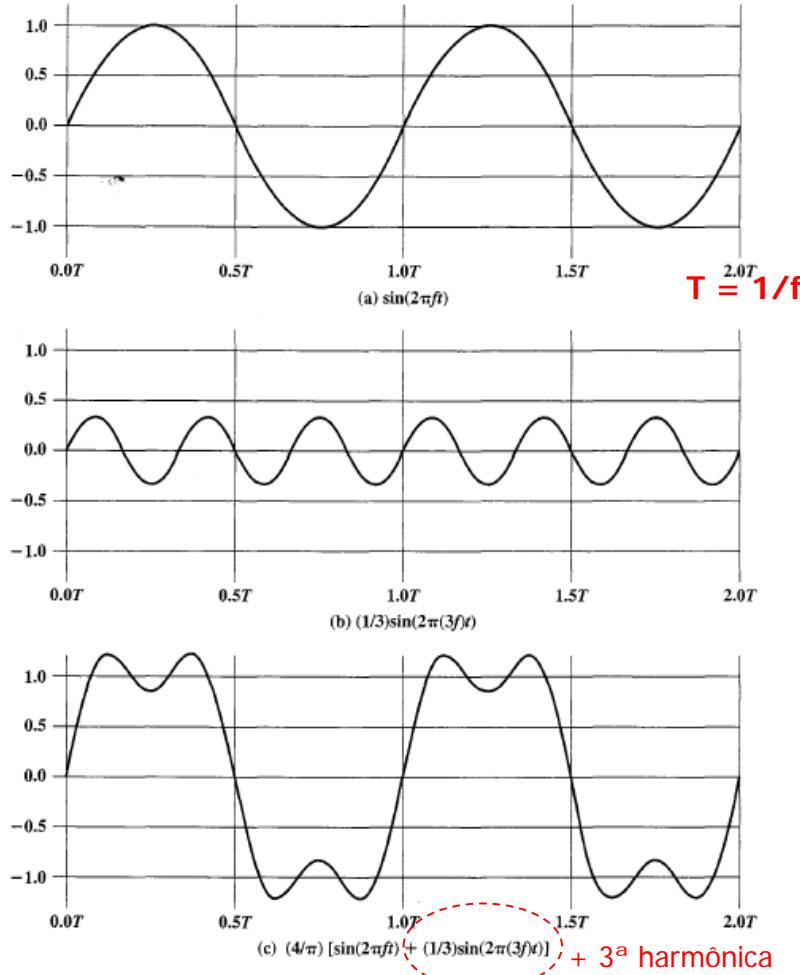
SINAIS EM BANDA BÁSICA



$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi n f t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi n f t)$$

$$a_n = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} g(t) \sin(2\pi n f t) dt \quad b_n = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} g(t) \cos(2\pi n f t) dt \quad c = \frac{2}{T_0} \int_0^{T_0} g(t) dt$$

COMPONENTES DO SINAL EM BANDA BÁSICA



Banda passante absoluta

$$B_{\text{abs}} = 3f - f = 2f$$

$$s(t) = (4/\pi) \times (\sin(2\pi ft) + (1/3)\sin(2\pi(3f)t))$$

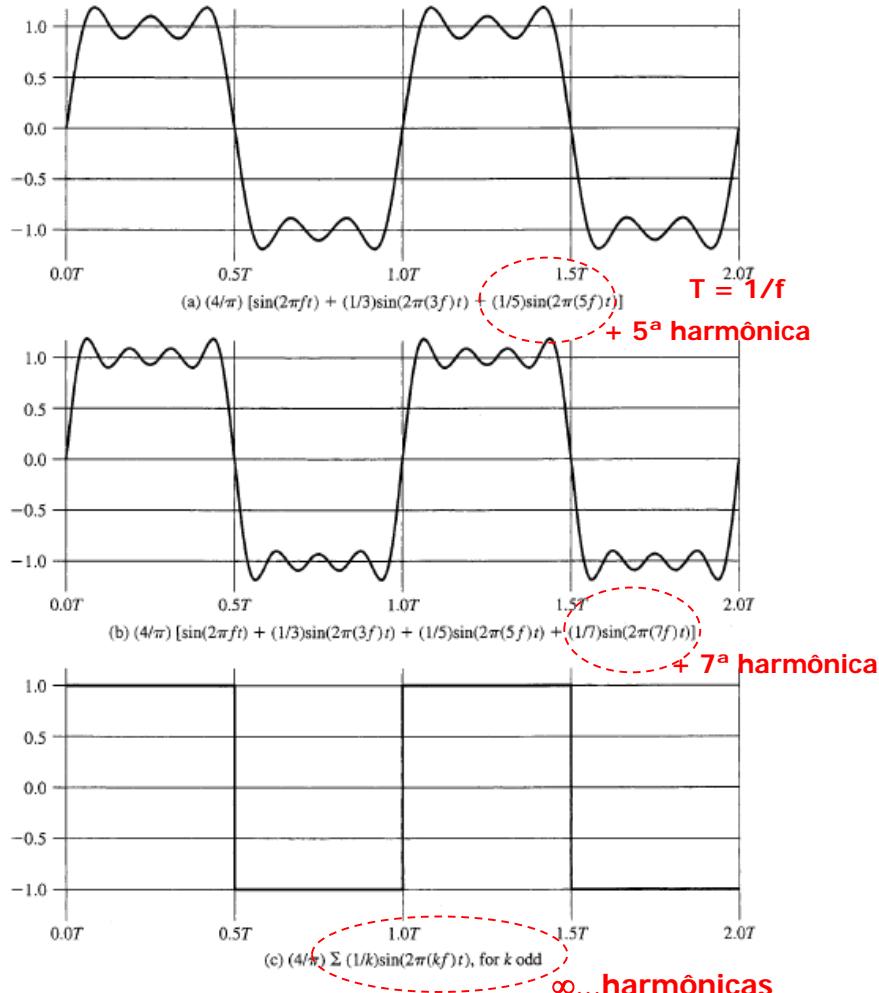
Exemplo:

Taxa de transmissão (*On-Off*) = 4 Mbps

$$f = 2 \text{ MHz}$$
$$T = 0,5 \mu\text{s}$$

$$B_{\text{abs}} = 4 \text{ MHz}$$
$$\text{Tempo de bit} = 0,25 \mu\text{s}$$

COMPONENTES DO SINAL EM BANDA BÁSICA (II)

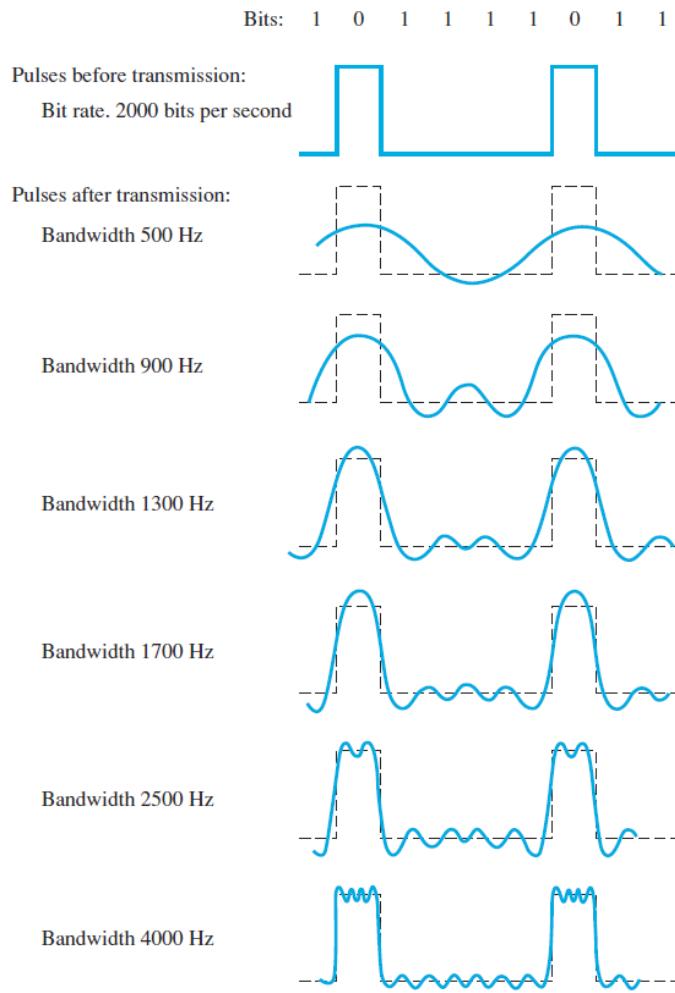


Componentes em frequência
de uma onda quadrada com
amplitudes $+A$ e $-A$:

$$s(t) = A \times \frac{4}{\pi} \sum_{k \text{ odd}, k=1}^{\infty} \frac{\sin(2\pi kf t)}{k}$$

BANDA PASSANTE EFETIVA

Banda passante efetiva
Concentra a maior parte
da energia do sinal



Fonte: livro do Stallings, W. - Data and Computer Communications, 8ed., 2007

CAPACIDADE DE CANAL BANDA BÁSICA

Canal Sem Ruído

**Banda de
NYQUIST**

$$C = 2B \log_2 M$$

Exemplos:

- $B = 20 \text{ MHz}$; $M=2$ (*on-off* binário) $\Rightarrow C = 40 \text{ Mbps}$
- $B = 40 \text{ MHz}$; $M=2$ $\Rightarrow C = 80 \text{ Mbps}$
- $B = 20 \text{ MHz}$; $M=4$ (quaternário) $\Rightarrow C = 80 \text{ Mbps}$

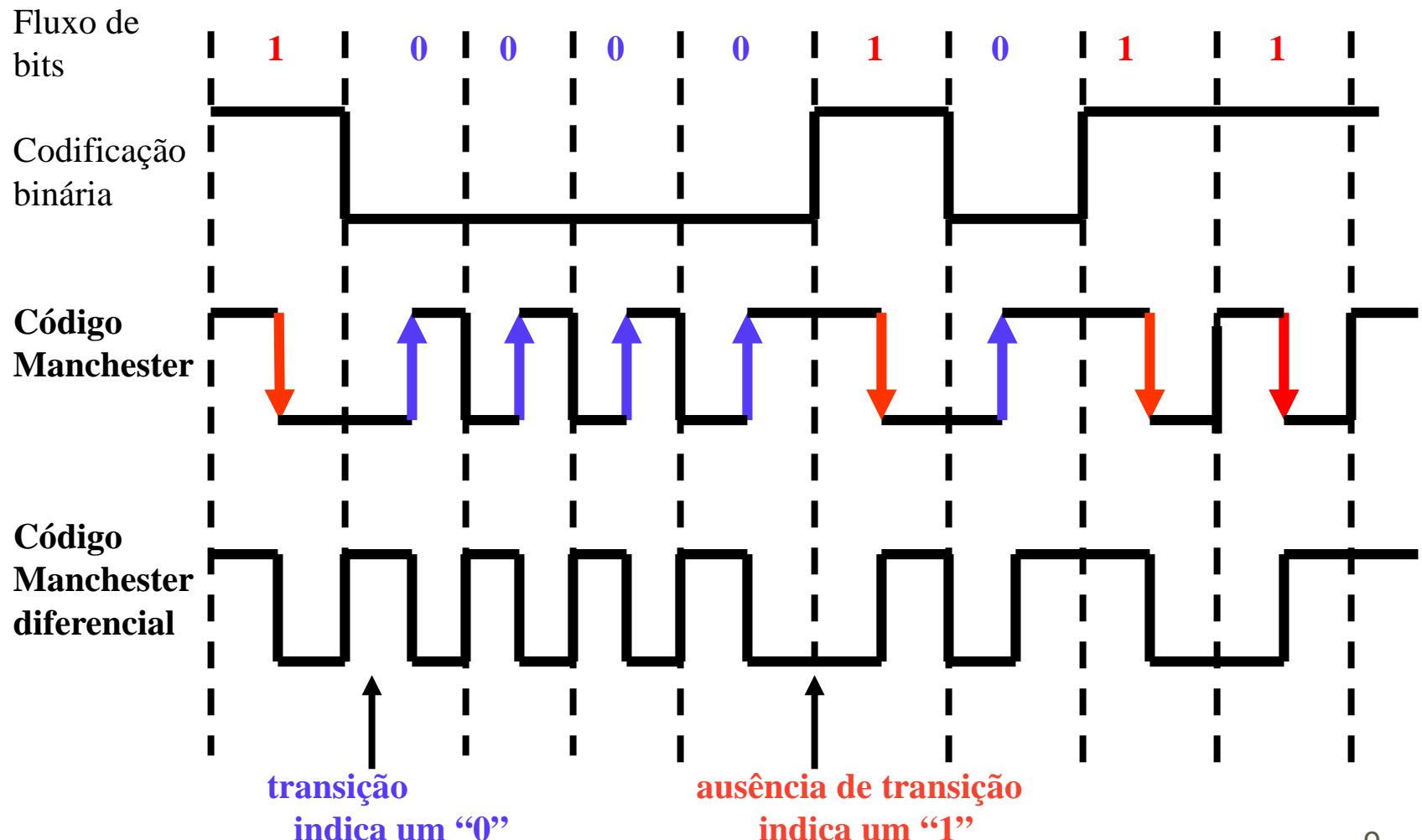
CODIFICAÇÃO EM BANDA BÁSICA

OBJETIVOS

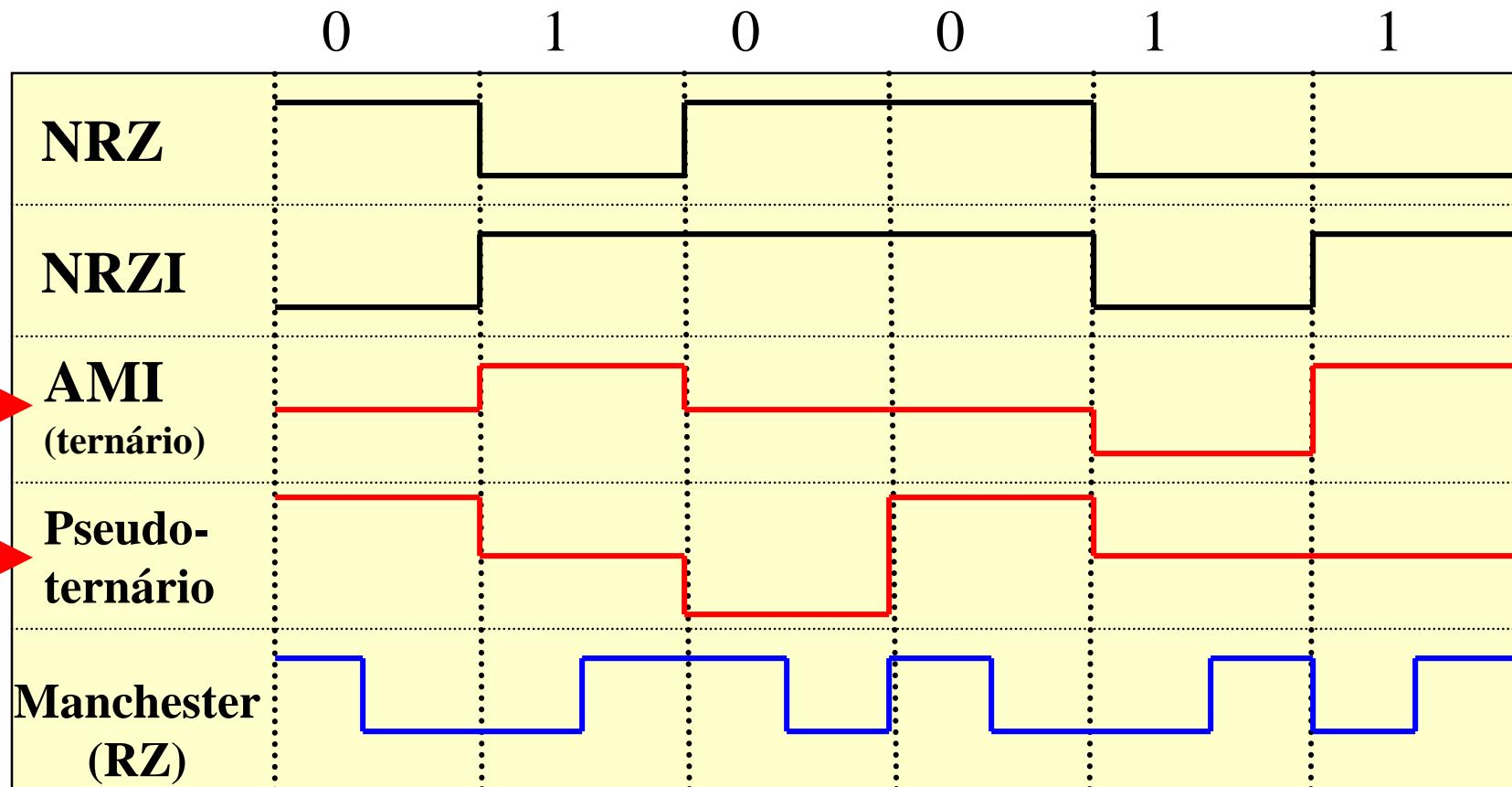
- | **adaptação do espectro de emissão**
 - | ajuste para banda disponível
- | **recuperação de relógio**
 - | sincronismo de bit
- | **redundância**
 - | sincronismo de nível superior, detecção de erros, etc

EXEMPLOS DE CÓDIGOS EM BANDA BÁSICA

CÓDIGOS BINÁRIOS



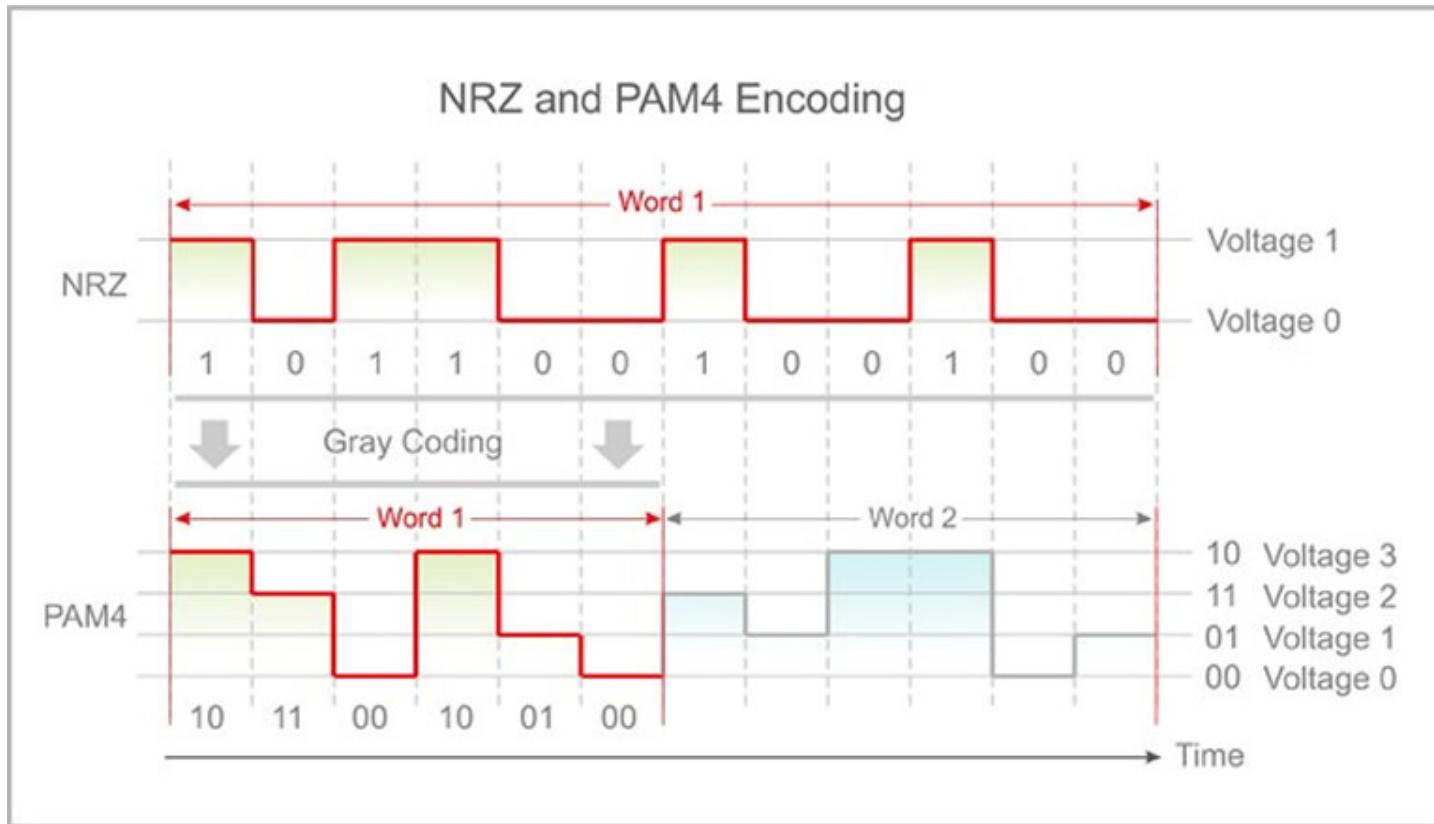
CÓDIGOS (PSEUDO)TERNÁRIOS



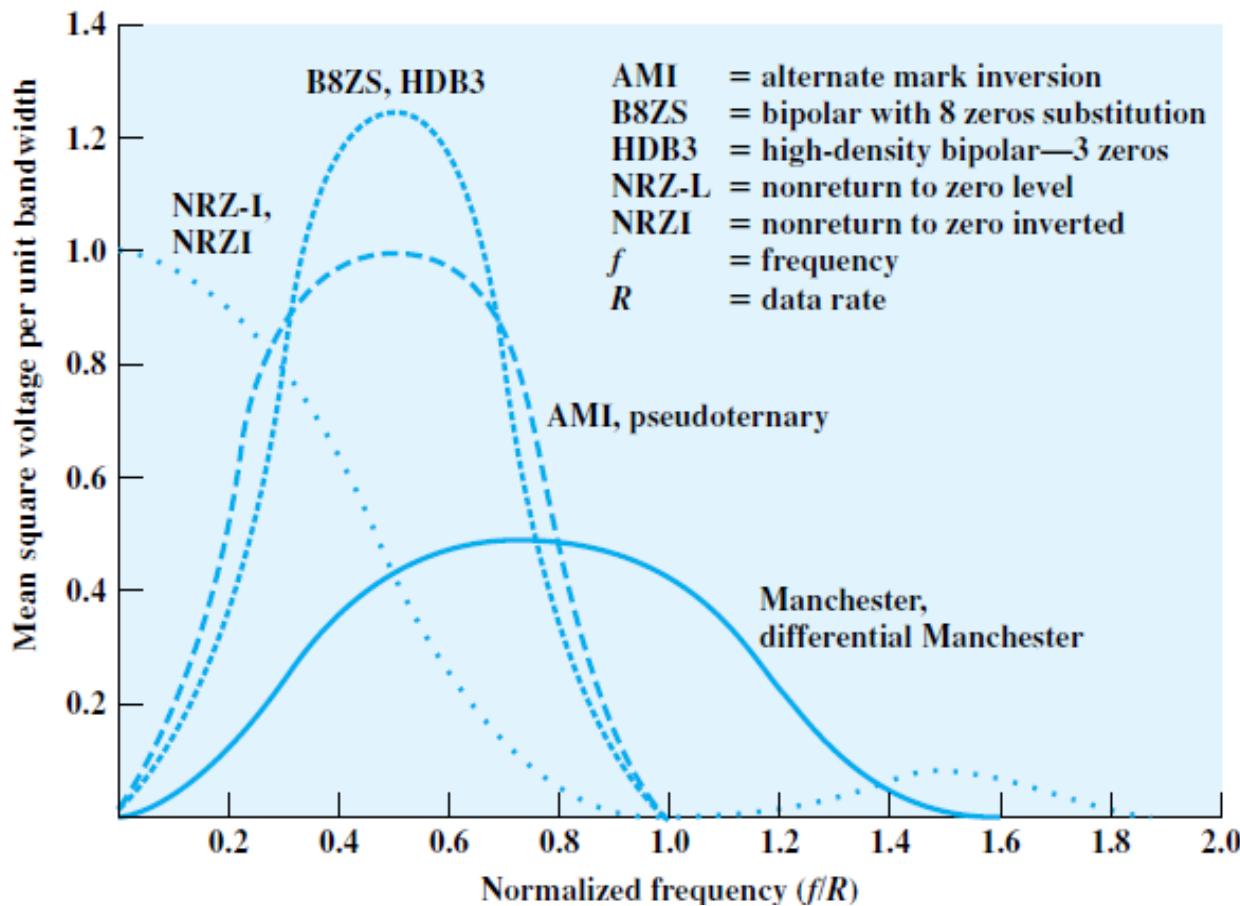
NRZ *Non-Return-to-Zero*

AMI *Alternate Mark Inversion*

CODIFICAÇÃO PAM-4



DENSIDADE ESPECTRAL



B8ZS

Same as bipolar AMI, except that any string of eight zeros is replaced by a string with two code violations

HDB3

Same as bipolar AMI, except that any string of four zeros is replaced by a string with one code violation

CÓDIGOS mB/nB

CARACTERÍSTICAS GERAIS

- alta **densidade de transições**
- **balanceamento DC**
- caracteres separados para **dados** e **controle**
- **símbolos especiais** para sincronização de caracteres
- capacidade de **detecção de erros**

EXEMPLOS

EXEMPLOS DE CÓDIGOS mB/nB



■ 4B/5B

- FDDI, Fast Ethernet

■ 8B/10B

- Fiber Channel, Gigabit Ethernet

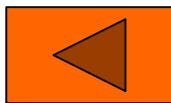
■ 64B/66B

- 10 Gigabit Ethernet

CODIFICAÇÃO 4B/5B

| Data Input (4 bits) | Code Group (5 bits) | NRZI pattern | Interpretation |
|------------------------|------------------------|--------------|----------------|
| 0000 | 11110 | | Data 0 |
| 0001 | 01001 | | Data 1 |
| 0010 | 10100 | | Data 2 |
| 0011 | 10101 | | Data 3 |
| 0100 | 01010 | | Data 4 |
| 0101 | 01011 | | Data 5 |
| 0110 | 01110 | | Data 6 |
| 0111 | 01111 | | Data 7 |
| 1000 | 10010 | | Data 8 |
| 1001 | 10011 | | Data 9 |
| 1010 | 10110 | | Data A |
| 1011 | 10111 | | Data B |
| 1100 | 11010 | | Data C |
| 1101 | 11011 | | Data D |
| 1110 | 11100 | | Data E |
| 1111 | 11101 | | Data F |

| | | | |
|--|-------|--|-----------------------------------|
| | 11111 | | Idle |
| | 11000 | | Start of stream delimiter, part 1 |
| | 10001 | | Start of stream delimiter, part 2 |
| | 01101 | | End of stream delimiter, part 1 |
| | 00111 | | End of stream delimiter, part 2 |
| | 00100 | | Transmit error |
| | Other | | Invalid codes |



CODIFICAÇÃO 8B/10B

A. X. Widmer
P. A. Franaszek



A DC-Balanced, Partitioned-Block, 8B / 10B Transmission Code

This paper describes a byte-oriented binary transmission code and its implementation. This code is particularly well suited for high-speed local area networks and similar data links, where the information format consists of packets, variable in length, from about a dozen up to several hundred 8-bit bytes. The proposed transmission code translates each source byte into a constrained 10-bit binary sequence which has excellent performance parameters near the theoretical limits for 8B/10B codes. The maximum run length is 5 and the maximum digital sum variation is 6. A single error in the encoded bits can, at most, generate an error burst of length 5 in the decoded domain. A very simple implementation of the code has been accomplished by partitioning the coder into 5B/6B and 3B/4B subordinate coders.

IBM J. RES. DEVELOP. • VOL. 27 • NO. 5 • SEPTEMBER 1983

CODIFICAÇÃO 8B/10B

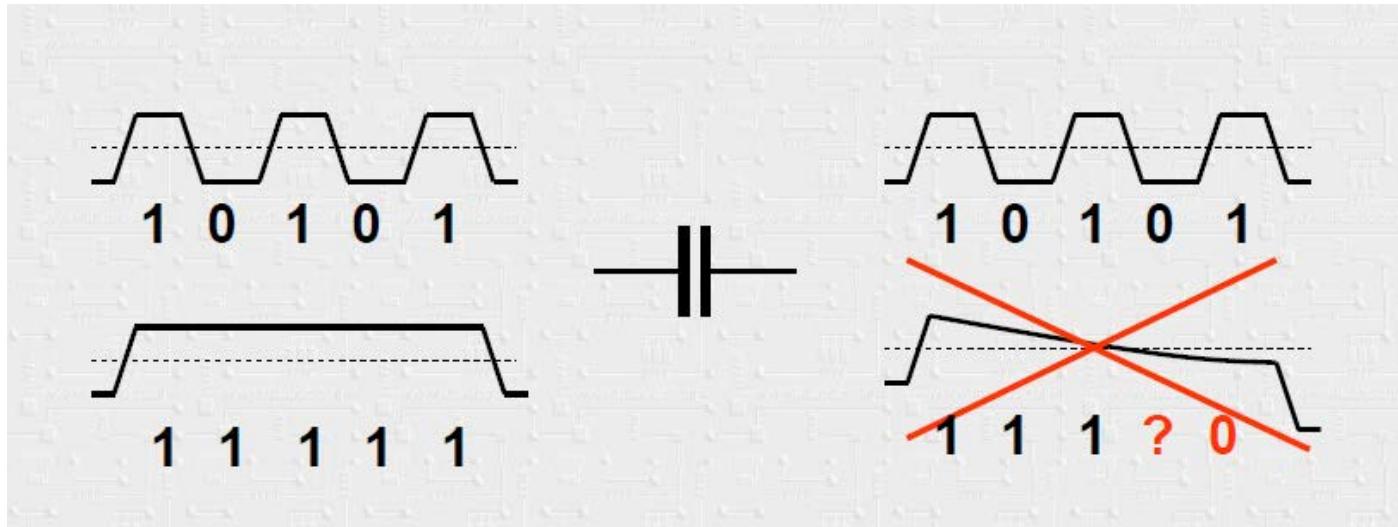
256 “Data” Characters:

Table C-1: Valid Data Characters

| Data Byte Name | Bits HGF EDCBA | Current RD – abcdei fghj | Current RD + abcdei fghj |
|----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|
| D0.0 | 000 00000 | 100111 0100 | 011000 1011 |
| D1.0 | 000 00001 | 011101 0100 | 100010 1011 |
| D2.0 | 000 00010 | 101101 0100 | 010010 1011 |
| D3.0 | 000 00011 | 110001 1011 | 110001 0100 |
| D4.0 | 000 00100 | 110101 0100 | 001010 1011 |
| D5.0 | 000 00101 | 101001 1011 | 101001 0100 |
| D6.0 | 000 00110 | 011001 1011 | 011001 0100 |
| D7.0 | 000 00111 | 111000 1011 | 000111 0100 |
| D8.0 | 000 01000 | 111001 0100 | 000110 1011 |
| D9.0 | 000 01001 | 100101 1011 | 100101 0100 |
| ⋮ | | | |
| D31.7 | 111 11111 | 101011 0001 | 010100 1110 |

Balanceamento DC

BALANÇO DC



Define um máximo ***Run Length*** (ex: igual a 5 no 8B/10)
Envio de quantidades iguais de 1's e 0's (***running disparity***)

CODIFICAÇÃO 8B/10B

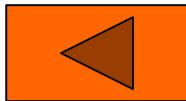
- 12 “Special” K Characters:

Table C-2: Valid Control K Characters

| Special Code Name | Bits HGF EDCBA | Current RD – abcdei fghj | Current RD + abcdei fghj |
|----------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|
| K28.0 | 000 11100 | 001111 0100 | 110000 1011 |
| K28.1 | 001 11100 | 001111 1001 | 110000 0110 |
| K28.2 | 010 11100 | 001111 0101 | 110000 1010 |
| K28.3 | 011 11100 | 001111 0011 | 110000 1100 |
| K28.4 | 100 11100 | 001111 0010 | 110000 1101 |
| K28.5 | 101 11100 | 001111 1010 | 110000 0101 |
| K28.6 | 110 11100 | 001111 0110 | 110000 1001 |
| K28.7 ⁽¹⁾ | 111 11100 | 001111 1000 | 110000 0111 |
| K23.7 | 111 10111 | 111010 1000 | 000101 0111 |
| K27.7 | 111 11011 | 110110 1000 | 001001 0111 |
| K29.7 | 111 11101 | 101110 1000 | 010001 0111 |
| K30.7 | 111 11110 | 011110 1000 | 100001 0111 |

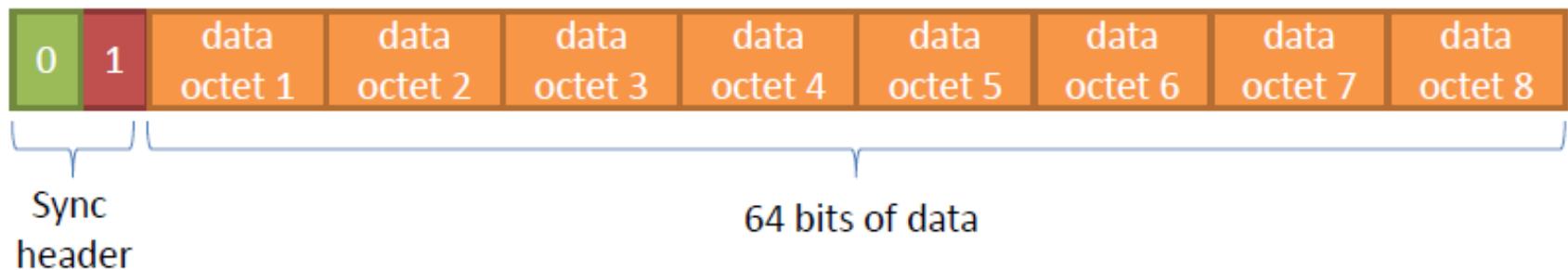
Comma
Characters

“The only patterns that
have 5 consecutive
‘1’s or ‘0’s



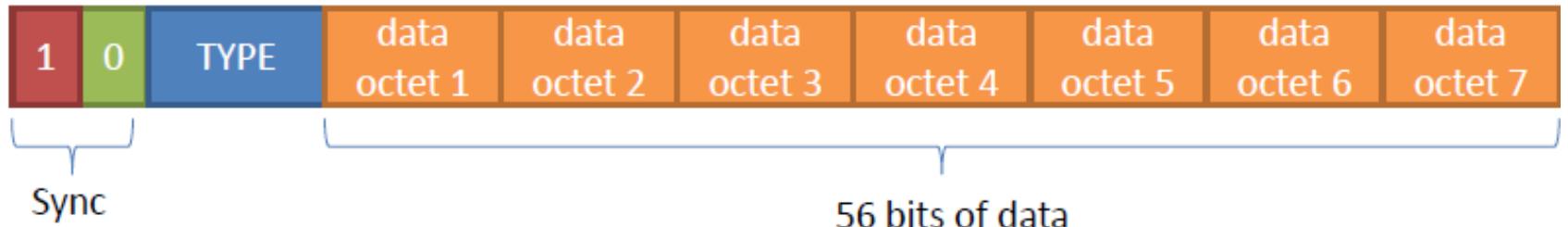
64B/66B - TIPOS DE VETORES

Vetor de Dados (*Sync header* = 0b01)



Vetor de Controle (*Sync header* = 0b01)

- campo TYPE indica o tipo de vetor de controle e sua estrutura interna



64B/66B - FORMATOS

Dados apenas

Dados + controle

| Input Data | S y n c | Block Payload | | | | | | | | | | |
|--|------------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|----|
| Bit Position: | 0 | 1 | 2 | | | | | | | | | 65 |
| Data Block Format: | D ₀ | D ₁ | D ₂ | D ₃ | D ₄ | D ₅ | D ₆ | D ₇ | | | | |
| Control Block Formats: | C ₀ | C ₁ | C ₂ | C ₃ /C ₄ | C ₅ | C ₆ | C ₇ | | | | | |
| C ₀ C ₁ C ₂ C ₃ /C ₄ C ₅ C ₆ C ₇ | 10 | 0x1e | C ₀ | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ | C ₆ | C ₇ | | |
| C ₀ C ₁ C ₂ C ₃ /C ₄ D ₅ D ₆ D ₇ | 10 | 0x2d | C ₀ | C ₁ | C ₂ | C ₃ | O ₄ | D ₅ | D ₆ | D ₇ | | |
| C ₀ C ₁ C ₂ C ₃ /S ₄ D ₅ D ₆ D ₇ | 10 | 0x33 | C ₀ | C ₁ | C ₂ | C ₃ | | D ₅ | D ₆ | D ₇ | | |
| O ₀ D ₁ D ₂ D ₃ /S ₄ D ₅ D ₆ D ₇ | 10 | 0x66 | D ₁ | D ₂ | D ₃ | O ₀ | | D ₅ | D ₆ | D ₇ | | |
| O ₀ D ₁ D ₂ D ₃ /O ₄ D ₅ D ₆ D ₇ | 10 | 0x55 | D ₁ | D ₂ | D ₃ | O ₀ | O ₄ | D ₅ | D ₆ | D ₇ | | |
| S ₀ D ₁ D ₂ D ₃ /D ₄ D ₅ D ₆ D ₇ | 10 | 0x78 | D ₁ | D ₂ | D ₃ | D ₄ | | D ₅ | D ₆ | D ₇ | | |
| O ₀ D ₁ D ₂ D ₃ /C ₄ C ₅ C ₆ C ₇ | 10 | 0x4b | D ₁ | D ₂ | D ₃ | O ₀ | C ₄ | C ₅ | C ₆ | C ₇ | | |
| T ₀ C ₁ C ₂ C ₃ /C ₄ C ₅ C ₆ C ₇ | 10 | 0x87 | | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ | C ₆ | C ₇ | | |
| D ₀ T ₁ C ₂ C ₃ /C ₄ C ₅ C ₆ C ₇ | 10 | 0x99 | D ₀ | | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ | C ₆ | C ₇ | | |
| D ₀ D ₁ T ₂ C ₃ /C ₄ C ₅ C ₆ C ₇ | 10 | 0xaa | D ₀ | D ₁ | | C ₃ | C ₄ | C ₅ | C ₆ | C ₇ | | |
| D ₀ D ₁ D ₂ T ₃ /C ₄ C ₅ C ₆ C ₇ | 10 | 0xb4 | D ₀ | D ₁ | D ₂ | | C ₄ | C ₅ | C ₆ | C ₇ | | |
| D ₀ D ₁ D ₂ D ₃ T ₄ /C ₅ C ₆ C ₇ | 10 | 0xcc | D ₀ | D ₁ | D ₂ | D ₃ | | C ₅ | C ₆ | C ₇ | | |
| D ₀ D ₁ D ₂ D ₃ /D ₄ T ₅ C ₆ C ₇ | 10 | 0xd2 | D ₀ | D ₁ | D ₂ | D ₃ | D ₄ | | C ₆ | C ₇ | | |
| D ₀ D ₁ D ₂ D ₃ /D ₄ D ₅ T ₆ C ₇ | 10 | 0xe1 | D ₀ | D ₁ | D ₂ | D ₃ | D ₄ | D ₅ | | C ₇ | | |
| D ₀ D ₁ D ₂ D ₃ /D ₄ D ₅ D ₆ T ₇ | 10 | 0xff | D ₀ | D ₁ | D ₂ | D ₃ | D ₄ | D ₅ | D ₆ | | | |

64B/66B - CARACTERES DE CONTROLE

| Control character | Notation | XGMII Control Code | 10GBASE-R Control Code | 10GBASE-R O Code | 8B/10B Code ^a |
|---------------------------------|------------------|--------------------|---|------------------|--|
| idle | /I/ | 0x07 | 0x00 | | K28.0 or K28.3 or K28.5 |
| LPI | /LPI/ | 0x06 | 0x06 | | K28.0 with D20.5 in one row or K28.3 or K28.5 with D20.5 in one row ^b |
| start | /S/ | 0xfb | Encoded by block type field | | K27.7 |
| terminate | /T/ | 0xfd | Encoded by block type field | | K29.7 |
| error | /E/ | 0xfe | 0x1e | | K30.7 |
| Sequence ordered_set | /Q/ | 0x9c | Encoded by block type field plus O code | 0x0 | K28.4 |
| reserved0 | /R/ ^c | 0x1c | 0x2d | | K28.0 |
| reserved1 | | 0x3c | 0x33 | | K28.1 |
| reserved2 | /A/ | 0x7c | 0x4b | | K28.3 |
| reserved3 | /K/ | 0xbc | 0x55 | | K28.5 |
| reserved4 | | 0xdc | 0x66 | | K28.6 |
| reserved5 | | 0xf7 | 0x78 | | K23.7 |
| Signal ordered_set ^d | /Fsig/ | 0x5c | Encoded by block type field plus O code | 0xF | K28.2 |

^aFor information only. The 8B/10B code is specified in Clause 36. Usage of the 8B/10B code for 10 Gb/s operation is specified in Clause 48.

^bSee 48.2.4.2.

^cThe codes for /A/, /K/, and /R/ are used on the XAUI interface to signal idle. They are not present on the XGMII when no errors have occurred, but certain bit errors cause the XGXS to send them on the XGMII.

^dReserved for INCITS T11 Fibre Channel use.

ERROS DE TRANSMISSÃO

CAUSAS

- | Atenuação
- | Interferência Entre Símbolos (IES)

- | causada pela distorção de atrasos
- | limita a banda efetiva do canal

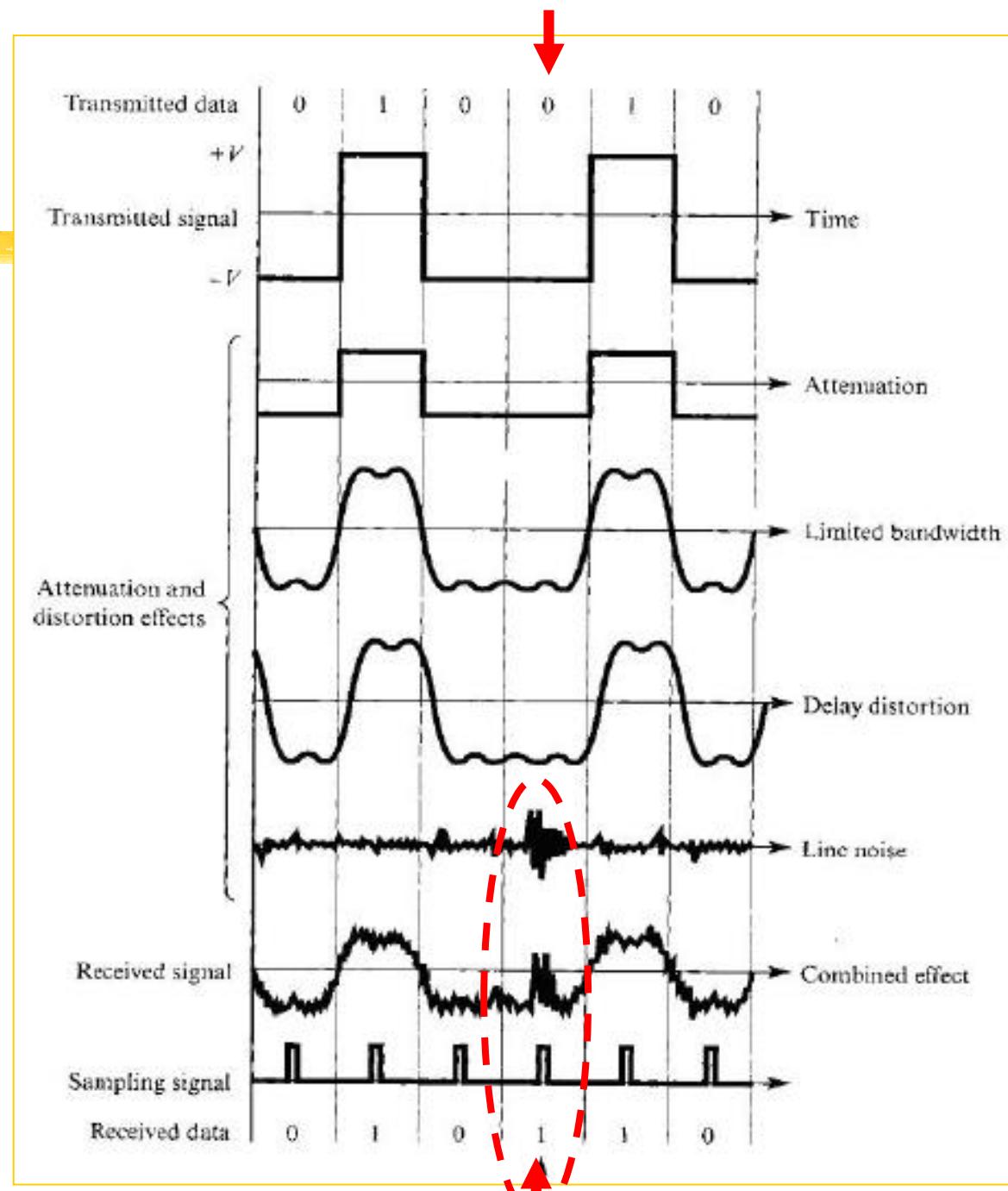
Ruído

- | Térmico ou branco (circuitaria eletrônica)
- | *Shot* (@ fibras ópticas)
- | Impulsivo (fontes externas)
- | *Crosstalk*

DIAGRAMA DO OLHO

Ruído (Ruído térmico)

Erros de Transmissão (BER)



RUÍDO TÉRMICO

DENSIDADE DE RUÍDO TÉRMICO

- a quantidade de ruído térmico em uma banda de 1 Hz em qualquer dispositivo ou condutor é

$$N_0 = kT \text{ (W/Hz)}$$

N_0 = densidade de potência de ruído em watts por hertz de banda

k = constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ (J/K)

T = temperatura em Kelvins (temperatura absoluta)

POTÊNCIA DE RUÍDO TÉRMICO

- independe da frequência

$$N = kT \cdot B \text{ em Watts}$$

B = banda em Hertz

ou

$$N = 10 \log k + 10 \log T + 10 \log B \text{ em decibel-Watts (dBW)}$$

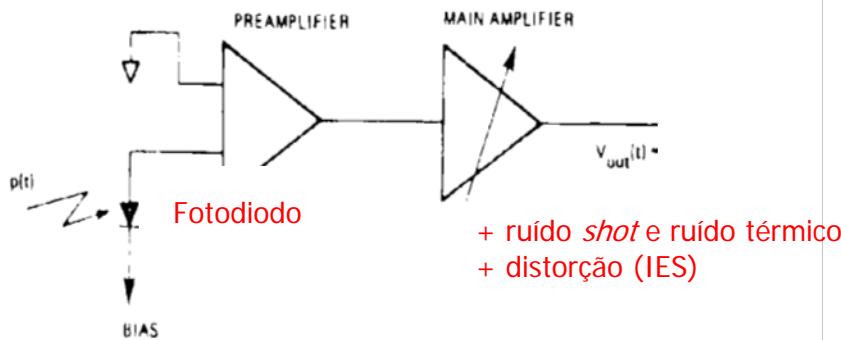
$$N = -228,6 \text{ dBW} + 10 \log T + 10 \log B$$



RUÍDO SHOT

FIBRAS ÓPTICAS

Incertezas na geração/conversão de **fótons/elétrons**



Processo de Poisson

valor rms \Rightarrow

$$\sigma_s^2 = 2e(I_p + I_d)\Delta f$$

"e" carga do elétron

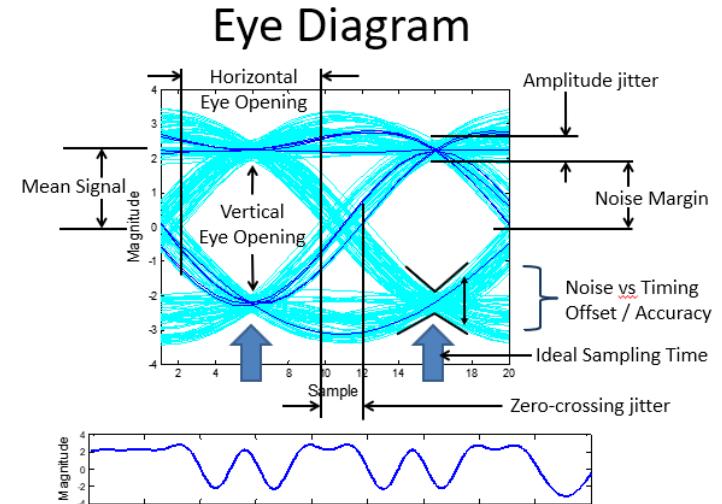
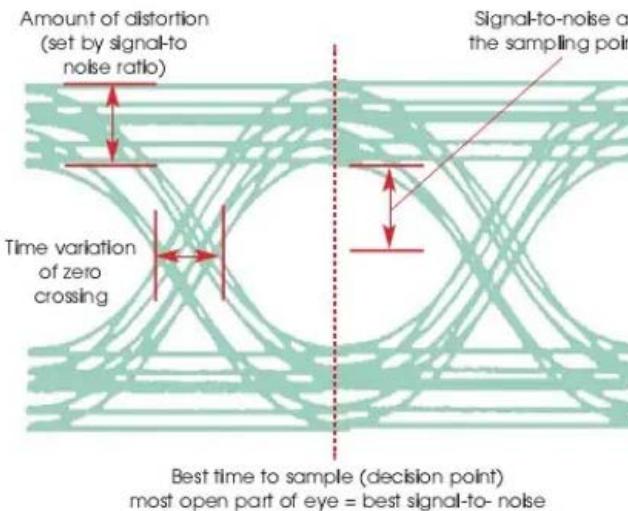
$$I_p = R \cdot P_{in}$$

I_d corrente escura

Δf banda passante de ruído efetiva



DIAGRAMA DO OLHO



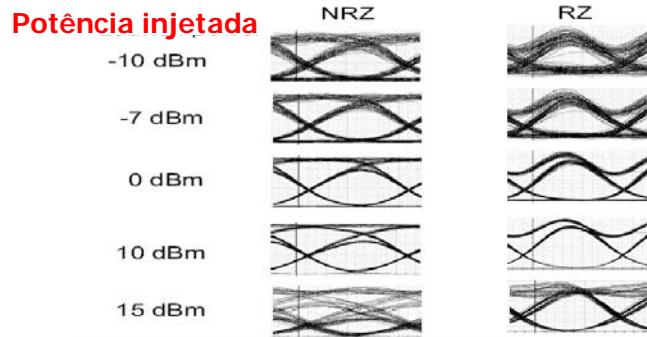
3/15/2020

Copyright © 2019, Dan Boschen

77

Fonte: www.edn.com/eye-diagram-basics-reading-and-applying-eye-diagrams/

Fonte: dsp.stackexchange.com/questions/64613/eye-pattern-construction-and-interpretation



CAPACIDADE DE CANAL COM RUÍDO

Capacidade Máxima de Canal Binário Princípio de Shannon

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Signal-to-Noise
Ratio

(SNR ou S/N)

Exemplos:

- $B = 20 \text{ MHz}; S/N = 4:1 = 6 \text{ dB} \Rightarrow C \approx 46 \text{ Mbps}$
- $B = 20 \text{ MHz}; S/N = 100:1 = 20 \text{ dB} \Rightarrow C \approx 132 \text{ Mbps}$
- $B = 20 \text{ MHz}; S/N = 65536:1 = 48,1 \text{ dB} \Rightarrow C \approx 320 \text{ Mbps}$

SIGNAL-TO-NOISE RATIO (SNR)

PARÂMETRO E_b/N_0

- Relação da **energia do sinal por bit** com a **densidade de potência de ruído por hertz**
 - Taxa de transmissão $R_b = 1/T_b$
 - T_b = tempo do bit

ENERGIA POR BIT

$$E_b = S \cdot T_b \quad \text{onde } S = \text{potência do sinal e 1 Watt} = \text{Joule/s}$$

$$E_b/N_0 = (S/R_b)/N_0 = S/kT R_b$$

$$\begin{aligned}\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\text{dB}} &= S_{\text{dBW}} - 10 \log R - 10 \log k - 10 \log T \\ &= S_{\text{dBW}} - 10 \log R + 228.6 \text{ dBW} - 10 \log T\end{aligned}$$

SIGNAL-TO-NOISE RATIO (SNR)

LEI DE SHANNON

$$S/N \text{ ou "SNR"} = 2^{C/B} - 1$$

C = capacidade de canal em **bps**

B = banda em **Hertz**

C/B = eficiência espectral em **bps/Hertz**

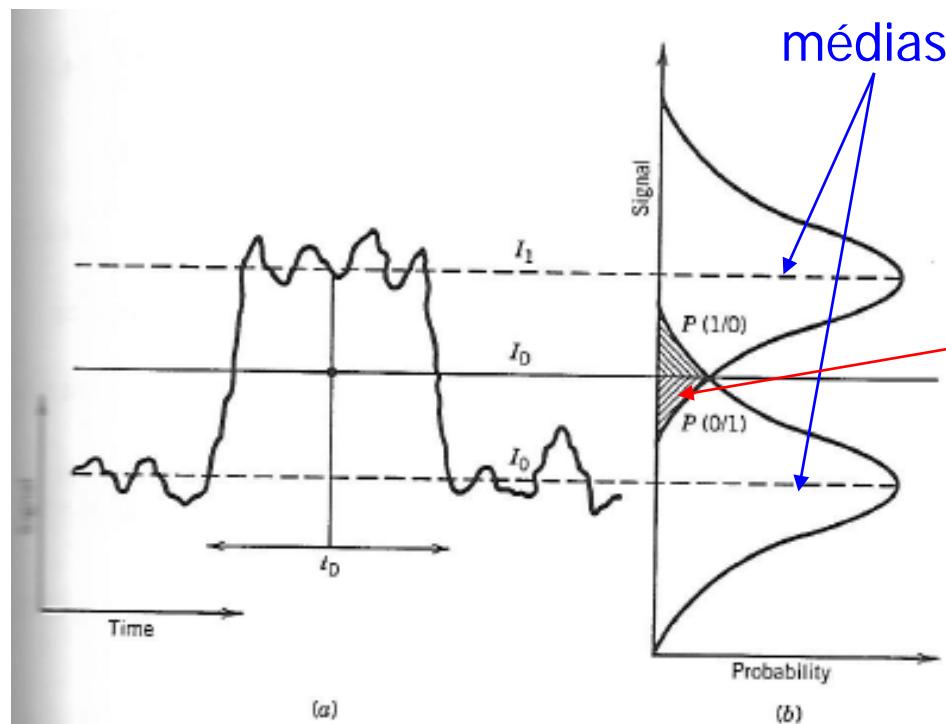
$$E_b/N_0 = (S/R_b)/(N/B) = (S/N).(B/C)$$

■ C = R_b (em bps)

$$E_b/N_0 = (B/C) (2^{C/B} - 1)$$

BINARY ERROR RATE (BER)

Canal binário simétrico com ruído gaussiano



$$\begin{aligned} \text{BER} &= 1/2 [P(0|1)+P(1|0)] \\ \text{Se } Q &= (I_1 - I_0)/(\sigma_1 + \sigma_0) \\ \sigma_1^2 &\text{ variância relativa ao bit 1} \\ \sigma_0^2 &\text{ variância relativa ao bit 0} \\ \text{Se } \sigma_1 = \sigma_0 = \sigma \\ Q &= (I_1 - I_0)/2\sigma \\ &= 1/2 \operatorname{erfc}(Q/\sqrt{2}) \\ &\approx \exp(-Q^2/2)/(Q\sqrt{2\pi}) \end{aligned}$$

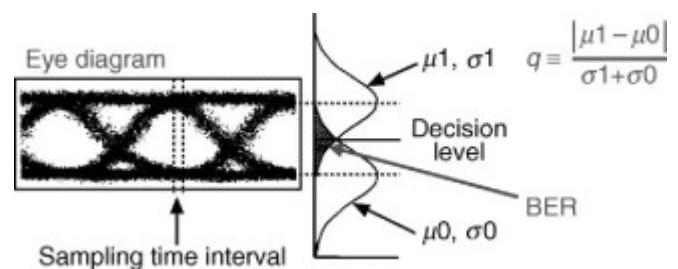


Figure 4.18 (a) Fluctuating signal generated at the receiver. (b) Gaussian probability densities of 1 and 0 bits. The dashed region shows the probability of incorrect classification.

Fonte: www.sciencedirect.com/topics/engineering/eye-diagram

CAPACIDADE DE CANAL *WIRELESS*

■ CANAL ***SLOW-FADING***

■ C é aleatório

- a taxa de transmissão não é constante
- $C_{\max} = \log_2(1 + |h|^2 \text{ SNR})$ [bps/Hz]
 - h = ganho aleatório do canal (coeficiente de *fading*)
 - SNR (relação sinal-ruído sem *fading*)

■ Probabilidade de *Outage*

- $P(C < r) = P(\log_2(1 + |h|^2 \text{ SNR}) < r)$
 - r é o limiar da taxa de transmissão requerida
- para SNR grande (@ *fading* de Rayleigh)
 - $P(C < r) \approx \frac{(2^r - 1)}{\text{SNR}}$

MODULAÇÃO DIGITAL



■ **PRINCÍPIO**

■ **OBJETIVO E APLICAÇÕES**

■ **PRINCIPAIS TÉCNICAS**

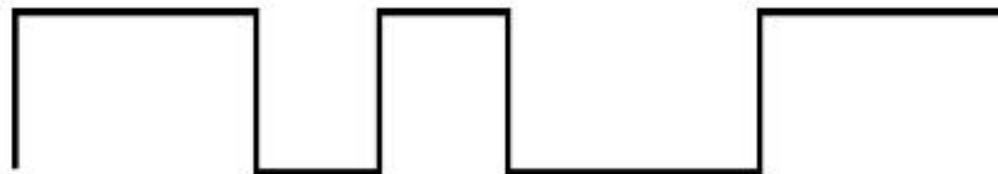
■ **MODELO DE CANAL DE RÁDIO**

MODULAÇÃO DIGITAL

PRINCÍPIO

- sinal (info) digital é transportado(a) por uma onda portadora
 - Sinal digital em banda básica = **sinal modulador**
 - Sinal modulador + Onda portadora = **sinal modulado**

Sinal modulador



Sinal modulado



Onda Portadora



OBJETIVOS E APLICAÇÕES

OBJETIVOS

- adaptação aos **suportes analógicos**
 - ex: “canal” telefônico
 - faixas do espectro de frequências disponíveis
 - 2,4 GHz, 5 GHz

APLICAÇÕES EM REDES LOCAIS

- **CATV**, redes *wireless* (**WiFi, WPAN etc**)



TÉCNICAS DE MODULAÇÃO DIGITAL



■ TÉCNICAS BÁSICAS

- *Amplitude-Shift Keying (ASK)*
- *Frequency-Shift Keying (FSK)*
- *Phase-Shift Keying (PSK)*
 - *Binary Phase-Shift Keying (BPSK)*
 - *Quadrature Phase-Shift Keying (QPSK)*
 - *Differential Phase-Shift Keying (DPSK)*

■ Combinação de técnicas

- *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*

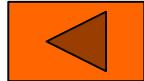
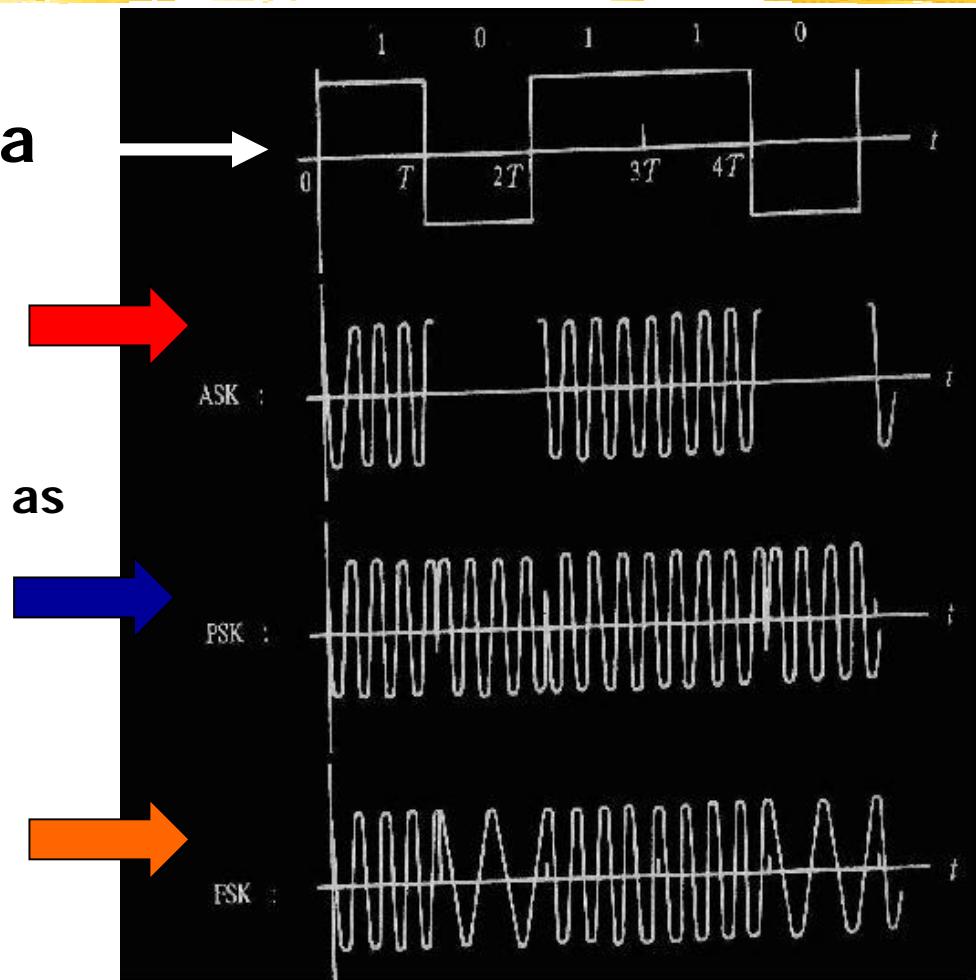
SINAL DIGITAL MODULADO

Banda Básica

ASK: Mais simples forma.

(D)PSK : É mais eficiente que as anteriores pois necessita de menor largura de banda.

FSK: Usada pelos primeiros Modems



QPSK

■ *QUADRATURE PSK*

- uso mais eficiente da banda passante
- elemento de sinalização (símbolo) representando mais do que um bit
 - **11** $\Rightarrow s(t) = A \cdot \cos(2\pi f_c t + 45^\circ)$
 - **10** $\Rightarrow s(t) = A \cdot \cos(2\pi f_c t + 135^\circ)$
 - **00** $\Rightarrow s(t) = A \cdot \cos(2\pi f_c t + 225^\circ)$
 - **01** $\Rightarrow s(t) = A \cdot \cos(2\pi f_c t + 315^\circ)$



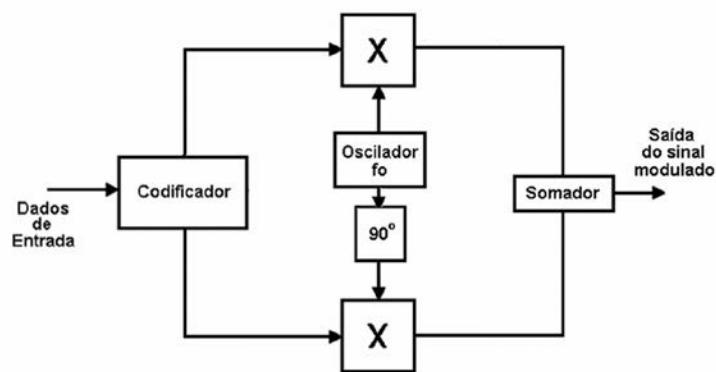
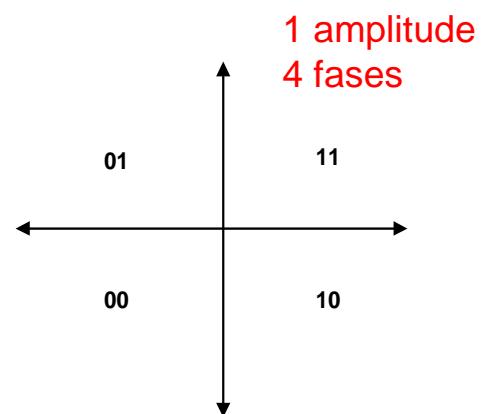
MODULAÇÃO QAM

■ QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)

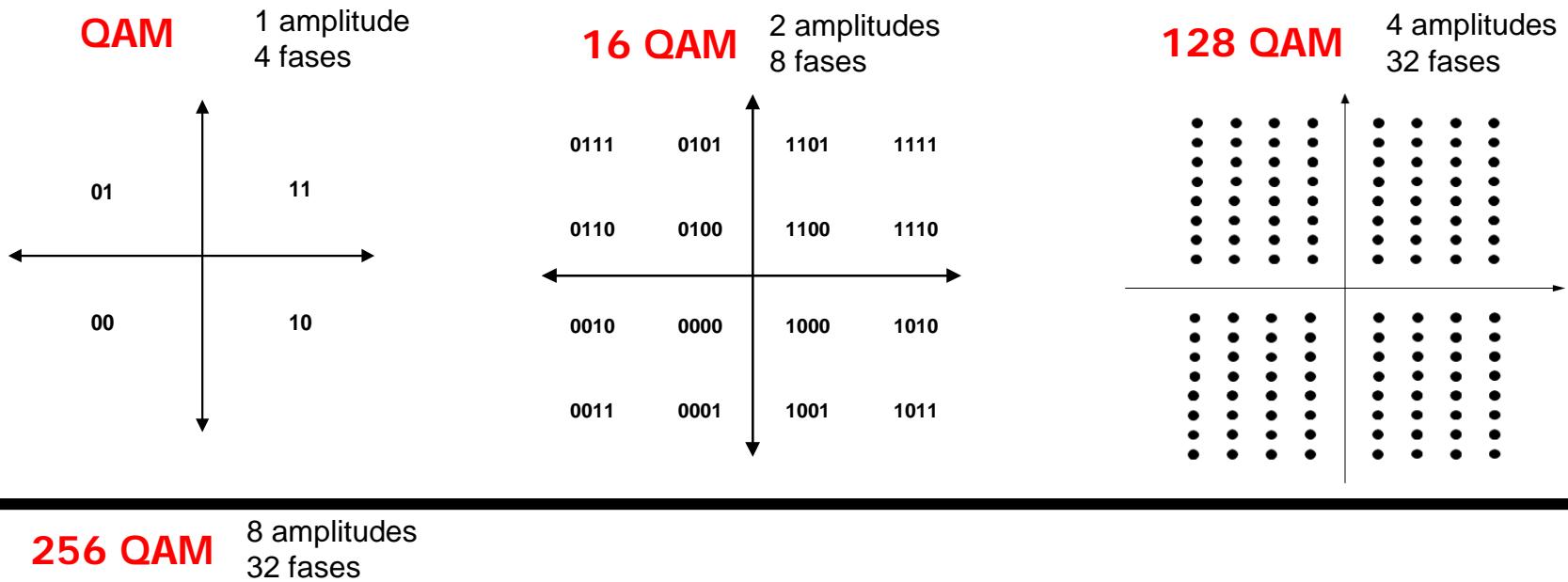
■ usa uma **combinação de amplitude e de fase** (chamada **Quadratura**) para representar os binários 0 e 1

■ parte do princípio de que uma onda de áudio-frequência pode apresentar diversos níveis de amplitude e de deslocamentos em fase

■ bastante usada atualmente (**IEEE 802.11**, ADSL, *Cable Modem*, telefonia celular 3G/4G etc)



MODULAÇÕES QAM



1024 QAM

>>>>>>

4096 QAM

Uso de QAM nos padrões WiFi

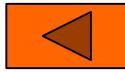
EXEMPLO DE USO DE QAM

IEEE 802.11ac

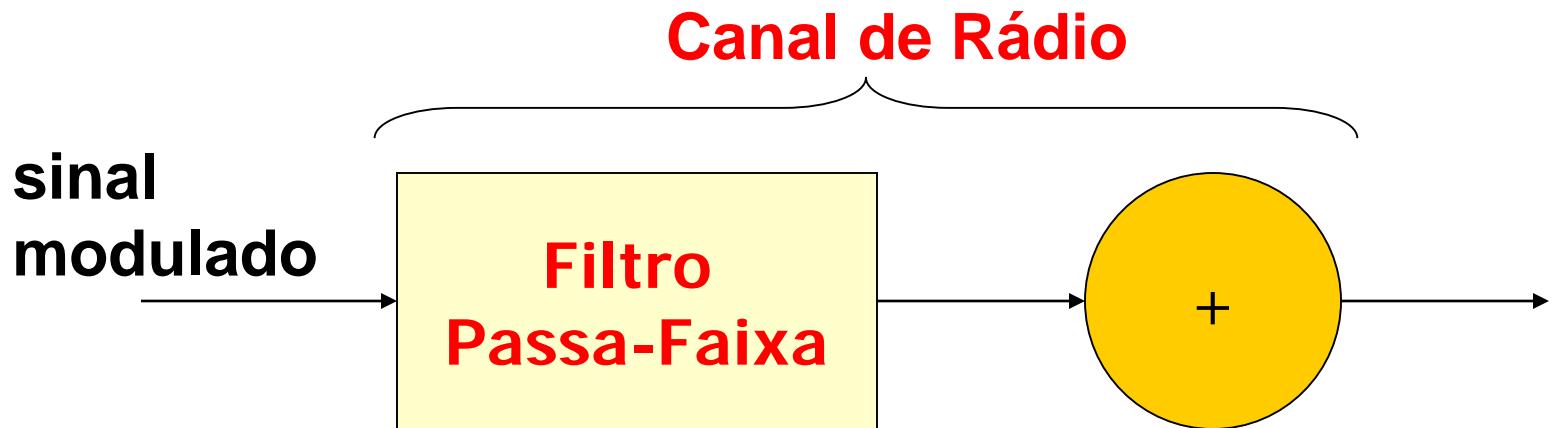
| MCS index value | Modulation | Code rate (R) |
|-----------------|------------|---------------|
| 0 | BPSK | 1/2 |
| 1 | QPSK | 1/2 |
| 2 | QPSK | 3/4 |
| 3 | 16-QAM | 1/2 |
| 4 | 16-QAM | 3/4 |
| 5 | 64-QAM | 2/3 |
| 6 | 64-QAM | 3/4 |
| 7 | 64-QAM | 5/6 |
| 8 | 256-QAM | 3/4 |
| 9 | 256-QAM | 5/6 |

IEEE 802.11ax (@ 6GHz)

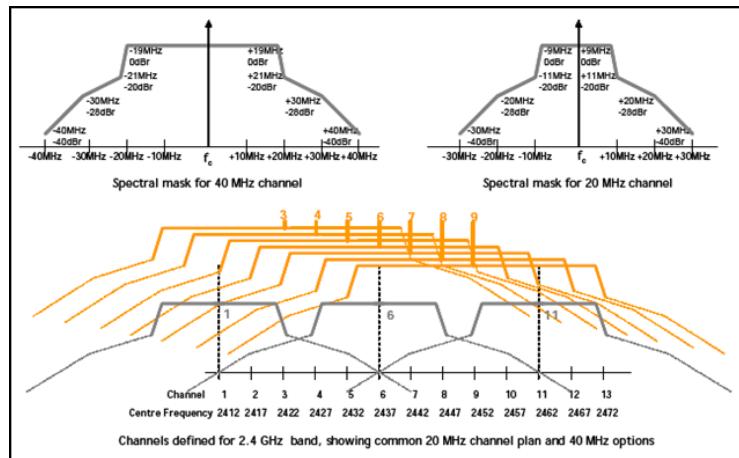
| MCS index ^[1] | Modulation type | Coding rate | Data rate (in Mbit/s) ^[2] | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|-------------|--------------------------------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|------------------|------|
| | | | 20 MHz channels | | 40 MHz channels | | 80 MHz channels | | 160 MHz channels | |
| 0 | BPSK | 1/2 | 8 | 8.6 | 16 | 17.2 | 34 | 36.0 | 68 | 72 |
| 1 | QPSK | 1/2 | 16 | 17.2 | 33 | 34.4 | 68 | 72.1 | 136 | 144 |
| 2 | QPSK | 3/4 | 24 | 25.8 | 49 | 51.6 | 102 | 108.1 | 204 | 216 |
| 3 | 16-QAM | 1/2 | 33 | 34.4 | 65 | 68.8 | 136 | 144.1 | 272 | 282 |
| 4 | 16-QAM | 3/4 | 49 | 51.6 | 98 | 103.2 | 204 | 216.2 | 408 | 432 |
| 5 | 64-QAM | 2/3 | 65 | 68.8 | 130 | 137.6 | 272 | 288.2 | 544 | 576 |
| 6 | 64-QAM | 3/4 | 73 | 77.4 | 146 | 154.9 | 306 | 324.4 | 613 | 649 |
| 7 | 64-QAM | 5/6 | 81 | 86.0 | 163 | 172.1 | 340 | 360.3 | 681 | 721 |
| 8 | 256-QAM | 3/4 | 98 | 103.2 | 195 | 206.5 | 408 | 432.4 | 817 | 865 |
| 9 | 256-QAM | 5/6 | 108 | 114.7 | 217 | 229.4 | 453 | 480.4 | 907 | 961 |
| 10 | 1024-QAM | 3/4 | 122 | 129.0 | 244 | 258.1 | 510 | 540.4 | 1021 | 1081 |
| 11 | 1024-QAM | 5/6 | 135 | 143.4 | 271 | 286.8 | 567 | 600.5 | 1134 | 1201 |



MODELO DE CANAL DE RÁDIO



Exemplos de canais em 2,4 GHz



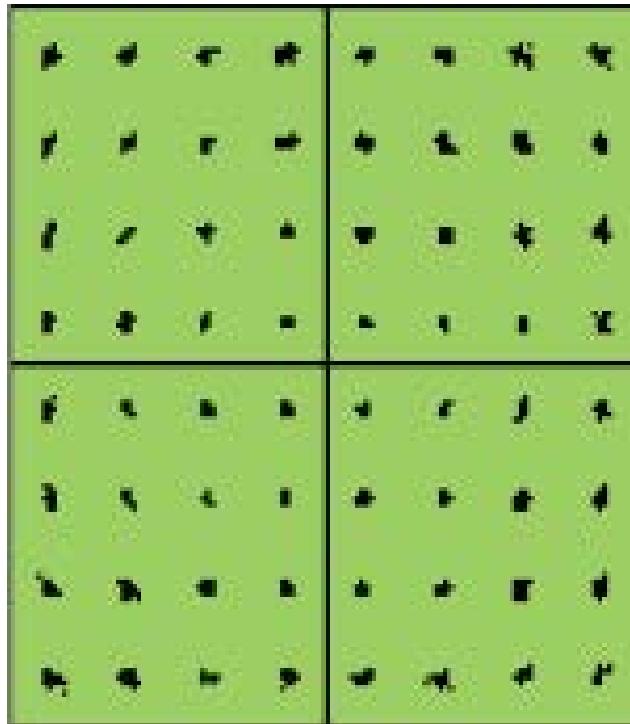
Ruão
+ *fading*
+ interferências

FONTES DE RU O

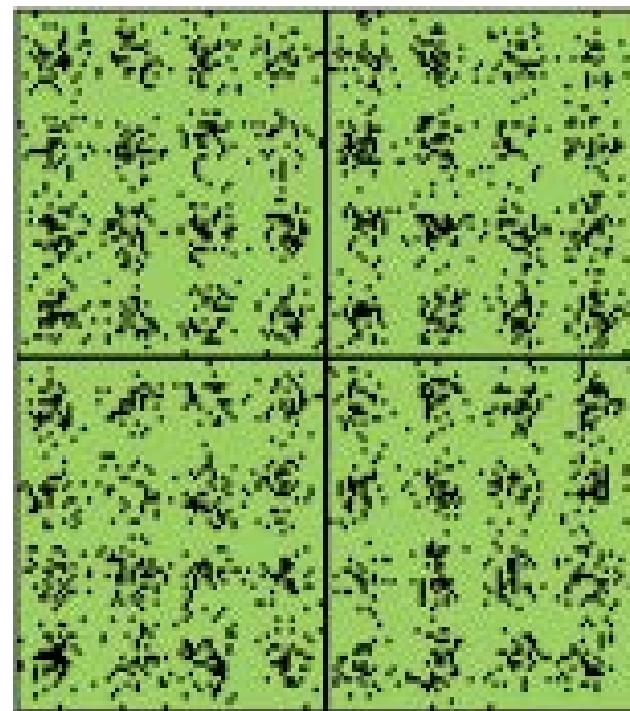
- térmico
- produzido pelo **ser humano**
 - igni o de automóveis
 - motores elétricos
 - microprocessadores, etc...

EFEITO DO RUÍDO

CONSTELAÇÃO 16-QAM

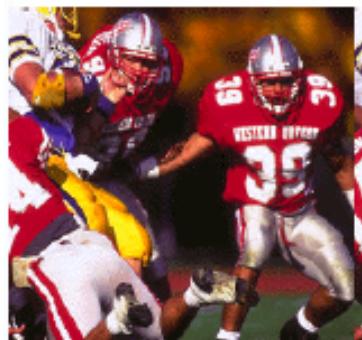


Com Ruído intenso



EFEITO DO RUÍDO_(II)

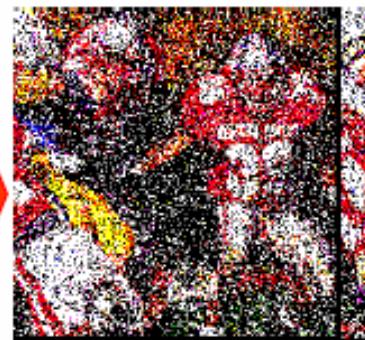
SINAL ANALÓGICO



45 dB C/N



35 dB C/N

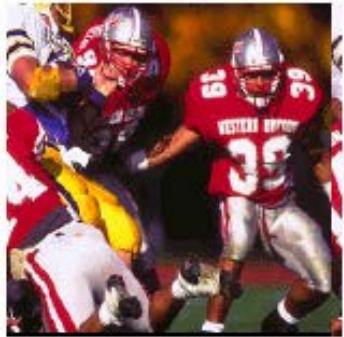


25 dB C/N



20 dB C/N

SINAL DIGITAL



34 dB MER



23 dB MER



22.5 dB MER



22 dB MER



INTERFERÊNCIAS



■ INTERFERÊNCIA **CO-CANAL (CCI)**

- interferência introduzida por outros usuários usando a faixa de frequência de interesse

■ INTERFERÊNCIA DE **CANAL ADJACENTE (ACI)**

- derramamento de interferência na faixa de interesse causada por usuários operando nas faixas de frequência adjacentes

**CCI e ACI diminuem
a razão Sinal/(Interferência+Ruído)**

Comparação de Tipos de Modulação

| Modulação | BPSK | QPSK | 8PSK | 16QAM | 64QAM |
|-------------------------------------|--------|------|------|-------|---------|
| Bit por símbolo | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 |
| Tolerância ao <i>Fading</i> | | | | | |
| | alta | | | | baixa |
| Relação Sinal-Ruído | 4,8dB | 12dB | 18dB | 24dB | 36dB |
| Tolerância ao Ruído e Interferência | | | | | |
| | alta | | | | baixa |
| Área de serviço | | | | | |
| | grande | | | | pequena |

PRINCÍPIO DE SHANNON

Capacidade de Canal (cabeados) Multinível

$$C = 2B \cdot \log_2 M$$

M = qtd. de níveis

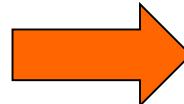
$$M = \sqrt{1 + \frac{S}{N}}$$

Exemplo:

B = 20 MHz; M= 256 (@ 256-QAM) $\Rightarrow C = 320 \text{ Mbps}$

S/N $\approx 10\log M^2 \approx 48,1 \text{ dB}$

Canal wireless



CAPACIDADE DE CANAL *WIRELESS*

■ CANAL ***SLOW-FADING***

■ C é aleatório

- a taxa de transmissão não é constante
- $C_{\max} = \log_2(1 + |h|^2 \text{ SNR})$ [bps/Hz]
 - h = ganho aleatório do canal (coeficiente de *fading*)
 - SNR (relação sinal-ruído sem *fading*)

■ Probabilidade de *Outage*

- $P(C < r) = P(\log_2(1 + |h|^2 \text{ SNR}) < r)$
 - r é o limiar da taxa de transmissão requerida
- para SNR grande (@ *fading* de Rayleigh)
 - $P(C < r) \approx \frac{(2^r - 1)}{\text{SNR}}$

OFDM

ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING

OFDM X FDM

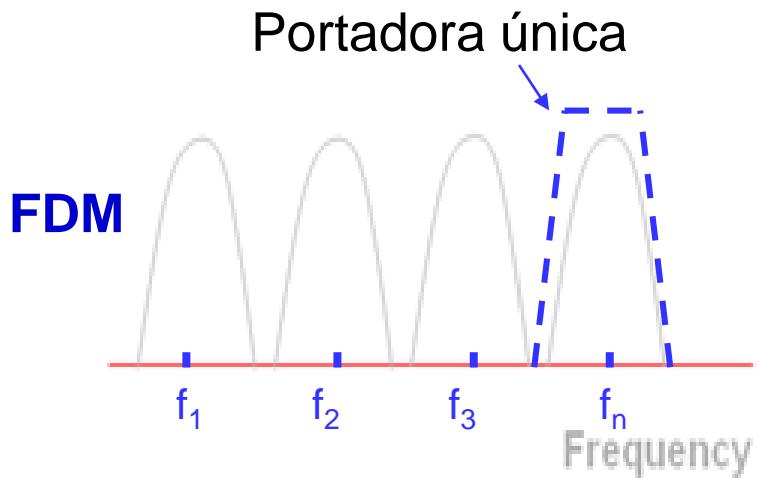
PRINCÍPIOS OFDM

SÍMBOLO OFDM

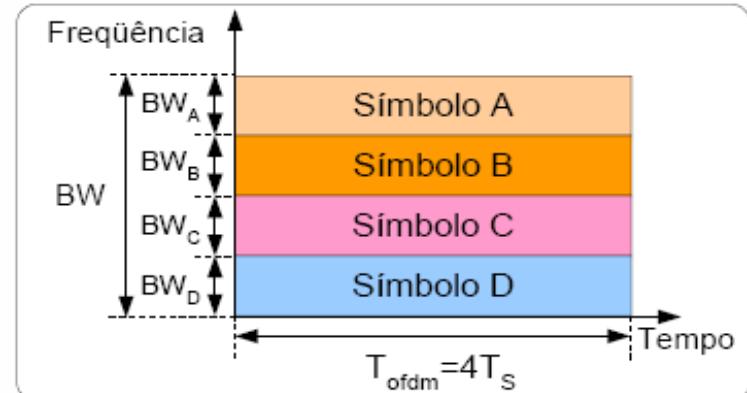
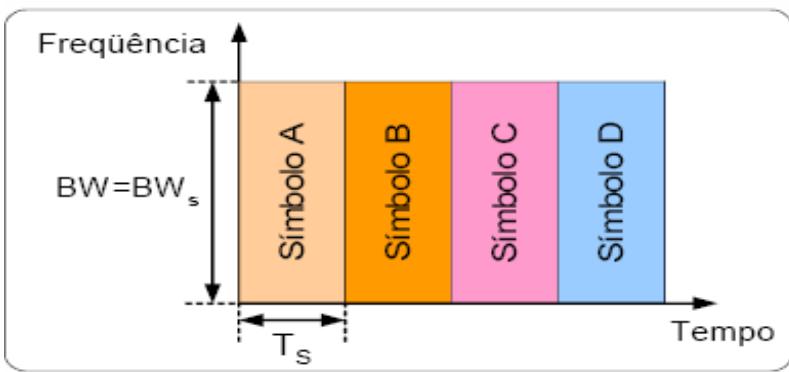
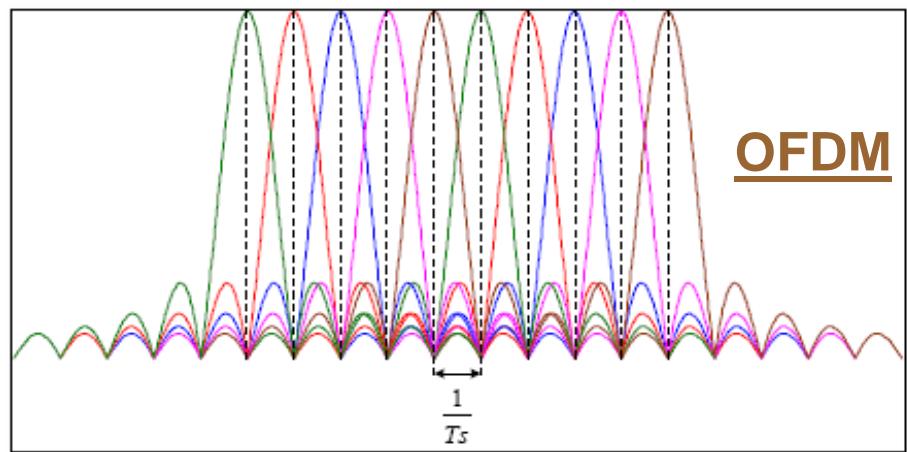
IMPLEMENTAÇÃO OFDM

CANAIS OFDM

OFDM x FDM



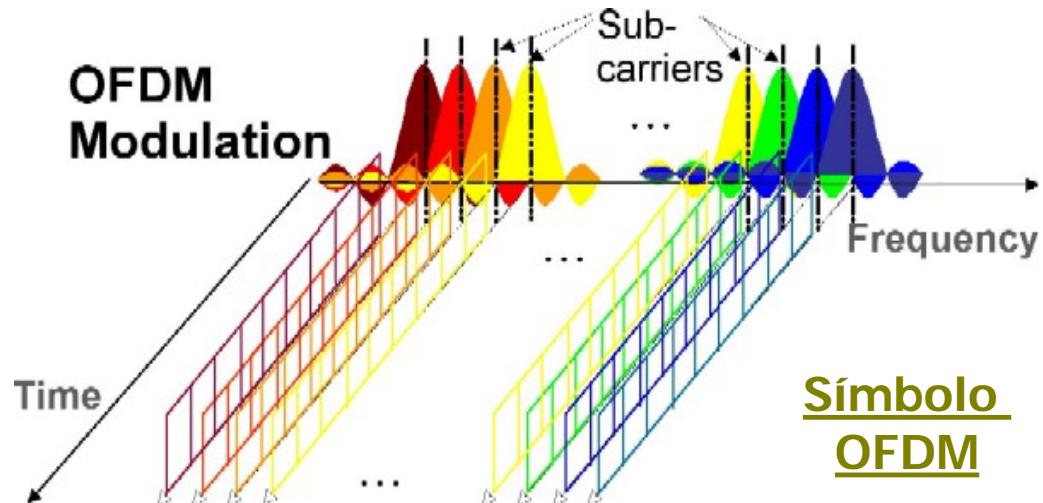
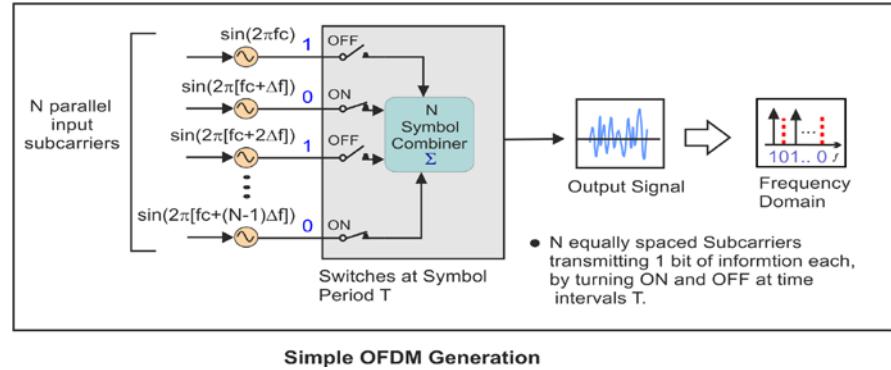
Múltiplas portadoras ortogonais



PRINCÍPIOS OFDM

CARACTERÍSTICAS

- transmissões presentes em **múltiplas frequências subportadoras**, ao mesmo tempo
- utiliza **52 sub-portadoras**
 - 48 para dados
 - 4 para sincronização



SÍMBOLO OFDM

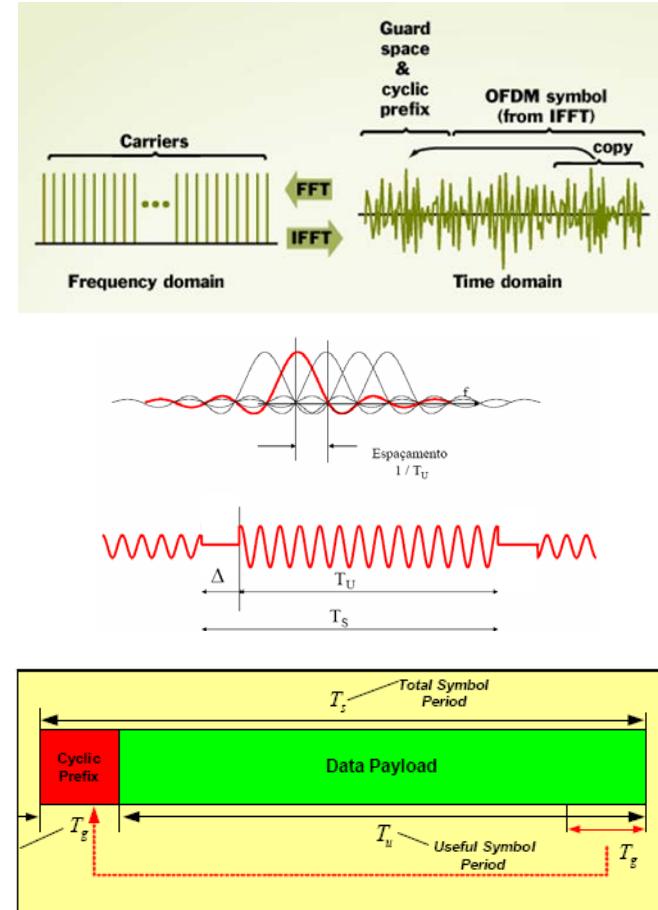
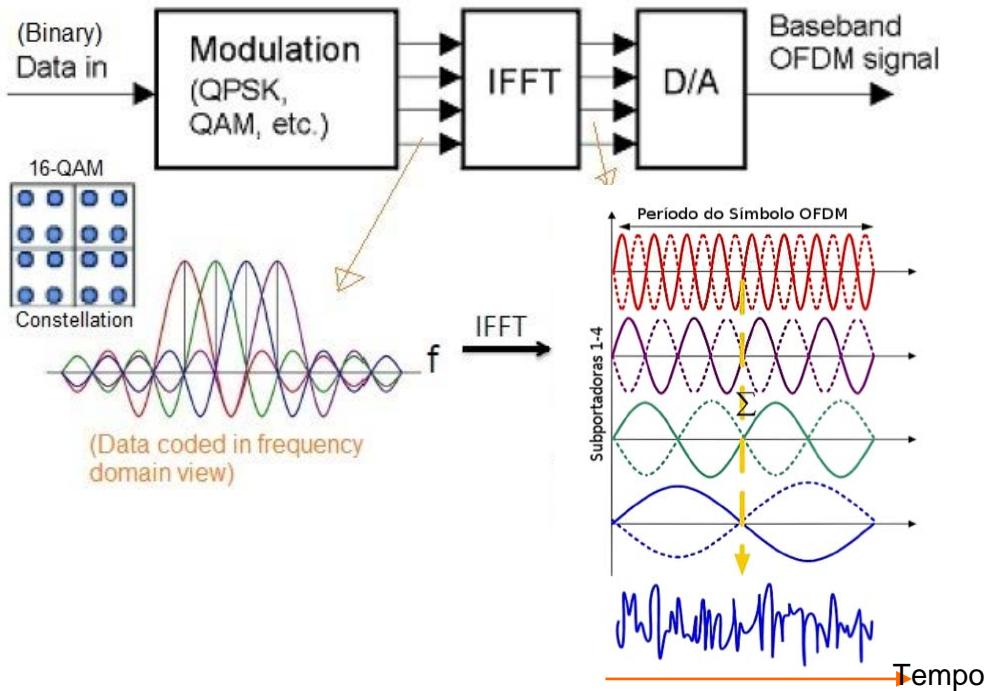
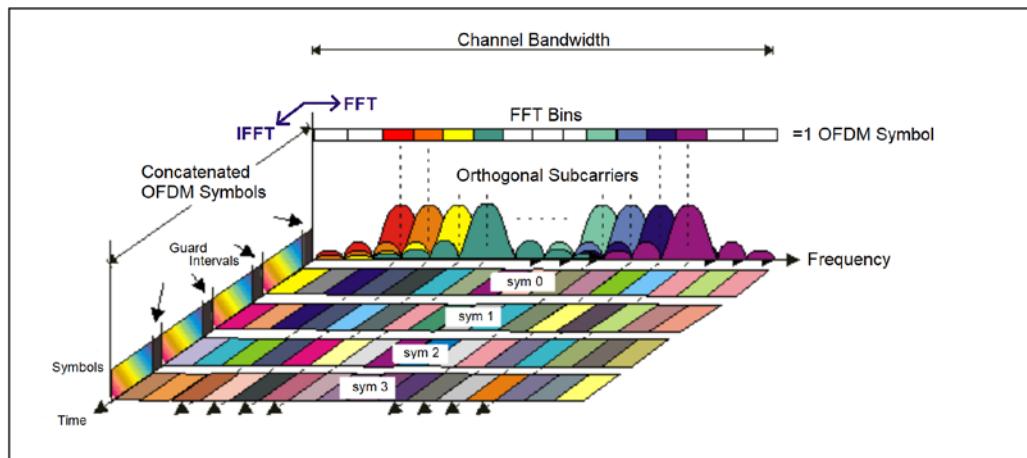
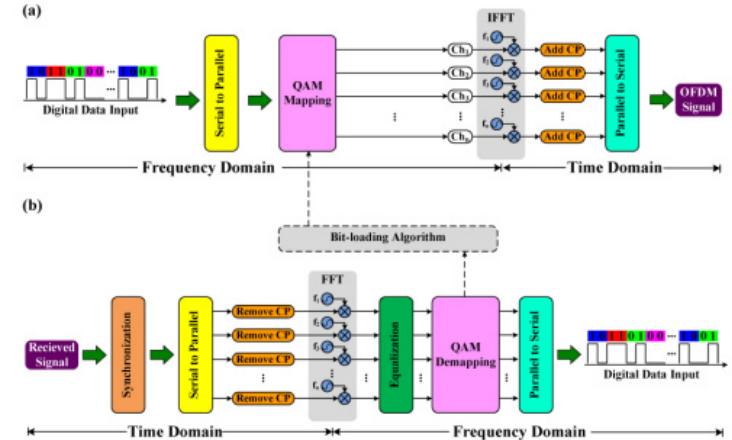
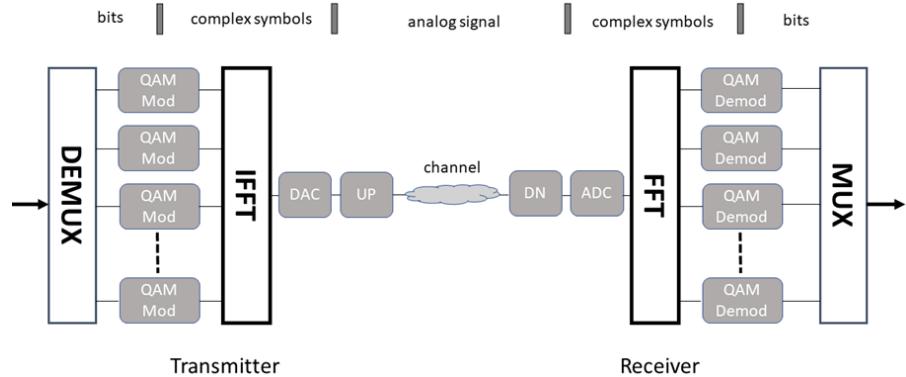


Figure 3: Insertion of Cyclic Prefix (CP)



IMPLEMENTAÇÃO OFDM

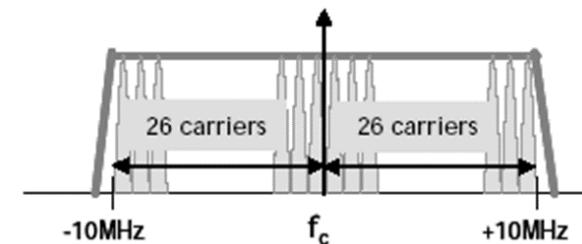


Frequency-Time Representative of an OFDM signal

IEEE 802.11 - CANAIS OFDM @ 5 GHz

| Banda | Nº do Canal | Frequência Central (MHz) | Potência máxima (com ganho de antena ≤ 6 dB) |
|--|-------------|--------------------------|---|
| U-NII <i>lower band</i> (5,15 – 5,25 MHz) | 36 | 5.180 | 40 mW (2,5 mW/MHz) |
| | 40 | 5.200 | |
| | 44 | 5.220 | 20 MHz (indoor) |
| | 48 | 5.240 | |
| U-NII <i>middle band</i> (5,25 – 5,35 MHz) | 52 | 5.260 | 200 mW (12,5 mW/MHz) |
| | 56 | 5.280 | |
| | 60 | 5.300 | (indoor) |
| | 64 | 5.320 | |
| U-NII <i>upper band</i> (5,725 – 5,825 MHz) | 149 | 5.745 | 800 mW (50 mW/MHz) |
| | 153 | 5.765 | |
| | 157 | 5.785 | (indoor ou outdoor) |
| | 161 | 5.805 | |

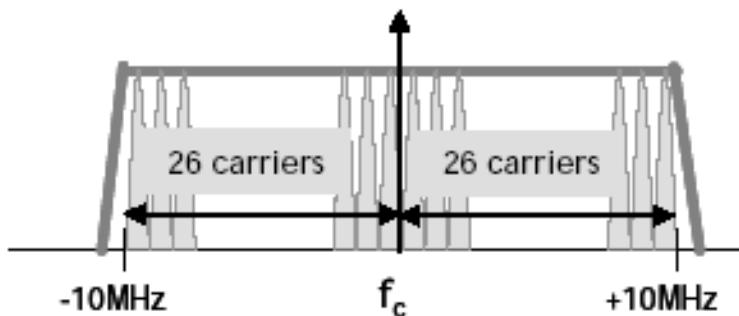
Canais
sem overlap



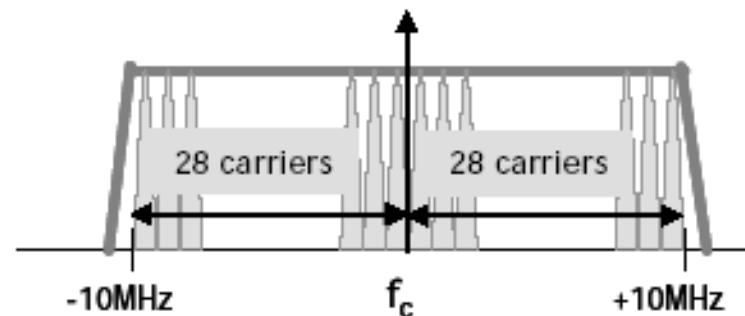
52 subportadoras OFDM
em canal de 20 MHz
(IEEE 802.11a/g)

+ subportadoras

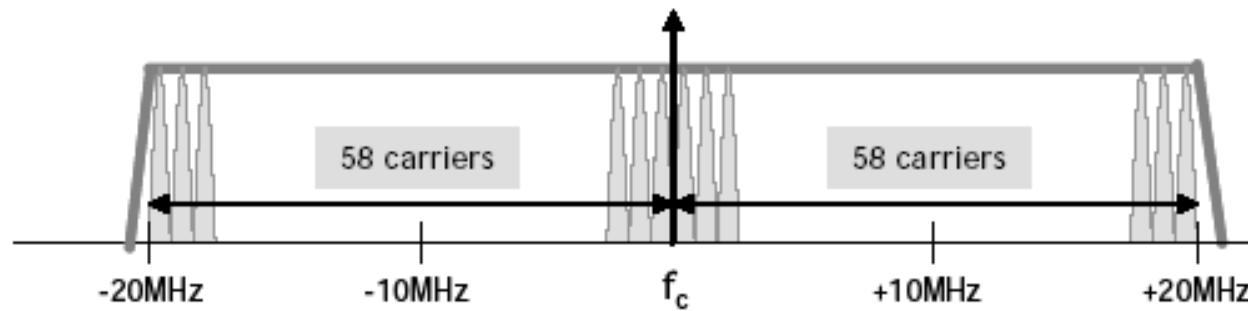
SUPPORTADORAS NO IEEE 802.11n



52 subportadoras OFDM em canal de **20 MHz**
(IEEE 802.11a/g)



56 subportadoras OFDM em canal de **20 MHz**
(IEEE 802.11n)



116 subportadoras em canal **40 MHz**
(IEEE 802.11n)

SUPPORTADORES NO IEEE 802.11ac

| PHY standard | Subcarrier range | Pilot subcarriers | Subcarriers (total/data) | Capacity relative to 802.11a/g | Capacity relative to 20 MHz 802.11ac |
|-----------------------------------|--|--|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| 802.11a/g | -26 to -1, +1 to +26 | $\pm 7, \pm 21$ | 52 total, 48 usable (8% pilots) | x1.0 | n/a |
| 802.11n/ 802.11ac, 20 MHz | -28 to -1, +1 to +28 | $\pm 7, \pm 21$ | 56 total, 52 usable (7% pilots) | x1.1 | x1.0 |
| 802.11n/ 802.11ac, 40 MHz | -58 to -2, +2 to +58 | $\pm 11, \pm 25, \pm 53$ | 114 total, 108 usable (5% pilots) | x2.3 | x2.1 |
| 802.11ac, 80 MHz | -122 to -2, +2 to +122 | $\pm 11, \pm 39, \pm 75,$ ± 103 | 242 total, 234 usable (3% pilots) | x4.9 | x4.5 |
| 802.11ac, 160 MHz ^a | -250 to -130, -126 to -6, +6 to +126, +130 to +250 | $\pm 25, \pm 53, \pm 89,$ $\pm 117, \pm 139,$ $\pm 167, \pm 203,$ ± 231 | 484 total, 468 usable (3% pilots) | x9.75 | x9.0 |

^a For 80+80 MHz channels, the numbers are identical to the 160 MHz channel numbers.

INTERVALO DE GUARDA OFDM

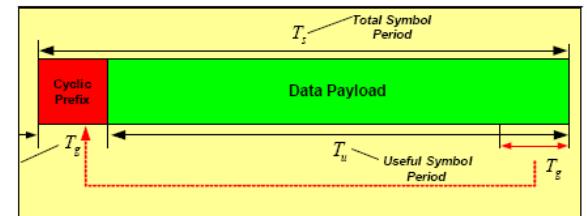
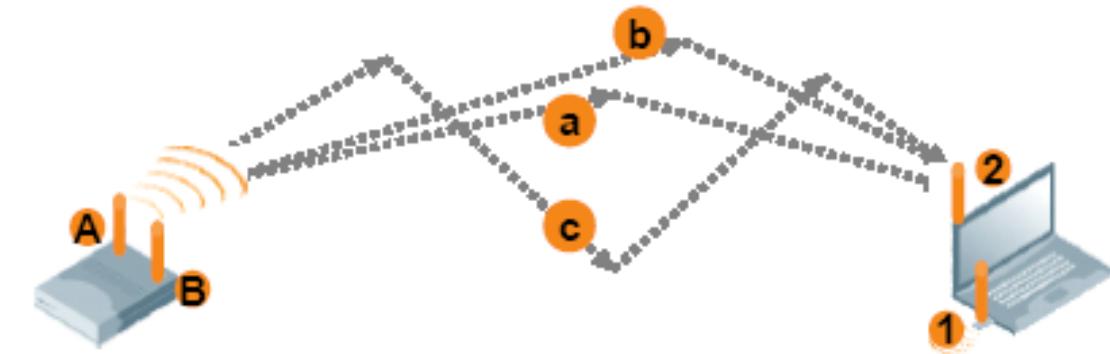
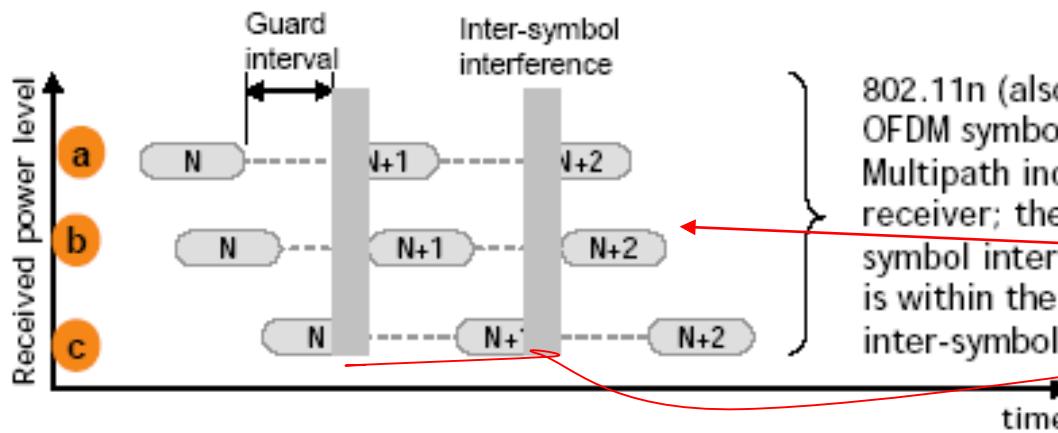


Figure 3: Insertion of Cyclic Prefix (CP)



802.11n (also 802.11a/g) transmission is by OFDM symbols (examples N, N+1, N+2). Multipath increases delay spread at the receiver; the guard interval prevents inter-symbol interference. In this example, path b is within the guard interval while c causes inter-symbol interference.

Os padrões **IEEE 802.11 anteriores** estabelecem um intervalo de guarda de **800 ns**.

Por outro lado, o padrão **IEEE 802.11n** adiciona uma opção de **400 ns**, negociada entre receptor e transmissor, para casos onde o pior atraso multipercorso seja baixo (obs.: atraso de propagação no espaço livre = distância x 0,3 metros/ns, implica que 400 ns é equivalente a uma diferença de percurso de 120 metros). O **padrão IEEE 802.11ax** estabelece 800 ns e **1600 ns**.

INTERVALO DE GUARDA OFDM (II)

IEEE 802.11ax

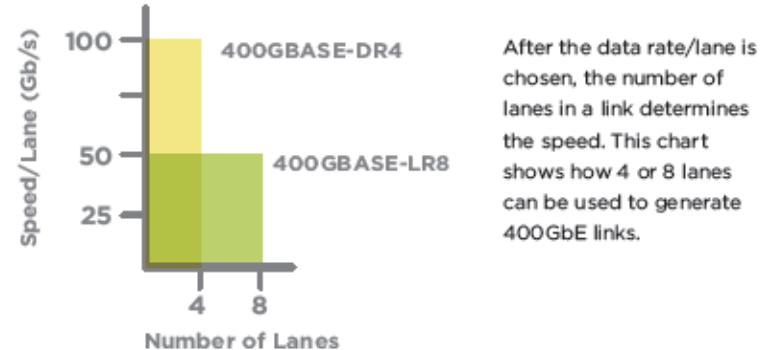
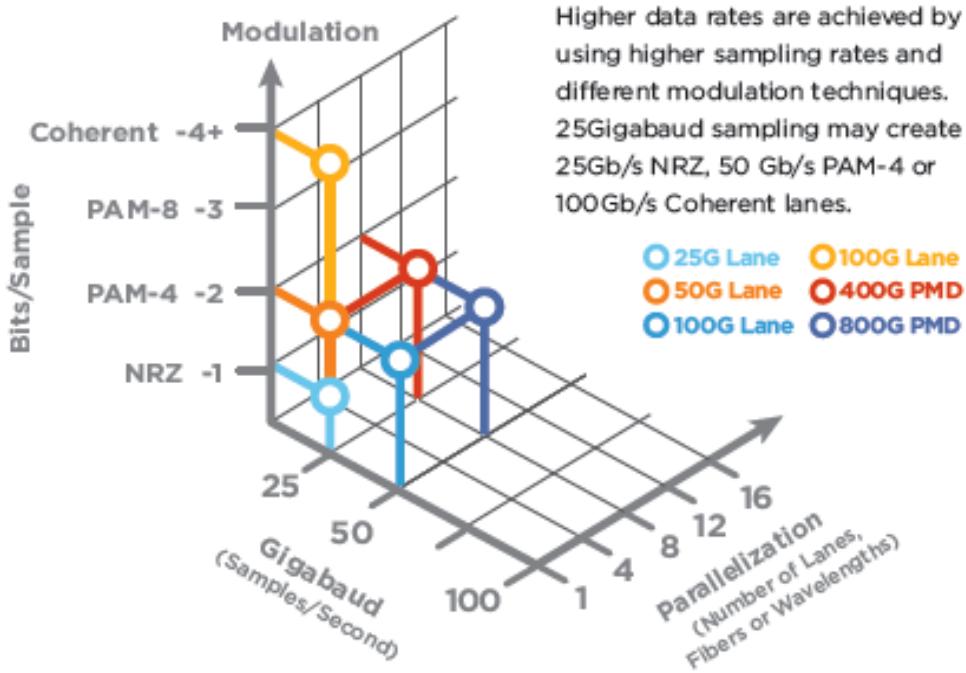
| MCS index ^[a] | Modulation type | Coding rate | Data rate (in Mbit/s) ^[b] | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|-------------|--------------------------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|------------------|-----------|
| | | | 20 MHz channels | | 40 MHz channels | | 80 MHz channels | | 160 MHz channels | |
| | | | 1600 ns GI ^[c] | 800 ns GI | 1600 ns GI | 800 ns GI | 1600 ns GI | 800 ns GI | 1600 ns GI | 800 ns GI |
| 0 | BPSK | 1/2 | 8 | 8.6 | 16 | 17.2 | 34 | 36.0 | 68 | 72 |
| 1 | QPSK | 1/2 | 16 | 17.2 | 33 | 34.4 | 68 | 72.1 | 136 | 144 |
| 2 | QPSK | 3/4 | 24 | 25.8 | 49 | 51.6 | 102 | 108.1 | 204 | 216 |
| 3 | 16-QAM | 1/2 | 33 | 34.4 | 65 | 68.8 | 136 | 144.1 | 272 | 282 |
| 4 | 16-QAM | 3/4 | 49 | 51.6 | 98 | 103.2 | 204 | 216.2 | 408 | 432 |
| 5 | 64-QAM | 2/3 | 65 | 68.8 | 130 | 137.6 | 272 | 288.2 | 544 | 576 |
| 6 | 64-QAM | 3/4 | 73 | 77.4 | 146 | 154.9 | 306 | 324.4 | 613 | 649 |
| 7 | 64-QAM | 5/6 | 81 | 86.0 | 163 | 172.1 | 340 | 360.3 | 681 | 721 |
| 8 | 256-QAM | 3/4 | 98 | 103.2 | 195 | 206.5 | 408 | 432.4 | 817 | 865 |
| 9 | 256-QAM | 5/6 | 108 | 114.7 | 217 | 229.4 | 453 | 480.4 | 907 | 961 |
| 10 | 1024-QAM | 3/4 | 122 | 129.0 | 244 | 258.1 | 510 | 540.4 | 1021 | 1081 |
| 11 | 1024-QAM | 5/6 | 135 | 143.4 | 271 | 286.8 | 567 | 600.5 | 1134 | 1201 |

Notes

- 1. MCS 9 is not applicable to all channel width/spatial stream combinations.
- A second stream doubles the theoretical data rate, a third one triples it, etc.
- GI stands for the **guard interval**.

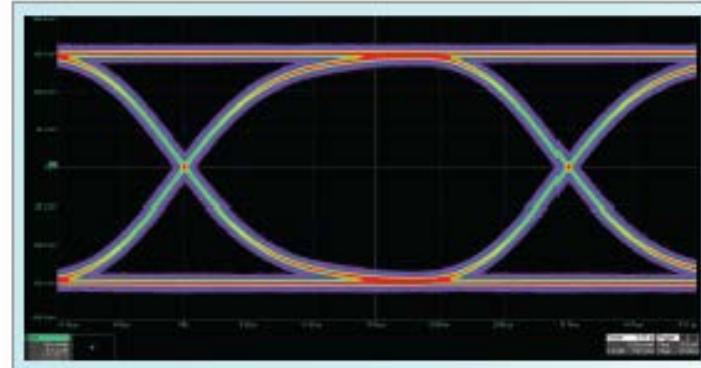
LINKS up to 800Gbps!!!

FATTER PIPES

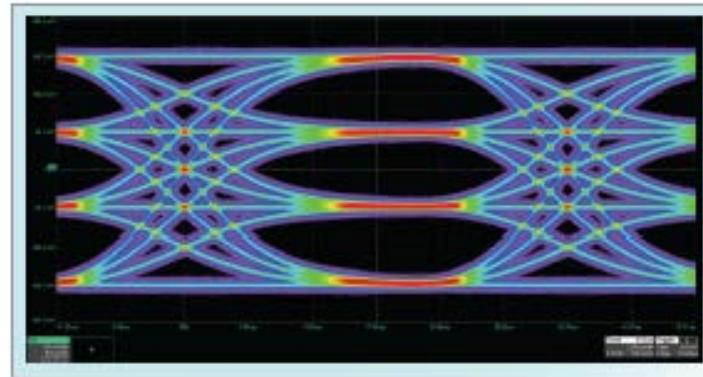


MÉTODOS DE SINALIZAÇÃO

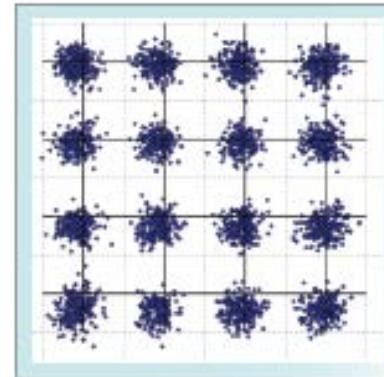
Signaling for higher lane rates is transitioning from non-return-to-zero (NRZ) for 25Gb/s per lane to four level Pulse-amplitude modulation (PAM-4) for 50Gb/s per lane, and Coherent Modulation for 100Gb/s per lane.



NRZ

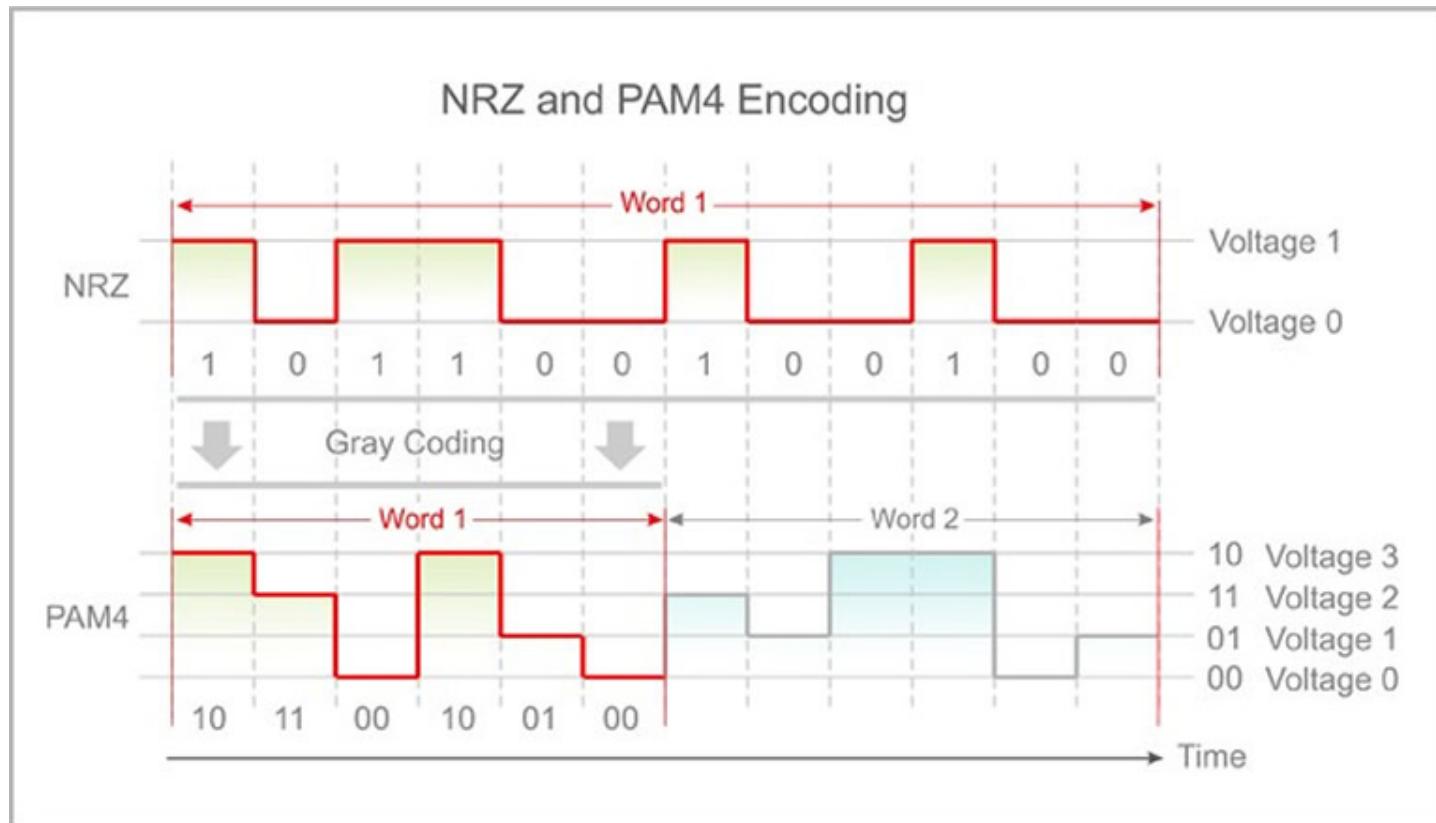


PAM



Coherent

“MODULAÇÃO” PAM-4



EXERCÍCIO 3.1

- 1) Considerando que a temperatura ambiente de operação de um dispositivo transceptor é de 17°C, calcule a densidade de potência de ruído térmico em dBW/Hz que o dispositivo está submetido.
- 2) Considere um receptor com banda passante de 10 MHz operando com uma temperatura de ruído efetiva de 294ºK. Qual é a potência de ruído térmico, em dBW, na sua saída?
- 3) Para um sinal modulado em fase com dois níveis, é requerida uma relação de energia por bit por densidade de potência de ruído por Hertz (E_b/N_0) igual a 8,4 dB para um BER de 10^{-4} . Se a temperatura de ruído efetiva é 290ºK e a taxa de transmissão é 2400 bps, qual é o nível de potência requerido para o sinal?
- 4) Qual é o valor mínimo da relação E_b/N_0 para alcançar uma eficiência espectral de 6 bps/Hz?

EXERCÍCIO 3.2

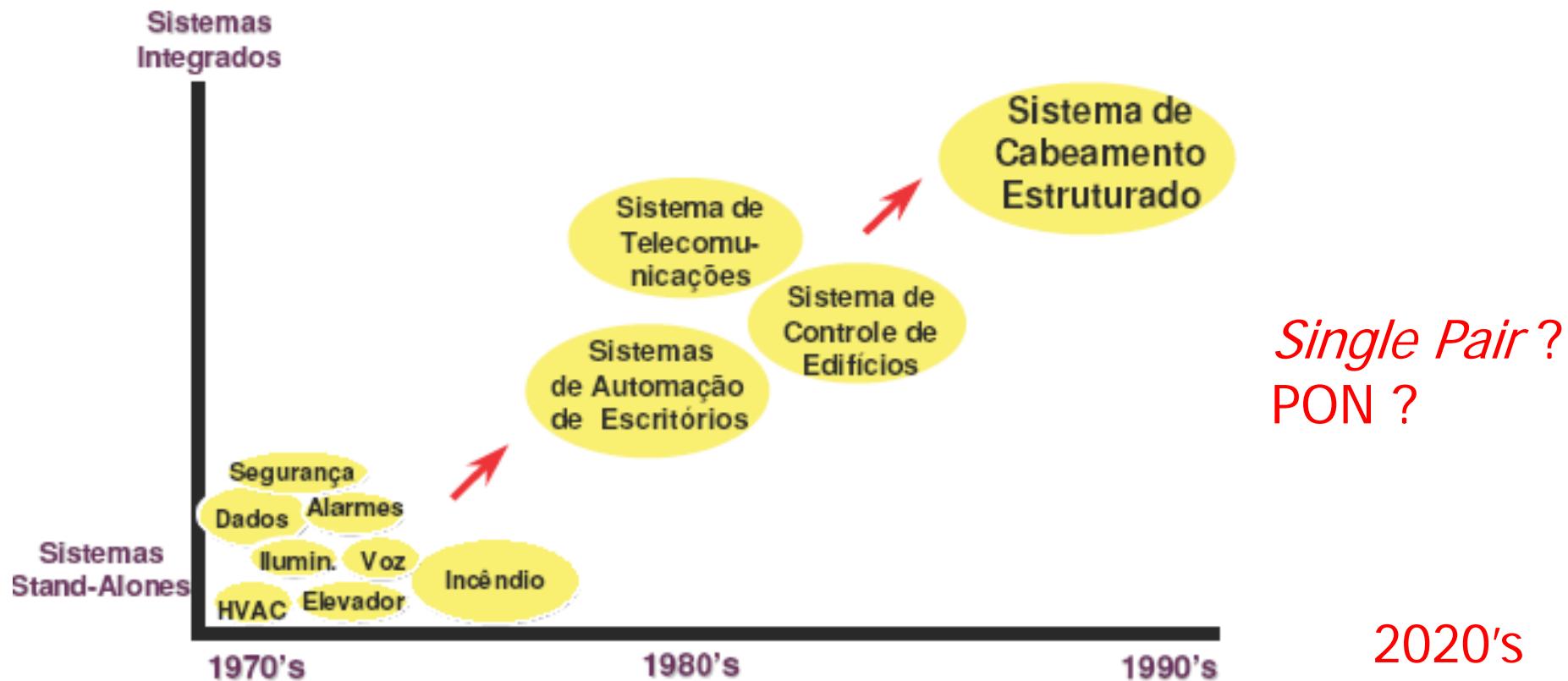
- 1) Gerar um gráfico com a relação entre BER (eixo y) e Q (eixo x), sendo a variação de Q (0 a 8) e de BER (10^0 a 10^{-12}). O tipo de modulação altera o gráfico? Como?
- 2) Considerando as seguintes características básicas do sinal:
 - a) Banda passante do sinal entre 30 MHz e 40 MHz
 - b) $S/N = 36,123 \text{ dB} \rightarrow S/N \approx 4095$
 - Qual é a capacidade do canal em bps?
 - Quantos níveis de sinal codificado são possíveis?

REDES LOCAIS MEIOS DE TRANSMISSÃO



SISTEMAS DE CABEAMENTO ESTRUTURADO

EVOLUÇÃO



MOTIVAÇÃO



■ **FLEXIBILIDADE**

- tomadas disponíveis em todos locais

■ **AGILIDADE**

- mudanças de lay-out com rapidez

■ **CONFIABILIDADE**

- redundância/facilidades de manutenção

■ **UNIVERSALIDADE**

- arquitetura aberta com cabos e tomadas padrões internacionais

VANTAGENS PARA O USUÁRIO



■ EVOLUTIBILIDADE

- flexibilidade na evolução dos equipamentos de rede

■ MERCADO MULTI-FORNECEDOR

- preços mais competitivos !!!!

PADRONIZAÇÃO

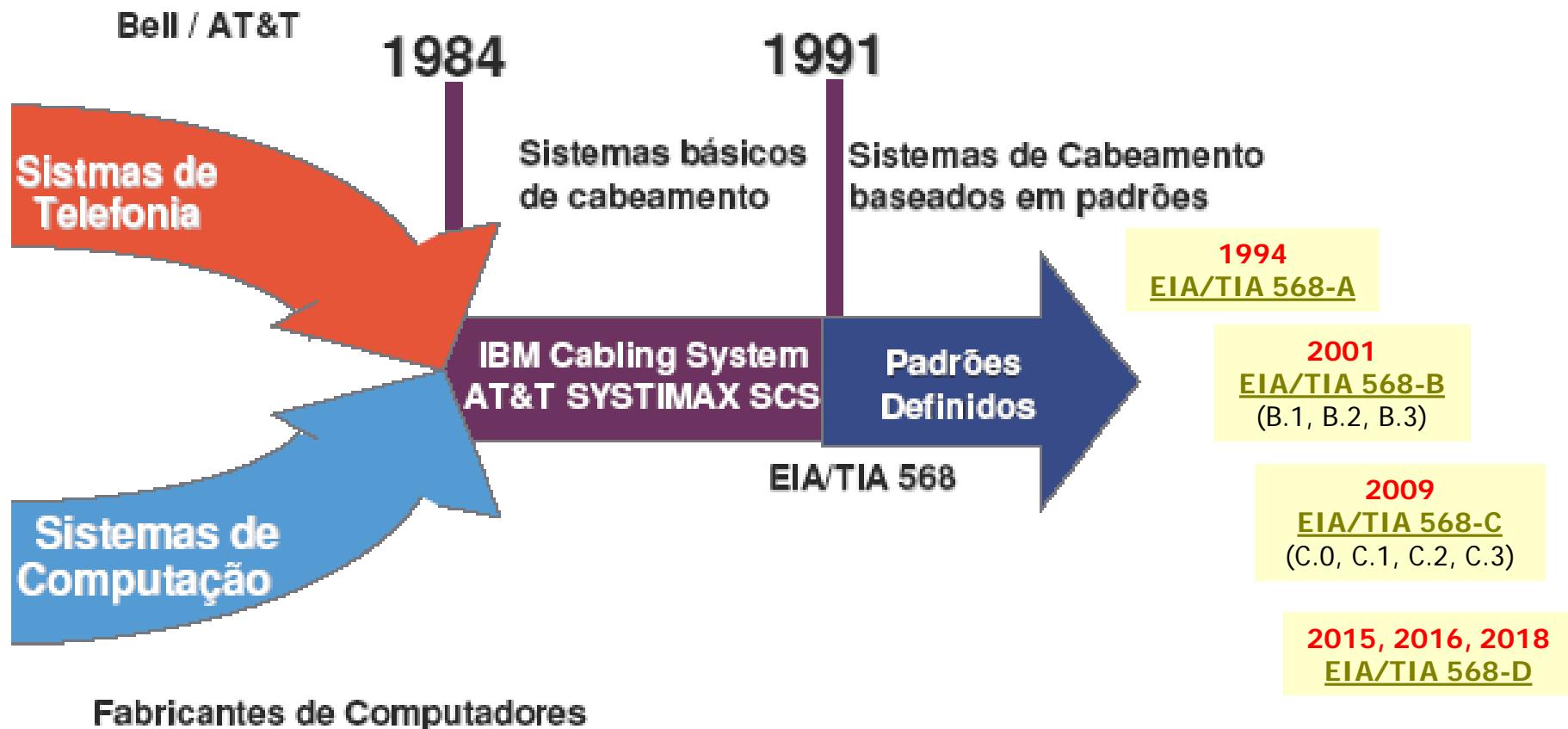
ENTIDADES

- EIA/TIA 568
- ISO/IEC 11.801
- ABNT/NBR 14565

OBJETIVOS

- Padrão genérico de cabeamento
- Sistema de cabeamento com multi-fornecedores
- Critérios técnicos de desempenho

NORMAS



EIA/TIA 568-A

Norma geral de Cabeamento Estruturado

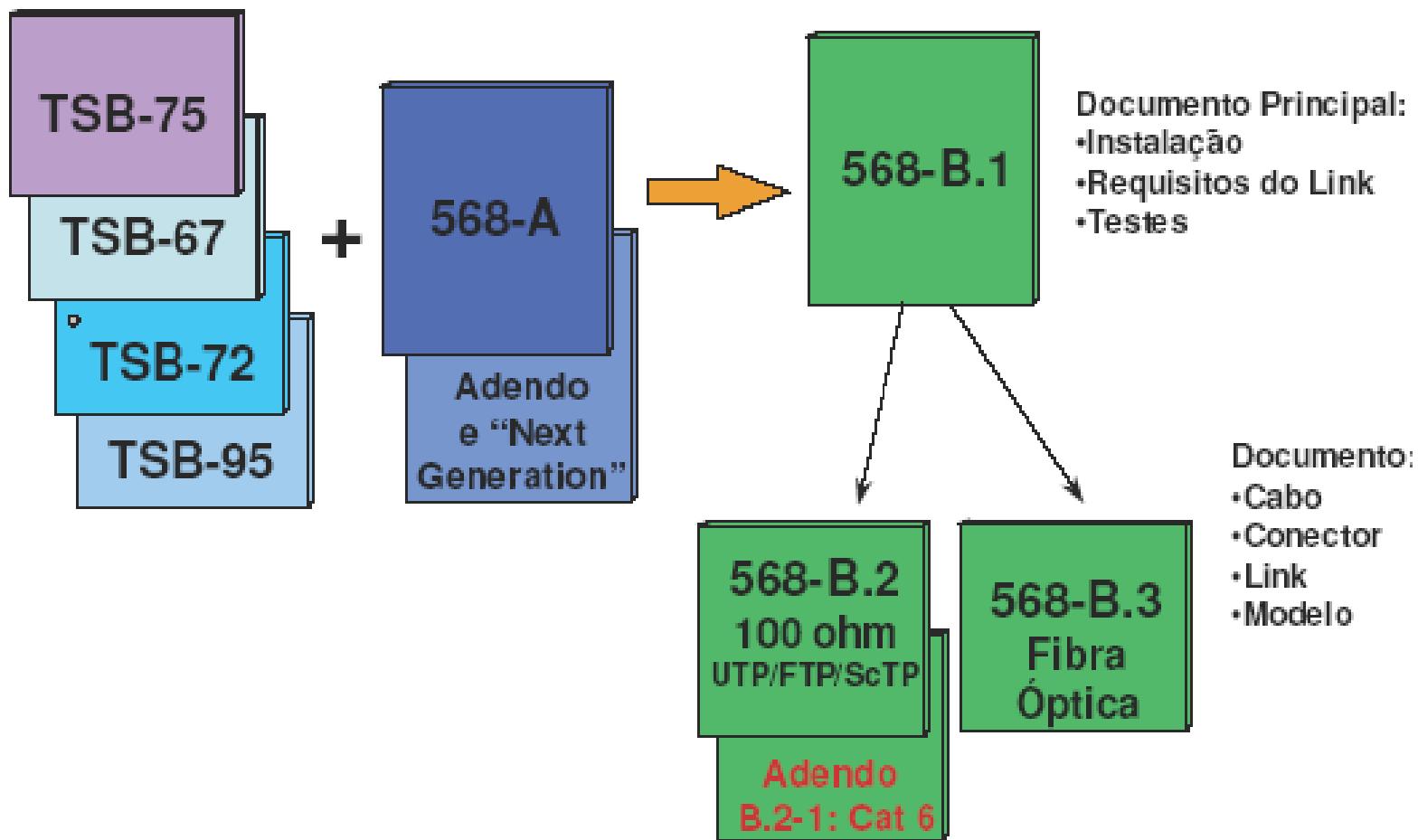
- Esse padrão define um **sistema de conjunto de fios gerais de telecomunicações** para construções comerciais que irão suportar um ambiente com vários produtos, de vários fabricantes

NBR 14565

- Procedimento básico para elaboração de projetos de cabeamento de telecomunicações para rede interna estruturada
 - Publicação da **ABNT** e válida a partir de agosto de 2000 (48 Páginas)
 - Equivalente a norma geral **EIA/TIA-568-A**



ANSI/TIA-568-B



ANSI/TIA-568-B

TSB-67

- Testes de Campo dos Sistemas de Conjunto de Cabos de **Par Trançado UTP**

TSB-72

- Diretrizes para a Cabeação Centralizada de **Fibras Ópticas**

TSB-75

- Métodos de Cabeação Horizontal Adicional para Escritórios Abertos

TSB-95

- Cabeamento para **1Gbps**

EIA/TIA-568-B.1

- Norma que define os requisitos gerais para o cabeamento

EIA/TIA-568-B.2

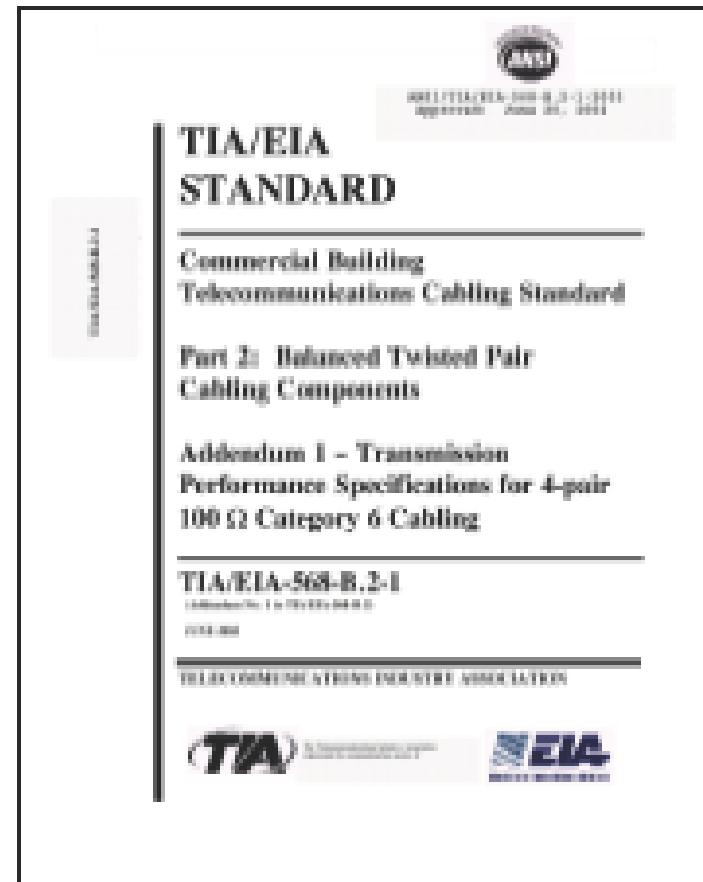
- Norma que define os requisitos de cabeamento de UTP 100 Ohms para a **Categoria 5e**

EIA/TIA-568-B.3

- Norma que define os requisitos de **cabeamento em fibra óptica**

ANSI/EIA/TIA B.2-1 adendo

- Norma que define os requisitos de cabeamento para a **Categoria 6** (250 MHz)
- Aprovada em **junho/2002**



ANSI/TIA-568-C



ANSI/TIA-568-C.0

- Cabeamento de telecomunicações **genérico** para as dependências do cliente.

ANSI/TIA-568-C.1

- Cabeamento de telecomunicações para **edifícios comerciais**.

ANSI/TIA-568-C.2

- Cabeamento de telecomunicações em **par balanceado** e componentes.
- **ANSI/TIA-568-C.2-1** (2016) - **Cat 8** (2 GHz, **30 m**, 40 GBASE-T)

ANSI/TIA-568-C.3

- Componentes de cabeamento em fibra óptica.



ANSI/TIA-568-D

PARTES



ANSI/TIA-568.1-D (2015)
"Commercial Building
Telecommunications Cabling"
ANSI/TIA-568.3-D (2016)
"Optical Fiber Cabling Components"
ANSI/TIA-568.2-D (2018)
"Componentes de par trançado
balanceado"

ANSI/TIA-568.2-D

PRINCIPAIS PONTOS ALTERADOS

- adição da configuração ***MPTL – Modular Plug Terminated Link.***
 - o cabo horizontal é terminado diretamente com um plugue RJ45 (macho), em campo, que será diretamente conectado ao dispositivo terminal.
- incorporação da **Categoria 8** ao corpo da norma.
- reconhecimento de ***patch cords*** com bitola de condutor **28 AWG**.
 - Anteriormente, apenas condutores 22 a 26 AWG eram reconhecidos para utilização em *patch cords*. Mas em racks de alta densidade, abrigando a terminação de centenas de cabos, isso poderia tornar a organização dos *patch cords* uma tarefa quase impossível.
- considerações ao **suporte ao PoE**
 - Com a chegada do 4PPoE, que permite alimentação de quase 100 W pelo *switch*, garantindo um mínimo de 71 W no dispositivo remoto, começa a aumentar a preocupação com os projetos e instalações de sistemas em par trançado de forma a evitar anomalias na alimentação elétrica, como quedas excessivas de tensão e aumento exagerado da temperatura no feixe de cabos.

OUTRAS NORMAS

EIA/TIA 569

- Padrão para **caminhos e espaços de telecomunicações** e Construções Comerciais

EIA/TIA 606

- **Identificação e administração** da infra-estrutura da rede de Cabeamento Estruturado

EIA/TIA 607

- Estabelece os parâmetros para o **aterramento** dos equipamentos e cabos pertencentes a um Cabeamento Estruturado

SUBSISTEMAS DE CABEAMENTO ESTRUTURADO

■ TOPOLOGIA GERAL

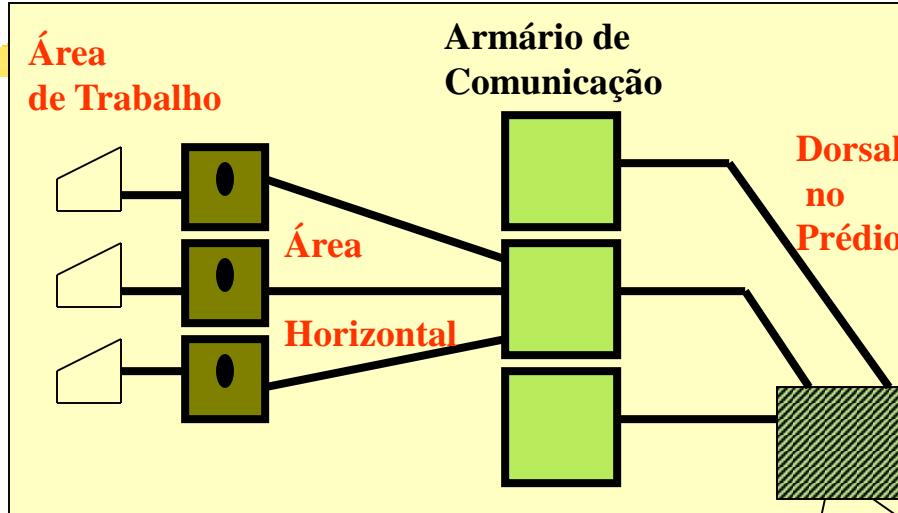
- estrela
- alternativas descartadas
 - barramento com cabo coaxial
 - árvore com cabo de 25 pares, etc

■ COMPONENTES PRINCIPAIS

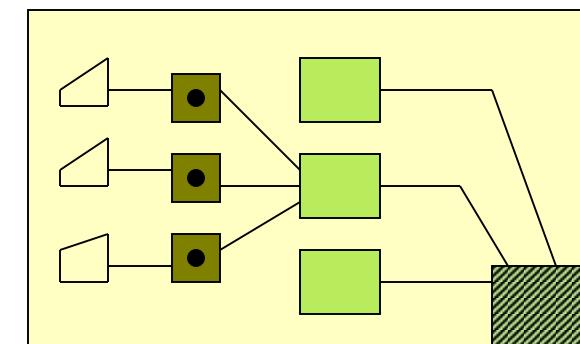
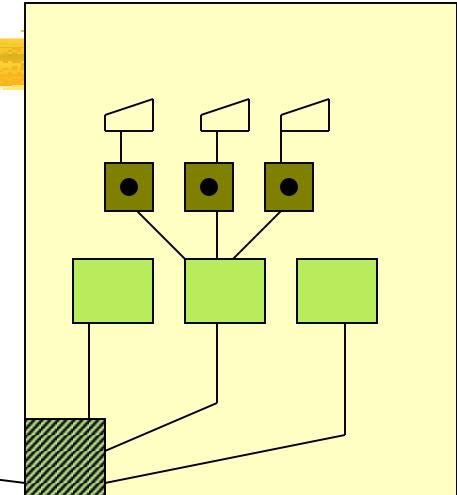
- Dispositivos físicos
 - Cabos, conectores, tomadas de telecomunicações, cordões, *patch panels*
- Subsistemas de cabeamento EIA/TIA 568

TOPOLOGIA GERAL

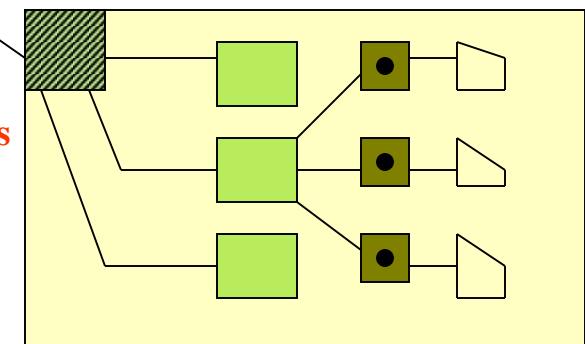
PRÉDIO A



PRÉDIO B



PRÉDIO D

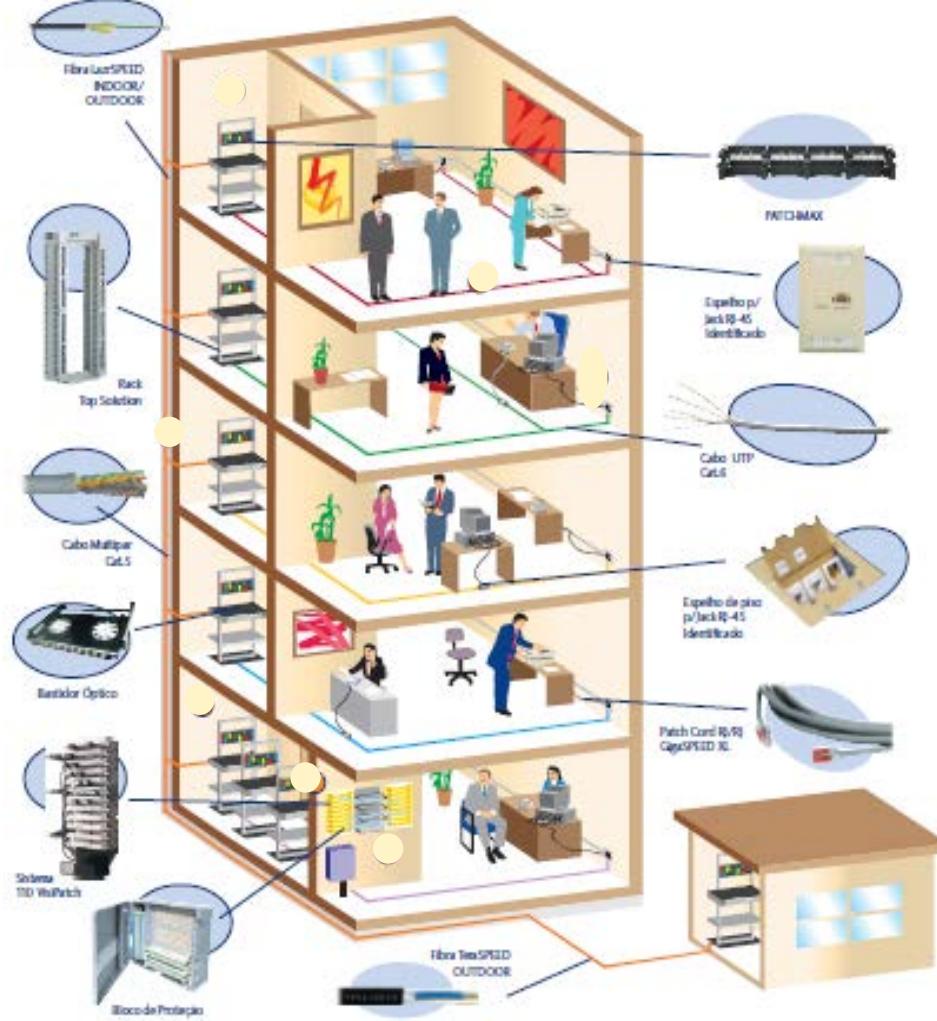


PRÉDIO C

Elementos constituintes do sistema padrão de cabeamento em prédio de escritórios

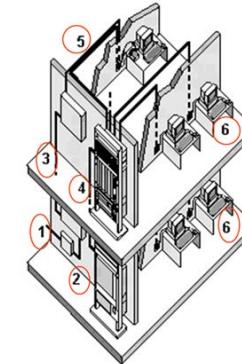
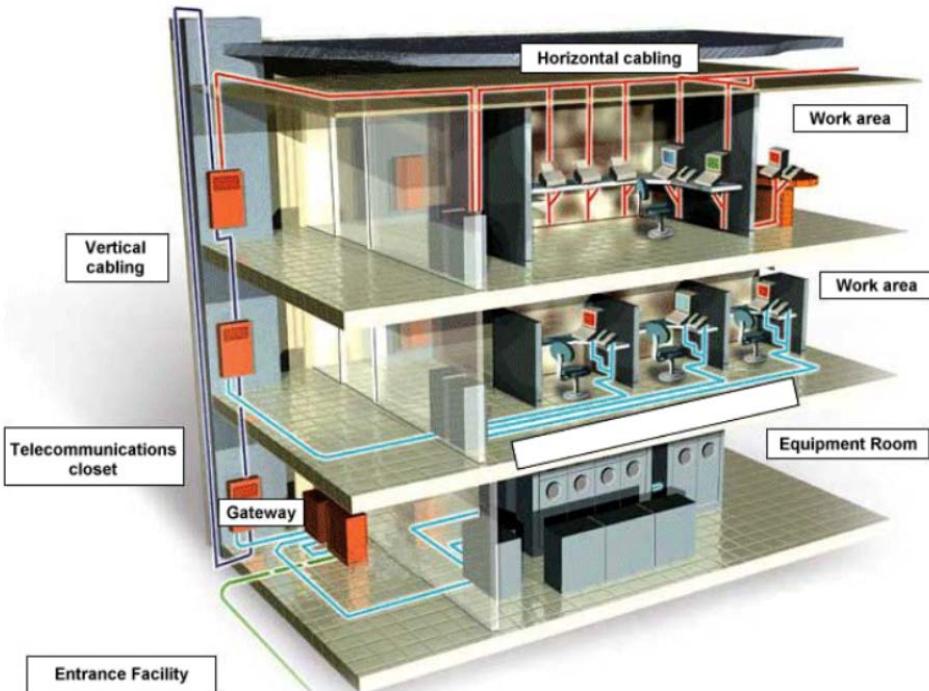


DISPOSITIVOS FÍSICOS



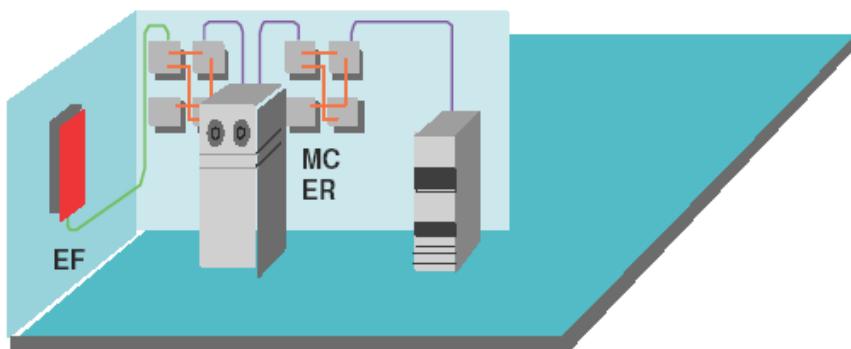
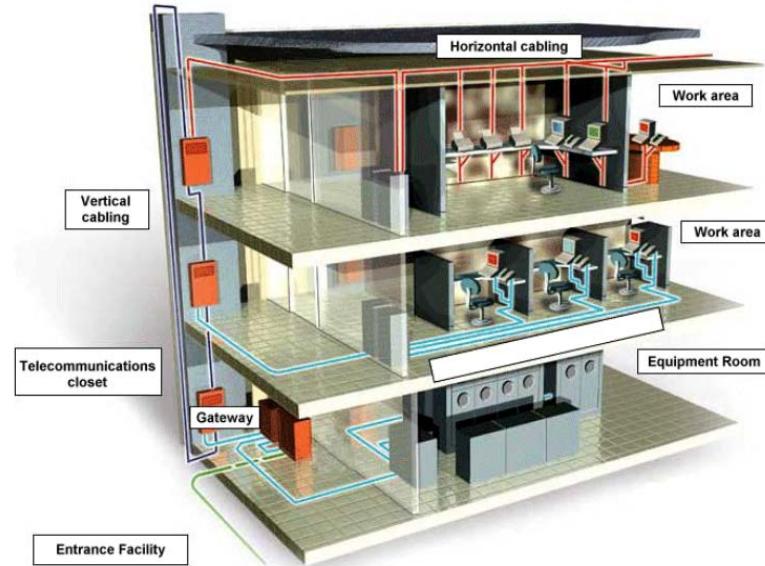
Fonte: Policom/Manual de Cabeamento

SUBSISTEMAS (ELEMENTOS) DE CABEAMENTO EIA/TIA 568



- 1-Entrada do Edifício**
- 2-Sala de Equipamentos**
(roteadores, switches, etc)
- 3-Cabeamento Backbone**
- 4-Armário de Telecomunicações**
(*Patch Panel*)
- 5-Cabeamento Horizontal**
- 6- Área de Trabalho**

SUBSISTEMA DE ENTRADA

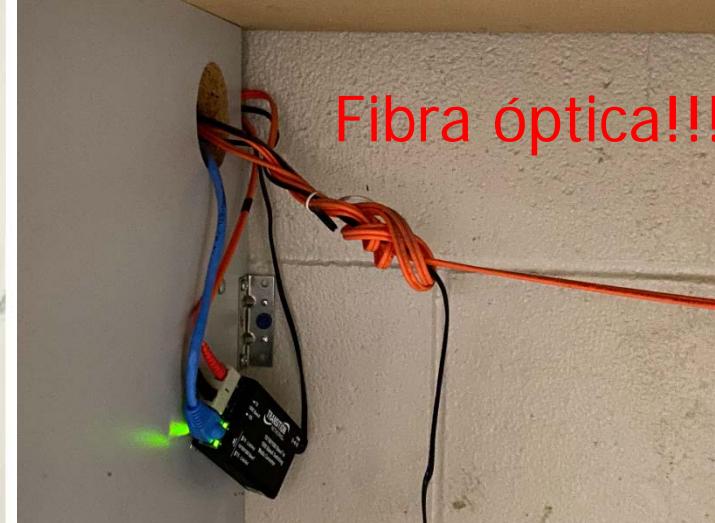
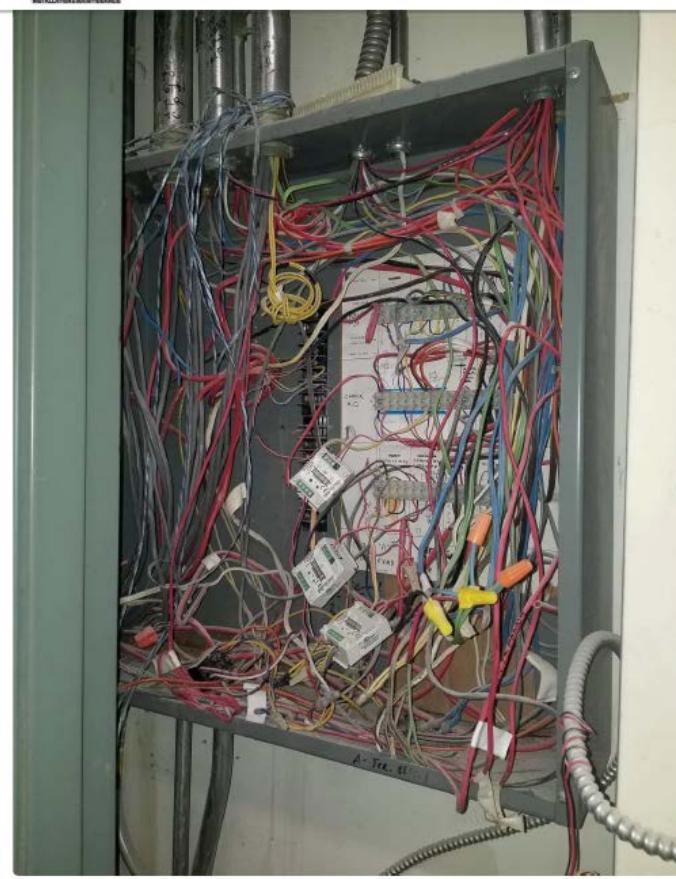


| Quantidade de pares de Telecomunicações | Quantidade de Eletrodutos |
|---|---------------------------|
| 1-99 | Um 2" mais 1 reserva |
| 100-300 | Um 3" mais 1 reserva |
| 301-1000 | Um 4" mais 1 reserva |
| 1,001-2,000 | Dois 4" mais 1 reserva |
| 2,001-3,000 | Três 4" mais 1 reserva |
| 3,001-5,000 | Quatro 4" mais 1 reserva |
| 5,001-7,000 | Cinco 4" mais 1 reserva |
| 7,001-9,000 | Seis 4" mais 1 reserva |

SUBSISTEMA DE ENTRADA (2)

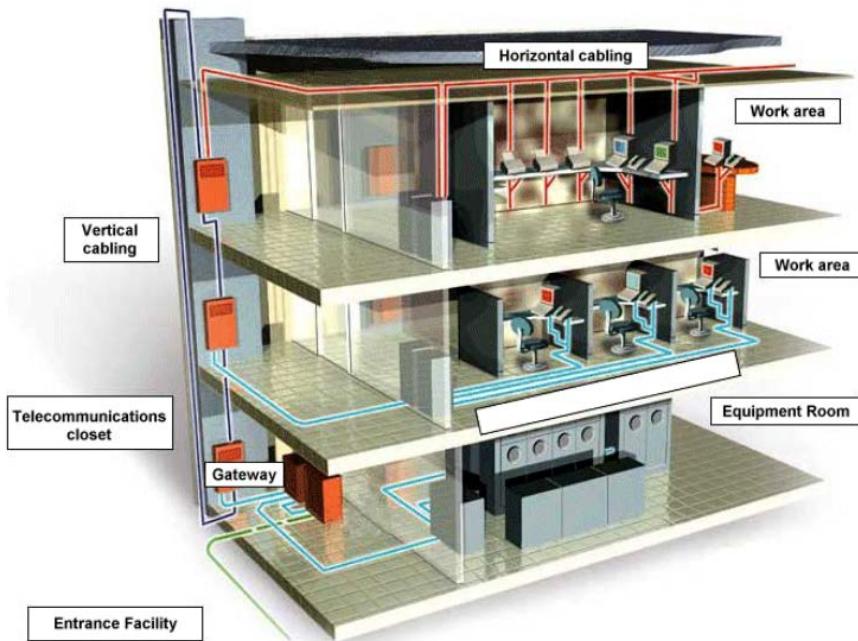


SUBSISTEMA DE ENTRADA (3)

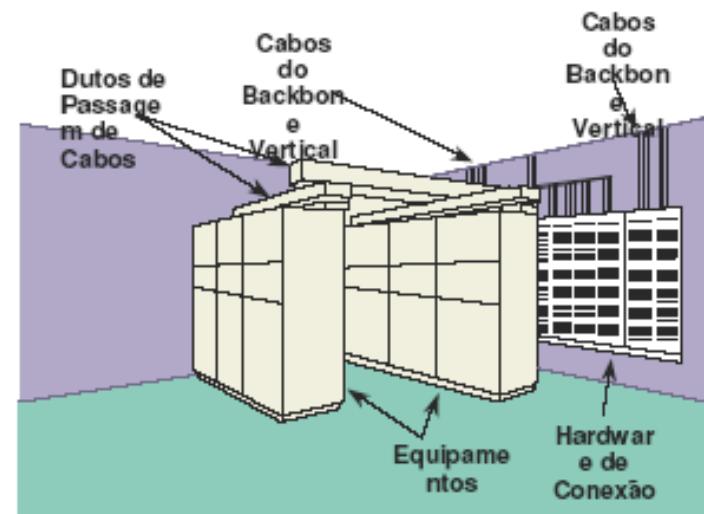


Fonte: Cabling Installation & Maintenance

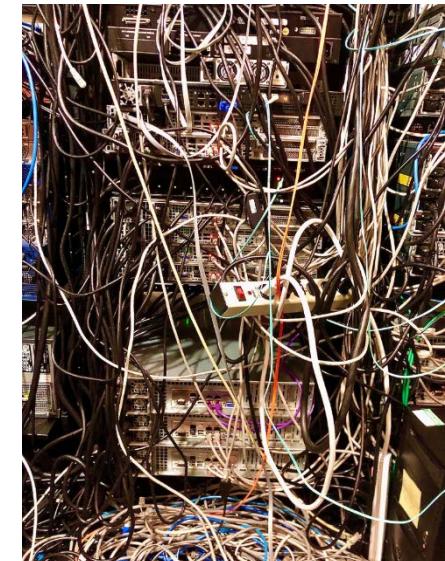
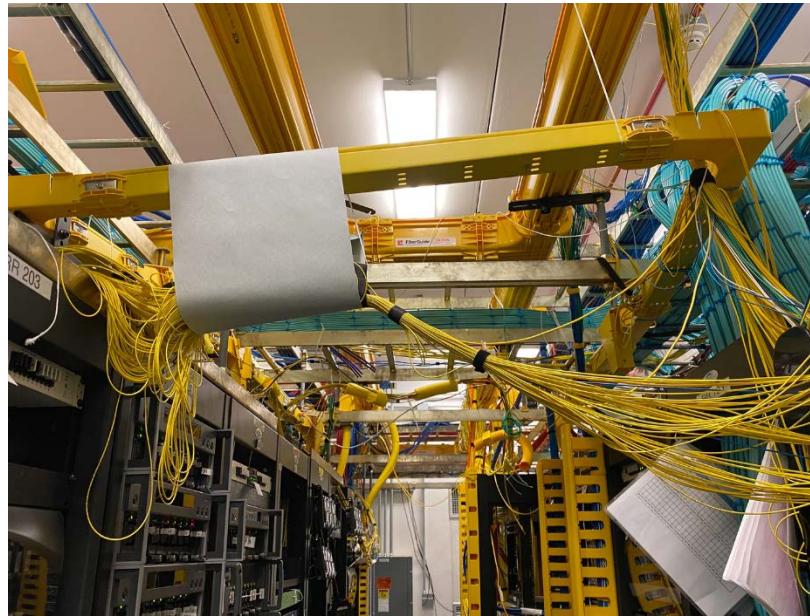
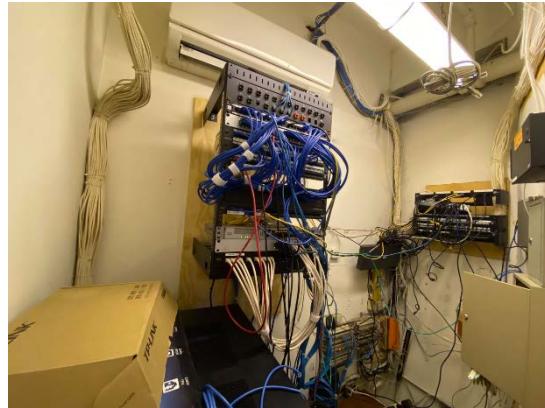
SALA DE EQUIPAMENTOS



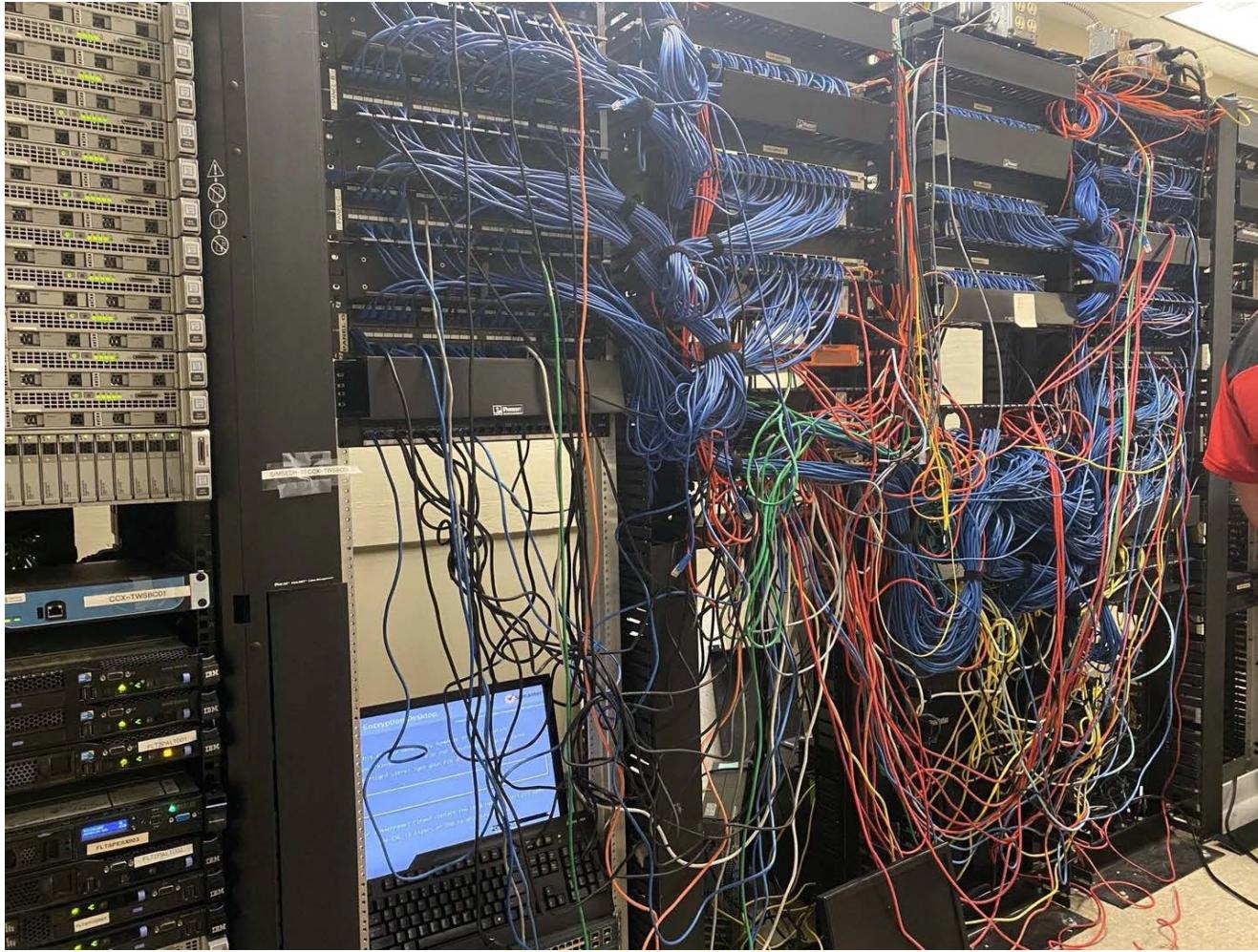
Abriga os equipamentos (*switches*, roteadores, servidores, etc.)



SALA DE EQUIPAMENTOS (2)



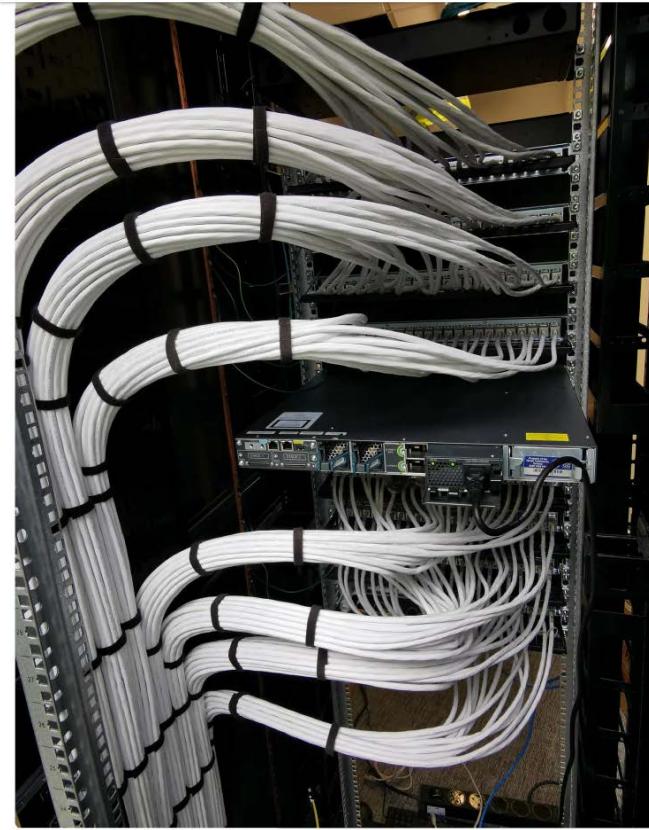
SALA DE EQUIPAMENTOS (3)



SALA DE EQUIPAMENTOS (4)



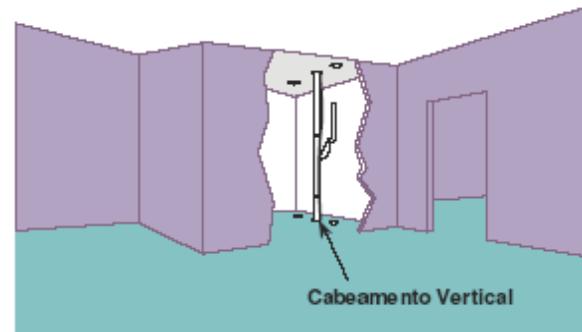
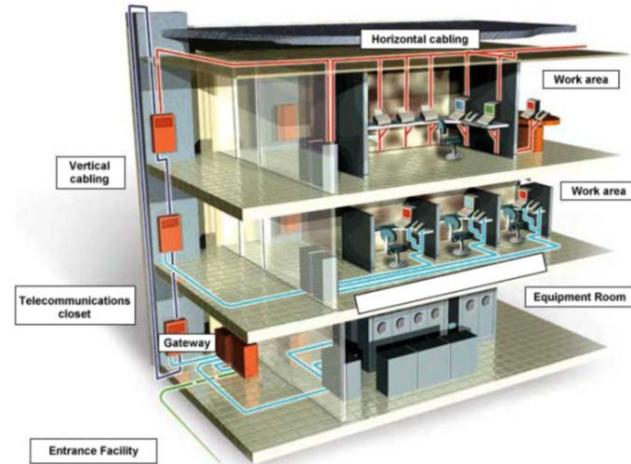
"Inside one of our server racks with new cat6 cables."



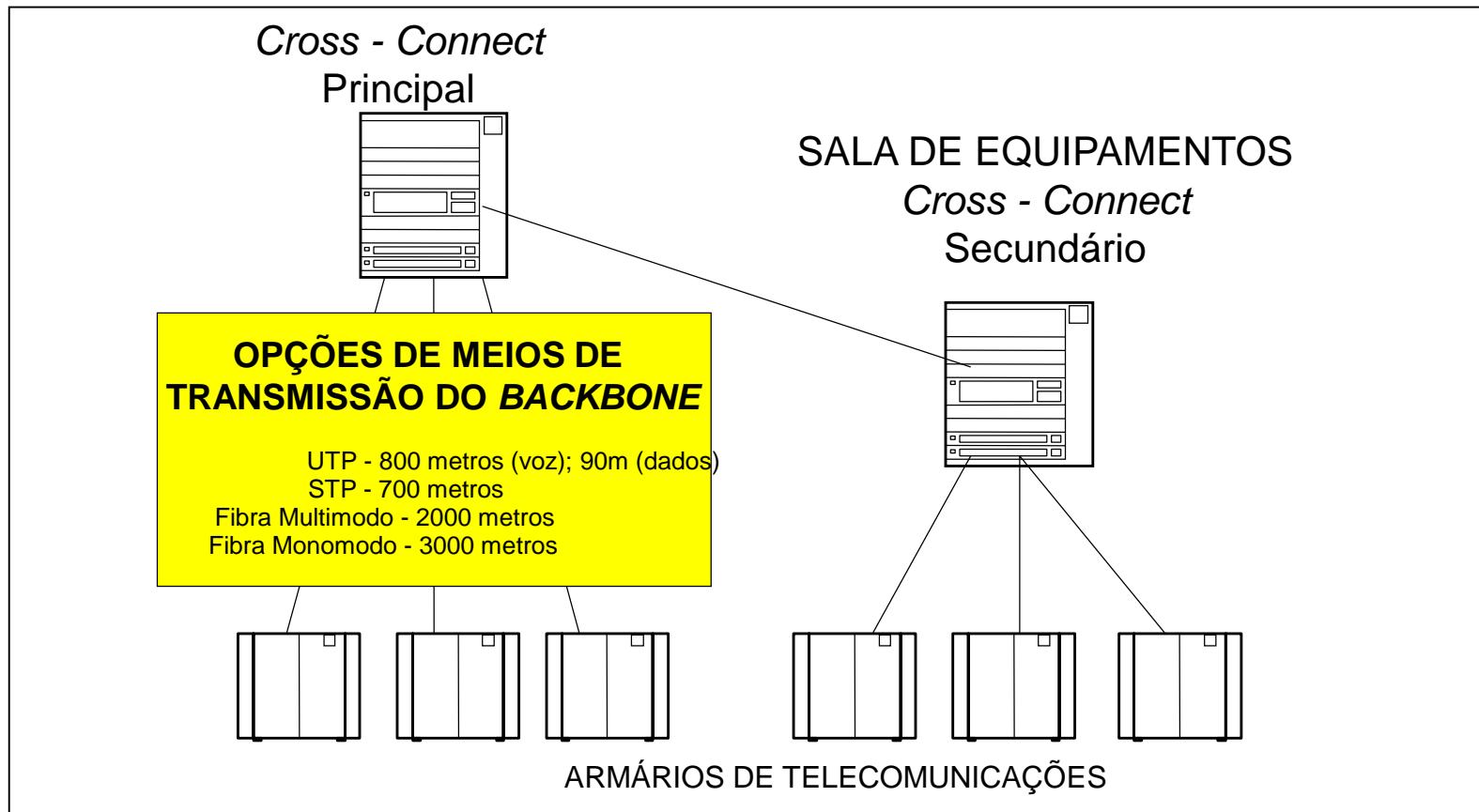
"Recent CAT 7 job I completed." (1) -- Reddit/Cableporn OP: u/valleyash14

CABEAMENTO *BACKBONE*

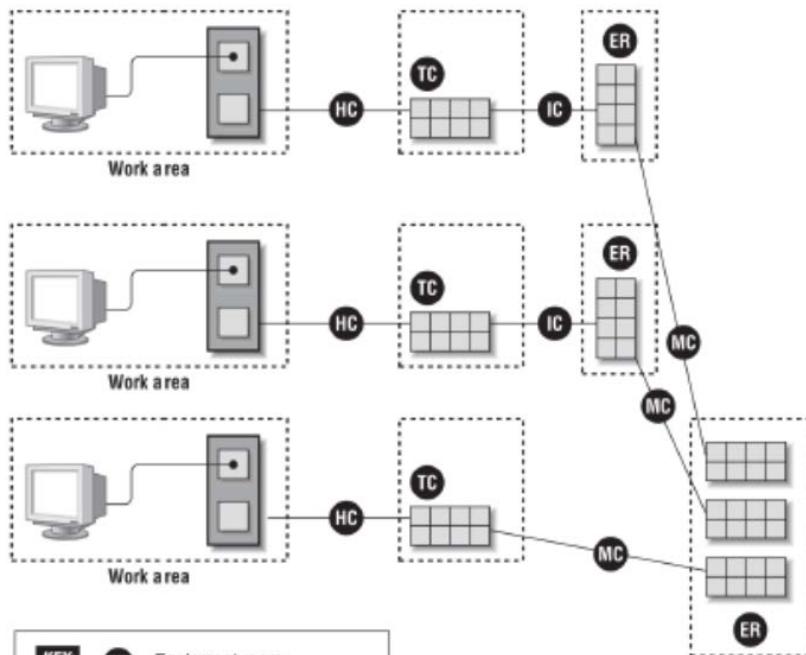
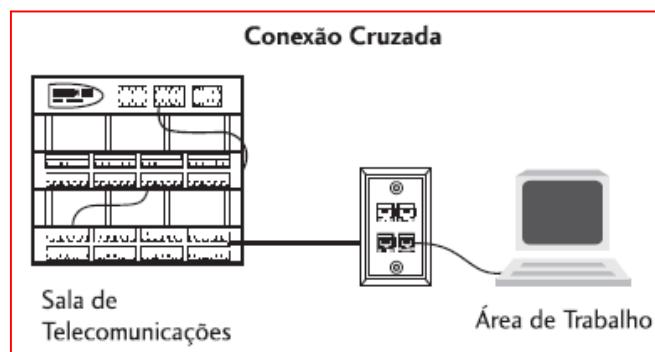
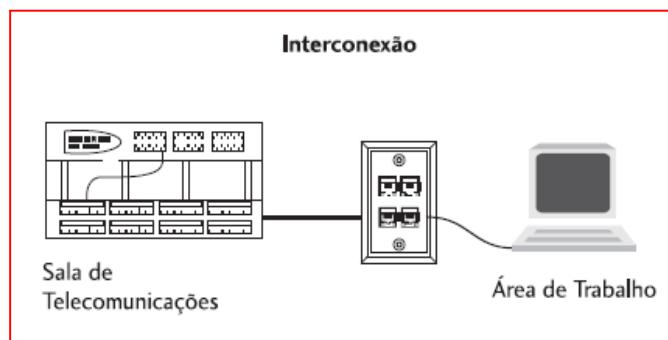
- Estabelece a conexão entre:
 - Armários de telecomunicações
 - Salas de equipamentos
 - Subsistema de Entrada
- A construção de caminhos intra-construção (na mesma construção) consiste de
 - Conduites
 - Bandejas
 - *Shafts* e fendas
- Todos os caminhos deverão estar devidamente protegidos contra fogo, juntos e aterrados segundo seus respectivos códigos



CABEAMENTO *BACKBONE* (2)



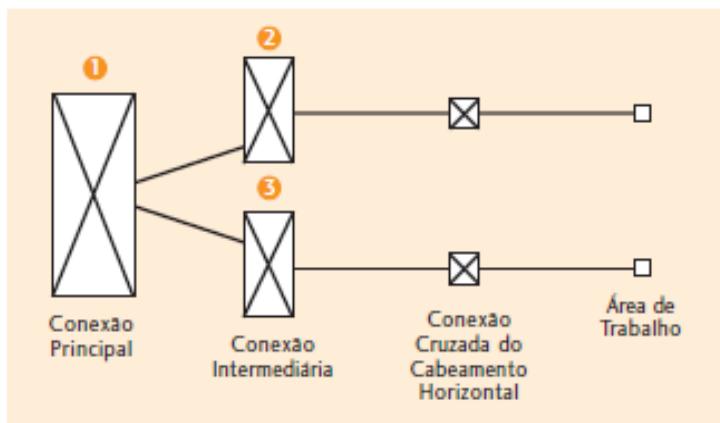
TIPOS DE CONEXÃO



KEY:

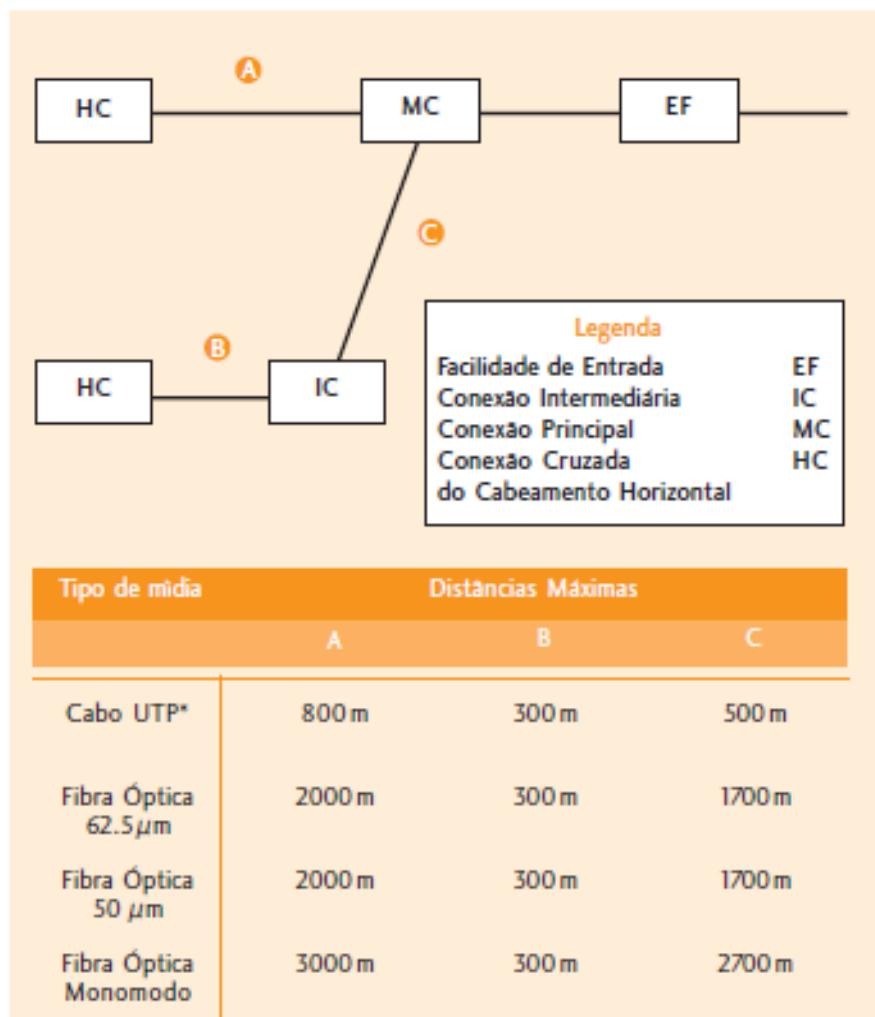
- **ER** = Equipment room
- **HC** = Horizontal cross-connect
- **IC** = Intermediate cross-connect
- **MC** = Main cross-connect
- **TC** = Telecommunications closet

CABEAMENTO *BACKBONE* (3)



Conexão Cruzada = *Crossconnect*

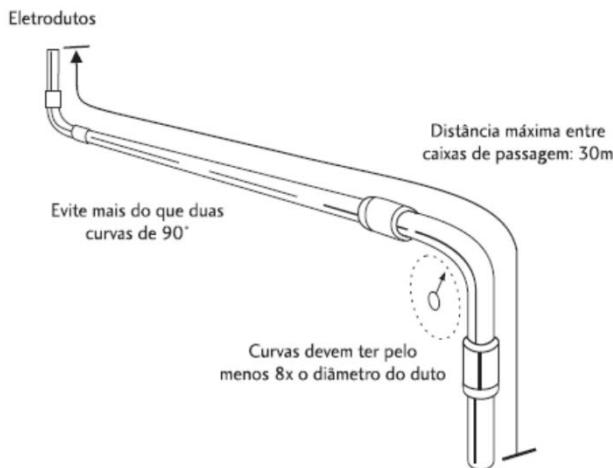
Fonte: Policom/Manual de Cabeamento



* Aplicação de voz / telefonia

CABEAMENTO *BACKBONE* (4)

| Quantidade de pares de Telecomunicações | Quantidade de Eletrodutos |
|---|---------------------------|
| 1-99 | Um 2" mais 1 reserva |
| 100-300 | Um 3" mais 1 reserva |
| 301-1000 | Um 4" mais 1 reserva |
| 1,001-2,000 | Dois 4" mais 1 reserva |
| 2,001-3,000 | Três 4" mais 1 reserva |
| 3,001-5,000 | Quatro 4" mais 1 reserva |
| 5,001-7,000 | Cinco 4" mais 1 reserva |
| 7,001-9,000 | Seis 4" mais 1 reserva |



Fonte: Policom/Manual de Cabeamento

TAXA DE OCUPAÇÃO

- a taxa máxima de ocupação é da ordem de **40% da área** do duto, canaleta ou eletrocalha

| Tamanho Comercial | Diâmetro Externo do Cabo (mm) | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| | 3.3 | 4.6 | 5.6 | 6.1 | 7.4 | 7.9 | 9.4 | 13.5 | 15.8 | 17.8 |
| 1/2" | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3/4" | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1" | 8 | 8 | 7 | 6 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 1-1/4" | 16 | 14 | 12 | 10 | 6 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| 1-1/2" | 20 | 18 | 16 | 15 | 7 | 6 | 4 | 2 | 1 | 1 |
| 2" | 30 | 26 | 22 | 20 | 14 | 12 | 7 | 4 | 3 | 2 |
| 2-1/2" | 45 | 40 | 36 | 30 | 17 | 14 | 12 | 6 | 3 | 3 |
| 3" | 70 | 60 | 50 | 40 | 20 | 20 | 17 | 7 | 6 | 6 |
| 3-1/2" | | | | | | | 22 | 12 | 7 | 6 |
| 4" | | | | | | | 30 | 14 | 12 | 7 |

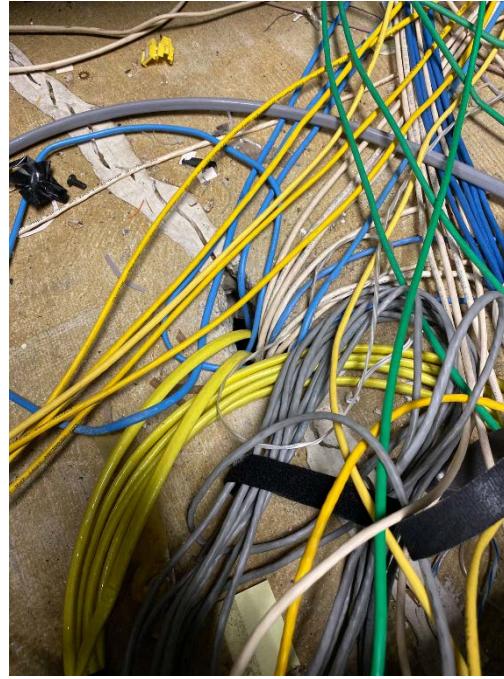
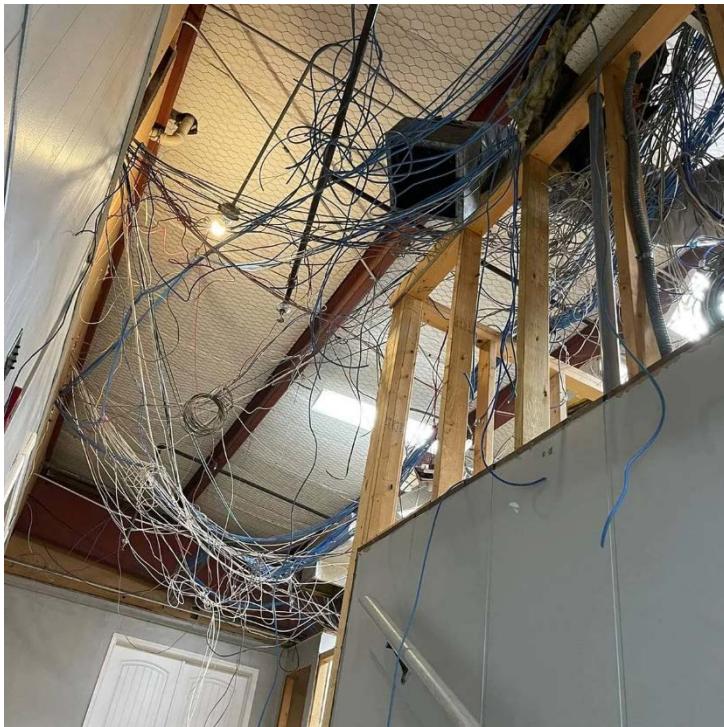
Fonte: TDMM da BICSI

CABEAMENTO *BACKBONE* (5)

| Conduite | | | Área do Conduite | | | | | | | | Raio Mínimo de Curvatura | | | |
|----------|------------------|------|-------------------------------------|----------------|-----------------------------|-------|------------------------|------|------------------------|-------|------------------------------|----|-------|----|
| Tamanho | Diâmetro Interno | | Área 790 ² Total 100% | | Ocupação Máxima Recomendada | | | | | | D | | E | |
| | mm | " | mm ² | " ² | A 53% Preenchimento | | B 31% Preenchimento | | C 48% Preenchimento | | Camada de Aço Dentro da Capa | mm | " | mm |
| 3/4" | 20.9 | 0.82 | 345 | 0.53 | 189 | 0.28 | 107 | 0.16 | 138 | 0.21 | 210 | 6 | 130 | 5 |
| 1" | 26.6 | 1.05 | 559 | 0.87 | 296 | 0.48 | 173 | 0.27 | 224 | 0.35 | 270 | 11 | 160 | 6 |
| 1 1/4" | 35.1 | 1.38 | 973 | 1.51 | 516 | 0.80 | 302 | 0.47 | 388 | 0.80 | 350 | 14 | 210 | 8 |
| 1 1/2" | 40.9 | 1.61 | 1,322 | 2.05 | 701 | 1.09 | 410 | 0.64 | 529 | 0.82 | 410 | 16 | 250 | 10 |
| 2" | 52.5 | 2.07 | 2,177 | 3.39 | 1,154 | 1.60 | 875 | 1.05 | 871 | 1.36 | 530 | 21 | 320 | 12 |
| 2 1/2" | 62.7 | 2.47 | 3,106 | 4.82 | 1,646 | 2.56 | 963 | 1.49 | 1,242 | 1.93 | 530 | 25 | 630 | 25 |
| 3" | 77.9 | 3.07 | 4,794 | 7.45 | 2,541 | 3.95 | 1,486 | 2.31 | 1,918 | 2.98 | 780 | 31 | 780 | 31 |
| 3 1/2" | 90.1 | 3.55 | 6,413 | 9.98 | 3,399 | 5.28 | 1,983 | 3.09 | 2,565 | 3.98 | 900 | 38 | 900 | 36 |
| 4" | 102.3 | 4.03 | 8,288 | 12.83 | 4,382 | 6.80 | 2,682 | 3.98 | 3,307 | 5.13 | 1,020 | 40 | 1,020 | 40 |
| 5" | 125.2 | 5.05 | 12,984 | 20.15 | 6,892 | 10.68 | 4,025 | 5.25 | 5,194 | 5.06 | 1,286 | 50 | 1,280 | 50 |
| 6" | 154.1 | 6.07 | 16,760 | 29.11 | 9,943 | 15.43 | 5,515 | 9.02 | 7,594 | 11.54 | 1,549 | 60 | 1,540 | 60 |

Fonte: TDMM da BICSI

“BACKBONE”



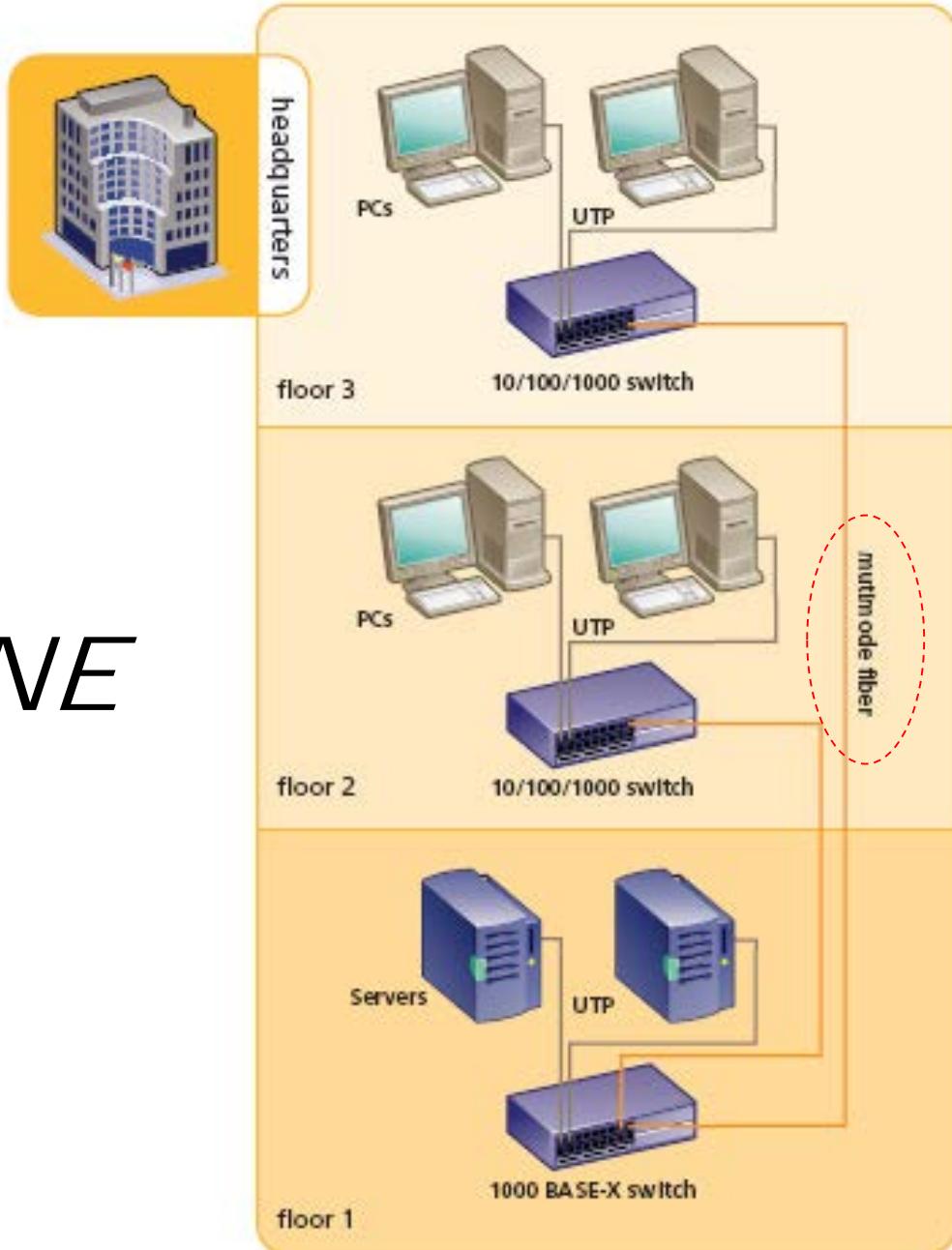
Fonte: Cabling Installation & Maintenance

BACKBONE

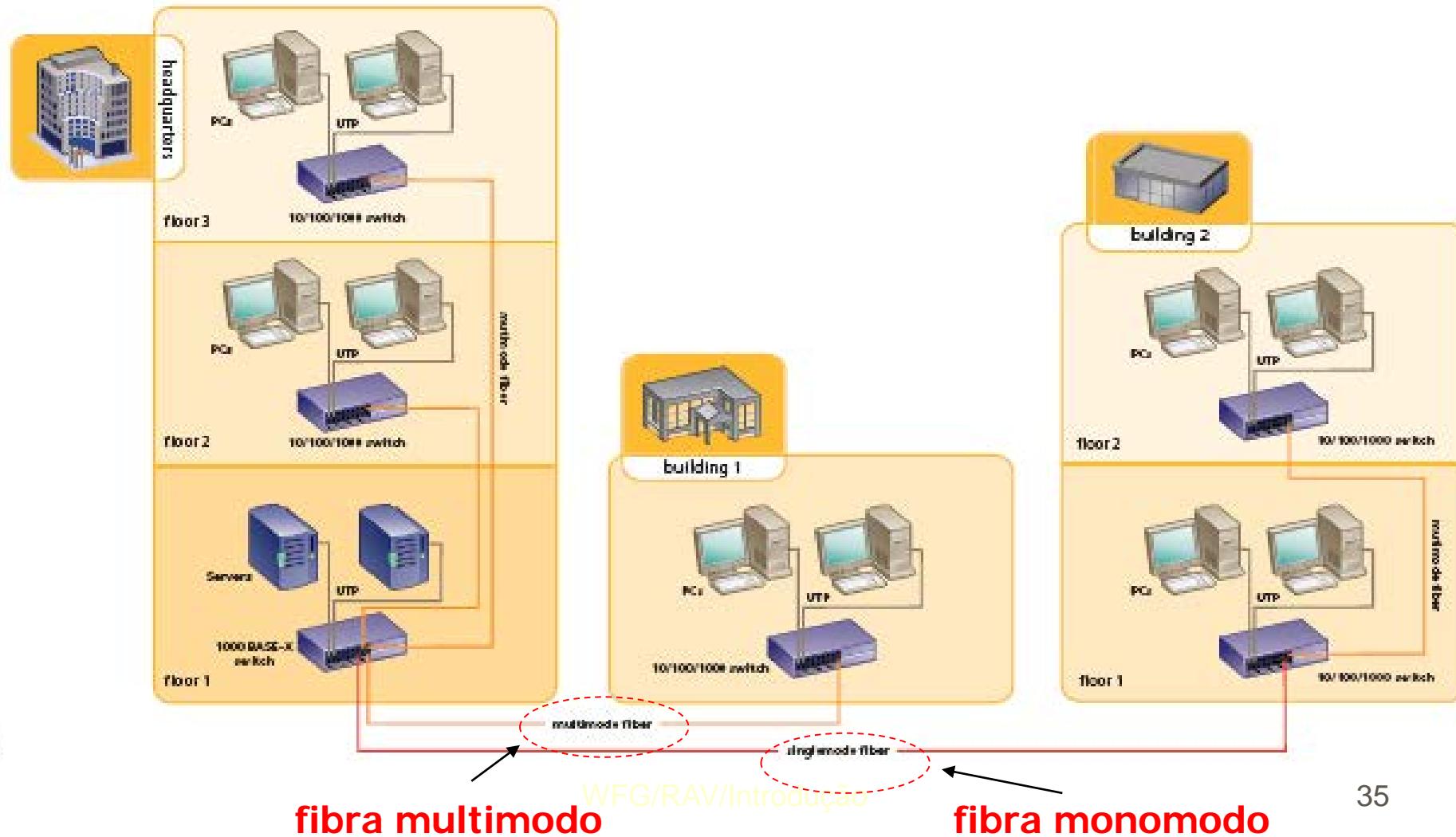


LAN-BACKBONE VERTICAL

Fibra multimodo



LAN - BACKBONE HORIZONTAL



Optical Fiber Relevant TIA Standards

■ 568.3-D – *Optical fiber cabling* and component standard

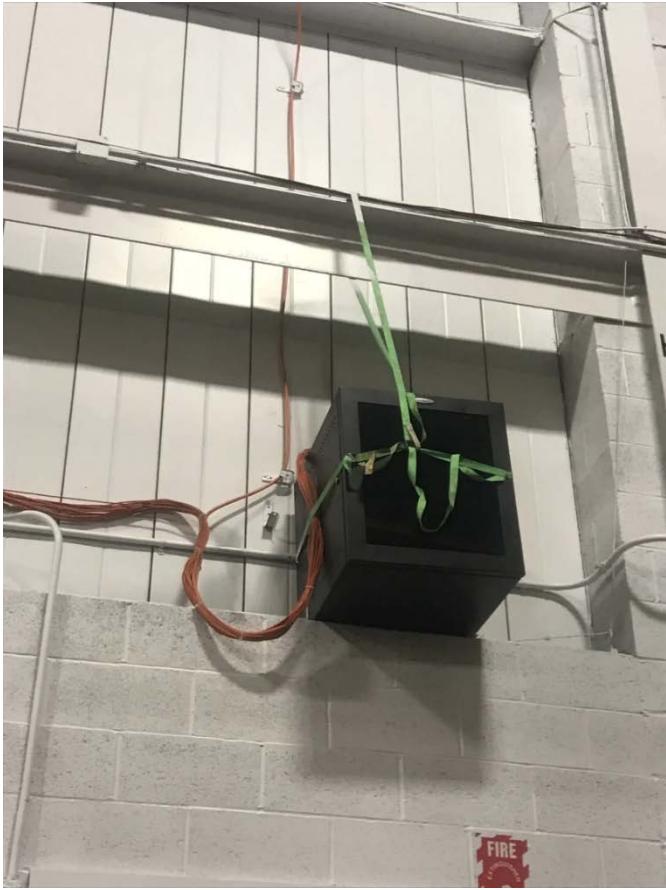
- Updated to revision "D" in June 2016
- Transmission performance and test requirements in Clause 7
- Annex E (informative) provided guidelines for field testing
- Addendum 1 released in January 2019

■ ANSI/TIA-526-14-C-2015

- Test procedures for installed *multimode fiber cable* plant
- Released in April 2015
- Adaptation of IEC 61280-4-1 Ed. 2.0
- Encircled Flux for *850nm/50 micron*

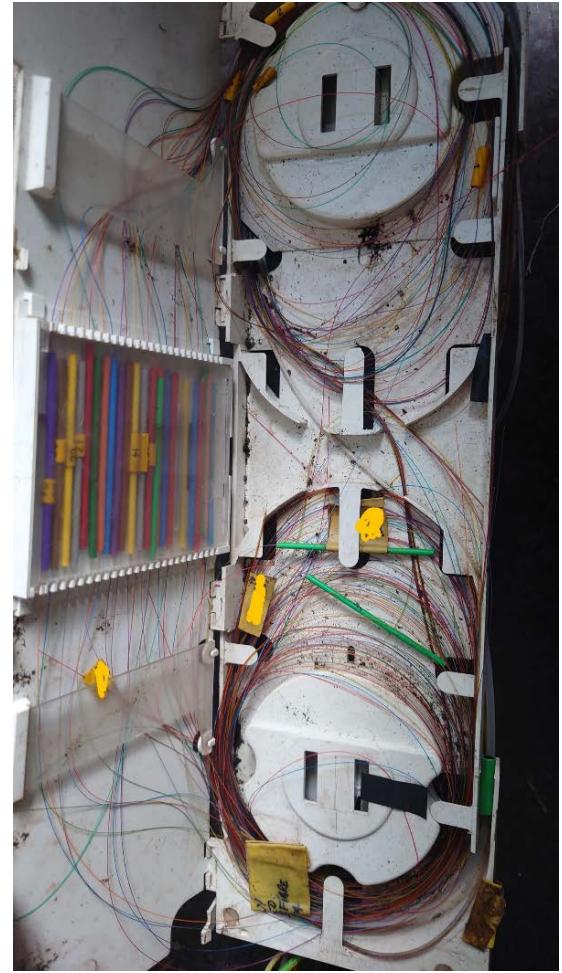
■ ANSI/TIA-526-7-A

- Test procedure for installed *single mode fiber cable* plant
- Released in July 2015
- Adoption of IEC 61280-4-2 Ed 2.0



Fonte: Cabling Installation & Maintenance

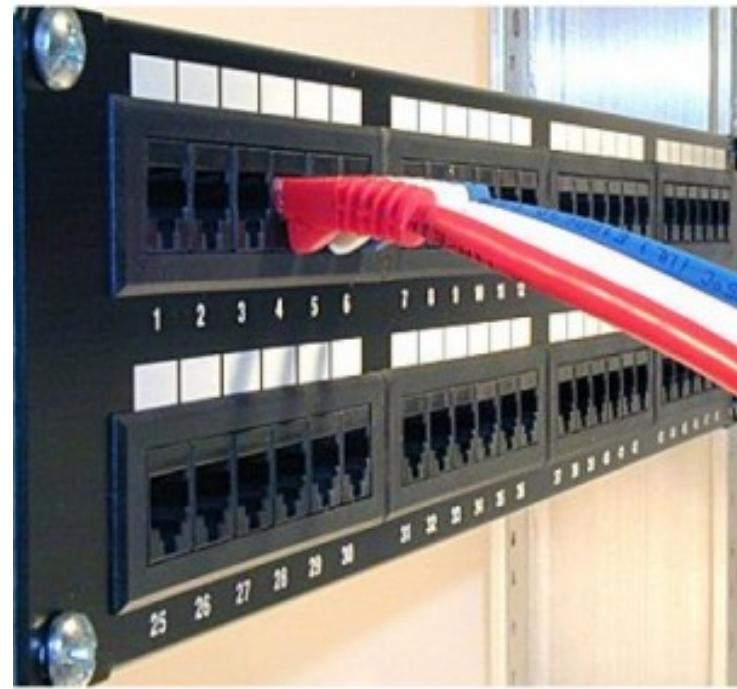
*"This is what
happens to
an old fibre node.
Old 24 fibre node."*



ARMÁRIO DE TELECOMUNICAÇÕES

Concentrador do cabeamento horizontal (*patch panel*)

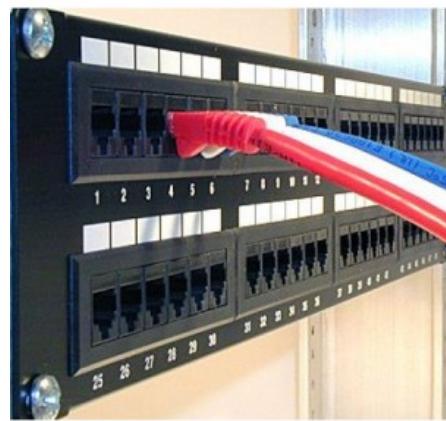
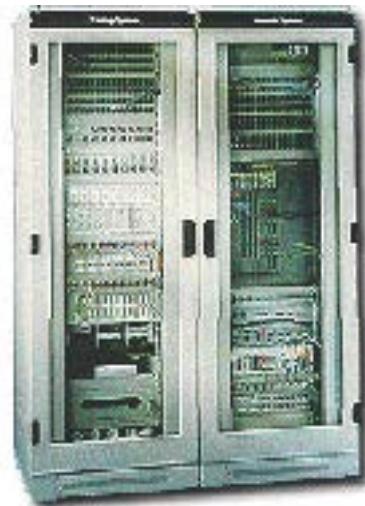
- recebe, organiza e identifica todos os cabos originários das tomadas de informação



Exemplos

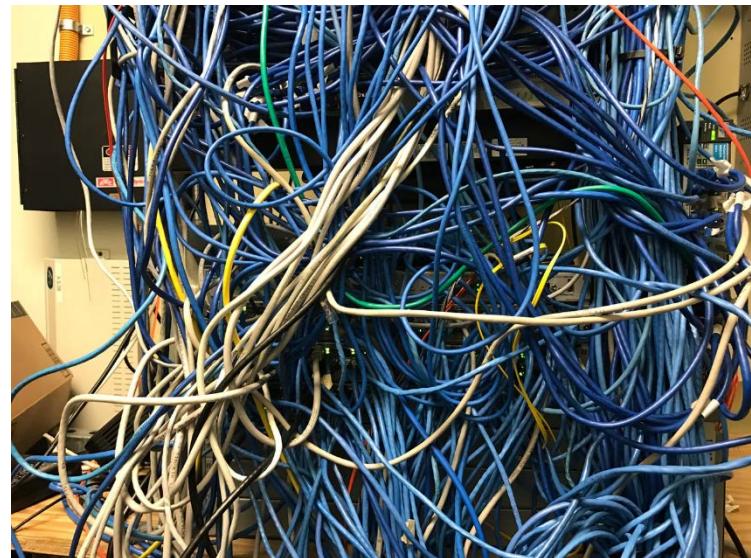
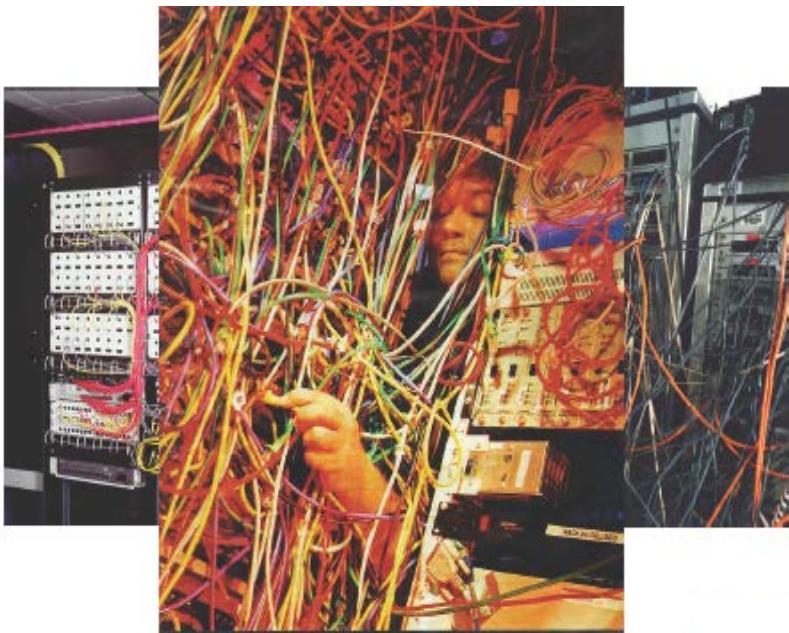
ARMÁRIO DE TELECOMUNICAÇÕES (2)

Exemplos de
Patch Panel



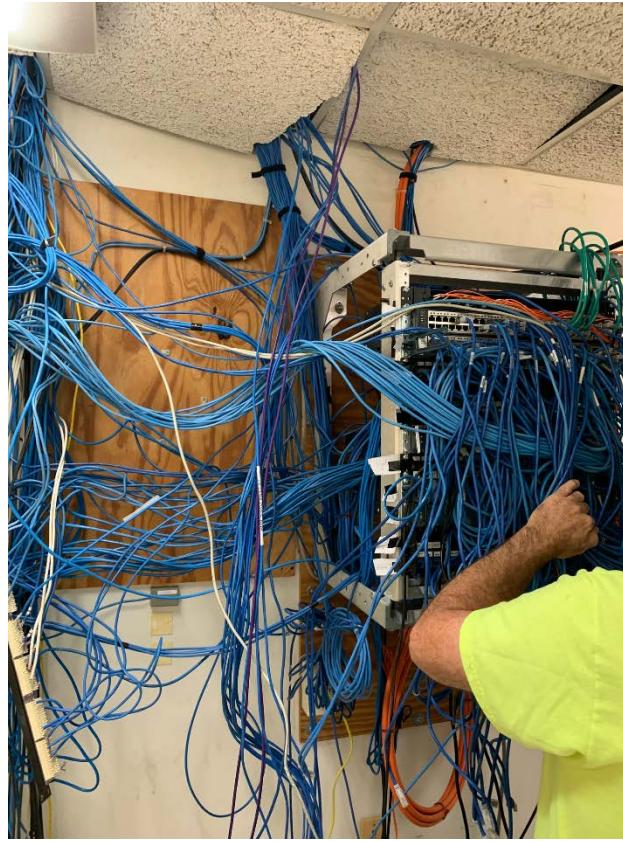
ARMÁRIO DE TELECOMUNICAÇÕES (3)

Exemplos de **(des)organização**



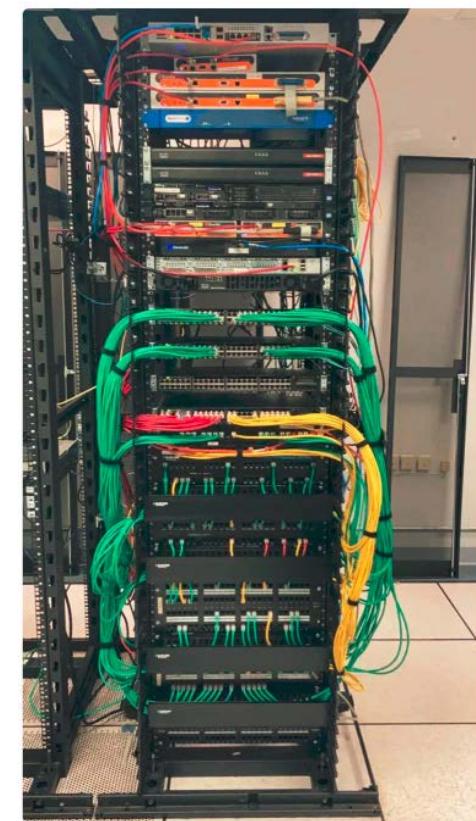
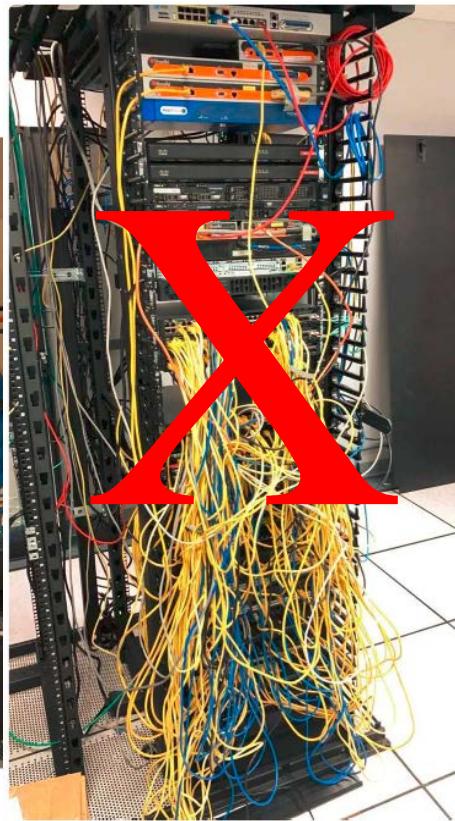
ARMÁRIO DE TELECOMUNICAÇÕES (4)

Exemplos de **(des)organização**



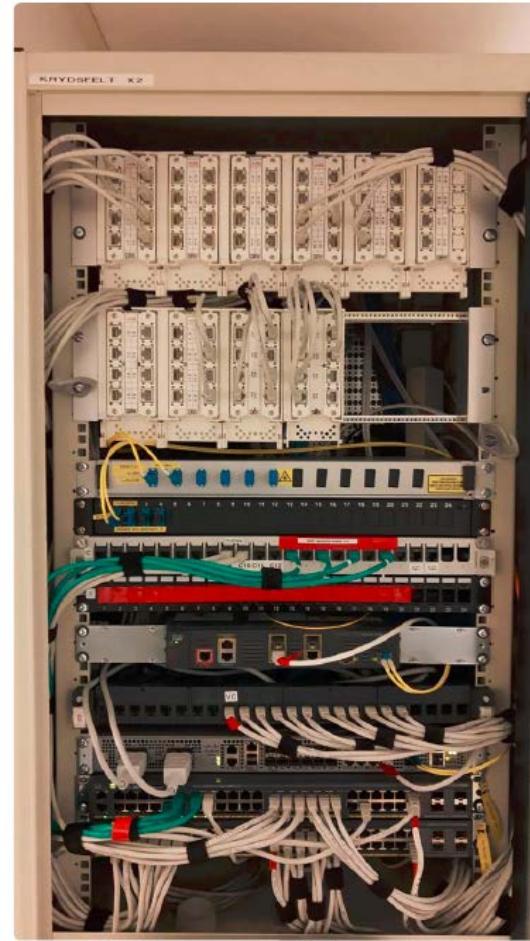
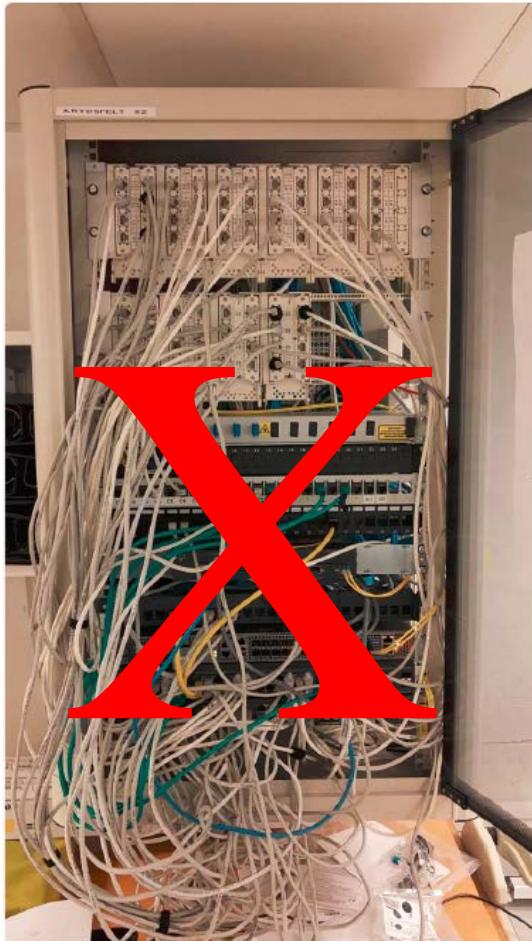
**Boas
Práticas**

BOAS PRÁTICAS DE CABEAMENTO EM ARMÁRIOS



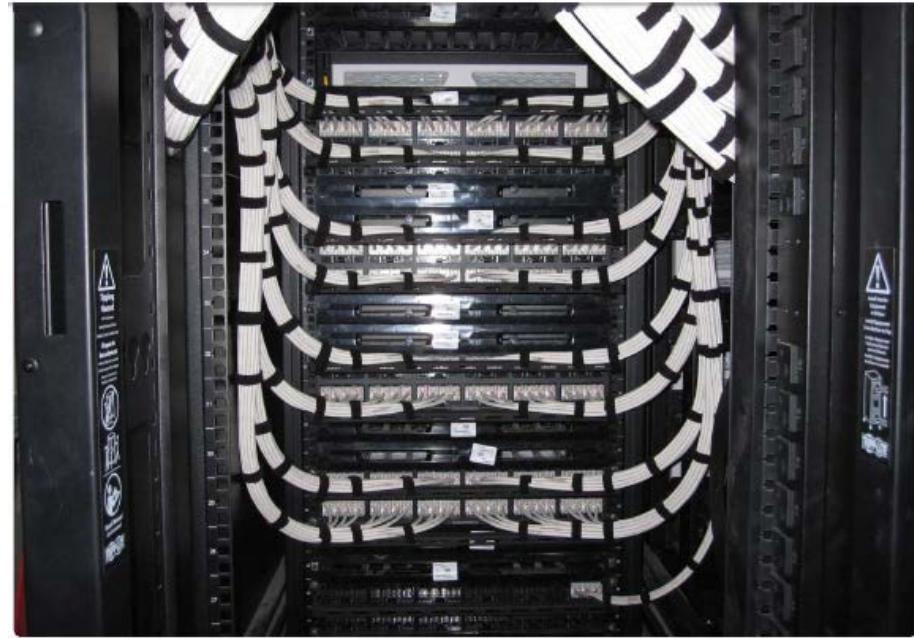
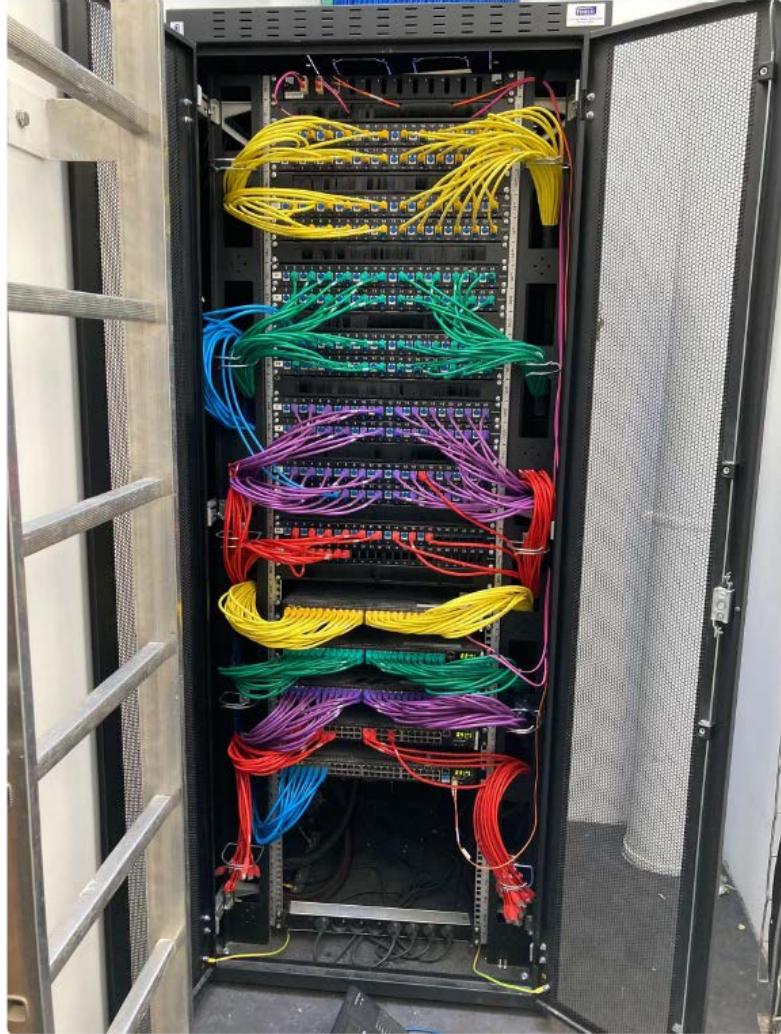
Fonte: Cabling Installation & Maintenance

BOAS PRÁTICAS DE CABEAMENTO EM ARMÁRIOS (2)



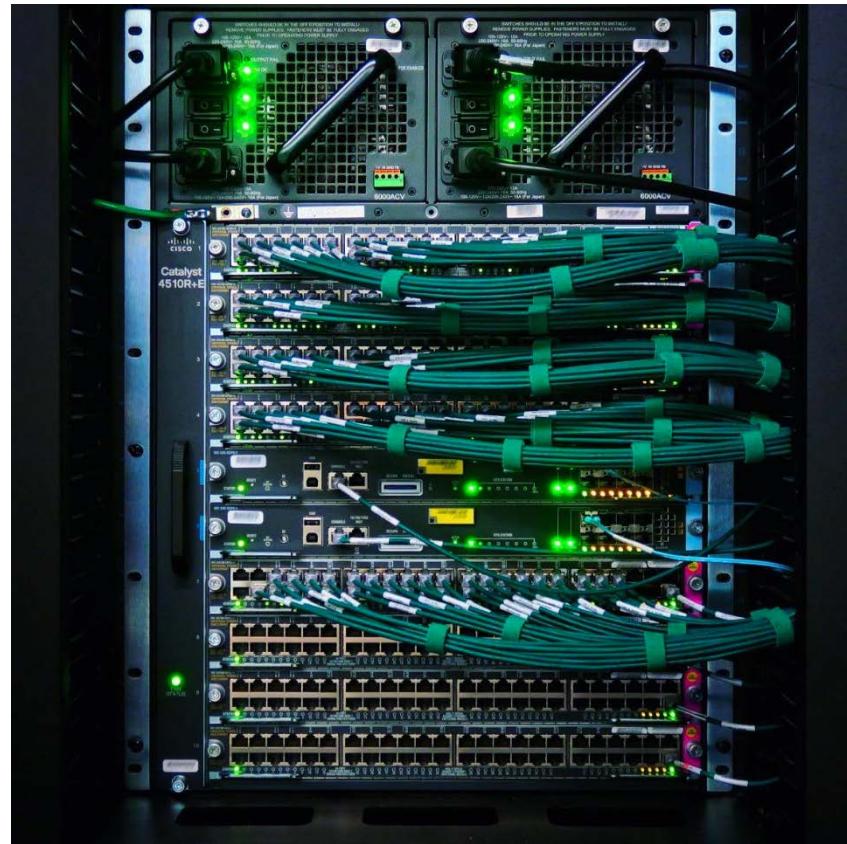
Fonte: Cabling Installation & Maintenance

BOAS PRÁTICAS DE CABEAMENTO EM ARMÁRIOS (3)



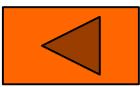
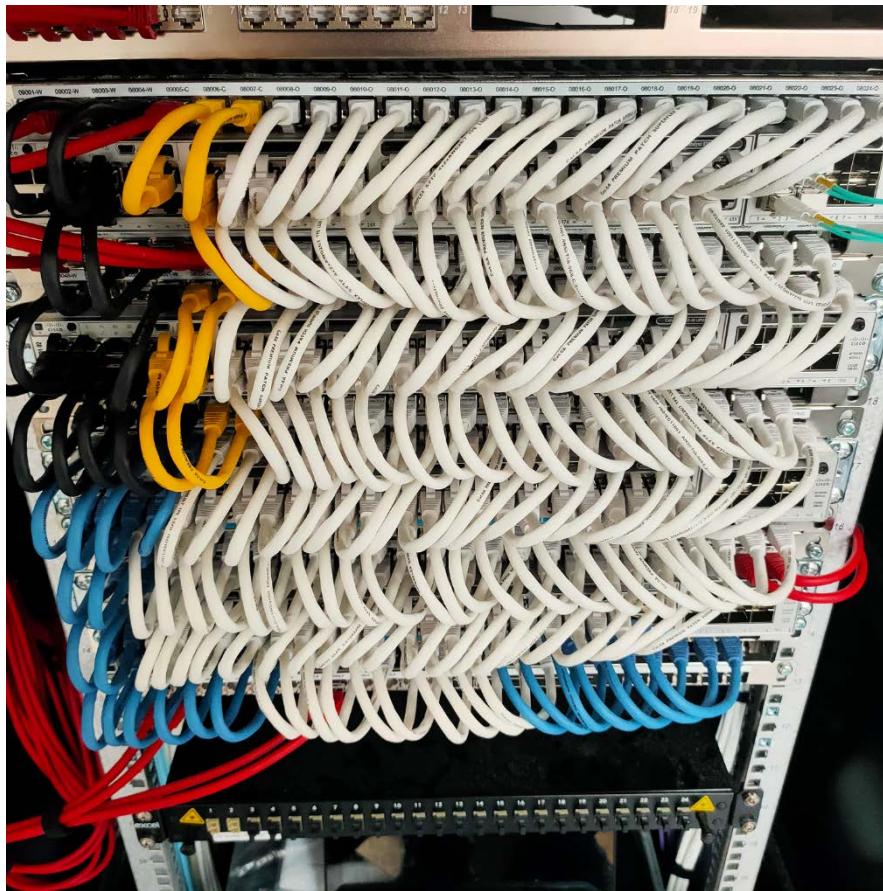
"Inside one of our server racks with new cat6 cables."

BOAS PRÁTICAS DE CABEAMENTO EM ARMÁRIOS (4)

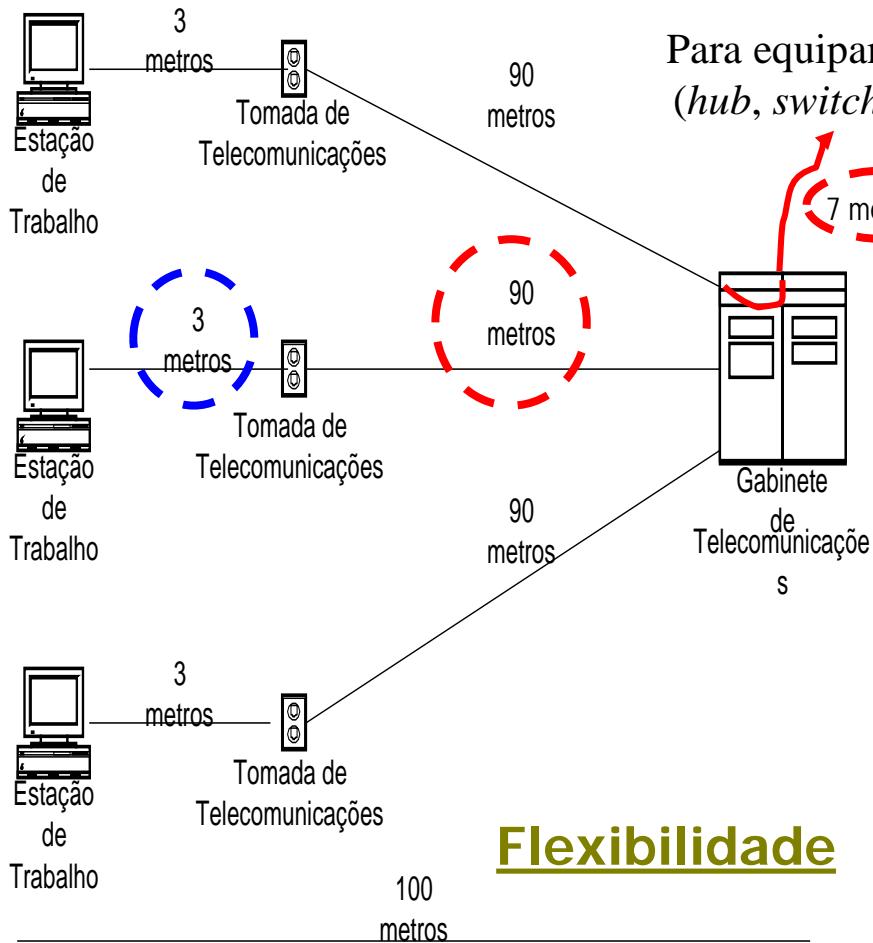


Fonte: Cabling Installation & Maintenance

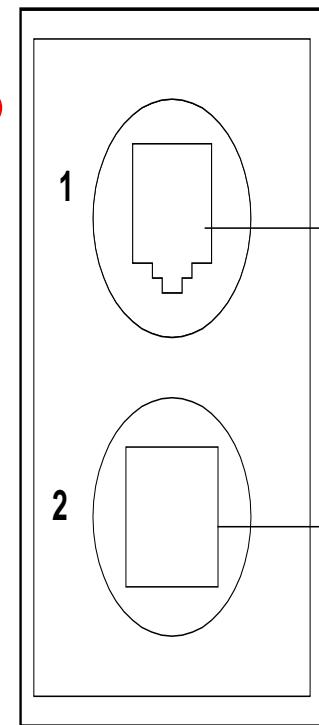
BOAS PRÁTICAS DE CABEAMENTO EM ARMÁRIOS (5)



CABEAMENTO HORIZONTAL



Para equipamento
(hub, switch, etc)

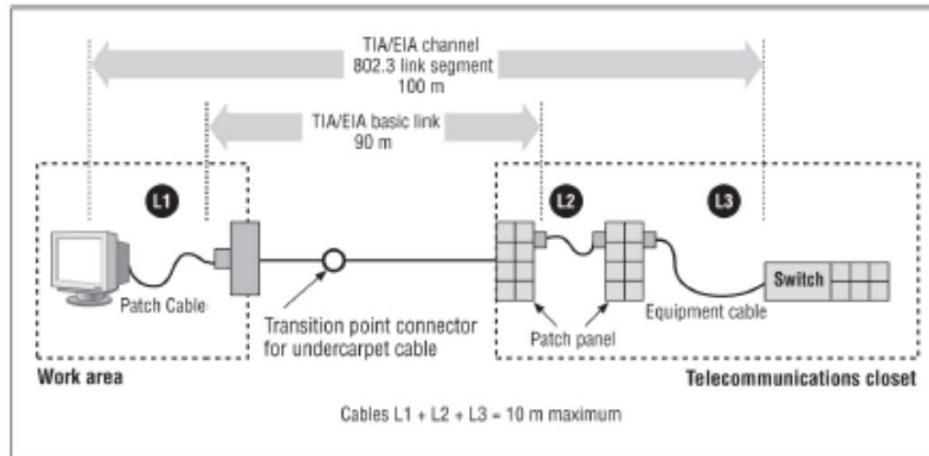


UTP 100 ohms - 4 peres de voz
Fiação T-568A ou B

UTP 100 ohms - 4 peres p/ Dados
STP 150 ohms - 2 pares p/ Dados
ou
Fibra 62.5/125 micro metros p/ Dados

Flexibilidade

CABEAMENTO HORIZONTAL (2)



Fonte: C. E. Spurgeon and J. Zimmerman_Ethernet The Definitive Guide, 2nd Edition. O'Reilly, 2013.

| Comprimento do Cabeamento Horizontal | Comprimento Máximo do Patch Cord da Área de Trabalho | Comprimento Máximo Combinado dos Patch Cords da Área de Trabalho e da Sala de Telecomunicações |
|--------------------------------------|--|--|
| 90 m | 5 m | 10 m |
| 85 m | 9 m | 14 m |
| 80 m | 13 m | 18 m |
| 75 m | 17 m | 22 m |
| 70 m | 22 m | 27 m |

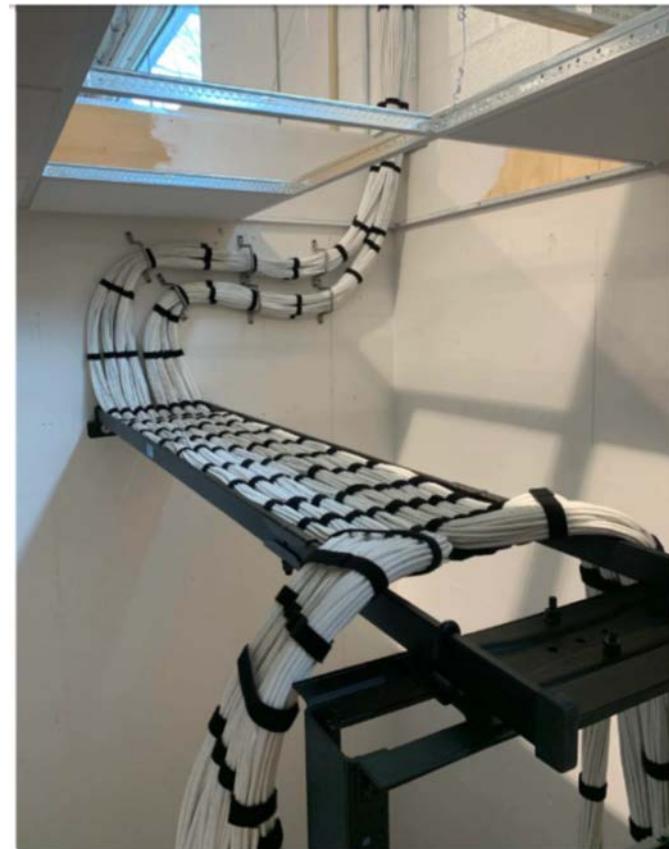
Fonte: Manual SYSTIMAX.

Percursos horizontais

CABEAMENTO HORIZONTAL (3)

PERCURSOS HORIZONTAIS

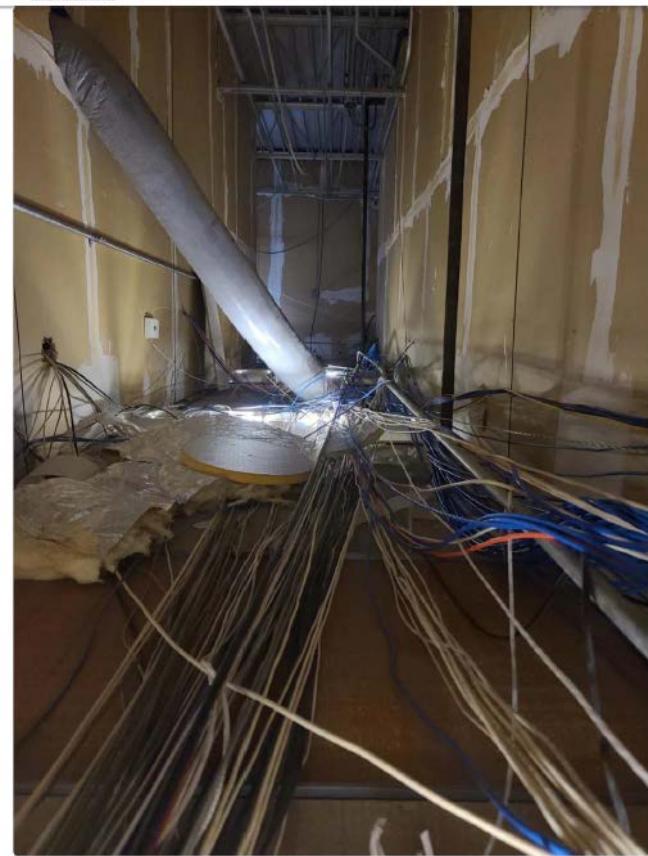
- Sob o piso (piso elevado)
- Dutos
- Teto
- Especificação de **Tubulação**
 - Tubulação metálica
 - Canaletas / Eletrocalhas
 - PVC rígido



CABEAMENTO HORIZONTAL (4)

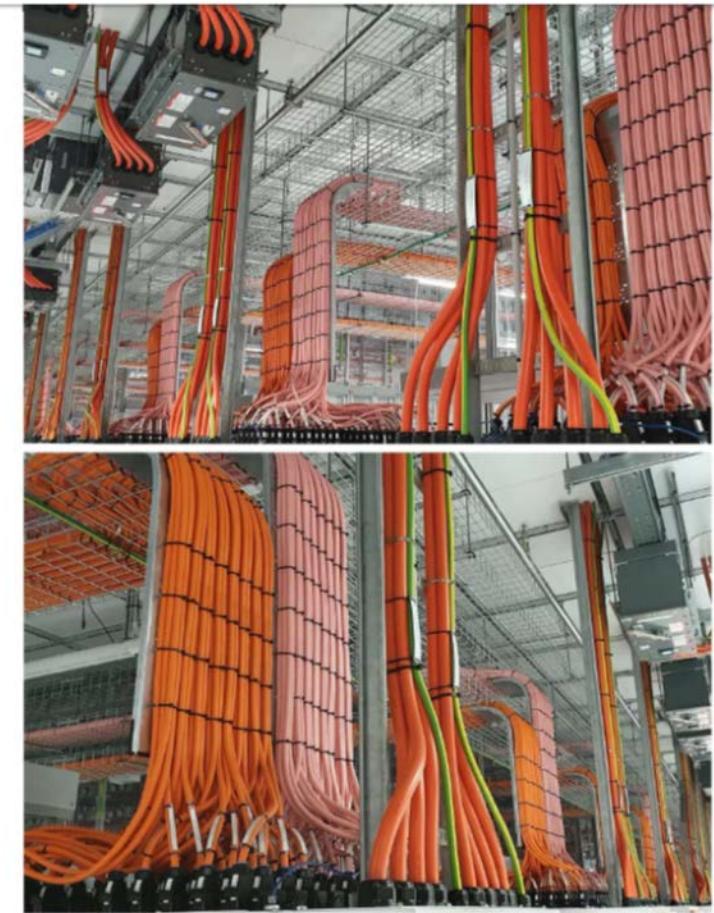


CABEAMENTO HORIZONTAL (4)

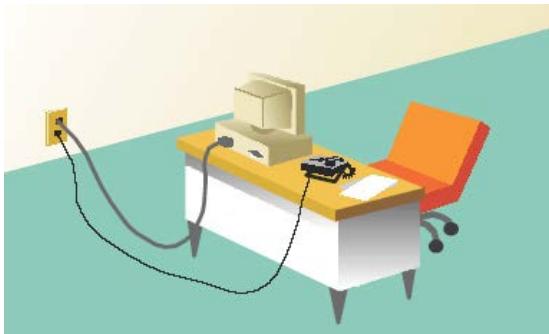


CABEAMENTO HORIZONTAL (5)

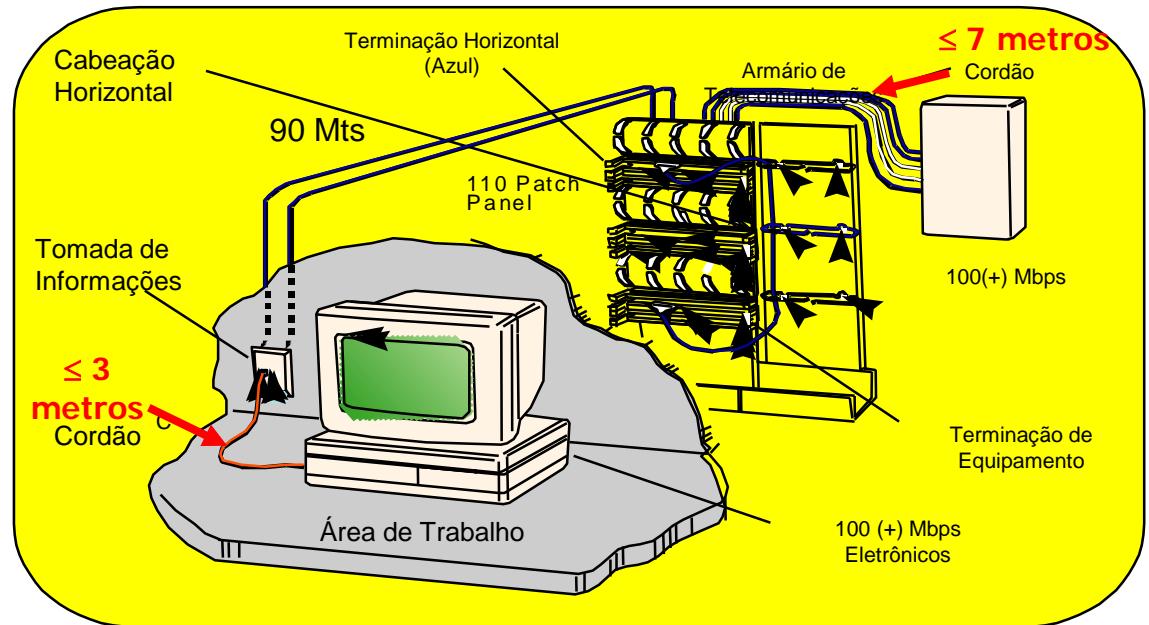
Distribuição no teto



ÁREA DE TRABALHO



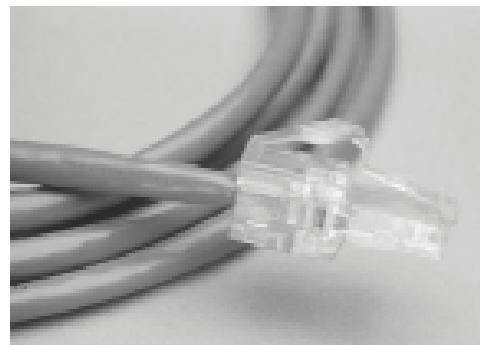
Patch cord



ÁREA DE TRABALHO (2)

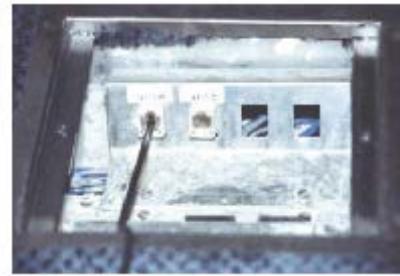
PATCH CORD

- Utilizados para **administrar** os movimentos e alterações do sistema
- Fazem a **adaptação** da tomada modular para o conector do dispositivo a ser interligado ao sistema de cabeamento



ÁREA DE TRABALHO (3)

Tomadas de Telecomunicações



ÁREA DE TRABALHO (4)

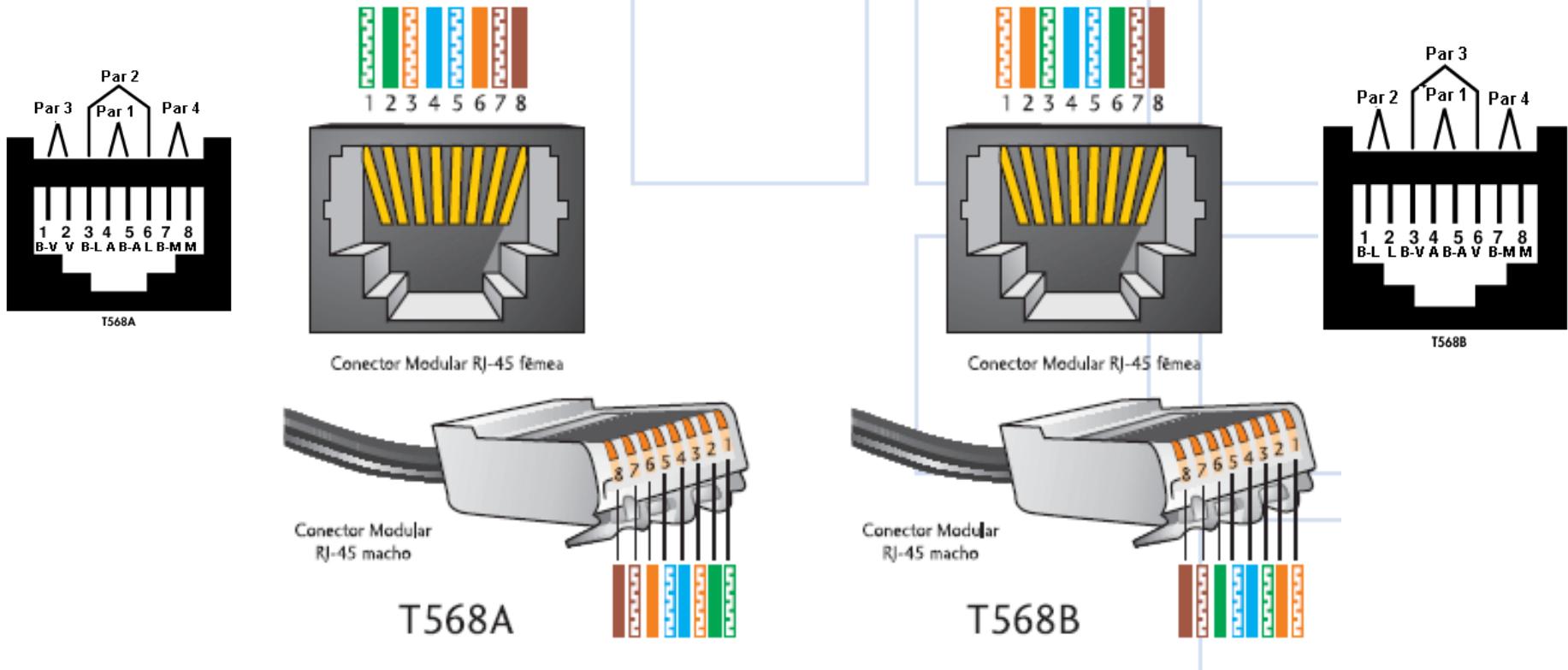
Cat 6a !!!



Fonte: Cabling Installation & Maintenance



CONECTORIZAÇÃO RJ-45



ANSI/TIA-606-C

ELEMENTS

- *Cabling Subsystem 1, 2, and 3 pathways and cabling*
- *Telecommunications bonding and grounding*
- *Spaces (e.g., entrance facility, telecommunications room, equipment room)*
- *Fire-stopping*

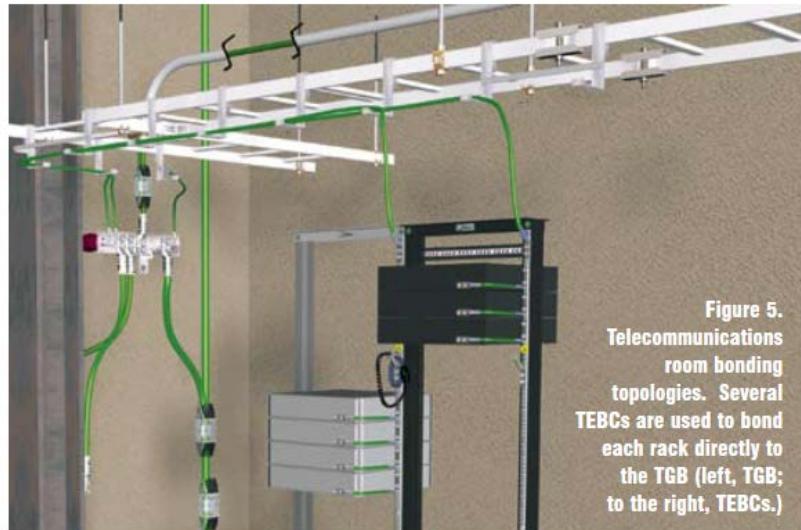
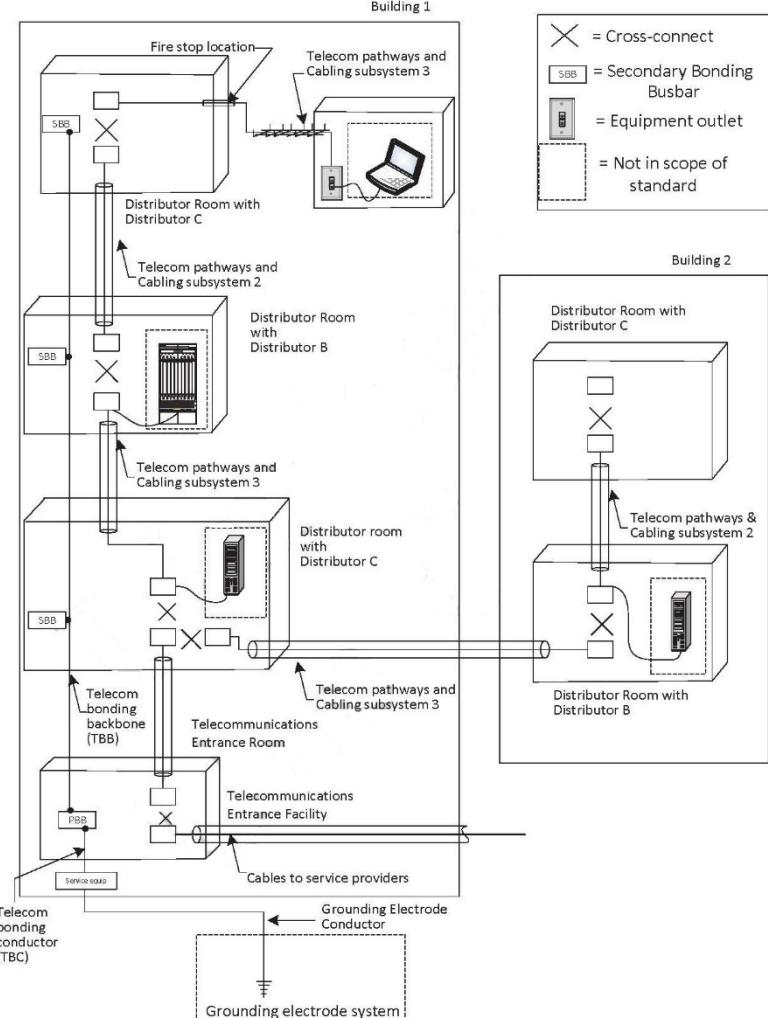


Figure 5.
Telecommunications
room bonding
topologies. Several
TEBCs are used to bond
each rack directly to
the TGB (left, TGB;
to the right, TEBCs.)

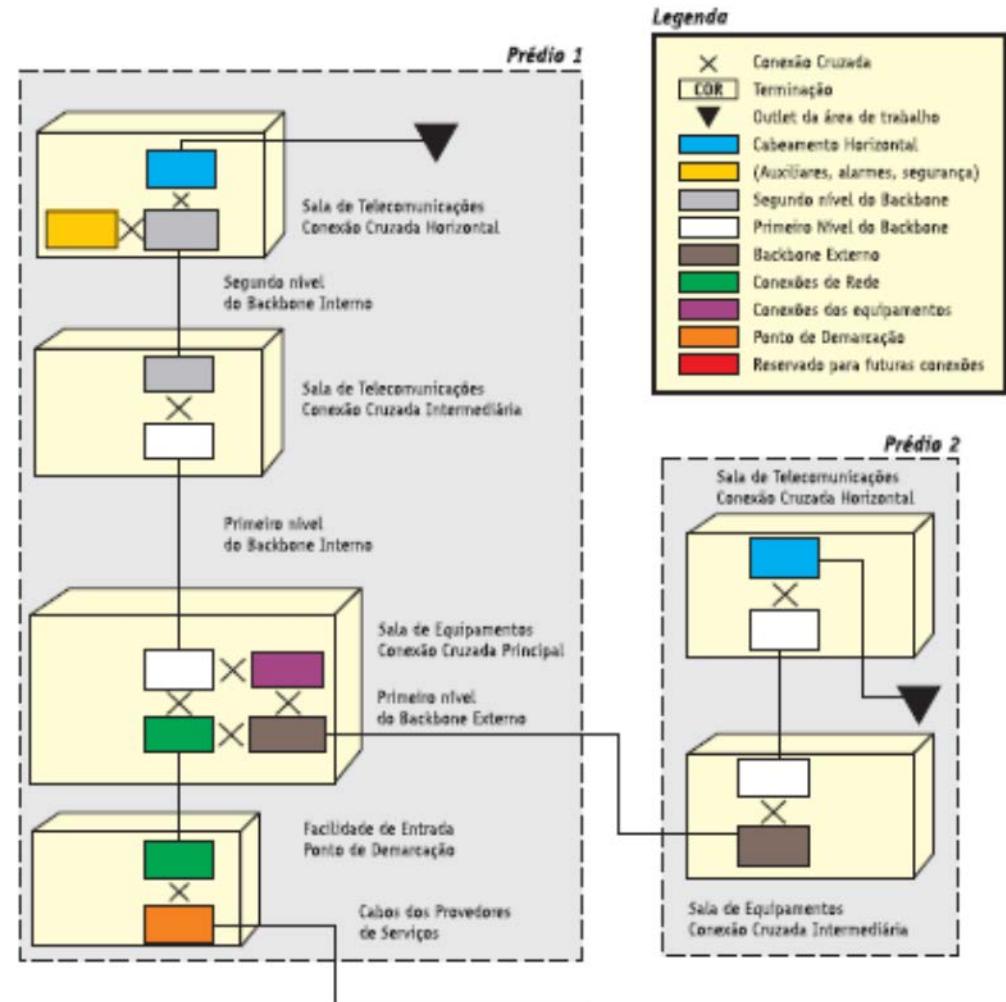
Representative Model of Typical Telecommunications Infrastructure Elements for Administration



EIA/TIA 606-A

(PADRÕES DE IDENTIFICAÇÃO)

| Tipo de Terminação | Cor | Observações |
|------------------------|----------|---|
| Ponto de demarcação | Laranja | Pontos de Zone Wiring |
| Pontos de entrada | Verde | Conexões de rede e terminação de equipamentos auxiliares |
| Terminação de Equip. | Roxo | Mapeamento de portas de hubs, switches, roteadores e centrais telefônicas |
| Backbone Principal | Branco | Backbone |
| Backbone secundário | Cinza | Backbone |
| Estações | Azul | Terminação do Cabeamento Horizontal |
| Cabeamento Campus | Marron | Interligação entre prédios |
| Outros | Amarelo | Circuitos auxiliares, Alarmes e segurança. |
| Outros sistemas de Voz | Vermelho | |



Fonte: Policom/Manual de Cabeamento

TESTES E CERTIFICAÇÃO

| <i>Parâmetros</i> | <i>Cat 5</i> | <i>Cat 5e</i> | <i>Cat 6</i> |
|------------------------------------|--------------|---------------|--------------|
| Mapa de fiação | X | X | X |
| Comprimento | X | X | X |
| Paradifonia / NEXT | X | X | X |
| Atenuação | X | X | X |
| Power Sum NEXT | | X | X |
| ELFEXT | | X | X |
| Power Sum ELFEXT | | X | X |
| Perda estrutural de Retorno | | X | X |
| Atraso de propagação | | X | X |

Crosstalk

Testadores

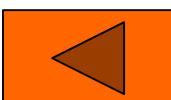
WFG/RAV/Introdução

Documentação

TIPOS CROSSTALK

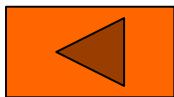
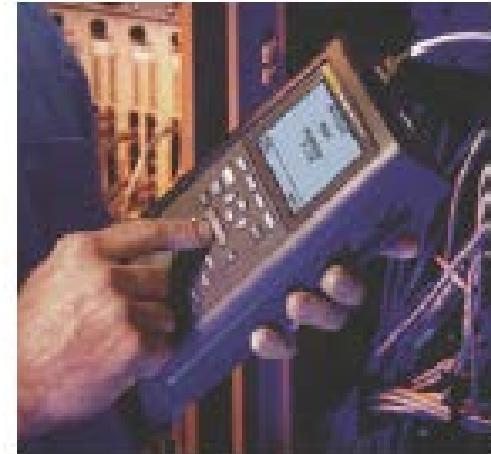
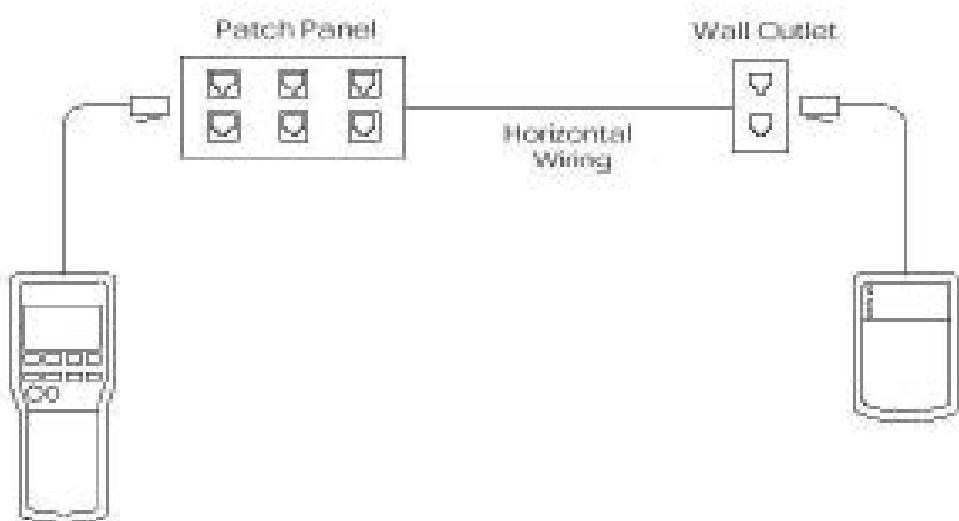


- *Near-End crossTalk (NEXT)*
- *Far-End crossTalk (FEXT)*
 - *Equal-level far-end crosstalk (ELFEXT)*
 - *Power sum equal-level far-end crosstalk (PSELFEXT)*
- *Power Sum Near-End crossTalk (PSNEXT)*
- *Power Sum Alien Near-End crossTalk (PSANEXT)*



TESTADORES DE CABO

Cable Scanner



DOCUMENTAÇÃO



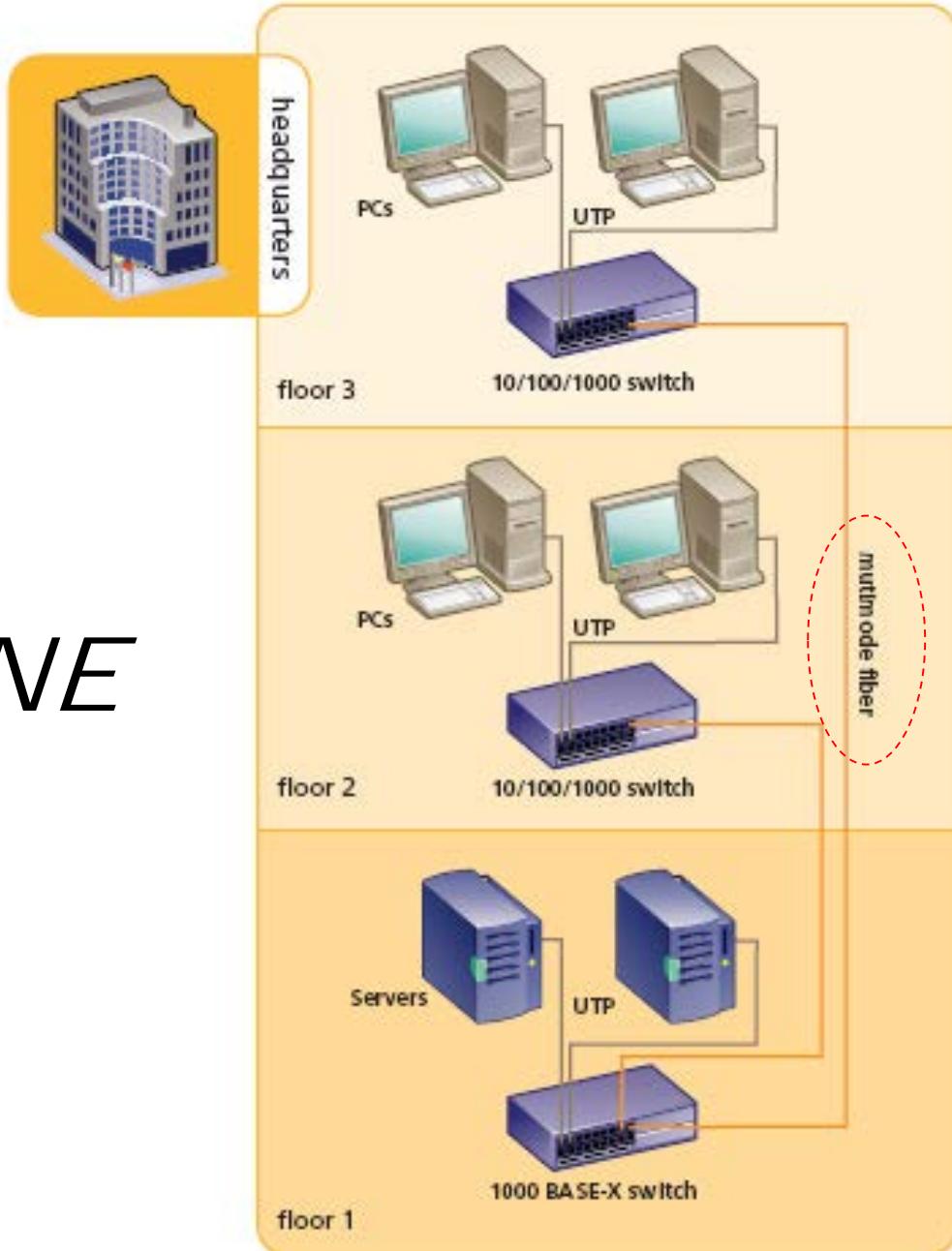
- Software de gerência e documentação
- Exemplos de produtos:



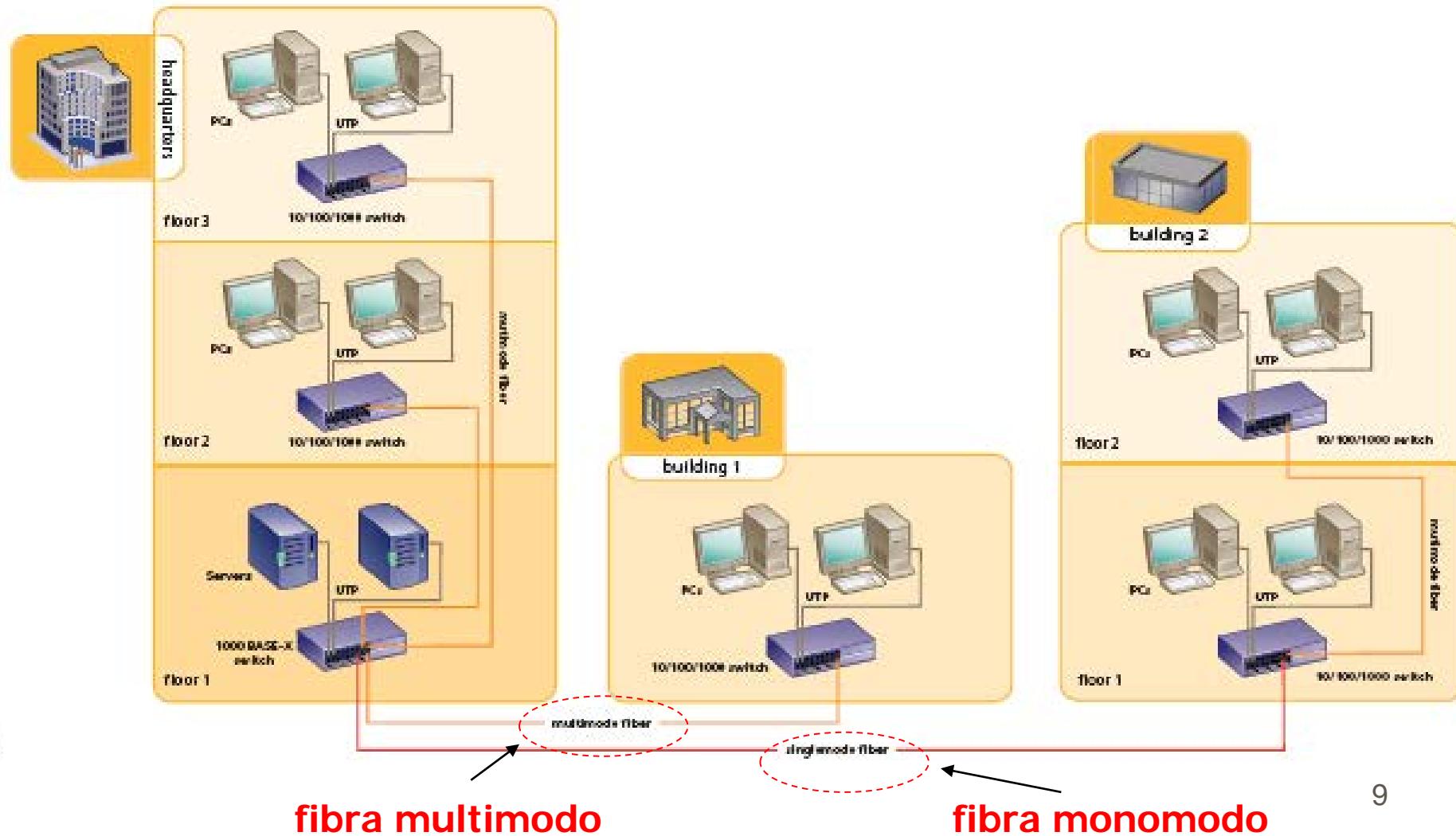
Cabeamento Óptico

LAN-BACKBONE VERTICAL

Fibra multimodo



LAN - BACKBONE HORIZONTAL



PADRÕES MMF ISO/IEC 1801

| Fiber Type | Max. attenuation (db/km) | | Min. modal bandwidth (MHz x km) | | |
|------------|--------------------------|--------|---------------------------------|--------|---------------|
| | | | Overfilled launch | | Laser launch |
| | 850nm | 1300nm | 850nm | 1300nm | 850nm |
| OM1 | 3,5 | 1,5 | 200 | 500 | Not specified |
| OM2 | 3,5 | 1,5 | 500 | 500 | Not specified |
| OM3 | 3,5 | 1,5 | 1500 | 500 | 2000 |
| OM4 | 3,5 | 1,5 | 3500 | 500 | 4700 |

Table-2: Multi Mode Fiber Characteristics for OM1, OM2, OM3 and OM4

OM3/
OM4

OM5

40 Gbps

100 Gbps

400 Gbps

Padrões SMF ISO/IEC

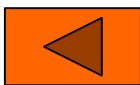


- OS1 @ ITU-T G.652 a/b
- OS2 @ ITU-T G.652 c/d

OM3 e OM4 @ 850nm

| Cable Type | 1GbE | | 10GbE | | 40 /100GbE | |
|------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|
| | Loss (dB) | Length (m) | Loss (dB) | Length (m) | Loss (dB) | Length (m) |
| OM3 | 4.5 | 1000 | 2.6 | 300 | 1.9 | 100 |
| OM4 | 4.8 | 1100 | 3.1 | 1100 | 1.5 | 150 |

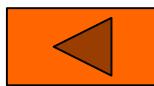
Loss and Length Limits at 850nm



OM5 @ 400GbE

400GBASE-SR4.2 Link Power Budget

| Parameter | OM3 | OM4 | OM5 | Unit |
|---|------|------|------|--------|
| Effective modal bandwidth at 850 nm ^a | 2000 | 4700 | 4700 | MHz-km |
| Effective modal bandwidth at 918 nm | 1210 | 1850 | 2890 | MHz-km |
| Power budget (for max TDECQ) | | 6.6 | | dB |
| Operating distance | 70 | 100 | 150 | m |
| Channel insertion loss ^c | 1.8 | 1.9 | 2 | dB |
| Allocation for penalties ^d (for max TDECQ) | | 4.6 | | dB |
| Additional insertion loss allowed | 0.2 | 0.1 | 0 | dB |



Fibras SMF ISO/IEC 11801

Singlemode Fiber Types (by ISO 11801 Cabling Standard convention)

| SM Cabled Fiber Designation | Wavelength (nm) | Max CABLE Loss (dB/km) | Cable Type | Typical Reach (meters) |
|--|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| OS1 | 1310 & 1550 | 1.0 | Typically Tight Buffer | 2000 |
| OS1a | 1310, 1383 , 1550 | 1.0 | Typically Tight Buffer | 2000 |
| OS2 | 1310, 1383, 1550 | 0.4 | Typically Loose Tube | 10,000 |

Optical Fiber Relevant TIA Standards

ANSI/TIA 568.3-D – *Optical fiber cabling and component standard*

- Updated to revision "D" in June 2016
- Transmission performance and test requirements in Clause 7
- Annex E (informative) provided guidelines for field testing
- Addendum 1 released in January 2019

ANSI/TIA-526-14-C-2015

- Test procedures for installed *multimode fiber cable* plant
- Released in April 2015
- Adaptation of IEC 61280-4-1 Ed. 2.0
- Encircled Flux for *850nm/50 micron*

ANSI/TIA-526-7-A

- Test procedure for installed *single mode fiber cable* plant
- Released in July 2015
- Adoption of IEC 61280-4-2 Ed 2.0

ANSI/TIA 568.3-D

"Optical Fiber Cabling Components" (2016)

- Optical Fiber Cable
- Connecting Hardware
- Cords, Array Cables, and Transitions
- Optical Fiber Transmission Performance and Test Requirements
- Annexes addressing Optical Fiber Connector Performance Specifications, Grandfathered Fiber and Cable Types, Maintaining Optical Fiber Polarity, Optical Branching Component Performance Specifications, and Guidelines for Field-Testing Length, Loss, and Polarity of Optical Fiber Cabling

Significant Changes

- Optical fiber **polarity information** and optical **fiber test measurement** requirements now reside in TIA-568.3-D
- **Passive optical network components** are specified
- The **polarity of cords and connectivity methods** supporting **parallel optical signals** for transceiver interfaces and array connector patch cords and cables that exclusively employ **two rows of fibers per plug** are described
- **Array connectivity of arbitrary row width** following patterns of the illustrated 12-fiber row components are allowed
- Specifications for **wideband multimode fiber** (commonly referred to as "OM5") have been added
- **The use of OM1, OM2, and OS1 cables is no longer recommended**
- The **maximum allowable OM3 and OM4 attenuation at 850 nm** has been lowered to **3.0 dB/km**
- The **minimum return loss of singlemode connections and splices** has been raised from **26 dB to 35 dB**
- The **Insertion loss of reference-grade test connections** is described and accommodated
- Encircled flux launch conditions are specified for testing **multimode connector performance at 850 nm**
- **Multimode connector performance is no longer specified at 1300 nm**
- The **minimum durability for all array connections** is specified at **500 mating cycles**
- **Specifications for outside plant microduct cable** have been added

LAN – BACKBONE PON

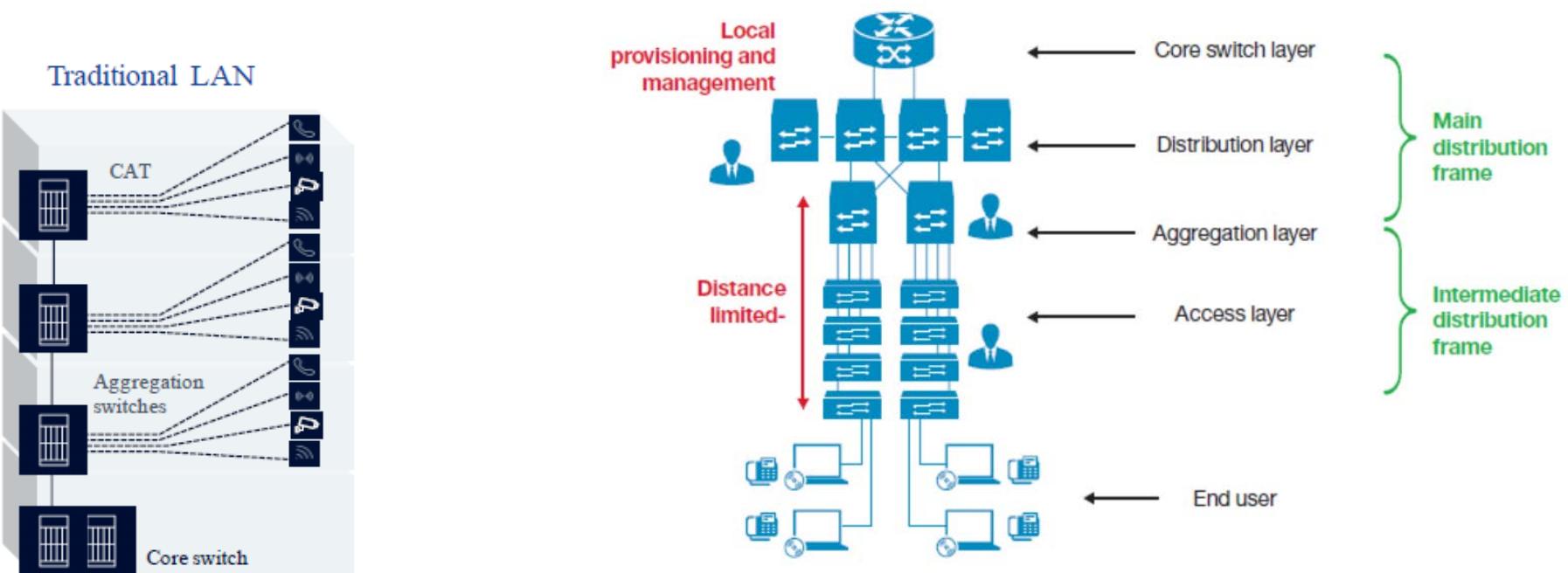


Figure 3: Traditional LAN Architecture

LAN – BACKBONE PON

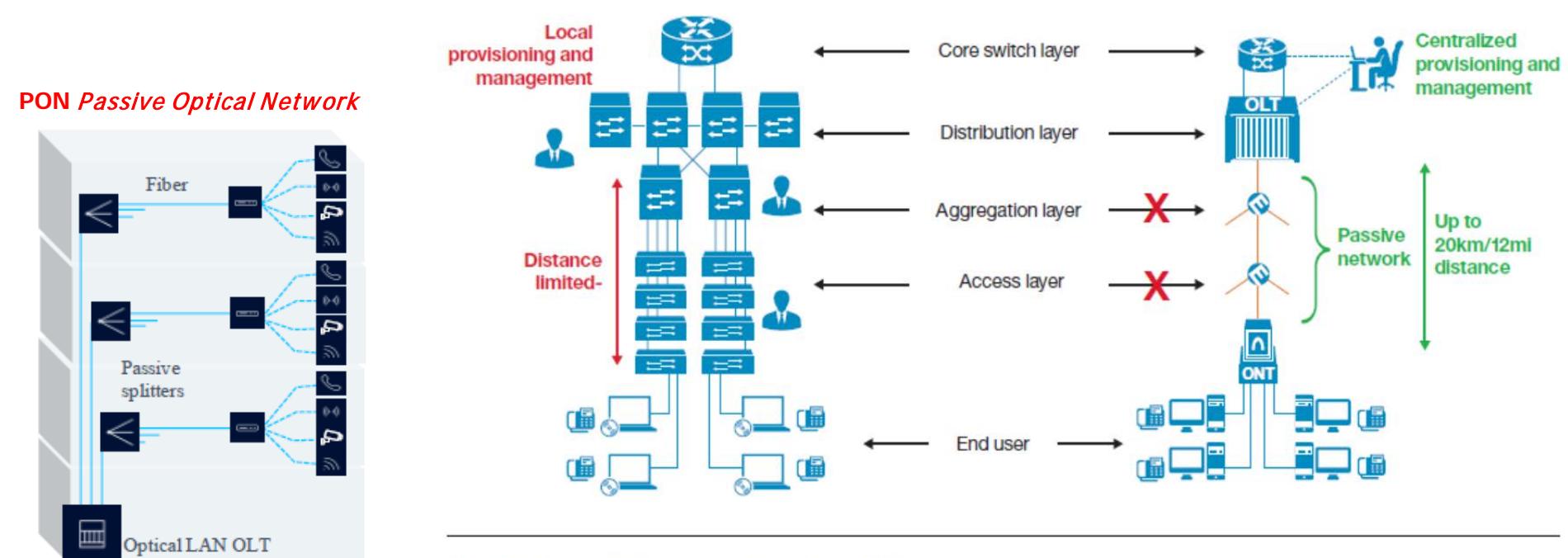
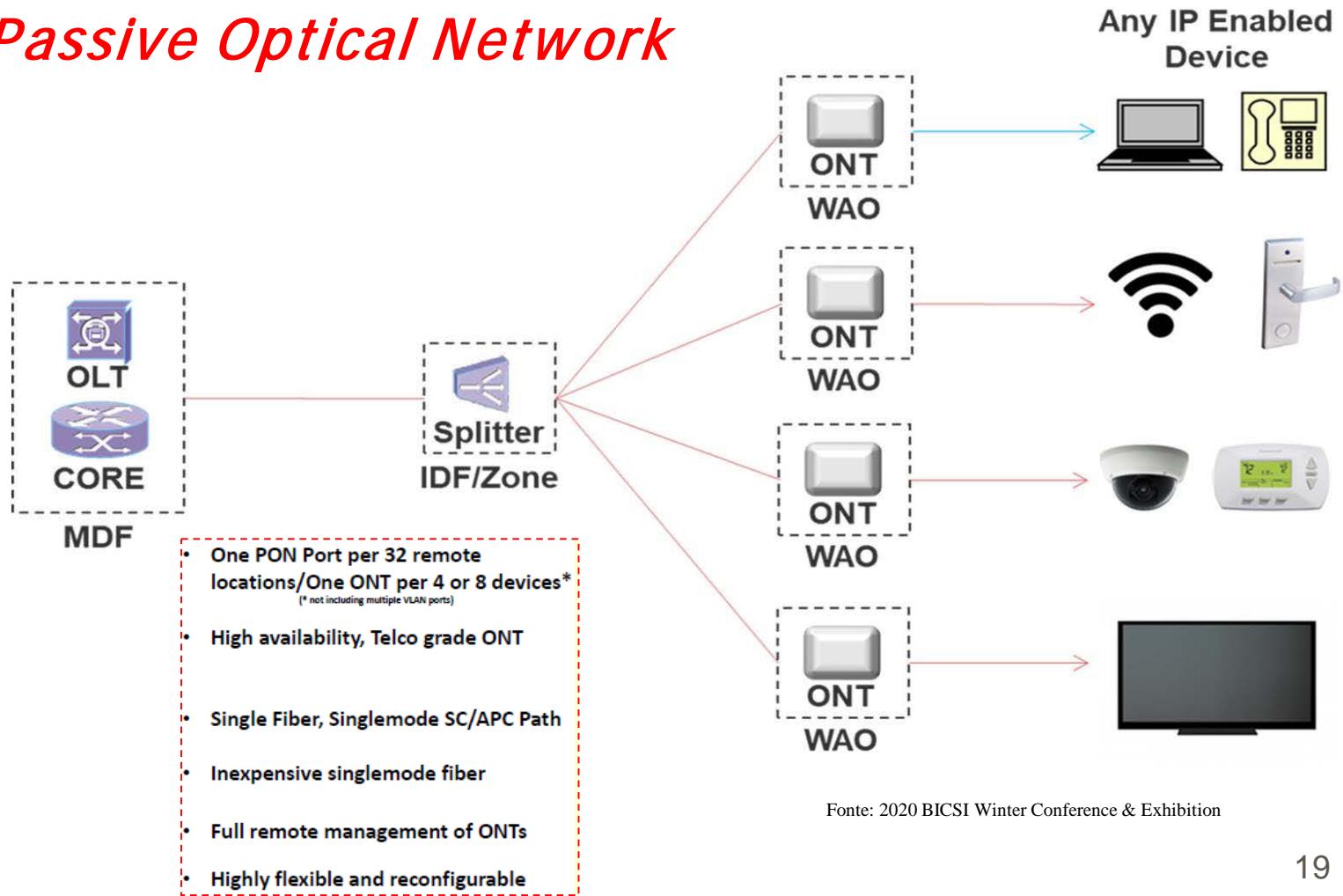


Figure 5: Traditional LAN Architecture vs. Passive Optical LAN Architecture

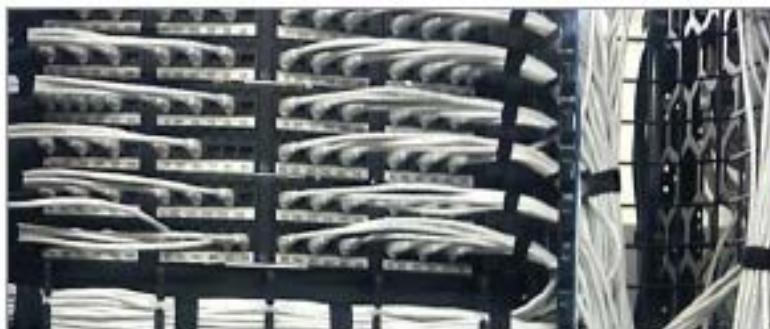
LAN – BACKBONE PON

PON *Passive Optical Network*



LAN – BACKBONE PON

Cabos Cat 5 ($\frac{1}{2}$ andar)



PON (3 e $\frac{1}{2}$ andares)



Figure 7: Cable size of CAT 5 vs. optical fiber Implemented in the same building infrastructure. The rack and cables at the left side were an early LAN implementation supporting one half floor. The yellow cables at the right side are the Passive Optical LAN implementation to replace the original LAN implementation – supporting three and one half floors.

LAN – BACKBONE PON

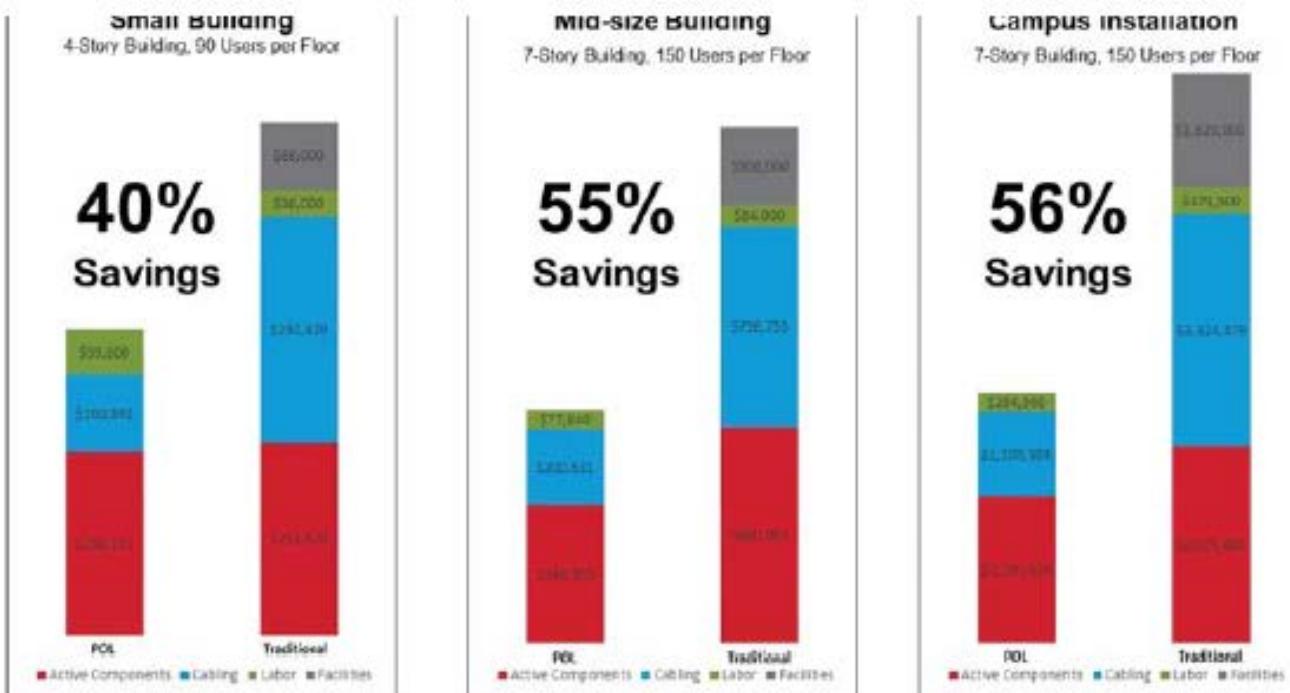


Fonte: Tellabs_White_Paper_Better experience to the cloud with Optical LAN @ apolanglobal.org

LAN – BACKBONE PON

CABLING INSTALLATION & MAINTENANCE

@ Sept. 8th, 2020



Please note that all costs are representative estimates only and not quotes or guarantees. Actual costs will vary based on numerous factors.

Enterprise network traffic patterns

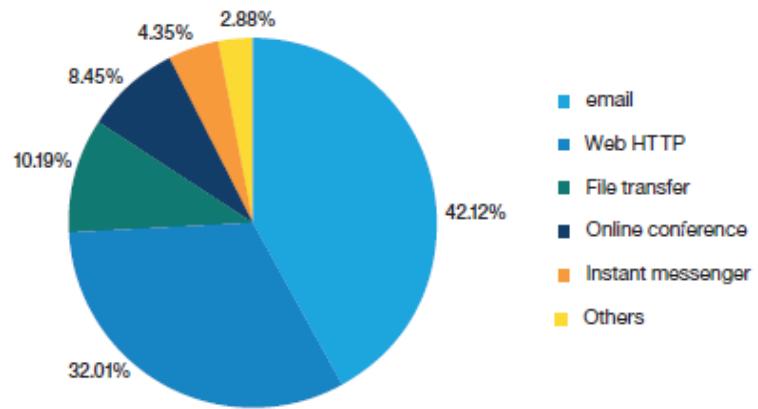


Figure 1: Bandwidth Consumption of Enterprise Applications

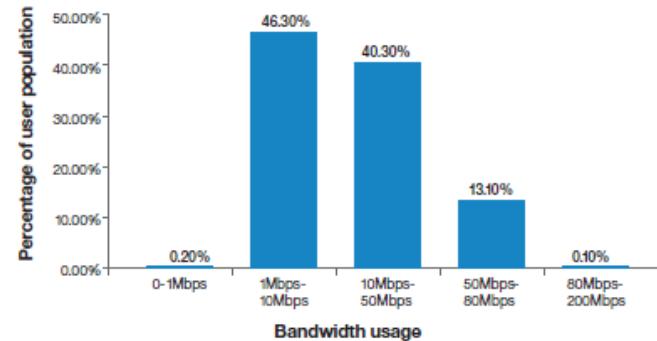


Figure 2: Peak Bandwidth Usage by Individual User

| Application | Configuration | Bandwidth utilization |
|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| VoIP phone | 64 Kbps setup | ~ 100 Kbps |
| Video surveillance | High Definition MPEG4 | ~ 6 Mbps |
| Email | 2 minutes refreshing | 50 ~ 500 Kbps |
| Web Browsing | Non-video Web sites | 50 ~ 300 Kbps |
| Video conference | 720p | ~ 2 Mbps |
| Online video | 720p | ~ 2 Mbps |
| Cloud access | Data storage, enterprise application | 50 ~ 200 Kbps |
| Virtual desktop (VDI) | 1080p full screen display | 500 Kbps ~ 2 Mbps |

LAN – BACKBONE PON



■ Vídeo Tellabs

- <https://www.tellabs.com/videos/tellabs-optical-lan-overview/>

IEEE 802.3bv (1000BASE-H)

IEEE Standard for Ethernet Amendment 9: Physical Layer Specifications and Management Parameters for **1000 Mb/s Operation Over Plastic Optical Fiber**” (2017)

- **1000BASE-RHA:** 1000 Mb/s using 1000BASE-H encoding over duplex plastic optical fiber cable and red light (approximately 650 nm) wavelength transmission tailored for home network and other consumer applications
- **1000BASE-RHB:** 1000 Mb/s using 1000BASE-H encoding over duplex plastic optical fiber cable and red light (approximately 650 nm) wavelength transmission tailored for industrial applications
- **1000BASE-RHC:** 1000 Mb/s using 1000BASE-H encoding over duplex plastic optical fiber cable and red light (approximately 650 nm) wavelength transmission tailored for automotive applications

■ Goals and Objectives for 1000 Mb/s over POF operation:

- Preserve the IEEE 802.3/Ethernet frame format utilizing the IEEE 802.3 MAC
- Preserve minimum and maximum frame size of the current IEEE 802.3 standard
- Support full duplex operation only
- Support a data rate of **1000 Mb/s at the MAC/PLS service interface**
- For the automotive environment:
 - Specify operation over **at least 15m** of POF with 4 POF connections
 - Specify operation over **at least 40m** of POF with no POF connections
- For the **home and industrial environment** specify operation over **at least 50m** of POF with 1 POF connection
- Maintain a bit error ratio (**BER**) **better than or equal to 10^{-12}** at the MC/PLS service interface
- Specify optional Energy-Efficient Ethernet for 1000 Mb/s over POF

REFERÊNCIAS



www.iec.org

www.bicsi.org

www.iso.org

www.apolanglobal.org

www.tellabs.com

www.grupopolicom.com.br

www.furokawa.com

www.unitera.com.br

www.blog.siemon.com/standards/

REDES LOCAIS IEEE 802.3



Ethernet

Fast Ethernet

Gigabit Ethernet (GbE)

10 Gigabit Ethernet (10GbE)

100 Gigabit Ethernet (100GbE)

400 Gigabit Ethernet (400GbE)

O QUE É ETHERNET?

Ethernet Tradicional = **IEEE 802.3**

- Fast Ethernet (IEEE 802.3u)
- Gigabit Ethernet (IEEE 802.3z)
- 10 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ae)
- 40/100 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ba)
- 200/400 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3bs)
-

Outros usos do nome Ethernet

- *Ethernet Over SONET* (EOS, ANSI/ISO)
- Transporte “Ethernet”
- Serviços “Ethernet”WFG/RAV/Introdução

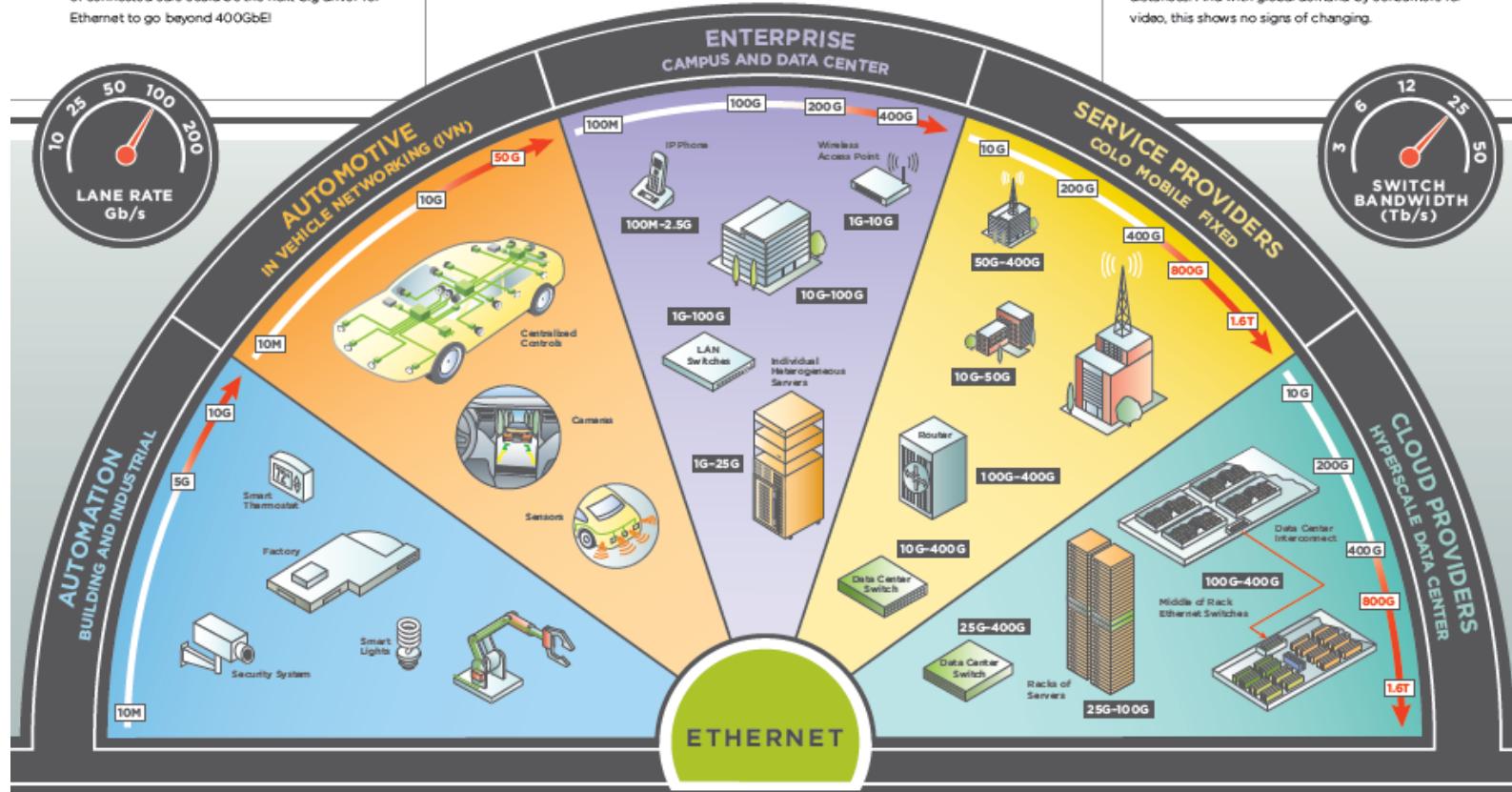
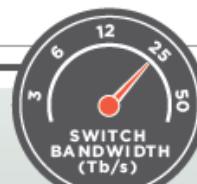
ETHERNET APPLICATIONS

AUTOMOTIVE Ethernet is one of Ethernet's latest success stories. Forecasts predict up to 500 million ports of Ethernet will ship in over 100M vehicles by 2021. Ethernet links within cars provide data and power to reduce the cost and weight in vehicles while providing economies of scale and interoperability. The bandwidth demand of connected cars could be the next big driver for Ethernet to go beyond 40GbE!



ENTERPRISE and Campus applications drive the bulk of Ethernet port shipments with hundreds of millions of ports shipping per year. Ethernet's roots are in enterprise local area net works (LANs) where the entire Ethernet family, including the BASE-T products, can be found. LANs are rich in copper where over 70 Billion meters of cable have been deployed over the past 15 years. Enterprise data centers are very cost sensitive and most servers deploy GbE and 10GbE, and are expected to transition to 25GbE.

SERVICE PROVIDERS have driven higher speed Ethernet solutions for decades. Router connections, EPON, client side optics for optical transport network (OTN) equipment, and wired and wireless backhaul. In particular, the 5G mobile deployment is driving dramatic increases in both fronthaul and backhaul applications, and continues to push Ethernet to higher rates and longer distances. And with global demand by consumers for video, this shows no signs of changing.

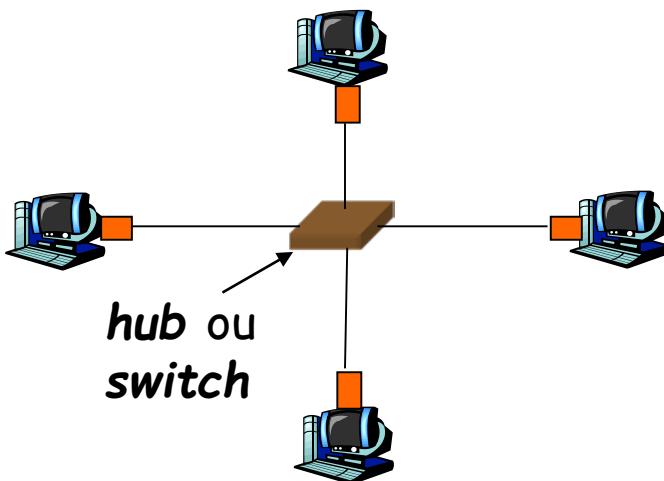


AUTOMATION, BUILDING, AND INDUSTRIAL applications highlight the need for lower speed Ethernet solutions in harsh environments. Today this space is leveraging BASE-T solutions from the enterprise space. The Ethernet community defined the IEEE 802.3cg standard for 10Mb/s operation plus power delivery over a single twisted pair. This will consolidate a landscape of multiple legacy protocols, driving the promise of Ethernet's multi-level interoperability to new heights.

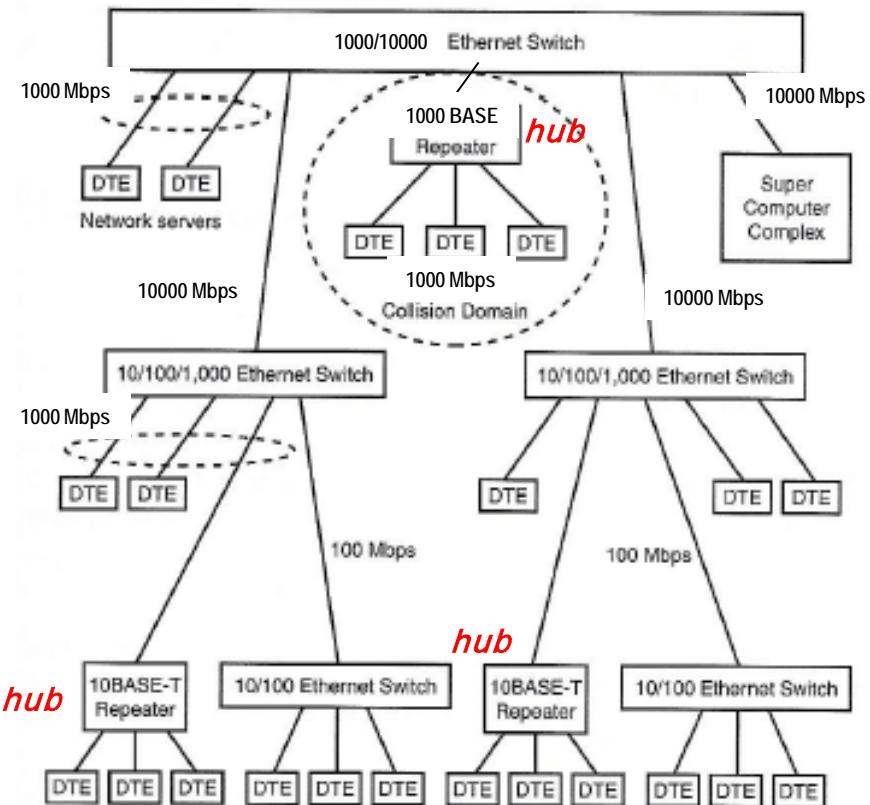
CLOUD PROVIDERS were the first to adopt 10GbE servers on a large scale in 2010 for hyperscale data centers. With voracious appetites for applications like AI and Machine Learning, hyperscale servers have moved to 25GbE, and are transitioning to 50GbE and beyond. Unique networking architectures within these warehouse scale data centers have driven multiple multimode and single-mode fiber solutions at 100, 200 and 400 GbE. The bandwidth demands of hyperscale data centers and service providers continue to grow exponentially and in a similar direction that blurs the lines between the two.

TOPOLOGIAS

ESTRELA



ÁRVORE HIERÁRQUICA



PROTOCOLOS DE ACESSO



- « ETHER » ⇒ **MEIO COMPARTILHADO**
 - *broadcast* (difusão)
- **CONTROLE DE ACESSO AO MEIO**
 - acesso **aleatório** com contenção
 - acesso **determinístico**
 - *full-duplex* ponto-a-ponto

PROTOCOLOS DE CONTROLE DE ACESSO ALEATÓRIO



Acesso aleatório

- Quando uma estação tem quadros para transmitir
 - transmite utilizando toda a banda do canal
 - nenhuma coordenação entre *a priori* entre os nós

Problema

- Dois ou mais nós transmitindo = **colisão**

Protocolo MAC especifica:

- como detectar colisões
- como recuperar após a ocorrência de colisões (e.g., aguardar um tempo antes de retransmissões)

EXEMPLOS DE PROTOCOLOS DE ACESSO ALEATÓRIO

■ ALOHA

- ALOHA puro
- *slotted* ALOHA

■ CSMA

- CSMA/CD
- CSMA/CA

ALOHA

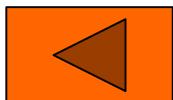
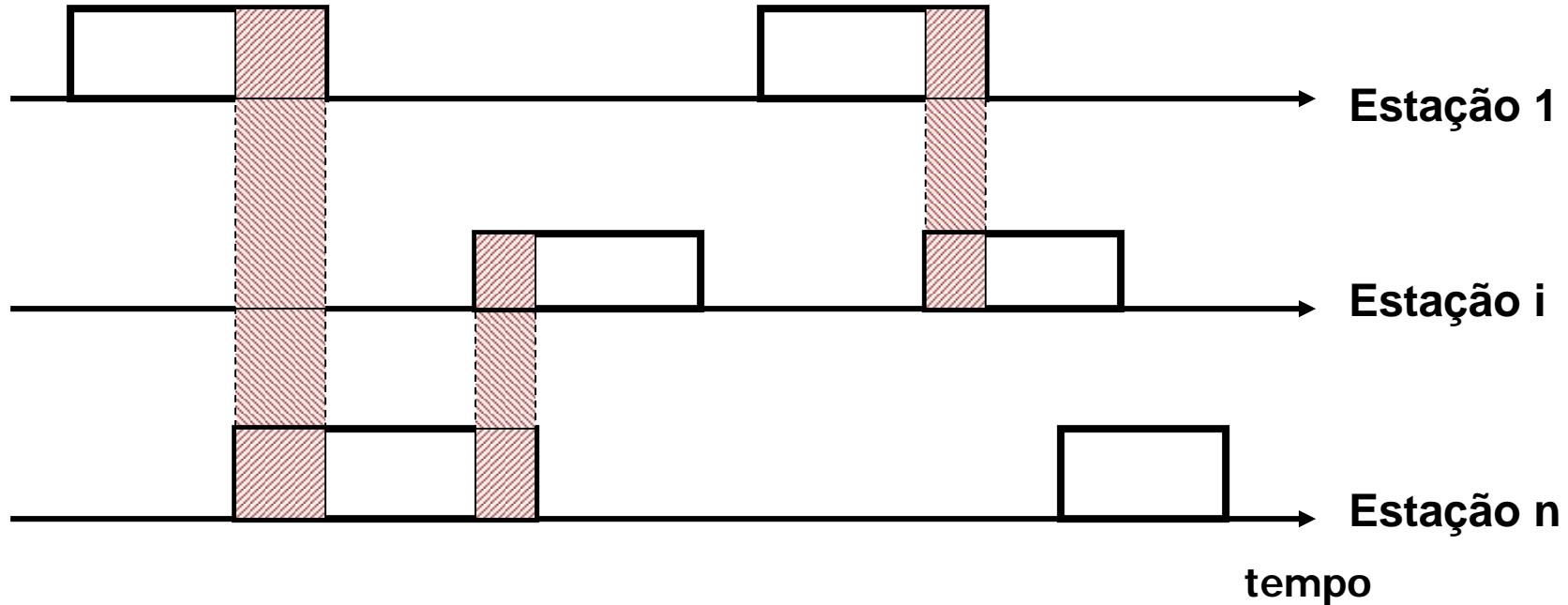


REDE ALOHA

- Universidade de Hawaii, 1970
- rede de difusão de pacotes por rádio
- acesso aleatório + contenção
 - (conflitos/colisões)
- desempenho

ALOHA puro

■ colisões



CSMA

■ CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*)

- difusão (*broadcast*) em barramento físico

$$t_p \leq I_m$$

- princípio

- escutar-a-linha-antes-de transmitir

■ Colisões

- ainda podem ocorrer

- alguns nós podem não escutar a transmissão de outro nó por causa do atraso de propagação

COLISÕES COM CSMA

COLISÕES ainda podem ocorrer:

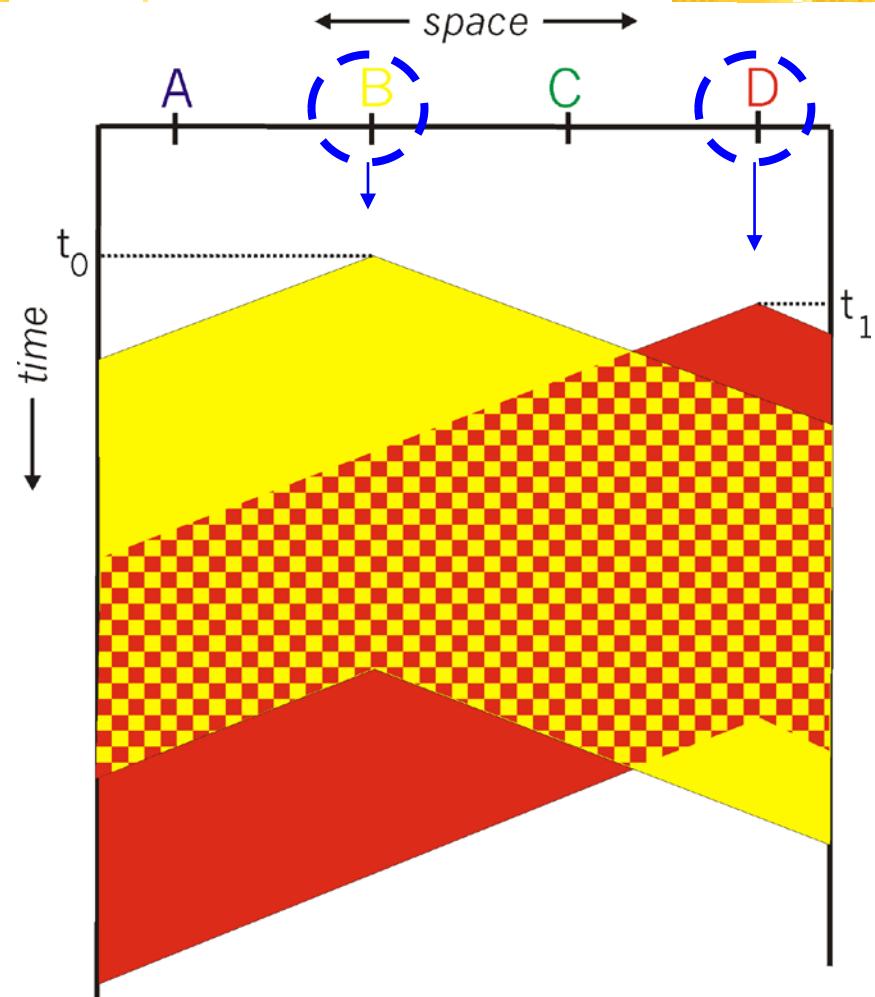
- a **distância** (atraso de propagação) determina a **probabilidade de colisão**

EFEITO DA COLISÃO

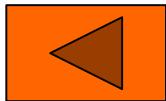
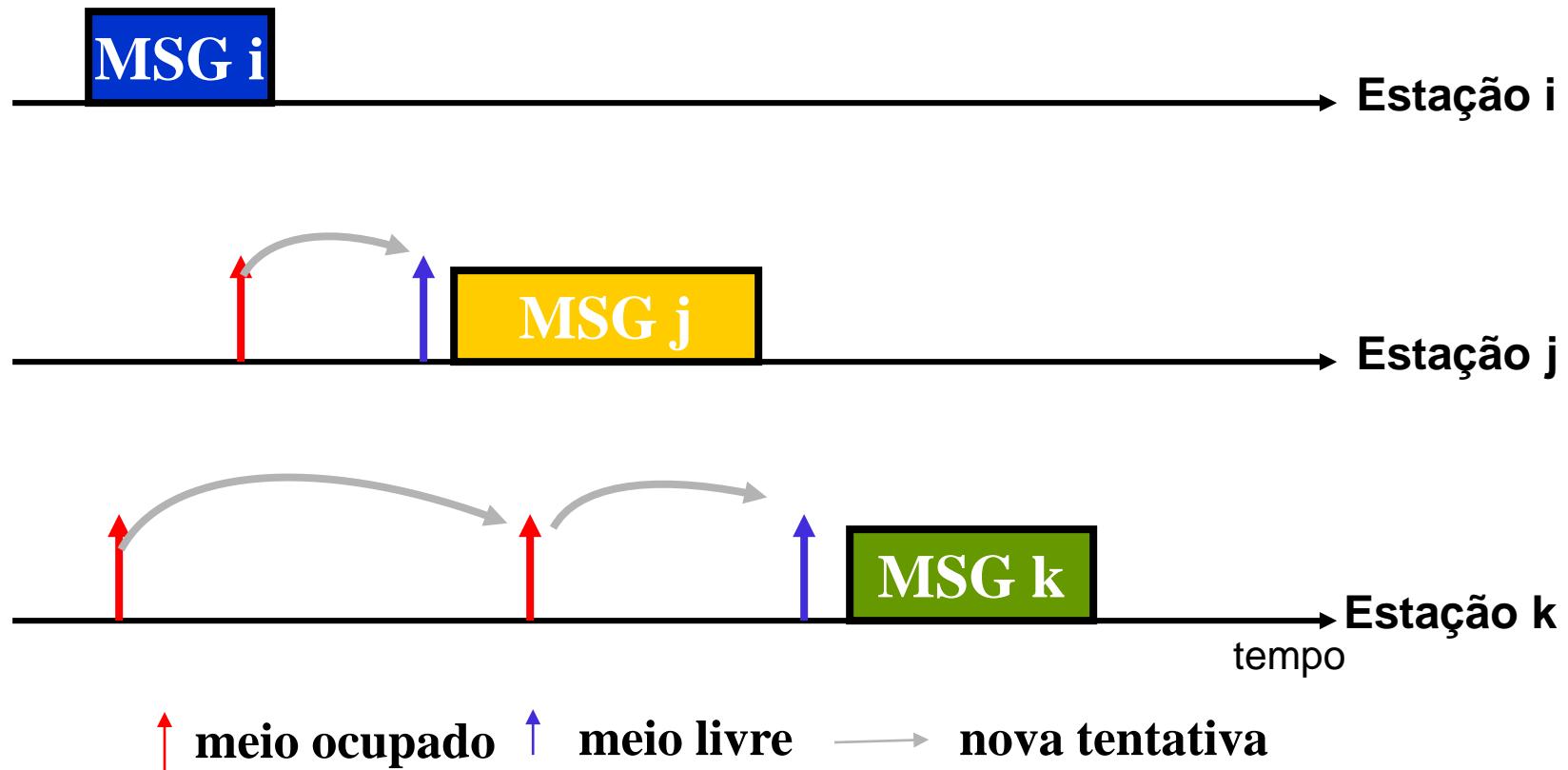
- todo o **tempo** de transmissão do quadro é **desperdiçado**

APÓS A COLISÃO

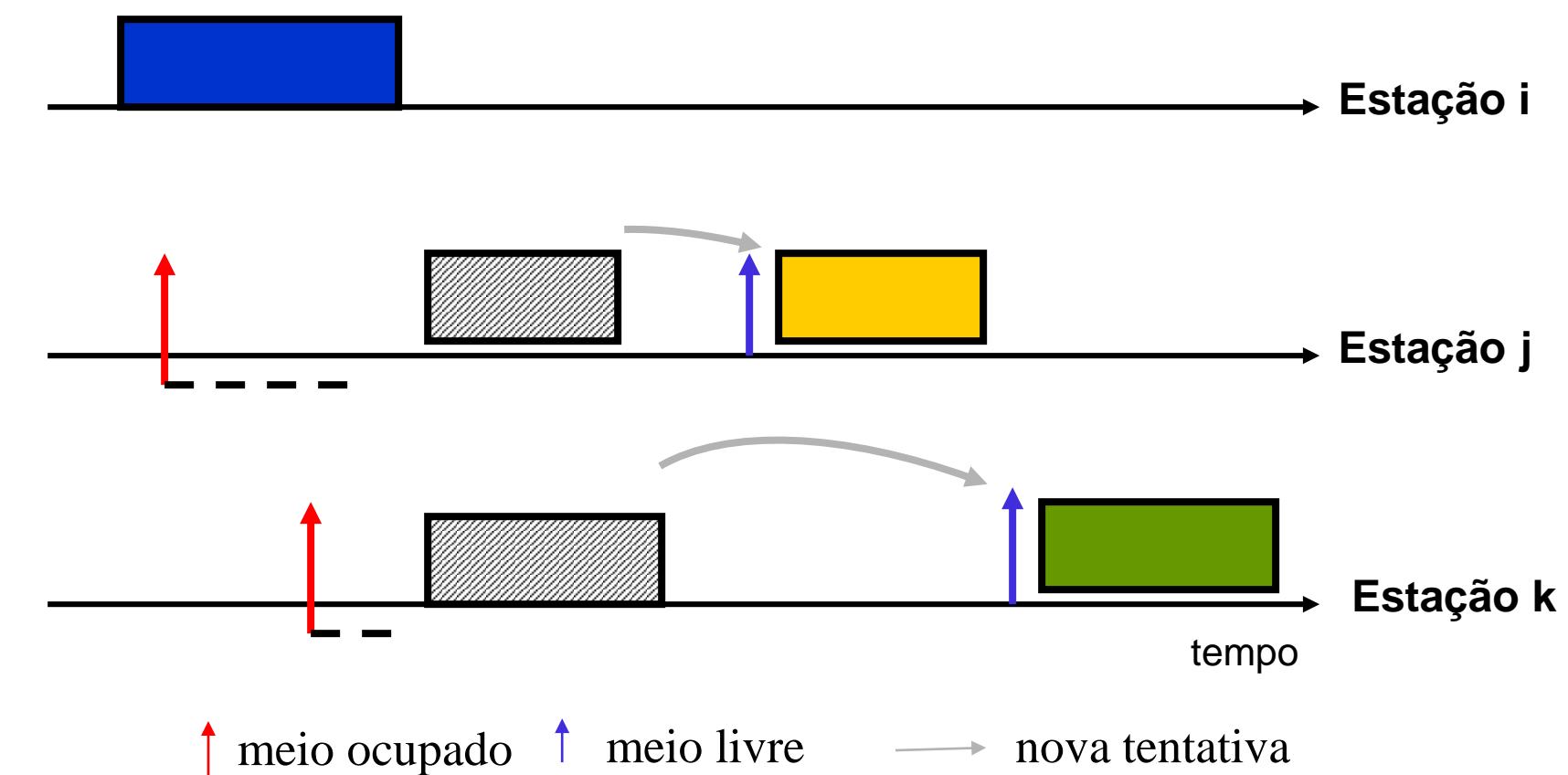
- algoritmos
 - não persistente
 - 1-persistente



ALGORITMO NÃO PERSISTENTE



ALGORITMO 1 - PERSISTENTE



CSMA-CD

PRINCÍPIOS

I acesso aleatório

- I MAS escutar-a-linha-antes-de transmitir
- I E TAMBÉM escutar-durante-a-transmissão

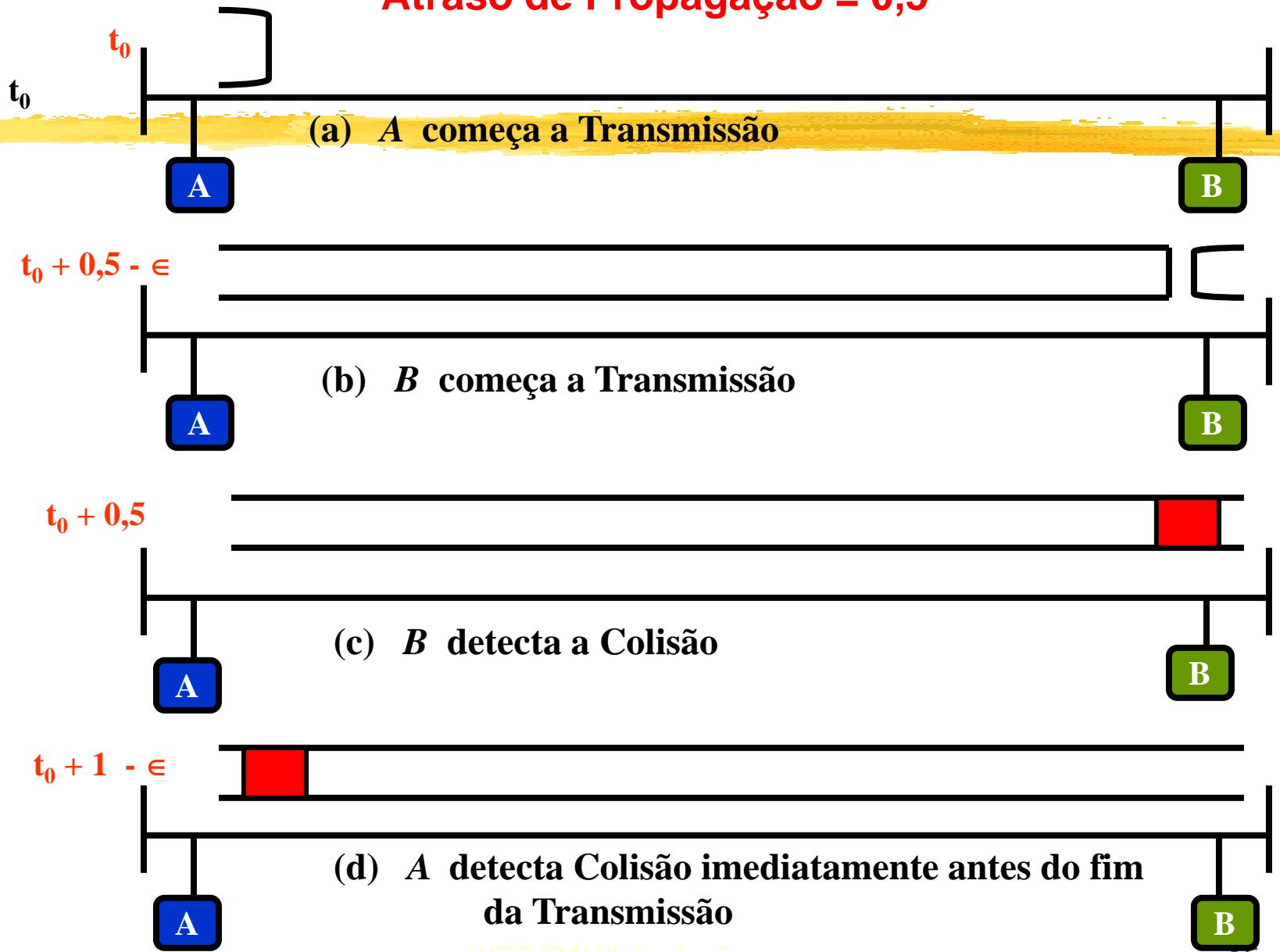
I colisões

I detecção

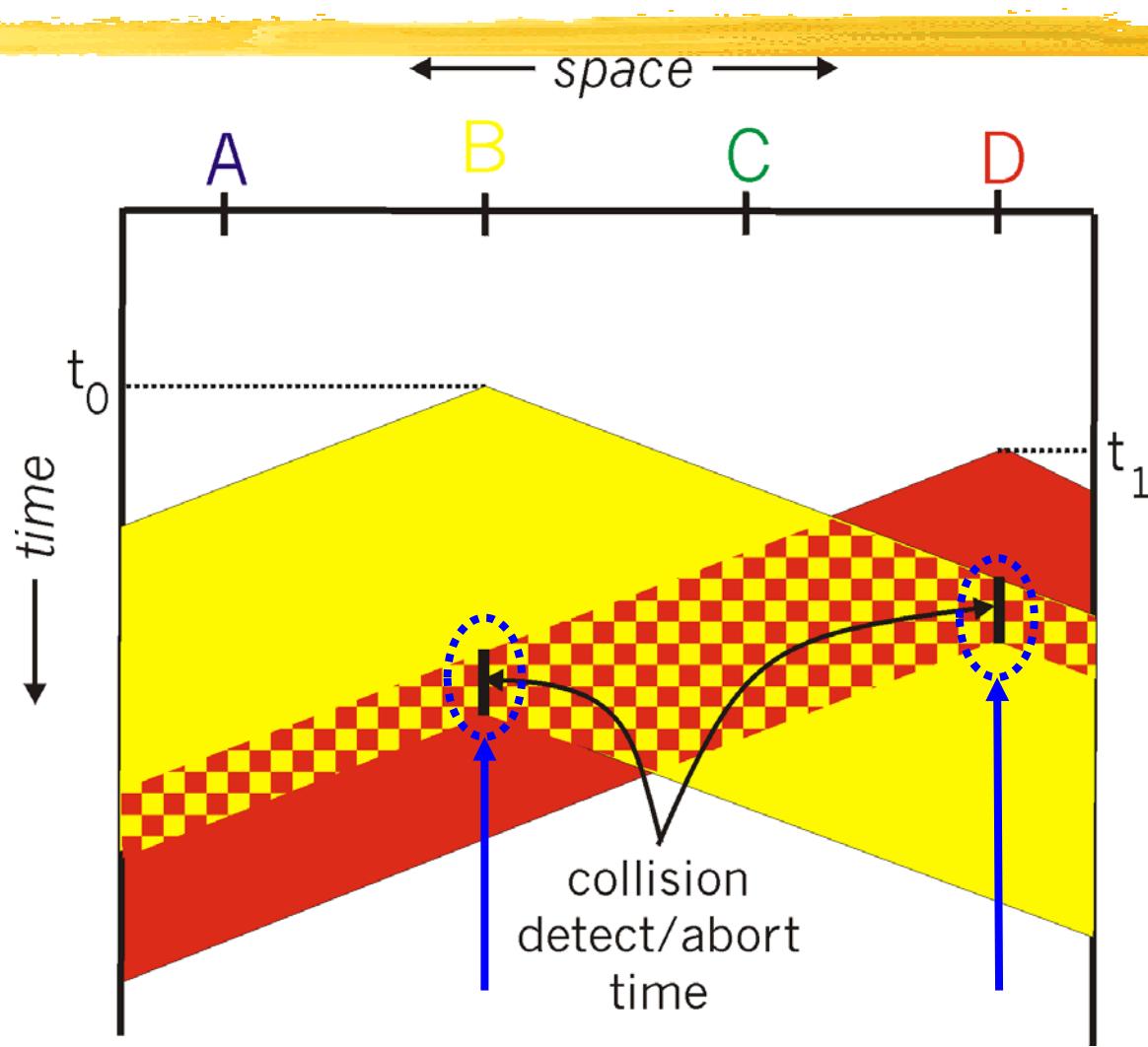
- **aborto** da transmissão
- envio de sequência de **reforço-de-colisão** (*jamming*)

I espera de tempo aleatório antes de tentar novamente

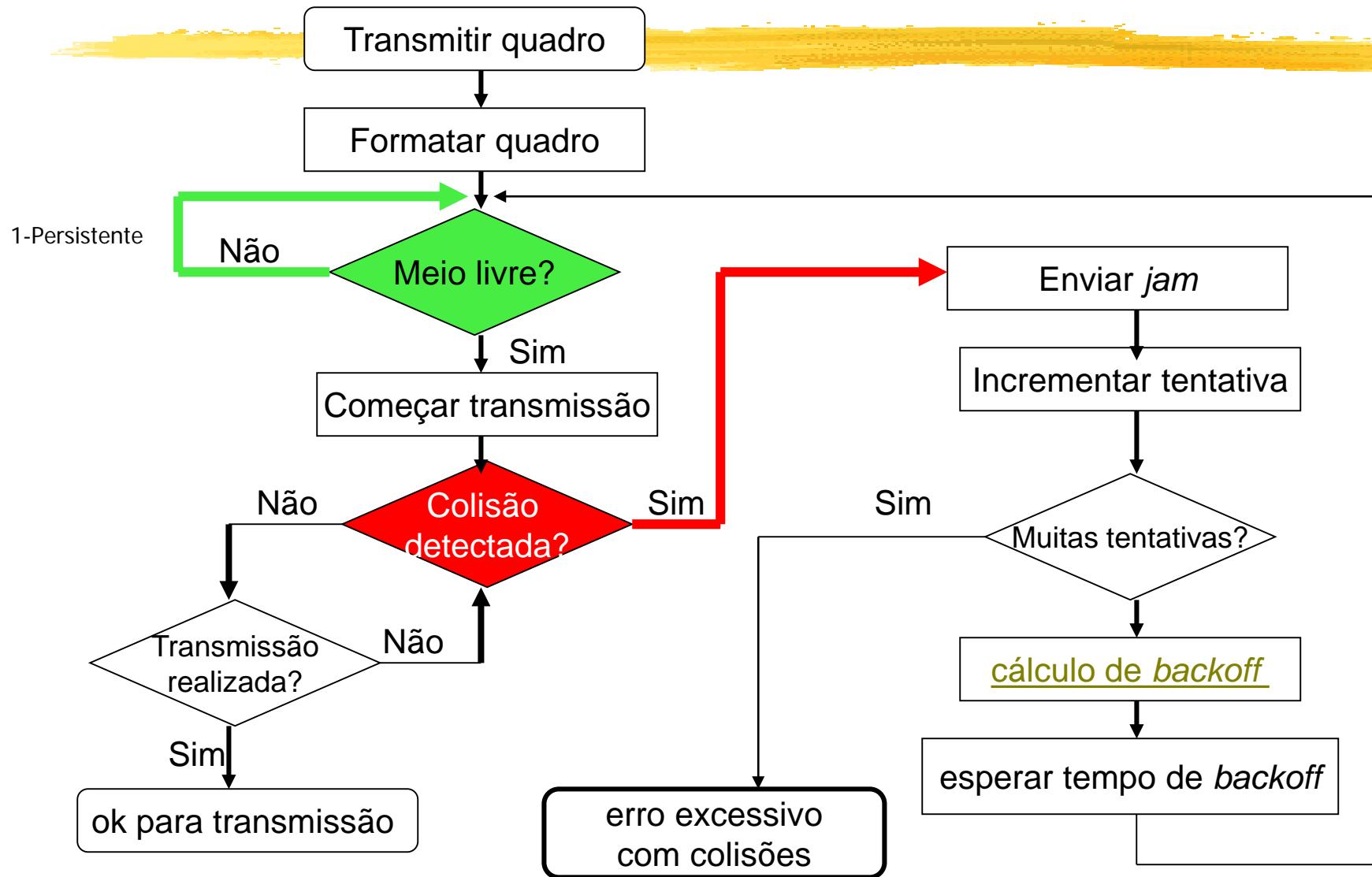
Tempo de Transmissão = 1
Atraso de Propagação = 0,5



DETECÇÃO DE COLISÃO



ALGORITMO CSMA-CD



TRUNCATED BINARY EXPONENTIAL BACKOFF

■ ATRASO ALEATÓRIO NA RETRANSMISSÃO

$$r \times T$$

onde $T = slot\ time$

$$r \in [0, 2^k] \quad k = \min(n, 10)$$

$n \leq 16$ (número de tentativas)

TEMPO ELEMENTAR (*SLOT TIME*)

DEFINIÇÃO

limite superior do:

- tempo para **detectar uma colisão**
- tempo de **aquisição da linha**
- tamanho de **fragmento de quadro**

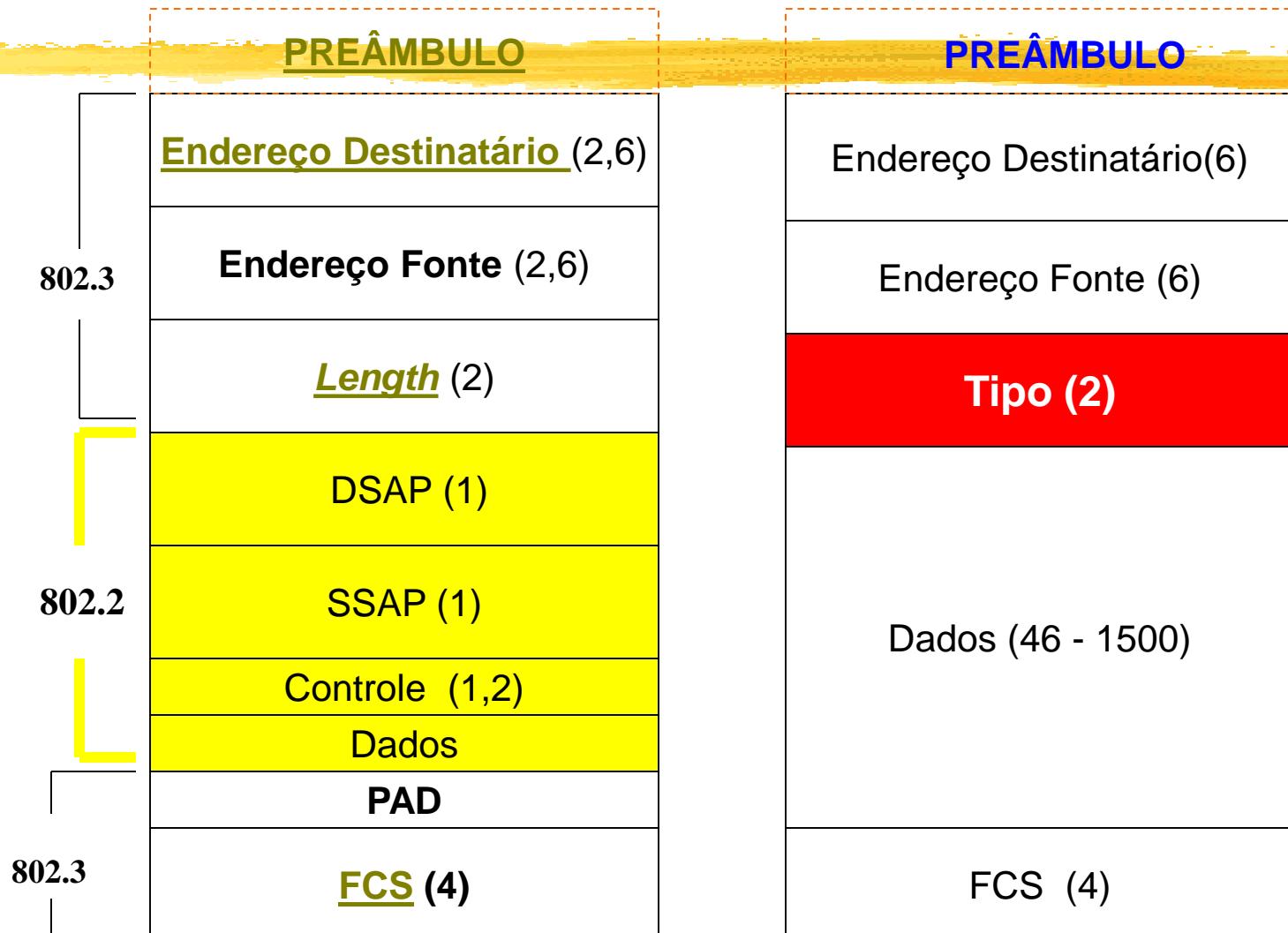
intervalo de tempo elementar

- algoritmo de retransmissão *Binary Exponential Backoff* (BEB)

VALOR PADRONIZADO

- 51,2 µs/**512 bits** (@ 10 Mbps)
- 5,12 µs/**512 bits** (@ 100 Mbps)

QUADRO MAC IEEE 802.3 X ETHERNET



IEEE 802.3 com 802.2

Ethernet

PREÂMBULO

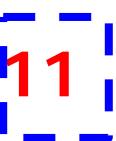
OBJETIVOS

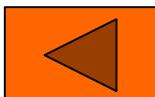
- detecção de portadora e sincronismo de bit

10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010

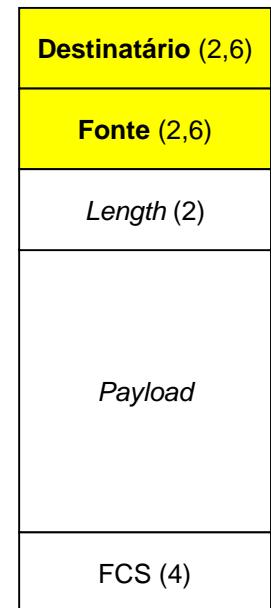
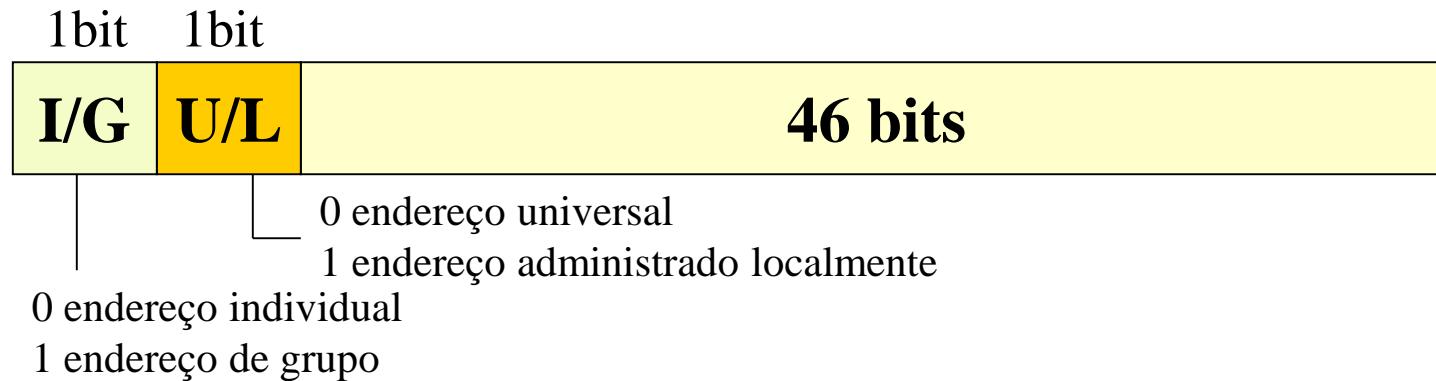
- sincronismo de *Byte*

- Símbolo específico (*start-of-frame delimiter*)

10101011




FORMATO DE ENDEREÇOS MAC



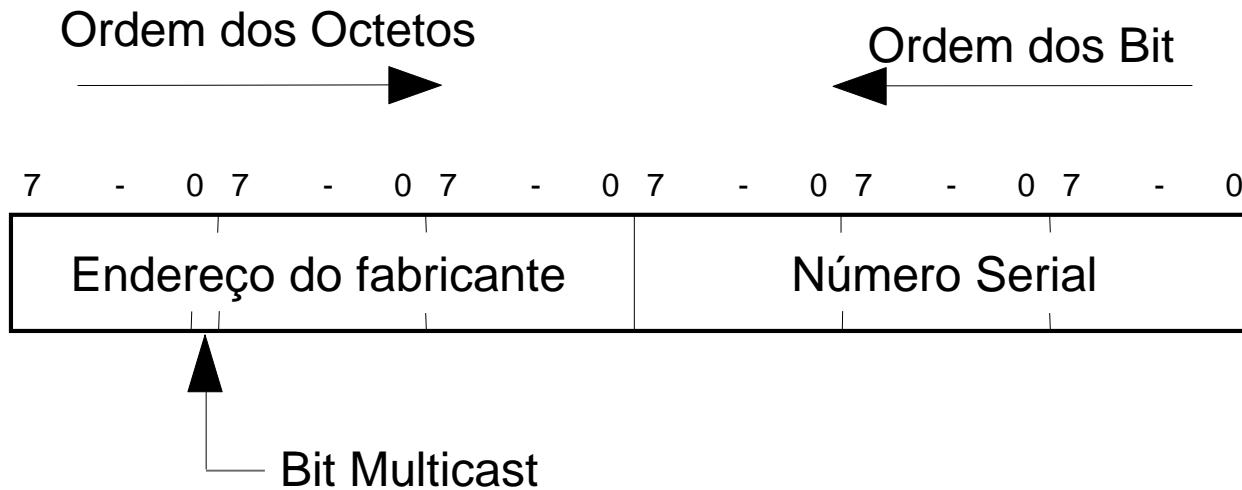
■ ENDEREÇO DE *BROADCAST*
■ tudo “1”

Endereço MAC

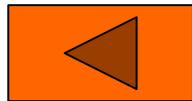
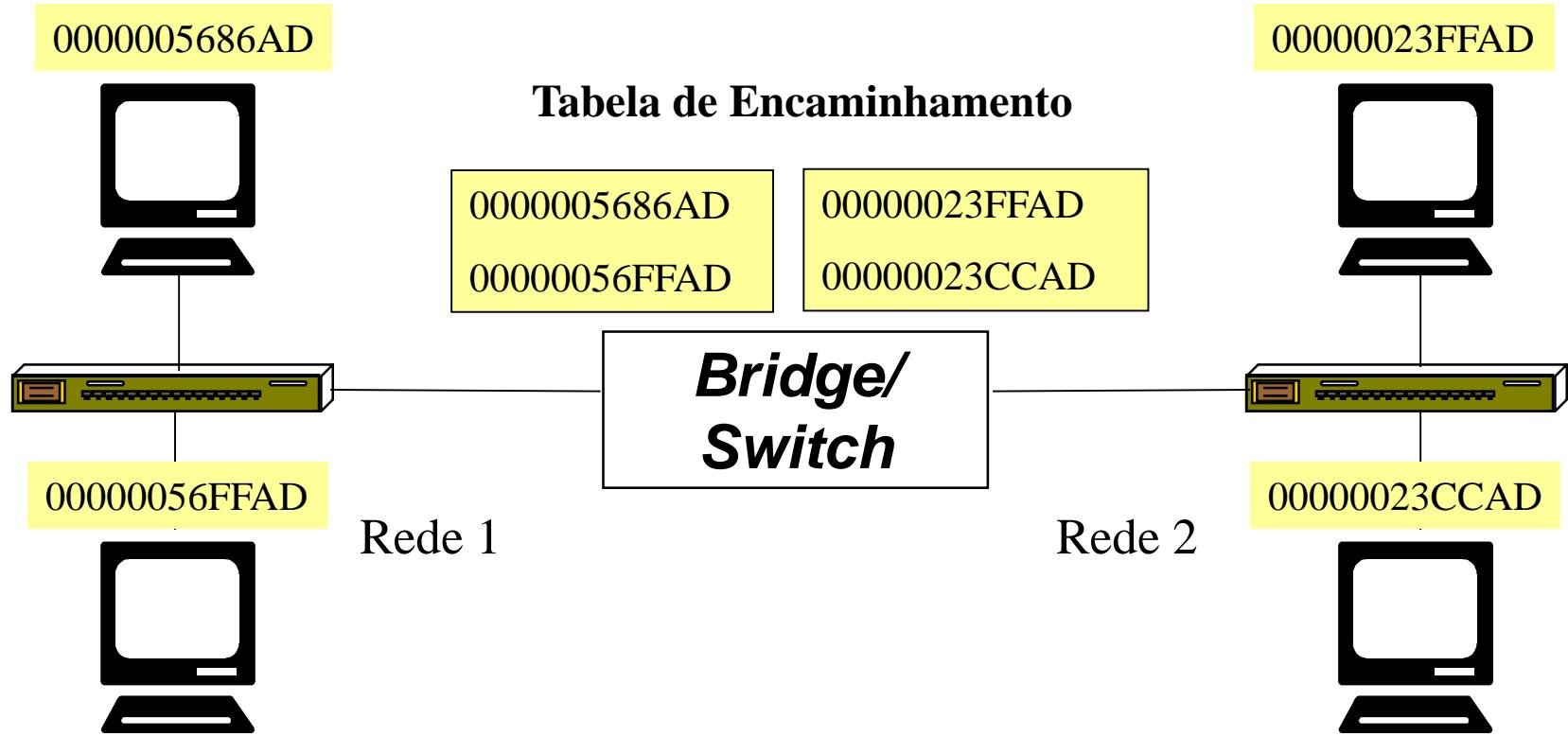
ENDEREÇO MAC

00-80-2C-00-19-20

- **Primeiros seis dígitos** (mais significativos) identificam o **fabricante**
- **Últimos seis dígitos** (menos significativos) são usados para o **número serial**.



ENDEREÇOS MAC

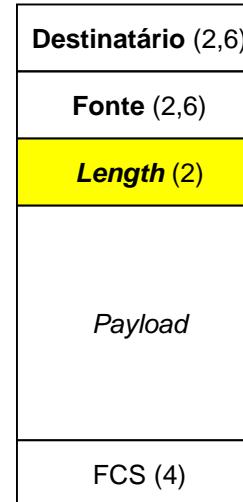


CAMPO "LENGTH / TYPE"

VALORES TÍPICOS

menor que 1500

⇒ LLC (@ IEEE 802.2)



maior que 1536 (06-00)

⇒ tipo de protocolo usando o quadro
(@ Ethernet)



TIPOS DE QUADRO ETHERNET

| EtherType | Protocol |
|-----------|---|
| 0x0800 | Internet Protocol, Version 4 (IPv4) |
| 0x0806 | Address Resolution Protocol (ARP) |
| 0x0842 | Wake-on-LAN Magic Packet, as used by ether-wake and Sleep Proxy Service |
| 0x1337 | SYN-3 heartbeat protocol (SYNdog) |
| 0x6003 | DECnet Phase IV |
| 0x8035 | Reverse Address Resolution Protocol (RARP) |
| 0x809B | AppleTalk (Ethernetwork) |
| 0x80F3 | AppleTalk Address Resolution Protocol (AARP) |
| 0x8100 | VLAN-tagged frame (IEEE 802.1Q) |
| 0x8137 | Novell IPX (alt) |
| 0x8138 | Novell |
| 0x86DD | Internet Protocol, Version 6 (IPv6) |
| 0x8808 | MAC Control |
| 0x8809 | Slow Protocols (IEEE 802.3) |
| 0x8819 | CobraNet |
| 0x8847 | MPLS unicast |
| 0x8848 | MPLS multicast |
| 0x8863 | PPPoE Discovery Stage |
| 0x8864 | PPPoE Session Stage |
| 0x886F | Microsoft NLB heartbeat <small>[3]</small> |
| 0x8870 | Jumbo Frames |

→ IP

→ VLAN-Tagged

→ MAC Control

IP

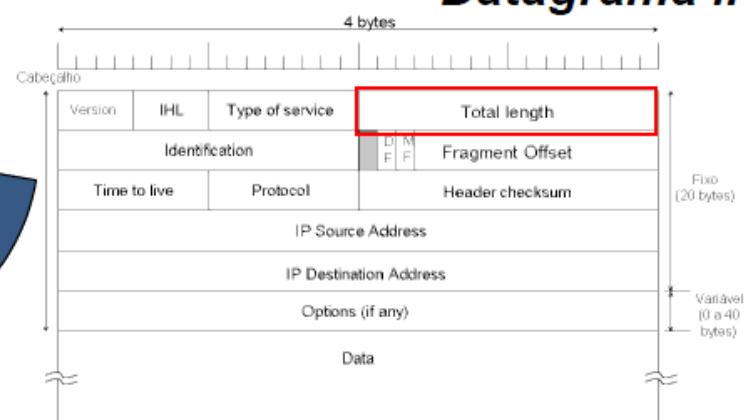
Quadro IP – Type = 0800



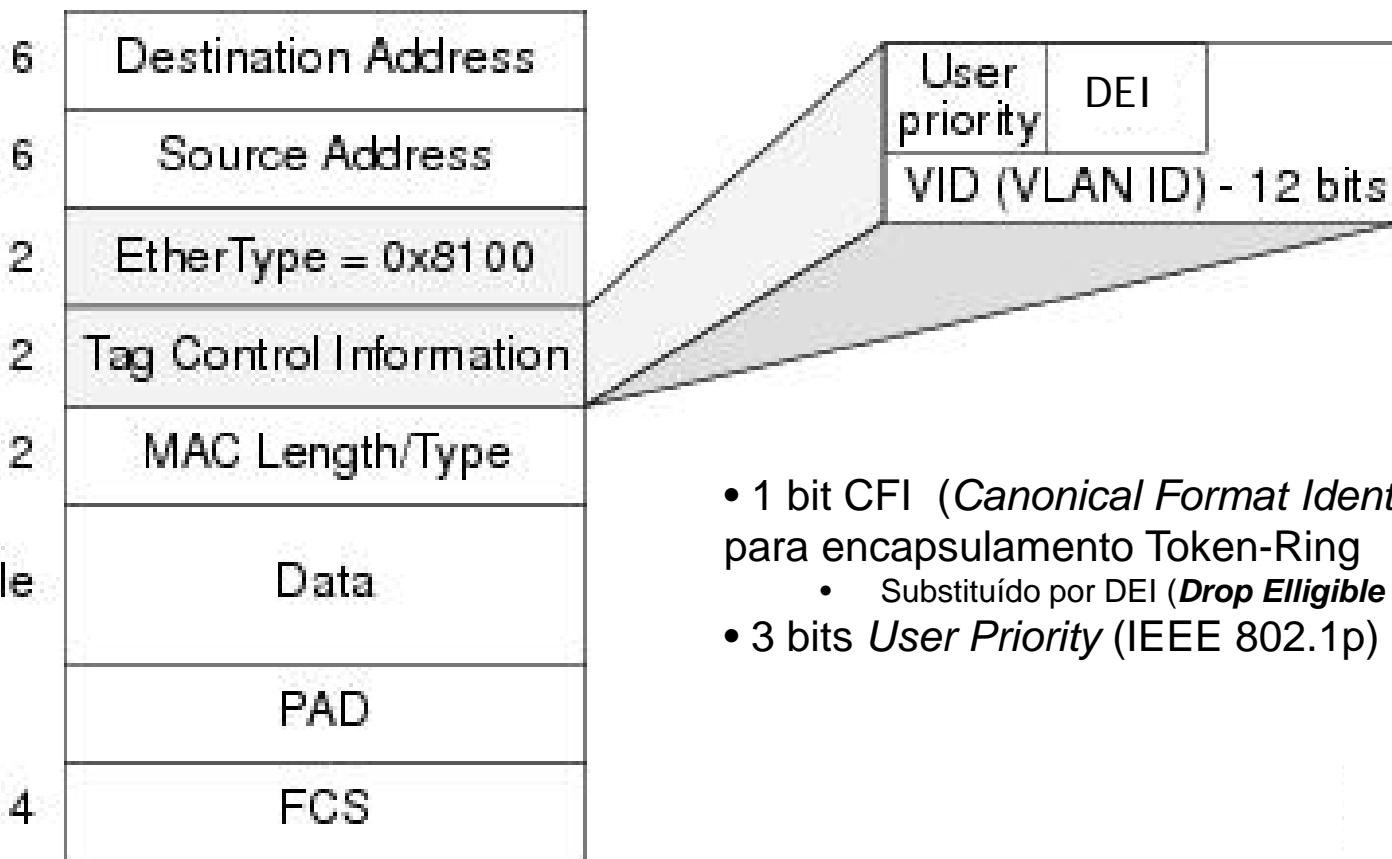
Type = 0800



Datagrama IP

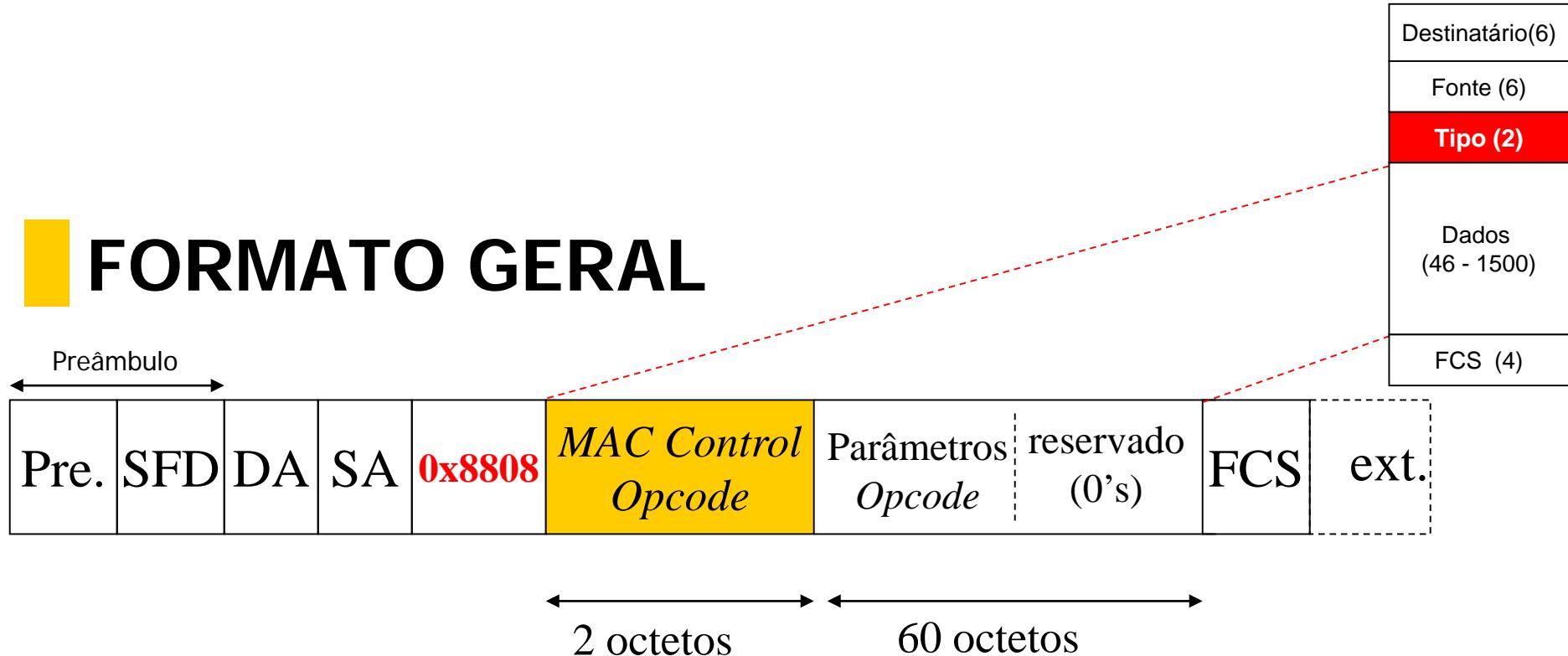


QUADRO MAC VLAN (IEEE 802.1Q)



QUADRO MAC DE CONTROLE

FORMATO GERAL



EXEMPLO

- Quadro Pause (OpCode 0001)

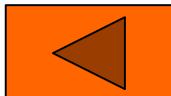
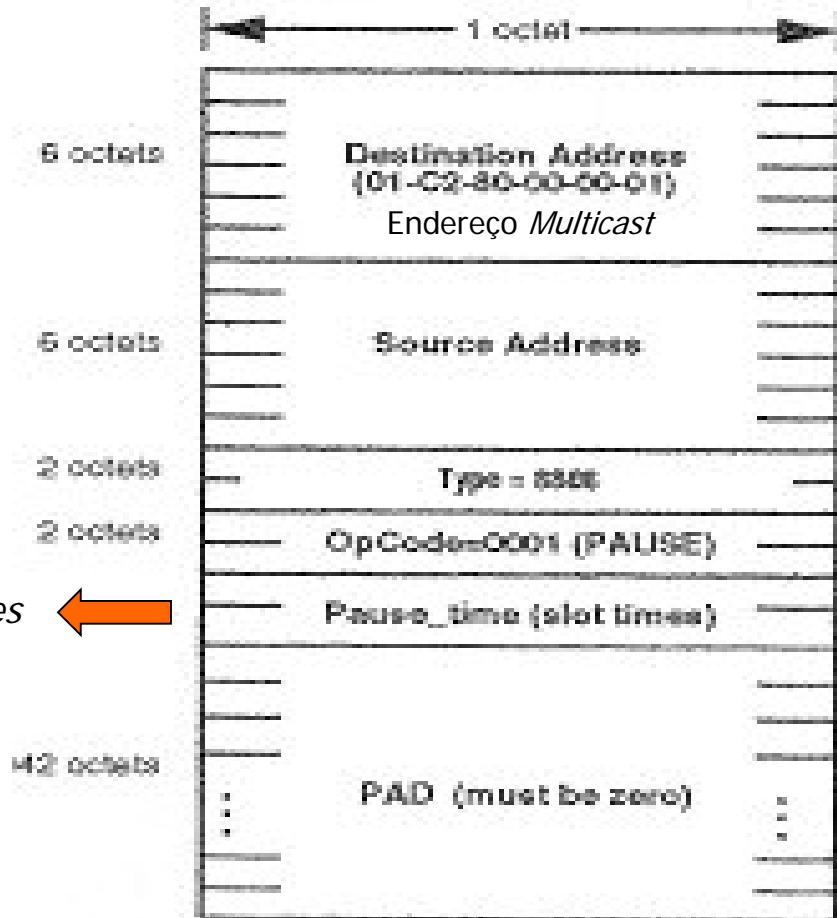
QUADRO PAUSE

CONTROLE DE FLUXO IEEE 802.3x

quadro *PAUSE*

Somente estações configuradas para operação *full-duplex* podem enviar quadros PAUSE

0 a $65535 \times \text{Slot Times}$



FCS

■ FCS (*Frame Check Sequence*)

$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

CAMADA FÍSICA IEEE 802.3

■ SUB-CAMADA PLS (*Physical Signalling*)

- codificação em banda básica Manchester
- temporização dos sinais (relógios, etc)

■ MAU (*Medium Attachment Unit*)

- emissão e recepção de sinais no suporte físico
- carrier sense
 - detecção da presença de sinal no suporte

SUPORTES DE TRANSMISSÃO IEEE 802.3

<*taxa* em Mbps>

<*baseband/broadband*>

<segmento max 100's m / *Twisted ou Fiber*)>

- | *10Base5, 10Base2, 10Broad36, 10BaseT, 10BaseF*
- | *100BaseTX, 100BaseFX, 100BaseT4*
- | *1000BaseSX, 1000BaseLX, 1000BaseT*
- | *10GBase-xx,*
- | *100GBase-xx,....*

ETHERNET 10BASE2/10BASE5

Equipamento Ethernet mais antigo (no sentido horário a partir do canto superior esquerdo na Figura ao lado):

- Um transceptor Ethernet com um adaptador 10BASE2 em linha;
- um transceptor de modelo semelhante com um adaptador 10BASE5;
- um cabo AUI;
- um estilo diferente de transceptor com conector T 10BASE2 BNC;
- dois terminais 10BASE5 (conectores N);
- uma ferramenta de instalação laranja "vampire tap" (que inclui uma broca especializada em uma extremidade e uma chave de caixa na outra);
- um transceptor modelo 10BASE5 (h4000) fabricado pela DEC;
- o cabo 10BASE5 amarelo curto tem uma extremidade equipada com um conector N e a outra extremidade preparada para ter um invólucro do conector N instalado;
- o objeto retangular metade preto, metade cinza através do qual o cabo passa é uma torneira "vampira" instalada.



VAMPIRE TAP

■ 10BASE5 vampire tap Unidade de acessório médio (transceptor)



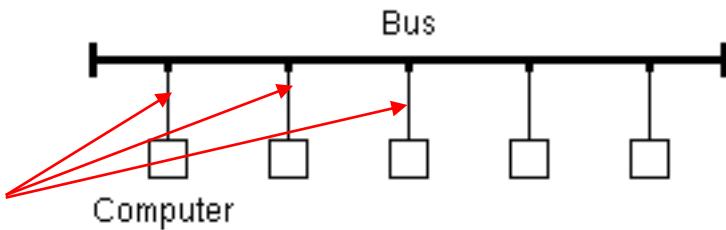
■ Torneira de vampiro desmontada. O pico isolado com ponta de metal central contata o núcleo do cabo; pontas menores contatam a blindagem do cabo. Observe a marca preta na capa do cabo indicando o local adequado para o transceptor.



Fonte: pt.qaz.wiki/wiki/Ethernet

ATTACHMENT UNIT INTERFACE (AUI)

Attachment Unit Interface (AUI)
(até 50m)



| Pinagem AUI | | |
|-------------|-------|---|
| Alfinete | Sinal | Descrição |
| 1 | DO-A | Circuito de saída de dados A |
| 8 | | |
| 9 | DO-B | Circuito de saída de dados B |
| 15 | | |
| 11 | DO-S | Proteção do circuito de saída de dados (não usado) |
| 5 | DI-A | Dados no circuito A |
| 12 | DI-B | Dados no circuito B |
| 4 | DI-S | Proteção de dados no circuito |
| 7 | CO-A | Circuito de saída de controle A (não usado) |
| 15 | CO-B | Circuito de saída de controle B (não usado) |
| 8 | CO-S | Proteção do circuito de saída de controle (não usado) |
| 2 | CI-A | Controle no circuito A |
| 9 | CI-B | Controle no circuito B |
| 1 | CI-S | Proteção no circuito de controle |
| 6 | VC | Tensão Comum (0 V) |
| 13 | VP | Tensão Plus (+12 V) |
| 14 | VS | Blindagem de Tensão (não usada) |
| Casca | PG | Terra Protetora |

IMPLEMENTAÇÃO A 10 MBPS

PARÂMETROS

slotTime

VALORES

51,2 µs (@ 512 bits)

interFrameGap

9,6 µs

attemptLimit

16

backoffLimit

10

jamSize

32 bits

maxFrameSize

1518 octetos

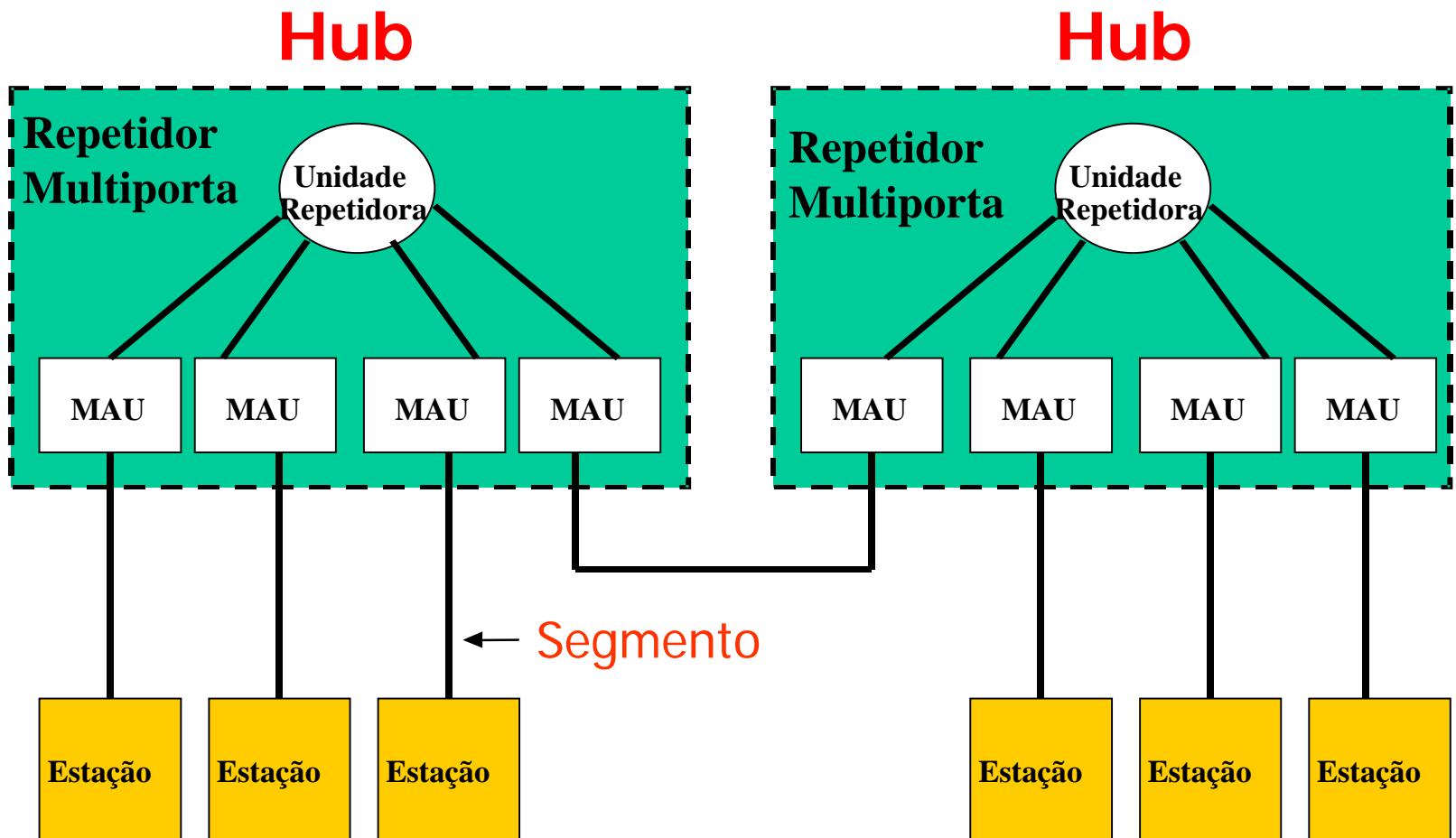
minFrameSize

512 bits (64 octetos)

addressSize

48 bits

CONFIGURAÇÃO 10 BASE T



CARACTERÍSTICAS 10 BASE T

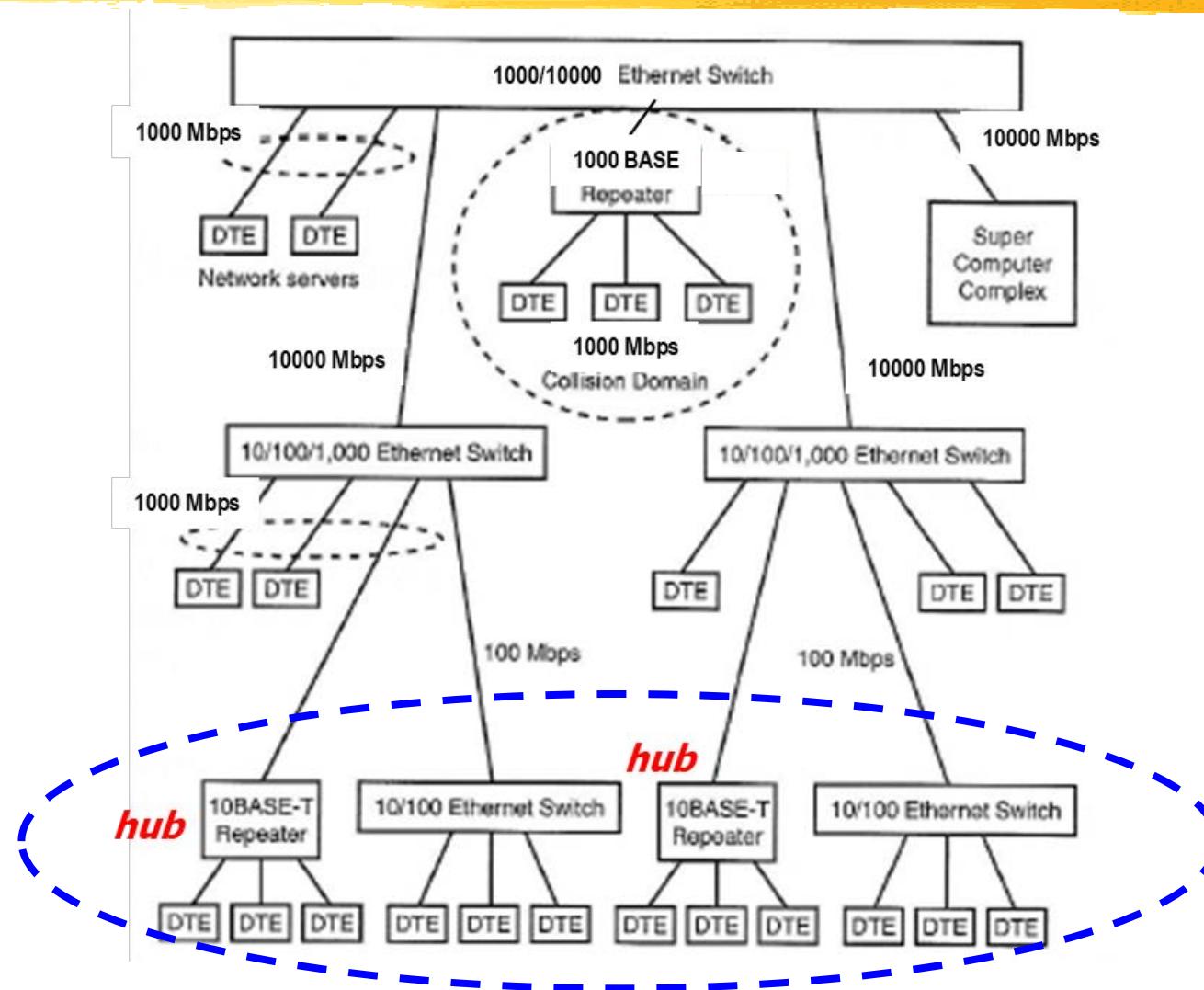
| | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| Tipo de Cabo | Par trançado ($85-110 \Omega$) |
| Codificação | Banda básica(Manchester) |
| Taxa de transmissão | 10 Mbps |
| Comprimento máx de segmento | 100 m |
| Compr. máx de rede (c/ repetidores) | 2500 m |
| Conexões por segmento | 1 |
| Bitola do Cabo | 24 AWG |
| Tipo de Conector | RJ 45 (8 pinos) |
| Topologia | estrela |
| Nº máx de estações por rede | 1024 |

REDES LOCAIS IEEE 802.3u

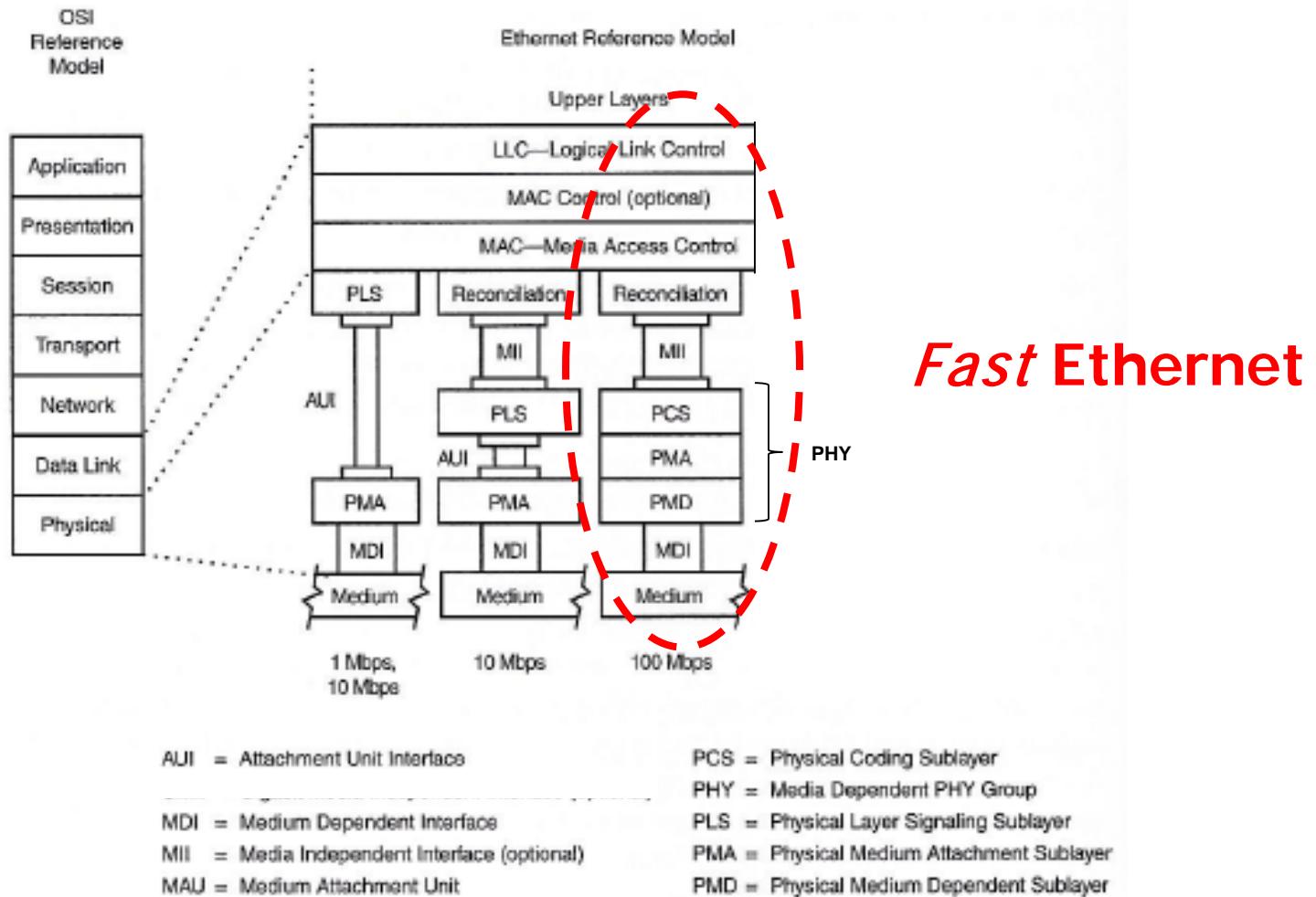


Fast Ethernet

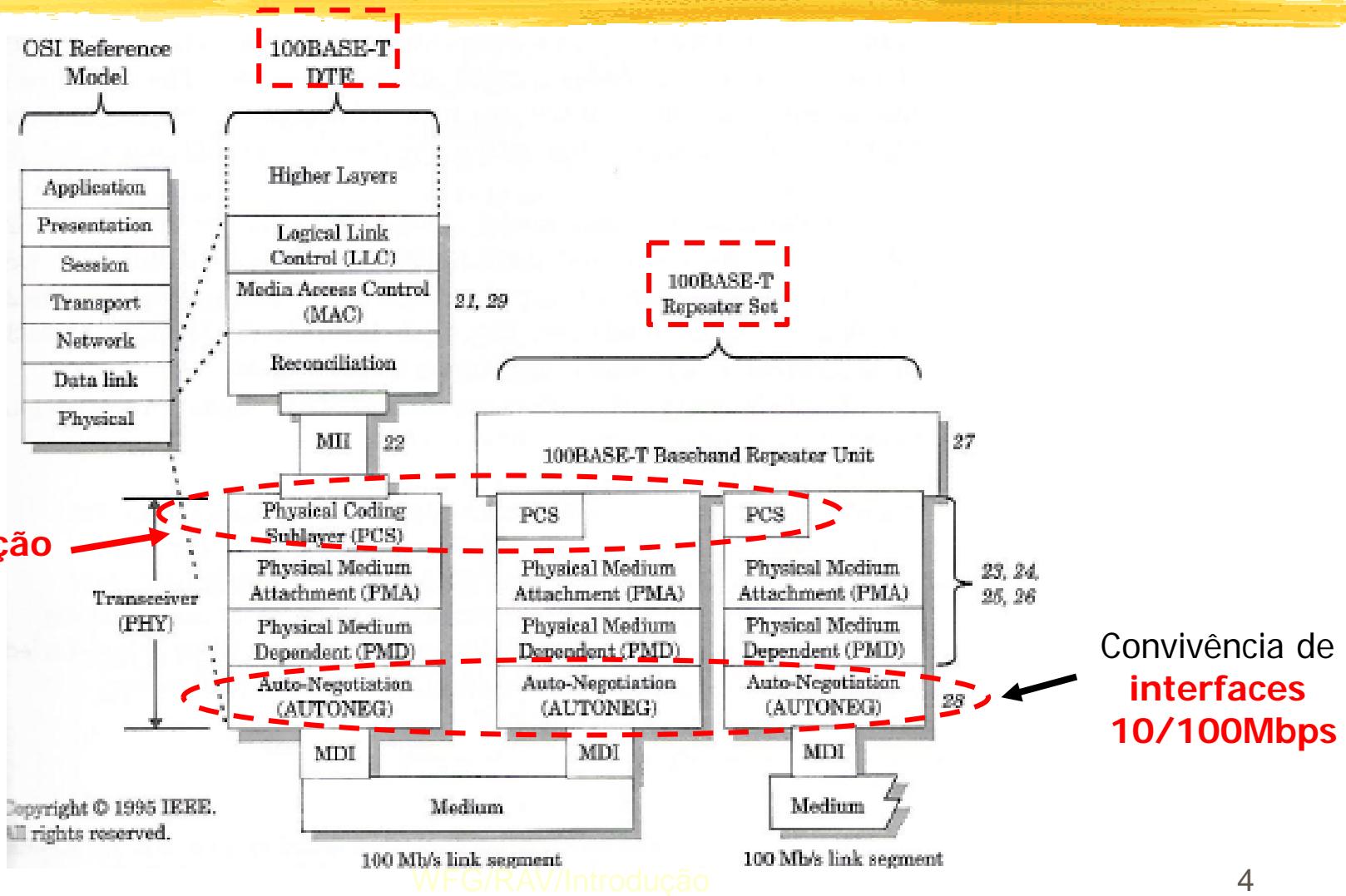
"TOPOLOGIA" FAST ETHERNET



ARQUITETURA IEEE 802.3u



MODELO DE REFERÊNCIA IEEE 802.3u 100BASE-T



CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS



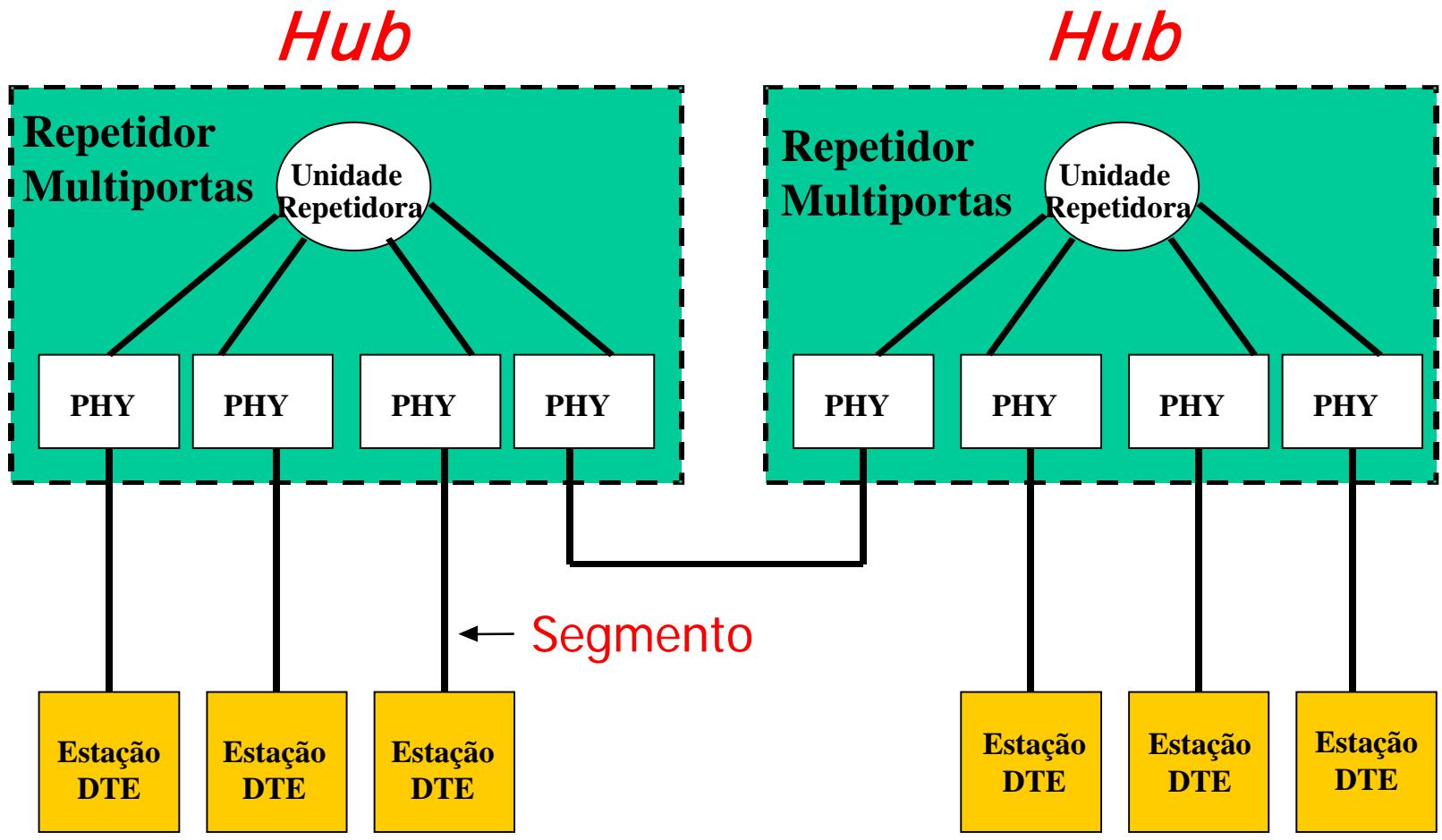
TOPOLOGIA TÍPICA

MODO BÁSICO DE OPERAÇÃO

PARÂMETROS DE IMPLEMENTAÇÃO

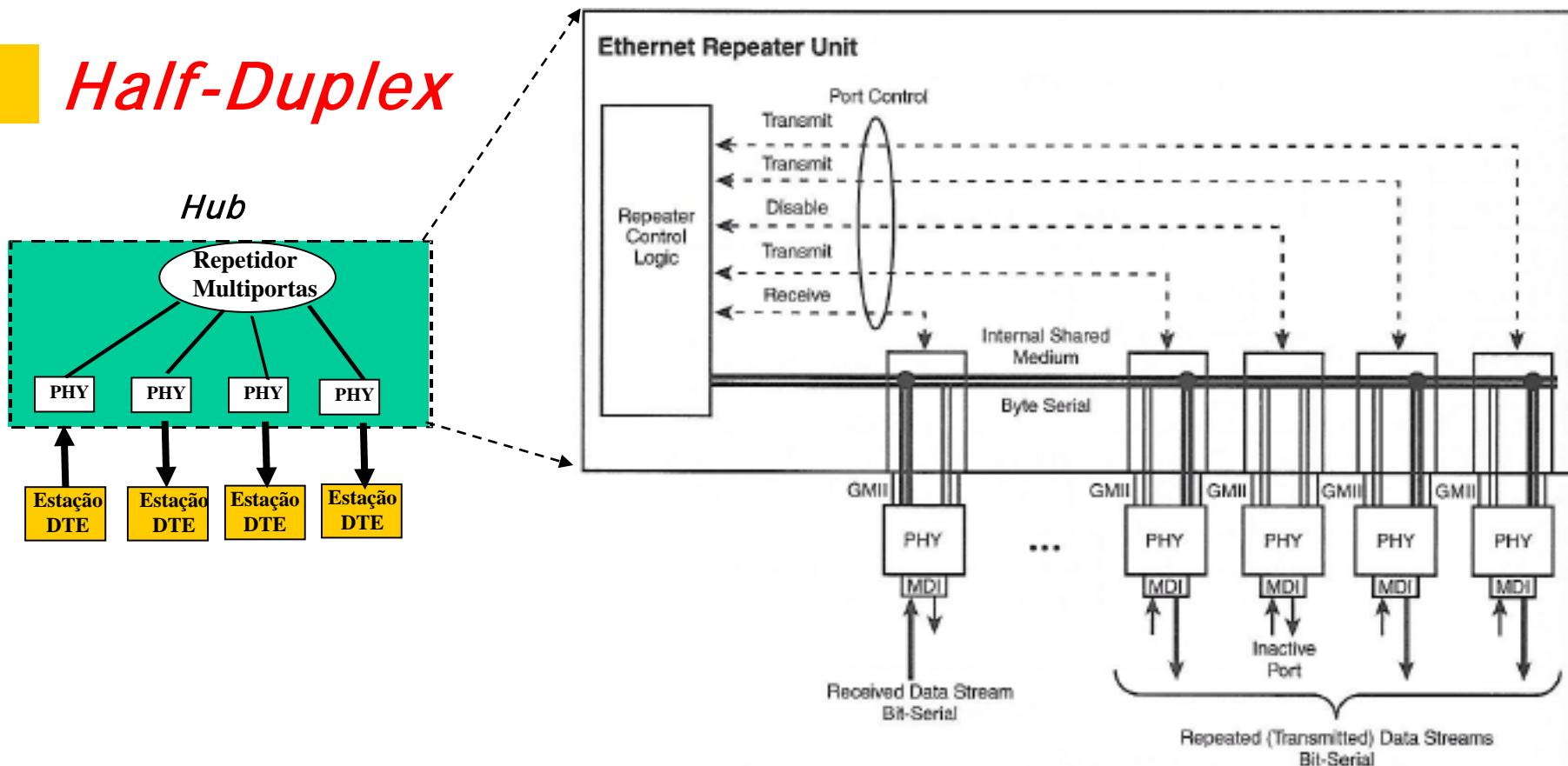
CONFIGURAÇÕES DE NÍVEL FÍSICO

TOPOLOGIA TÍPICA



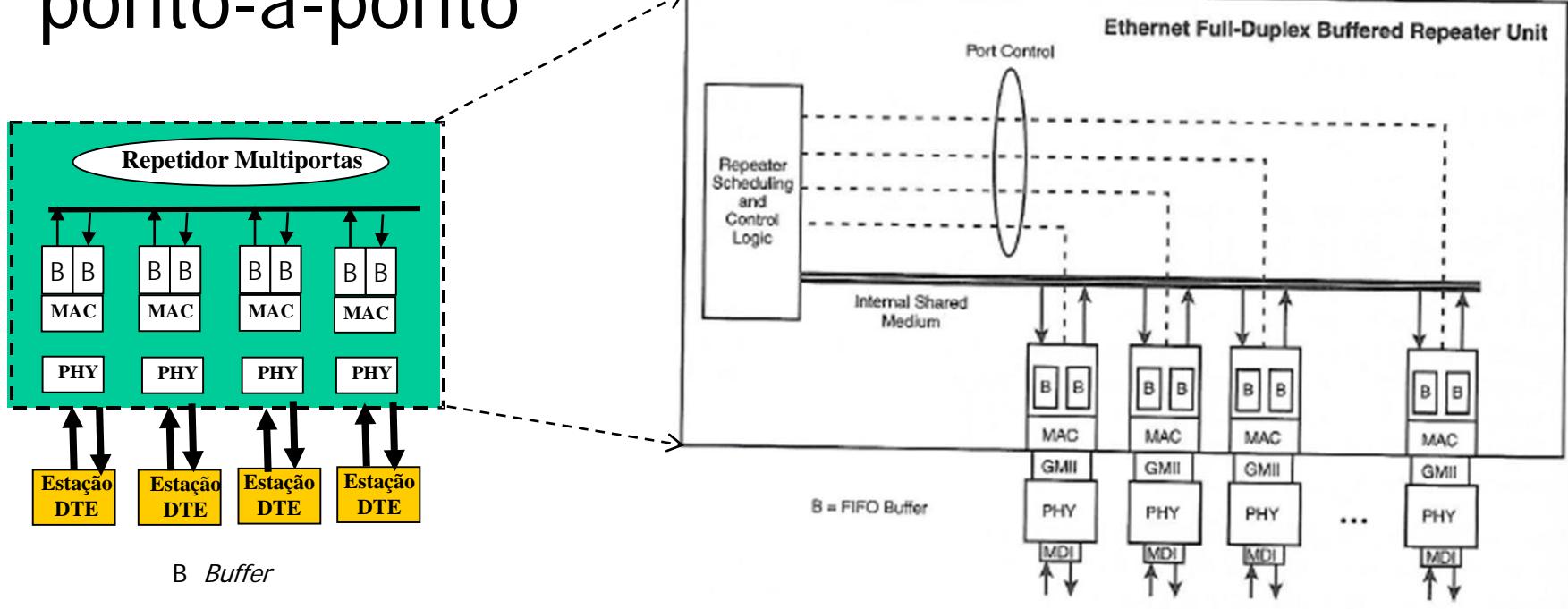
MODO BÁSICO DE OPERAÇÃO

Half-Duplex



MODOS DE OPERAÇÃO

Full-duplex ponto-a-ponto



B Buffer

IMPLEMENTAÇÃO A 100 MBPS

PARÂMETROS

slotTime

VALORES

5,12 µs (@ 512 bits)

interFrameGap

0,96 µs

attemptLimit

16

backoffLimit

10

jamSize

32 bits

maxFrameSize

1518 octetos

minFrameSize

512 bits (64 octetos)

addressSize

48 bits



CONFIGURAÇÕES DE NÍVEL FÍSICO

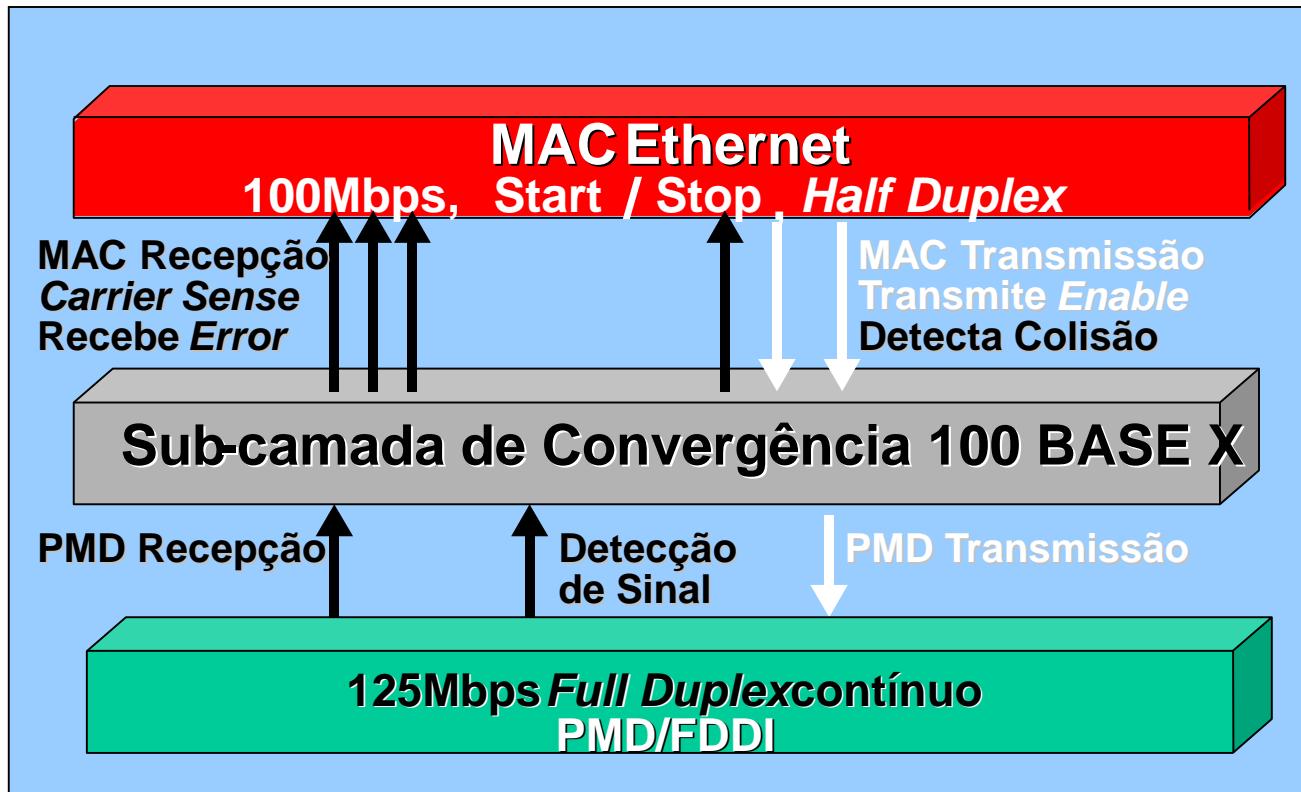
100BASE-X

- codificação **4B/5B**
- 2 fibras (100 BASE-FX)
- 2 pares UTP (100 BASE-TX)

100BASE T4

- 4 pares UTP
- codificação **8B/6T** + MLT-3

CONFIGURAÇÃO 100BASE X



Código

4B/5B

Alternativas

100Base FX

100Base TX

CÓDIGO 4B/5B

CARACTERÍSTICAS GERAIS

- alta **densidade de transições**
- **balanceamento DC**
- caracteres separados para **dados e controle**
- **símbolos especiais** para sincronização de caracteres
- capacidade de **detecção de erros**

CÓDIGO 4B/5B

DADOS

| NOME | 4B | 5B | Descrição |
|------|------|-------|------------|
| 0 | 0000 | 11110 | hex data 0 |
| 1 | 0001 | 01001 | hex data 1 |
| 2 | 0010 | 10100 | hex data 2 |
| 3 | 0011 | 10101 | hex data 3 |
| 4 | 0100 | 01010 | hex data 4 |
| 5 | 0101 | 01011 | hex data 5 |
| 6 | 0110 | 01110 | hex data 6 |
| 7 | 0111 | 01111 | hex data 7 |
| 8 | 1000 | 10010 | hex data 8 |
| 9 | 1001 | 10011 | hex data 9 |
| A | 1010 | 10110 | hex data A |
| B | 1011 | 10111 | hex data B |
| C | 1100 | 11010 | hex data C |
| D | 1101 | 11011 | hex data D |
| E | 1110 | 11100 | hex data E |
| F | 1111 | 11101 | hex data F |

CONTROLE

| | | | |
|---|--------|-------|-------------|
| I | -NONE- | 11111 | Idle |
| J | -NONE- | 11000 | SSD #1 |
| K | -NONE- | 10001 | SSD #2 |
| T | -NONE- | 01101 | ESD #1 |
| R | -NONE- | 00111 | SSD #2 |
| H | -NONE- | 00100 | Halt |

SSD= Start of Stream Delimiter (100BASE-TX Ethernet)
ESD= End of Stream Delimiter (100BASE-TX Ethernet)



100BASE FX

SUPORTES

- 2 fibras MMF 62,5/125 µm (PMD/FDDI)

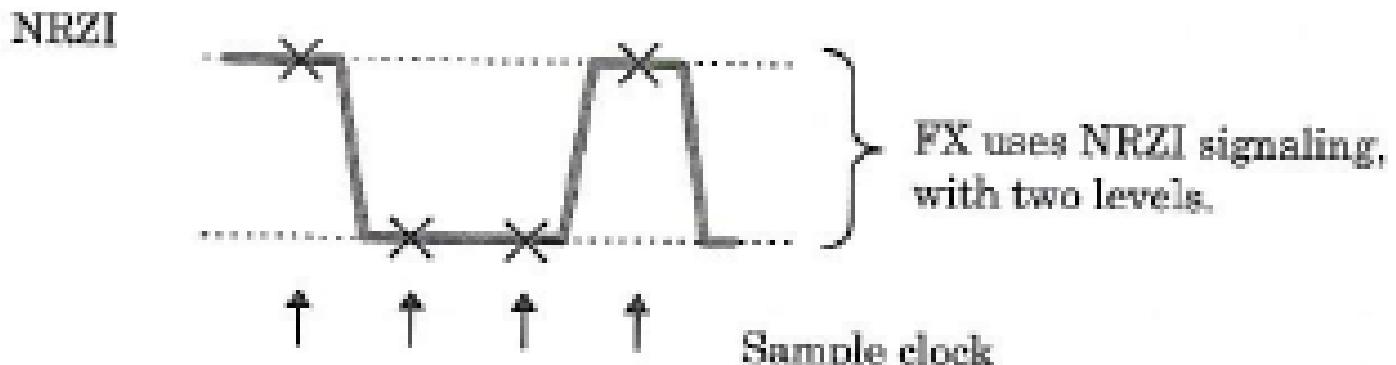
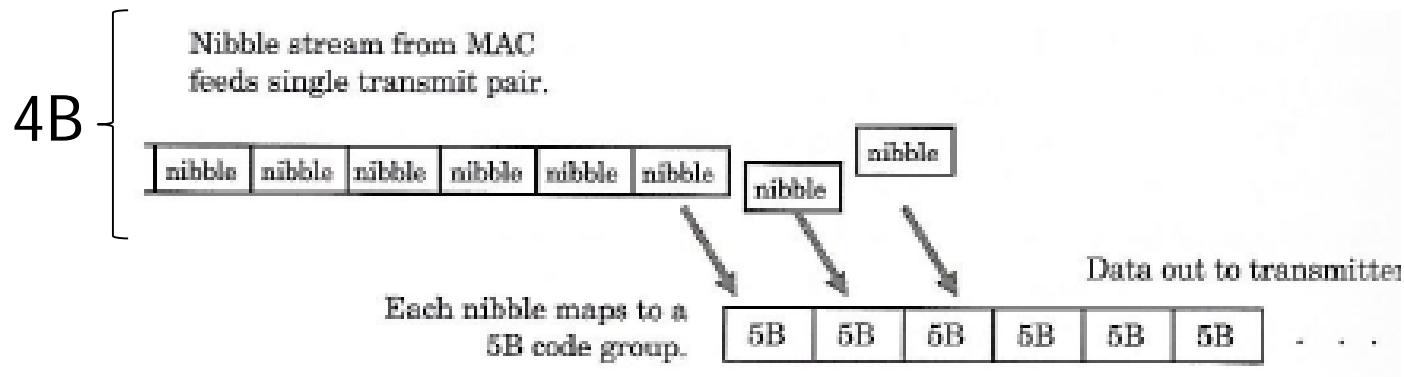
CODIFICAÇÃO

- 4B/5B + **NRZI** sem *scrambling*

DISTÂNCIAS

| | |
|---|------------------------------------|
| estação- <i>hub</i> (fibra) | = até 160m (@ tipo de <i>hub</i>) |
| estação- <i>hub</i> -estação (apenas fibra) | = até 320m (@ tipo de <i>hub</i>) |
| <i>switch-switch</i> (fibra) | = 412m |

4B/5B + NRZI



100BASE TX

SUPORTES

- 2 pares UTP Cat5 ou 2 pares STP tipo1

CODIFICAÇÃO

- Codificação 4B/5B + MLT-3 com *scrambling*

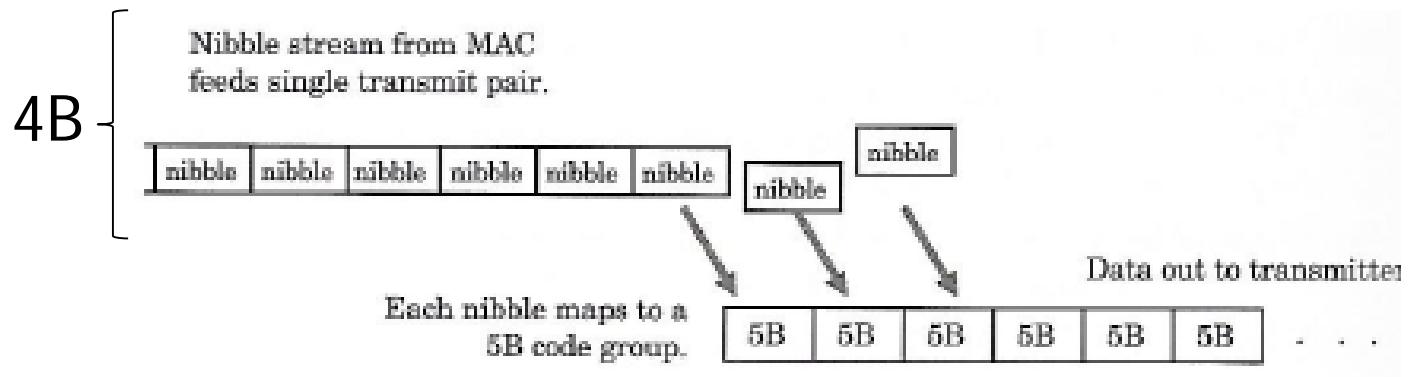
DISTÂNCIAS

estação-*hub* = 100m (@ UTP5)

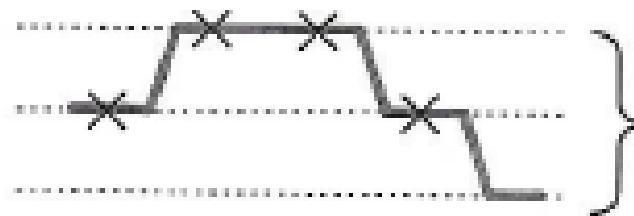
hub-hub = 5m (@ UTP5)

estação-estação = 205m (@ UTP5)

4B/5B + MLT-3



MLT-3



TX uses MLT-3 signaling, with three levels.



100BASE T4

■ SUPORTE FÍSICO DE TRANSMISSÃO

- **4 pares UTP Cat 3** (4 ou 5)

■ TRANSMISSOR T4+

- sinalização *half-duplex*
- diagrama de conexão RJ-45

■ CODIFICAÇÃO

- 8B/6T + MLT-3
- não suporta cabo com 25 pares

TRANSMISSOR T4⁺

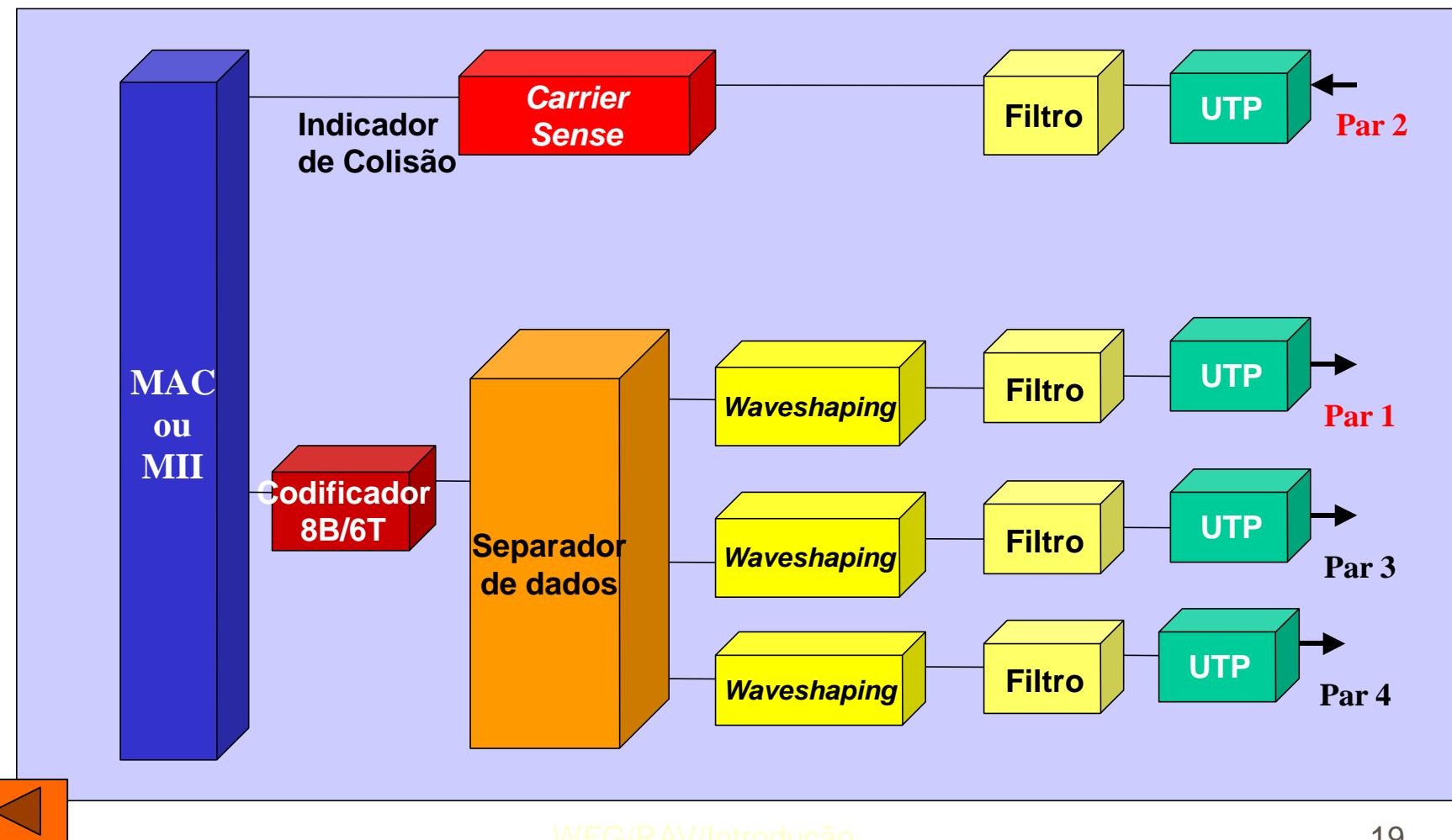
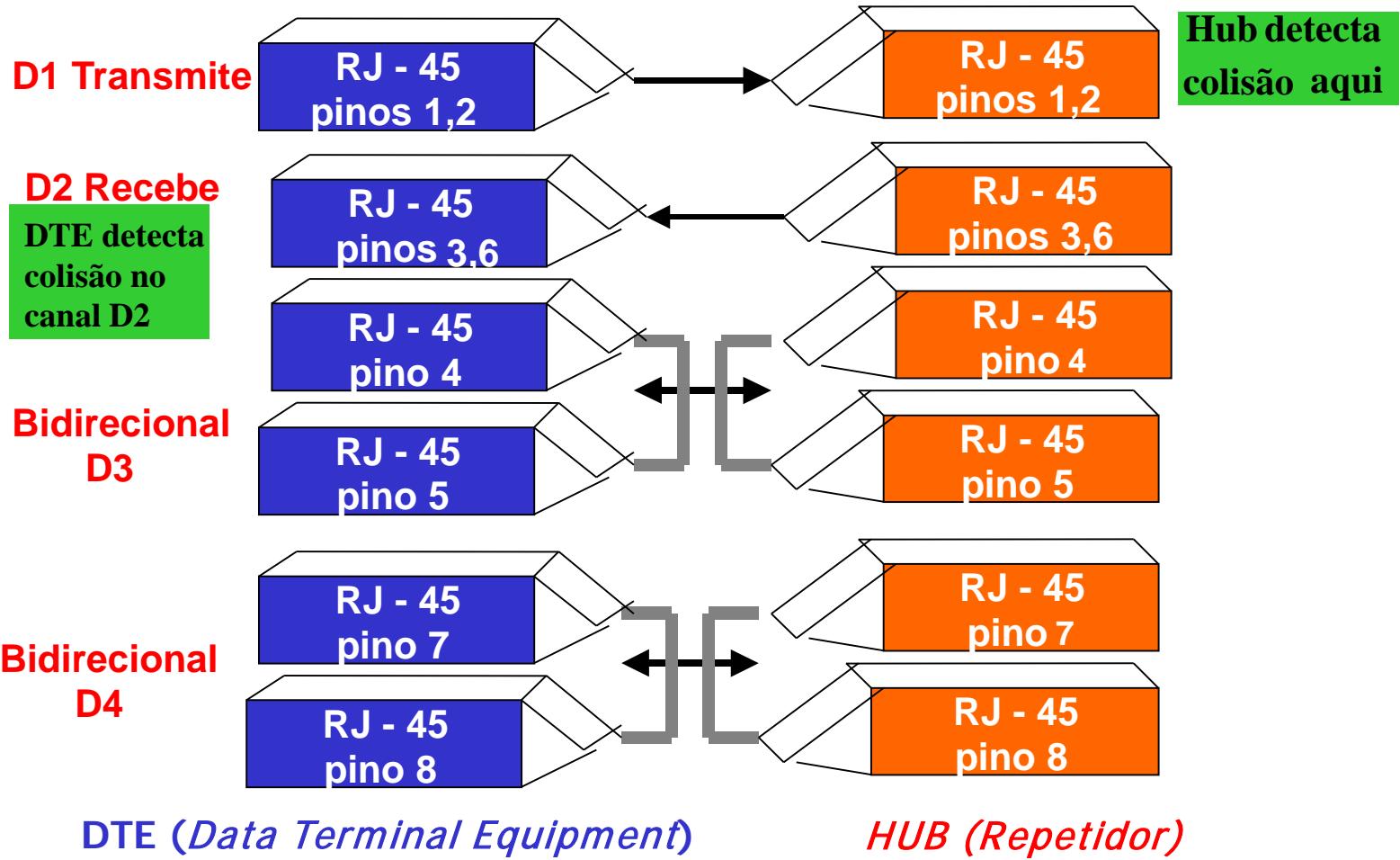
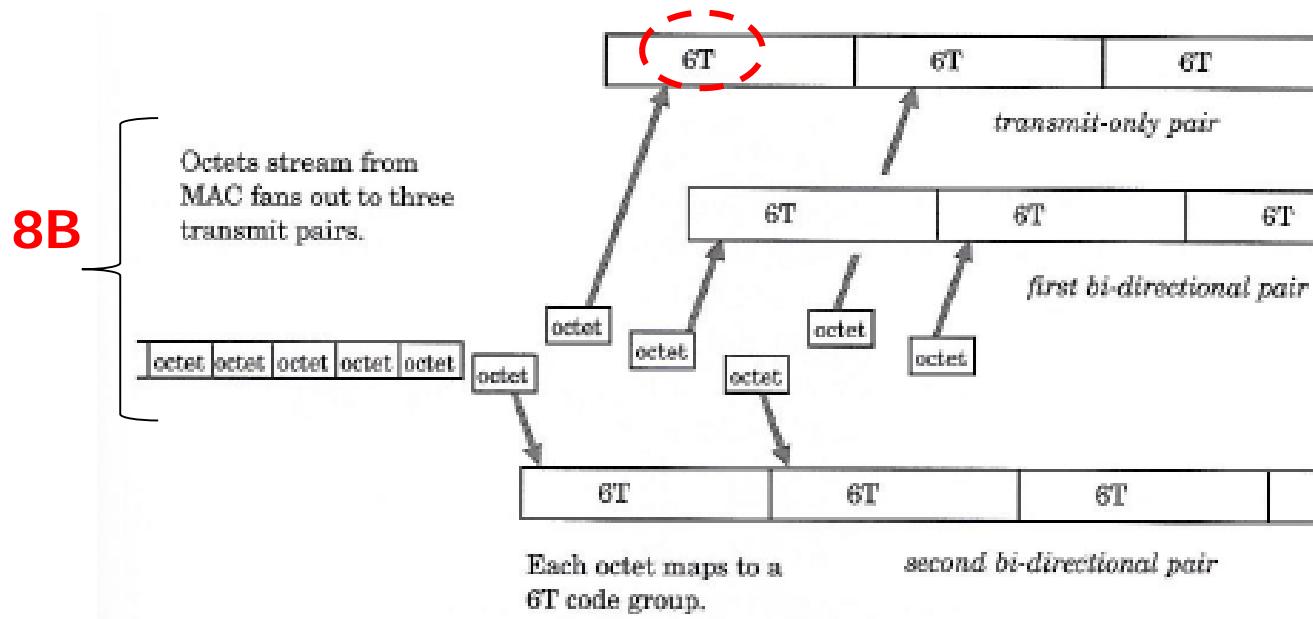


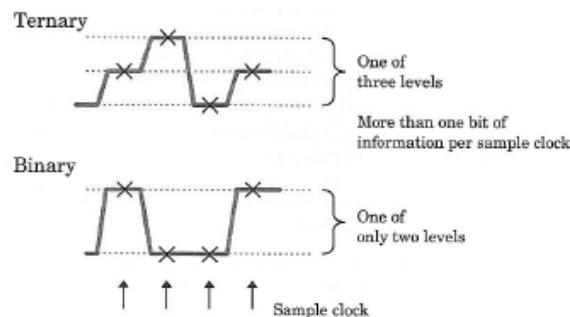
DIAGRAMA DE CONEXÃO RJ-45



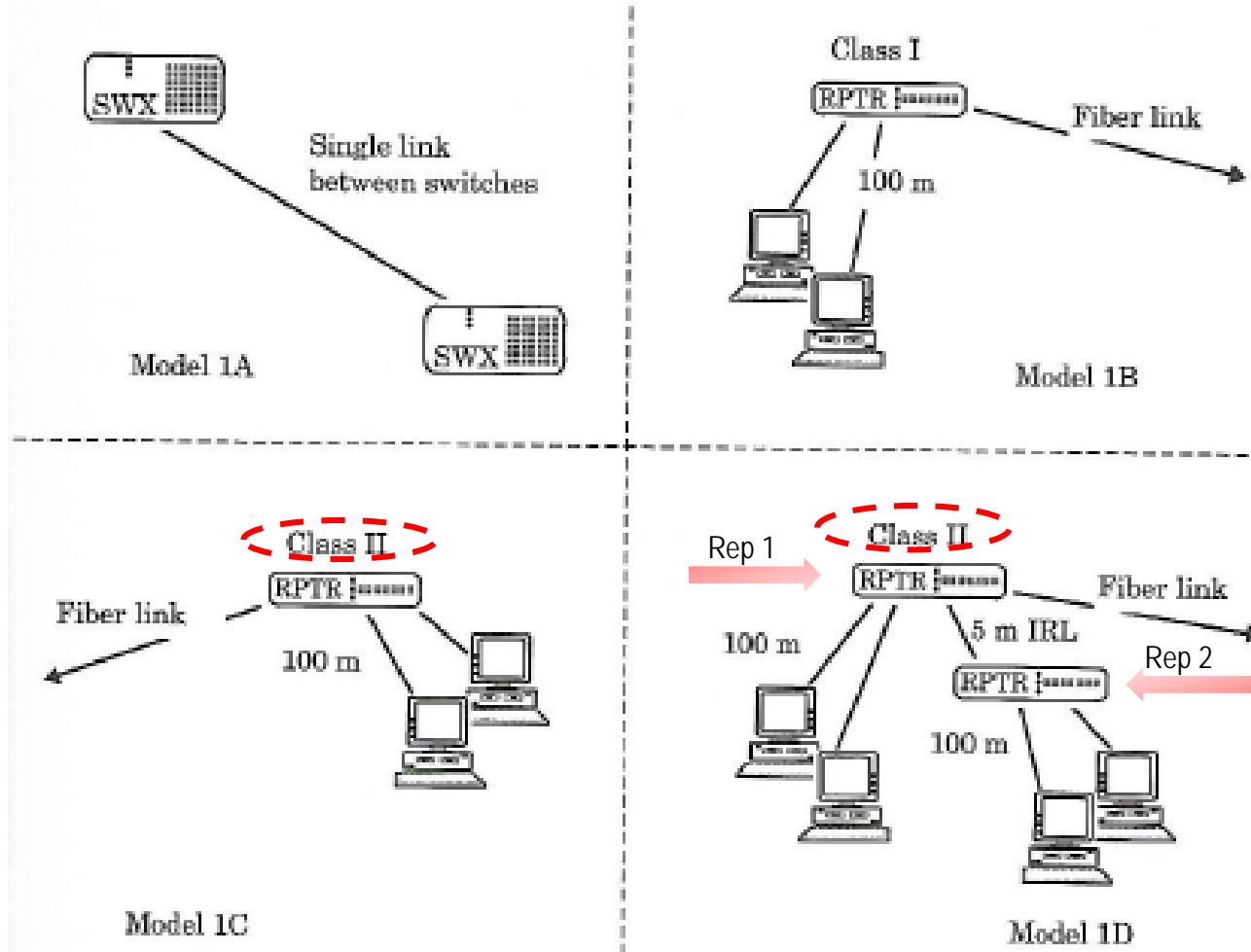
8B/6T + MLT-3



MLT-3



DOMÍNIO DE COLISÃO ÚNICO



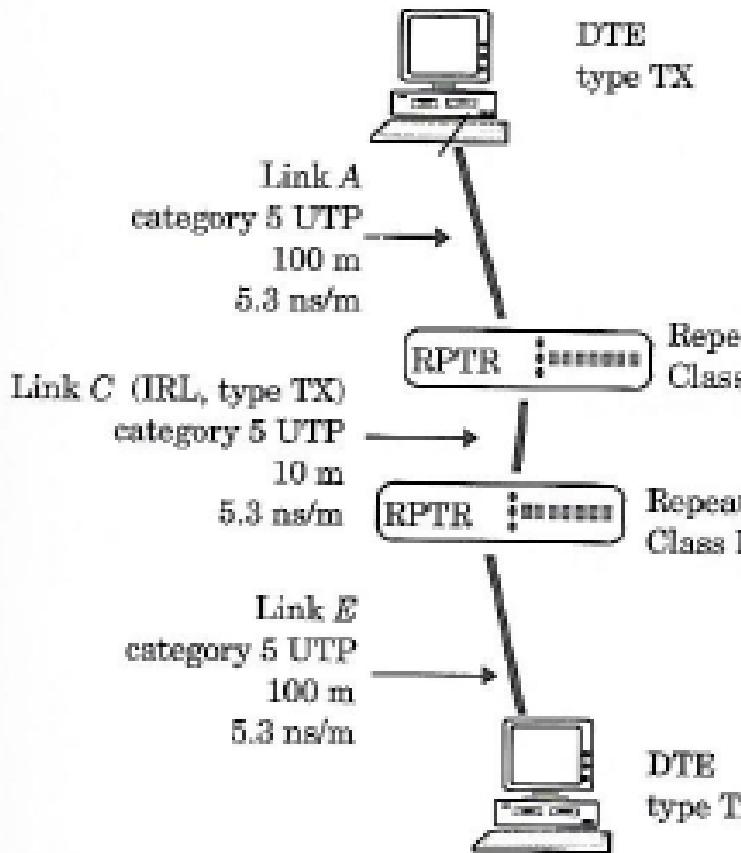
Fonte: Johnson, H. D. – FastEthernet. Prentice Hall, 1996.

EXEMPLO DE CÁLCULO DE ATRASOS

DTE - *Data Terminal Equipment*

RPTR *Repeater*

IRL *Inter Repeater Link*



DTEs 100

Cable A 106

Repeater B 92

Cable C 10.6

Repeater D 92

Cable E 106

Total 506.6

≤ 512 bits

PLANILHA DE CÁLCULO DE ATRASOS

| | | |
|---|---------------------------------|-------------------|
| DTE types | | |
| both T4 any combination of TX and FX mix of T4 with either TX or FX | 138 | |
| | 100 | |
| | 127 | |
| | pick one above: | [1] |
| Cable A | | |
| length (m) round trip bits/m ^a | [2] | |
| | X [3] | |
| | = cable delay: ^b [4] | |
| Repeater B | | |
| Class I Class II with any mix of TX and FX ports, but no T4 Class II with any port T4 | 140 | |
| | 92 | |
| | 67 | |
| | pick one above: ^c | [5] |
| Cable C (<i>N/A if only one repeater</i>) | | |
| length (m) round trip bits/m | [6] | |
| | X [7] | |
| | = cable delay: [8] | |
| Repeater D^d (<i>N/A if only one repeater</i>) | | |
| Class II with any mix of TX and FX ports, but no T4 Class II with any port T4 | 92 | |
| | 67 | |
| | pick one above: | [9] |
| Cable E | | |
| length (m) round trip bits/m | [10] | |
| | X [11] | |
| | = cable delay: [12] | |
| | | grand total: [13] |

a Use standard values from Table 3.14.

b Multiply length (m) times round-trip delay (bits/m) to get total delay in bit times.

c Or use better information from manufacturer, if available.

d The second repeater can by definition never be Class I.

| Component | Round Trip Delay in Bits/meter ^a | Maximum Round Trip Delay in Bits |
|-------------------|---|----------------------------------|
| Cat. 3 cable | 1.14 | 114 (100 meters) |
| Cat. 4 cable | 1.14 | 114 (100 meters) |
| Cat. 5 cable | 1.112 | 111.2 (100 meters) |
| STP cable | 1.112 | 111.2 (100 meters) |
| Fiber optic cable | 1.0 | 412 (412 meters) |

^a When cable speed is specified relative to the speed of light, the conversion to units of bit times per meter is: $(\text{round trip bits/m}) = (0.667128) / (\text{speed relative to } C)$.

Table adapted from Table 29-3 of 802.3u. Copyright © 1995 IEEE. All rights reserved.

Fonte: Johnson, H. D. – FastEthernet. Prentice Hall, 1996.

DIÂMETROS TÍPICOS DO DOMÍNIO DE COLISÃO

DTE - *Data Terminal Equipment*

| Configuração do Domínio | UTP apenas | Fibra apenas | Misto de T4 e FX | Misto de TX e FX |
|--------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| DTE-DTE | 100m | 412m | n/a | n/a |
| 1 Repetidor classe I | 200m | 272m | 231m* | 260,8m* |
| 1 Repetidor classe II | 200m | 320m | n/a | 308,8m** |
| 2 Repetidores classe II | 205m | 228m | n/a | 216,2m*** |

obs: diâmetros máximos (sem margem)

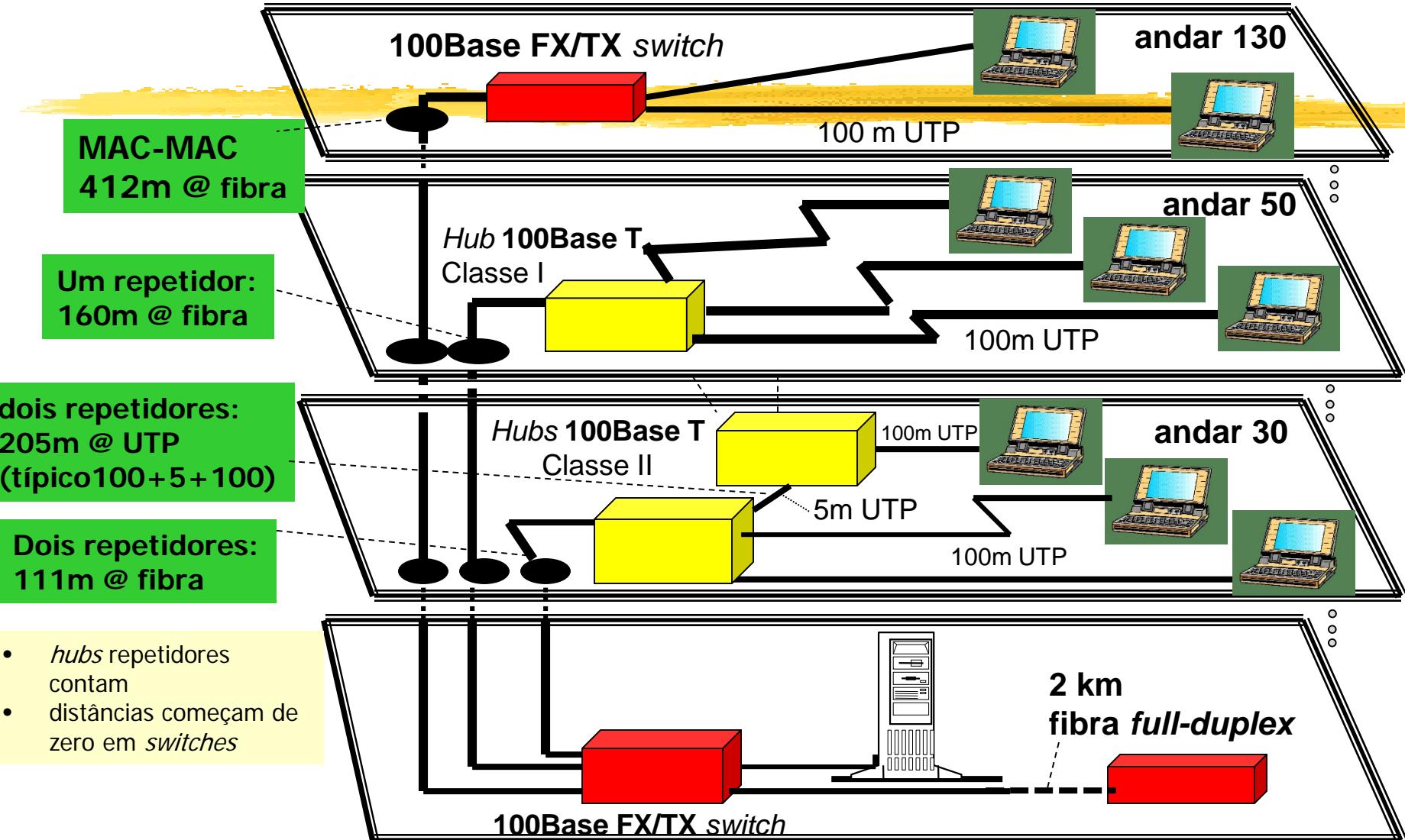
* link de UTP de 100m e link de 131m (T4) ou de 160m (TX/FX)

** link de UTP de 100m e link de fibra de 208m (TX/FX)

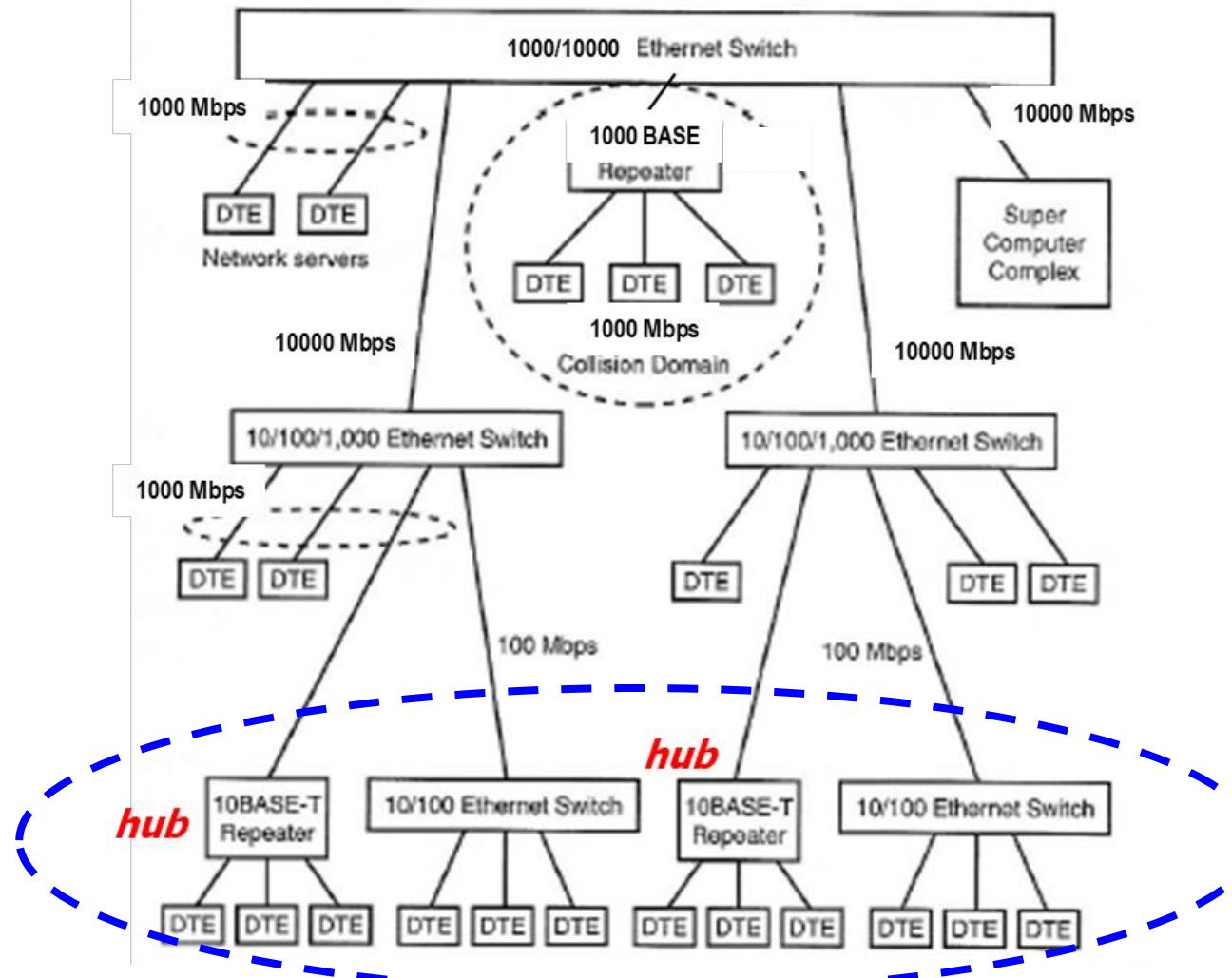
*** link UTP de 100m + jumper UTP de 5m + link de fibra de 111m

Fonte: Johnson, H. D. – FastEthernet. Prentice Hall, 1996.

REGRAS TOPOLÓGICAS FAST ETHERNET



"TOPOLOGIA" FAST ETHERNET



Coexistência
de Interfaces
10/100 Mbps

INTERFACES 10/100 MBPS

■ PROTOCOLO *NWAY AUTOSENSING*

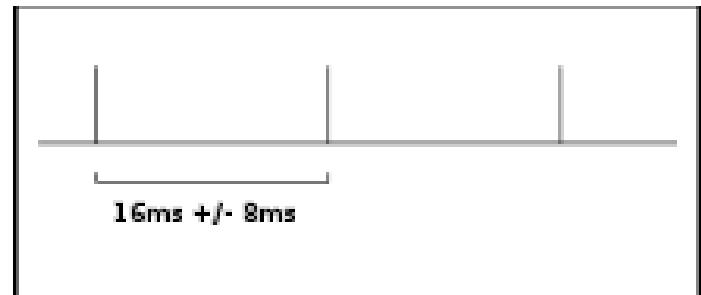
- Adaptador_100 emite pulsos FLP (*Fast Link Pulse*)
- *Hub_100* confirma operação automaticamente
- adaptador passa a operar em 100Mbps

■ OPERAÇÃO

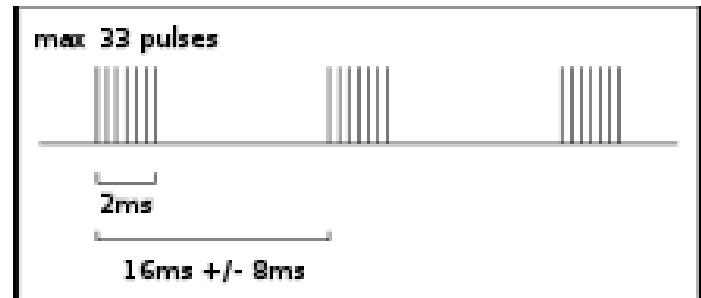
- nenhuma modificação na cabeação e nos *drivers*
- **coexistência 10/100 Mbps** em *switches*

PULSOS FLP

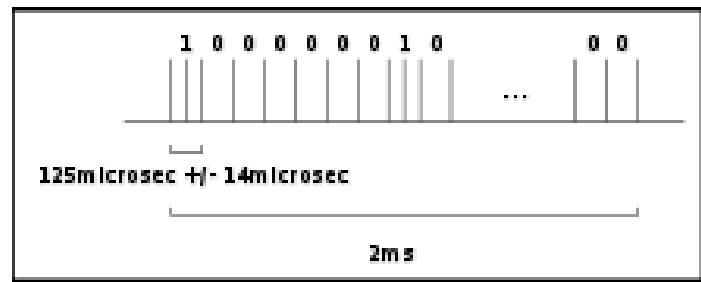
*A sequence of normal link pulses, used by **10BASE-T** devices to establish link integrity.*



*Three bursts of **Fast Link Pulses**, used by autonegotiating devices to declare their capabilities.*



How a link code word (16 bit) is encoded in a fast link pulse burst.



LINK CODE WORD

- Every fast link pulse burst transmits a word of 16 bits known as a *link code word*. The first such word is known as a *base link code word*, and its bits are used as follows:
- **0–4: selector field**: it indicates which standard is used between IEEE 802.3 and IEEE 802.9;
- **5–12: technology ability field**: this is a sequence of bits that encode the possible modes of operations among the 100BASE-T and 10BASE-T modes;
- **13: remote fault**: this is set to one when the device is detecting a link failure;
- **14: acknowledgement**: the device sets this to one to indicate the correct reception of the base link code word from the other party; this is detected by the reception of at least three identical base code words;
- **15: next page**: this bit is used to indicate the intention of sending other link code words after the base link code word;

Technology ability field

- bit 0: device supports 10BASE-T*
- bit 1: device supports 10BASE-T in full duplex*
- bit 2: device supports 100BASE-TX*
- bit 3: device supports 100BASE-TX in full duplex*
- bit 4: device supports 100BASE-T4*
- bit 5: pause*
- bit 6: asymmetric pause for full duplex*
- bit 7: reserved*

AUTONEGOTIATION

DISPOSITIVOS COM:

- Mais de uma **taxa de transmissão**;
- Diferentes **modos de duplexação** (*half-duplex* e *full-duplex*);
- Diferentes **padrões de transmissão** a uma mesma taxa de transmissão (na prática, apenas um padrão em cada velocidade é geralmente suportado).

DURANTE A AUTONEGOTIATION:

- Cada dispositivo declara suas características tecnológicas, i.e., seus possíveis **modos de operação**.
- O melhor modo mais comum é escolhido
 - taxas mais altas são preferidas,
 - *full-duplex* preferido para uma mesma taxa.

Prioridades

| | | | |
|----|----------|-----|-------------|
| 1 | 40GBASE | -T | full duplex |
| 2 | 25GBASE | -T | full duplex |
| 3 | 10GBASE | -T | full duplex |
| 4 | 5GBASE | -T | full duplex |
| 5 | 2.5GBASE | -T | full duplex |
| 6 | 1000BASE | -T | full duplex |
| 7 | | | half duplex |
| 8 | 100BASE | -T2 | full duplex |
| 9 | | -TX | full duplex |
| 10 | | -T2 | half duplex |
| 11 | | -T4 | half duplex |
| 12 | 10BASE | -TX | half duplex |
| 13 | | -T | full duplex |
| 14 | | | half duplex |

Broadcom AFBR-59E4APZ Multimode SFF Transceivers

Features

Power saving **Small Form Factor (SFF) transceiver**

Multisourced 2x5 package style

Single +3.3V power supply

Operates with **62.5/125µm and 50/125µm multimode fiber** at a nominal wavelength of **1310nm** with an LC fiber connector interface

Performance requirements of **100Base-FX Version of IEEE 802.3u**

Temperature range

AFBR-59E4APZ -40°C to +85°C

AFBR-59E4APZ-HT -40°C to +95°C



Applications

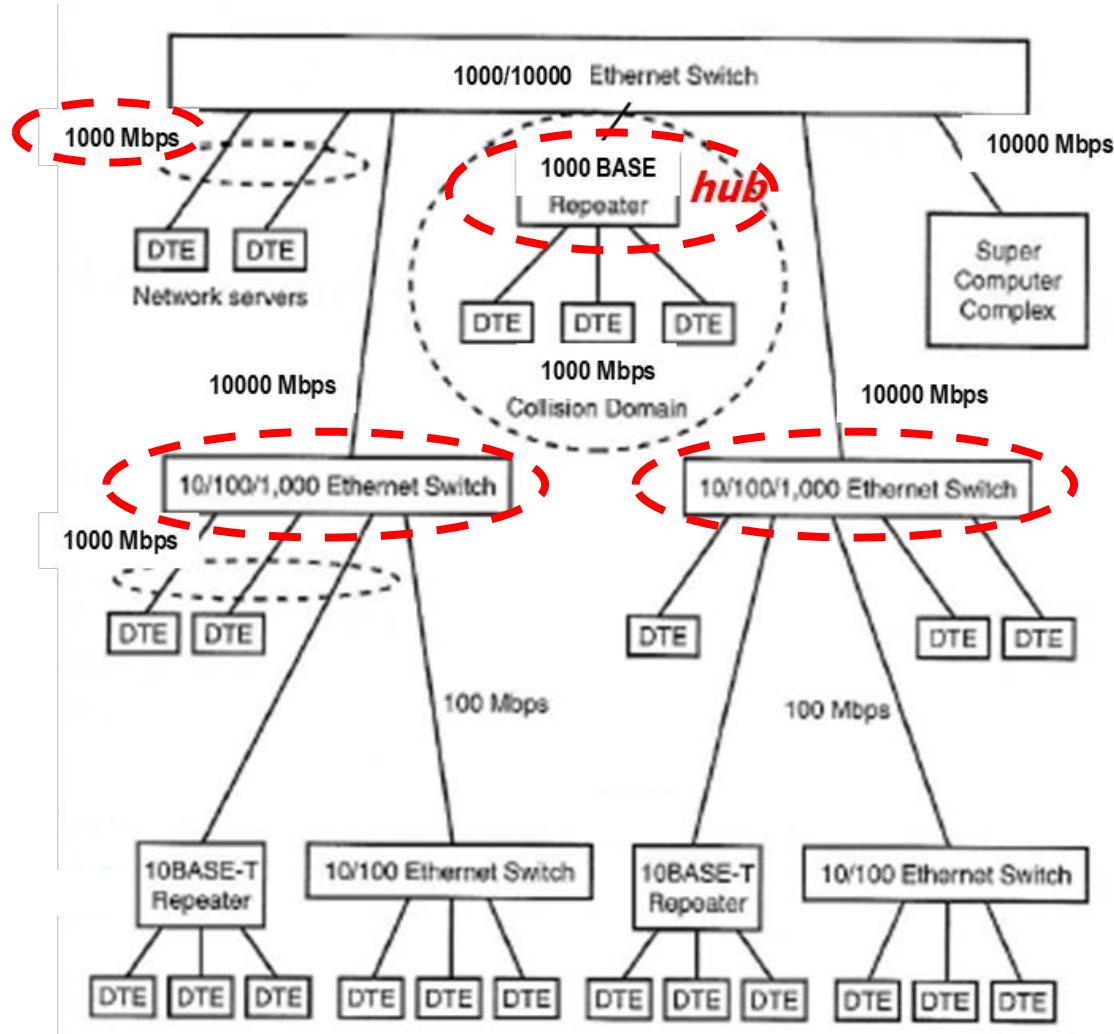
Factory automation at Fast Ethernet speeds
Fast Ethernet networking over multimode fiber

REDES LOCAIS IEEE 802.3z

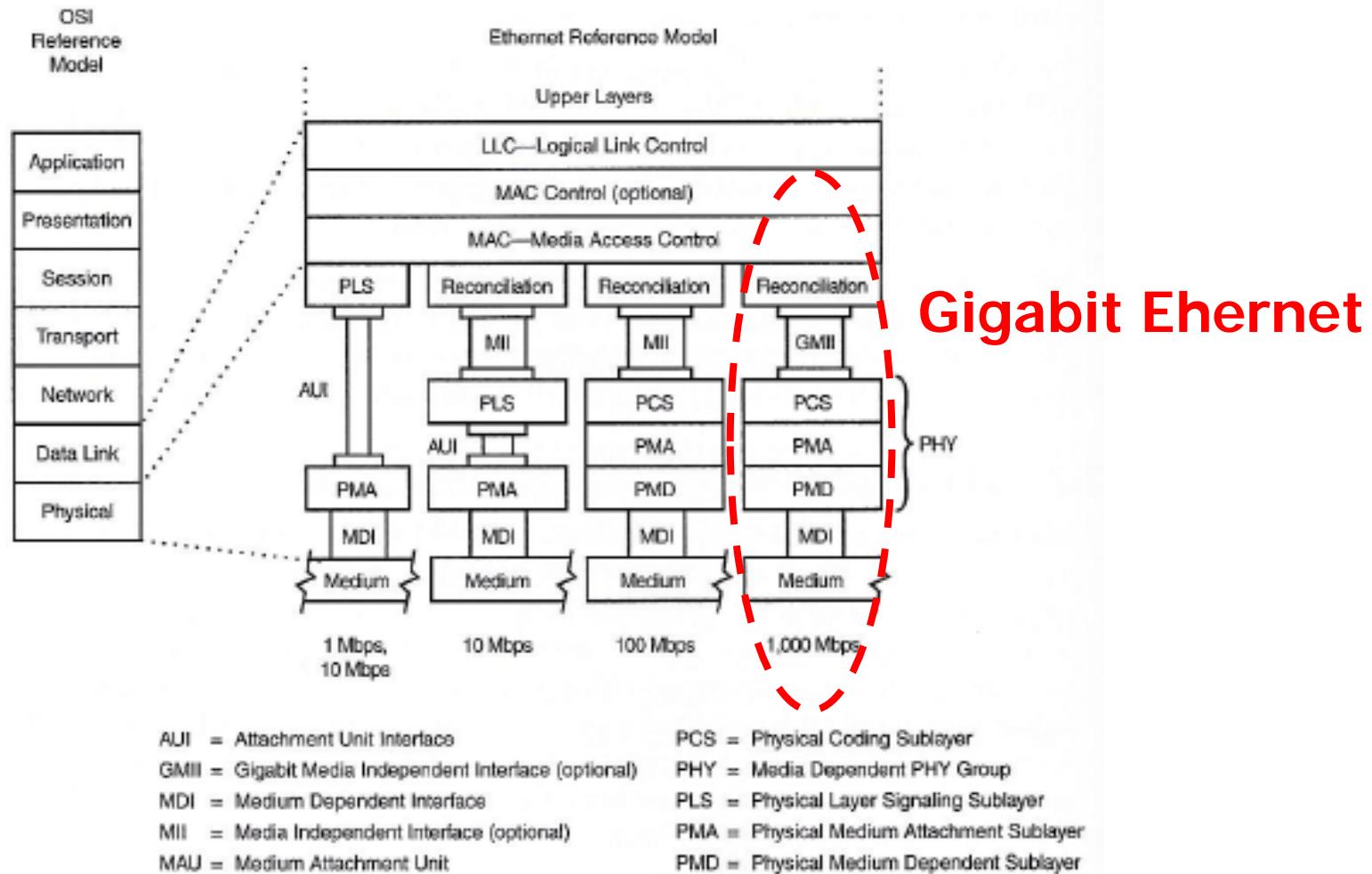


Gigabit Ethernet
(GbE)

"TOPOLOGIA" GIGABIT ETHERNET



ARQUITETURA GIGABIT ETHERNET



IMPLEMENTAÇÃO A 1000 MBPS

PARÂMETROS

slotTime

VALORES

4,096 µs (@ 4.096 bits = **512 octetos**)

interFrameGap

0,096 µs

attemptLimit

16

backoffLimit

10

jamSize

32 bits

maxFrameSize

1518 octetos

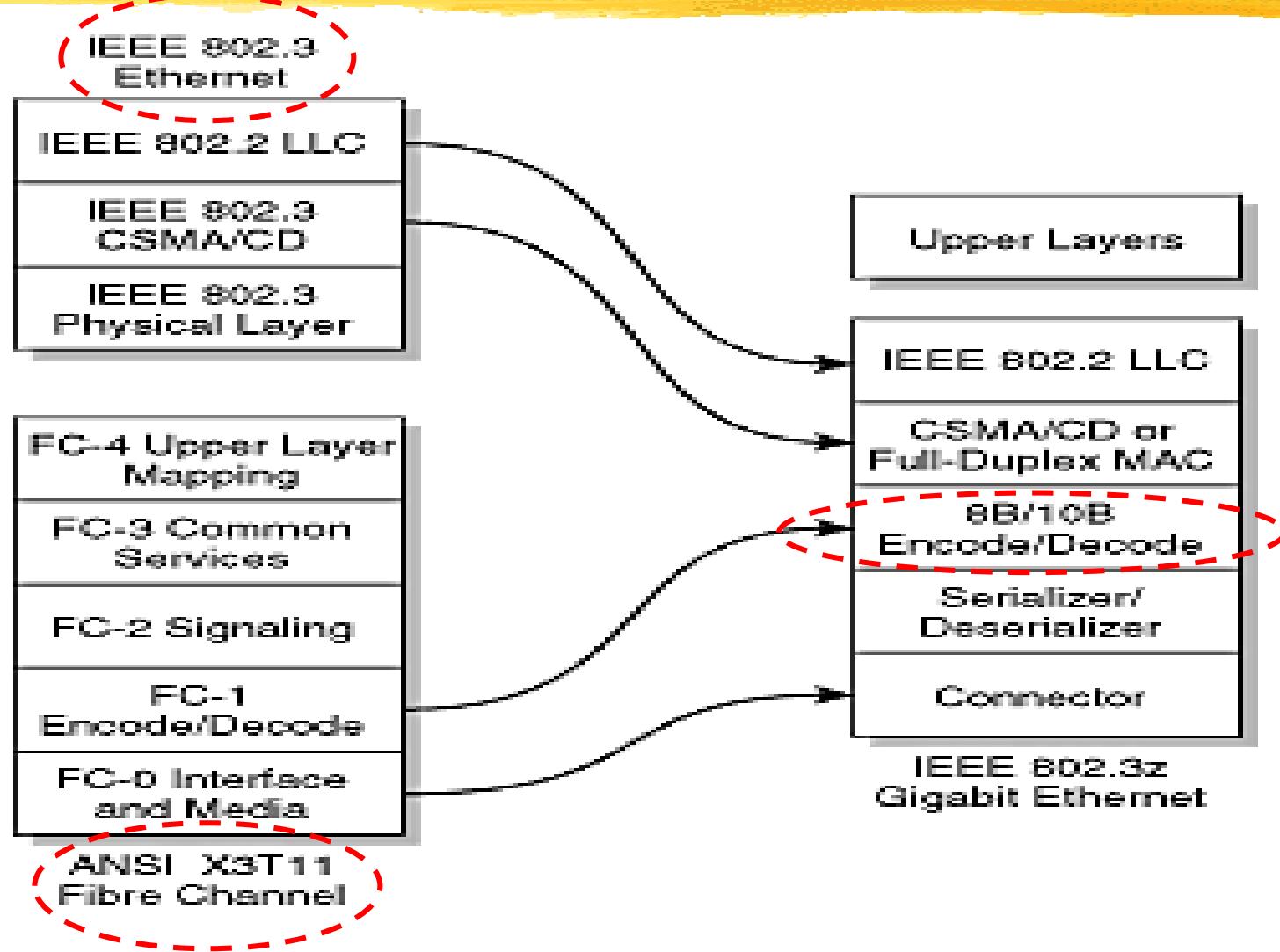
minFrameSize

64 octetos

burstLimit

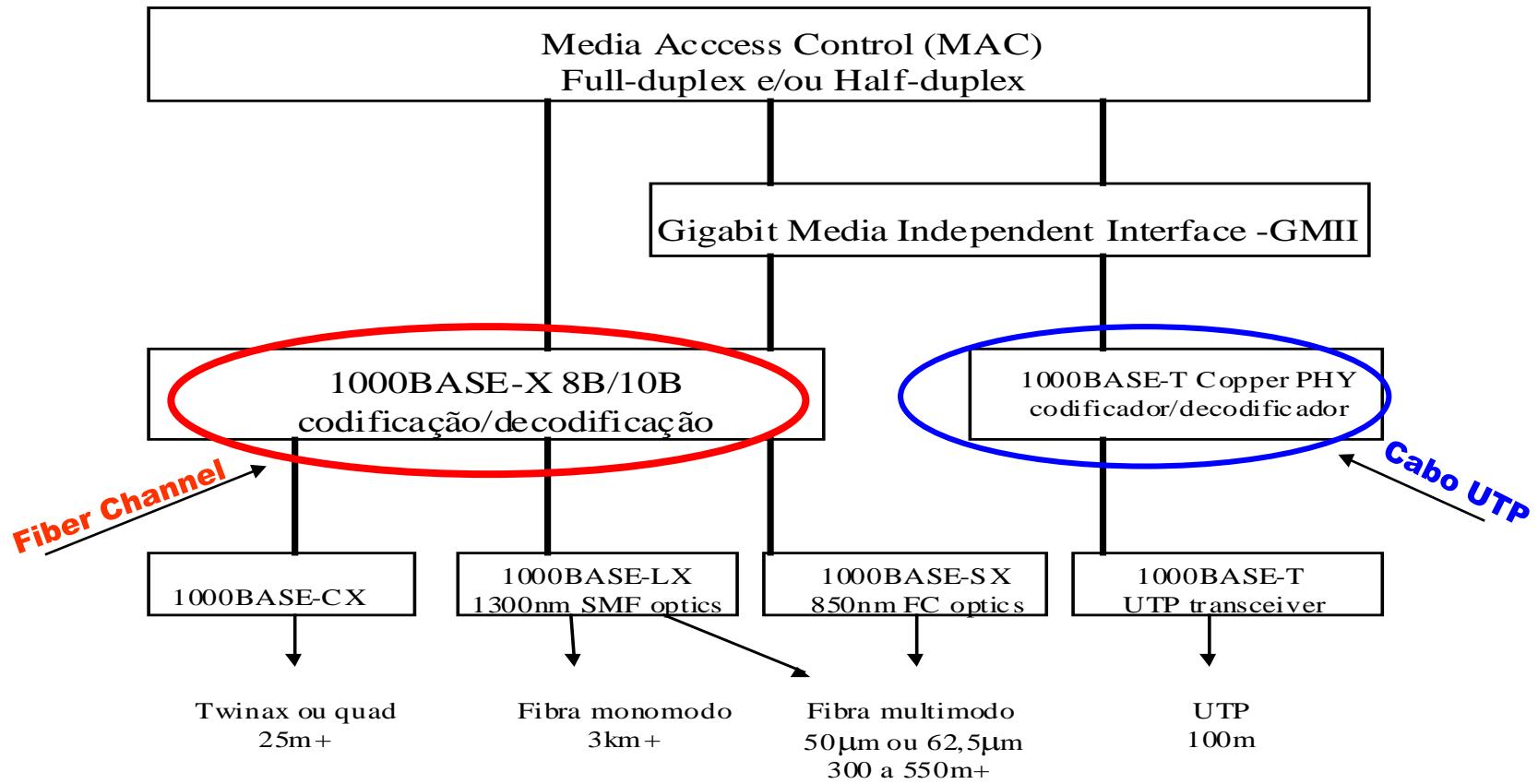
8.192 octetos

TECNOLOGIAS GbE

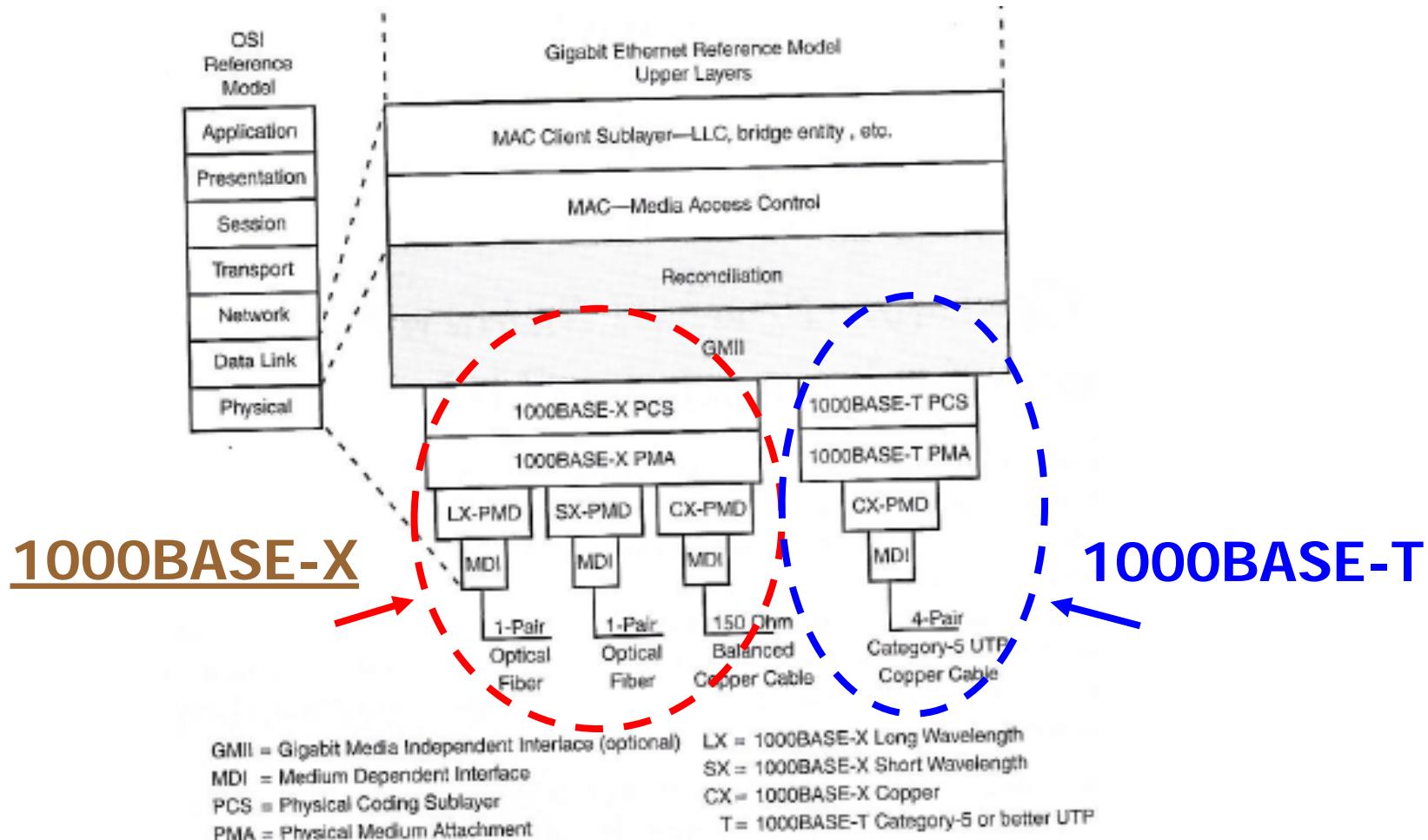


ALTERNATIVAS DE NÍVEL FÍSICO GbE

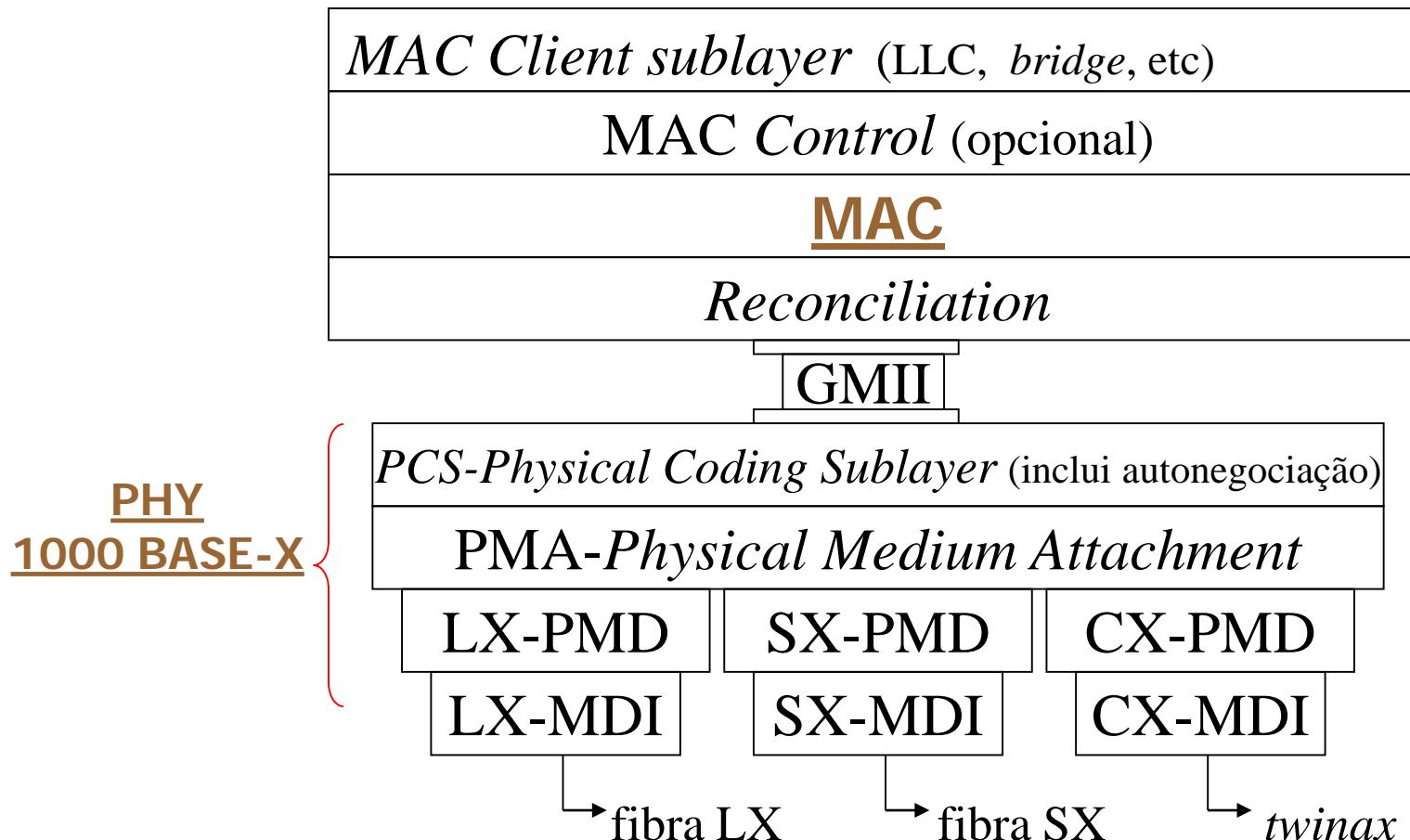
Elementos Funcionais da Tecnologia Gigabit Ethernet



ARQUITETURAS GbE



ARQUITETURA 1000BASE-X



MODOS DE OPERAÇÃO

■ ***HALF-DUPLEX (CSMA-CD)***

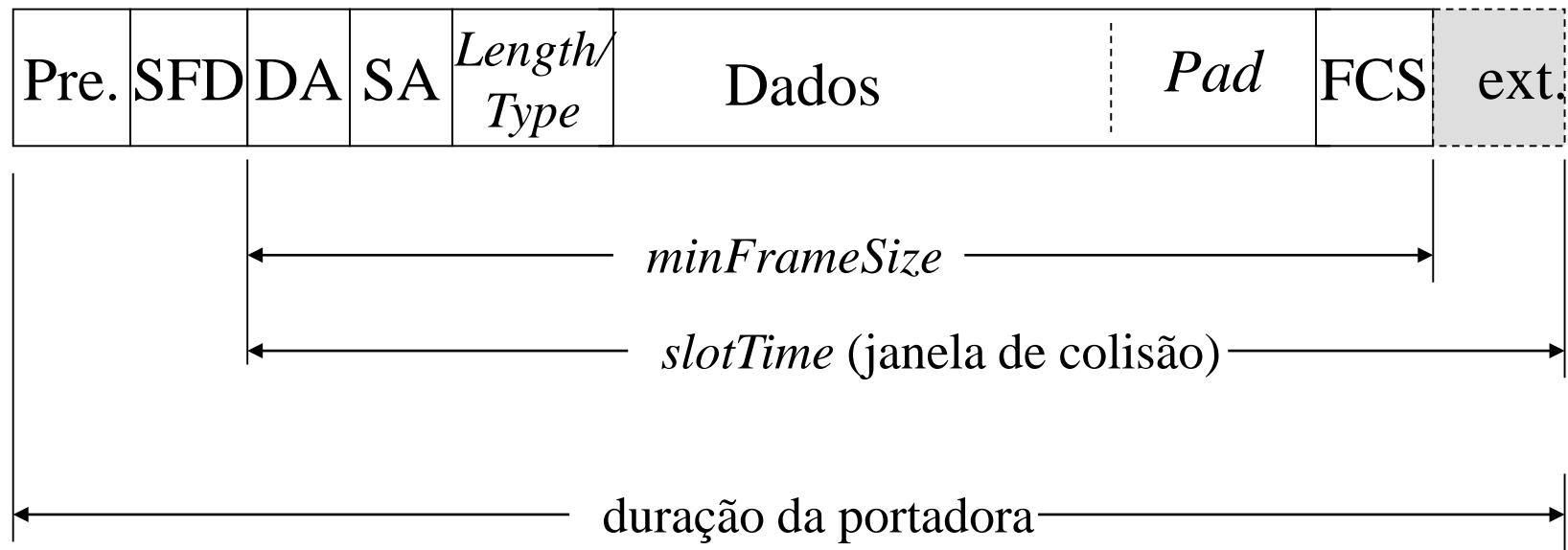
- estações e dispositivos intermediários de rede conectados num **único domínio de colisão**
 - CSMA-CD com portadora estendida

■ ***FULL-DUPLEX***

- estações ou dispositivos intermediários de rede conectados por **um link ponto-a-ponto único**

■ **FRAME BURSTING**

QUADRO MAC COM EXTENSÃO



PORTADORA ESTENDIDA

Original
Ethernet
Frame



Original Ethernet Slot-Time



Ethernet
Frame
with
Carrier
Extension

512-byte Slot-Time

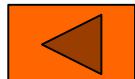
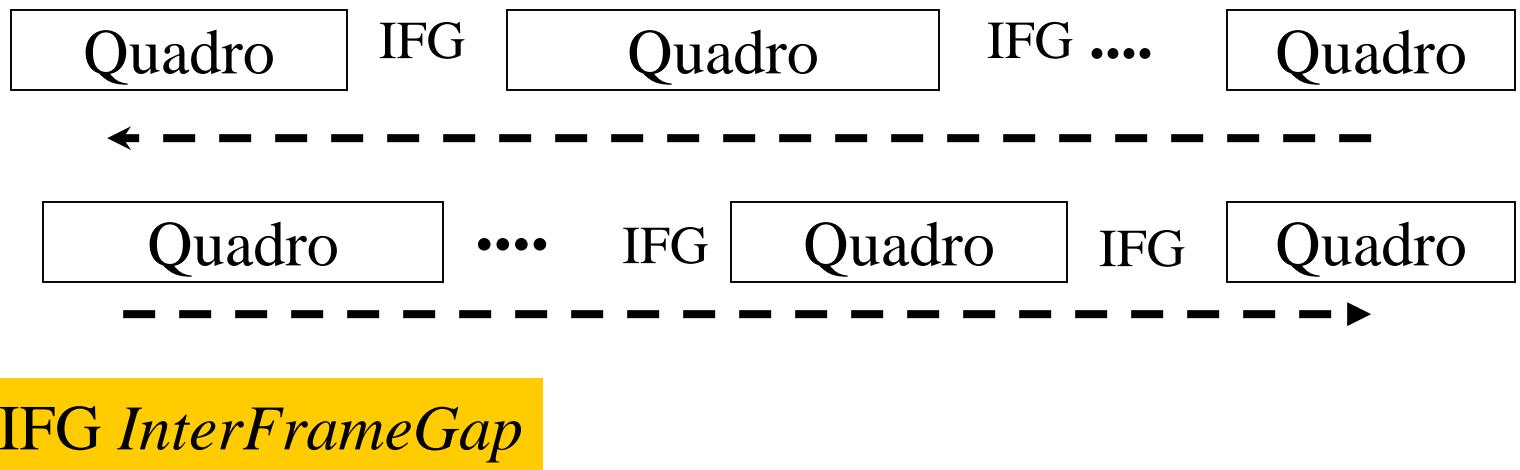
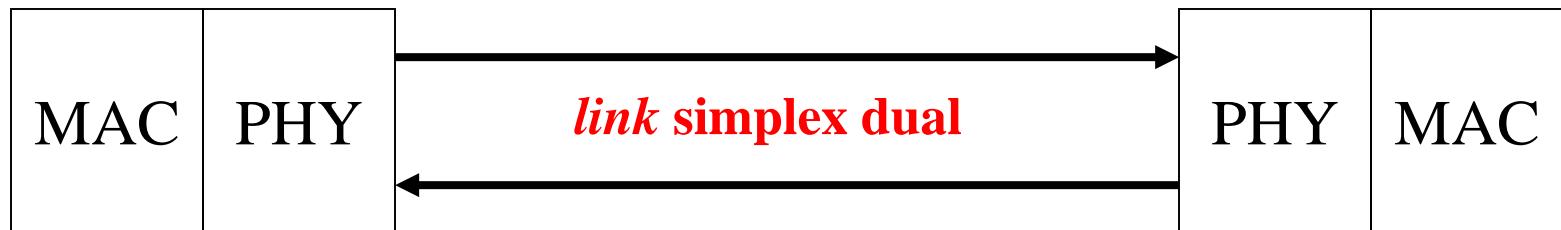
LIMITES PARA OPERAÇÃO HALF-DUPLEX

| Parameter | 10 Mbps | 100 Mbps | 1000 Mbps |
|---|----------------|------------------------------------|---|
| Minimum frame size | 64 bytes | 64 bytes | 520 bytes ¹ (with extension field added) |
| Maximum collision diameter, DTE to DTE | 100 meters UTP | 100 meters UTP 412 meters fiber | 100 meters UTP 316 meters fiber |
| Maximum collision diameter with repeaters | 2500 meters | 205 meters | 200 meters |
| Maximum number of repeaters in network path | 5 | 2 | 1 |

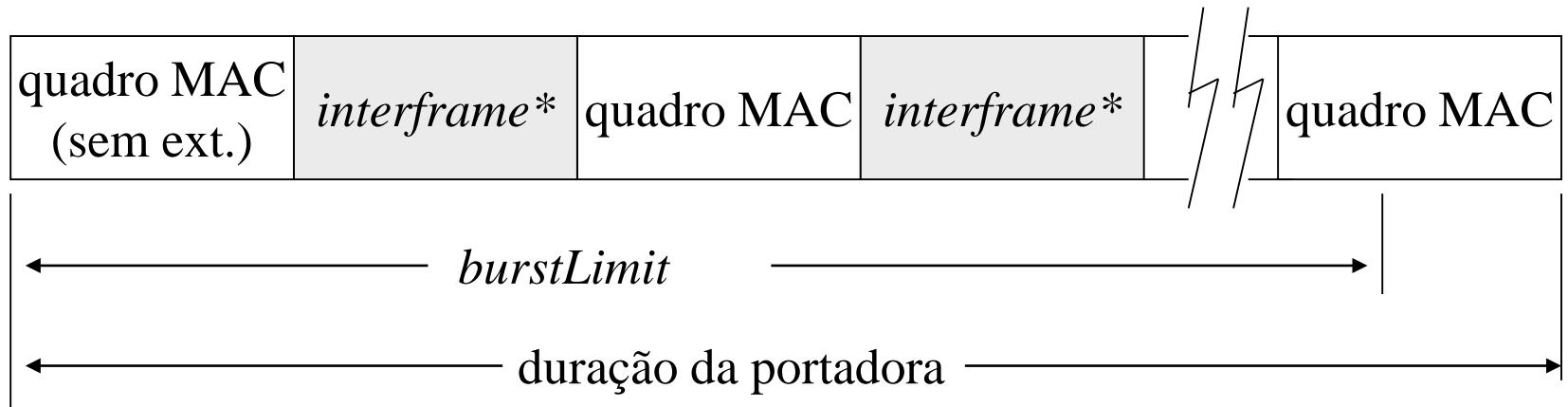
¹ 520 bytes applies to 1000Base-T implementations. The minimum frame size with extension field for 1000Base-X is reduced to 416 bytes because 1000Base-X encodes and transmits 10 bits for each byte.



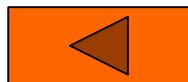
OPERAÇÃO *FULL-DUPLEX*



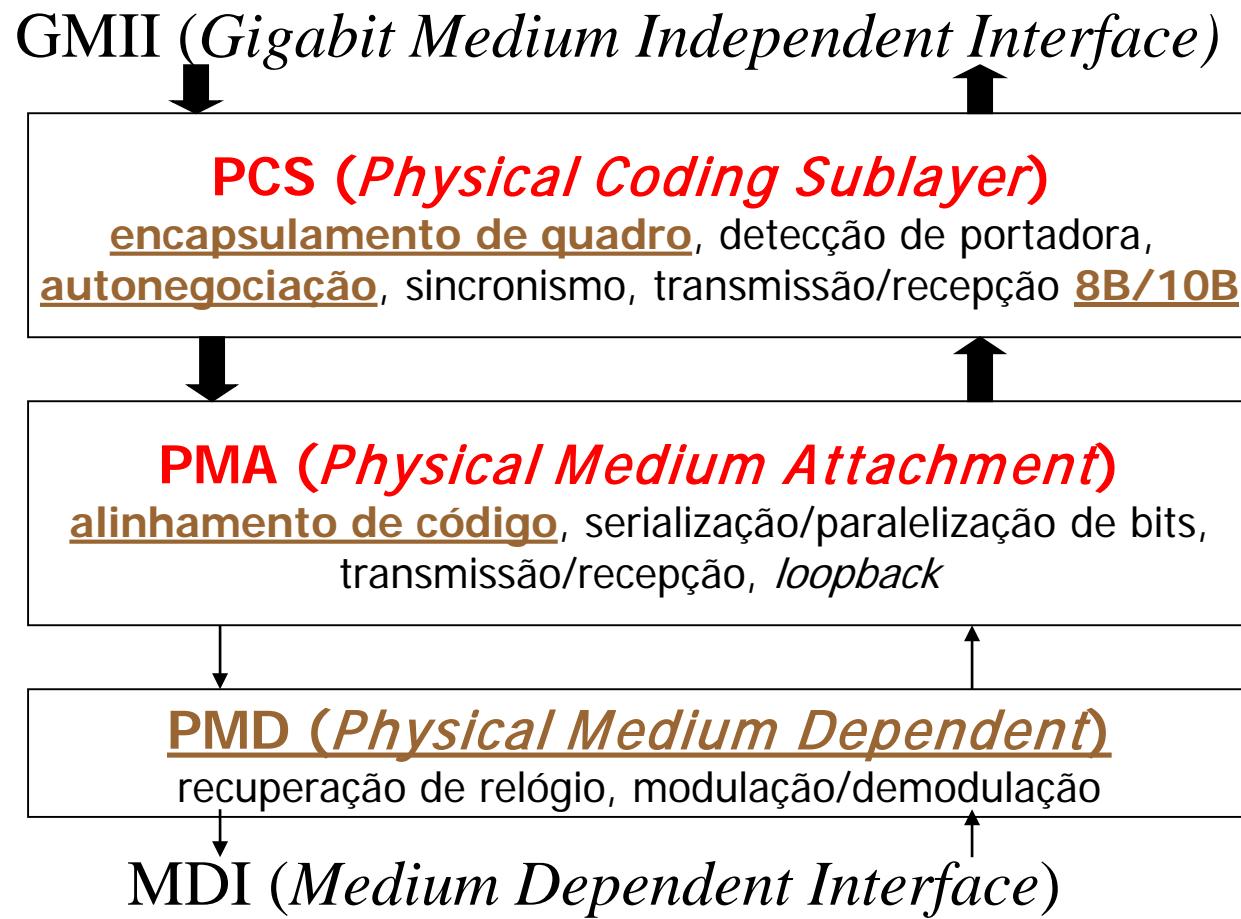
FRAME BURSTING



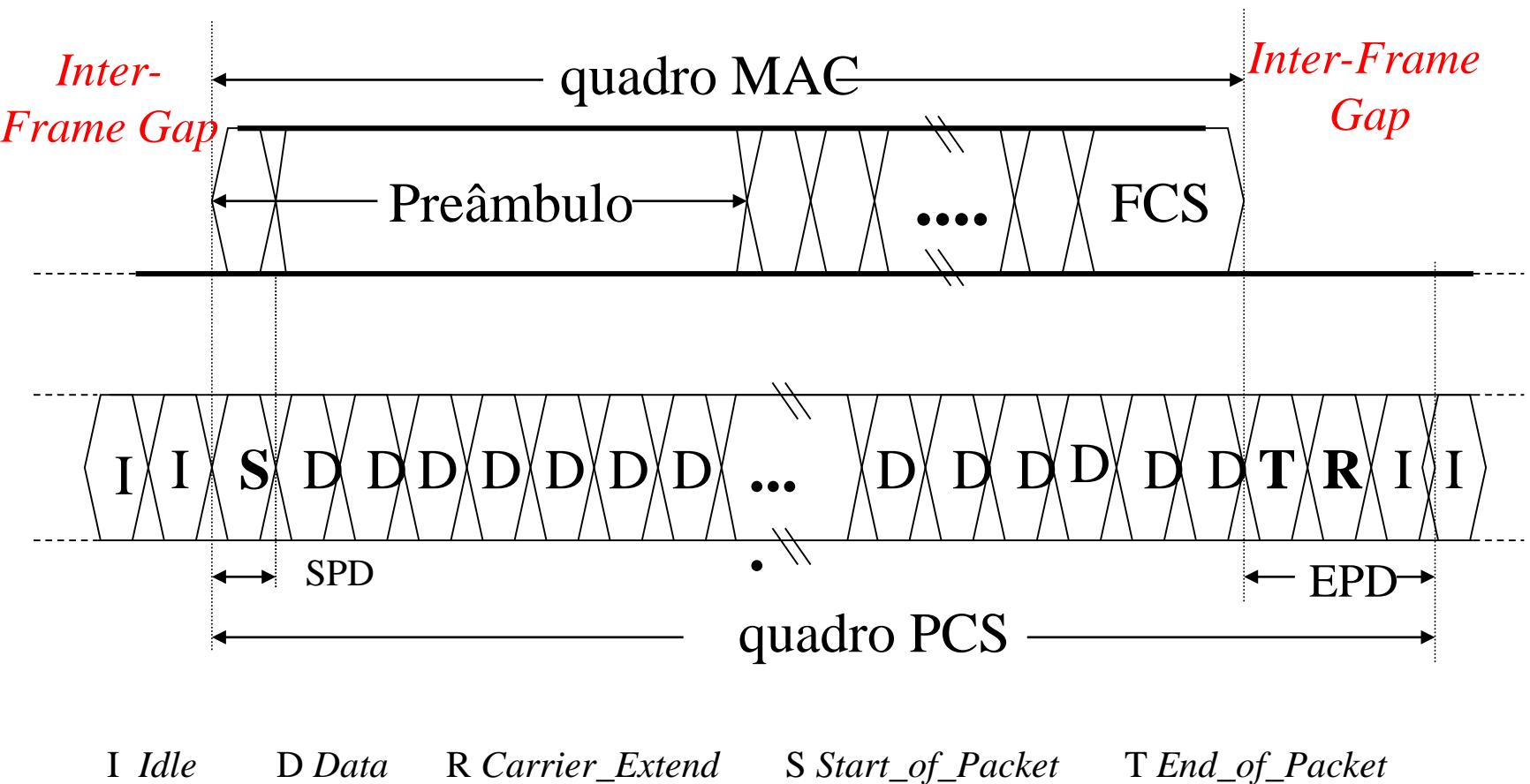
***bits de extensão enviados para garantir portadora ininterrupta na sequência inteira**



SUBCAMADAS FÍSICAS 1000BASE-X



PCS - ENCAPSULAMENTO DO QUADRO MAC



PCS - AUTONEGOCIAÇÃO

FUNÇÃO

- negociar **modos de operação**
 - *half-duplex ou full-duplex*
- testar se o ***link*** está **operacional**
 - detecção de *acknowledgement*
- negociar uso e tipo de **controle de fluxo**
 - sem *Pause*
 - *Pause* assimétrico ou simétrico, etc

Convivência de interfaces 10/100/1000 Mbs

PCS - AUTONEGOTIATION

DISPOSITIVOS COM:

- Mais de uma **taxa de transmissão**;
- Diferentes **modos de duplexação** (*half-duplex* e *full-duplex*);
- Diferentes **padrões de transmissão** a uma mesma taxa de transmissão (na prática, apenas um padrão em cada velocidade é geralmente suportado).

DURANTE A *AUTONEGOTIATION*:

- Cada dispositivo declara suas características tecnológicas, i.e., seus possíveis **modos de operação**.
- O melhor modo mais comum é escolhido
 - taxas mais altas são preferidas,
 - *full-duplex* preferido para uma mesma taxa.

Prioridades

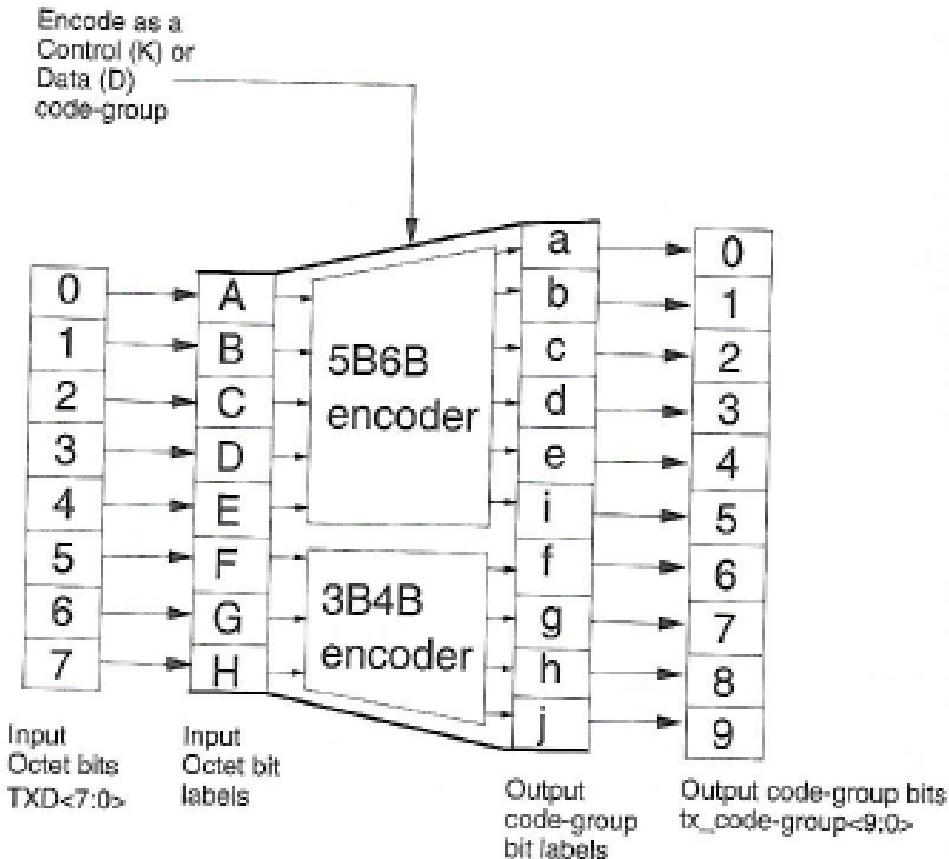
| | | | |
|----|----------|-----|-------------|
| 1 | 40GBASE | -T | full duplex |
| 2 | 25GBASE | -T | full duplex |
| 3 | 10GBASE | -T | full duplex |
| 4 | 5GBASE | -T | full duplex |
| 5 | 2.5GBASE | -T | full duplex |
| 6 | 1000BASE | -T | full duplex |
| 7 | | | half duplex |
| 8 | | -T2 | full duplex |
| 9 | | -TX | full duplex |
| 10 | 100BASE | -T2 | half duplex |
| 11 | | -T4 | half duplex |
| 12 | | -TX | half duplex |
| 13 | 10BASE | -T | full duplex |
| 14 | | | half duplex |

PCS - CODIFICAÇÃO 8B10B

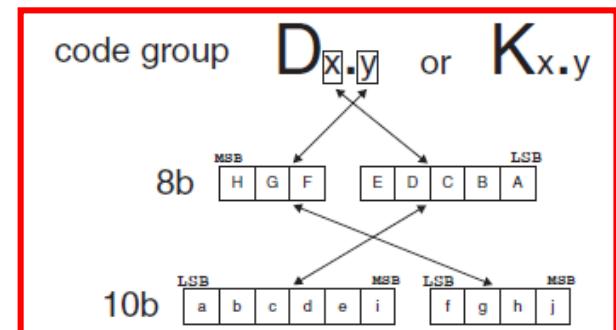


- COMBINAÇÃO ESPECIAL DE CÓDIGOS
 - **3B4B** e **5B6B**
 - maior eficiência na implementação do hardware
- NOMENCLATURA
 - D (dados)
 - K (controle)
 - *comma* (001111xxx)
 - Ex.: K28.5 (0011111010)

PCS - CODIFICAÇÃO 8B/10B



D (dados)
K (controle)



Note: Code bits <0:9> are transmitted serially on the physical media;
code bit 0 is transmitted first and code bit 9 is transmitted last.

CODIFICAÇÃO 8B/10B

256 “Data” Characters:

Table C-1: Valid Data Characters

| Data Byte Name | Bits HGF EDCBA | Current RD - abcdei fghj | Current RD + abcdei fghj |
|----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|
| D0.0 | 000 00000 | 100111 0100 | 011000 1011 |
| D1.0 | 000 00001 | 011101 0100 | 100010 1011 |
| D2.0 | 000 00010 | 101101 0100 | 010010 1011 |
| D3.0 | 000 00011 | 110001 1011 | 110001 0100 |
| D4.0 | 000 00100 | 110101 0100 | 001010 1011 |
| D5.0 | 000 00101 | 101001 1011 | 101001 0100 |
| D6.0 | 000 00110 | 011001 1011 | 011001 0100 |
| D7.0 | 000 00111 | 111000 1011 | 000111 0100 |
| D8.0 | 000 01000 | 111001 0100 | 000110 1011 |
| D9.0 | 000 01001 | 100101 1011 | 100101 0100 |
| ⋮ | | | |
| D31.7 | 111 11111 | 101011 0001 | 010100 1110 |

CODIFICAÇÃO 8B/10B

Comma Characters

“The only patterns that have 5 consecutive ‘1’s or ‘0’s”

Table C-2: Valid Control K Characters

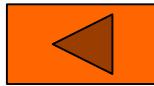
| Special Code Name | Bits HGF EDCBA | Current RD – abcdei fghj | Current RD + abcdei fghj |
|----------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|
| K28.0 | 000 11100 | 001111 0100 | 110000 1011 |
| K28.1 | 001 11100 | 001111 1001 | 110000 0110 |
| K28.2 | 010 11100 | 001111 0101 | 110000 1010 |
| K28.3 | 011 11100 | 001111 0011 | 110000 1100 |
| K28.4 | 100 11100 | 001111 0010 | 110000 1101 |
| K28.5 | 101 11100 | 001111 1010 | 110000 0101 |
| K28.6 | 110 11100 | 001111 0110 | 110000 1001 |
| K28.7 ⁽¹⁾ | 111 11100 | 001111 1000 | 110000 0111 |
| K23.7 | 111 10111 | 111010 1000 | 000101 0111 |
| K27.7 | 111 11011 | 110110 1000 | 001001 0111 |
| K29.7 | 111 11101 | 101110 1000 | 010001 0111 |
| K30.7 | 111 11110 | 011110 1000 | 100001 0111 |

CODIFICAÇÃO 8B/10B

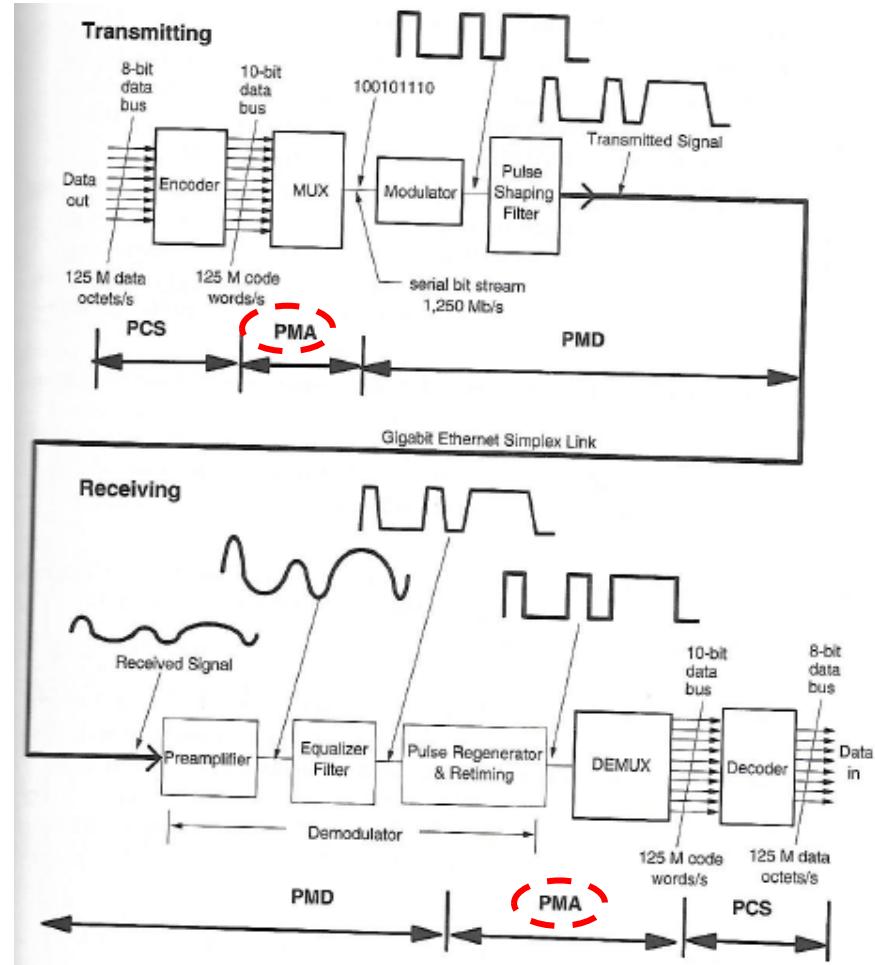
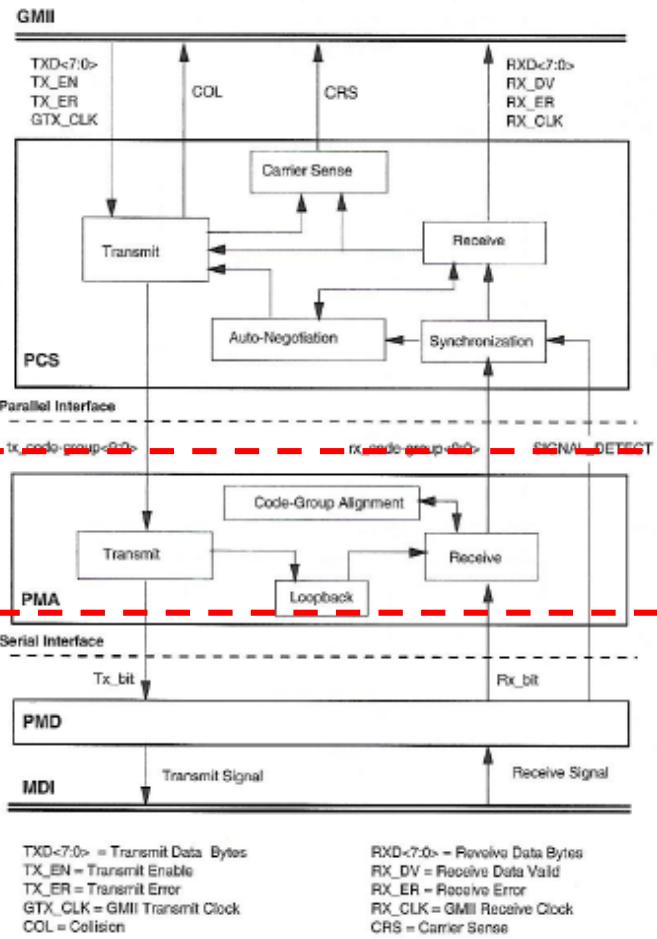
CARACTERES K

| | |
|------------------|--|
| 0101010011011001 | 110000010101101110100101001001110100110011001001110100111001 |
| ??? | K28.5 D16.2 D31.3 D11.3 D0.0 |

- *Idle 1 (corrigindo)* /K28.5/D.5.6/
- *Idle 2 (preservando)* /K.28.5/D.16.2/
- *Carrier Extend* /K23.7/
- *Start_of_Packet* /K27.7/
- *End_of_Packet* /K.29.7/



PMA - PARALELIZAÇÃO/SERIALIZAÇÃO



PMD – INTERFACES 1000BASE-X

■ FIBRA ÓPTICA

- 1000BASE-SX (*Short reach*)
 - p.ex., cabeação horizontal em prédios
- 1000BASE-LX (*Long reach*)
 - cabeação *backbone* em prédios, campus etc
- Transceptores ópticos 1000Base-X

■ CABEAÇÃO METÁLICA

- 1000BASE-CX
 - interconexão de *clusters* de equipamentos
- 1000BASE-T/IEEE 802.3ab

1000BASE-SX

(lasers 770-860 nm)

■ MMF 62,5μm

■ Alcance

- 220m
- 275m

@ banda modal

- 160 MHz.km (**TIA-EIA568**)
- 200 MHz.km (**ISO-IEC 11801**)

■ MMF 50μm

■ Alcance

- 500m
- 550m

@ banda modal

- 400 MHz.km
- 500 MHz.km (**ANSI Fiber Channel**)

SX (Short reach) 1000BASE-SX com lasers 770-860 nm



1000BASE LX (lasers 1270-1335 nm)

■ LIMITAÇÃO COM **FIBRAS MMF**

■ causa

■ *Differential Mode Delay* (DMD)

- *jitter* em determinadas combinações **laser + MMF**

■ solução

■ melhoria do receptor

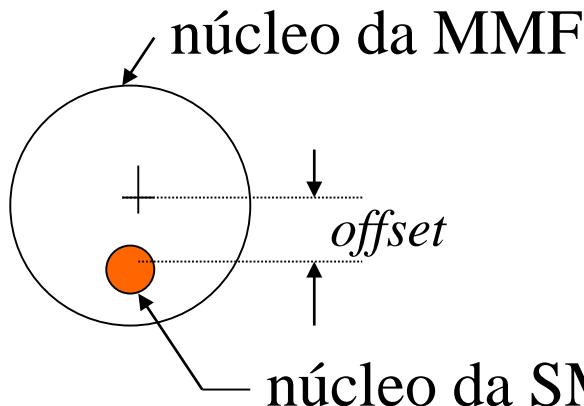
■ laser com cordão de condicionamento (*conditioned launch*)

- condicionador removível (fibra "jumper" / *patch cord*)

LX (Long reach) 1000BASE-LX com lasers 1270-1335 nm

SINGLE MODE OFFSET LAUNCH

■ @ 1000BASE-LX



range $20 \pm 3 \mu\text{m}$ @ MMF $62,5 \mu\text{m}$

$\Rightarrow \text{BW} \geq 500 \text{ MHz}.\text{km}$

range $14 \pm 2 \mu\text{m}$ @ MMF $50 \mu\text{m}$

núcleo da MMF

núcleo da SMF

offset

ALCANCES 1000BASE-LX

(lasers 1270-1335 nm)

SEM CORDÃO DE CONDICIONAMENTO

- **250 m** (MMF 62,5μm)
- **300 m** (MMF 50μm)
- **5km** (SMF 10μm)

COM CORDÃO DE CONDICIONAMENTO

- **550 m**
 - MMF 62,5μm (160/500 MHz.km)
 - MMF 50μm (400/400MHz.km ou 500/500MHz.km)

ALCANCES GbE 1000BASE-X

| Tipo de fibra | Banda Modal (MHz.km) (SX/LX) | Distância (m) (SX/LX) | Observação |
|--|---------------------------------|-----------------------|----------------------|
| 62,5 MMF | 160/500 | 220/550 | TIA 568 (FDDI) |
| 62,5 MMF | 200/500 | 275/550 | ISO/IEC 11801 |
| 50 MMF | 400/400 | 500/550 | |
| 50 MMF | 500/500 | 550/550 | <i>Fiber Channel</i> |
| SMF | n/a | na/5000 | |
| SX (<i>Short reach</i>) 1000BASE-SX com lasers 770-860 nm | | | |
| LX (<i>Long reach</i>) 1000BASE-LX com lasers 1270-1335 nm | | | |



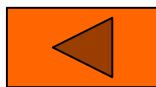
TRANSCEPTORES GbE 1000BASE-X

TRANSCEPTORES 1000BASE-SX

- operação apenas com **fibra MMF** (50 µm ou 62,5 µm)
 - não compatíveis com fibras **SMF**

TRANSCEPTORES 1000BASE-LX

- podem operar com fibra **MMF** ou **SMF**
- maiores alcances que 1000BASE-SX com MMF e condicionamento de modos
 - sem cordão de condicionamento alcance ≤ 300 m
- mais caros
- custo adicional do cordão de condicionamento de modos



1000BASE-CX

SHORT HAUL COPPER PMD

- aplicação

- interconexão de equipamentos numa mesma sala

- alcance

- 25m

- Cabo

- STP balanceado 150 ohms



IEEE 802.3ab (1000BASE-T)

CARACTERÍSTICAS

- 4 pares CAT 5 (@100m EIA/TIA 568A)
- modulação PAM-5
 - 125 Mbauds em cada par
 - 250 Mbps/par (4 níveis do PAM-5)
- codificação FEC
 - Trellis 4D/8 estados (1 nível do PAM-5)
- equalização ($\text{BER}=10^{-10}$)
 - *Pulse Shaping*
 - *Digital Signal Processors* (DSP)

TRANSMISSÃO FULL-DUPLEX

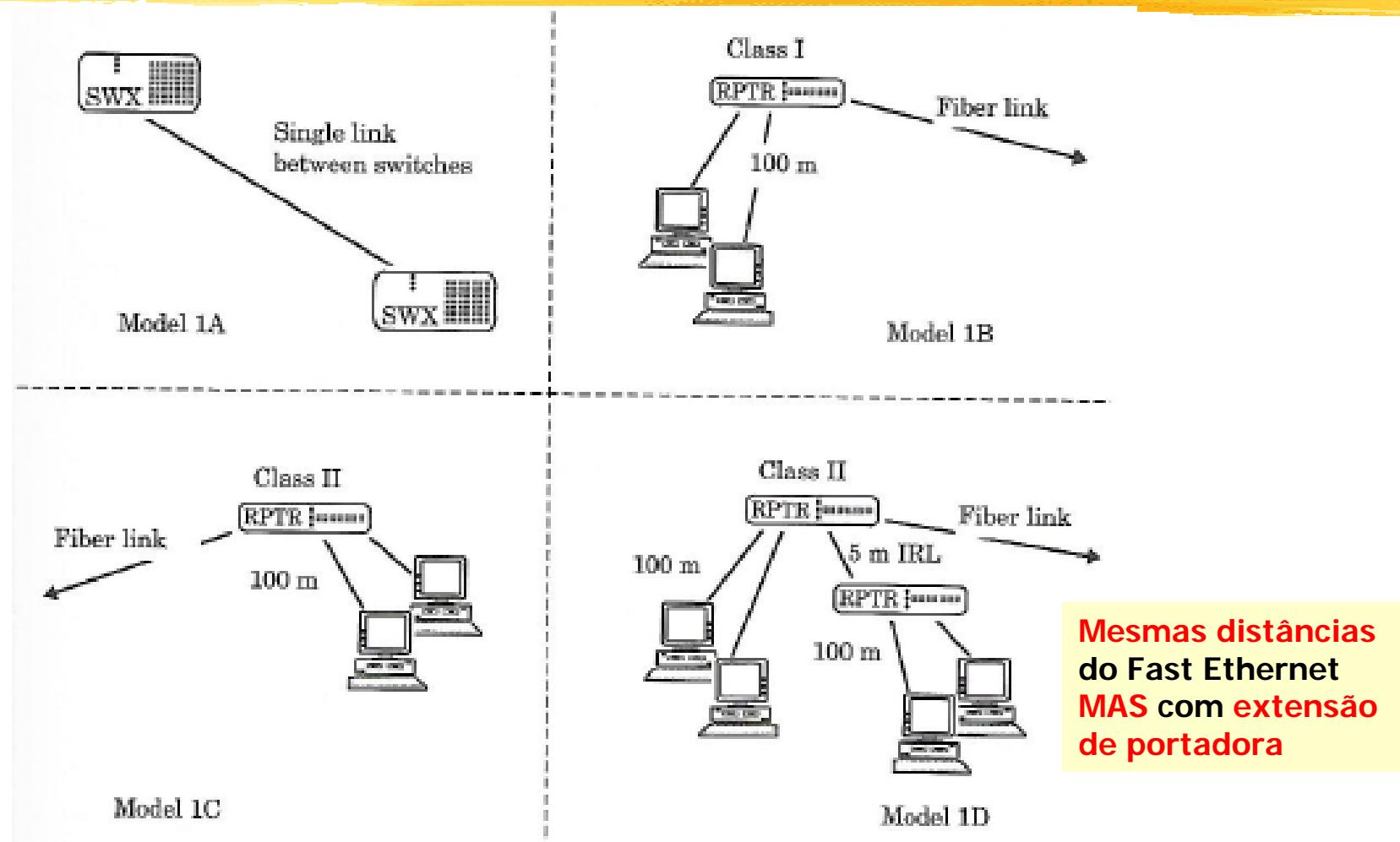
- híbridas (filtragem)
- canceladores de eco

IEEE 802.3ab (1000BASE-T)

■ CORREÇÕES DA CABEAÇÃO CAT 5

- uso de *patch cables* de alto desempenho
- redução do número de conectores no *link*
- re-conectorização de alguns ou todos conectores do *link*

DOMÍNIO DE COLISÃO ÚNICO

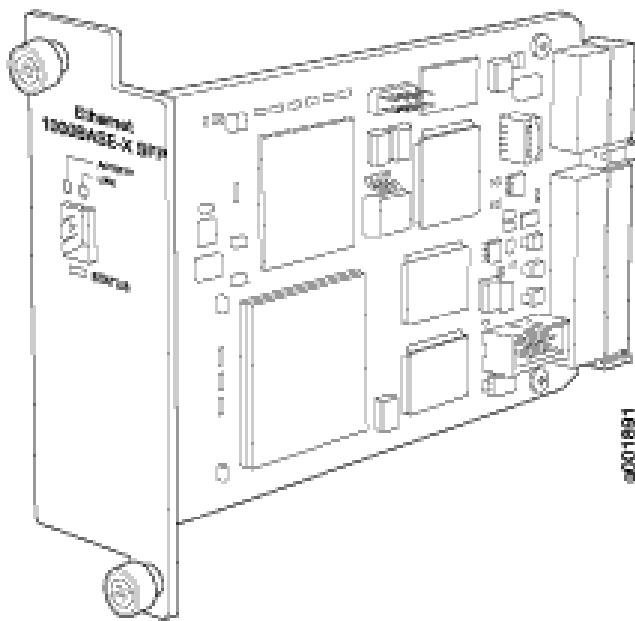


DISTÂNCIAS 10/100/1000 ETHERNET

| Standard | Standard First Released | Data Rate | Topology | Medium | Maximum Cable Segment Length in Meters | |
|-------------|-------------------------|-----------|----------|--|--|-------------|
| | | | | | Half-Duplex | Full-Duplex |
| 10Base5 | DIX-1980, 802.3-1983 | 10Mb/s | Bus | single 50-ohm coaxial cable (thick Ethernet) (10mm thick) | 500 | n/a |
| 10Base2 | 802.3a-1985 | 10Mb/s | Bus | single 50-ohm RG 58 coaxial cable (thin Ethernet) | 185 | n/a |
| 10Broad36 | 802.3b-1985 | 10Mb/s | Bus | single 75-ohm CATV broadband cable | 1800 | n/a |
| FOIRL | 802.3d-1987 | 10Mb/s | Star | two optical fibers | 1000 | >1000 |
| 1Base5 | 802.3e-1987 | 1Mb/s | Star | two pairs of twisted telephone cable | 250 | n/a |
| 10Base-T | 802.3i-1990 | 10Mb/s | Star | two pairs of 100-ohm Category 3 or better UTP cable | 100 | 100 |
| 10Base-FL | 802.3j-1993 | 10Mb/s | Star | two optical fibers | 2000 | >2000 |
| 10Base-FB | 802.3j-1993 | 10Mb/s | Star | two optical fibers | 2000 | n/a |
| 10Base-FP | 802.3j-1993 | 10Mb/s | Star | two optical fibers | 1000 | n/a |
| 100Base-TX | 802.3u-1995 | 100Mb/s | Star | two pairs of 100-ohm Category 5 UTP cable | 100 | 100 |
| 100Base-FX | 802.3u-1995 | 100Mb/s | Star | two optical fibers | 412 | 2000 |
| 100Base-T4 | 802.3u-1995 | 100Mb/s | Star | four pairs of 100-ohm Category 3 or better UTP cable | 100 | n/a |
| 100Base-T2 | 802.3y-1997 | 100Mb/s | Star | two pairs of 100-ohm Category 3 or better UTP cable | 100 | 100 |
| 1000Base-LX | 802.3z-1998 | 1Gb/s | Star | long wavelength laser (1300nm) over: | | |
| | | | | - 62.5um multi-mode fiber | 316 | 550 |
| | | | | - 50um multi-mode fiber | 316 | 550 |
| | | | | - 10um single mode fiber | 316 | 5000 |
| 1000Base-SX | 802.3z-1998 | 1Gb/s | Star | short wavelength laser (850nm) over: | | |
| | | | | - 62.5um multi-mode fiber | 275 | 275 |
| | | | | - 50um multi-mode fiber | 316 | 550 |
| 1000Base-CX | 802.3z-1998 | 1Gb/s | Star | specialty shielded balanced copper jumper cable assemblies ("twinax" or "short haul copper") | 25 | 25 |
| 1000Base-T | 802.3ab-1999 | 1Gb/s | Star | four pairs of 100-ohm Category 5 or better cable | 100 | 100 |

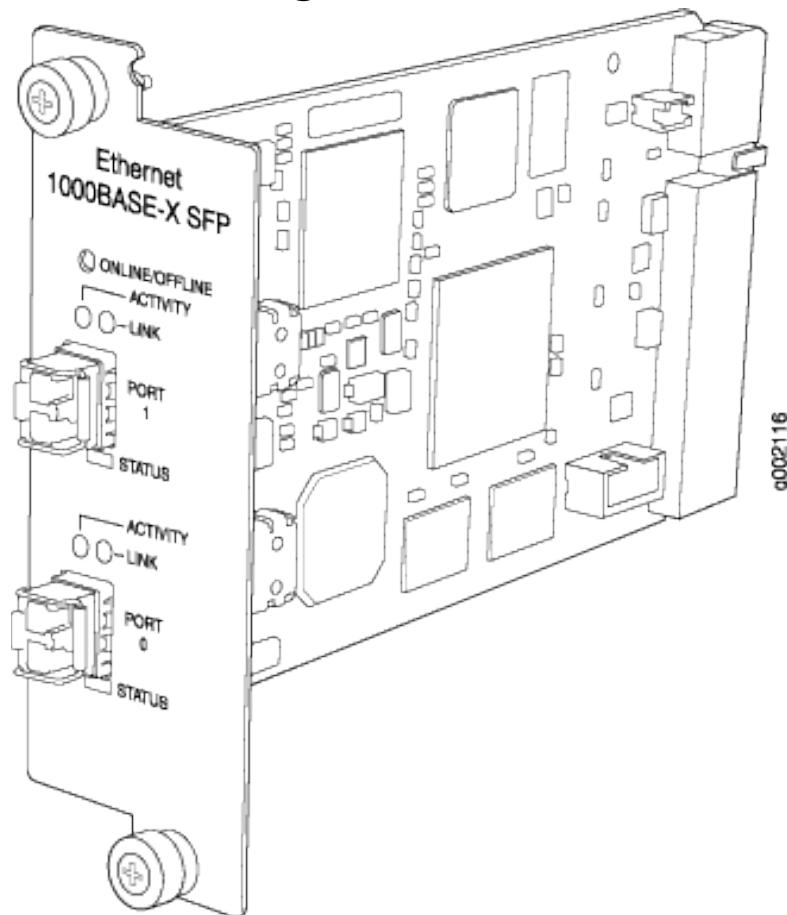
INTERFACES GbE

1-Port Gigabit
Ethernet PIC



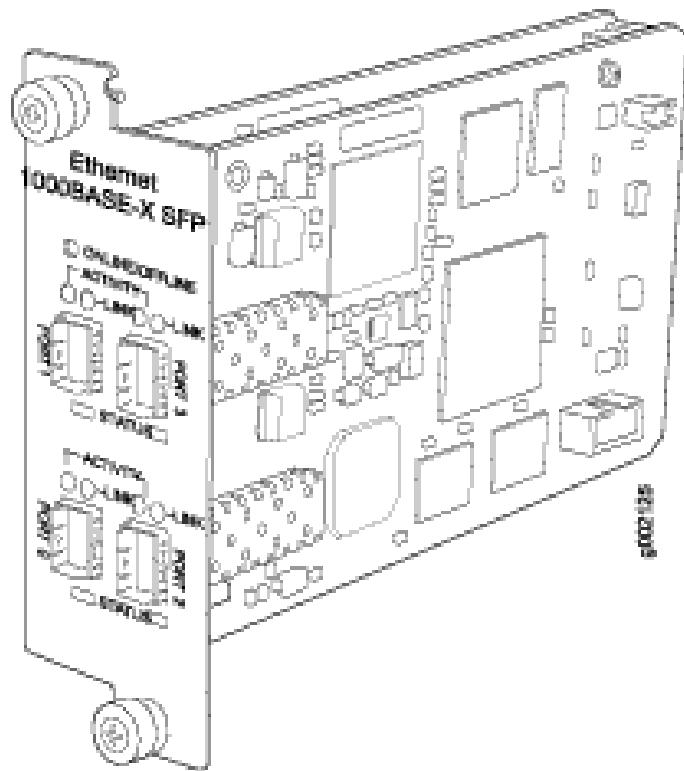
3001891

2-Port Gigabit Ethernet PIC

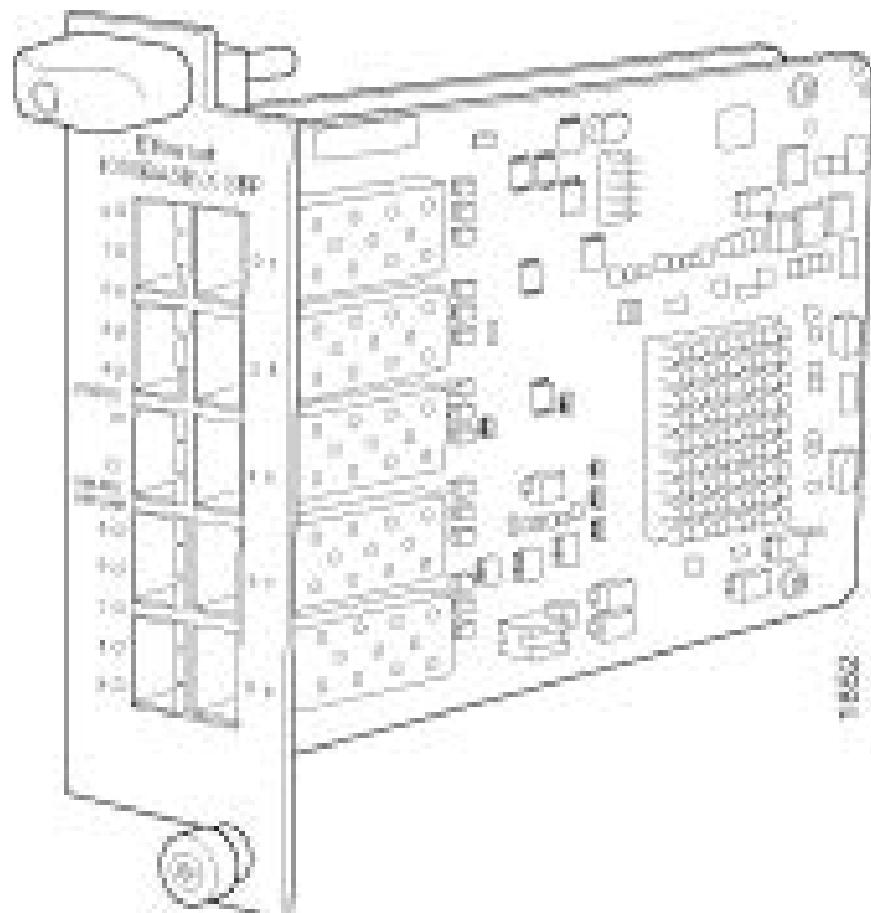


INTERFACES GbE

4-Port Gigabit Ethernet PIC



10-Port Gigabit Ethernet PIC



CISCO'S *OPTICAL GIGABIT ETHERNET SFPs*

Optical Gigabit Ethernet SFP



1000BASE-T Copper SFP



2-Channel 1000BASE-BX
Optical SFP



PMDs

JUNIPER'S GbE PICS

| Flexible, Scalable Connectivity | Platform | Fast Ethernet | 1-Gbps Gigabit Ethernet | 1-Gbps Gigabit Ethernet IQ | | |
|---------------------------------|----------|---------------|-------------------------|----------------------------|--------|--------|
| | 4-Port | 8-Port | 12-Port | 48-Port | 1-Port | 2-Port |

M7i

| | | | | | |
|-------------|-----|-----|-------|---|----|
| Per Chassis | 16 | 32 | 48 | - | 4 |
| Per Rack* | 384 | 768 | 1,152 | - | 96 |

M10i

| | | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|---|----|
| Per Chassis | 32 | 64 | 96 | - | 8 |
| Per Rack | 288 | 576 | 864 | - | 72 |

M40e

| | | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-----|----|
| Per Chassis | 128 | 256 | 384 | 384 | 32 |
| Per Rack | 256 | 512 | 768 | 768 | 64 |

M120

| | | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-------|----|
| Per Chassis | 64 | 128 | 192 | 768 | 16 |
| Per Rack | 256 | 512 | 768 | 3,072 | 64 |

M320

| | | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-------|----|
| Per Chassis | 128 | 256 | 384 | 1,536 | 32 |
| Per Rack | 256 | 512 | 768 | 3,072 | 64 |

T320

| | | | | | |
|-------------|-----|---|-----|-------|----|
| Per Chassis | 64 | - | 192 | 768 | 16 |
| Per Rack | 192 | - | 576 | 2,304 | 48 |

TEMPO DE TRANSFERÊNCIA DVD 7,18 GBytes

| <i>for you to 'Get it'</i> | Minutes | Hours | Days |
|---|-----------|---------------|-----------|
| Modem 56 kbps | | | 13 days |
|  Pony Express | | | 11 days** |
| ISDN 128 kbps | | | 5 ½ days |
| Cable Modem 1.5 Mbps | | 11 hrs 36 min | |
| T-1 1.54 Mbps | | 11 hrs 12 min | |
|  | | 10 hrs | |
| DSL 8.5 Mbps | | 2 hrs 12 min | |
| PON OC-12/32 19.4 Mbps | 53.6 min | | |
|  35 mph | 30 min*** | | |
| Fast Ethernet 100 Mbps | 10.4 min | | |
| Gigabit Ethernet 1000 Mbps | 1 min | | |

* 'The Matrix' DVD 7.18 GB from New York, NY 10005 – delivered to Beverly Hills, CA 90210

** extrapolated from record: 7 days 17 hrs - approx 2,000 miles from St. Joseph, Missouri
to Sacramento, California Lincoln's Inaugural Address, March 4, 1861

*** if you live close – no traffic – it's in stock & there's no line

REFERÊNCIAS



- Cunningham, D. G. e Lane, W. G. – Gigabit Ethernet Networking. McMillan, 1999.

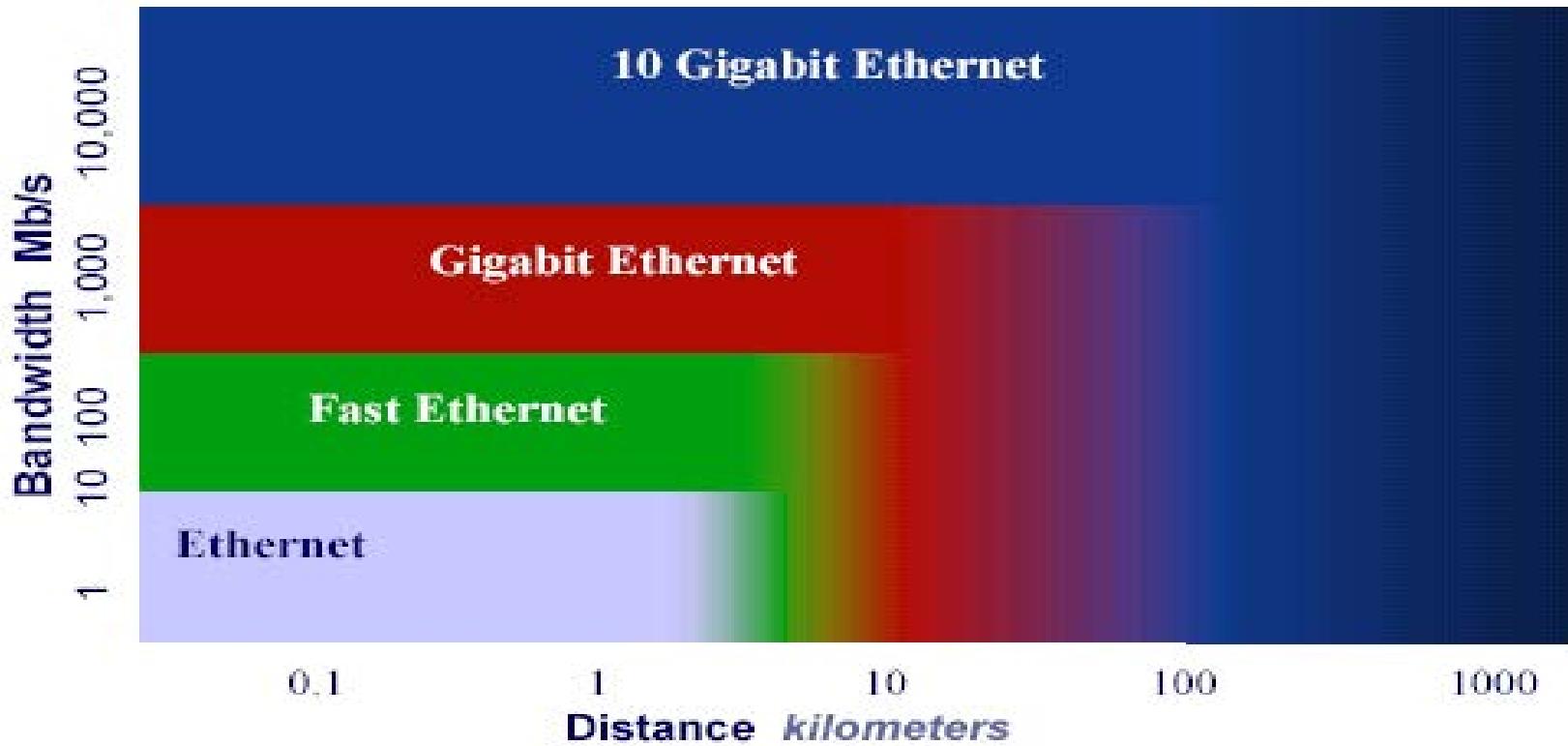
REDES LOCAIS

IEEE 802.3ae



*10 Gigabit Ethernet
(10GbE)*

BANDA X DISTÂNCIA



COMPARAÇÃO IEEE 802.3z/802.3 ae

1 Gigabit Ethernet (GbE)

- CSMA/CD + *Full-Duplex*
- Extensão de portadora
- Meios óptico/cobre
- Baseado em PMD's do Fiber Channel
- Reuso do código **8B/10B**
- Suporta LAN até **5 km**

10 Gigabit Ethernet (10GbE)

- Somente *Full-Duplex*
- Regula a taxa da MAC
- Somente fibra óptica
- Cria **novas PMD's ópticas**
- Novos códigos (**64B/66B**)
- Suporta LAN até **40 km**; usa SONET/SDH como transporte de camada 1

APLICAÇÕES 10GbE

■ LAN

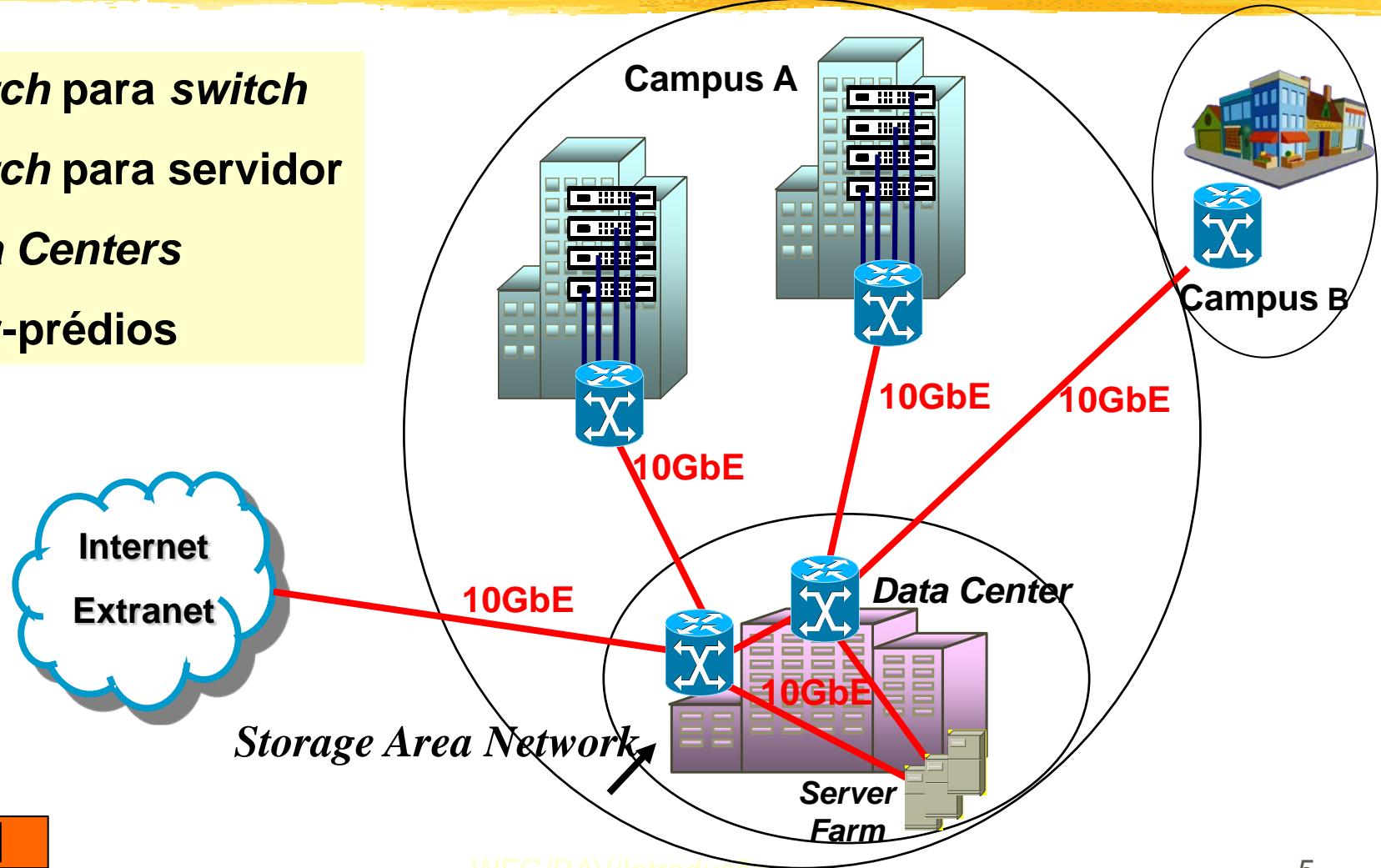
- LAN “hierárquica”
 - Agregação de múltiplos segmentos GbE 1000BASE-X ou 1000BASE-T
- *Data Center*
 - Interconexão de *clusters* de servidores
- *Backbone*- ligações de altíssima velocidade entre *switches*

■ MAN

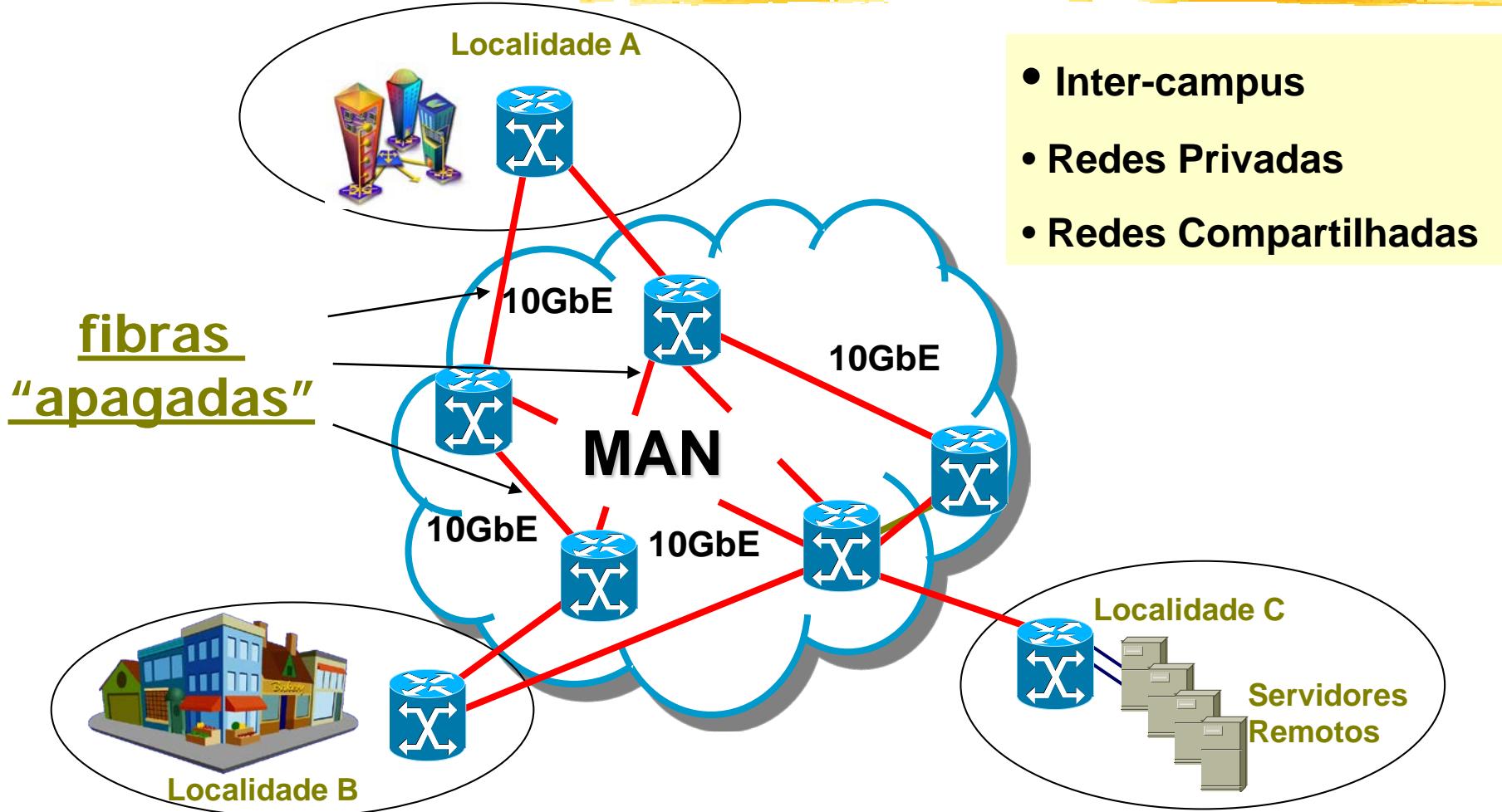
- uso de fibras “apagadas”
- uso de DWDM

LAN 10 GbE

- **Switch para switch**
- **Switch para servidor**
- **Data Centers**
- **Inter-prédios**



MAN 10 GbE



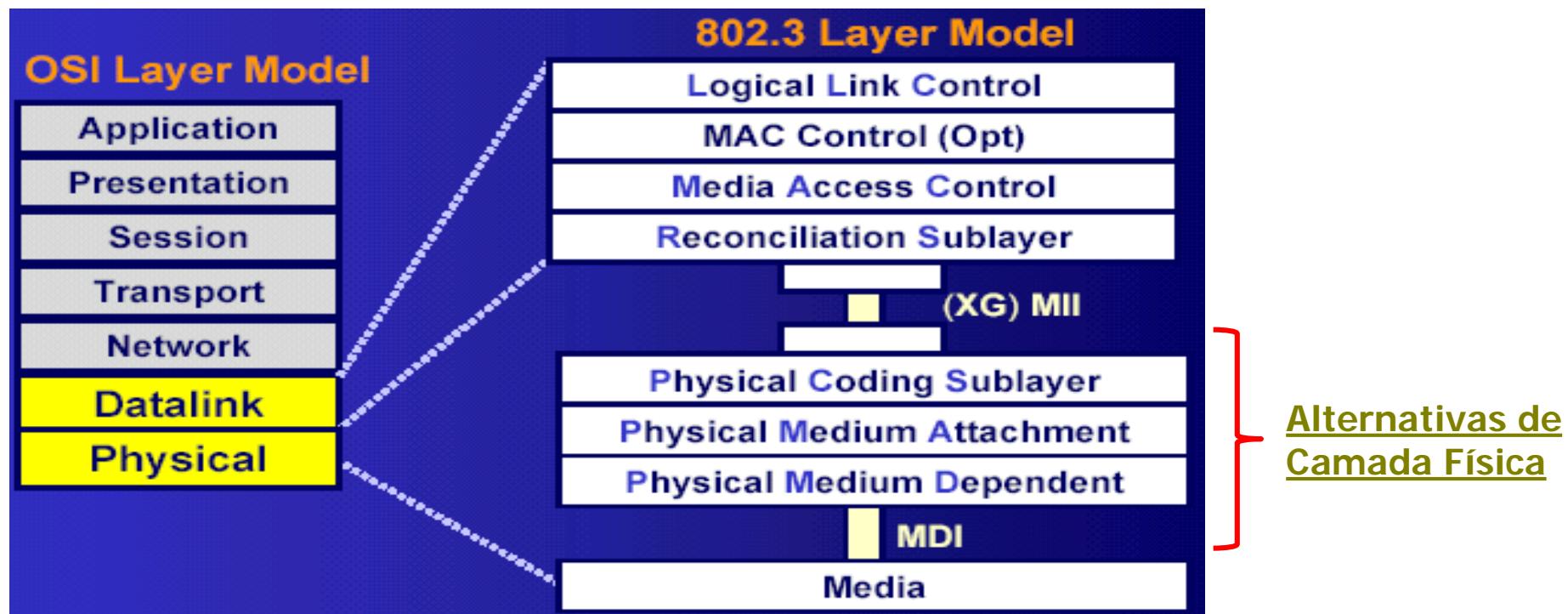
USO DE FIBRA APAGADA



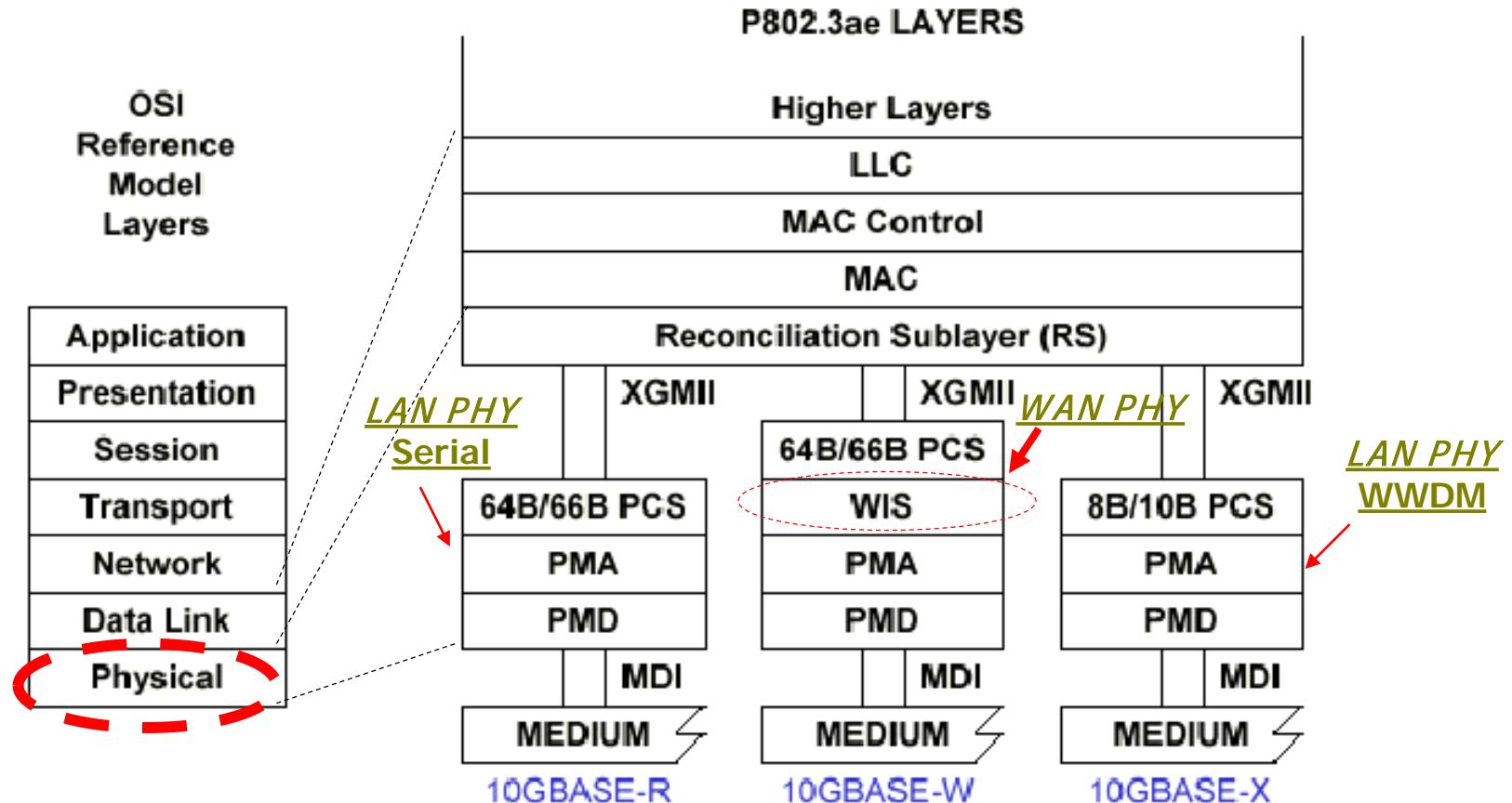
VANTAGENS

- **redução de custos e complexidade**
 - redução do número de elementos de rede
 - redução dos custos dos equipamentos dos níveis inferiores
 - custos operacionais mais baixos
 - arquitetura de rede mais simples
- **variedade na oferta de serviços públicos**
 - Ethernet a 10/100/1000 Mbps

ARQUITETURA GERAL 10GbE



CAMADA FÍSICA 10GbE



MDI = Medium Dependent Interface

XGMII = 10 Gigabit Media Independent Interface

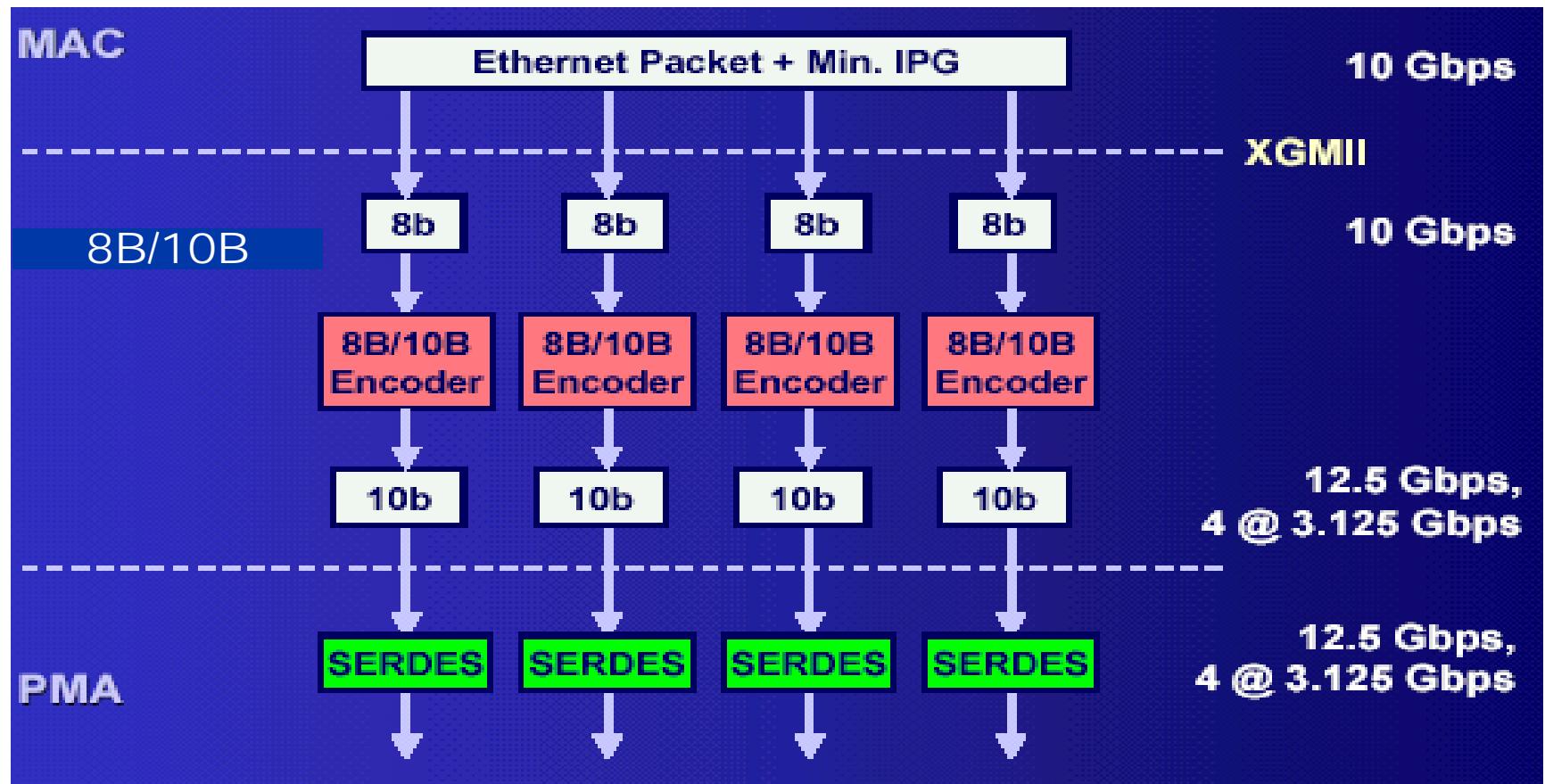
PCS = Physical Coding Sublayer

PMA = Physical Medium Attachment

PMD = Physical Medium Dependent

WIS = WAN Interface Sublayer

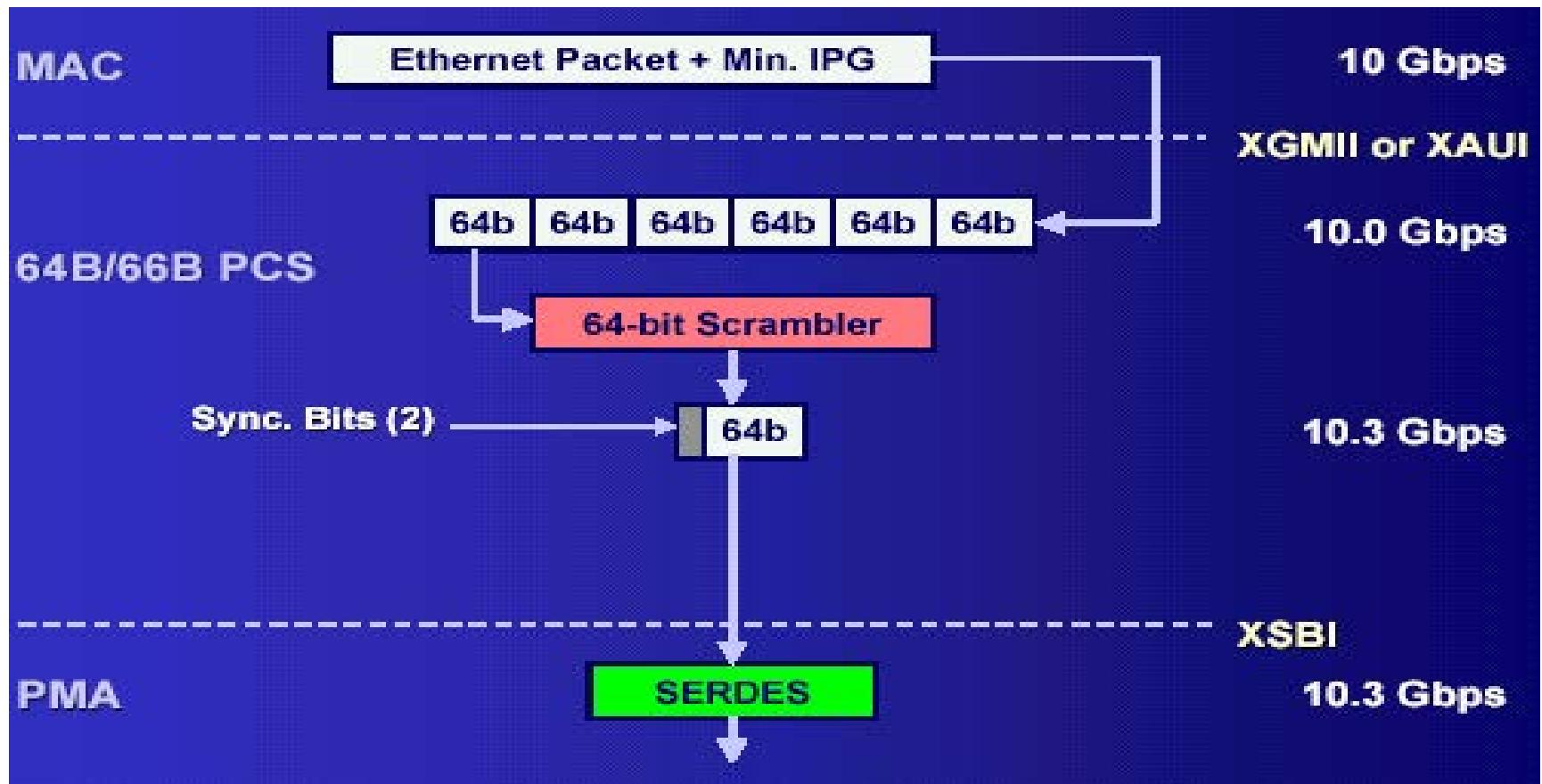
LAN PHY / 10G BASE-X



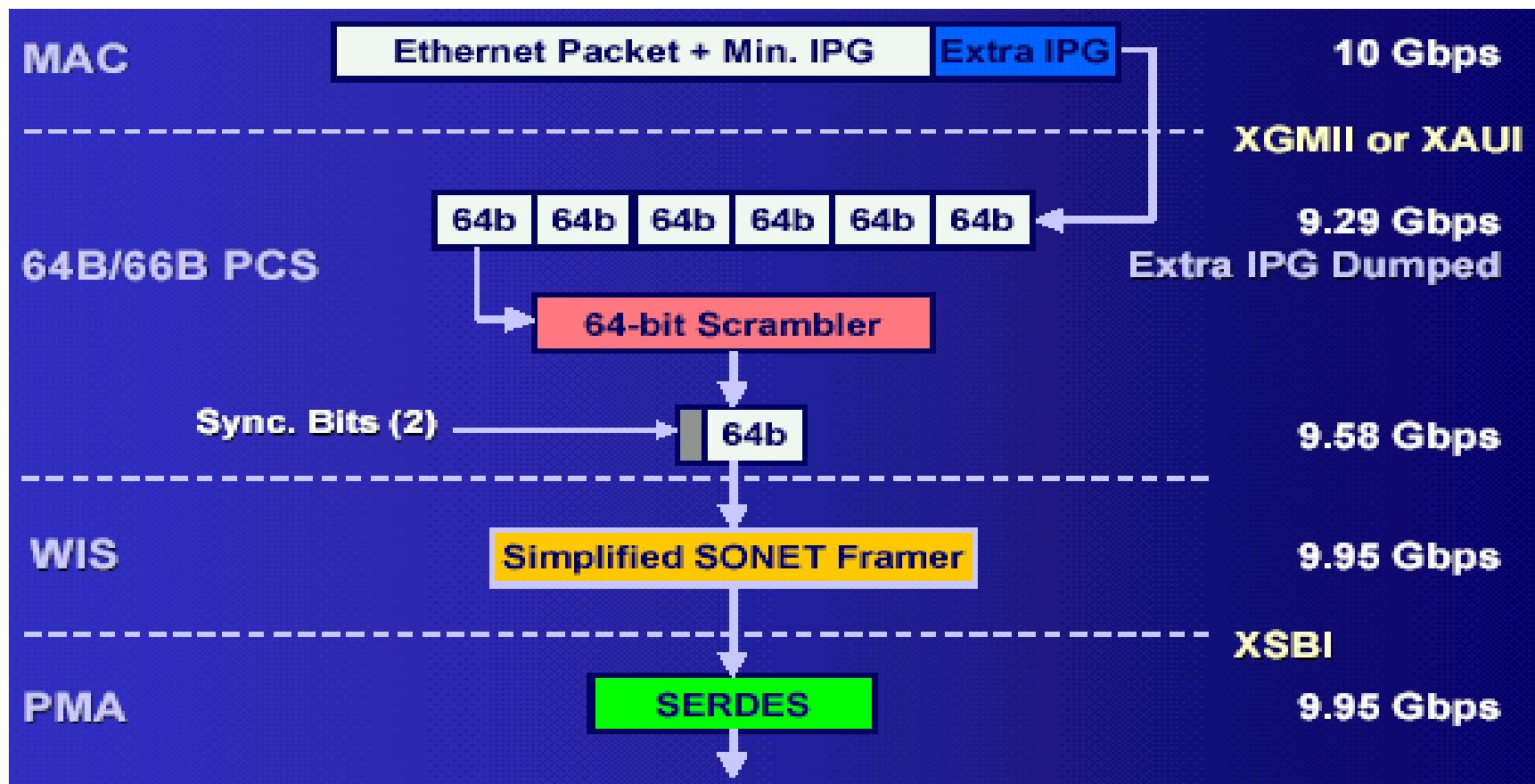
SERDES

Serializer/Deserializer

LAN PHY / 10G BASE-R



10G BASE-W SERIAL

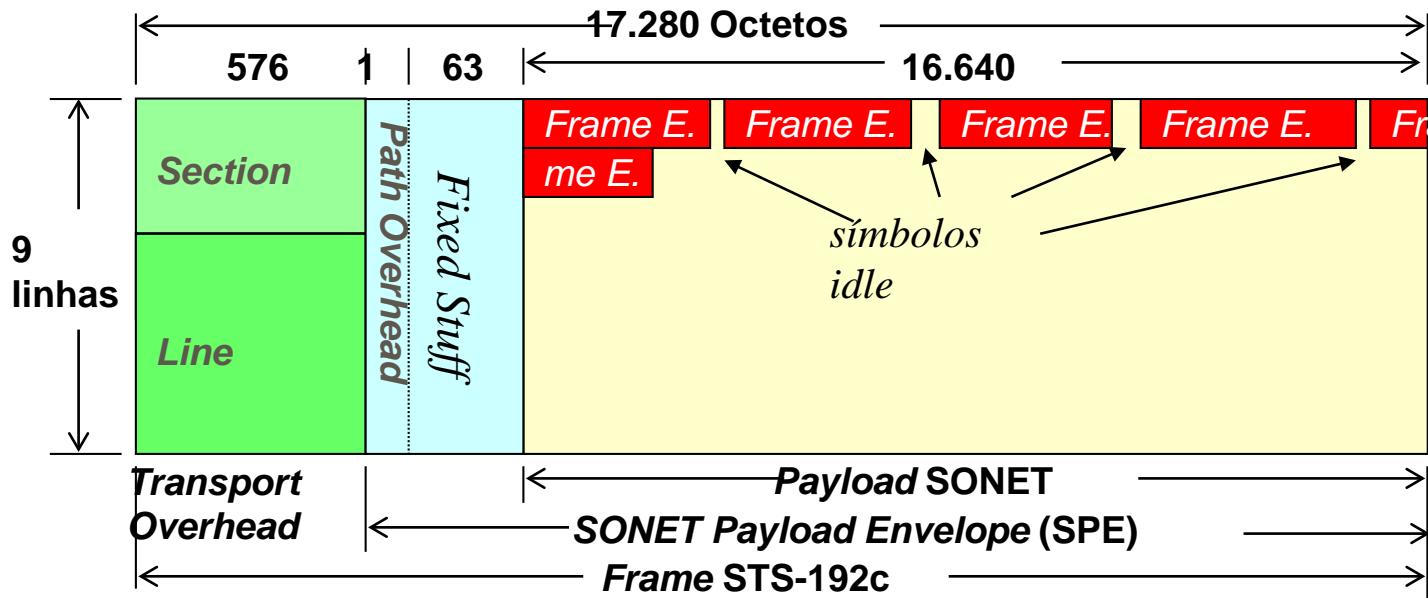


PHY WAN

IMPLEMENTAÇÃO

- ajuste dos 10 Gbps no nível MAC para a taxa de linha do OC-192
= **9,584640 Gbps**
- **formatador SONET/SDH** simplificado na WIS

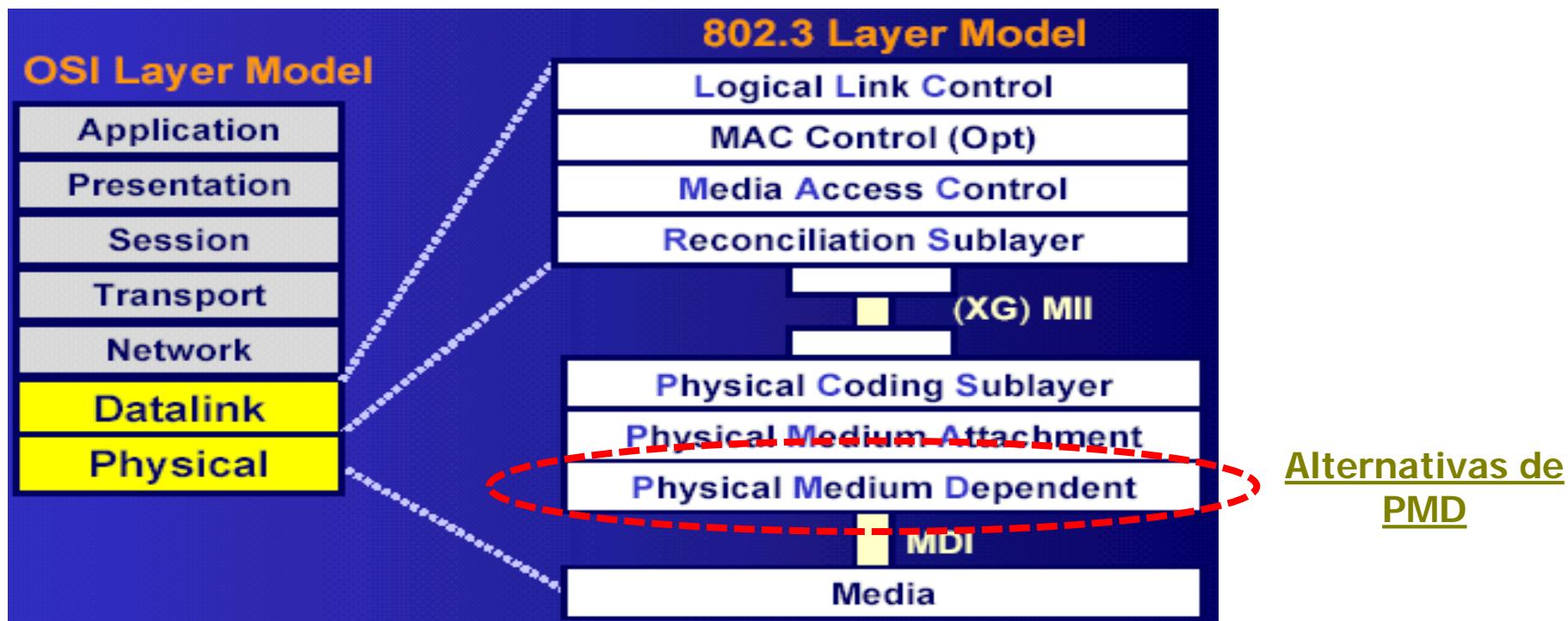
ENCAPSULAMENTO



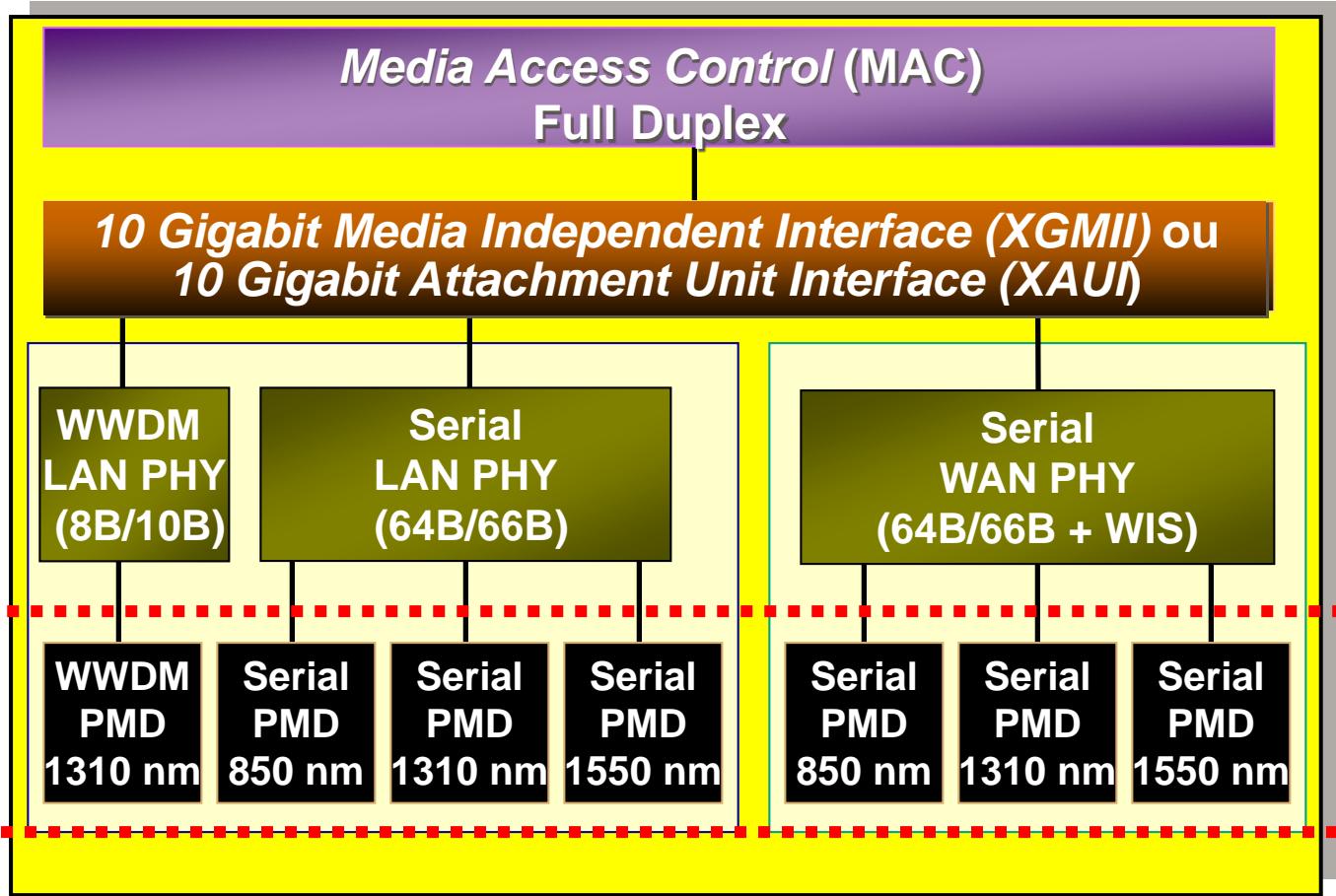
STS-192c = *Synchronous Transport Signal* – nível 192 (c = concatenado)

Ordem de transmissão: cima para baixo, linha-por-linha, esquerda para direita

SUBCAMADA PMD 10GbE



PMD's "ÓPTICAS" 10 GbE



WWDM = Wide WDM ⇔ CWDM = Coarse WDM
PMD = Physical Media Dependent

INTERFACES FÍSICAS “ÓPTICAS” 10 GbE

10GBASE-*xy*

■ ALCANCE DA INTERFACE (x)

- S de *Short reach* (65-300m em MMF) @ 850nm
- L de *Long reach* (10km em SMF) @ 1310nm
- E de *Extended reach* (40km em SMF) @ 1550nm

■ ESQUEMA DE CODIFICAÇÃO (y)

- X para **8B/10B**;
- R para **64B/66B**;
- W para indicar a **subcamada WIS**

CARACTERÍSTICAS DAS INTERFACES FÍSICAS “ÓPTICAS” 10GbE

| Device | 8B/10B PCS | 64B/66B PCS | WIS | 850nm Serial | 1310nm WWDM | 1310nm Serial | 1550nm Serial |
|---------------------------|---------------|----------------|-----|-----------------|----------------|------------------|------------------|
| 10GBASE-SR | | ✓ | | ✓ | | | |
| 10GBASE-SW | | ✓ | ✓ | ✓ | | | |
| 10GBASE-LR | | ✓ | | | | ✓ | |
| 10GBASE-LW | | ✓ | ✓ | | | ✓ | |
| 10GBASE-ER | | ✓ | | | | | ✓ |
| 10GBASE-EW | | ✓ | ✓ | | | | ✓ |
| 10GBASE-LX4 | ✓ | | | | ✓ | | |
| 10GBASE-LRM MMF @ 220m | | X | | | | X | |

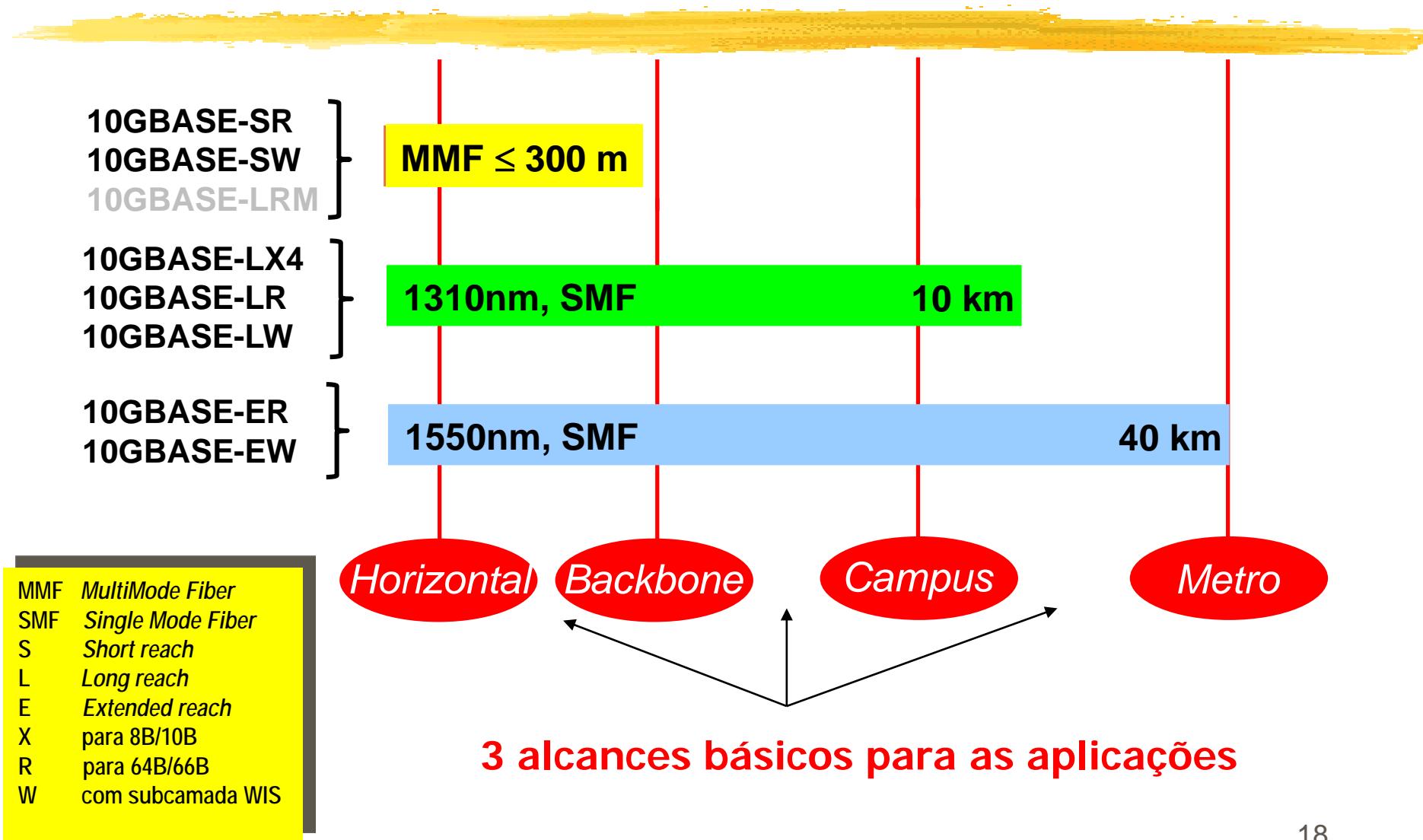
S=Short range L=Long range W =com WDM R=sem WDM

E=Extra-long range LX4 =4 vias seriais internas WWDM= Wide WDM

PCS=Physical Coding Sublayer

WIS = WAN Interface Sublayer

APLICABILIDADE DAS INTERFACES FÍSICAS “ÓPTICAS” 10 GbE



Padrões “Metálicos” 10 GbE

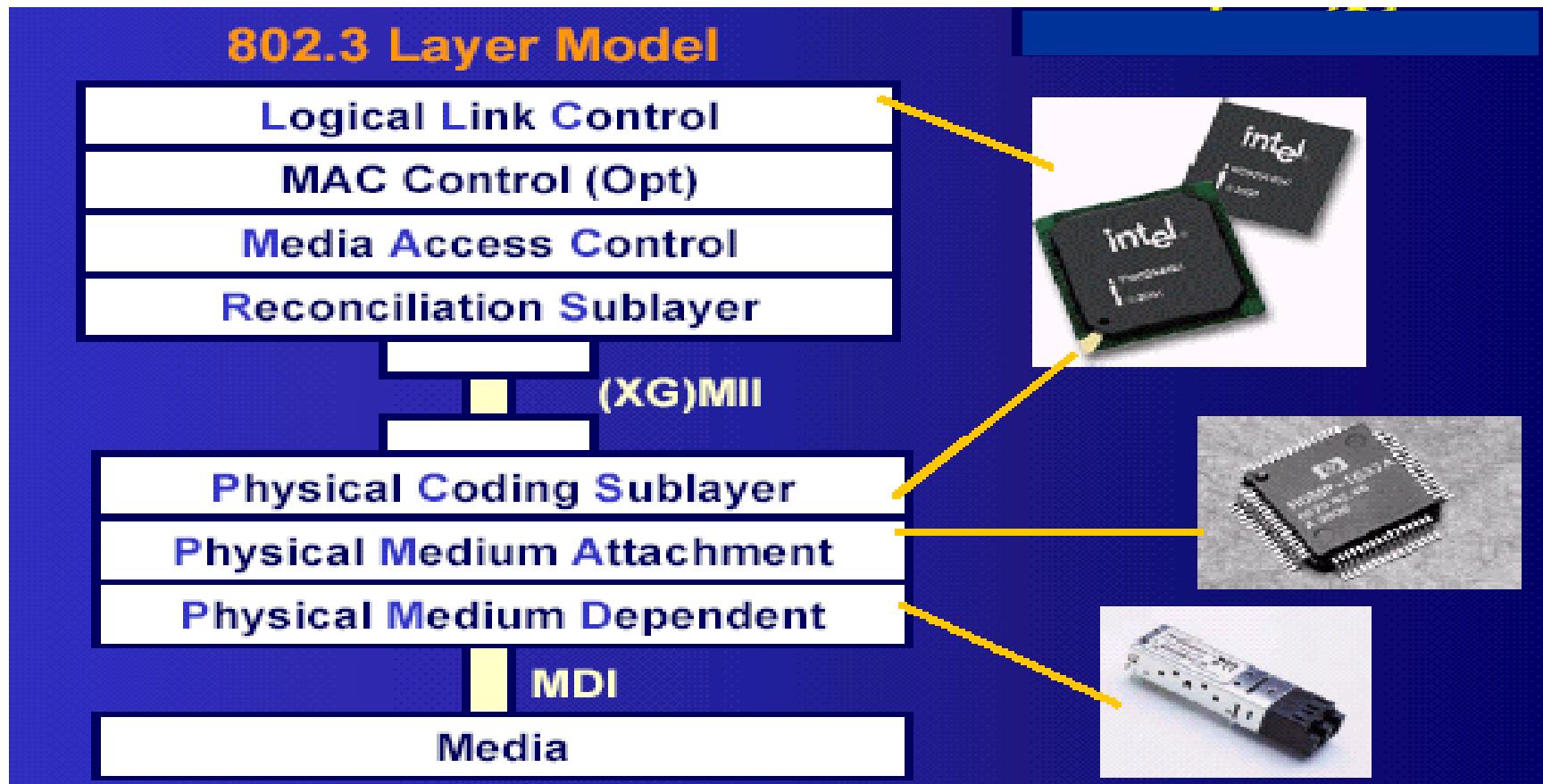
| | |
|---------------------|---|
| 802.3a-1988 | 10BASE2 thin Ethernet |
| 802.3c-1985 | 10 Mb/s repeater specifications |
| 802.3d-1987 | FOIRL 10 Mb/s fiber link |
| 802.3i-1990 | 10BASE-T twisted-pair |
| 802.3j-1993 | 10BASE-F fiber optic |
| 802.3u-1995 | 100BASE-T Fast Ethernet and Auto-Negotiation |
| 802.3x-1997 | Full-duplex standard |
| 802.3z-1998 | 1000BASE-X Gigabit Ethernet |
| 802.3ab-1999 | 1000BASE-T Gigabit Ethernet over twisted-pair |
| 802.3ac-1998 | Frame size extension to 1,522 bytes for VLAN tag |
| 802.3ad-2000 | Link aggregation for parallel links |
| 802.3ae-2002 | 10 Gb/s Ethernet |
| 802.3af-2003 | Power over Ethernet (“DTE Power via MDI”) |
| 802.3ak-2004 | 10GBASE-CX4 10 Gigabit Ethernet over short-range coaxial cable |
| 802.3an-2006 | 10GBASE-T 10 Gigabit Ethernet over twisted-pair |
| 802.3as-2006 | Frame expansion to 2,000 bytes for all tagging |
| 802.3aq-2007 | 10GBASE-LRM 10 Gigabit over long-range fiber optic |
| 802.3az-2010 | Energy-efficient Ethernet |
| 802.3ba-2010 | 40 Gb/s and 100 Gb/s Ethernet |
| P802.3cp -2018 | Bidirectional 10 Gb/s, 25 Gb/s, and 50 Gb/s Optical Access PHYs |

Padrões “Metálicos” 10 GbE

| Cabling Standard | Cabling Type | Max Reach |
|------------------|----------------------------|-----------|
| 10GBASE-SR | 62.5µm OM3 multimode fiber | 300m |
| | 50µm OM4 multimode fiber | 400m |
| 10GBASE-LR | 9µm single-mode fiber | 10km |
| 10GBASE-DD | 2m, 5m, 10m, 20m | ~100m |

| | | |
|-------------|---------------------------------|-----------------|
| 10GBASE-T | Cat 6, Cat 6a or 7 twisted pair | 30m |
| 10G DAC/AOC | Copper RJ45 | 1-10m/up to 20m |

IMPLEMENTAÇÃO TÍPICA 10 GbE



Oplink 10GbE SFP+ Transceivers

1310 nm 10 km

Features

- *Transmission distance **up to 10km** (SM fiber)*
- *Operates from a single +3.3V power supply over an operating temperature range of -5°C to +70°C (commercial), -5°C to +85°C (extended), or -40°C to +85°C (industrial)*
- *Compliant with **10GBASE-L** specifications*



Oplink 10GbE SFP+ Transceivers

1310 nm 10 km

Transmitter Performance Characteristics (Over Operating Case Temperature, $V_{cc} = 3.13$ to $3.47V$)

| Parameter | Symbol | Minimum | Typical | Maximum | Units |
|--|-----------------------------|---------|---------|---------|-------|
| Data Rate | B | - | 10.3125 | - | Gb/s |
| Center Wavelength | λ_c | 1260 | 1310 | 1355 | nm |
| Spectral Width | $\Delta\lambda_{20}$ | - | - | 1.0 | nm |
| Average Optical Output Power ¹ | P_{Avg} | -8.2 | - | +0.5 | dBm |
| Optical Modulation Amplitude | P_{OMA} | -5.2 | - | - | dBm |
| Extinction Ratio | ER | 3.5 | - | - | dB |
| Relative Intensity Noise | RIN | - | - | -128 | dB/Hz |
| Side Mode Suppression Ratio | $SMSR$ | 30 | - | - | dB |
| Optical Return Loss Tolerance | - | - | - | -12 | dB |
| Transmitter and Dispersion Penalty @ 10.3125Gb/s | TDP | - | - | 3.2 | dB |
| Average Launch Power of OFF transmitter | P_{OFF} | - | - | -30 | dB |
| Optical Output Eye | Compliant with IEEE 802.3ae | | | | |

¹ Average power figures are informative only, per IEEE 802.3ae

Oplink 10GbE SFP+ Transceivers

1550 nm 40 km



Features

- Multi-rate for *Ethernet* and *Fiber Channel*
- Transmission distance **up to 40km** (SM fiber)
- Operates from a single +3.3V power supply over an operating temperature range of -5°C to +70°C (commercial), -5°C to +85°C (extended), or -40°C to +85°C (industrial)
- Compliant with **10GBASE-E** specifications



Oplink 10GbE SFP+ Transceivers

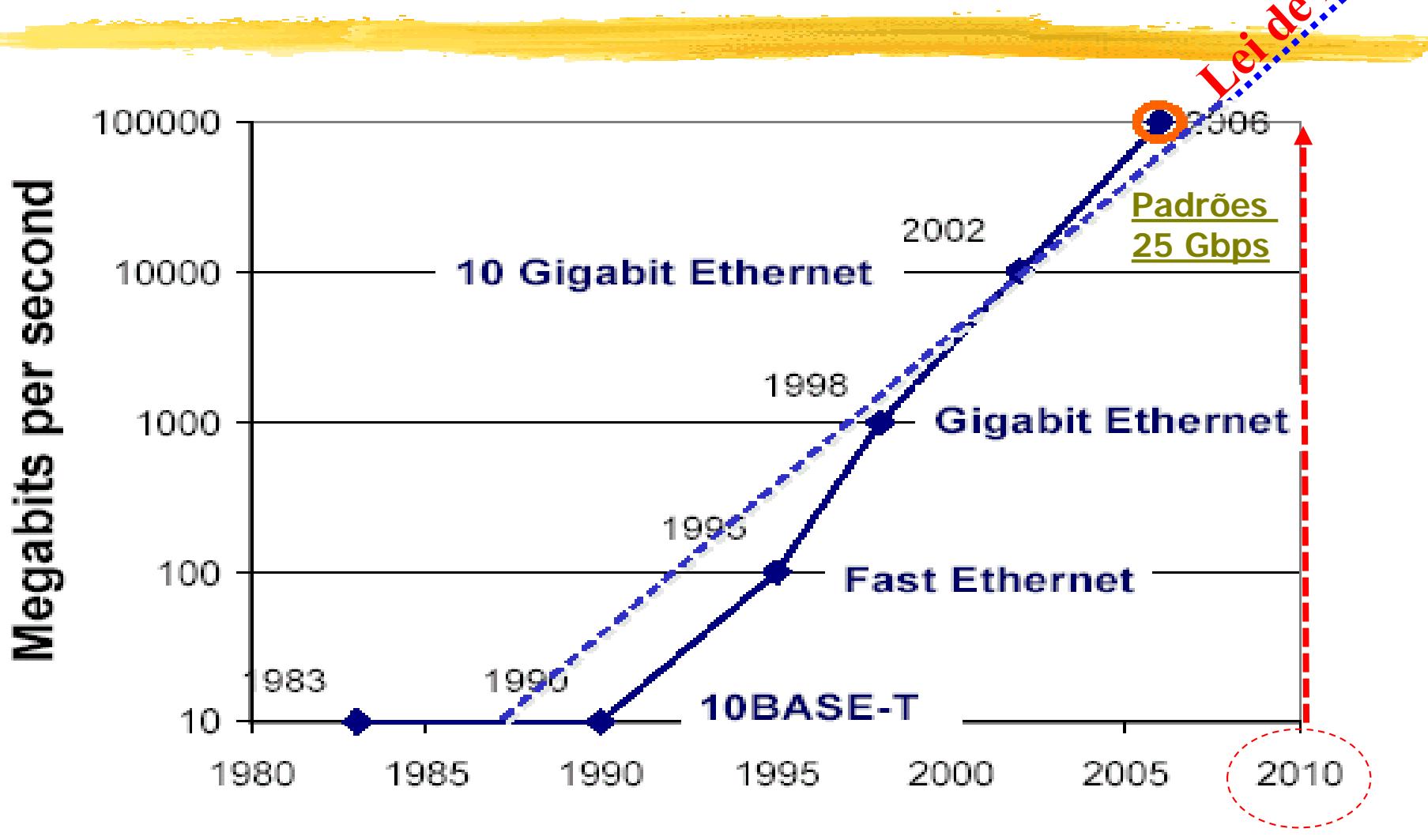
1550 nm 40 km

Transmitter Performance Characteristics (Over Operating Case Temperature, $V_{cc} = 3.13$ to $3.47V$)

| Parameter | Symbol | Minimum | Typical | Maximum | Units |
|--|-----------------------------|---------|---------|---------|-------|
| Data Rate | B | - | 10.3125 | - | Gb/s |
| Center Wavelength | λ_c | 1530 | - | 1565 | nm |
| Average Optical Output Power ¹ | P_{Avg} | -4.7 | - | +4 | dBm |
| Optical Modulation Amplitude | $POMA$ | -1.7 | - | - | dBm |
| Extinction Ratio | ER | 3 | - | - | dB |
| Relative Intensity Noise in OMA | $RIN_{21}OMA$ | - | - | -128 | dB/Hz |
| Side Mode Suppression Ratio | $SMSR$ | 30 | - | - | dB |
| Optical Return Loss Tolerance | - | - | - | -21 | dB |
| Transmitter and Dispersion Penalty @ 10.3125Gb/s | TDP | - | - | 3 | dB |
| Optical Output Eye | Compliant with IEEE 802.3ae | | | | |

¹ Average power figures are informative only, per IEEE 802.3ae.

100 Gbps ?



PADRÕES 25 Gbps

| 25G Optics SFP28 | Type | Media/Reach |
|-----------------------------|-------------------------------------|--|
| All 25G SFP28 Ports | <u>25GBASE-SR</u> | 50µm MMF / 70m |
| | 25GBASE-LR | 9µm SMF / 10km |
| | 25GBASE-AOC | Pre-terminated in 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30m lengths |
| | OM4 MMF MTP/MPO | 150m |
| 25G Copper SFP28 | Type | Media/Reach |
| All 25G SFP28 Ports | 25GBASE-CR Twinax / 'Direct Attach' | Pre-terminated in 1m, 2m, 3m, 5m lengths |

CISCO - PRODUTOS 25GBASE-xy

| Model | Wavelength | Reach | Technology | Price (USD) |
|--|------------|-------|--|--------------|
| 25GBASE-SR SFP28 850nm 100m Module, Cisco... | 850nm | 100m | VCSEL / LC Duplex / MMF / CDR / Commercial | R\$ 206.00 |
| 25GBASE-LR SFP28 1310nm 10km Module, Cisco... | 1310nm | 10km | DFB / LC Duplex / SMF / CDR / Commercial | R\$ 312.00 |
| 25GBASE-ER SFP28 1310nm 30km Module, Cisco... | 1310nm | 30km | DML / LC Duplex / SMF / CDR / Commercial | R\$ 2,218.00 |
| 25GBASE-ER SFP28 1310nm 40km Module, Cisco... | 1310nm | 40km | EML / LC Duplex / SMF / CDR / Commercial | R\$ 6,348.00 |

* Preços em USD

VCSEL *Vertical Cavity Surface Emitting Laser*
DML *Directly Modulated Laser*

DFB *Distributed Feedback laser*
EML *Externally Modulated Laser*

Fonte: www.fs.com/c/25g-sfp28-transceivers-3215 (em 10/03/2021)

OUTROS PRODUTOS 25GBASE-xy

| | | | |
|--|---|--|--|
|  |  |  |  |
| Cisco Juniper +13 | Cisco Juniper +8 | Cisco Arista +5 | Cisco Arista +5 |
| 25GBASE-SR SFP28 850nm 100m Module, Juniper... VCSEL / LC Duplex / MMF / CDR / Commercial R\$ 206.00 | 25GBASE-LR SFP28 1310nm 10km Module, Juniper... DFB / LC Duplex / SMF / CDR / Commercial R\$ 312.00 | 25GBASE-ER SFP28 1310nm 30km Module, Arista... DML / LC Duplex / SMF / CDR / Commercial R\$ 2,218.00 | 25GBASE-ER SFP28 1310nm 40km Module, Arista... EML / LC Duplex / SMF / CDR / Commercial R\$ 6,348.00 |

* Preços em USD

VCSEL *Vertical Cavity Surface Emitting Laser*
DML *Directly Modulated Laser*

DFB *Distributed Feedback laser*
EML *Externally Modulated Laser*

TRANSCEIVER MODULES 100GbE



100G QSFP28

IEEE 802.3 ba



40/100 Gigabit Ethernet

40/100 GbE



■ OBJETIVOS DO PADRÃO

■ APLICABILIDADE INICIAL

■ ARQUITETURA

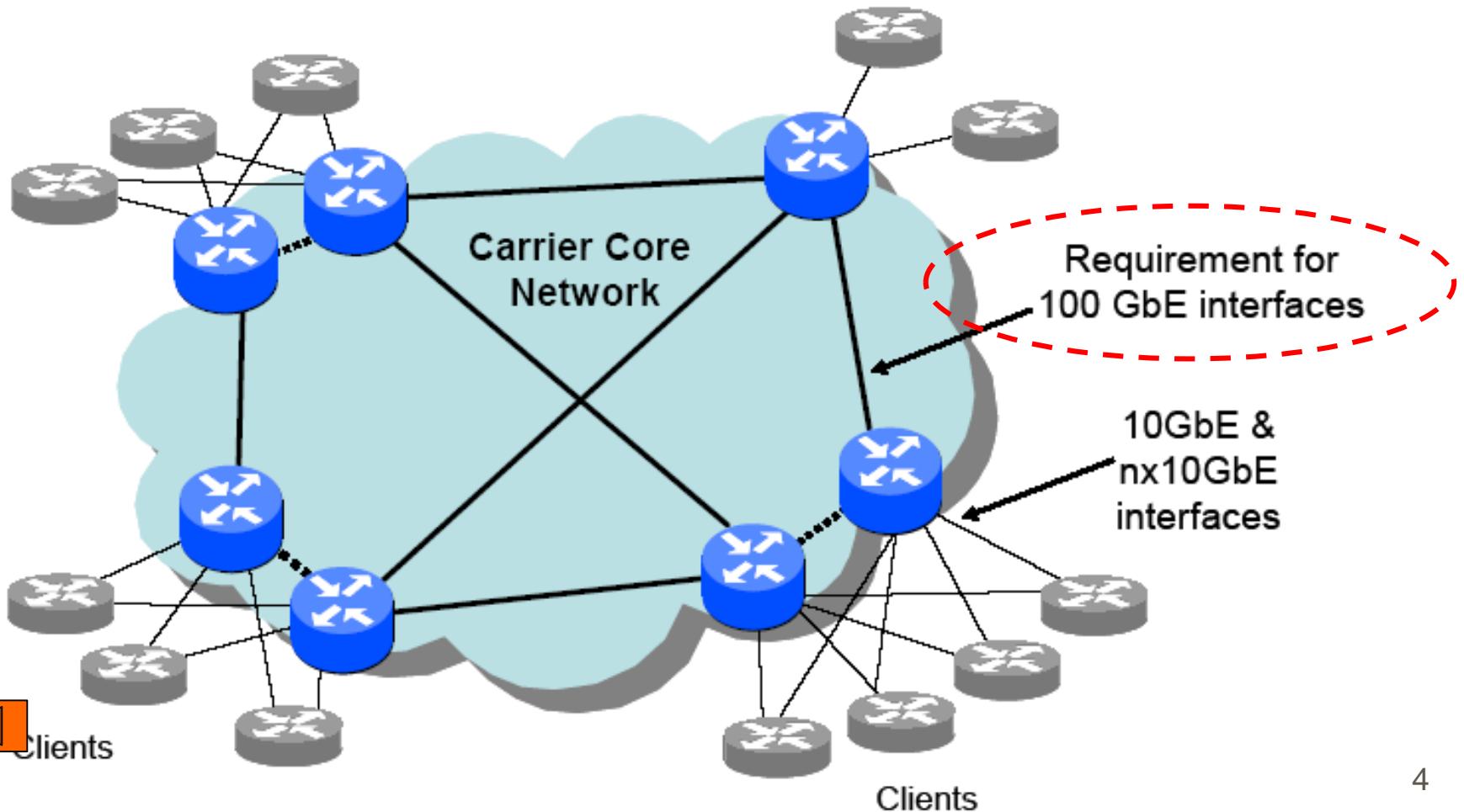
■ INTERFACES FÍSICAS

OBJETIVOS DO IEEE P802.3ba

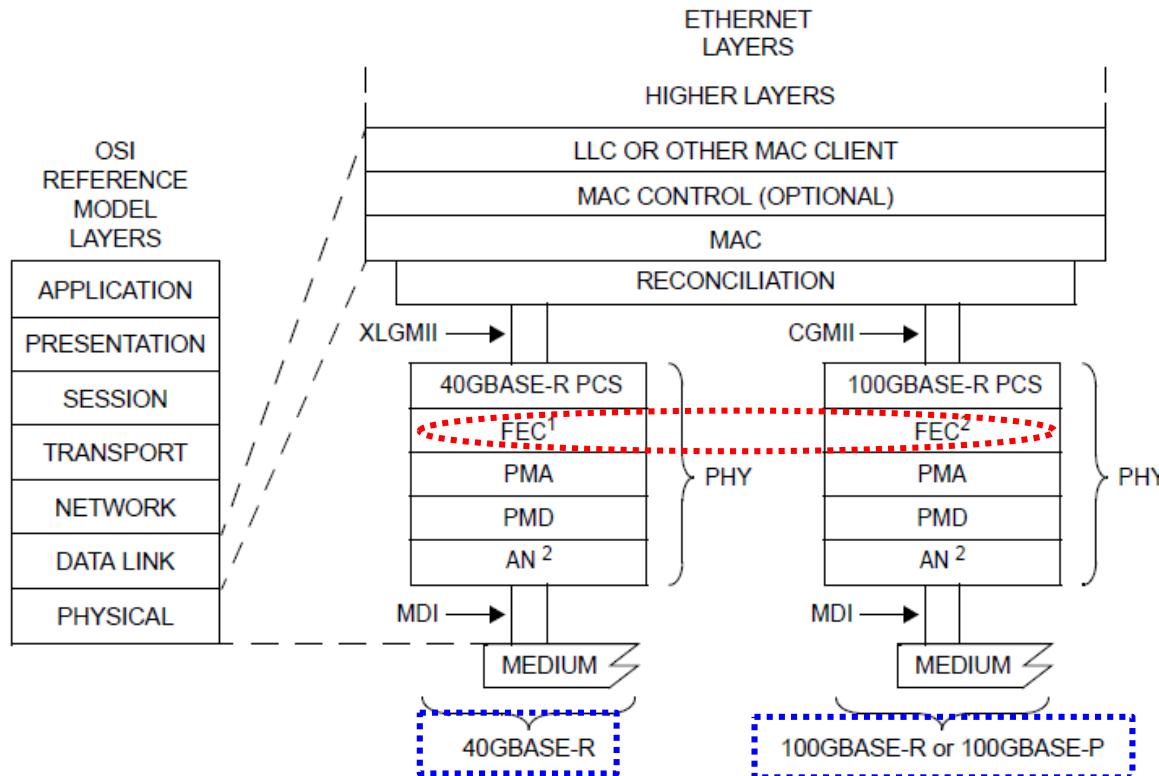
- Suporta apenas operação *full-duplex*
- Preserva o **formato de quadro 802.3** usando a MAC IEEE 802.3
- Preserva os **tamanhos mínimo e máximo** de quadro IEEE 802.3
- Suporta **BER melhor ou igual a 10^{-12}** na interface (MAC/PLS)
- Suporte apropriado para **OTN**
- Suporte para taxa MAC de **40 Gb/s**
 - No mínimo **10km** com SMF
 - No mínimo **100m** com MMF tipo OM3
 - No mínimo **7m** com arranjo de cabo metálico
 - No mínimo **1m** em *backplane*
- Suporte para taxa MAC de **100 Gb/s**
 - No mínimo **40km** com SMF
 - No mínimo **10km** com SMF
 - No mínimo **100m** com MMF tipo OM3
 - No mínimo **7m** com arranjo de cabo metálico

WAN 100 GbE

Backbone de Operadora Telecom ou Provedor ISP



ARQUITETURA 40/100GbE



AN = AUTO-NEGOTIATION

CGMII = 100 Gb/s MEDIA INDEPENDENT INTERFACE

FEC = FORWARD ERROR CORRECTION

LLC = LOGICAL LINK CONTROL

MAC = MEDIA ACCESS CONTROL

MDI = MEDIUM DEPENDENT INTERFACE

PCS = PHYSICAL CODING SUBLAYER

PHY = PHYSICAL LAYER DEVICE

PMA = PHYSICAL MEDIUM ATTACHMENT

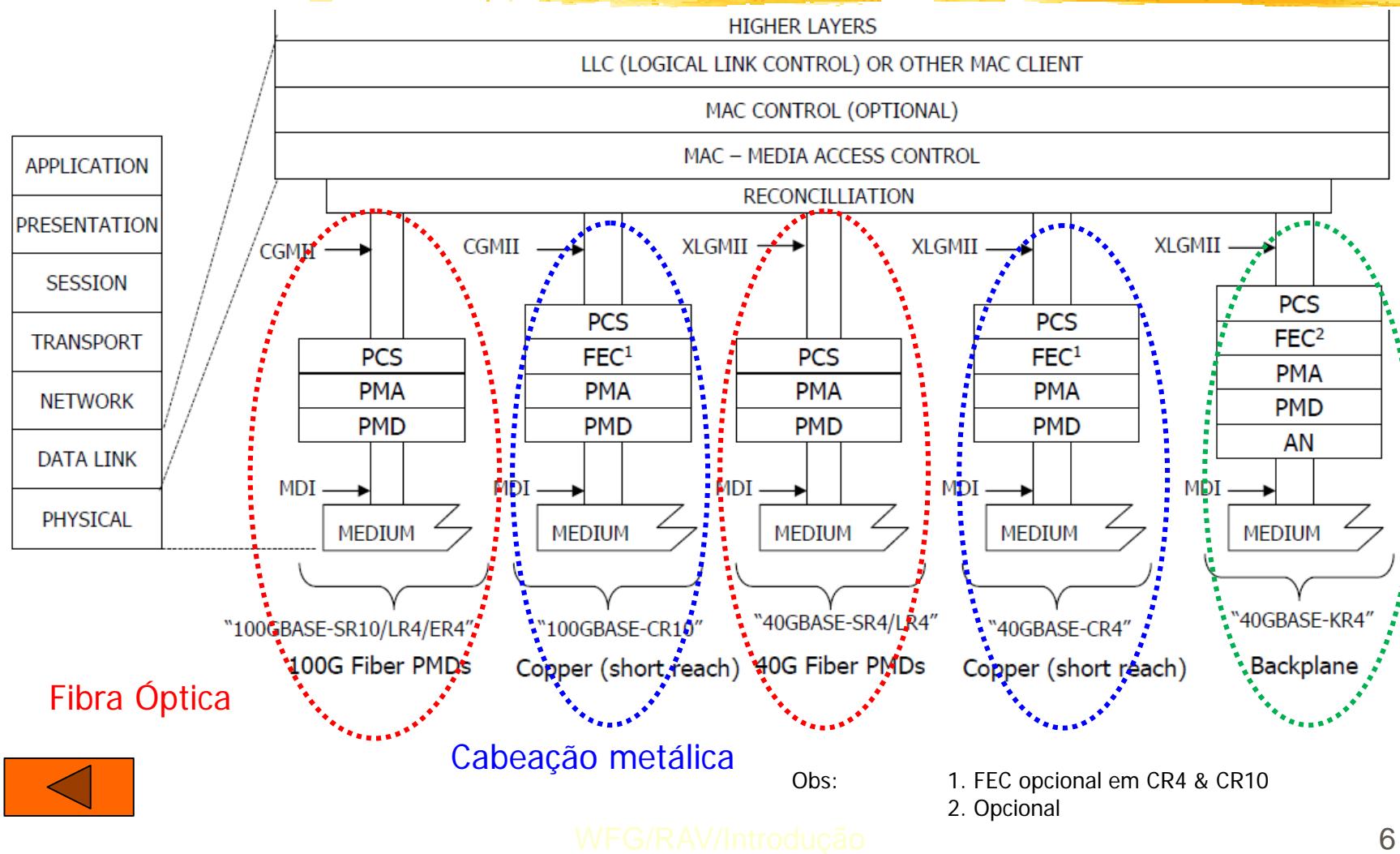
PMD = PHYSICAL MEDIUM DEPENDENT

XLGMII = 40 Gb/s MEDIA INDEPENDENT INTERFACE

NOTE 1—OPTIONAL OR OMITTED DEPENDING ON PHY TYPE

NOTE 2—CONDITIONAL BASED ON PHY TYPE

ARQUITETURA 40/100GbE



Obs:

1. FEC opcional em CR4 & CR10
2. Opcional

INTERFACES FÍSICAS 40/100GbE

| <i>PHY description</i> | <i>Port Type</i> |
|--|------------------|
| 40G <i>Backplane</i> PHY | 40GBASE-KR4 |
| 40G <i>Cable Assembly</i> PHY | 40GBASE-CR4 |
| 40G MMF 100m PHY (<i>Ribbon</i>) | 40GBASE-SR4 |
| 40G SMF 10Km PHY (CWDM) | 40GBASE-LR4 |
| 40G SMF 40Km PHY (CWDM) | 40GBASE-ER4 |
| 100G <i>Cable Assembly</i> PHY | 100GBASE-CR10 |
| 100G MMF 100m PHY (<i>Ribbon</i>) | 100GBASE-SR10 |
| 100G MMF 100m PHY (<i>Ribbon</i>) | 100GBASE-SR4 |
| 100G SMF 10Km PHY (CWDM) | 100GBASE-LR4 |
| 100G SMF 40Km PHY (CWDM) | 100GBASE-ER4 |

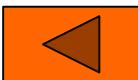
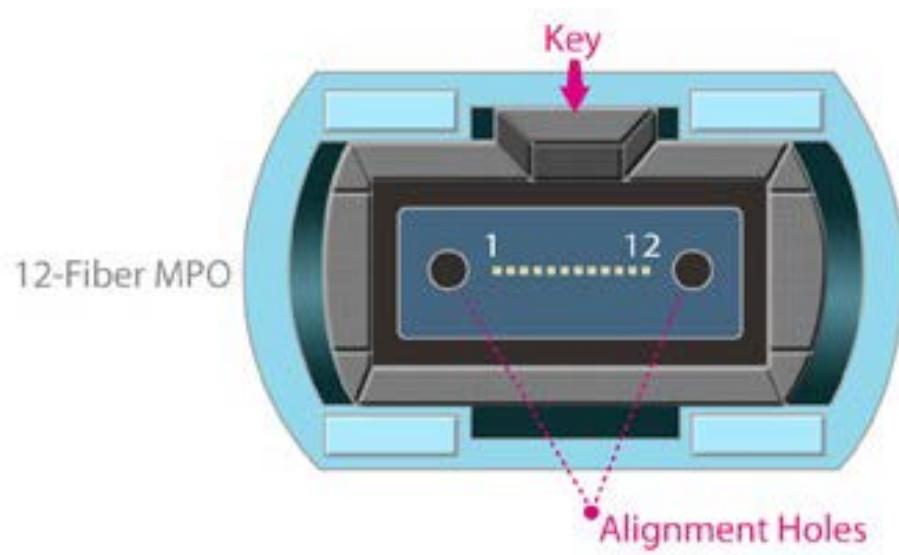
40G & 100G Ethernet (IEEE 802.3ba)

| PMD | Link Distance | Fiber Count and Media Type | Technology | <u>12-f MPO</u> | <u>Multifiber Parallel Systems</u> |
|-----------------------------------|------------------------|----------------------------|---|-----------------|------------------------------------|
| 40GBASE-SR4 | 100 m OM3 150 m OM4 | 8-f MMF (12-f MPO) | 4x10G parallel NRZ 850nm | | |
| 40GBASE-eSR4 (extended reach)* | 300 m OM3 400m OM4 | 8-f MMF (12-f MPO) | 4x10G parallel NRZ 850nm | | * non-standard solution |
| 40GBASE-LR4 | 10 km | 2-f SMF | 4x10G CWDM NRZ 4 wavelengths around 1300nm | | |
| 100GBASE-SR10 | 100 m OM3 150 m OM4 | 20-f SMF (24-f MPO) | 10x10G parallel NRZ 850 nm | | |
| 100GBASE-LR4 | 10 km | 2-f SMF | 4x25G CWDM NRZ 4 wavelengths around 1300nm | | Published in 2010 |
| 100GBASE-ER4 | 40 km | 2-f SMF | 4x25G CWDM NRZ 4 wavelengths around 1300nm | | |

Fonte: Kamino, J. - whats-new-with-enterprise-fiber-standards-and-applications. 2018 BICSI Fall Conference and Exhibition

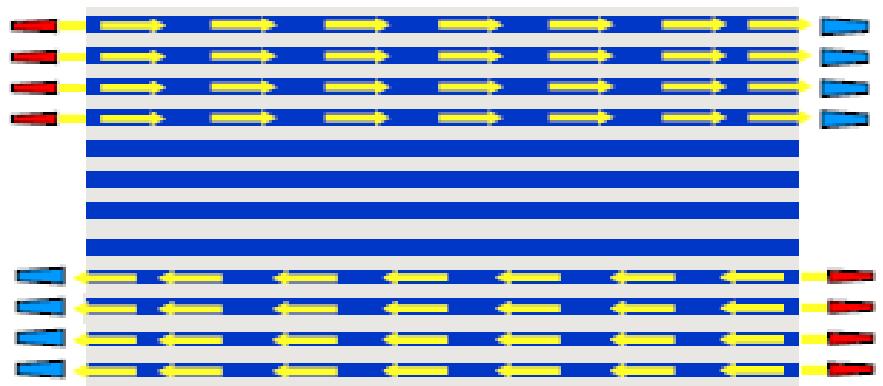
Pluggable Modules and Cables

MPO (multi-fiber push-on) connectors and cables



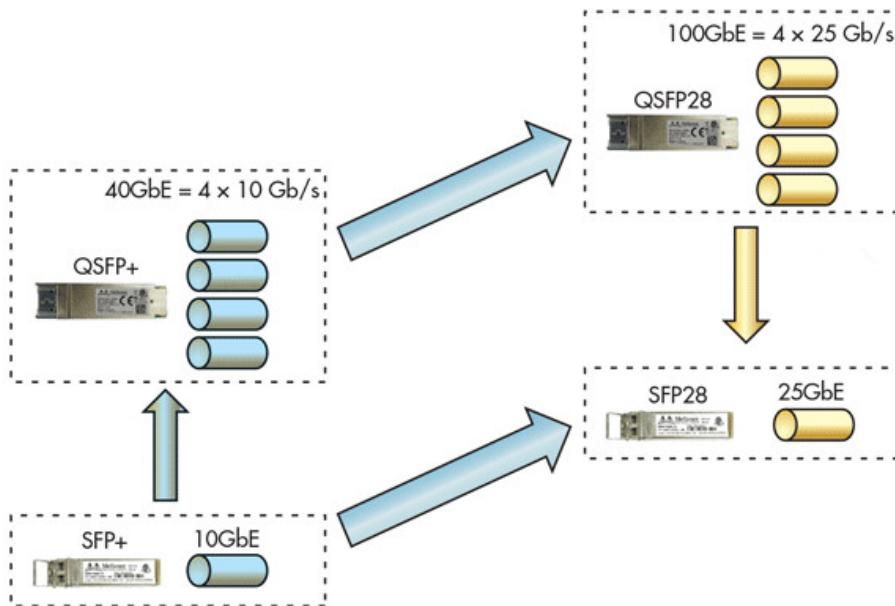
Multiple Fiber Parallel Systems

- One 12-fiber cable
 - duplex link
 - **8 active fibers**
- 12 Fiber MPO connector
- One wavelength per fiber
- $4 \times 10 \text{ Gb/s} - 40\text{Gb/s}$
- $4 \times 25 \text{ Gb/s} - 100\text{Gb/s}$



Seamless upgrade from 40G to 100G system up to 100m!

IMPLEMENTAÇÕES 40/100 GbE



40/100 GbE *on Fiber*

MMF

| Ethernet Speed | IEEE Task Force | Designation | Fiber Type | Number of Fibers | Maximum Link Length (m) | Maximum Channel Insertion Loss (dB) |
|----------------|-----------------|---------------|------------|------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 10 Gb | 802.3ae | 10GBASE-SR | OM3 | 2 | 300 | 2.6 |
| 40 Gb | 802.3ba | 40GBASE-SR4 | OM3 | 8 | 100 | 1.9 |
| 40 Gb | 802.3ba | 40GBASE-SR4 | OM4 | 8 | 150 | 1.5 |
| 100 Gb | 802.3ba | 100GBASE-SR10 | OM3 | 20 | 100 | 1.9 |
| 100 Gb | 802.3ba | 100GBASE-SR10 | OM4 | 20 | 150 | 1.5 |
| 100 Gb | 802.3bm | 100GBASE-SR4 | OM4 | 8 | 100 | 1.9 |

SMF

| Ethernet Speed | IEEE Standard | Designation | Lanes | Total Number of Fibers | Max. Link Length | Max. Channel Insertion Loss (dB) | Reflectance 2 Connectors (< -55 dB) | Reflectance 10 Connectors (< -55 dB) |
|----------------|---------------|----------------------------|--------|------------------------|------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 40 Gb/s | 802.3ba | 40GBASE-IR4 40GBASE-LR4 | 4 (4λ) | 2 | 2 km 10 km | 4.5 6.7 | | -26 dB |
| 100 Gb/s | 802.3ba | 100GBASE-LR4 | 4 (4λ) | 2 | 10 km | 6.3 | | -26 dB |

40/100 GbE on Fiber (II)

| PMD | Link Distance | Fiber Count and Media Type | Technology | |
|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|---|-------------------|
| 40GBASE-ER4 | 30 km (40 km engineered link) | 2-f SMF | 4x10G CWDM NRZ 4 wavelengths around 1300nm | Published in 2015 |
| 100GBASE-SR4 | 70 m OM3 100 m OM4 | 8-f MMF (12-f MPO) | 4x25G parallel NRZ 850 nm | |
| 100GBASE-eSR4 (extended reach)* | 200-300 m OM3 300-400 m OM4 | 8-f MMF (12-f MPO) | 4x25G parallel NRZ 850 nm | |

* non-standard solution

Fonte: Kamino, J. - whats-new-with-enterprise-fiber-standards-and-applications. 2018 BICSI Fall Conference and Exhibition

CISCO – PRODUTOS PMD 40GBASE-xy

The image shows four Cisco QSFP transceiver modules arranged horizontally. Each module has a small video camera icon below it, indicating they can be viewed individually. Below each module is a box containing the brand name, compatibility, and part number.

| Module Type | Compatibility | Part Number |
|--|-----------------------------|-----------------------|
| Cisco QSFP-40G-SR4 Compatible 40GBASE-SR4 | VCSEL / MTP / MPO / MMF | Cisco QSFP-40G-SR4 |
| Cisco QSFP-40GE-LR4 Compatible 40GBASE-LR4 | DFB / LC Duplex / SMF | Cisco QSFP-40GE-LR4 |
| Cisco QSFP-4X10G-LR-S Compatible 4x10GBASE-LR | DFB / MTP-12 / MPO-12 / SMF | Cisco QSFP-4X10G-LR-S |
| Cisco QSFP-40G-UNIV Compatible 40GBASE-UNIV | DFB / LC Duplex / SMF / MMF | Cisco QSFP-40G-UNIV |

Below the modules, their prices are listed in green boxes with an asterisk (*). The prices are R\$ 206.00, R\$ 1,636.00, R\$ 1,742.00, and R\$ 1,636.00 respectively.

* Preços em USD

VCSEL *Vertical Cavity Surface Emitting Laser*
DFB *Distributed Feedback laser*

JUNIPER - PRODUTOS PMD 40GBASE-xy

| | | | |
|---|--|---|--|
|  |  |  |  |
| Cisco Juniper +27 | Cisco Juniper +23 | Cisco Juniper +29 | Cisco Juniper +29 |
| <p>Juniper Networks JNP-QSFP-4X10GE-IR Compatible...</p> <p>DFB / MTP / MPO / SMF</p> <p>R\$ 1,318.00</p> | <p>Juniper Networks JNP-QSFP-40GE-IR4 Compatible...</p> <p>DFB / LC Duplex / SMF</p> <p>R\$ 1,530.00</p> | <p>Juniper Networks QSFP-4X10GE-SR Compatible...</p> <p>VCSEL / MTP / MPO / MMF</p> <p>R\$ 344.00</p> | <p>Juniper JNP-QSFPP-40G-BXSR Compatible 40GBASE-SR Bi...</p> <p>VCSEL / LC Duplex / MMF</p> |

* Preços em USD

VCSEL *Vertical Cavity Surface Emitting Laser*
DFB *Distributed Feedback laser*

Padrões “Metálicos” 40 GbE

| Name | Cabling Type | Max Reach |
|---------------------|-------------------|-----------|
| 40GBASE-CR4/10G DAC | Copper RJ45 | 7m |
| 40GBASE-T | Copper RJ45 | 30m |
| 40GBASE-SR4 | OM3 MMF MTP/MPO | 100m |
| | OM4 MMF MTP/MPO | 150m |
| 40GBASE-CSR4 | OM4 MMF MTP/MPO | 400m |
| 40GBASE-SR | OM4 MMF LC duplex | 150m |
| 40GBASE-LR4 | SMF LC Duplex | 10km |
| 40GBASE-ER4 | SMF LC Duplex | 40km |
| 40GBASE-LX4 | OM3/OM4 MMF | 150m |
| | SMF | 2km |
| 40GBASE-PLR4 | SMF MTP/MPO | 10km |
| 40GBASE-LR4L | SMF LC duplex | 2km |
| 40GBASE-PLRL4 | SMF MTP/MPO | 1.4km |

| Physical | # of Parallel Bit Streams/ Wavelength | Signaling Rate | Maximum Length | Media | Interface |
|---------------|--|----------------|---|--------------------------------|--|
| 40GBASE-KR4 | 4 lanes | 10.3125 GBd | 1 m | backplane | --- |
| 40GBASE-CR4 | 4 lanes | 10.3125 GBd | up to 7 m | Copper twin-ax | SFF-8436 (QSFP+) |
| 40GBASE-SR4 | 4 lanes 850 nm | 10.3125 GBd | 100 m 150 m | SMF type B1.1, B1.3 or B6_a | IEC 61754-7 (MPO)  |
| 40GBASE-FR | 1 lane 1550 nm | 41.25 Gbd | 2 m to 2 km | SMF type B1.1, B13 or B6_a | Performance IEC 61753-1-1 61753-021-2 |
| 40GBASE-LR4 | 4 lanes (CDWM) 1310 nm nominal | 10.3125 GBd | 2 m to 10 km | SMF type B1.1, B13 or B6_a | Performance IEC 61753-1-1 61753-021-2 |
| 40GBASE-ER4 | 4 lanes (CWDM) 1310 nm nominal | 10.3125 GBd | 2 m to 30 km 2 m to 40 km (engineered) | SMF type B1.1, B13 or B6_a | Performance IEC 61753-1-1 61753-021-2 |
| 100GBASE-KR4 | 4 lanes | 25.78125 GBd | --- | Backplane PMD | --- |
| 100GBASE-KP4 | 4 lanes | 26.5625 Gb/s | --- | Backplane PMA | --- |
| 100GBASE-CR4 | 4 lanes | 25.78125 GBd | up to 5 m | Copper twin-ax | SFF-8665 (QSFP28) or CFP4 MSA HW (CFP4) |
| 100GBASE-CR10 | 10 lanes | 10.3125 GBd | up to 7 m | Copper twin-ax | SFF-8642 (CXP) |
| 100GBASE-SR10 | 10 lanes | 10.3125 GBd | 100 m 150 m | OM3 MMF OM4 MMF | IEC 61754-7 (MPO) |
| 100GBASE-SR4 | 4 lanes | 25.78125 GBd | .5 m to 70 m 0.5 m to 100 m | OM3 MMF OM4 MMF | IEC 61754-7-1 (MPO) |
| 100GBASE-LR4 | 4 lanes (CDWM) 1310 nm nominal | 25.78125 GBd | 2 m to 10 km | SMF type B1.1, B1.3 or B6_a | Performance IEC 61753-1-1 61753-021-2 |
| 100GBASE-ER4 | 4 lanes (CDWM) 1310 nm nominal | 25.78125 GBd | 2 m to 30 km 2 km to 40 km (engineered) | SMF type B1.1, B1.3 or B6_a | Performance IEC 61753-1-1 61753-021-2 |

Various implementations of 40 GbE and 100 GbE

CISCO - PRODUTOS 100GBASE-xy

| Model | Wavelength | Range | Technology | Category | Price (R\$) |
|-----------------------|------------|-------|-------------------------------------|-----------------------|--------------|
| 100GBASE-SR4 QSFP28 | 850nm | 100m | VCSEL / MTP-12 / MPO-12 / MMF / CDR | Data Center / Telecom | R\$ 524.00 |
| 100GBASE-CWDM4 QSFP28 | 1310nm | 2km | DML / LC Duplex / SMF / CDR | Data Center | R\$ 1,001.00 |
| 100GBASE-LR4 QSFP28 | 1310nm | 10km | DFB / LC Duplex / SMF / CDR | Telecom / Data Center | R\$ 3,171.00 |
| 100GBASE-LR4 QSFP28 | 1310nm | 10km | DFB / LC Duplex / SMF / CDR | Data Center | R\$ 2,642.00 |

* Preços em USD

VCSEL *Vertical Cavity Surface Emitting Laser*
DML *Directly Modulated Laser*
DFB *Distributed Feedback laser*

Fonte: www.fs.com/c/25g-40g-50g-transceivers-889 (em 10/03/2021)

ARISTA - PRODUTOS 100GBASE-xy

| | | | |
|--|--|---|--|
|  |  |  |  |
| Cisco Arista +23 | Cisco Arista +22 | Cisco Arista +19 | Cisco Arista +7 |
| <p>100GBASE-ER4 QSFP28 1310nm 40km Module, Arist... EML / LC Duplex / SMF / CDR Data Center</p> <p>R\$ 18,526.00</p> | <p>100GBASE-PSM4 QSFP28 1310nm 500m Module, Arist... VCSEL / MTP-12 / MPO-12 / SMF / CDR Data Center</p> | <p>100GBASE-4WDM-10 QSFP28 1310nm 10km Module, Arist... DML / LC Duplex / SMF / CDR Data Center</p> <p>R\$ 3,224.00</p> | <p>100GBASE-LR4 QSFP28 Dual Rate 1310nm 10km Module,.. DML / LC Duplex / SMF / CDR Data Center / Telecom</p> <p>R\$ 5,819.00</p> |

* Preços em USD

VCSEL *Vertical Cavity Surface Emitting Laser*
DML *Directly Modulated Laser*
EML *Externally Modulated Laser*

Fonte: www.fs.com/c/25g-40g-50g-transceivers-889 (em 10/03/2021)

Finisar FTLD10CE1C

100Gbps Optical Transceiver

Features

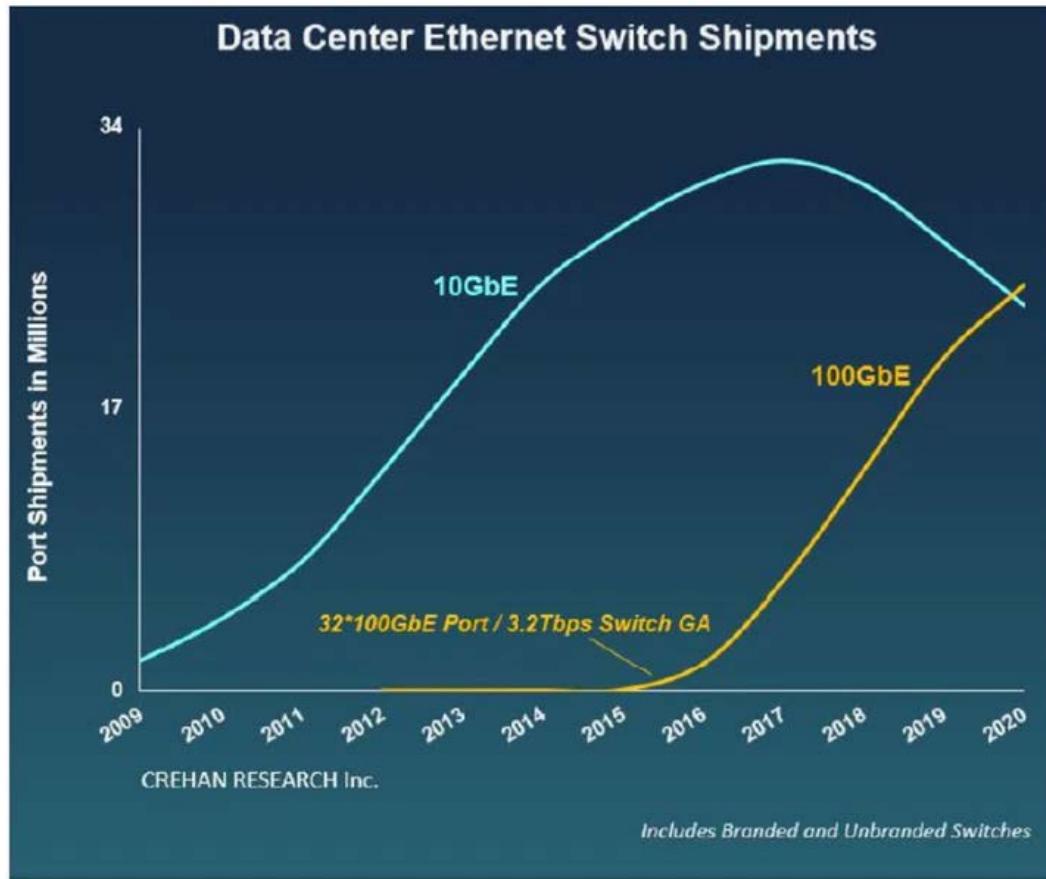
- **Up to 100 Gigabit per second** links over **multimode fiber** with a multirate capability of 1.06 to **10.5Gb/s per channel**.
- **12 full-duplex channels**, a hot pluggable CXP form factor, and a maximum link length of **100m on OM3 multimode fiber**.
- Compliant with the CSP Specification, **IEEE 802.3ba 100GBASE-SR10**
- Reliable **VCSEL** array technology
- Commercial operating case temperature range: 0°C to 70°C



Applications

- **100GBASE-SR10 100G Ethernet**
- **Multiple 4G/8G/10G Fiber Channel**

MERCADO 100 GbE



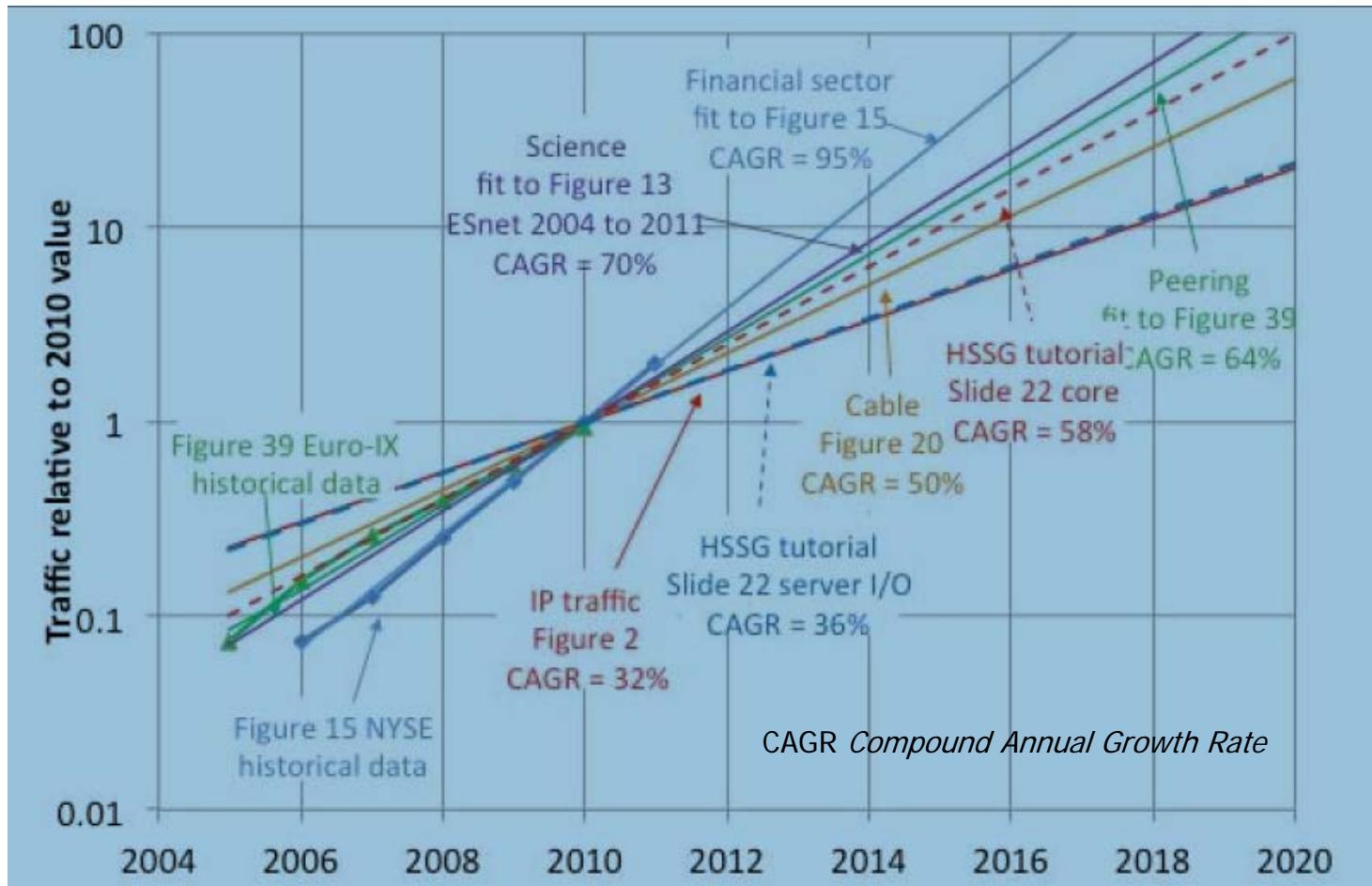
Fonte: www.cablinginstall.com - Mar 23rd, 2021 - **100GbE data center shipments surpass 10GbE for first time: Report.**

IEEE 802.3 bs



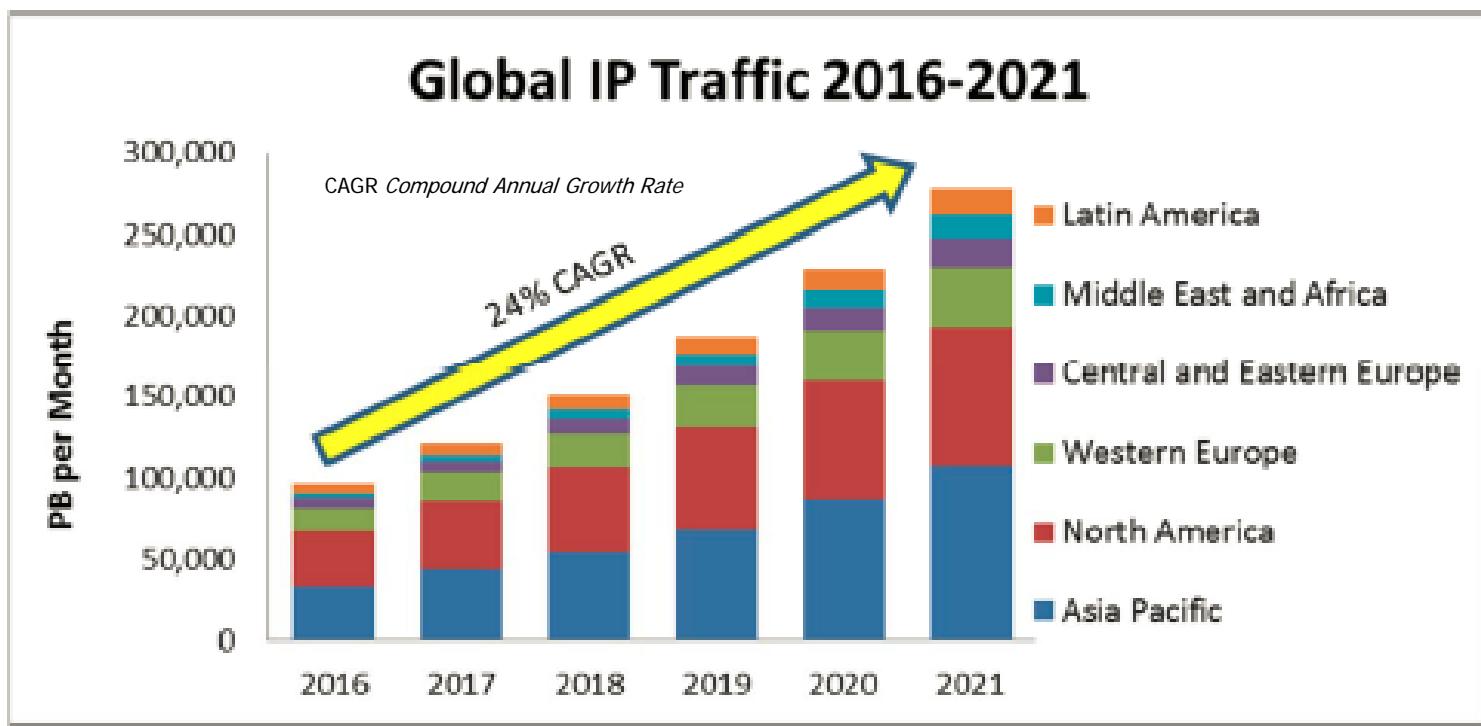
200/400 Gigabit Ethernet

MOTIVAÇÃO PARA 400 GbE



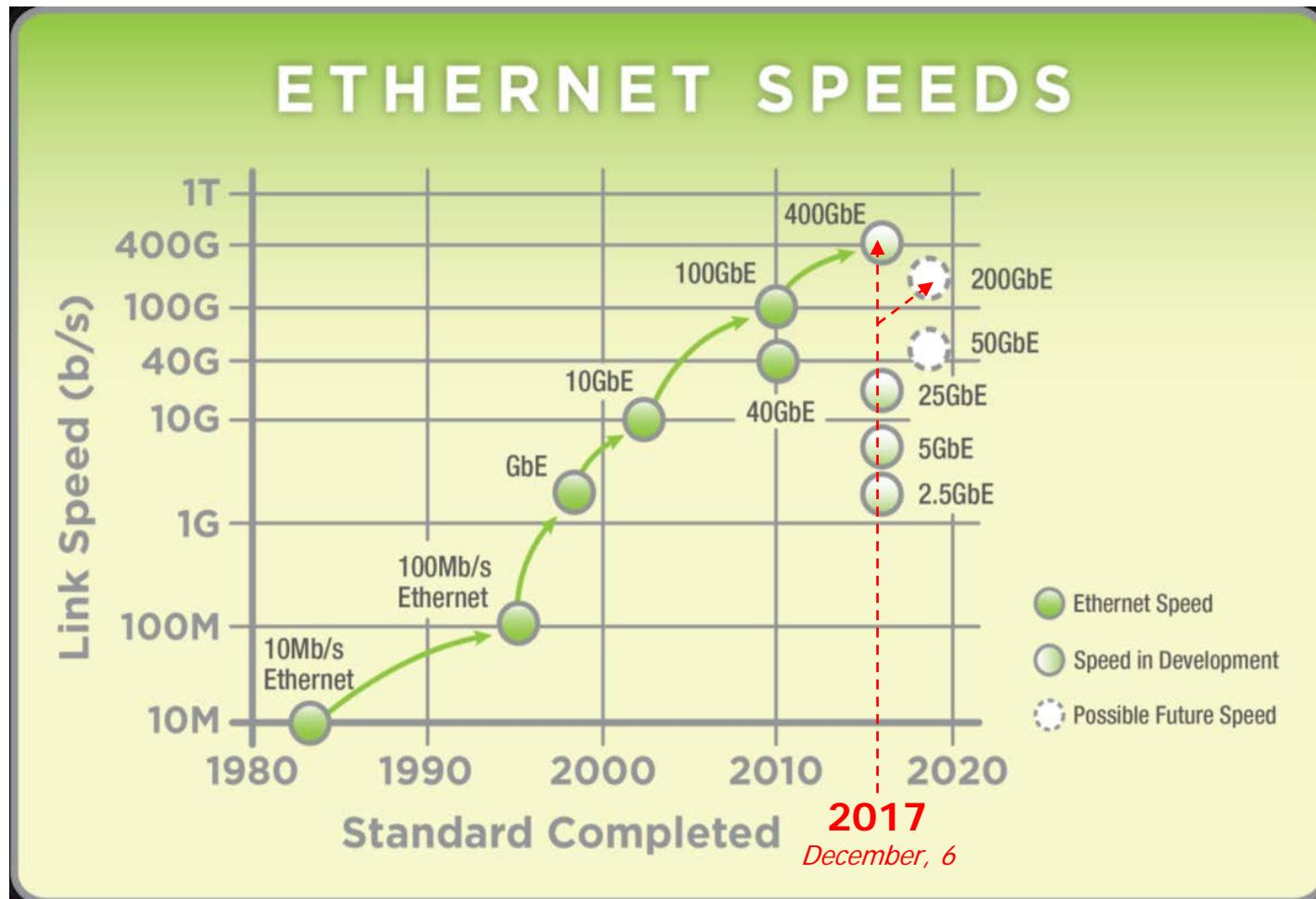
Fonte: Ethernet Alliance – 400 Gb/s Why Now?

Network IP Traffic Growth



Fonte: "Cisco Visual Networking Index : Forecast and Methodology, 2016-2021"

EVOLUÇÃO DAS TAXAS ETHERNET



Fonte: Ethernet Alliance - The 2015 Ethernet Roadmap

200/400 GbE

■ PREMISSAS DO PADRÃO

■ INTERFACES

■ FORMATOS DE CODIFICAÇÃO

■ ARQUITETURA

■ INTERFACES FÍSICAS

PREMISSAS IEEE 802.3bs

- Suporta apenas operação *full-duplex*
- Suporte a **BER melhor ou igual a 10^{-13}** na interface (MAC/PLS) (ou taxa equivalente de perda de quadro)
- Preserva o **formato de quadro 802.3** usando a MAC IEEE 802.3
- Preserva os **tamanhos mínimo e máximo** de quadro IEEE 802.3
- Suporte apropriado para **OTN**
- Suporte a taxas de transmissão MAC de **200 Gb/s**
 - No mínimo **500 m** com 4-fibras **SMF**
 - No mínimo **2 km** com **SMF**
 - No mínimo **10 km** com **SMF**
- Suporte a taxas de transmissão MAC de **400 Gb/s**
 - No mínimo **100 m** com **MMF**
 - No mínimo **500 m** com **SMF**
 - No mínimo **2 km** com **SMF**
 - No mínimo **10 km** com **SMF**
- Especifica opcionalmente uma capacidade *Energy Efficient Ethernet* (EEE)



INTERFACES 200/400 GbE

400 GbE

- **400GBASE-SR16**, which covers at least **100 m** over multimode fiber via **16 transmit fibers** and another **16 receive fibers**, each transmitting at **25 Gbps**
 - a study group has formed to investigate whether OM5 fiber and shortwave WDM technology could lessen the number of fibers required)
- **400GBASE-DR4**, for at least **500 m** over single-mode fiber using **four parallel fibers** in each direction with **100-Gbps transmission** on each fiber;
- **400GBASE-FR8**, which uses **eight-wavelength WDM** to treat reaches of at least **2 km** over a single-mode fiber in each direction
- **400GBASE-LR8**, which is similar with -FR8 except the reach is extended to at least **10 km** over single-mode fiber.
- **electrical interfaces**
 - the **8-lane 400GAUI-8** and the **16-lane 400GAUI-16**

200 GbE

- **200GBASE-DR4** for at least **500 m** via **four parallel fibers** in each direction
- **200GBASE-FR4** for at least **2 km** via **four-wavelength CWDM** in each direction
- **200GBASE-LR4** for at least **10 km** via **four wavelengths** in each direction
- **electrical interfaces**
 - the **four-lane 200GAUI-4** and **eight-lane 200GAUI-8**

IEEE 802.3bs

200/400 GbE on Fiber

MMF

| Ethernet Speed | IEEE Task Force | Designation | Fiber Type | Number of Fibers | Maximum Link Length (m) | Maximum Channel Insertion Loss (dB) |
|----------------|-----------------|---------------|------------|------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 400 Gb | 802.3bs | 400GBASE-SR16 | OM3/4/5 | 32 | 80/100/100 | 1.9 |

SMF

| Ethernet Speed | IEEE Standard | Designation | Lanes | Total Number of Fibers | Max. Link Length | Max. Channel Insertion Loss (dB) | Reflectance 2 Connectors (<-55 dB) | Reflectance 10 Connectors (<-55 dB) |
|----------------|---------------|--------------|--------|------------------------|------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| 200 Gb/s | 802.3bs | 200GBASE-DR4 | 4 | 8 | 500 m | 3.0 | -42 dB | -49 dB |
| | | 200GBASE-FR4 | 4 (4λ) | 2 | 2 km | 4.0 | -31 dB | -40 dB |
| | | 200GBASE-LR4 | 4 (4λ) | 2 | 10 km | 6.3 | -29 dB | -38 dB |
| 400 Gb/s | 802.3bs | 400GBASE-DR4 | 4 | 8 | 500 m | 3.0 | -42 dB | -49 dB |
| | | 400GBASE-FR8 | 8 (8λ) | 2 | 2 km | 4.0 | -31 dB | -40 dB |
| | | 400GBASE-LR8 | 8 (8λ) | 2 | 10 km | 6.3 | -29 dB | -38 dB |

IEEE 802.3cn (2019)

50 Gb/s, 200 Gb/s, and 400 Gb/s Operation over Single-Mode Fiber

■ 50GBASE-ER

- 50 Gb/s serial transmission using **4-level pulse amplitude modulation** over **one wavelength** (2 fibers total) of **single-mode fiber**, with reach up to **at least 40 km**

■ 200GBASE-ER

- 200 Gb/s transmission using **4-level pulse amplitude modulation** over **four WDM lanes** (2 fibers total) of **single-mode fiber**, with reach up to **at least 40 km**

■ 400GBASE-ER

- 400 Gb/s transmission using **4-level pulse amplitude modulation** over **eight WDM lanes** (2 fibers total) of **single-mode fiber**, with reach up to **at least 40 km**

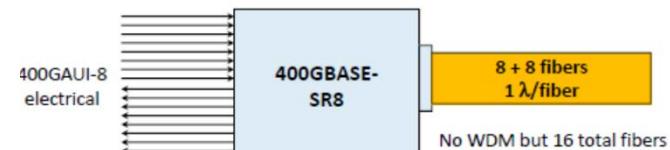
IEEE 802.3cm

400 Gb/s over MMF (2020)

- Support a **MAC** data rate of **400 Gb/s**
- Physical layer specification
 - **8 pairs of MMF** with lengths up to at least **100m**
 - **4 pairs of MMF** with lengths up to at least **100m**

Two implementations

- **400GBASE-SR8** using a **16 or 24 fiber MPO** (**8 fibers**)
- **400GBASE-SR4.2** over two wavelengths using **12 fiber MPO** (**4 fibers/2 wavelengths**)
 - SR4.2 Wavelengths resolved: Nominal 850 nm and 910 nm



<https://blog.siemon.com/standards/ieee-p802-3cm-400-gb-s-over-multimode-fiber-task-force>

400GBASE-SR4.2

400GBASE-SR4.2 Link Power Budget

| Parameter | OM3 | OM4 | OM5 | Unit |
|---|------|------|------|--------|
| Effective modal bandwidth at 850 nm ^a | 2000 | 4700 | 4700 | MHz-km |
| Effective modal bandwidth at 918 nm | 1210 | 1850 | 2890 | MHz-km |
| Power budget (for max TDECQ) | | 6.6 | | dB |
| Operating distance | 70 | 100 | 150 | m |
| Channel insertion loss ^c | 1.8 | 1.9 | 2 | dB |
| Allocation for penalties ^d (for max TDECQ) | | 4.6 | | dB |
| Additional insertion loss allowed | 0.2 | 0.1 | 0 | dB |



FORMATOS DE MODULAÇÃO 400 GbE



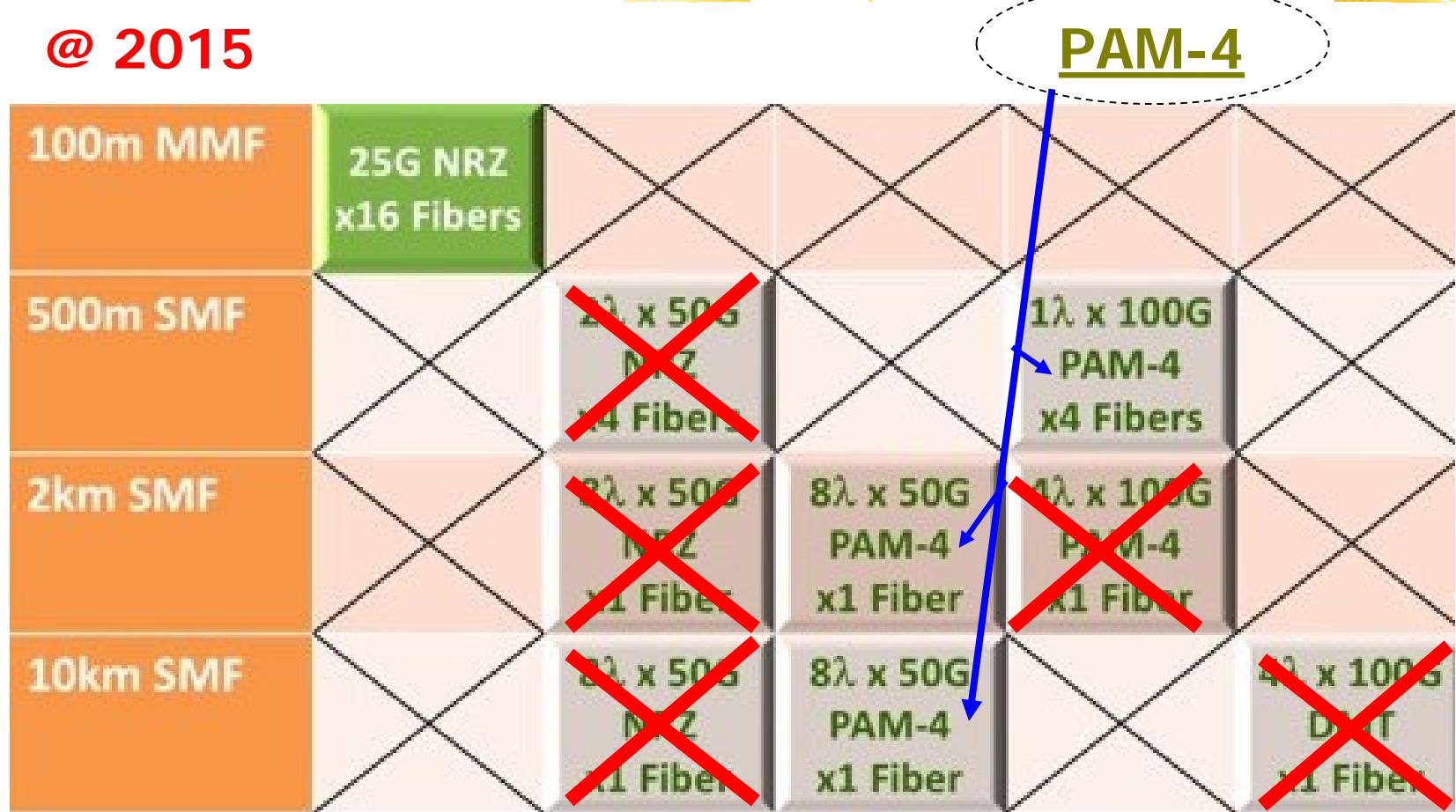
■ Formatos estudados

- NRZ Duobinário
- **Pulse Amplitude Modulation (PAM)**
- CAP/QAM Híbrido
- OFDM Óptico

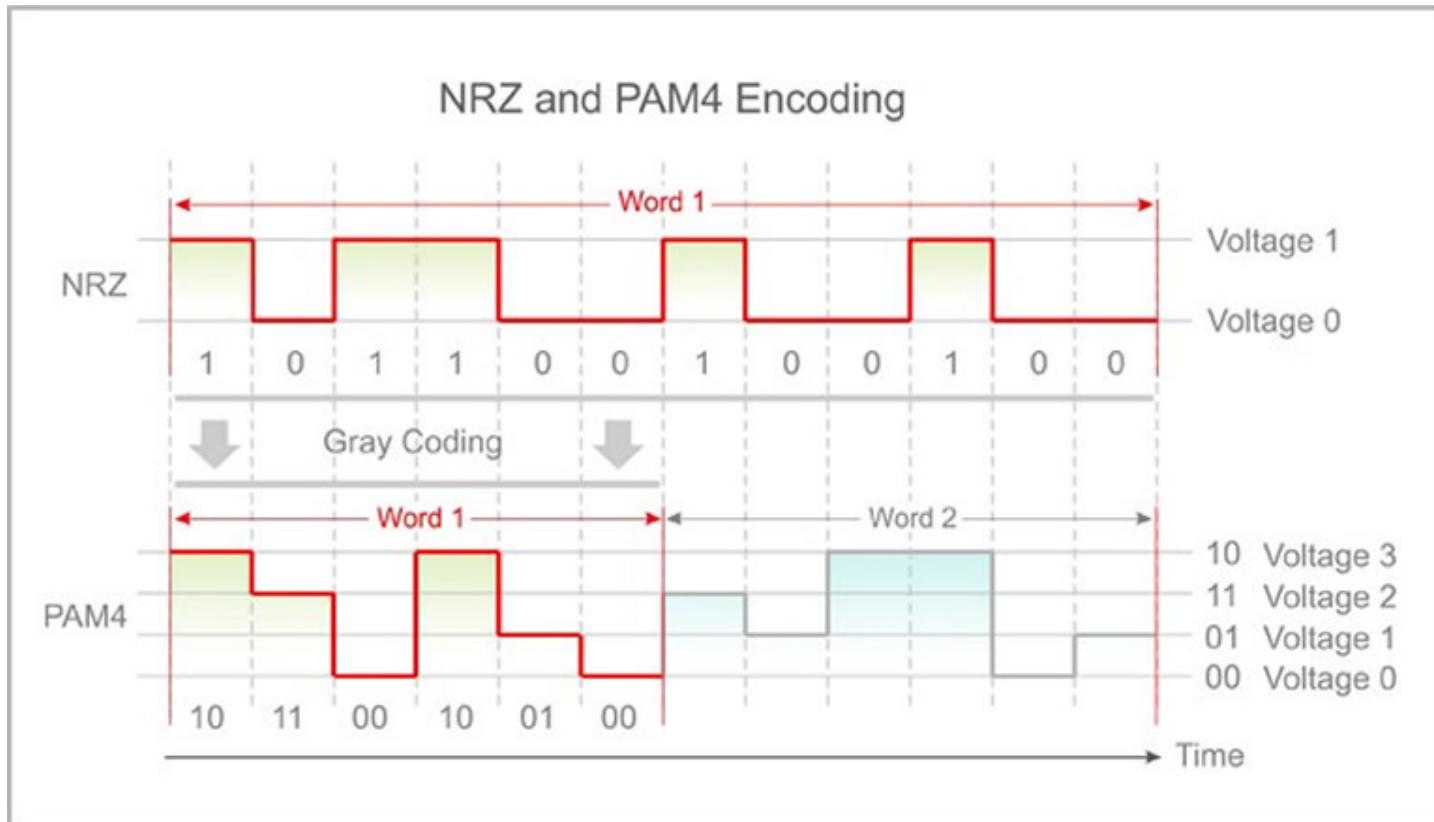
■ Proposta em 2015

PROPOSTAS DE FORMATOS DE CODIFICAÇÃO 400 GbE

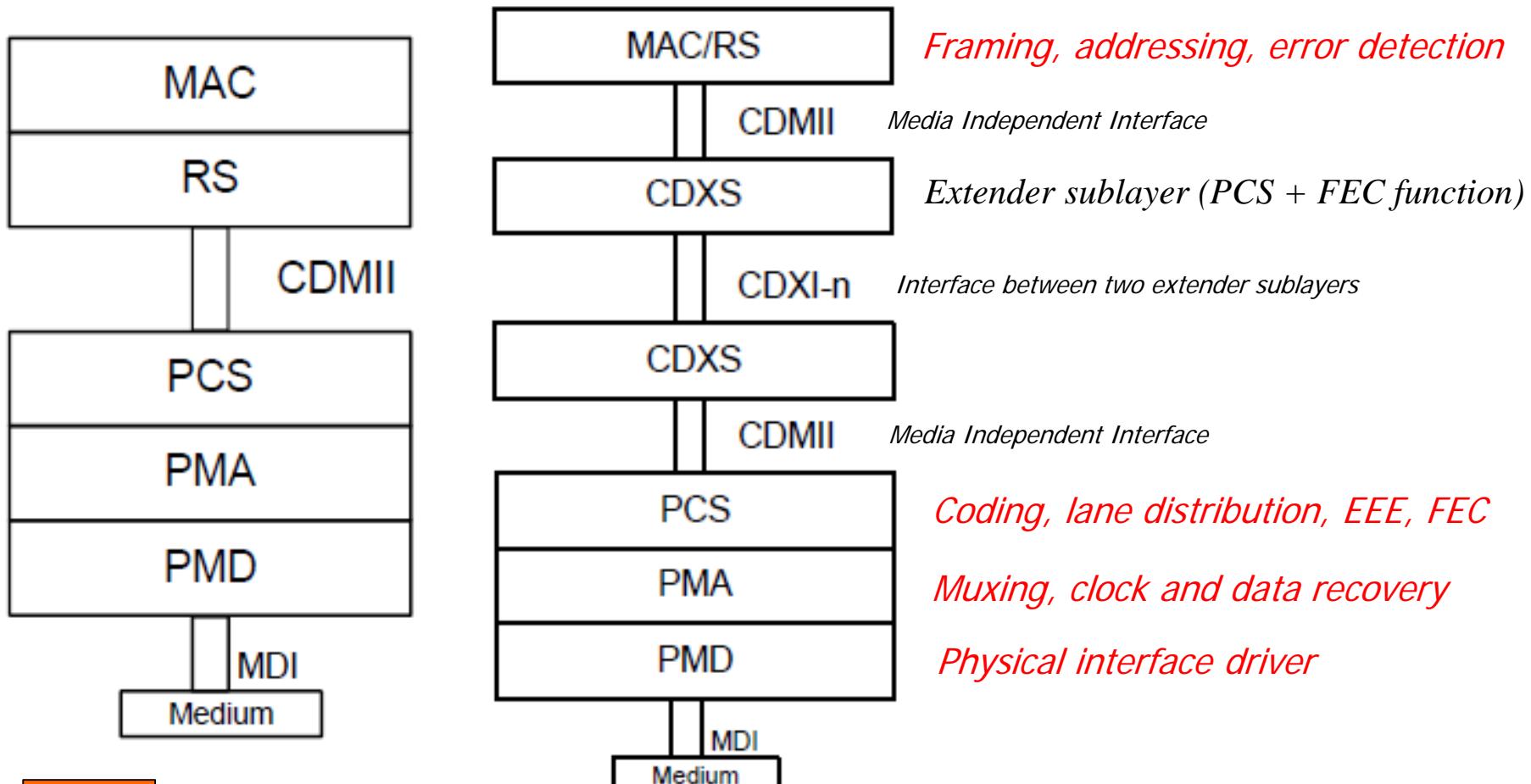
@ 2015



CODIFICAÇÃO PAM-4



ARQUITETURA 400 GbE

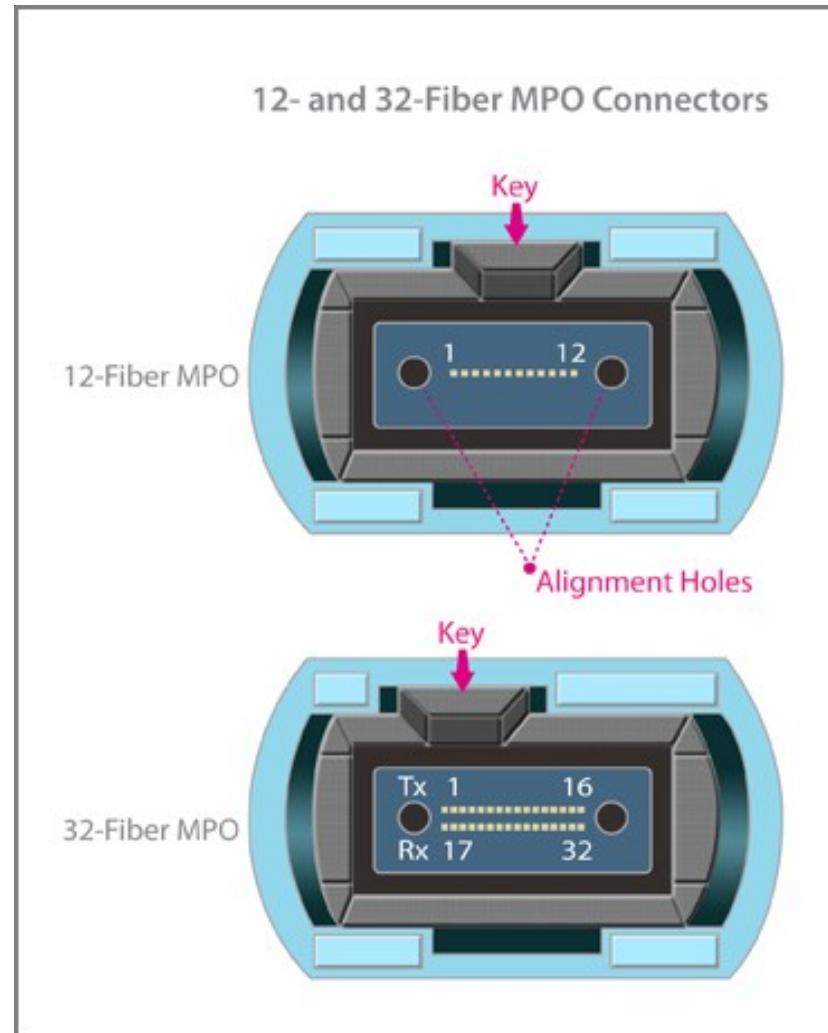


INTERFACES FÍSICAS 200/400 GbE

| Name | Medium | Tx Fibers | Lanes | Reach | Encoding |
|----------------------|--------|-----------|-------------------|---------------------------|----------|
| 400GBASE-SR16 | MMF | 16 | 16 x 25 Gbps | 70 m (OM3) 100 m (OM4) | NRZ |
| 400GBASE-DR4 | SMF | 4 | 4 x 100 Gbps | 500 m | PAM4 |
| 400GBASE-FR8 | SMF | 1 | 8 x 50 Gbps (WDM) | 2 km | PAM4 |
| 400GBASE-LR8 | SMF | 1 | 8 x 50 Gbps (WDM) | 10 km | PAM4 |
| 200GBASE-DR4 | SMF | 4 | 4 x 50 Gbps | 500 m | PAM4 |
| 200GBASE-FR4 | SMF | 1 | 4 x 50 Gbps (WDM) | 2 km | PAM4 |
| 200GBASE-LR4 | SMF | 1 | 4 x 50 Gbps (WDM) | 10 km | PAM4 |

Pluggable Modules and Cables

*MPO (multi-fiber push-on)
connectors and cables*



OPTICAL TRANSCEIVER FORM-FACTORS

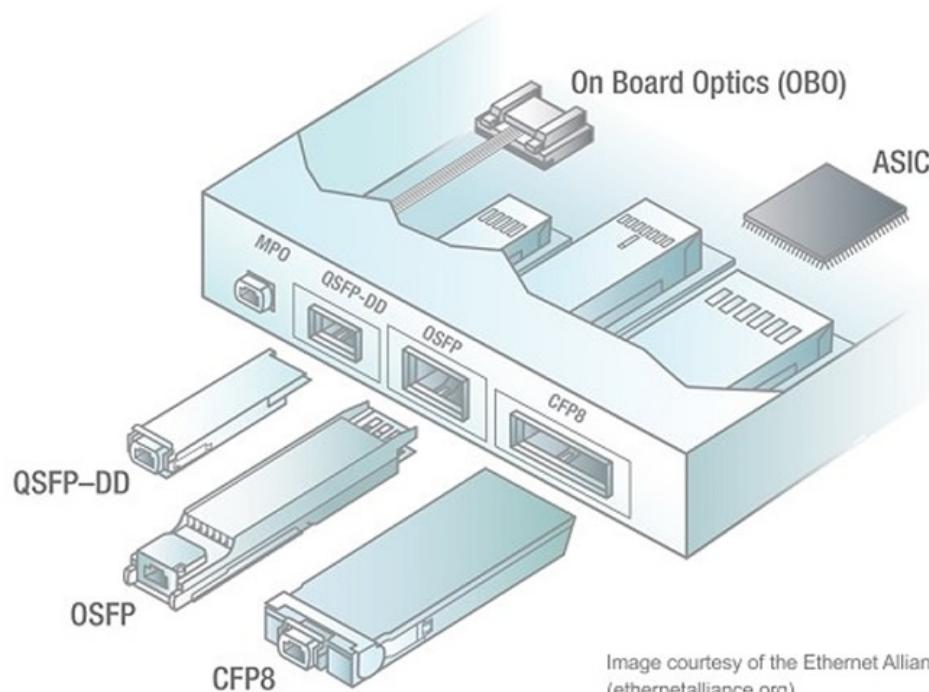


Image courtesy of the Ethernet Alliance
(ethernetalliance.org)

CFP8 – Large form-factor. Low port density. Good thermal management.

OSFP – Designed for optimal signal and thermal performance. Non-compatible form-factor.

QSFP-DD – The “double-density” QSFP. Backward compatible with 100 Gbps and 40 Gbps Ethernet. High port density.

OBO – On-board optics module, which is not a pluggable transceiver. Highest port density.

PRODUTOS PMD 400GBASE-xy

The image displays four QSFP-DD transceiver modules for 400GBASE-xy networking, arranged in a row. Each module has a blue plastic handle and a red label at the top. Below each module is a small circular arrow icon.

| Model | Technology | Supported Standards | Supported Platforms | Count |
|-----------------------|------------|-----------------------------|---------------------|-------|
| 400GBASE-XDR4 QSFP-DD | VCSEL | EML / MTP-12 / MPO-12 / SMF | Cisco, Arista | +2 |
| 400GBASE-SR8 QSFP-DD | VCSEL | 850nm 100m | Cisco, Arista | +1 |
| 400GBASE-FR4 QSFP-DD | EML | 1310nm 2km | Cisco, Arista | +3 |
| 400GBASE-LR4 QSFP-DD | EML | 1310nm 10km | Arista, Juniper | +2 |

400GBASE-XDR4 QSFP-DD
1310nm 2km Module, Cisco...
EML / MTP-12 / MPO-12 / SMF
R\$ 14,290.00

400GBASE-SR8 QSFP-DD
850nm 100m Module, Cisco...
VCSEL / MTP-16 / MPO-16 / MMF
R\$ 5,289.00

400GBASE-FR4 QSFP-DD
1310nm 2km Module, Cisco...
EML / LC Duplex / SMF
R\$ 15,879.00

400GBASE-LR4 QSFP-DD
1310nm 10km Module, Arist...
EML / LC Duplex / SMF
R\$ 21,173.00

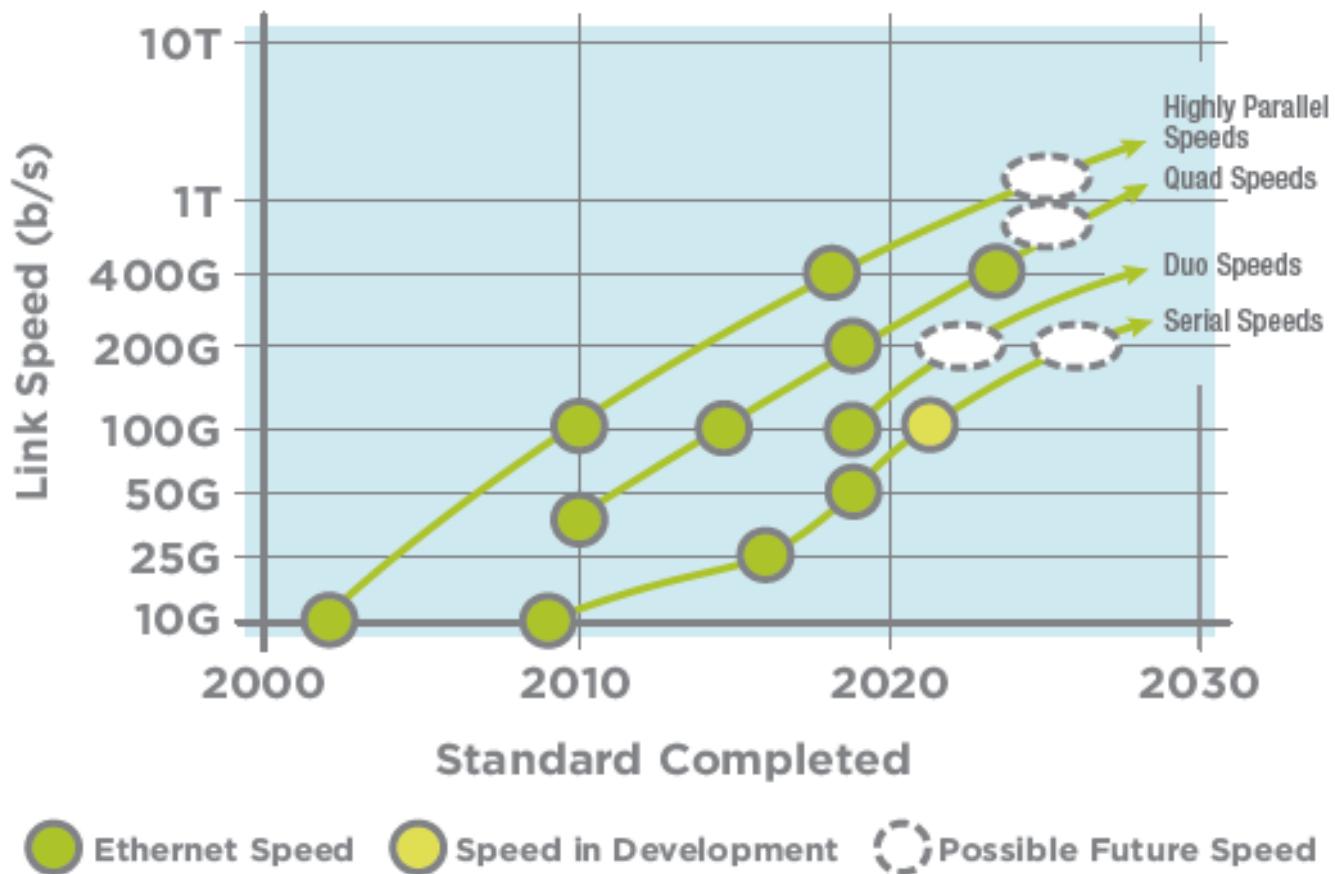
* Preços em USD

VCSEL *Vertical Cavity Surface Emitting Laser*
EML *Externally Modulated Laser*

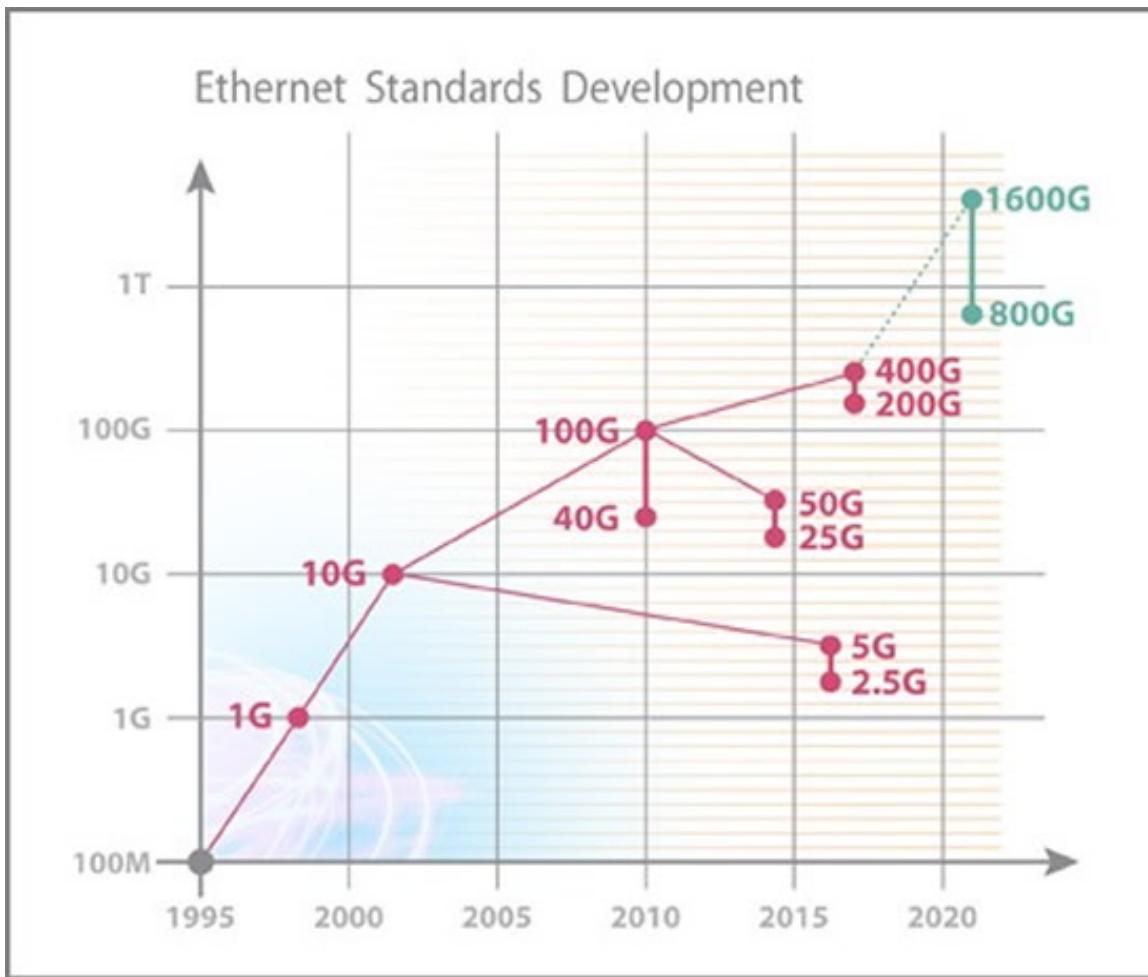
Fonte: www.fs.com/c/25g-40g-50g-transceivers-889 (em 10/03/2021)

TERABIT POR SEGUNDO ???

PATH TO SINGLE LANE

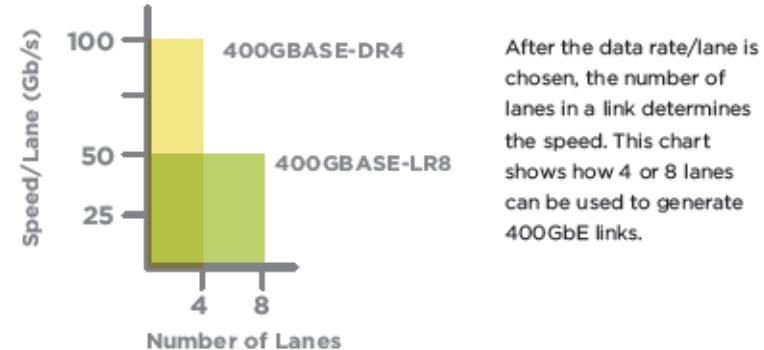
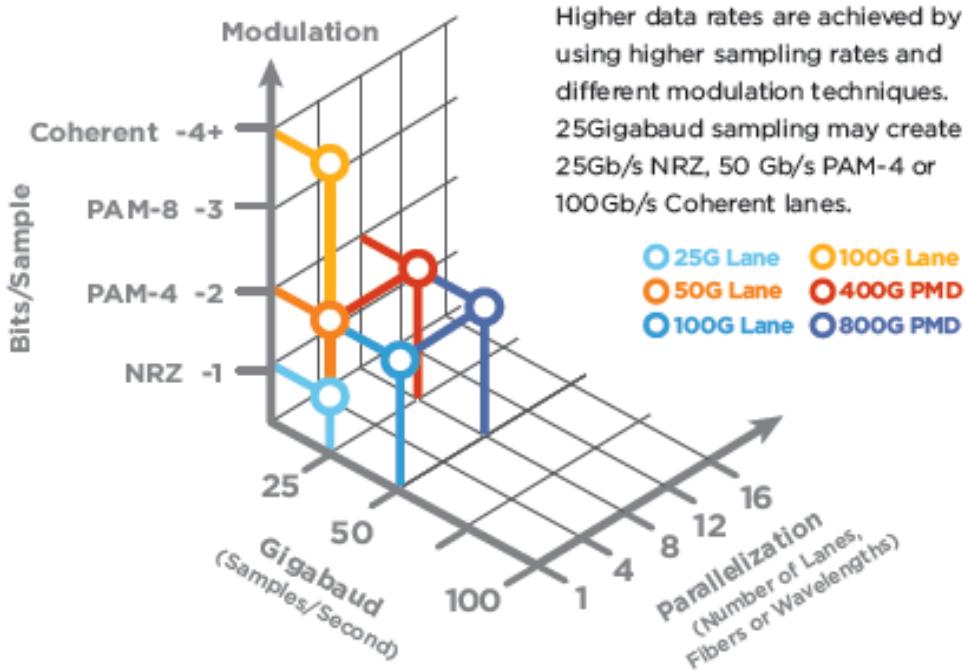


The Evolution of Ethernet Standards



LINKS up to 800Gbps!!!

FATTER PIPES



2020 Ethernet Roadmap

LATEST INTERFACES AND NOMENCLATURE

| | Backplane | Twinax Cable | Twisted Pair (1 Pair) | Twisted Pair (4 Pair) | MMF | 500m PSM4 | 2km SMF | 10km SMF | 20km SMF | 40km SMF | 80km SMF | Electrical Interface |
|-----------|------------|--------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------|------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|----------|--------------------------------------|
| 10BASE- | T1S | | T1S/T1L | | | | | | | | | |
| 100BASE- | | | TI | | | | | | | | | |
| 1000BASE- | | | TI | T | | | | | | | | |
| 2.5GBASE- | KX | | TI | T | | | | | | | | |
| 5GBASE- | KR | | TI | T | | | | | | | | |
| 10GBASE- | | | TI | T | | | | BIDI Access | BIDI Access | BIDI Access | | |
| 25GBASE- | KR | CR/CR-S | | T | SR | | | LR/ EPON/ BIDI Access | EPON/ BIDI Access | ER/ BIDI Access | | 25GAUI |
| 40GBASE- | KR4 | CR4 | | T | SR4/eSR4 | PSM4 | FR | LR4 | | | | XLAI XLPI |
| 50GBASE- | KR | CR | | | SR | | FR | EPON/ BIDI Access | EPON/ BIDI Access | BIDI Access | | LAUI-2/50GAUI-2 |
| | | | | | | | | LxR | | ER | | 50GAUI-1 |
| 100GBASE- | KR4 | CR10 | | | SR10 | | 10X10-2km | 10X10-10km | | | | CAUI-10 CPPI |
| | KR2 | CR2 | | | SR4 | PSM4 | CWDM4/ | LR4/ 4WDM-10 | 4WDM-20 | ER4/ 4WDM-40 | | CAUI-4/100GAUI-4 |
| | KR1 | CR1 | | | SR2 | DR | FR1 | 100G-FR | LR1 | | ZR | 100GAUI-2 100GAUI-1 |
| 200GBASE- | KR4 KR2 | CR4 CR2 | | | SR4 SR2 | DR4 | FR4 | LR4 | | ER4 | | 200GAUI-4 200GAUI-2 |
| 400GBASE- | KR4 | CR4 | | | SR16 SR8/SR4.2 SR4 | DR4 | FR8 FR4 | LR8 LR4-6 400G-LR4-10 | | ER8 | ZR | 400GAUI-16 400GAUI-8 400GAUI-4 |

Gray Text = IEEE Standard Red Text = In Standardization Green Text = In Study Group

Blue Text = Non-IEEE standard but complies to IEEE electrical interfaces

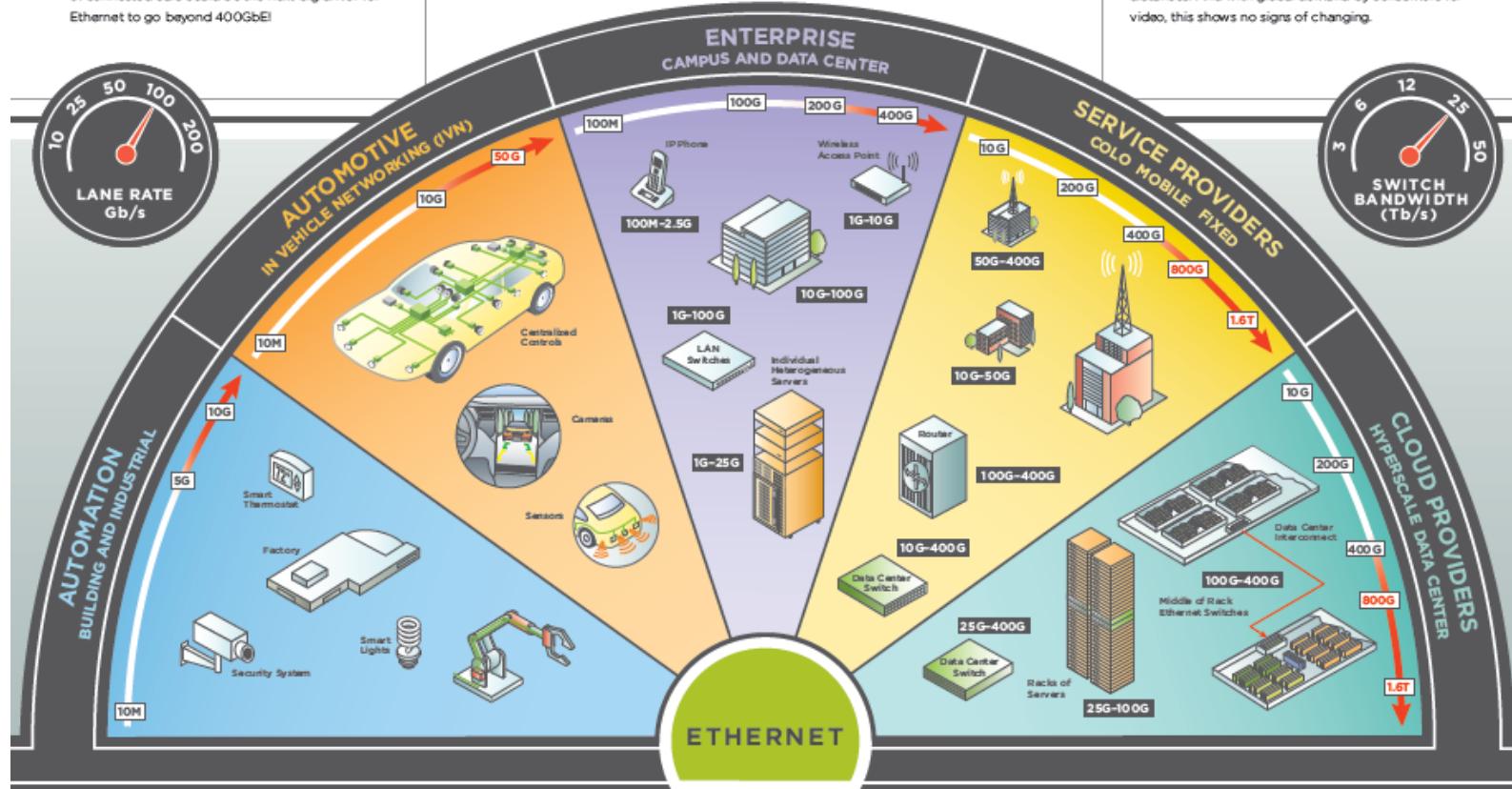
ETHERNET APPLICATIONS

AUTOMOTIVE Ethernet is one of Ethernet's latest success stories. Forecasts predict up to 500 million ports of Ethernet will ship in over 100M vehicles by 2021. Ethernet links within cars provide data and power to reduce the cost and weight in vehicles while providing economies of scale and interoperability. The bandwidth demand of connected cars could be the next big driver for Ethernet to go beyond 40GbE!



ENTERPRISE and Campus applications drive the bulk of Ethernet port shipments with hundreds of millions of ports shipping per year. Ethernet's roots are in enterprise local area net works (LANs) where the entire Ethernet family, including the BASE-T products, can be found. LANs are rich in copper where over 70 Billion meters of cable have been deployed over the past 15 years. Enterprise data centers are very cost sensitive and most servers deploy GbE and 10GbE, and are expected to transition to 25GbE.

SERVICE PROVIDERS have driven higher speed Ethernet solutions for decades. Router connections, EPON, client side optics for optical transport network (OTN) equipment, and wired and wireless backhaul. In particular, the 5G mobile deployment is driving dramatic increases in both fronthaul and backhaul applications, and continues to push Ethernet to higher rates and longer distances. And with global demand by consumers for video, this shows no signs of changing.



AUTOMATION, BUILDING, AND INDUSTRIAL applications highlight the need for lower speed Ethernet solutions in harsh environments. Today this space is leveraging BASE-T solutions from the enterprise space. The Ethernet community defined the IEEE 802.3cg standard for 10Mb/s operation plus power delivery over a single twisted pair. This will consolidate a landscape of multiple legacy protocols, driving the promise of Ethernet's multi-level interoperability to new heights.

CLOUD PROVIDERS were the first to adopt 10GbE servers on a large scale in 2010 for hyperscale data centers. With voracious appetites for applications like AI and Machine Learning, hyperscale servers have moved to 25GbE, and are transitioning to 50GbE and beyond. Unique networking architectures within these warehouse scale data centers have driven multiple multimode and single-mode fiber solutions at 100, 200 and 400 GbE. The bandwidth demands of hyperscale data centers and service providers continue to grow exponentially and in a similar direction that blurs the lines between the two.

MERCADO “ETHERNET”

IEEE 802.3 Working Group

- IEEE P802.3bs [200 Gb/s and 400 Gb/s Ethernet Task Force](#).
- IEEE P802.3bt [DTE Power via MDI over 4-Pair Task Force](#).
- IEEE P802.3ca [25 Gb/s, 50 Gb/s, and 100 Gb/s Ethernet Passive Optical Networks Task Force](#).
- IEEE P802.3cb [2.5 Gb/s and 5 Gb/s Backplane Task Force](#).
- IEEE P802.3cc [25 Gb/s Ethernet over Single-Mode Fiber Task Force](#).
- IEEE P802.3cd [50 Gb/s, 100 Gb/s, and 200 Gb/s Ethernet Task Force](#).
- IEEE P802.3-2015/Cor 1 (IEEE 802.3ce) [Multilane timestamping](#).
- IEEE P802.3.2 (IEEE 802.3cf) [YANG Data Model Definitions Task Force](#)
- IEEE P802.3cg [10 Mb/s Single Twisted Pair Ethernet Task Force](#)
- IEEE 802.3 [Multi-Gig Automotive Ethernet PHY Study Group](#)

FORNECEDORES DE *SWITCHES* DE NÚCLEO

- Cisco ([www.cisco.com](#))
- Extreme Networks ([www.extremenetworks.com](#))
- Broadcom ([www.broadcom.com](#))
- Juniper ([www.juniper.net](#))
- Dell ([www.dell.com](#))
- Outros

REFERÊNCIA

- ***ETHERNET ALLIANCE***
 - [www.ethernetalliance.org](#)

REDES LOCAIS IEEE 802.3

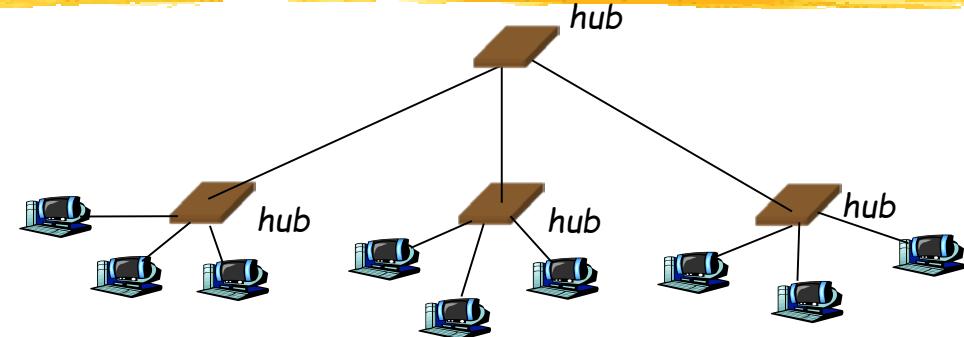
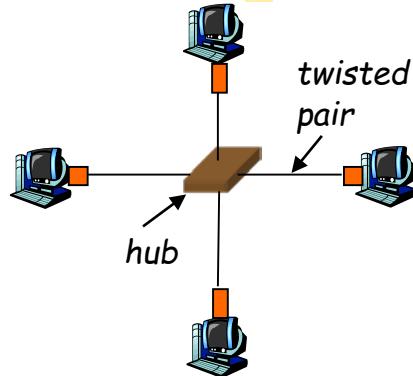


HUB

SWITCH

VLAN

HUB IEEE 802.3



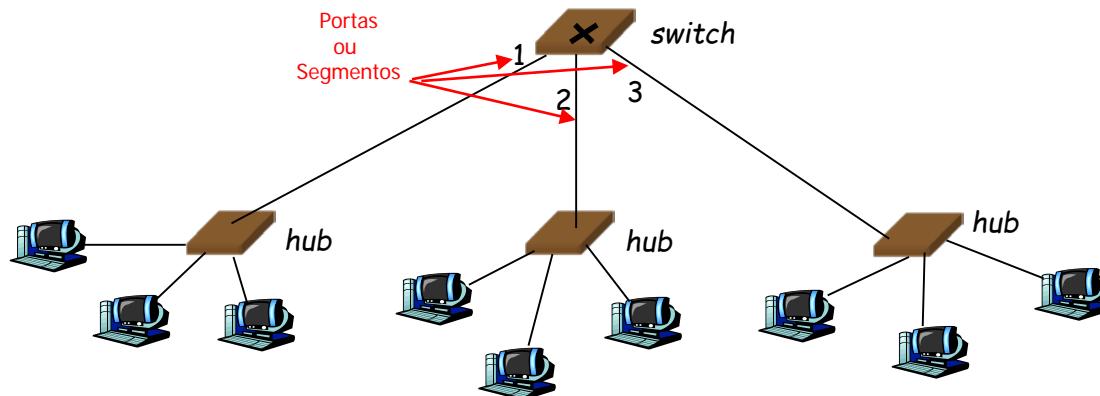
Hubs são tipicamente **repetidores de camada física**:

- bits chegam por uma porta e saem por todas as outras portas com a mesma taxa
- **Sem armazenamento** de quadro
- **sem CSMA/CD** no *hub*
- Podem prover algumas **funcionalidades de gerenciamento**

Backbone de hubs interconecta segmentos de LAN

- **aumenta a distância máxima** entre os nós
- desde que a distância entre um *host* e o *hub* seja de 100m
- Mas constitui um **único domínio de colisão**
- Podem **identificar máquinas defeituosas**
- Não podem interconectar diferentes tecnologias

SWITCH IEEE 802.3



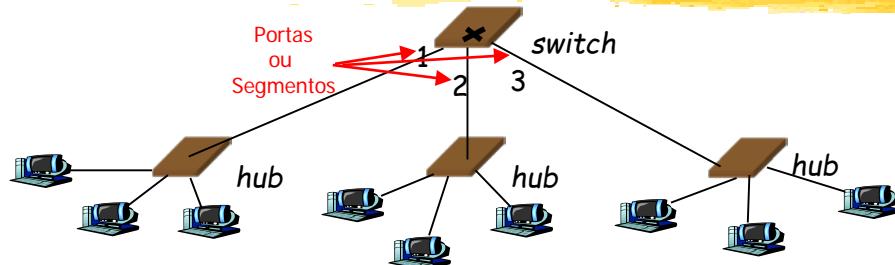
Dispositivo de nível 2 (camada de enlace)

- armazena e encaminha quadros IEEE 802.3/Ethernet
- examina cabeçalho dos quadros e os encaminha seletivamente com base no **endereço MAC de destino**
- para encaminhar o quadro ao segmento, utiliza CSMA/CD para acessar o segmento (porta)
- **Em princípio, não possui end. MAC !!!**

Transparente

- Hosts não notam a presença dos *switches*
- Configuração *plug-and-play, self-learning*
 - i.e., *switches* não precisam ser configurados

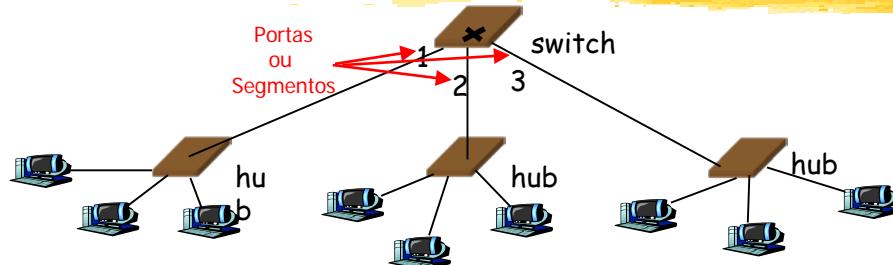
ENCAMINHAMENTO (FORWARDING)



■ Como determinar em qual segmento um determinado quadro deve ser encaminhado?

■ Parecido com o problema de roteamento

ENCAMINHAMENTO (FORWARDING)



Como determinar em qual segmento um determinado quadro deve ser encaminhado?

Parecido com o problema de roteamento

AUTO APRENDIZADO (*SELF-LEARNING*)

- O *switch* possui uma **tabela de comutação**
 - Entrada da tabela de comutação do *switch* :
 - (End. MAC, Interface, *Time Stamp*)
 - entradas antigas são descartadas (TTL pode ser de 60 min)
- *Switch aprende dinamicamente* (*self-learning*)
quais *hosts* podem ser alcançados através de cada interface
 - quando um quadro é recebido, o *switch* “aprende” a localização do emissor: entrada do segmento LAN (porta do *switch*)
 - o par (emissor, localização) é gravado na tabela do *switch*

EXEMPLO DE OPERAÇÃO

Estado **atual** do *switch*

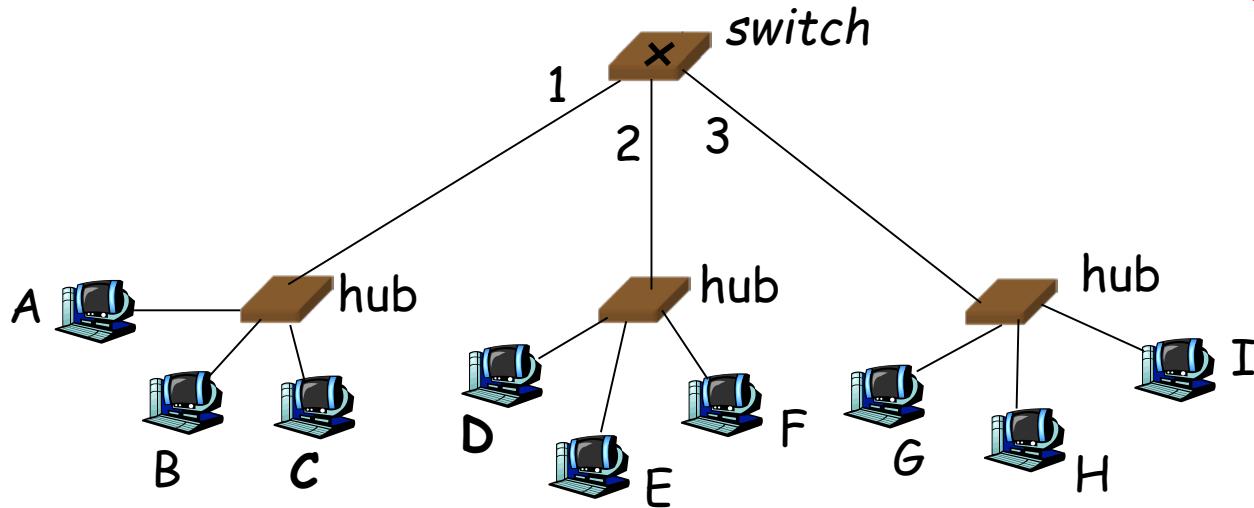


Tabela de comutação

| Address | Interface |
|---------|-----------|
| A | 1 |
| B | 1 |
| E | 2 |
| G | 3 |

- Neste momento o *switch* **sabe** em quais portas as estações A, B, E e G estão conectadas.

EXEMPLO DE OPERAÇÃO (2)

Suponha que **C** envia um quadro para **D**

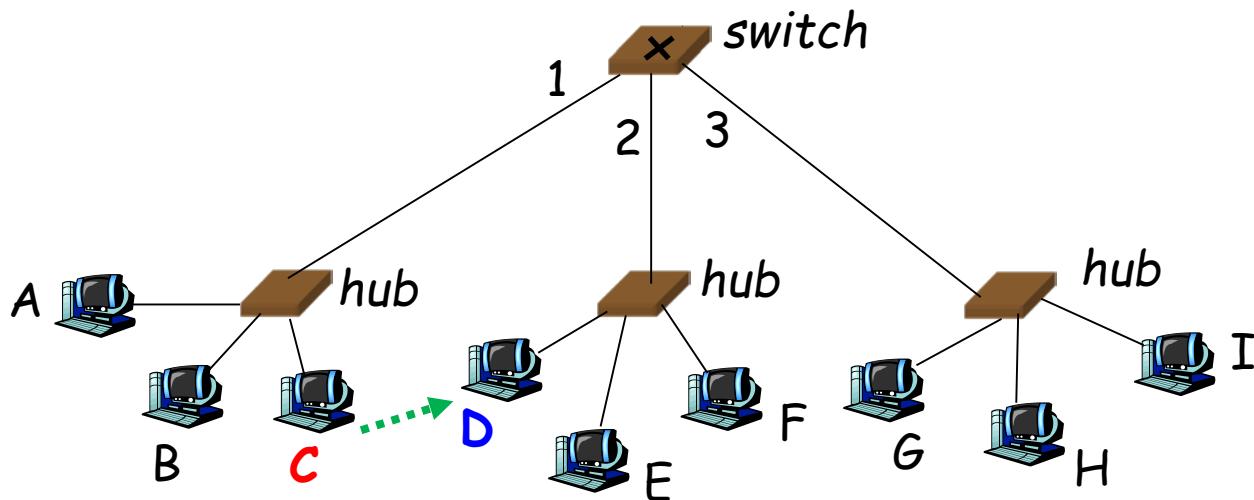


Tabela de comutação

| Address | Interface |
|----------|-----------|
| A | 1 |
| B | 1 |
| E | 2 |
| G | 3 |
| C | 1 |

- **Switch recebe o quadro de C**
 - **cria na tabela uma entrada** (**C** está na interface **1**)
 - como **D não está na tabela**, **switch encaminha o quadro para as interfaces 2 e 3**
- O quadro é então **recebido por D**

EXEMPLO DE OPERAÇÃO (3)

Suponha agora que o switch responde de volta para C

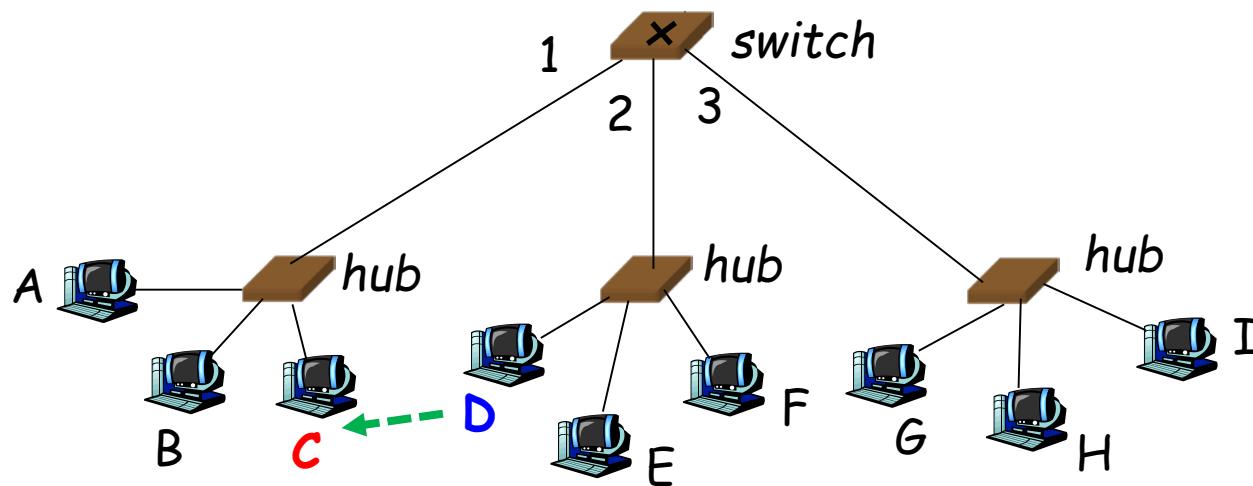


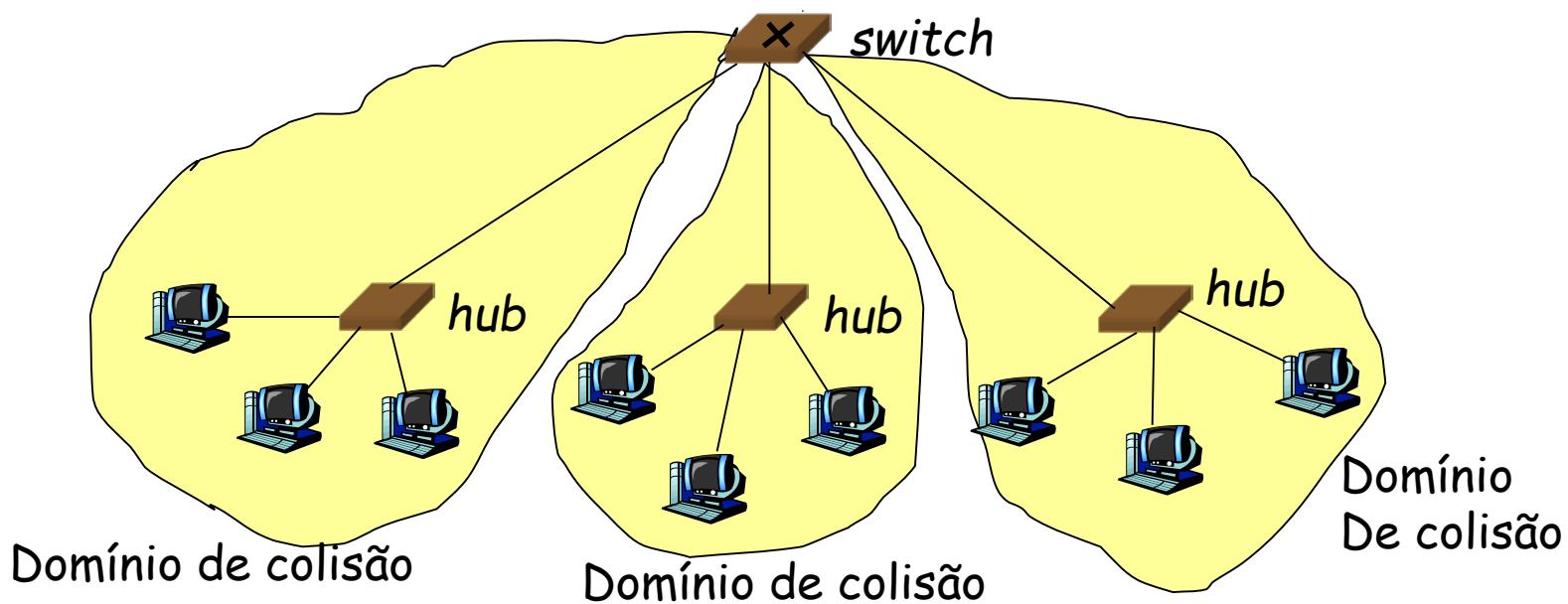
Tabela de comutação

| Address | interface |
|---------|-----------|
| A | 1 |
| B | 1 |
| E | 2 |
| G | 3 |
| C | 1 |
| D | 2 |

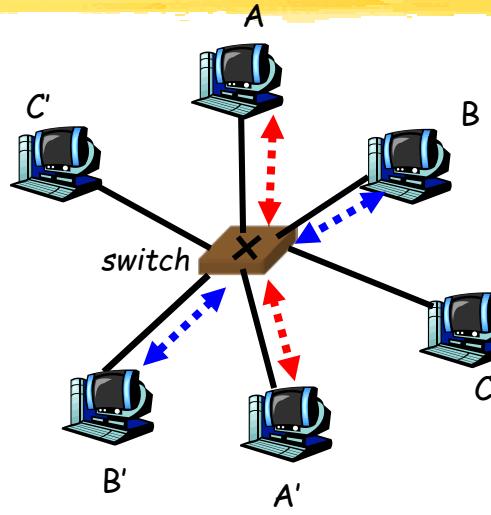
- **Switch recebe um quadro de D**
 - **cria na tabela uma entrada** (D está na interface 2)
 - como **C já está na tabela**, o switch encaminha o quadro **somente para interface 1**
- O quadro é **recebido por C**

ISOLAMENTO DO TRÁFEGO

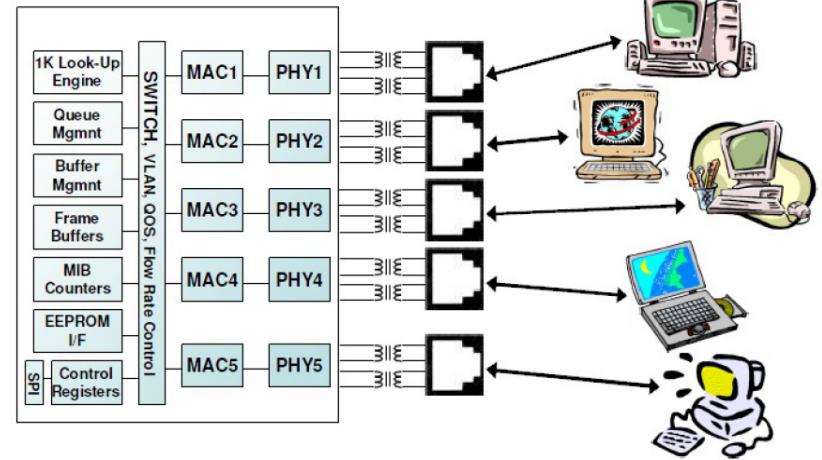
- Instalação de *switch* divide a LAN em **segmentos de LAN**
- Switch filtrando* pacotes:
 - quadros do mesmo segmento (origem=destino) não são encaminhados para outros segmentos
 - segmentos tornam-se diferentes domínios de colisão**



ACESSO DEDICADO



Arquitetura

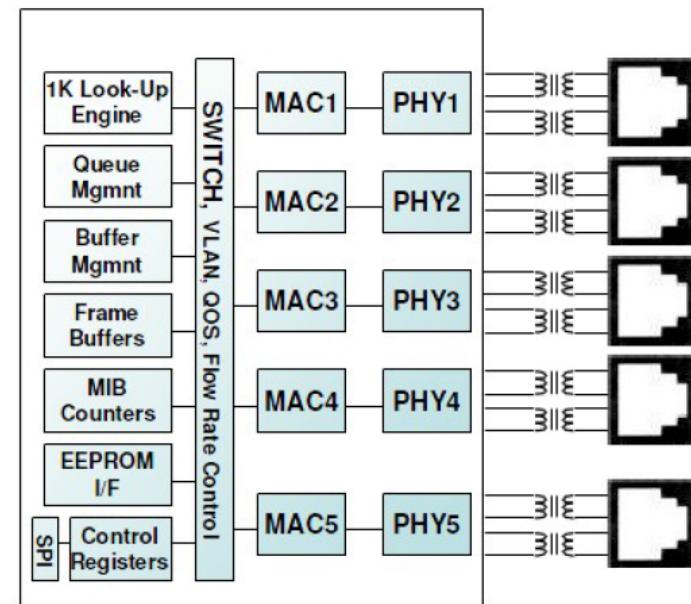
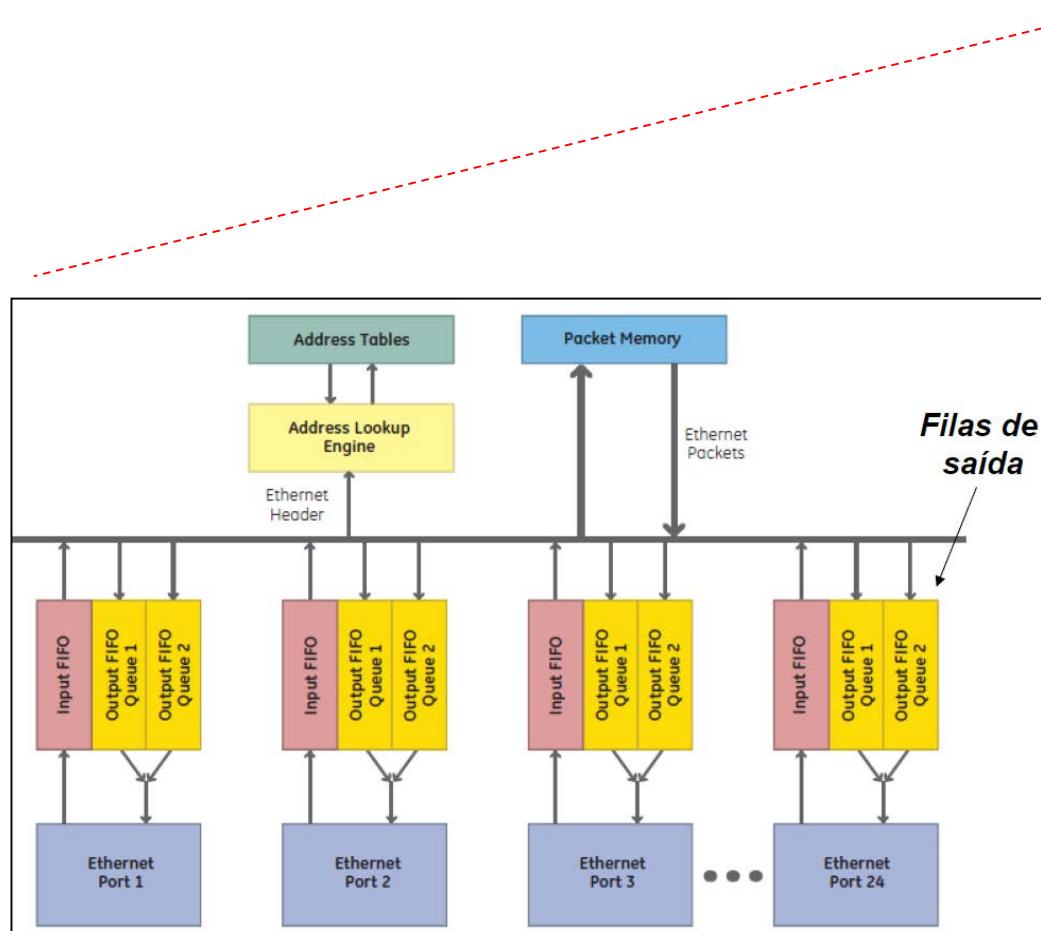


- *Switch com muitas interfaces*
- *Hosts podem ter conexões diretas ao switch*
- Modo ***full-duplex*** (sem colisões)

Switching :

A-para-A' e B-para-B' simultaneamente, sem colisões

ARQUITETURA DE SWITCH ETHERNET

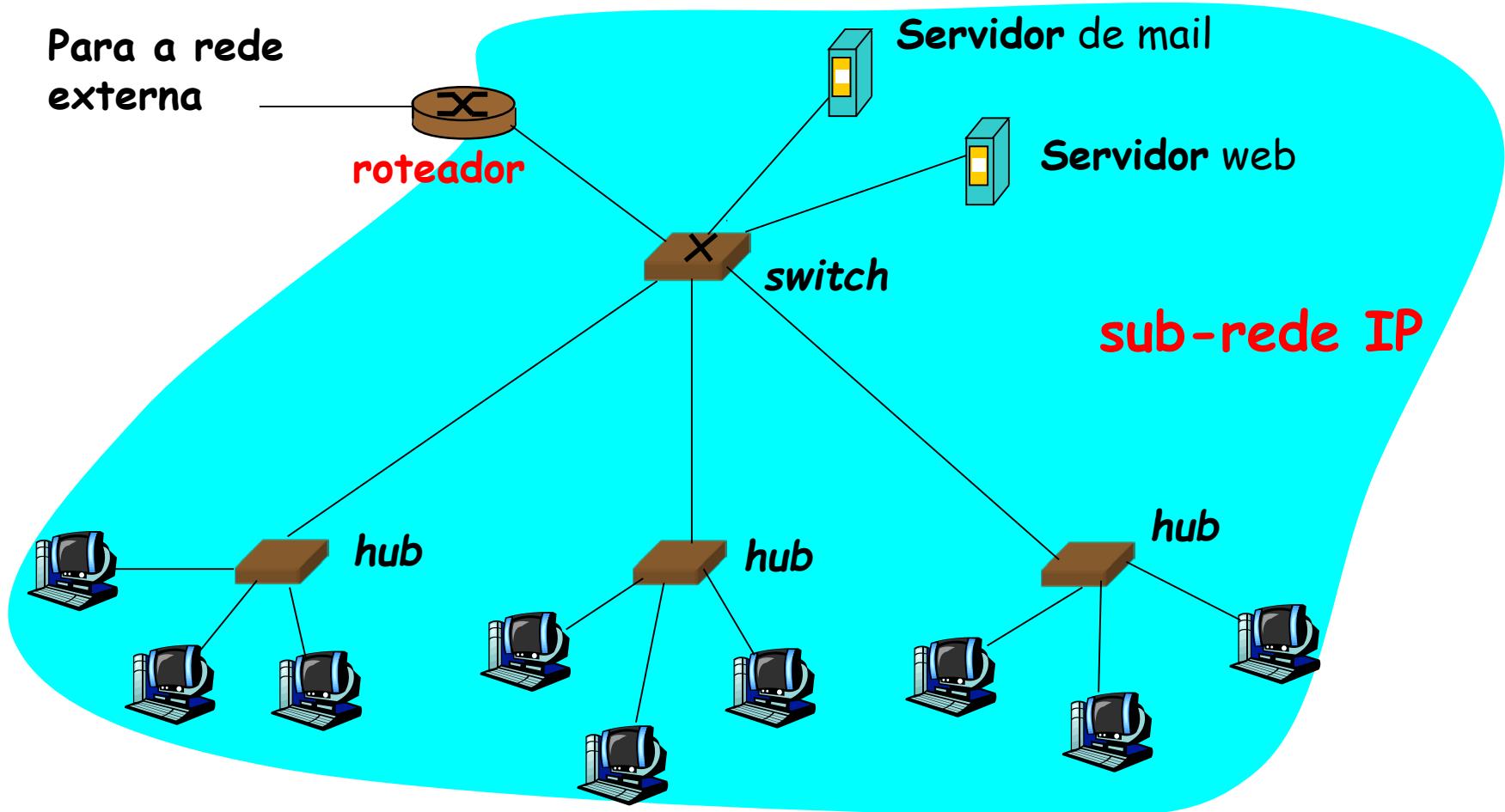


CUT-THROUGH SWITCHING

■ COMUTAÇÃO “ACELERADA”

- quadro encaminhado de uma porta de entrada para uma porta de saída **sem a necessidade de armazenar** o quadro inteiro
- pequena **redução da latência**
- mas **sem detecção de erros** com CRC

LAN INSTITUCIONAL



SWITCHES vs. ROTEADORES

Ambos **armazenam** e **encaminham**

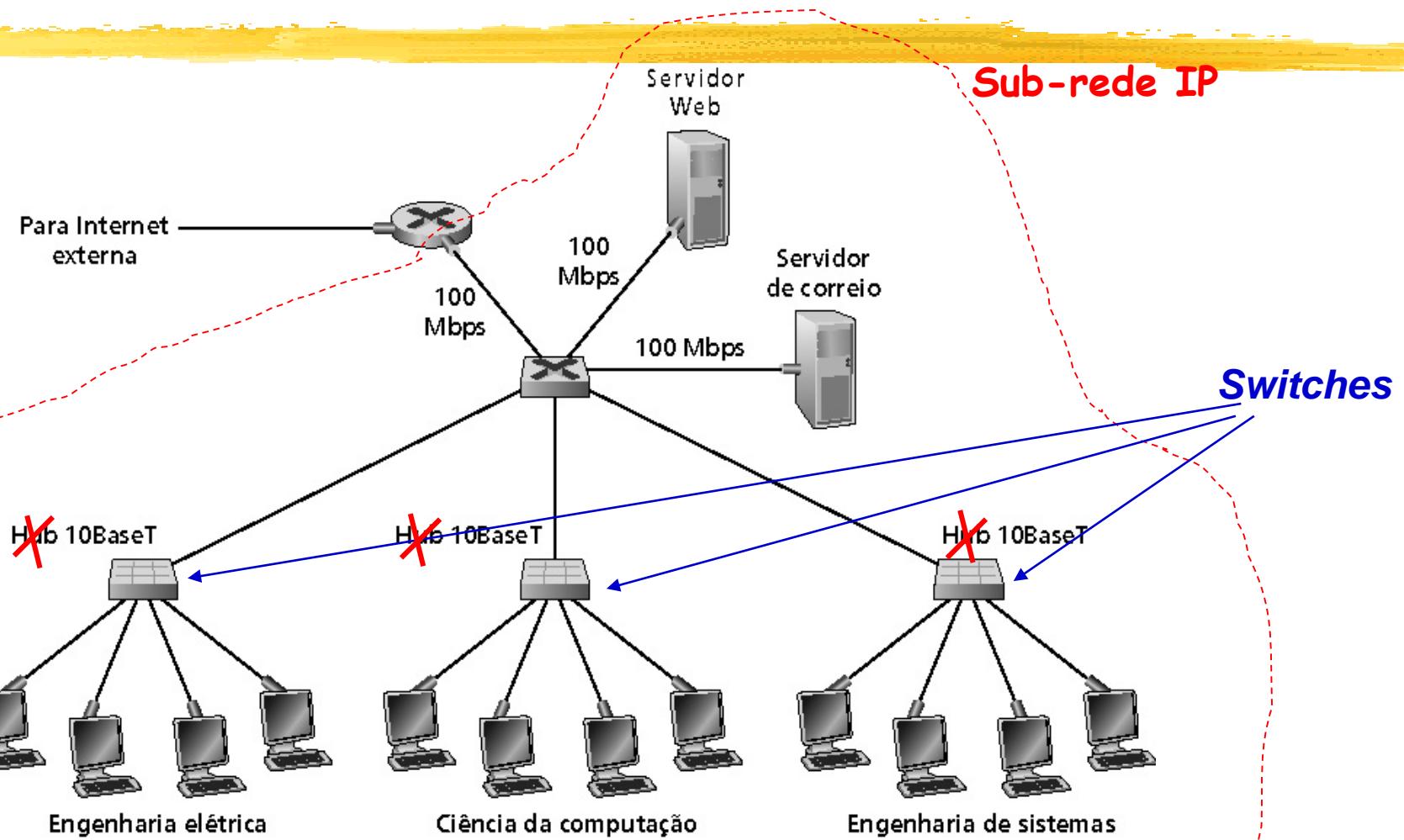
- **roteadores**: dispositivos da **camada de rede** (examina o cabeçalho da camada de rede)
- **switches** são dispositivos da **camada de enlace**

roteadores armazenam tabelas de encaminhamento, implementam algoritmos de roteamento

switches armazenam tabelas de *switching*, implementam filtragem, algoritmos de aprendizagem

| | <u>hubs</u> | <u>roteadores</u> | <u>switches</u> |
|------------------------------|-------------|-------------------|-----------------|
| <i>Isolamento do tráfego</i> | Não | Sim | Sim |
| <i>plug & play</i> | Sim | Não | Sim |
| <i>Roteamento ótimo</i> | Não | Sim | Não |
| <i>cut through</i> | Sim | Não | Sim |

EVOLUÇÃO DA LAN INSTITUCIONAL



DEFICIÊNCIAS DA CONFIGURAÇÃO HIERÁRQUICA DE SWITCHES

Falta de **isolação do tráfego**

- tráfego broadcast (ARP, DHCP e quadros com endereço de destino ainda não "aprendidos") afeta:
 - desempenho
 - segurança/privacidade

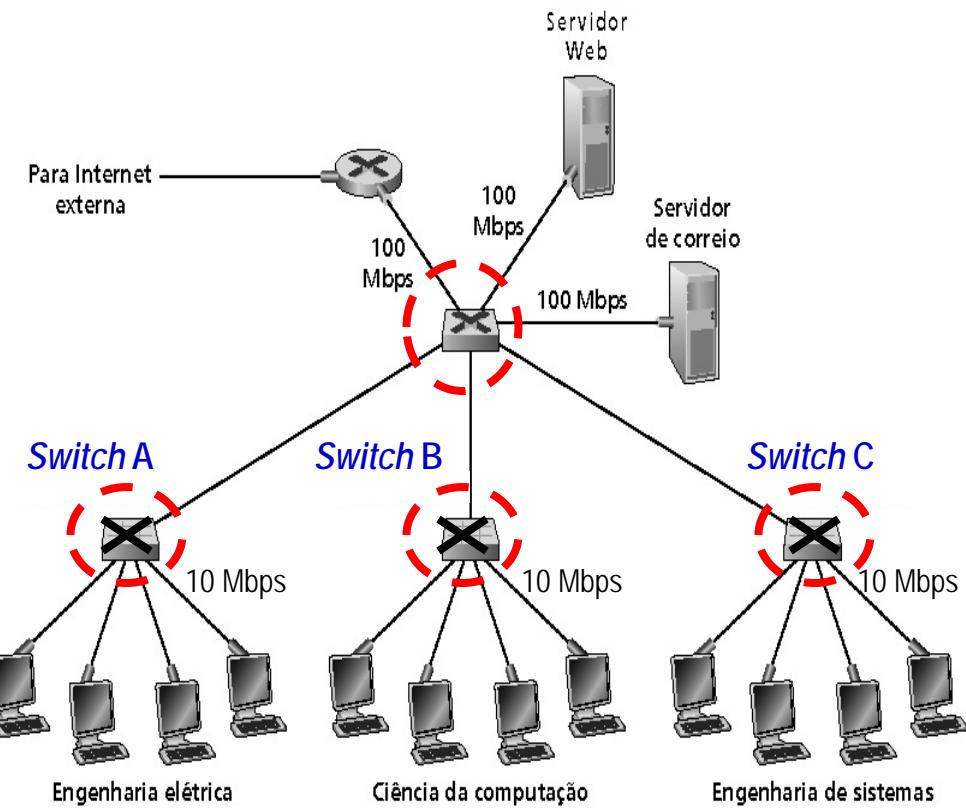
Ineficiência no uso de switches

- 10 grupos com ≤ 10 hosts cada \Rightarrow 10 switches (vs. único switch com 96 portas)

Gerenciamento de usuários

- se um usuário muda de grupo a **cabeação física deve acompanhar mudança**
- usuários pertencendo a 2 ou mais grupos?

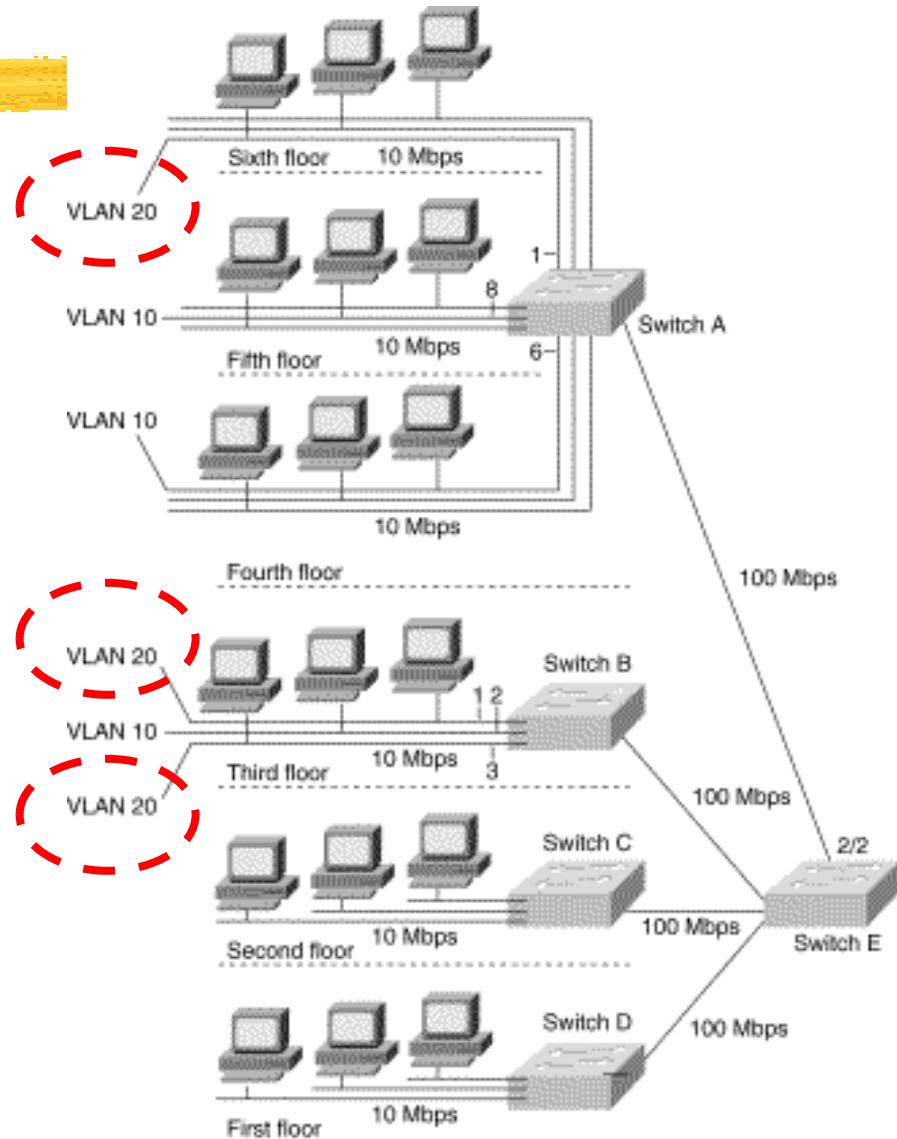
Solução?

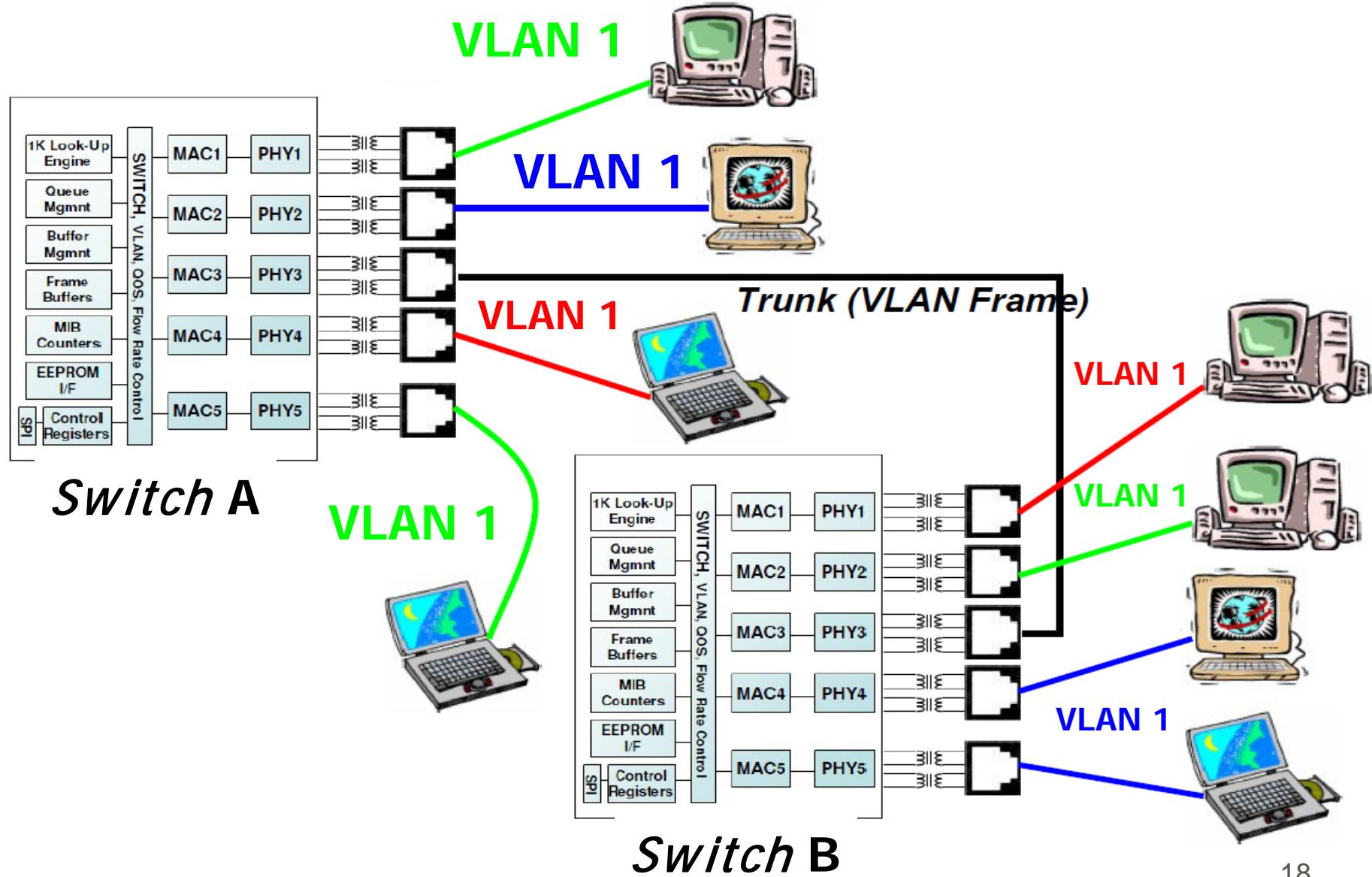


Virtual LAN (VLAN)

■ Permite definir **múltiplas LANs “virtuais”** numa única infraestrutura física de LAN

■ hosts numa VLAN comunicam-se entre si como se estivessem conectados a um mesmo switch



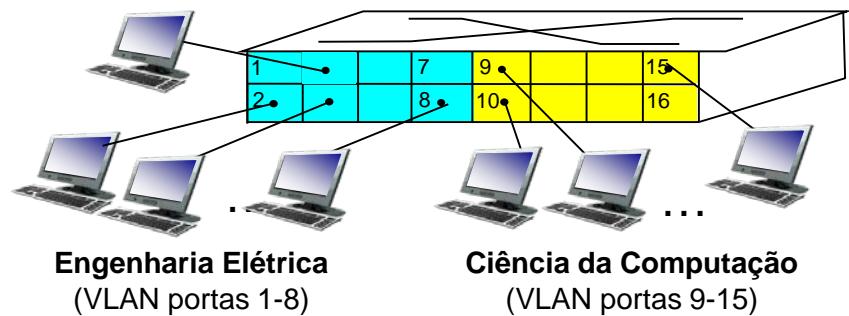


VLAN BASEADA EM PORTA

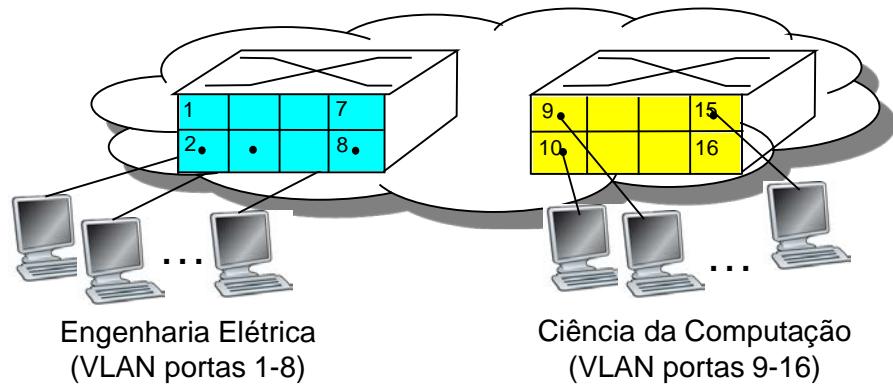
Características

- as **portas do switch** são divididas em **grupos** pela gerência da rede
- cada grupo constitui uma **VLAN** formando um **domínio de broadcast separado**

VLAN baseada em porta: portas de comutador agrupadas para que **único comutador físico** ...

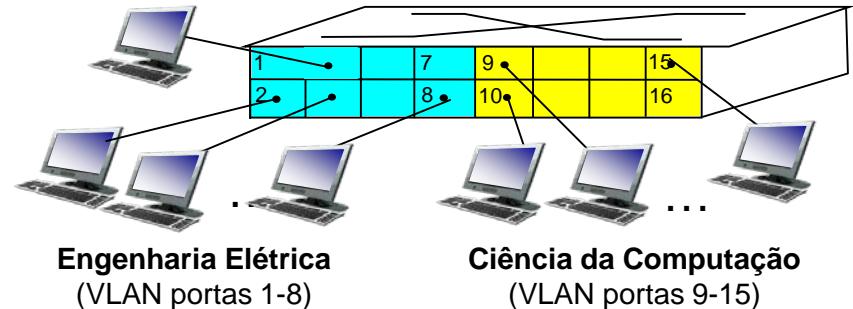


... opere como **múltiplos comutadores virtuais**



VLAN BASEADA EM PORTA (2)

Observe que a **separação em VLANs** resolve os problemas anteriormente levantados:



- **tráfego** de uma VLAN é **isolado** das outras
 - quadros de/para portas 1-8 só podem alcançar portas 1-8
 - também pode-se definir uma VLAN com base em **endereços MAC** das extremidades, em vez de porta do comutador
- **uso eficiente de switches** (1 ao invés de 2)
- gerenciamento nas **re-atribuições de portas** a VLANs feito **por software**
 - portas podem ser atribuídas dinamicamente entre VLANs

INTERCONECTANDO VLANS

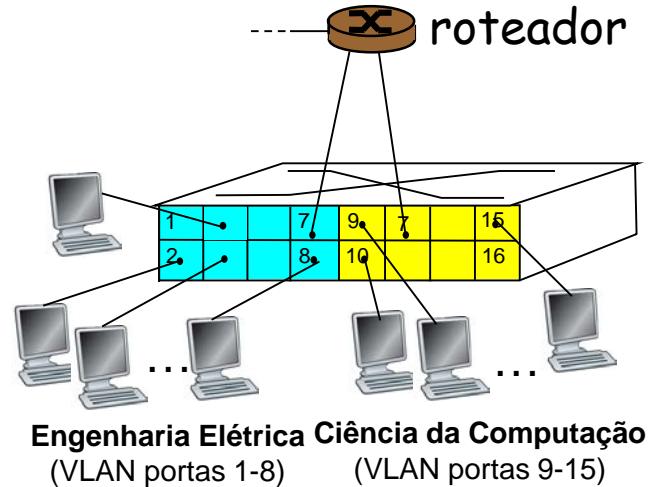
■ Questão:

- *Como interconectar as VLANs se o tráfego de uma VLAN é isolado das outras VLANs?*
- Em um MESMO SWITCH
- Em SWITCHES DISTINTOS

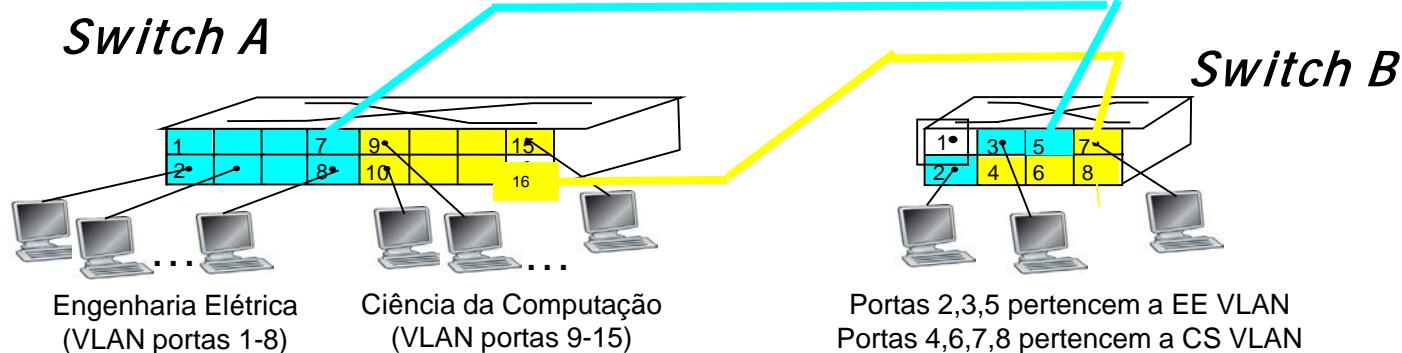
INTERCONECTANDO VLANS num MESMO SWITCH

Solução para 2 VLANs

- conectar **uma porta** do switch a um **roteador**
 - na prática, fornecedores vendem uma **combinação de comutador e roteador**
- atribuir a **porta escolhida** às **duas VLANs**
- configuração lógica:
 - é como se as duas VLANs pertencessem a switches separados conectados via roteador



INTERCONECTANDO VLANS em SWITCHES DISTINTOS



Solução para **2 VLANs distribuídas** em dois switches (A e B):

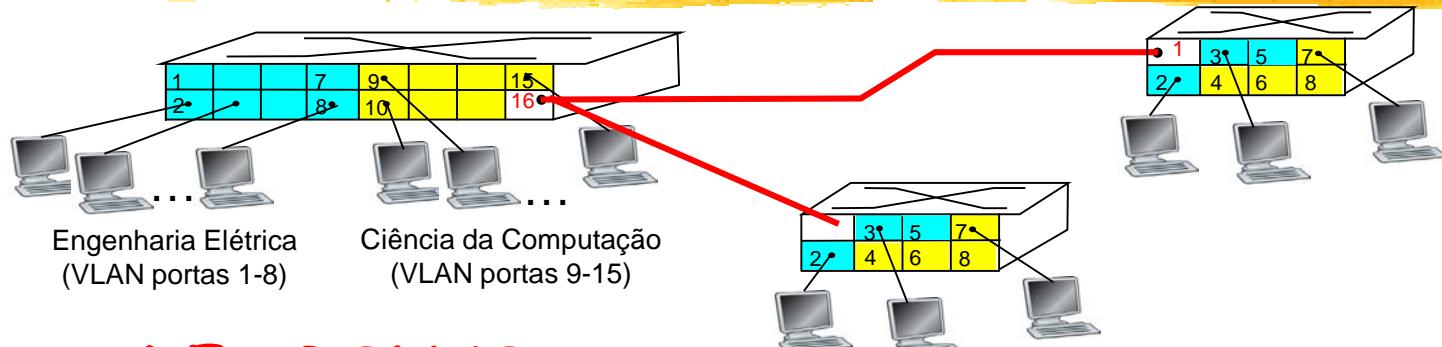
- reservar **2 portas** (**VLAN #1** e **VLAN #2**) em **cada switch**
- conectar (**via cabo**) a porta **VLAN #1** no **switch A** com a porta **VLAN #1** no **switch B**
- conectar a porta **VLAN #2** no **switch A** com a porta **VLAN #2** no **switch B**

Questão:

Escalabilidade dessa solução com N VLANs?

⇒ Solução com **MÚLTIPLOS SWITCHES**

INTERCONECTANDO VLANs com MÚLTIPLOS SWITCHES



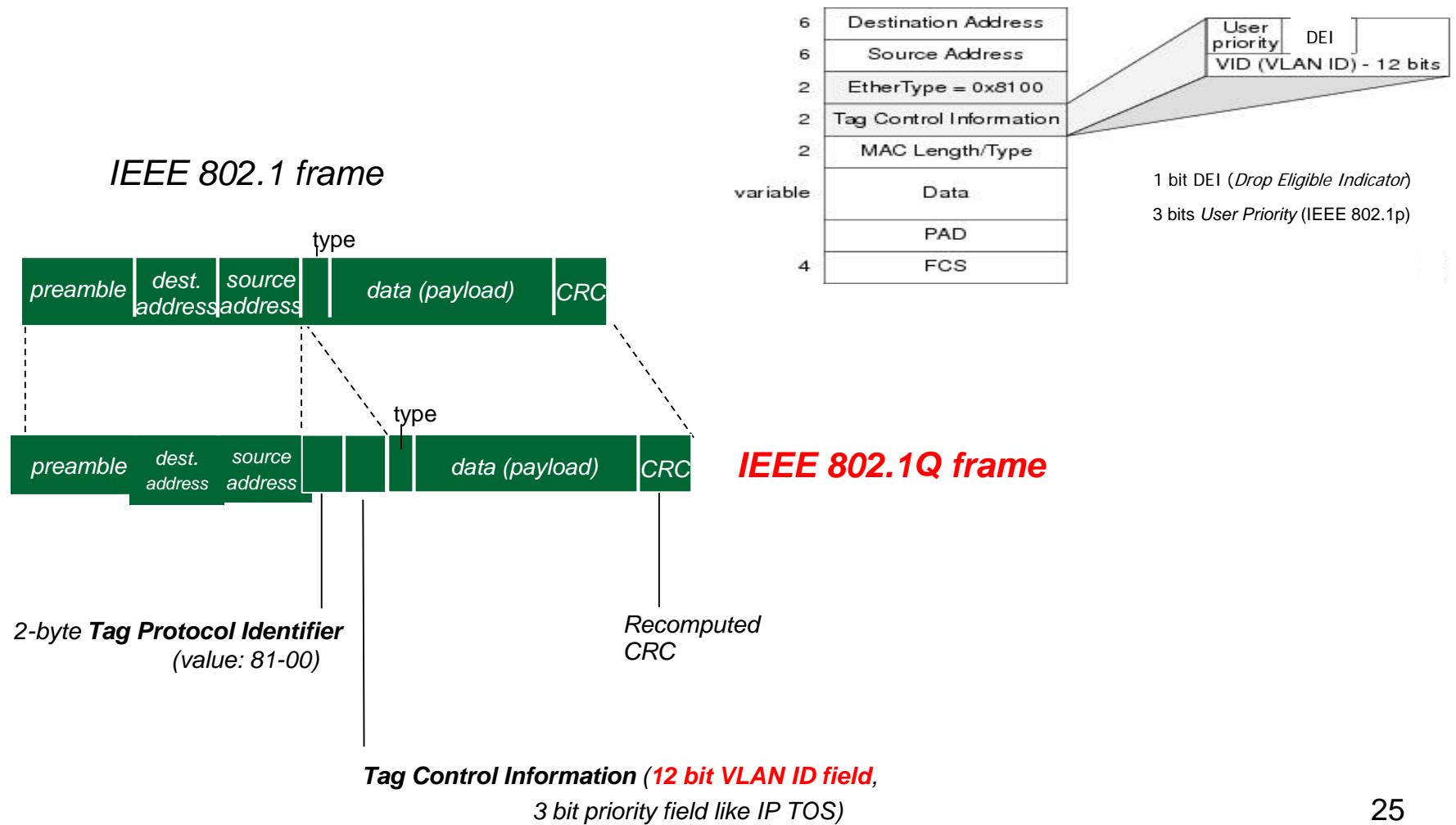
PORTA DE TRONCO

- uma porta especial (tronco) em cada switch pertencente à todas VLANs
- carrega quadros entre VLANs definidas sobre vários comutadores físicos

Como identificar os quadros de uma dada VLAN?

- quadros repassados dentro da VLAN entre comutadores não podem ser quadros IEEE 802.1 comuns (devem ter informação de **VLAN ID**)
- protocolo **IEEE 802.1q** inclui/retira campos de cabeçalho adicionais para quadros repassados entre portas de tronco

FORMATO DO QUADRO VLAN 802.1Q



TIPOS DE VLANs



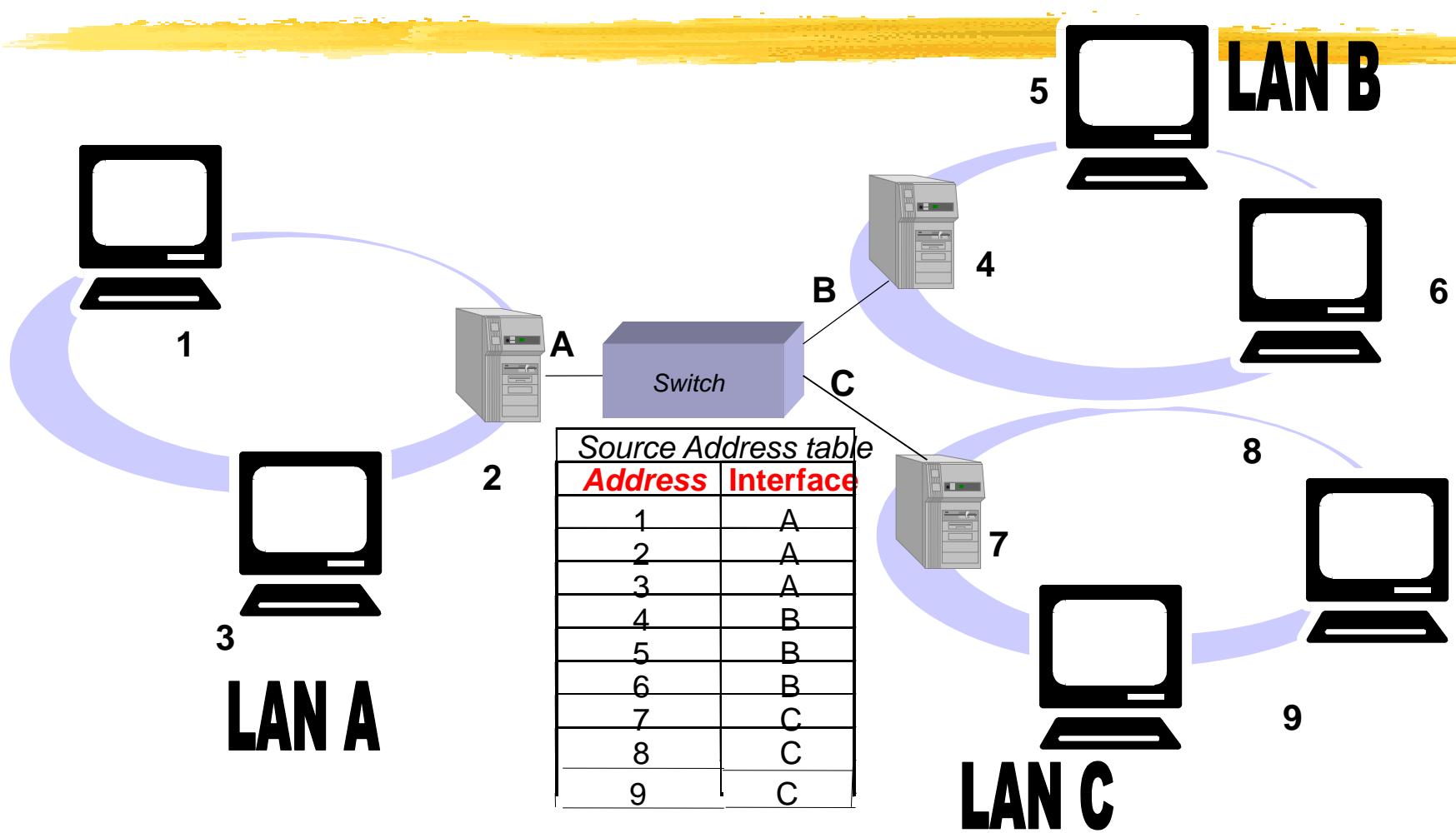
■ Estáticas

- baseadas em **portas**

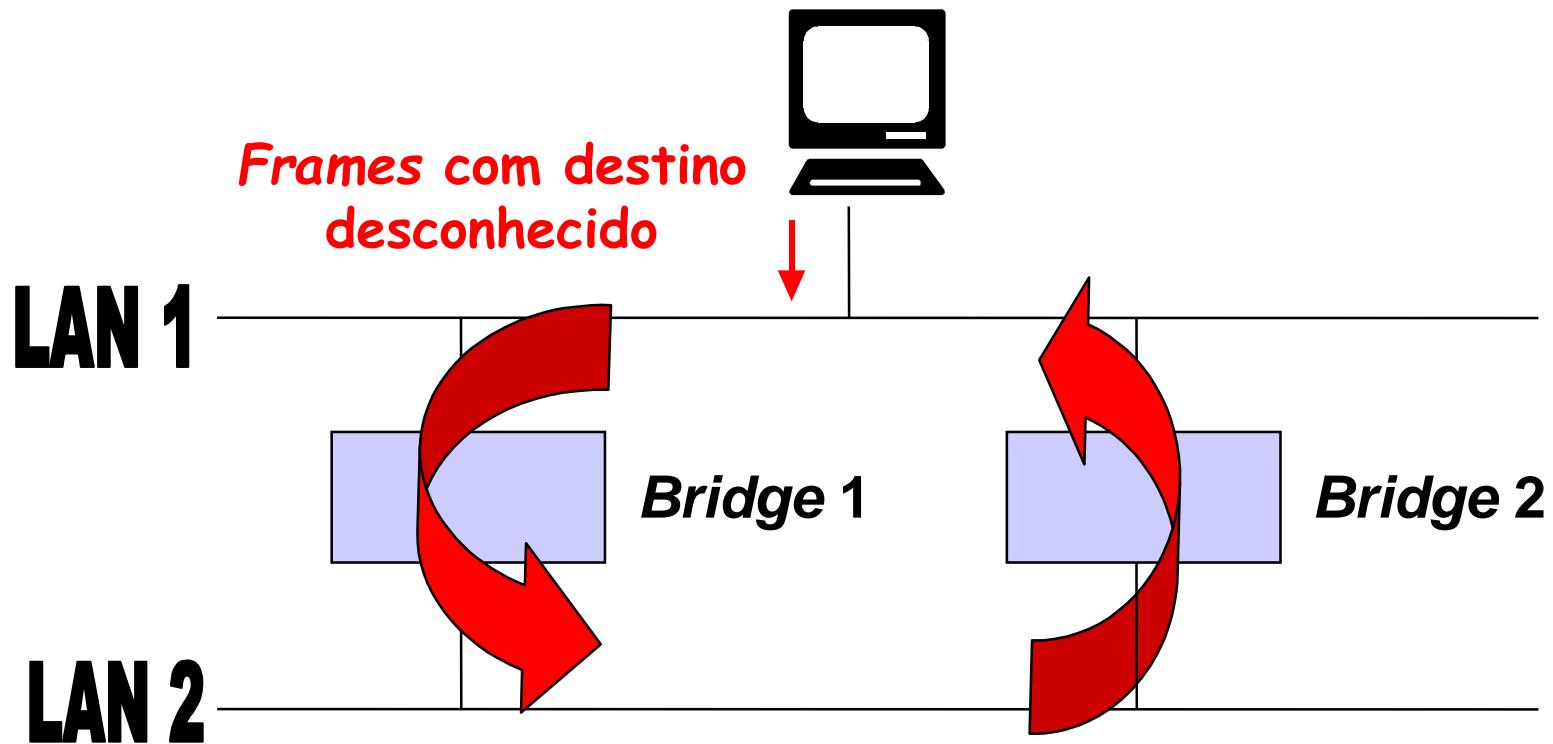
■ Dinâmicas

- baseadas em **endereços MAC**
- baseadas em **protocolos da camada de rede** (IPv4, IPv6, Appletalk etc)
- outros critérios
 - segurança etc

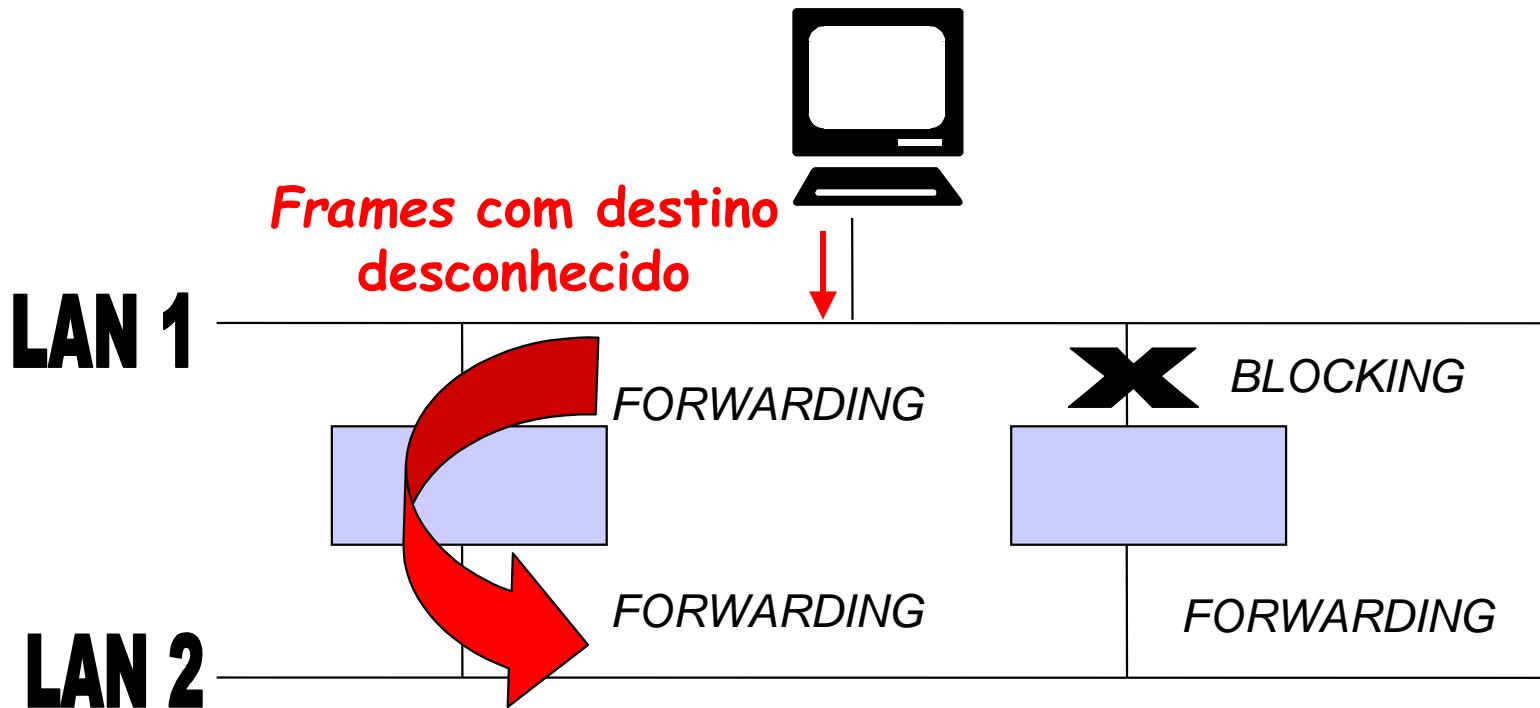
TABELA DE SWITCHING



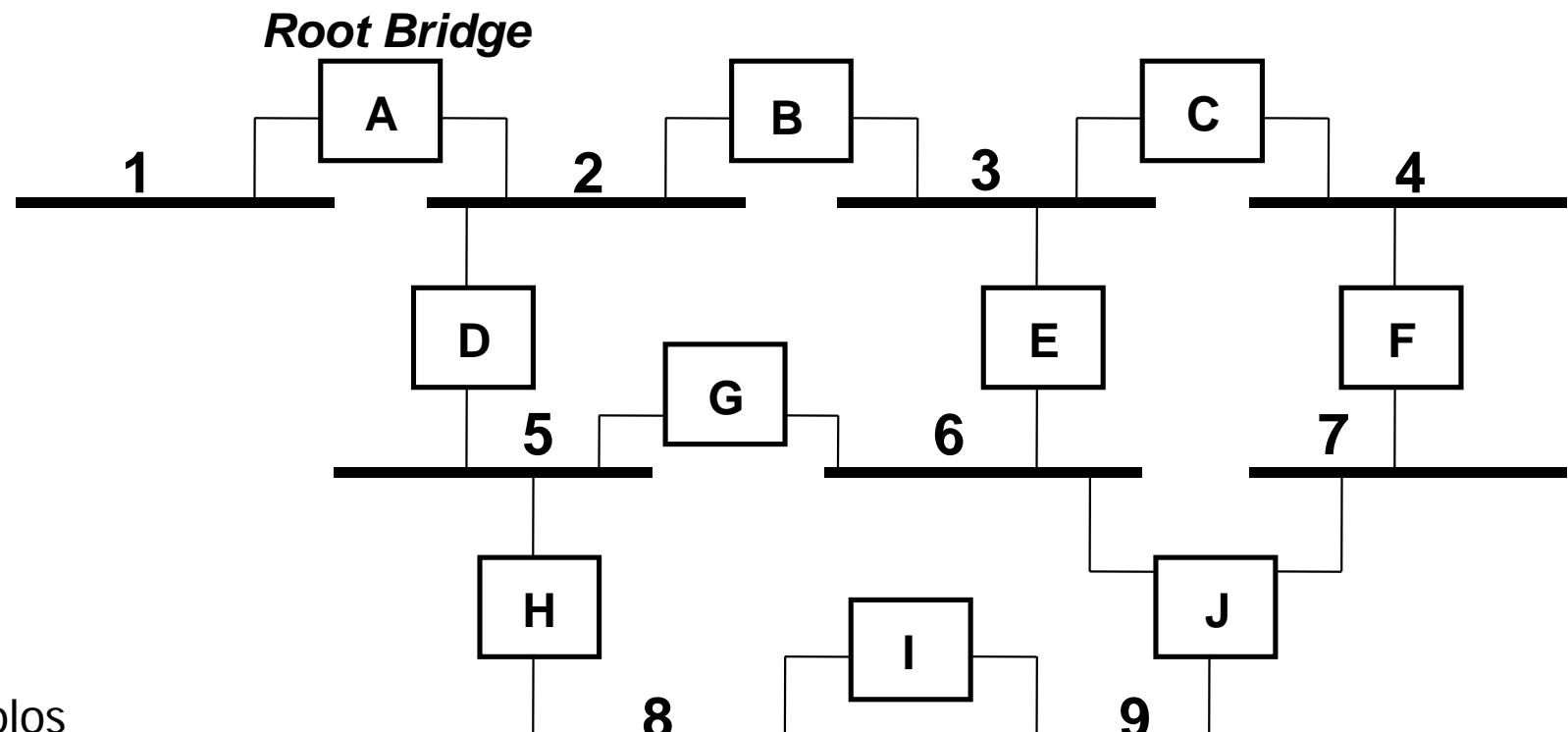
LOOPS



PREVENÇÃO DE LOOPS



PROTOCOLO SPANNING TREE



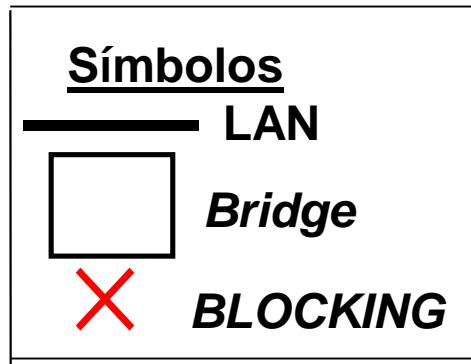
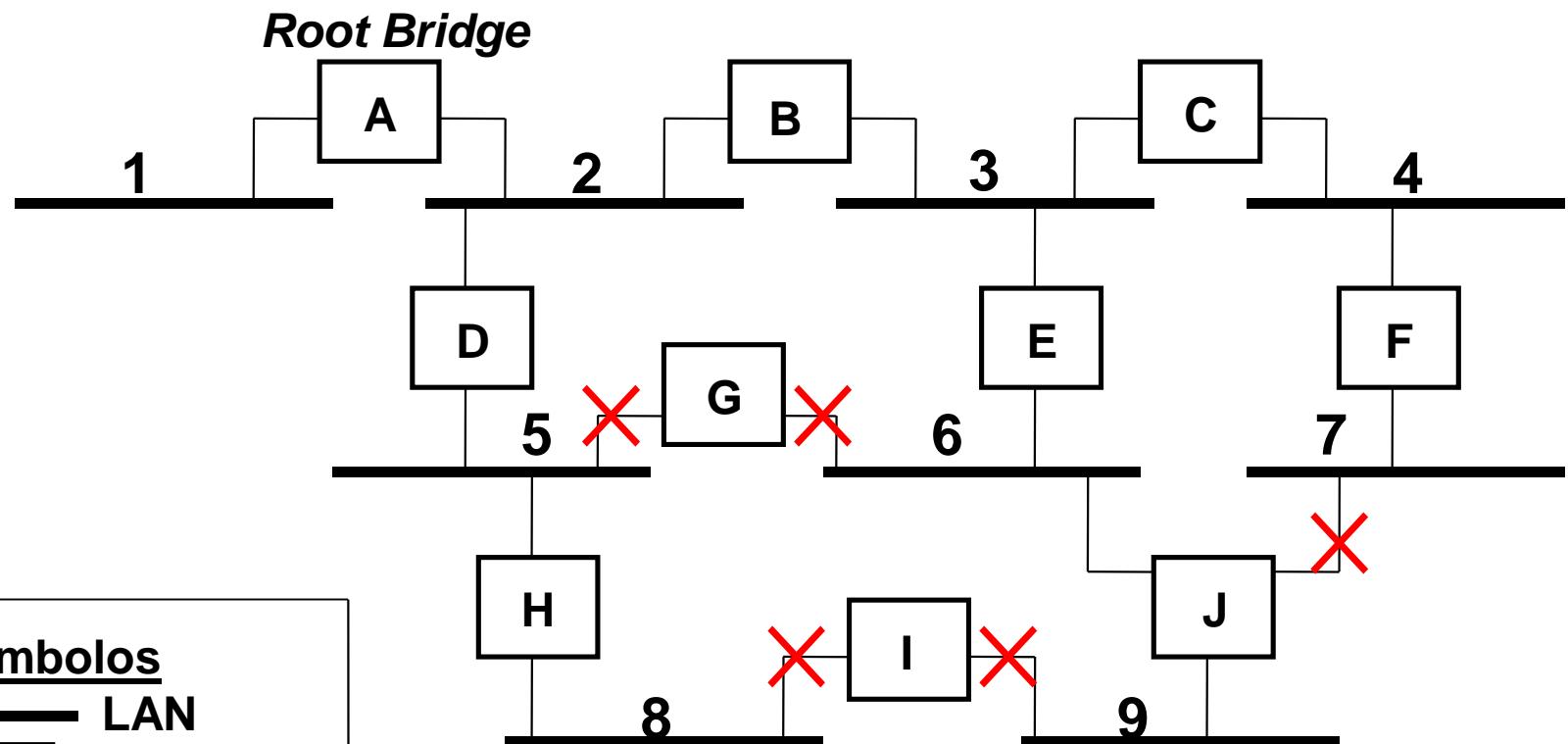
Símbolos

LAN



Switch/Bridge

PROTOCOLO SPANNING TREE (II)



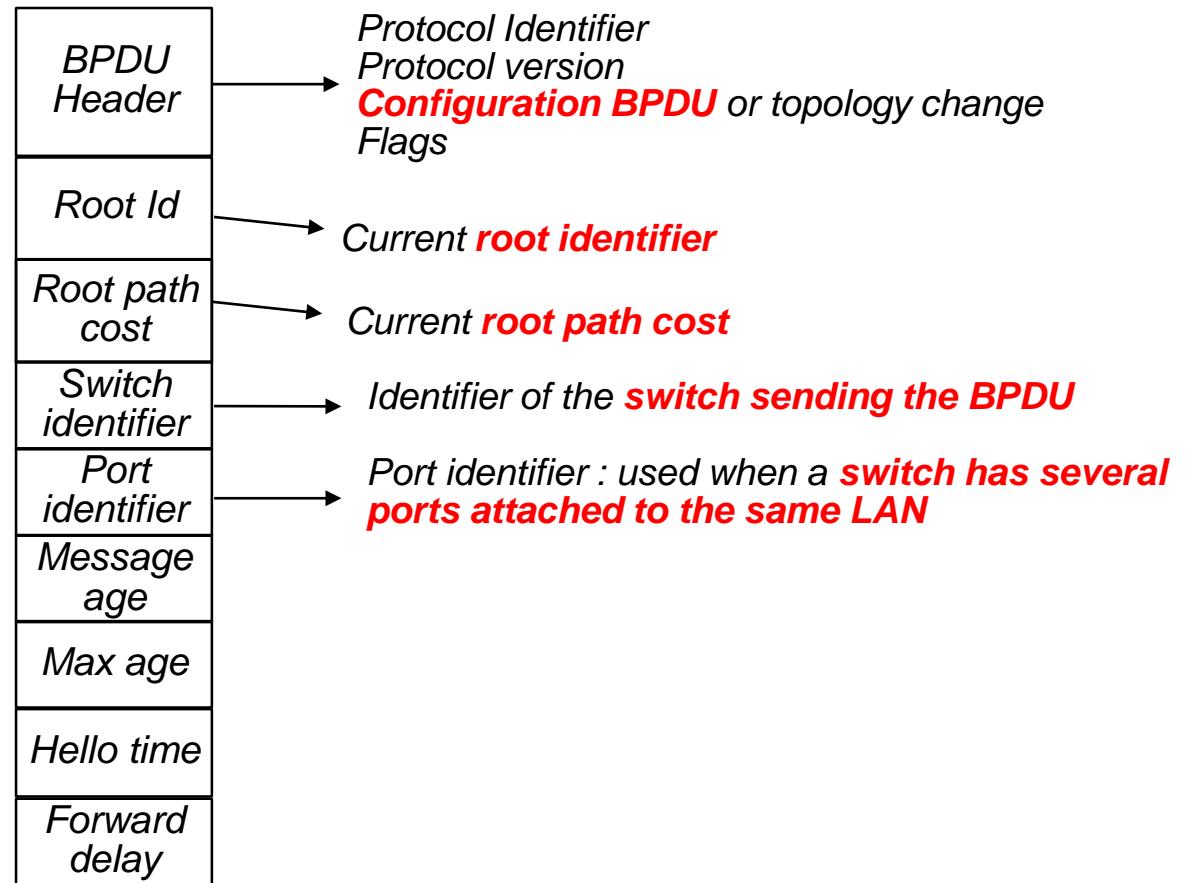
STP

Spanning Tree Packets

- A operação do algoritmo *Spanning Tree* é baseada em mensagens de configuração enviadas por cada switch em pacotes chamados *Bridge Protocol Data Units*, ou **BPDU**s.
- Cada pacote BPDU é enviado a um **endereço de destino multicast** atribuído para a operação *spanning tree*.
- Todos *switches* IEEE 802.1D participam do grupo multicast BPDU, escutando os quadros enviados para esse grupo multicast, de modo que cada *switch* pode enviar e receber mensagens de configuração *spanning tree*.

BPDU format

Formato BPDU simplificado



Escolhendo a *Root Bridge*

- A criação da *spanning tree* começa usando as informações das mensagens de configuração BPDU para eleição automática da *root bridge*.
- A eleição é baseada em um ***bridge ID (BID***) que por sua vez é baseado em uma combinação de um valor de **prioridade de bridge** configurável (*default* igual a 32.768) e o **endereço MAC Ethernet** atribuído a cada *bridge* para uso no processo de *spanning tree*, chamado de "***system MAC***".
- As *bridges* enviam *BPDUs* umas para as outras e a ***bridge com menor BID*** é automaticamente eleita para ser a *root bridge*.
 - Assumindo que a prioridade da *bridge* foi o *default* (32.768), a *bridge* com o menor valor numérico de endereço Ethernet atribuído será eleita como *root bridge*.

Escolhendo o Caminho de Menor Custo

- Escolhida a *root bridge*, **cada *non-root bridge*** usa essa informação para determinar quais de suas portas tem o **caminho de menor custo até a *root*** e então designá-la como a ***root port (RP)***.
- Todas as outras *bridges* determinam qual de suas portas conectadas a outros enlaces tem o caminho de menor custo até a *root bridge*.
- A *bridge* com o caminho de menor custo é designada como ***designated bridge (DB)***, e as suas portas como ***designated ports (DP)***.
 - Se houver múltiplos caminhos com o mesmo custo, o caminho conectado com a *bridge* com menor ID será o escolhido.

Exemplos de custos

CUSTO DO *LINK*



- Cada porta de *switch* está conectada a um enlace físico (*link*)
- Os custos dos *links* podem ser configurados pelo administrador da rede
- Valores recomendados de custos (IEEE 802.1d):

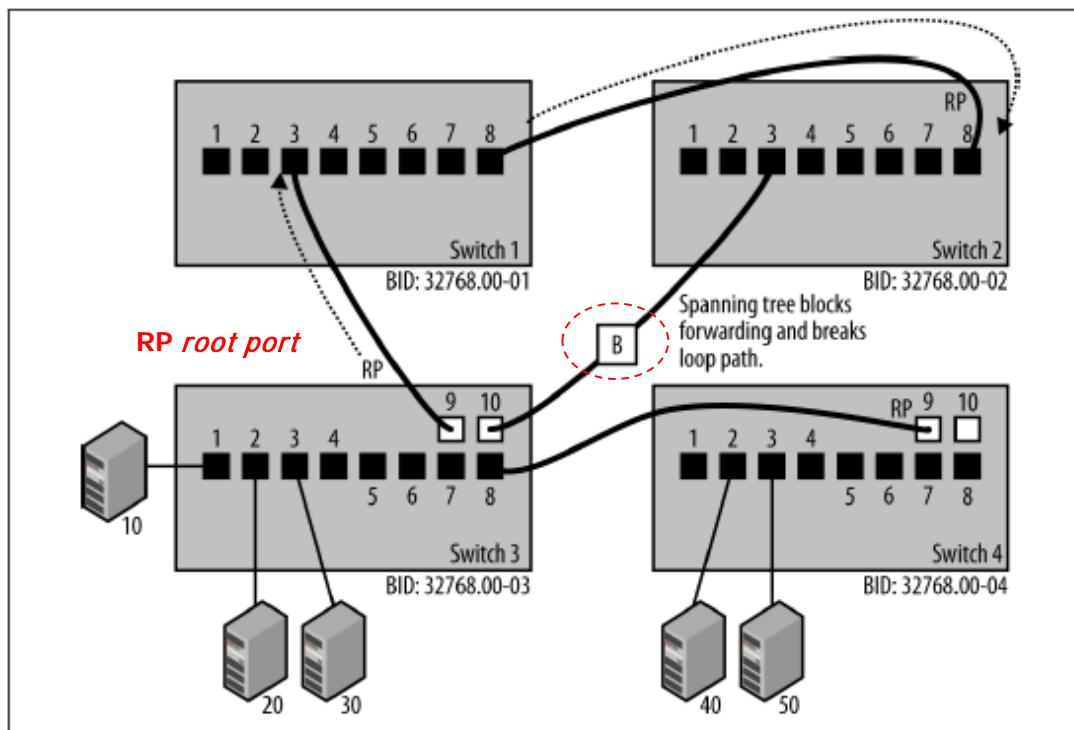
| Taxa | Custo recomendado |
|-----------|-------------------|
| 10 Mbps | 2000000 |
| 100 Mbps | 200000 |
| 1000 Mbps | 20000 |
| 10 Gbps | 2000 |
| 100 Gbps | 200 |

Bloqueando os caminhos em *Loop*

- Terminado o processo de determinação do ***status das portas***, a combinação de ***root ports*** e de ***designated ports*** provê a informação necessária para o algoritmo *spanning tree* **identificar** os melhores caminhos e **bloquear** todos os outros caminhos.
- O encaminhamento de pacotes em qualquer porta que não seja *root port* ou *designated port* é **desabilitado pelo bloqueio da porta**.
- As **portas bloqueadas** não encaminham pacotes mas **continuam a receber BPDUs**.
- O ***Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)*** envia pacotes BPDUs a cada 2 segundos para monitorar o estado da rede, e uma porta pode ser desbloqueada quando uma mudança de caminho for detectada.

EXEMPLO

- O **Switch 1** tem o **menor BID** e o resultado do processo de eleição do *spanning tree* indica o *Switch 1* como a ***root bridge***.
- A porta bloqueada identificada por "B" indica que a **porta 10** no *Switch 3* está no **modo bloqueado** e que esse enlace não encaminha pacotes.



INTERCONEXÃO DE SWITCHES

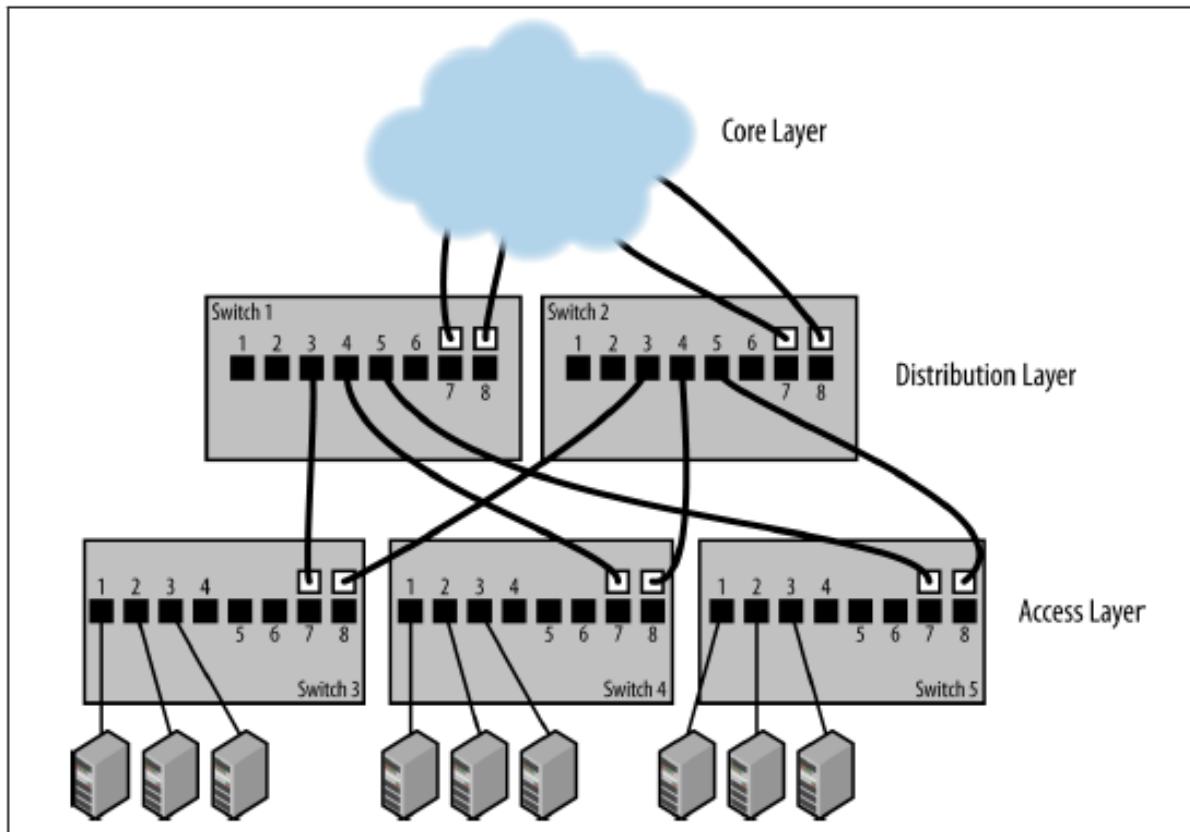


Figure 3-4. Distribution network in a building

Fonte: Spurgeon, C. E. and Zimmerman, J. - Ethernet Switches. O'Reilly, 2013.

SPANNING TREE and NETWORK RESILIENCY

Resiliência

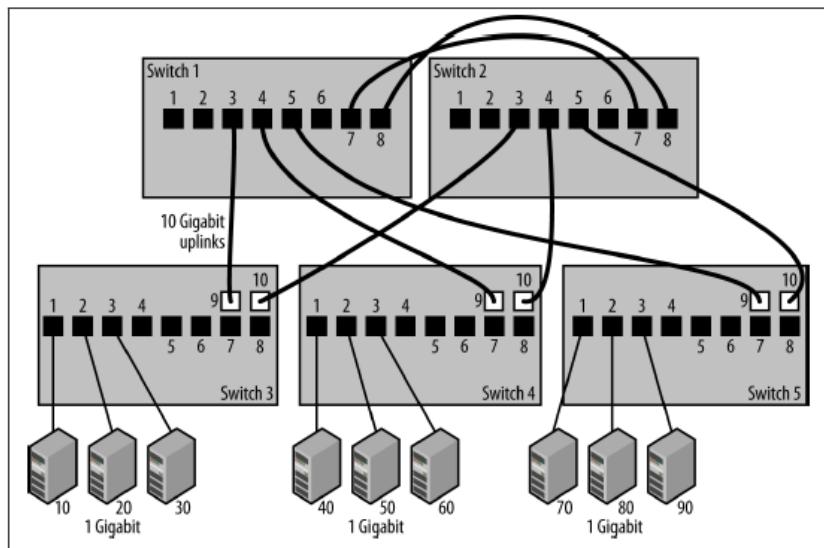


Figure 3-5. Network resiliency with switches

Spanning Tree

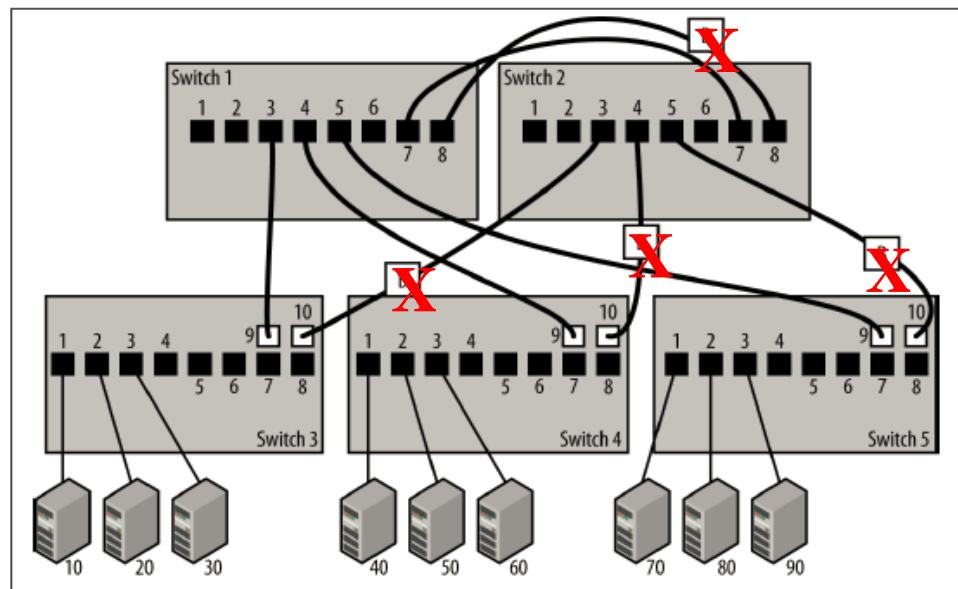


Figure 3-6. Spanning tree suppresses loop paths

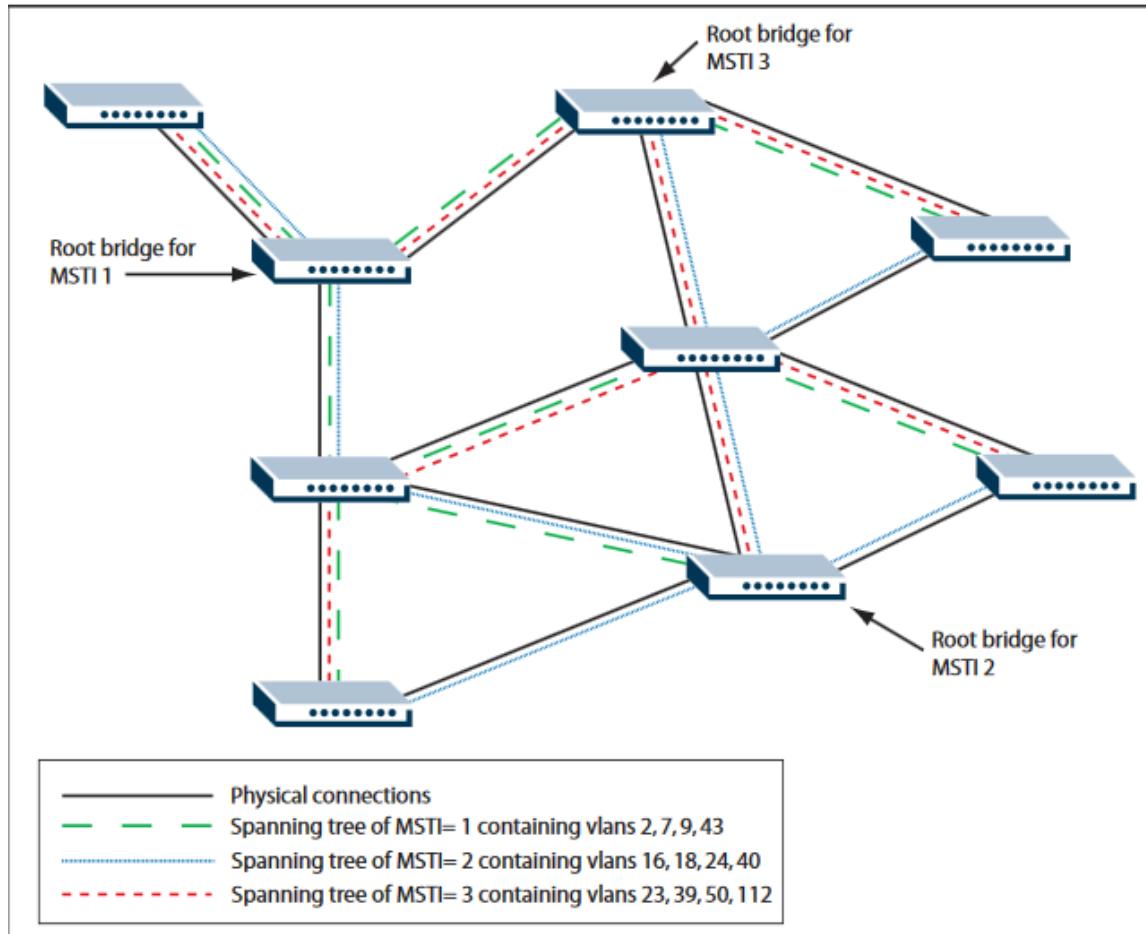
7 SALTOS NO MÁXIMO

- O padrão IEEE 802.1D até 1998 recomendava um diâmetro máximo de **7 saltos (hops)**, i.e., 7 *switches* no caminho entre quaisquer duas estações.
- O limite recomendado baseava-se nos atrasos ida-e-volta num caminho com 7 *switches* que poderiam impactar negativamente as aplicações sensíveis ao atraso.
- As versões posteriores retiraram essa recomendação mas continua a ser uma boa prática minimizar o número de saltos de *switches*.

VERSÕES DE STP

- O **protocolo STP original** do **IEEE 802.1D**, especifica um único processo *spanning tree* rodando em um *switch*, gerenciando todas portas e VLANs com uma única máquina de estado.
 - O padrão não impede que os fabricantes implementem suas próprias versões de STP, por exemplo com processos *spanning tree* separados para cada VLAN, como a versão da Cisco *per-VLAN spanning tree (PVST)*.
- Uma versão evoluída do padrão IEEE 802.1D, chamada *de Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)*, foi definida em 2004.
 - Aumenta a velocidade de operação do protocolo STP e é compatível com a versão original.
- O **IEEE 802.1Q** (2005) incluiu também uma nova versão chamada *Multiple Spanning Tree (MST)*.
 - Permite **agrupar** e mapear **VLANs** em **diferentes instâncias** de *spanning tree*
 - Em 2014 todas as funcionalidades do IEEE 802.1D foram incorporadas pelo IEEE 802.1Q

MULTIPLE SPANNING TREE



Fonte: en.wikipedia.org/wiki/Multiple_Spanning_Tree_Protocol

SHORTEST PATH BRIDGING (SPB)

■ Padrão **IEEE 802.1aq**

- simplifica a criação e configuração de redes, permitindo o **roteamento de caminhos múltiplos**.
- substitui os protocolos de *spanning tree* mais antigos que bloqueavam quaisquer caminhos redundantes que poderiam resultar em um *loop* de camada 2.

■ VANTAGENS

- permite que todos os caminhos estejam ativos com **vários caminhos de custo igual**;
- fornece **topologias de camada 2** muito maiores;
- oferece suporte a **tempos de convergência mais rápidos**;
- melhora a **eficiência** permitindo que a **carga de tráfego compartilhe todos os caminhos** de uma rede em malha (*mesh*).

REFERÊNCIAS



- livro texto do **Kurose**, a partir da "**5th edition**"
- Livro do Spurgeon, C. E. e Zimmerman, J.-Ethernet Switches. O'Reilly, 2013
- **white paper** da Cisco - Bridging Between IEEE 802.1Q VLANs.

REDES LOCAIS

IEEE 802.2



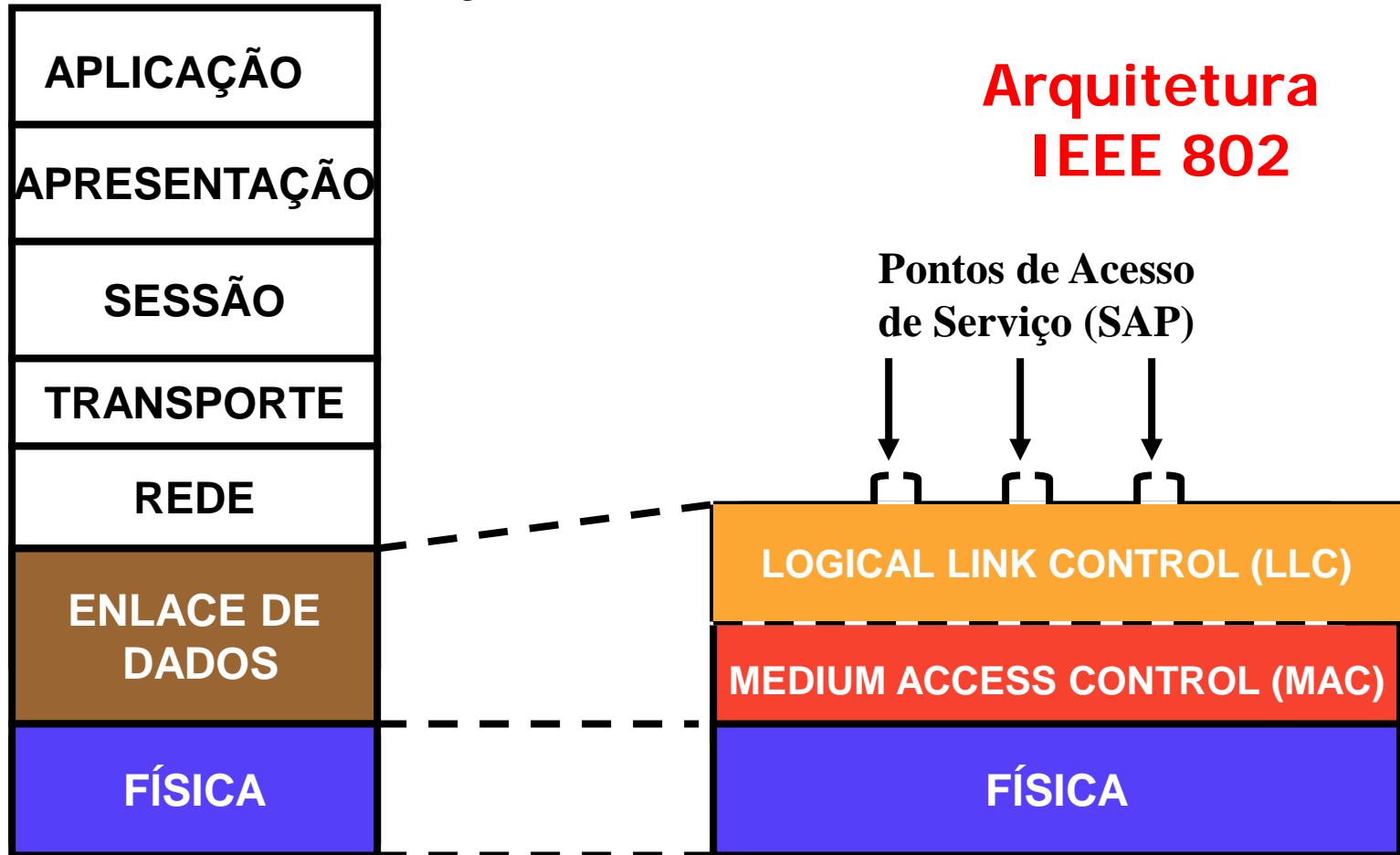
Logical Link Control (LLC)

Serviços

Protocolos

ARQUITETURAS

OSI/ISO (*Open System Interconnection / International Standards Organization*)



Serviços da camada de enlace

■ Enquadramento de dados:

- Encapsular datagrama dentro do frame, adicionar cabeçalho
- Podem ser utilizados campos de controle no fim do quadro (*trailer*)

■ Acesso ao enlace

- Acessar o canal se o meio for compartilhado
- Endereço MAC (*Medium Access Control*) usado no cabeçalho para identificar origem e destino
 - Diferente do endereço IP
- Ponto a Ponto ou *Broadcast*

■ Entrega confiável entre nós adjacentes

- Raramente usado em enlaces com baixa taxa de erro (fibra, alguns par trançado)
- *wireless* : alta taxa de erro
- Reconhecimento e retransmissões
- P: Por que serviço de entrega confiável tanto na camada de enlace como na camada de *transporte*?

Serviços da camada de enlace (2)

Controle de fluxo:

- Os nós de cada extremidade tem capacidade limitada de armazenar quadros
- Evitar que um nó transmissor com maior capacidade de processamento congestione o nó receptor

Detecção de erro:

- Erros causados por atenuação do sinal, ruído
- Receptor detecta presença de erros
 - Sinaliza ao emissor para retransmitir ou descarta o frame
- É necessária a utilização de informações de controle para a detecção de erros

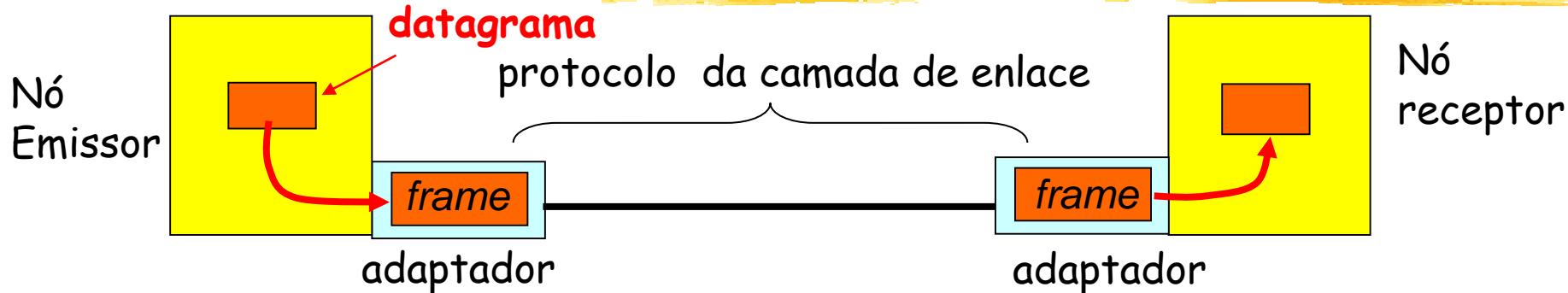
Correção de erro:

- Receptor identifica o erro
- Existem tecnologias onde o bit errado é corrigido sem necessidade de retransmissão

Half-duplex e full-duplex

- *Half*, transmissão nos dois sentidos mas não ao mesmo tempo
- *Full*, transmissão nos dois sentidos ao mesmo tempo

Comunicação por adaptadores



- Camada de enlace na maioria das vezes é implementada no "adaptador"

- Ethernet card, PCMCI card, 802.11 card

- Lado do emissor:

- encapsula datagrama no quadro
 - adiciona CRC, controle de fluxo

Lado do receptor

- procura por erros, controle de fluxo, etc
- extrai datagrama
- semi-autônomo
 - pode receber um quadro, identificar um possível erro, descartá-lo sem acionar outros componentes

FUNÇÕES DA LLC

■ FUNÇÕES GERAIS

- prover *Service Access Points (SAPs)*
- **formatar** dados em **quadro** para transmissão
- **reconhecer endereços/desformatar quadros** na receção
- gerenciar **comunicação confiável** no enlace de dados
 - **controle de erros**
 - **controle de fluxo**

■ PARTICULARIDADES

- enlaces com **múltiplas fontes e destinos**
- LLC pode conviver com **vários tipos de MAC**

CONTROLE DE ENLACE LLC

CARACTERÍSTICAS PARTICULARES

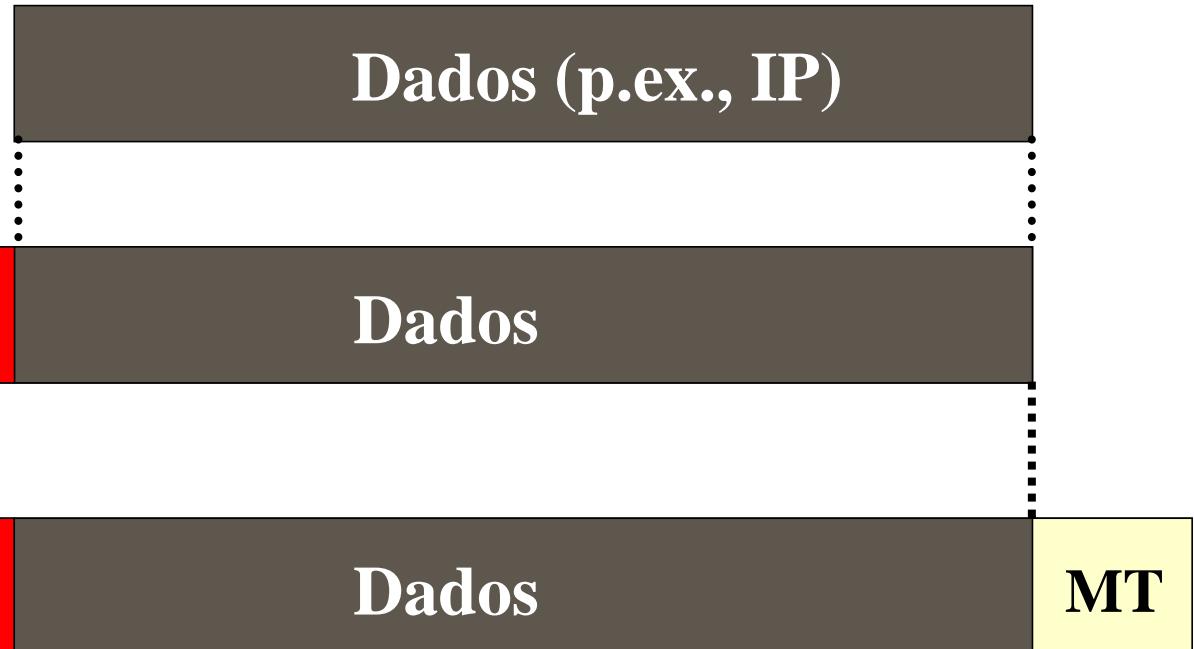
- controle sem nó intermediário
- enlaces com **multi-acesso**
- **detecção de erros na MAC**
- funcionalidades de “nível 3”
 - | modos de conexão, multiplexação
- simplicidade de **endereçamento**
 - | apenas endereços fonte e destino (modo sem conexão)
 - | noção de *SAP* para modo com conexão e multiplexação
 - | possibilidade de *multicast* ou *broadcast*

Protocol Data Unit da LLC

Dados da camada usuária

PDU LLC

Quadro MAC

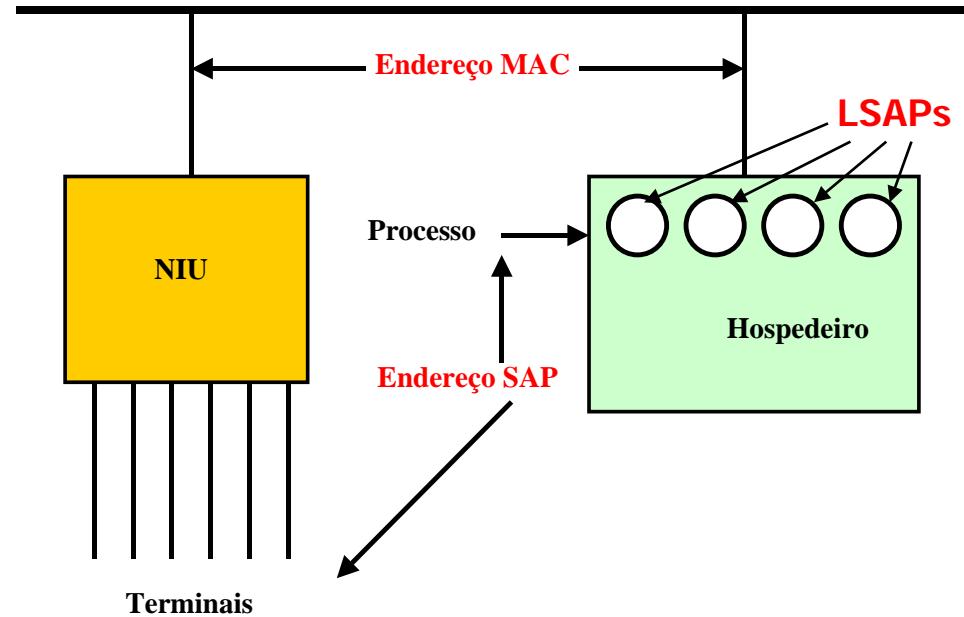


LH - LLC Header
MH - MAC Header
MT - MAC Trailer

ENDEREÇAMENTO LLC

Níveis de Endereçamento

- LLC
 - LSAP (LLC
Service Access Point)
- MAC
 - o endereço MAC identifica a estação



ENDEREÇAMENTO LSAP (II)

■ COM MÚLTIPLOS PROTOCOLOS

■ **padrão**

- domínio público, controlado por organização de padronização tipo ISO (ex: X.25)

■ **público**

- domínio público, controlado por organização de padronização tipo IETF (ex: IP)

■ **privado**

- utilização e especificação controladas por uma empresa privada

■ ALOCAÇÃO DE **ENDEREÇOS LSAP ESPECÍFICOS**

>>

ENDEREÇOS LSAP ESPECÍFICOS

| Código | Interpretação |
|----------|--|
| 00000000 | LSAP Nulo |
| 11111111 | LSAP Global. <i>multicast</i> |
| 01000000 | Função de gerenciamento interno de LLC individual |
| 11000000 | Função de gerenciamento interno de LLC Global |
| 01111111 | Protocolo interno de rede OSI; a distinção entre protocolos específicos internos de rede OSI é feito usando o esquema de identificação do protocolo interno de rede OSI, que é uma parte de todo os formatos PDU internos de redes |
| 01110000 | Gerenciamento e Inicialização de rede PROWAY; relativo a ISA-ST2 PROWAY-LAN Industrial Data Highway |
| 01110001 | Manutenção de estação ativa PROWAY; relativo a ISA-S72 PROWAY-LAN Industrial Data Highway |
| 01110010 | Serviço Interno de mensagem para automação de fábrica; relativo ao EIA-RS 511 Manufacturing Message Service |
| 01010101 | Protocolo de acesso a sub-rede SNAP |
| 01100000 | Department of Defense Internet Protocol, MIL-STD-1777 |

SERVIÇOS LLC



■ SEM CONEXÃO SEM RECONHECIMENTO

- protocolo **LLC1**

■ MODO COM CONEXÃO

- protocolo **LLC2**

■ SEM CONEXÃO COM RECONHECIMENTO

- protocolo **LLC3**

SEM CONEXÃO SEM RECONHECIMENTO



CARACTERÍSTICAS

- acordo *a priori* para troca de dados
- PDU LLC independentes entre si
 - **sem garantia de entrega e de sequenciamento**
- protocolo de complexidade mínima

APLICAÇÕES

- **camadas superiores com controle de erros e sequenciamento**
- **aquisição de dados periódica**
- difusão de dados de interesse geral dos usuários, etc



MODO COM CONEXÃO



CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

- | **sequenciamento** de PDUs garantido
- | **controle de erros** e **controle de fluxo** de PDUs

APLICAÇÕES TÍPICAS

- | **transferência de grandes volumes de dados**
 - | transferência de arquivos
 - | acesso remoto a *mainframe*, etc



SEM CONEXÃO COM RECONHECIMENTO



CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

- serviço de **confirmação de entrega** de PDUs

APLICAÇÕES (**MEIO INDUSTRIAL**)

- **pto central** comunicando-se c/ vários **processadores** ou **CLPs**
 - evita gerenciar múltiplas conexões ativas
- **aquisição de dados** de equipamentos sensores
 - o **polling com resposta garantida** considera a pouca capacidade de processamento desses equipamentos
- **mensagens de alarme** e de **controle em tempo real**
 - **confiabilidade** (reconhecimento) e **rapidez** (modo sem conexão)

CONTROLE DE FLUXO



■ OBJETIVO

- evitar que o emissor sobrecarregue o receptor

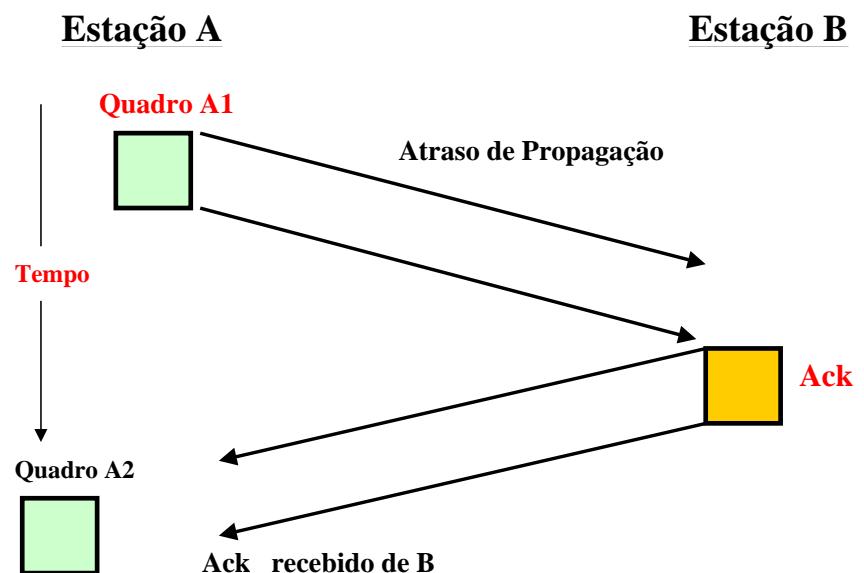
■ TÉCNICAS

- *Stop-And-Wait*
- *Sliding-Window*

PROTOCOLO *STOP-AND-WAIT*

CARACTERÍSTICAS

- simples
- **ineficiente** no caso de msgs subdivididas em vários blocos de transmissão
- aplicado em **serviço sem conexão com reconhecimento**



PROTOCOLO *SLIDING-WINDOW*



■ PRINCÍPIO

- estação **pode enviar várias PDUs** sem esperar o reconhecimento individual
- **PDUs são numeradas**
- **transmissão bidirecional**
 - técnica de *piggybacking*

CONTROLE DE ERROS

■ DETECÇÃO DE ERROS

- realizada pela MAC
 - quadro MAC (+ PDU LLC) ignorado

■ CORREÇÃO DE ERROS

- retransmissão **ARQ** (*Automatic Repeat Request*)
- **FEC** (*Forward Error Control*)

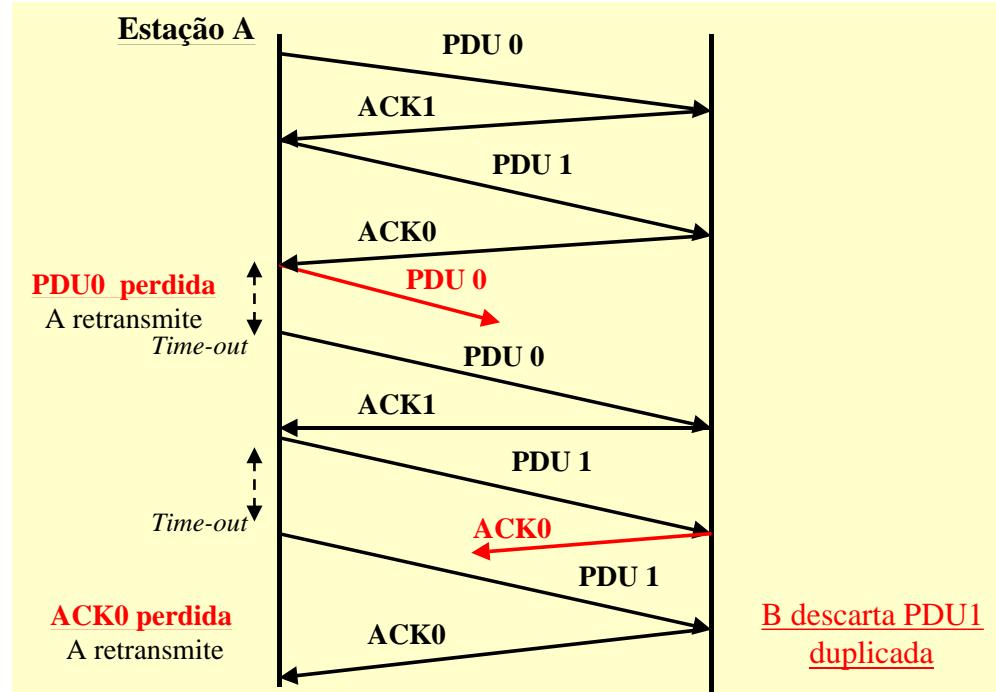
■ PROTOCOLOS

- **STOP-AND-WAIT**
- **GO-BACK-N**

CONTROLE DE ERROS *STOP-AND-WAIT*

CARACTERÍSTICAS

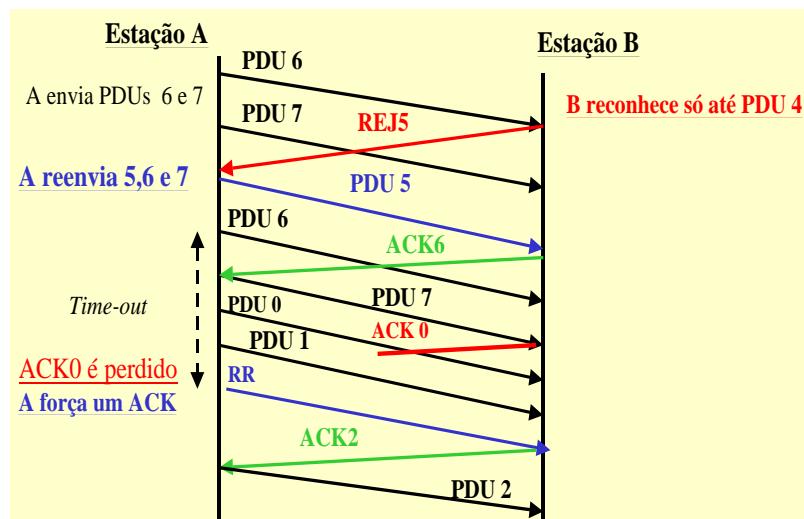
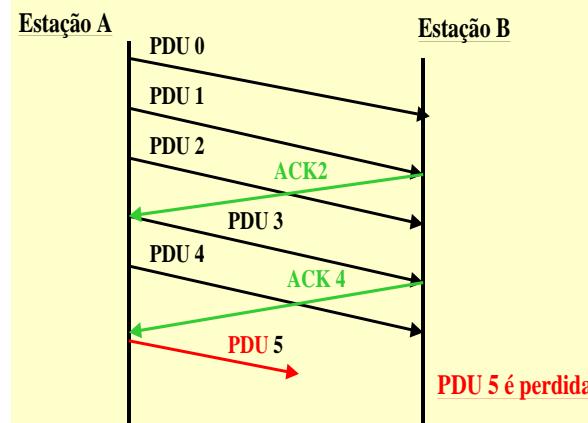
- modo **sem conexão**
- PDUs e ACKs numeradas** (0 ou 1)



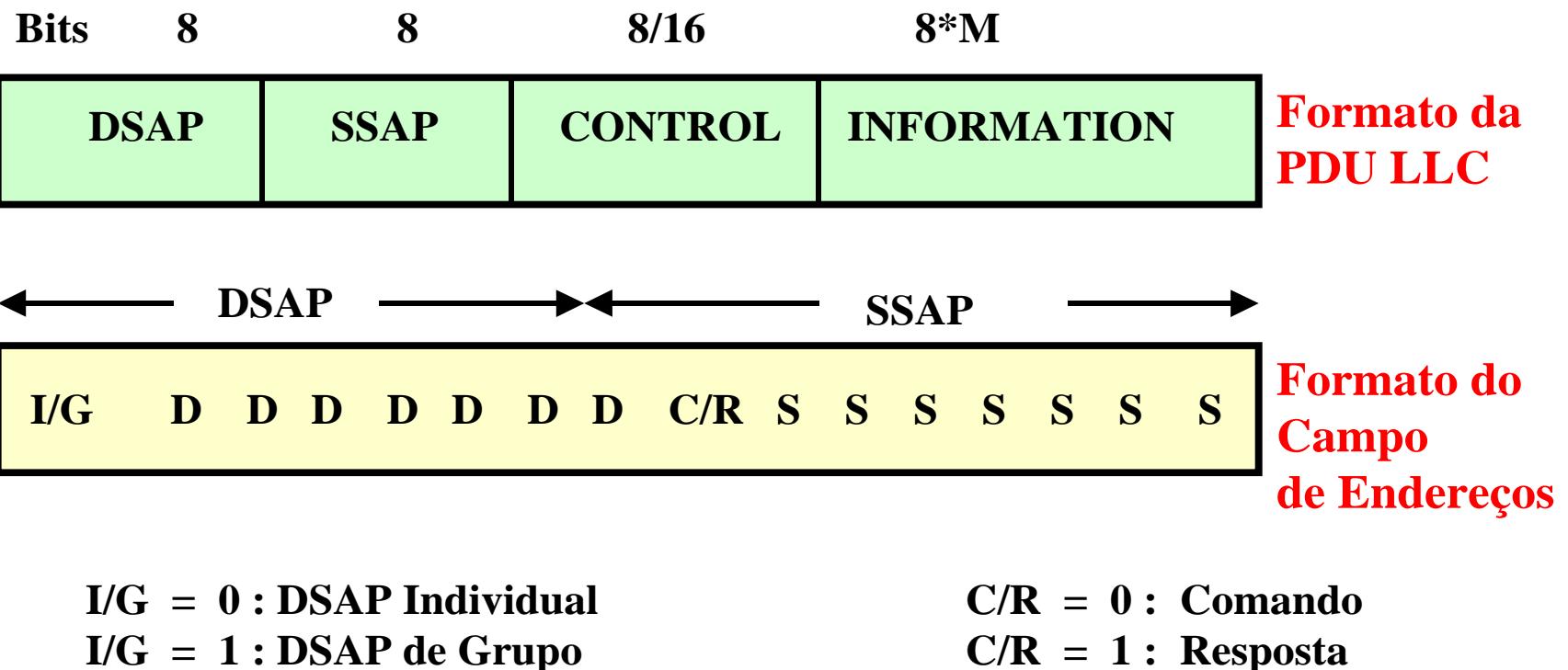
CONTROLE DE ERROS *GO-BACK-N*

CARACTERÍSTICAS

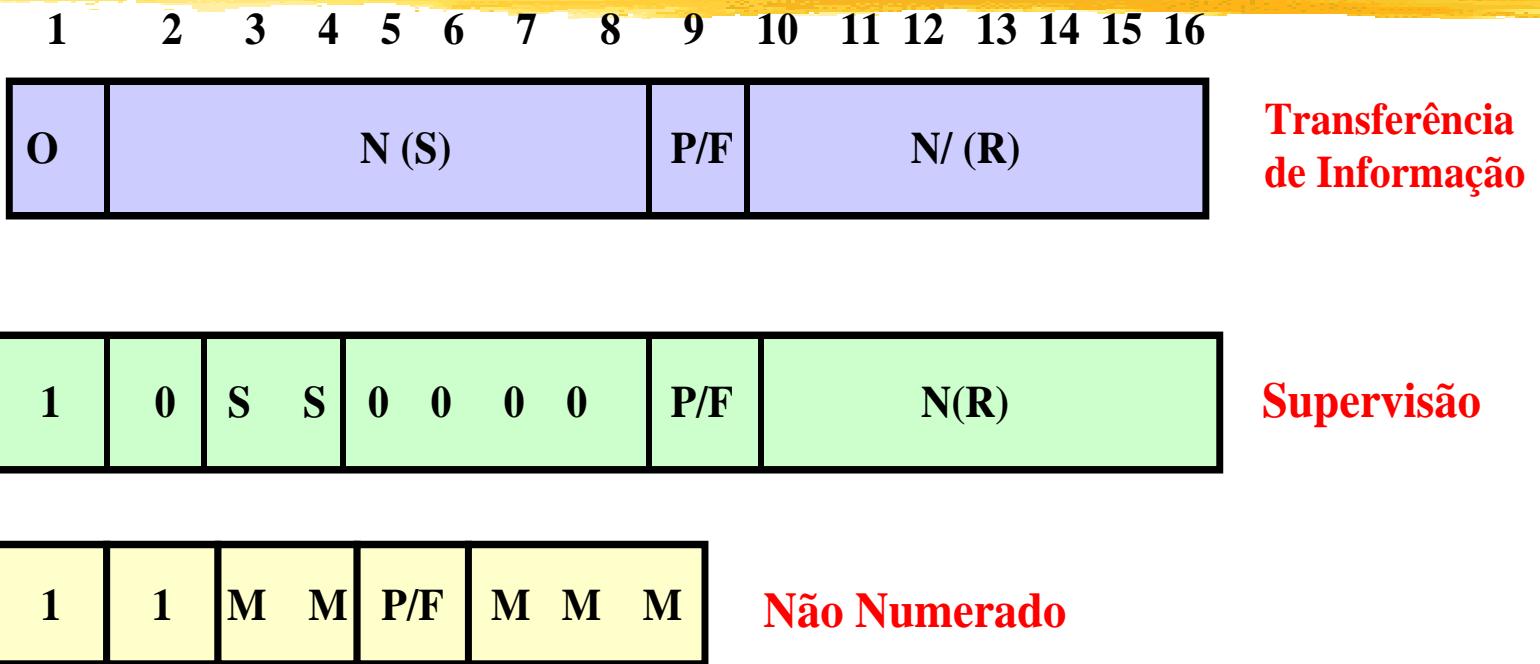
- aplica-se ao **modo com conexão**
- **janela de transmissão**
 - $2^n - 1$ ($n = n^{\circ}$ de bits de sequenciamento)



FORMATO PDU LLC



TIPOS DE PDU LLC



N(S) = Número de Sequência de Transmissão

N(R) = Número de Sequência de recepção

S = Bit Função de Supervisão

M = *Modifier Function Bit*

P/F = *Bit Poll/Final*

PROTOCOLO LLC1

UTILIZAÇÃO

- modo **sem conexão sem reconhecimento**
- configurações de enlace
 - ponto-a-ponto
 - multiponto
 - difusão geral (*broadcast*)
 - difusão parcial (*multicast*)

PDUs LLC1

| Format | Control Field | Commands | Responses |
|--|----------------------------------|---|--|
| | Encoding | | |
| a) Unacknowledged Connectionless Service | | | |
| Unnumbered | 1100*000 1111*101 1100*111 | U1 Unnumbered Information XID Exchange Identification TEST Test | XID Exchange Identification TEST Test |

PROTOCOLO LLC2

UTILIZAÇÃO

- modo **com conexão**
 - somente **configuração ponto-a-ponto**

TIPO DE PDUs

- I, S e U**
 - comando com $P=1 \Rightarrow$ resposta $F=1$ o mais rápido possível

FASES DA CONEXÃO

- abertura de conexão**
- transferência de dados**
- (re-inicialização)**
- encerramento de conexão**

PDUs LLC2

| Format | Control Field Encoding | Commands | Responses |
|----------------------------|---------------------------|--|---------------------------------|
| <hr/> | | | |
| b) Connection-Mode Service | | | |
| Information | 0-N(S)-*-N(R)-- | I Information | I Information |
| Supervisory | 10000000*-N(R)-- | RR Receive Ready | RR Receive Ready |
| | 10100000*-N(R)-- | RNR Receiver Not Ready | RNR Receiver Not Ready |
| | 10010000*-N(R)-- | REJ Reject | REJ Reject |
| Umbered | 1111*110 | SABME Set Asynchronous Balanced Mode Extended | |
| | 1100*010 | DISC Disconnect | |
| | 1100*110 | | UA Unnumbered Acknowledgment |
| | 1111*000 | | DM Disconnected Mode |
| | 1110*001 | | FRMR Frame Reject |

PROTOCOLO LLC3

UTILIZAÇÃO

- modo **sem conexão com reconhecimento**
 - somente configuração ponto-a-ponto
- protocolo ***stop-and-wait***

SERVIÇOS

- ***DL-DATA-ACK*** ($P/F = 0$)
 - comando PDU AC_n contém dados
 - resposta PDU AC_n não contém dados
- ***DL-REPLY*** ($P/F = 1$)
 - comando PDU AC_n pode ou não conter dados
 - resposta PDU AC_n contém dados se disponíveis ou negativa

PDUs LLC3

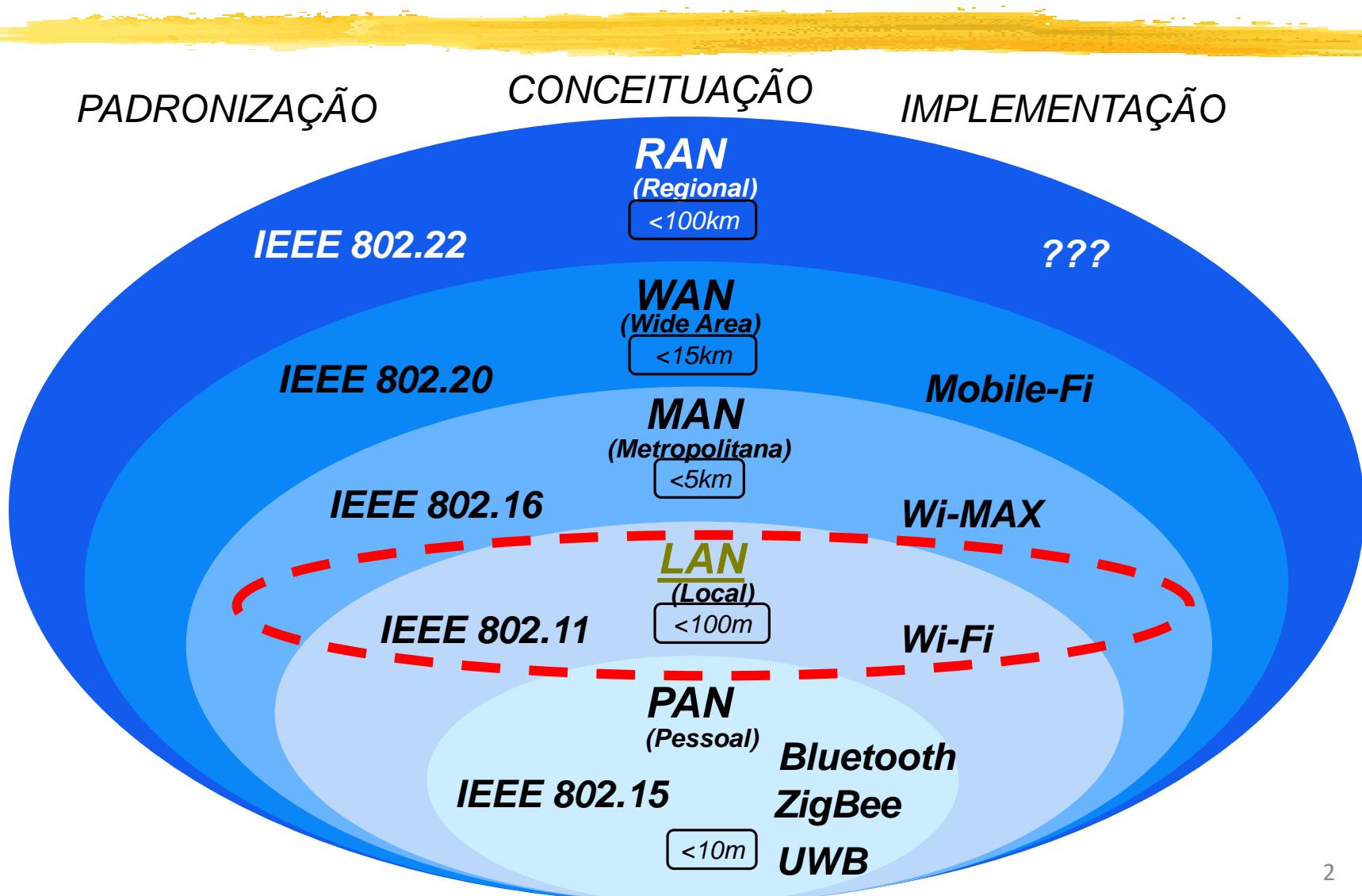
| Format | Control Field | Commands | Responses |
|--|---------------|---|---|
| | Encoding | | |
| c) Unacknowledged Connectionless Service | | | |
| Unnumbered | 1110*110 | AC0 Acknowledged Connectionless Information, Sequence 0 | AC0 Acknowledged Connectionless Acknowledgment Sequence 0 |
| | 1110*111 | AC1 Acknowledged Connectionless Information, Sequence 1 | AC1 Acknowledged Connectionless Acknowledgment Sequence 1 |

REDES LOCAIS



*IEEE 802.11 Wireless LAN
(WLAN)*

REDES WIRELESS



WIRELESS LAN (WLAN)

DEFINIÇÃO

sistema de comunicações estabelecido através do uso de **rádio frequência**, que pode funcionar ou como **extensão de LAN existente**, ou como uma **alternativa para LAN cabeada**

PADRONIZAÇÃO

IEEE 802.11

WiFi Alliance

PADRONIZAÇÃO IEEE 802.11



DIFERENÇAS RELATIVAS ÀS REDES CABEADAS

TOPOLOGIAS/MODOS DE OPERAÇÃO

ELEMENTOS BÁSICOS

ARQUITETURAS

DIFERENÇAS RELATIVAS ÀS REDES CABEADAS

BANDA PASSANTE

limitada

ATENUAÇÃO

perdas de potência mais importantes

MULTIPATH

múltiplos caminhos para o sinal propagado

INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS

sinais de outras fontes wireless

GERÊNCIA DE ENERGIA

vida útil das baterias

SEGURANÇA

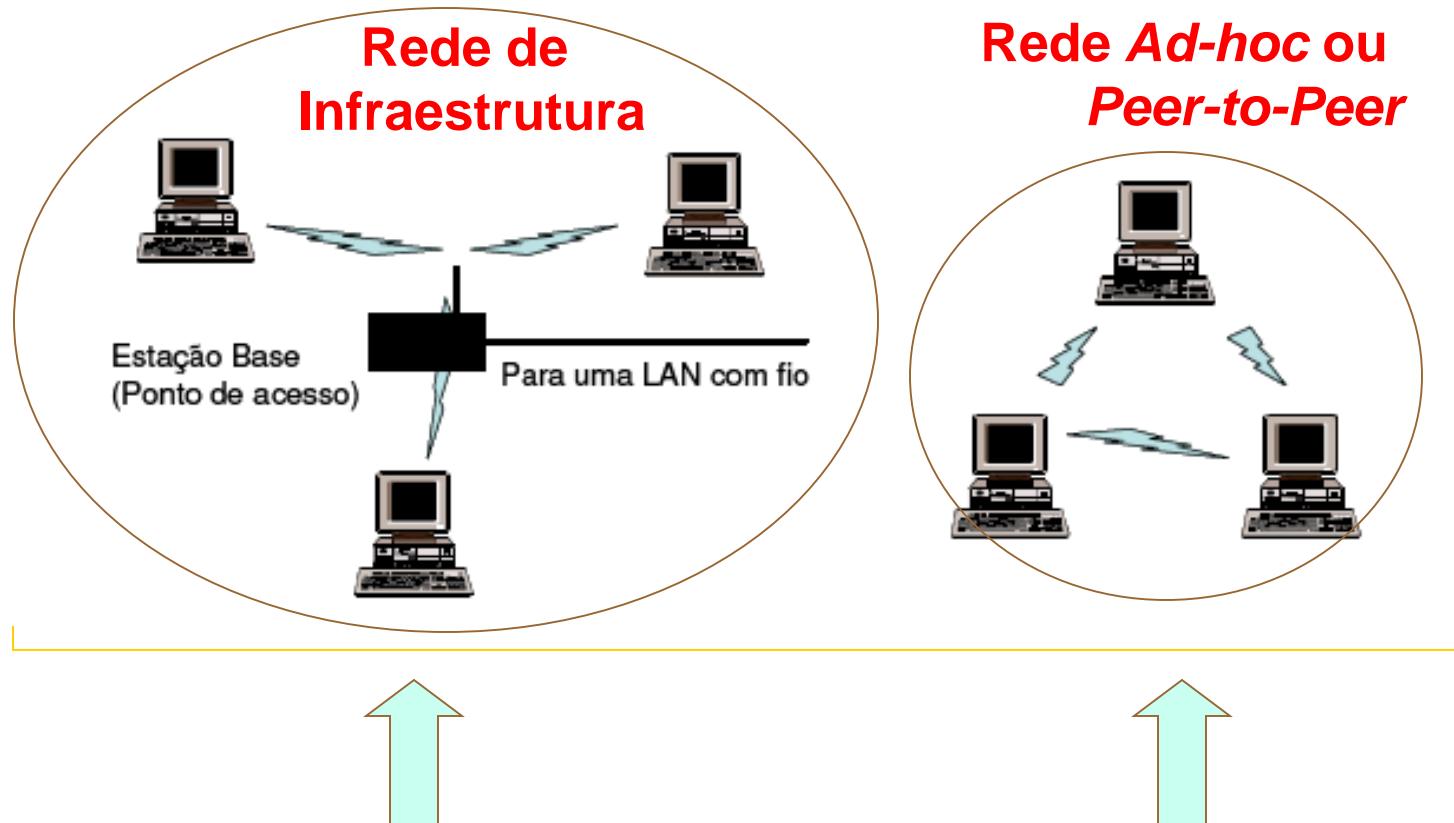
privacidade

ENDEREÇAMENTO

mobilidade



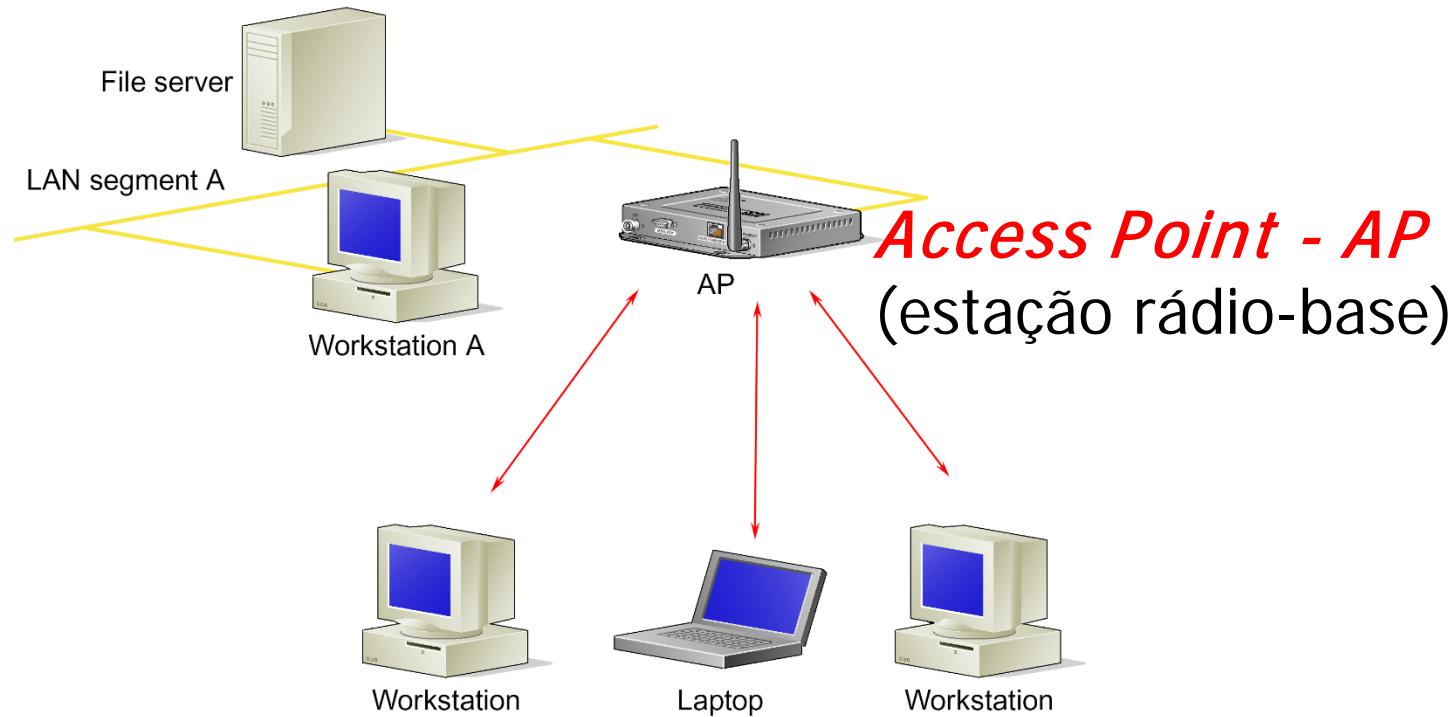
MODOS DE OPERAÇÃO: IEEE 802.11



Presença de estação
rádio-base (AP)

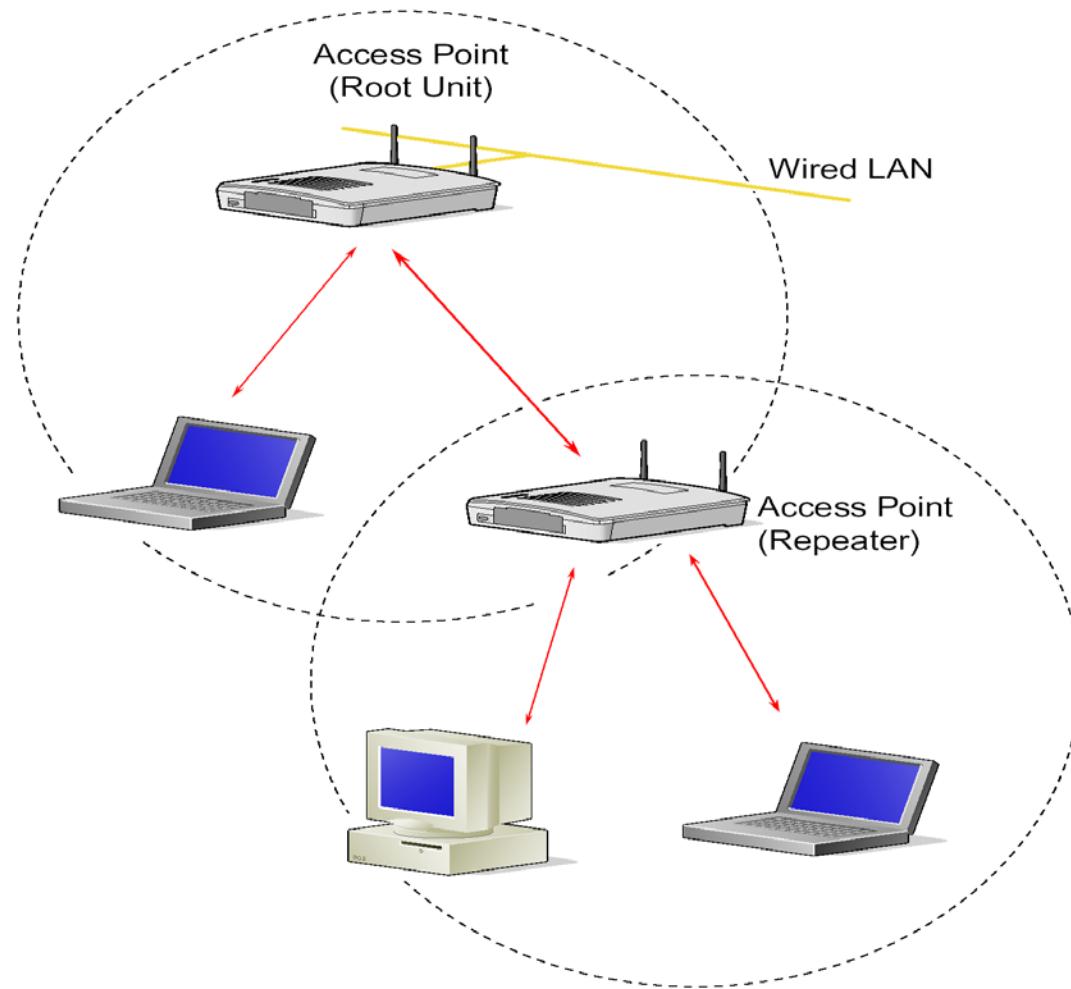
Inexistência de Estação
rádio-base (AP)

REDE DE INFRAESTRUTURA



Estações Wireless

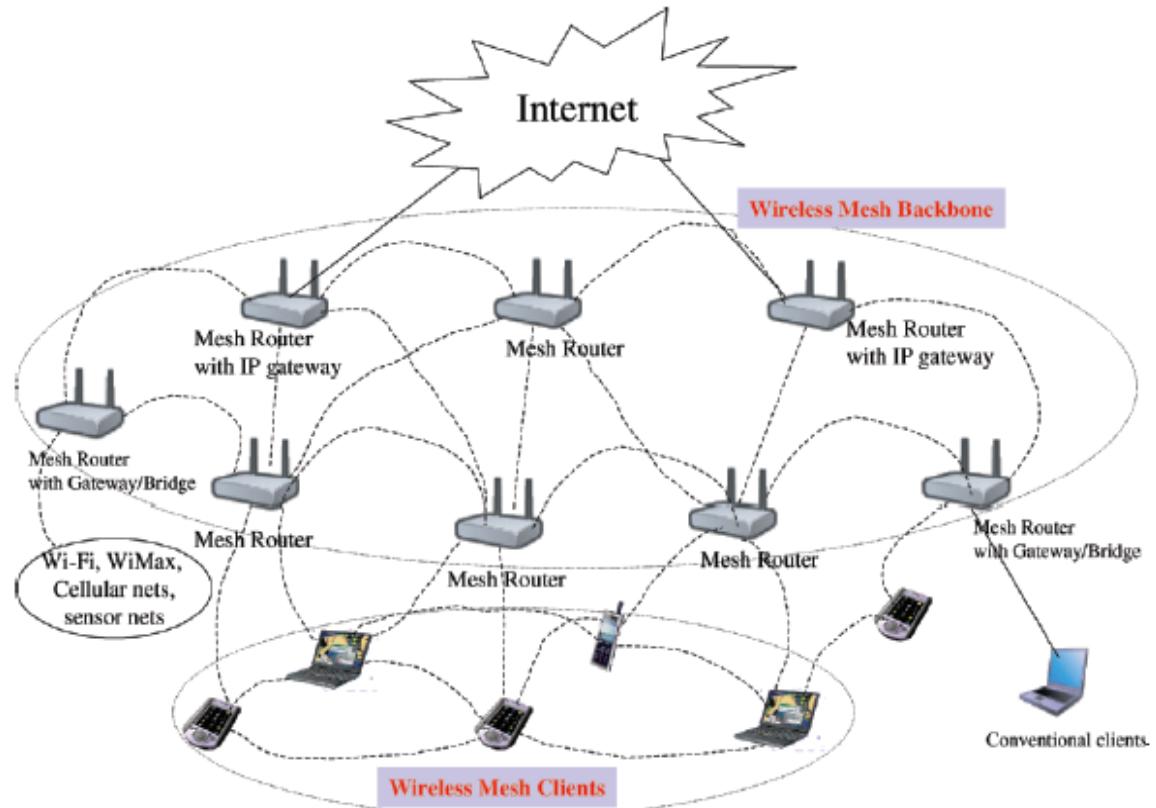
AP COMO REPETIDOR



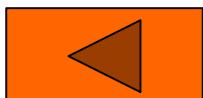
CONFIGURAÇÃO MESH

MESH

*configuração híbrida
combinando os modos
de infraestrutura e ad-
hoc*



Ref: Wireless mesh networks: a survey, Computer Networks Journal, by Ian F. Akyildiz et al.



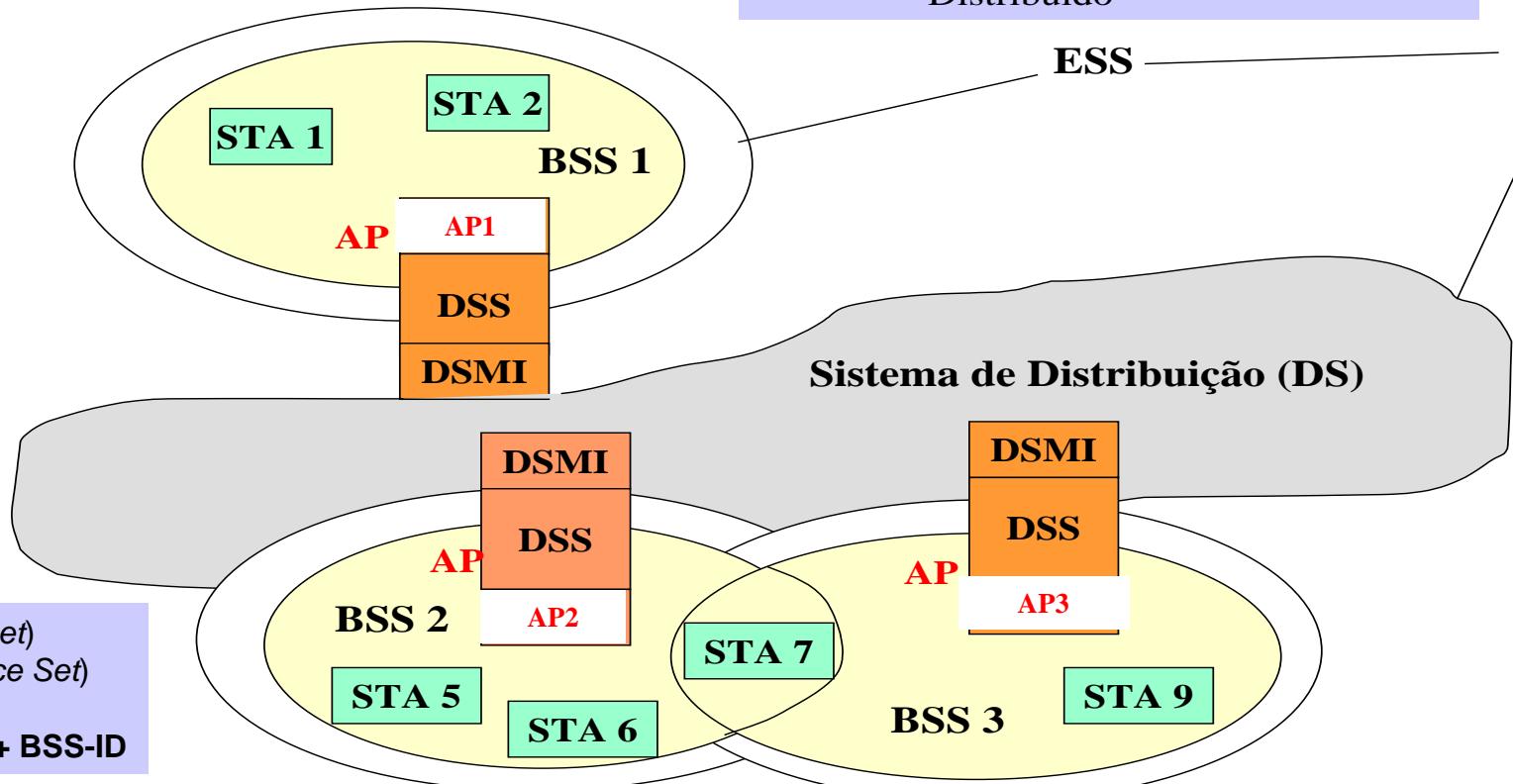
ELEMENTOS BÁSICOS IEEE 802.11

STA - Estações

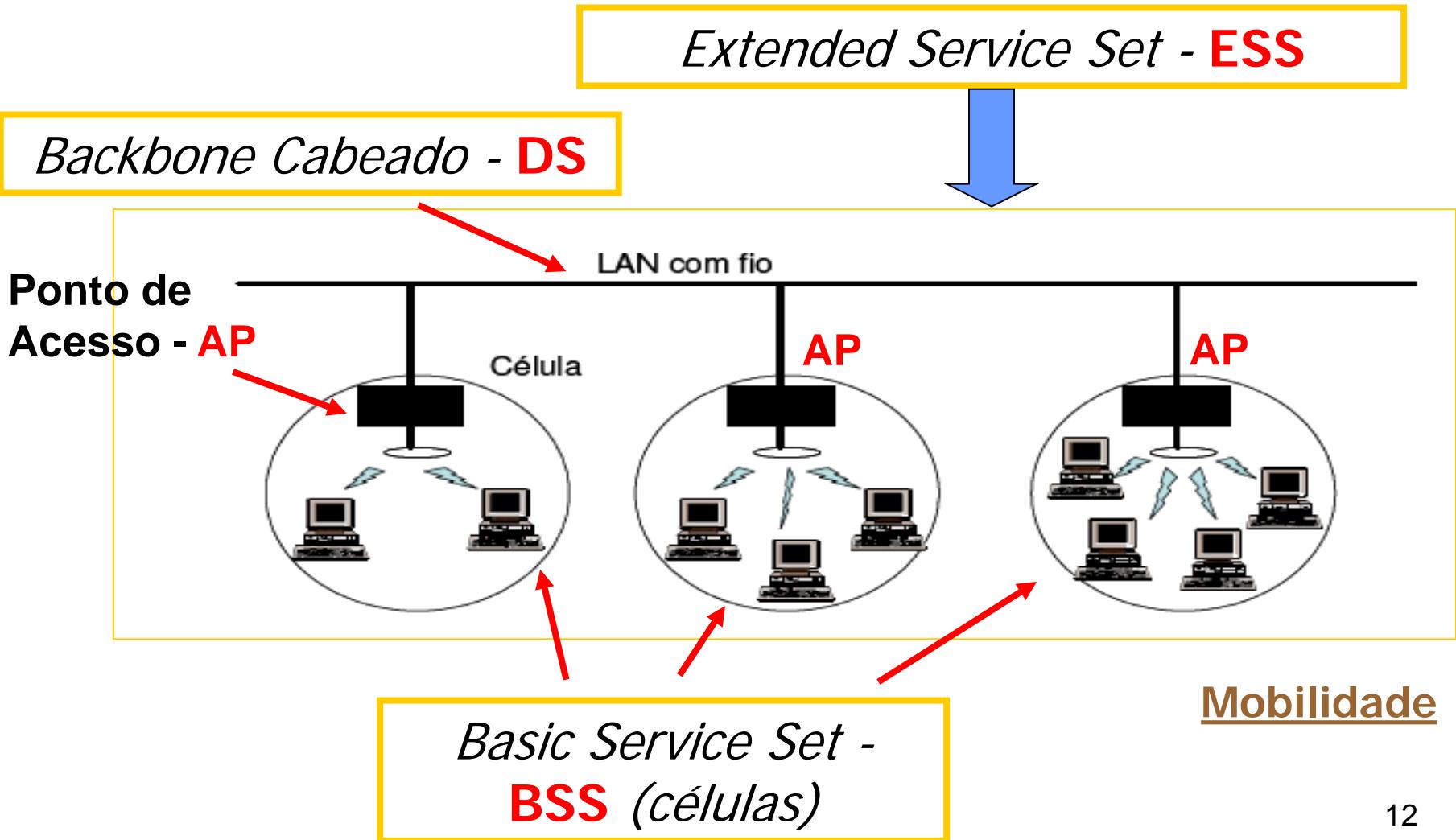
AP - Pontos de Acesso

DSS - Serviços do Sistema Distribuído

DSMI - Interface com o meio do Sistema Distribuído



ARQUITETURA CELULAR IEEE 802.11

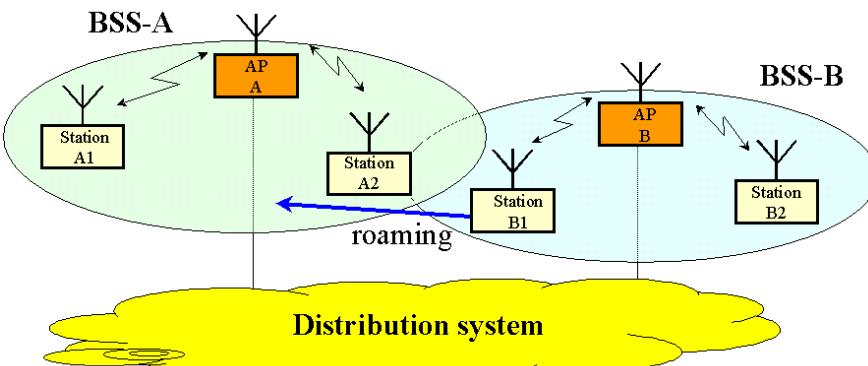


MOBILIDADE IEEE 802.11

O padrão permite a mobilidade (*roaming*) entre as diversas **células (BSS)**, dentro de um **ESS**, de modo que a **estação móvel não perca a conexão**.



Isso pode implicar em **redução de desempenho**, pois, uma vez afastada de uma célula, a estação pode ter que retransmitir quadros.



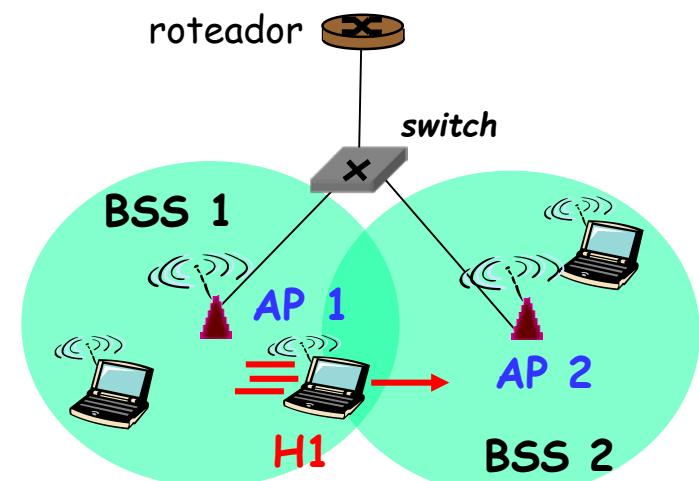
Handoff rápido ⇒ IEEE 802.11r/k

Mobilidade de H1 na mesma subrede IP:
endereço IP pode permanecer o mesmo

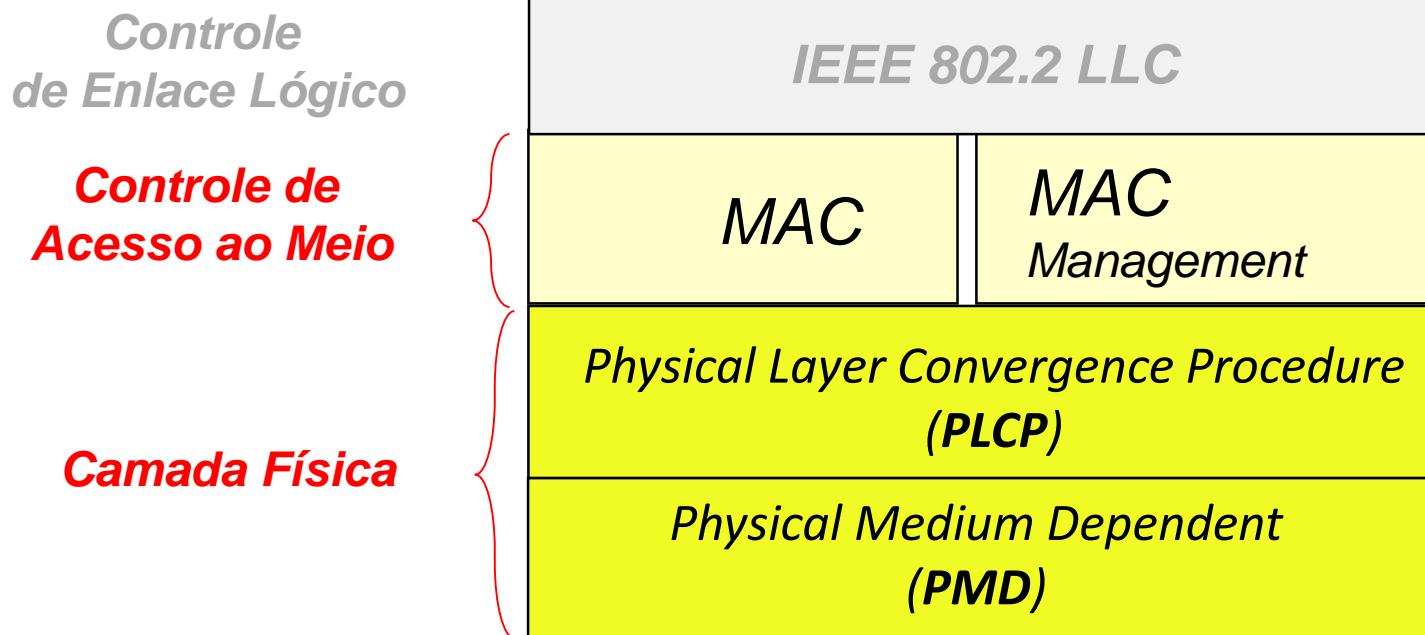
Switch : qual AP está associado com H1?

Auto-aprendizagem:

switch verá o quadro de H1 e “lembrará” qual porta do switch pode ser usada para alcançar H1



ARQUITETURA IEEE 802.11



FAMÍLIA DE PADRÓES IEEE 802.11

| Standard | Scope |
|--------------|--|
| IEEE 802.11 | Medium access control (MAC): One common MAC for WLAN applications |
| | Physical layer: Infrared at 1 and 2 Mbps |
| | Physical layer: 2.4-GHz FHSS at 1 and 2 Mbps |
| | Physical layer: 2.4-GHz DSSS at 1 and 2 Mbps |
| IEEE 802.11a | Physical layer: 5-GHz OFDM at rates from 6 to 54 Mbps |
| IEEE 802.11b | Physical layer: 2.4-GHz DSSS at 5.5 and 11 Mbps |
| IEEE 802.11c | Bridge operation at 802.11 MAC layer |
| IEEE 802.11d | Physical layer: Extend operation of 802.11 WLANs to new regulatory domains (countries) |
| IEEE 802.11e | MAC: Enhance to improve quality of service and enhance security mechanisms |
| IEEE 802.11f | Recommended practices for multivendor access point interoperability |
| IEEE 802.11g | Physical layer: Extend 802.11b to data rates >20 Mbps |

Fonte: Stallings, W. – data-and-computer comm. 8e, 2007

FAMÍLIA DE PADRÕES IEEE 802.11 (II)

| | |
|---------------|--|
| IEEE 802.11h | Physical/MAC: Enhance IEEE 802.11a to add indoor and outdoor channel selection and to improve spectrum and transmit power management |
| IEEE 802.11i | MAC: Enhance security and authentication mechanisms |
| IEEE 802.11j | Physical: Enhance IEEE 802.11a to conform to Japanese requirements |
| IEEE 802.11k | Radio resource measurement enhancements to provide interface to higher layers for radio and network measurements |
| IEEE 802.11m | Maintenance of IEEE 802.11-1999 standard with technical and editorial corrections |
| IEEE 802.11n | Physical/MAC: Enhancements to enable higher throughput |
| IEEE 802.11p | Physical/MAC: Wireless access in vehicular environments |
| IEEE 802.11r | Physical/MAC: Fast roaming (fast BSS transition) |
| IEEE 802.11s | Physical/MAC: ESS mesh networking |
| IEEE 802.11,2 | Recommended practice for the evaluation of 802.11 wireless performance |
| IEEE 802.11u | Physical/MAC: Interworking with external networks |

FAMÍLIA DE PADRÕES IEEE 802.11 (II)

IEEE P802.11ax

*IEEE Approved Draft Standard for Information technology-- Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1: **Enhancements for High efficiency operation in frequency bands between 1 GHz and 7.125 GHz.** - IEEE P802.11ax D8.0 was ratified by the IEEE Standards Association Standards Board in **February 2021***

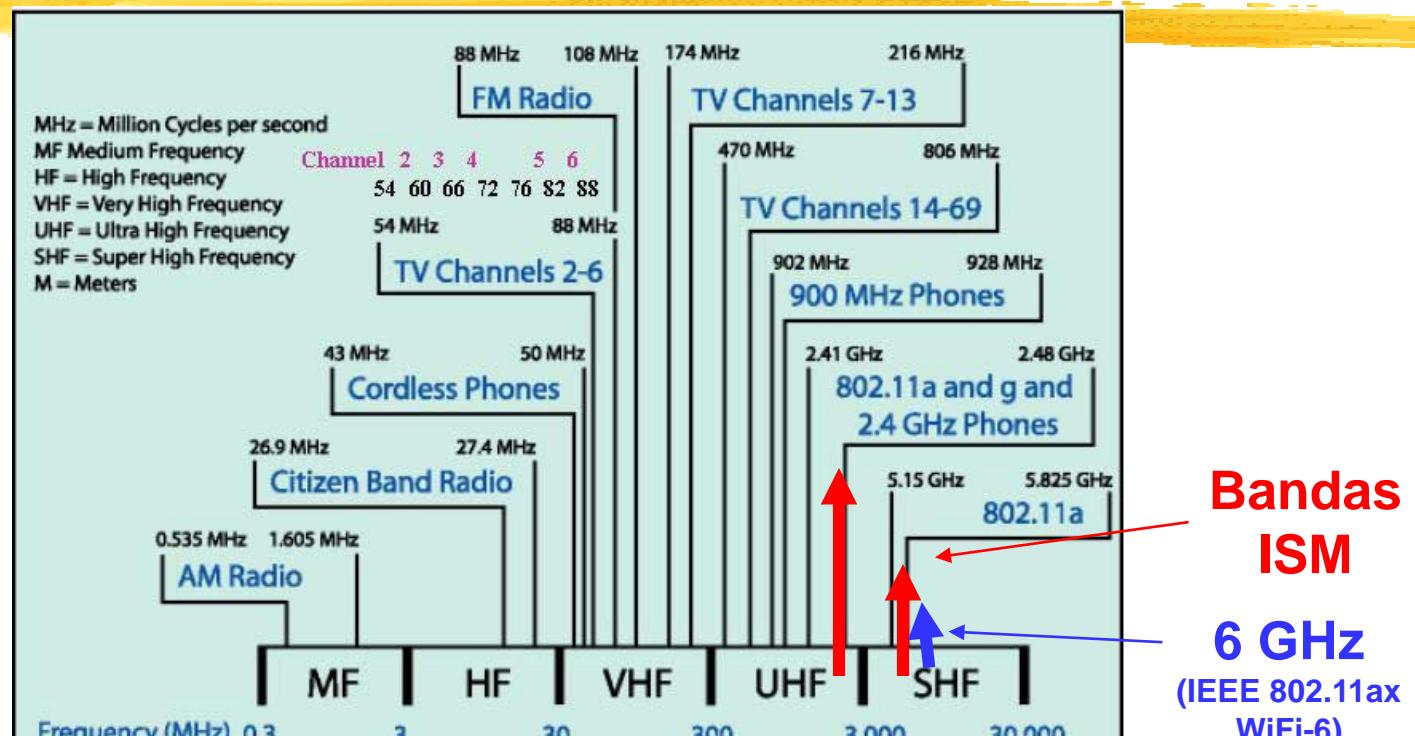
IEEE P802.11ba

*IEEE Approved Draft Standard for Information Technology--Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks--Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 3: **Wake-Up Radio Operation** - Amendment by IEEE, **01/01/2021***

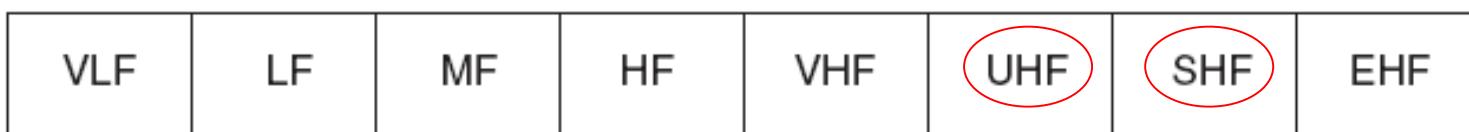
IEEE P802.11ay

*IEEE Approved Draft Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications--Amendment 2: **Enhanced Throughput** - Amendment by IEEE, **01/01/2021***

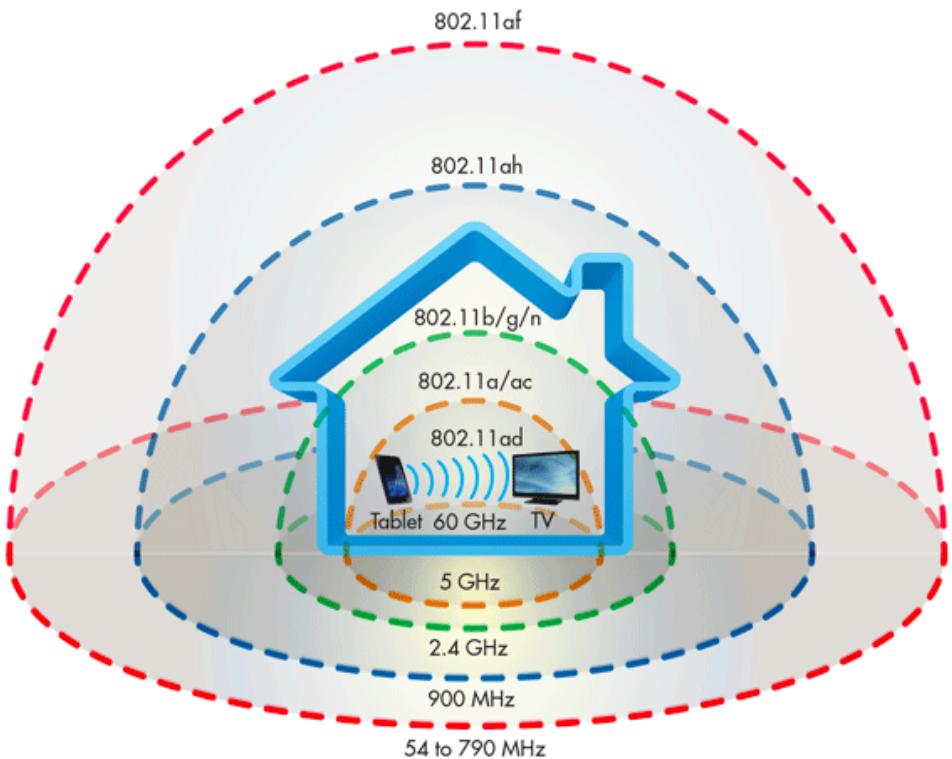
ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS IEEE 802.11



3 kHz 30 kHz 300 kHz 3 MHz 30 MHz 300 MHz 3 GHz 30 GHz 300 GHz



NOVAS FAIXAS DO ESPECTRO



IEEE 802.11af White-Fi Technology

uses *TV white spaces & cognitive radio* for additional frequencies & more effective spectrum use.

IEEE 802.11ah: sub GHz Wi-Fi

sub GHz Wi-Fi standard that utilises the *licence exempt ISM bands below 1 GHz* & provides longer range connectivity.

IEEE 802.11ad 60GHz Microwave Wi-Fi

WiGig or 60GHz WiFi is a microwave form of Wi-Fi that can provide data transfer of *up to 7 Gbps* at frequencies around 60GHz.

IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6)

new Wi-Fi standard developed to provide improved *spectral efficiency* and hence *better performance*.

TECNOLOGIAS DE TRANSMISSÃO IEEE 802.11

MULTIPLEXAÇÃO

- | *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)*
- | *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*
- | *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (**OFDM**)*

ANTENAS

- | *Multiple Input Multiple Output (**MIMO**)*

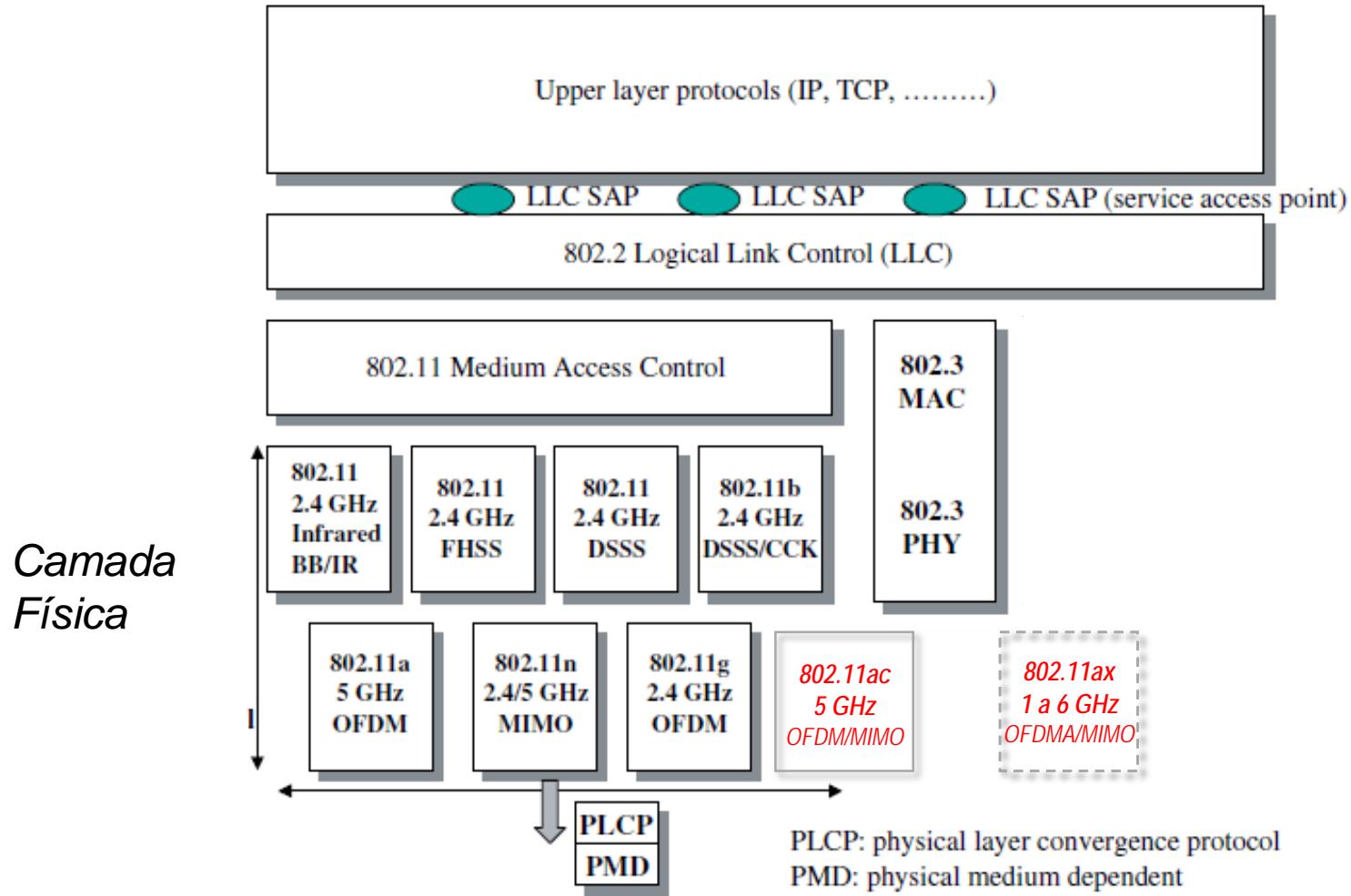
MODULAÇÃO

- | *Quadrature Amplitude Modulation (**QAM**)*

CODIFICAÇÃO

- | *Forward Error Correction (**FEC**)*

CAMADA FÍSICA IEEE 802.11



PRINCIPAIS PADRÕES IEEE 802.11

| IEEE Standard | 802.11a | 802.11b | 802.11g | 802.11n | 802.11ac | IEEE 802.11ax WiFi 6 |
|------------------------|---------|---------|---------|-----------|----------|-----------------------------|
| Year Adopted | 1999 | 1999 | 2003 | 2009 | 2014 | <i>Approved in Feb 2021</i> |
| Frequency | 5 GHz | 2.4 GHz | 2.4 GHz | 2.4/5 GHz | 5 GHz | 1 a 6 GHz |
| Max. Data Rate | 54 Mbps | 11 Mbps | 54 Mbps | 600 Mbps | 1 Gbps | 12 x 1 Gbps |
| Typical Range Indoors* | 100 ft. | 100 ft. | 125 ft. | 225 ft. | 90 ft. | |

Fonte: www.l-com.com

EVOLUÇÃO DE DESEMPENHO IEEE 802.11

| Nominal configuration | Band-width (MHz) | Number of spatial streams | Constellation size and rate | Guard interval | PHY data rate (Mbps) | Throughput (Mbps)* |
|---------------------------------|------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|----------------------|--------------------|
| 802.11a | | | | | | |
| All | 20 | 1 | 64QAMr3/4 | Long | 54 | 24 |
| 802.11n | | | | | | |
| Amendment min | 20 | 1 | 64QAMr5/6 | Long | 65 | 46 |
| Low-end product (2.4 GHz only+) | 20 | 1 | 64QAMr5/6 | Short | 72 | 51 |
| Mid-tier product | 40 | 2 | 64QAMr5/6 | Short | 300 | 210 |
| Max product | 40 | 3 | 64QAMr5/6 | Short | 450 | 320 |
| Amendment max | 40 | 4 | 64QAMr5/6 | Short | 600 | 420 |
| 802.11ac 80 MHz | | | | | | |
| Amendment min | 80 | 1 | 64QAMr5/6 | Long | 293 | 210 |
| Low-end product | 80 | 1 | 256QAMr5/6 | Short | 433 | 300 |
| Mid-tier product | 80 | 2 | 256QAMr5/6 | Short | 867 | 610 |
| High-end product | 80 | 3 | 256QAMr5/6 | Short | 1300 | 910 |
| Amendment max | 80 | 8 | 256QAMr5/6 | Short | 3470 | 2400 |
| 802.11ac 160 MHz | | | | | | |
| Low-end product | 160 | 1 | 256QAMr5/6 | Short | 867 | 610 |
| Mid-tier product | 160 | 2 | 256QAMr5/6 | Short | 1730 | 1200 |
| High-end product | 160 | 3 | 256QAMr5/6 | Short | 2600 | 1800 |
| Ultra-high-end product | 160 | 4 | 256QAMr5/6 | Short | 3470 | 2400 |
| Amendment max | 160 | 8 | 256QAMr5/6 | Short | 6930 | 4900 |

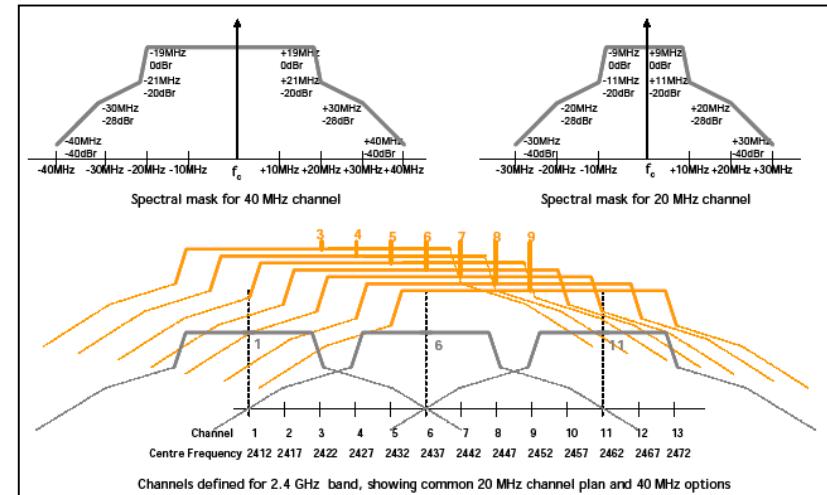
*Assuming a 70 percent efficient MAC, except for 802.11a, which lacks aggregation.

+Assuming that 40 MHz is not available due to the presence of other APs.

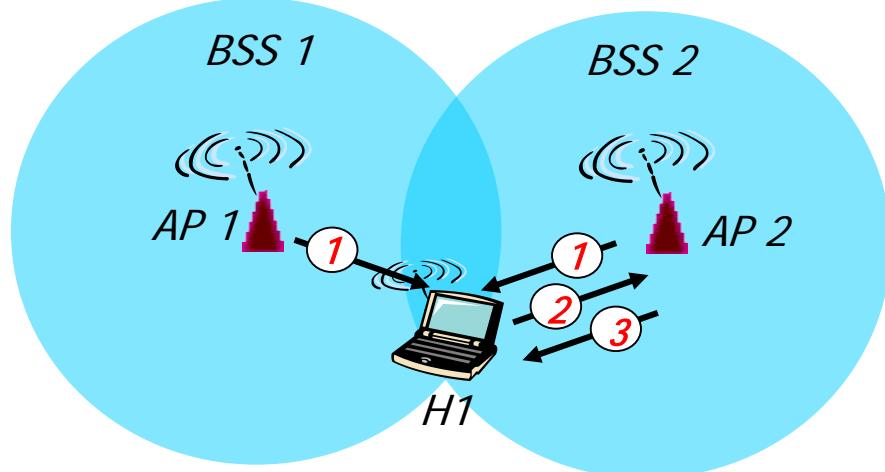
CANAIS, ASSOCIAÇÃO

- Espectro disponível dividido em **canais em diferentes frequências**
 - administrador do AP escolhe frequência para AP
 - possível interferência: caso canal for o mesmo daquele escolhido pelo AP vizinho!
- Hospedeiro: precisa **associar-se** a um AP
 - **varre canais**, escutando quadros de sinalização (beacons) contendo o nome do AP (SSID) e endereço MAC
 - seleciona AP para associar-se
 - pode precisar realizar **autenticação**
 - normalmente rodará DHCP para obter endereço IP na sub-rede do AP

Canais **IEEE 802.11 @ 2,4 GHz**

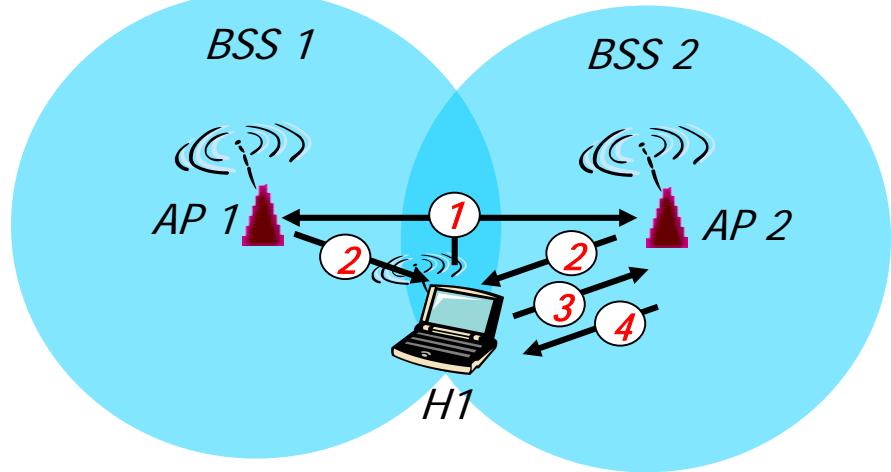


MÉTODOS DE ASSOCIAÇÃO



Varredura passiva:

- (1) quadros de sinalização (*beacon*) enviados pelos APs
- (2) quadro de solicitação de associação enviado: *H1* para AP selecionado
- (3) quadro de resposta de associação enviado: *H1* para AP selecionado

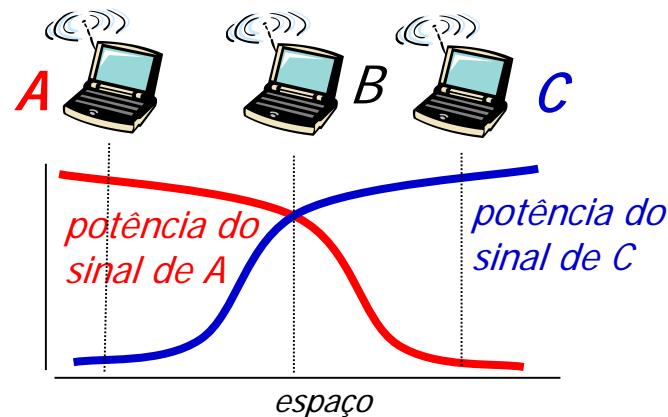
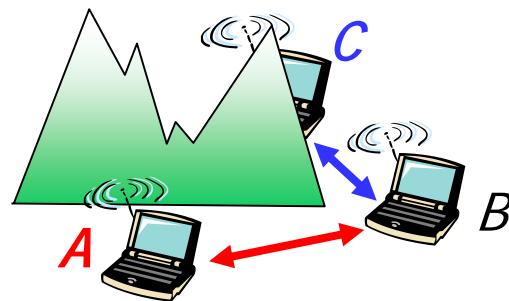


Varredura ativa:

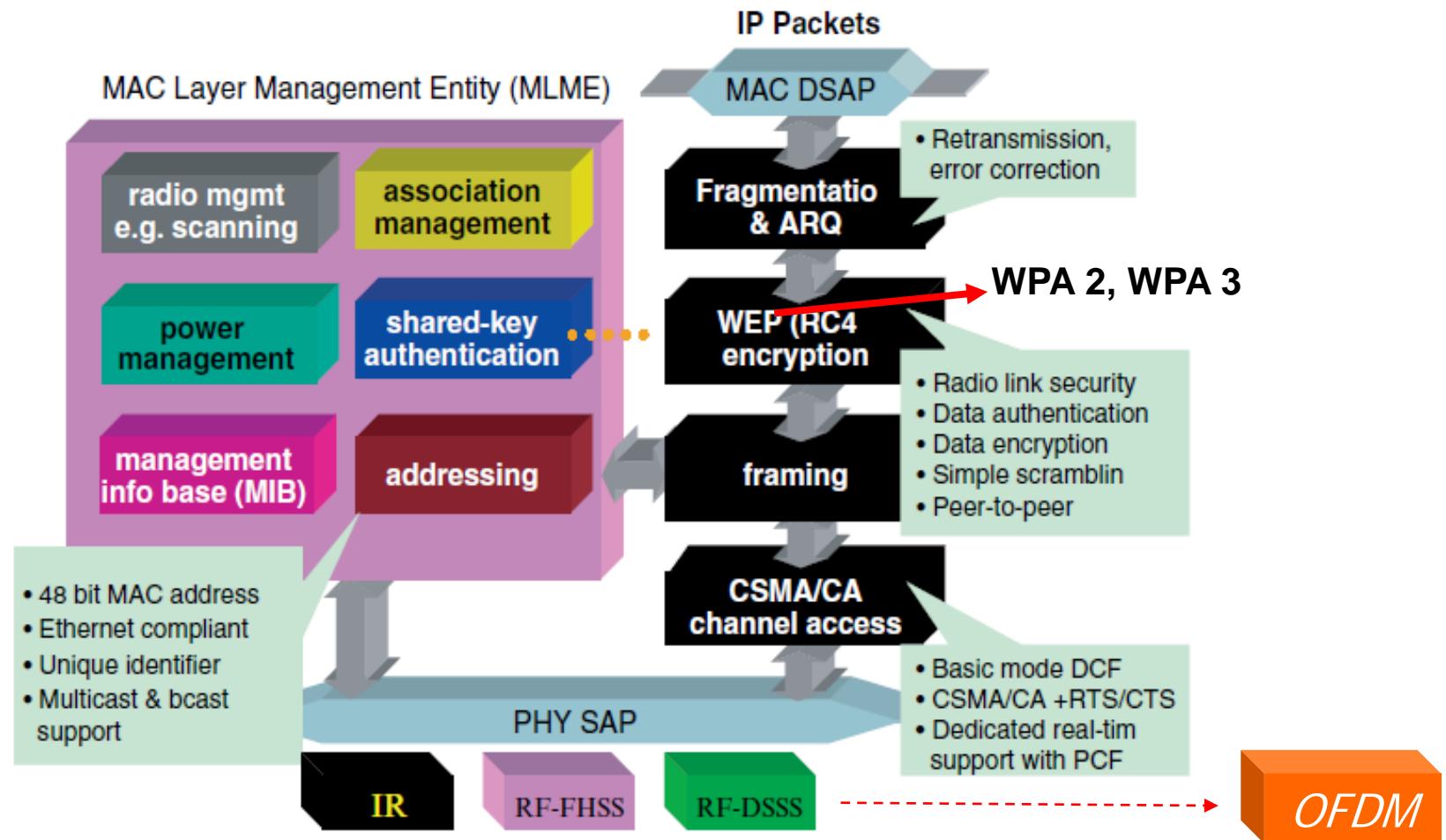
- (1) *Broadcast* de quadro de solicitação de investigação (*probe_request*) de *H1*
- (2) Quadro de resposta de investigações (*probe_response*) enviado de APs
- (3) Quadro de solicitação de associação enviado: *H1* para AP selecionado
- (4) Quadro de resposta de associação enviado: AP selecionado para *H1*

CONTROLE DE ACESSO MÚLTIPLA

- IEEE 802.11: **CSMA** – detecta antes de transmitir
 - não colide com transmissão contínua de outro nó
- IEEE 802.11: **sem detecção de colisão!**
 - difícil de receber (sentir colisões) na transmissão devido a sinais recebidos fracos (desvanecimento)
 - não pode sentir todas as colisões em qualquer caso: **terminal oculto**, desvanecimento
 - objetivo: **evitar colisões**: CSMA/C(ollision)A(voidance)



VISÃO GLOBAL DA CAMADA MAC

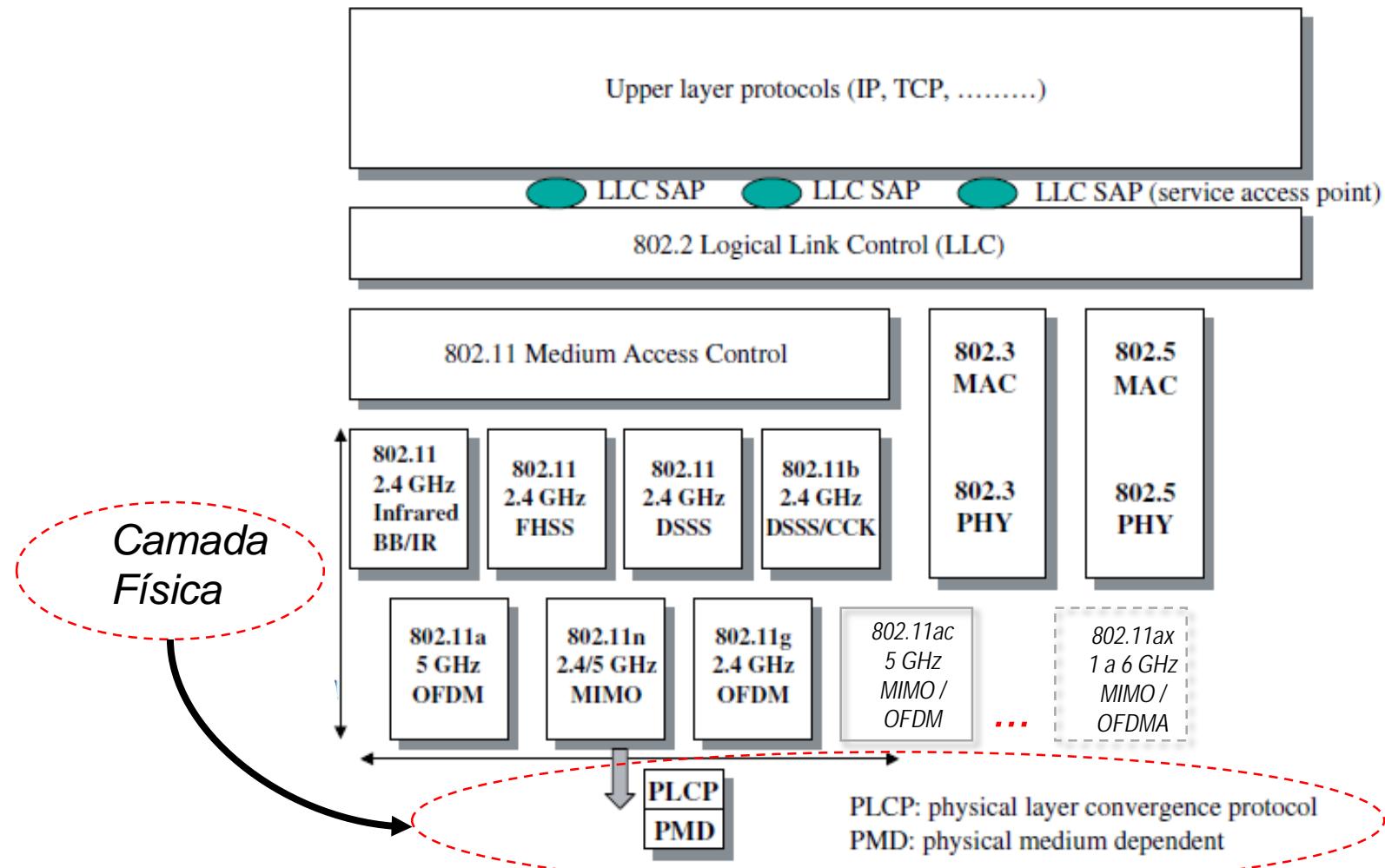


REDES LOCAIS



Nível Físico IEEE 802.11

ARQUITETURA IEEE 802.11



PRINCIPAIS PADRÕES IEEE 802.11

| IEEE Standard | 802.11a | 802.11b | 802.11g | 802.11n | 802.11ac | IEEE 802.11ax WiFi 6 |
|------------------------|---------|---------|---------|-----------|----------|-----------------------------|
| Year Adopted | 1999 | 1999 | 2003 | 2009 | 2014 | <i>Approved in Feb 2021</i> |
| Frequency | 5 GHz | 2.4 GHz | 2.4 GHz | 2.4/5 GHz | 5 GHz | 1 a 6 GHz |
| Max. Data Rate | 54 Mbps | 11 Mbps | 54 Mbps | 600 Mbps | 1 Gbps | 12 x 1 Gbps |
| Typical Range Indoors* | 100 ft. | 100 ft. | 125 ft. | 225 ft. | 90 ft. | |

Fonte: www.l-com.com

802.11 @ 1997

■ ESPECIFICAÇÃO DE **1997**

■ técnicas de transmissão

■ **Infra-Vermelho**

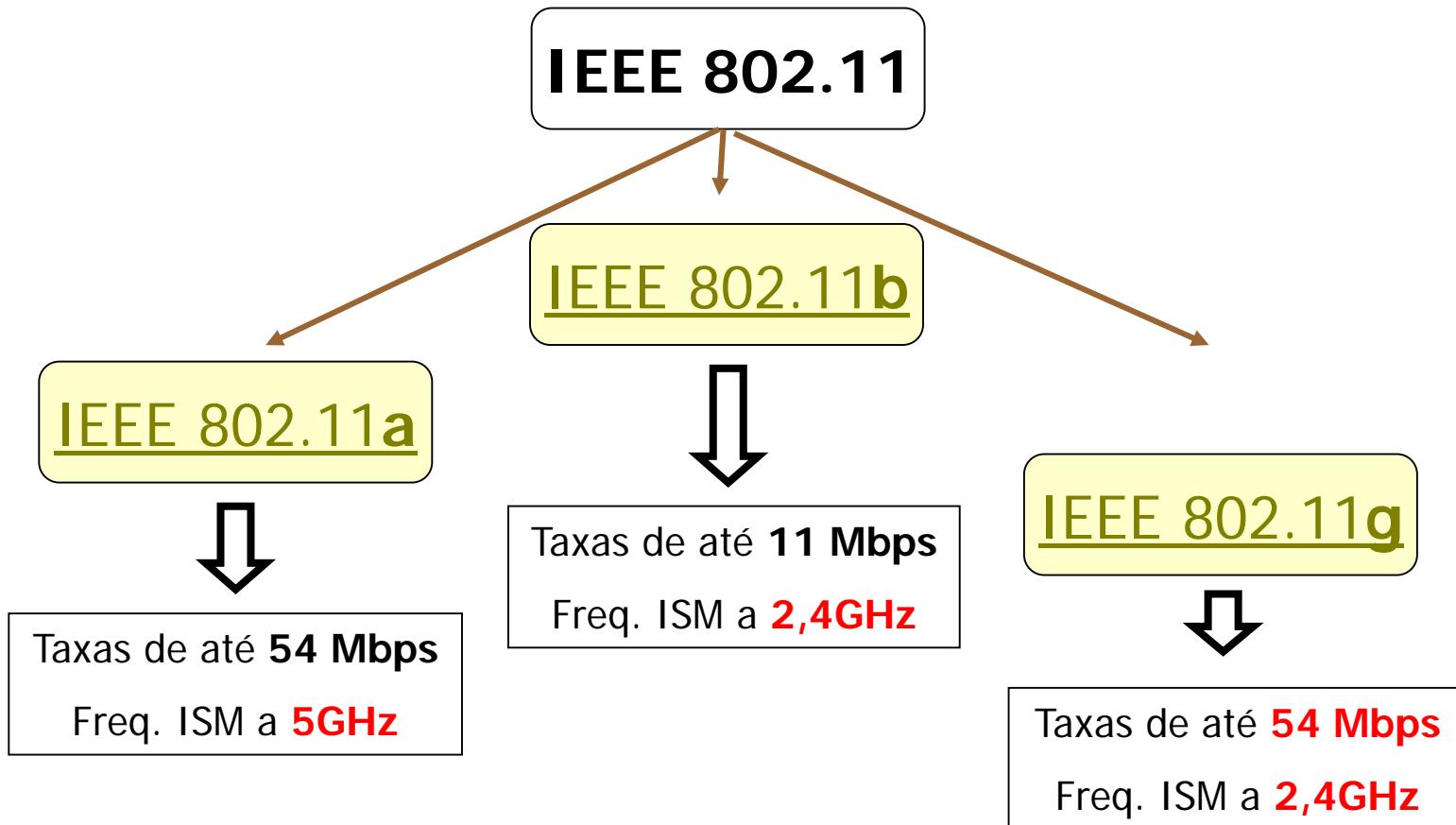
■ *Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)*

■ *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*

■ banda ISM em **2,4 GHz**

■ taxas até **1 ou 2 Mbps**

EVOLUÇÃO DO 802.11 @ 1999

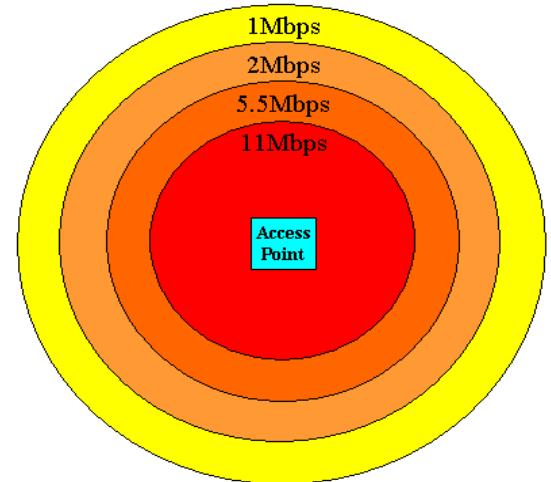


802.11b – HR-DSSS

HIGH RATE - DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM

CARACTERÍSTICAS

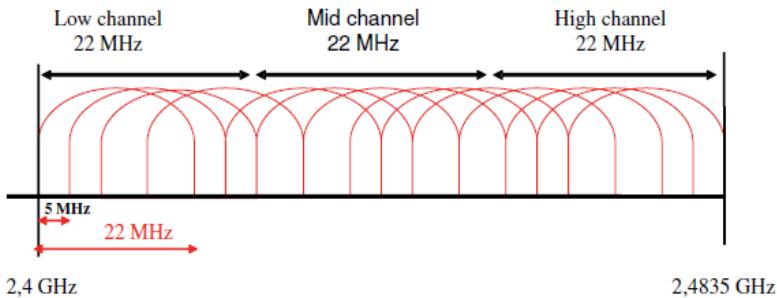
- usa uma nova codificação para conseguir alcançar até **11Mbps**, na banda de **2,4 GHz**
- **taxas suportadas**
 - **1, 2, 5,5 e 11 Mbps**
 - as duas taxas mais lentas rodam a 1Mbaud (1 e 2 bits por baud) com **modulação por deslocamento de fase**, para ser compatível com DSSS
 - as duas taxas de transmissão maiores rodam a **1,375 Mbaud (4 a 8 bits por símbolo)** usando *Complementary Code Key (CCK)*
 - a **taxa de dados** pode ser **dinamicamente adaptada** durante a operação para otimizar a comunicação, sob **condições específicas de carga e ruído**



OBSERVAÇÃO

- o padrão 802.11b não representa uma continuação do 802.11a
 - de fato, este padrão **foi aprovado antes do 802.11a**

CANAIS EM 2,4 GHZ



Fonte: livro Labiod, H. et al.- *Wifi, Bluetooth, ZigBee and Wimax*. Springer, 2007.

| Nº Canal | Frequência (GHz) | EUA e Canadá | Europa | Japão |
|----------|------------------|--------------|--------|-------|
| 1 | 2,412 | X | X | |
| 2 | 2,417 | X | X | |
| 3 | 2,422 | X | X | |
| 4 | 2,427 | X | X | |
| 5 | 2,432 | X | X | |
| 6 | 2,437 | X | X | |
| 7 | 2,442 | X | X | |
| 8 | 2,447 | X | X | |
| 9 | 2,452 | X | X | |
| 10 | 2,457 | X | X | |
| 11 | 2,462 | X | X | |
| 12 | 2,467 | | X | |
| 13 | 2,472 | | X | |
| 14 | 2,477 | | | X |

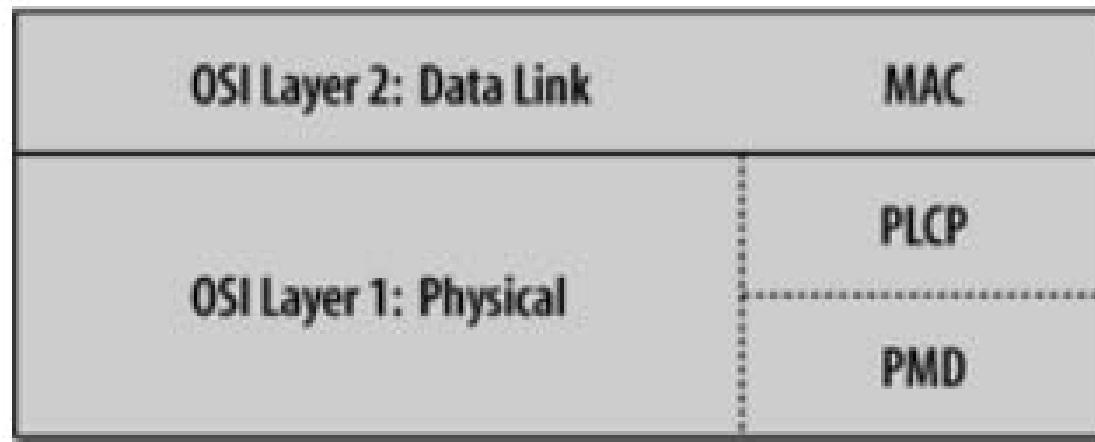
SUBCAMADAS “FÍSICA”

ARQUITETURA LÓGICA

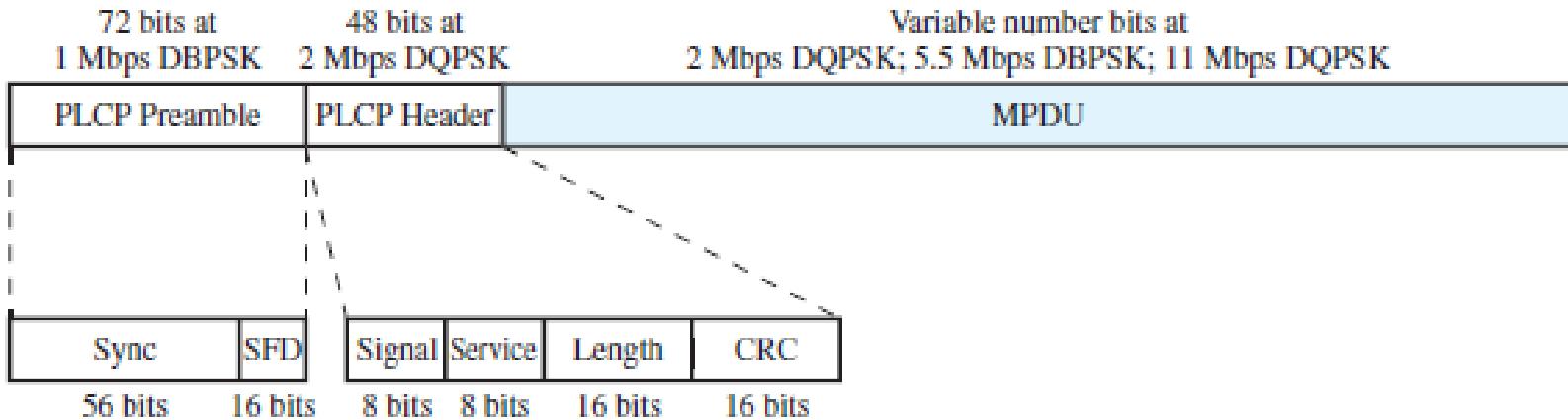
A camada física é dividida em duas subcamadas:

- *Physical Layer Convergence Procedure (PLCP)*
- *Physical Medium Dependent (PMD)*

O quadro inclui um **preâmbulo** que ajuda a sincronizar transmissões no espaço livre



PDU PLCP-IEEE 802.11b



Signal: Specifies the **data rate** at which the MPDU portion of the frame is transmitted.

Service: Only 3 bits of this 8-bit field are used in 802.11b. One bit indicates whether the **transmit frequency** and **symbol clocks use the same local oscillator**. Another bit indicates whether **CCK** or **PBCC** (Packet Binary Convolutional Code) encoding is used. A third bit acts as an **extension** to the Length subfield.

Length: Indicates the length of the MPDU field by specifying the **number of microseconds** necessary to transmit the MPDU. Given the data rate, the length of the MPDU in octets can be calculated. For any **data rate over 8 Mbps**, the **length extension bit** from the Service field is needed to resolve a rounding ambiguity.

CRC: A **16-bit error-detection code** used to protect the Signal, Service, and Length fields.

PARÂMETROS DO IEEE 802.11b

Table A.3. Main parameters

| Parameter | FHSS | DSSS | HR/DSSS | IR |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Slot Time (microsec) | 50 | 20 | 20 | 8 |
| *CCA Time (microsec) | 27 | <=15 | <=15 | 5 |
| Preamble (microsec) | 96 | 144 | 144(**) | 16/1 Mbps 20/2 Mbps |
| PLCP header (microsec) | 32 | 48 | 48 | 41/1 Mbps 25/2 Mbps |
| MPDU max size (bytes) | 4095(*) | 8192 | 4095 | 2500 |
| Modulation | GFSK | DBPSK | DBPSK | PPM |
| | | DQPSK | DQPSK | CCK |
| Spectrum | Regulation restriction | Regulation restriction | Regulation restriction | No restriction |

* Recommended value: 400 bytes – 1 Mbps, 800 bytes – 2 Mbps; this corresponds to a frame <3.5 ms.

** 144 is the preamble size for a packet with a long header, a packet with a short header has a preamble of 72 leading to an overhead of 192 µs in the first case and 96 µs in the second case.

*CCA Clear Channel Assessment

- mechanism for determining whether the medium is idle or not

802.11b - HR-DSSS

■ RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS

- taxas de **até 11Mbps**
- **3 canais** sem *overlapping*
- Faixa ISM = **2,4 GHz**
- **compatível** com o padrão **g**
- em **espaço aberto**, pode chegar a **500m**, sob baixas taxas



CARACTERÍSTICAS IEEE 802.11a-OFDM

Multiplexação OFDM

- | considerada como uma forma de *Spread Spectrum* mas **diferente do FHSS**
 - | divide o sinal em algumas bandas estreitas (**sub-portadoras**)

Canais em 5 GHz

- | **12 canais** não-sobrepostos

Modulação

- | **PSK, QPSK, 16-QAM e 64-QAM**
 - | 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, **54 Mbps**
- | **eficiência** no uso do espectro em termos de **bits por Hz**
 - | possibilidade de até 64 usuários por AP

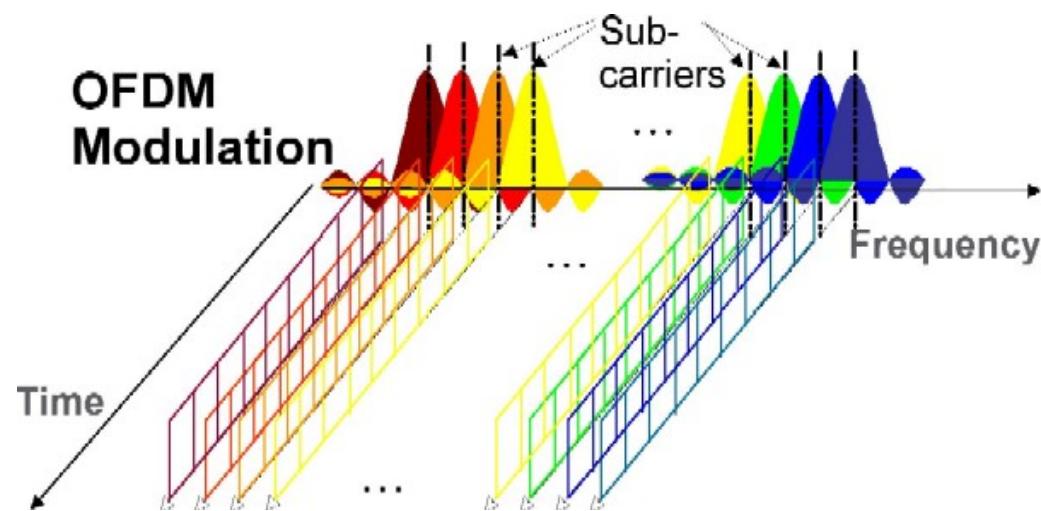
PDU PLCP

802.11a-OFDM

ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING

CARACTERÍSTICAS

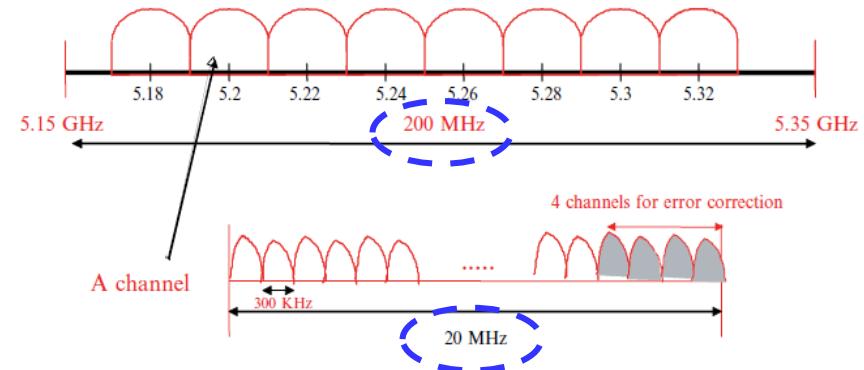
- transmissões presentes em **múltiplas frequências sub-portadoras**, ao mesmo tempo
- utiliza **52 sub-portadoras**
 - **48 para dados**
 - **4 para sincronização**



CANAIS EM 5 GHz

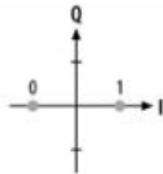
| Banda | Nº do Canal | Frequência Central (MHz) | Potência máxima (com ganho de antena ≤ 6 dB) |
|--|-------------|--------------------------|---|
| U-NII <i>lower band</i> (5,15 – 5,25 MHz) | 36 | 5.180 | 40 mW (2,5 mW/MHz) |
| | 40 | 5.200 | 20 MHz |
| | 44 | 5.220 | (indoor) |
| | 48 | 5.240 | |
| U-NII <i>middle band</i> (5,25 – 5,35 MHz) | 52 | 5.260 | 200 mW (12,5 mW/MHz) |
| | 56 | 5.280 | |
| | 60 | 5.300 | (indoor) |
| | 64 | 5.320 | |
| U-NII <i>upper band</i> (5,725 – 5,825 MHz) | 149 | 5.745 | 800 mW (50 mW/MHz) |
| | 153 | 5.765 | |
| | 157 | 5.785 | (indoor ou outdoor) |
| | 161 | 5.805 | |

*Canais
sem overlap*

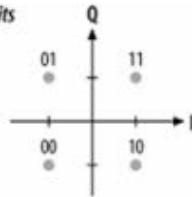


MODULAÇÃO @ IEEE 802.11a-OFDM

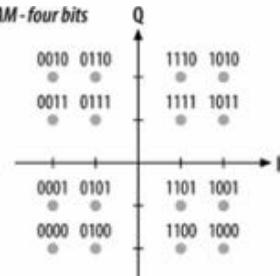
a) BPSK-one bit



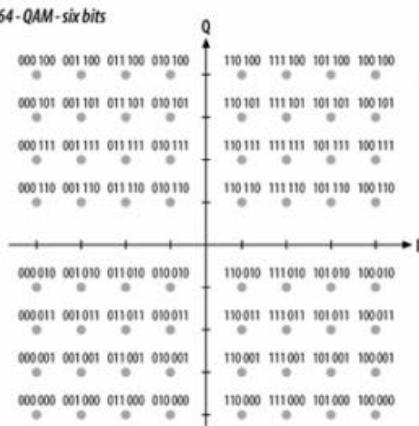
b) QPSK-two bits



c) 16-QAM-fourbits



d) 64-QAM-six bits



| Modulation | Coding rate (R) | Coded bits per subcarrier (N_{BPSC}) | Coded bits per OFDM symbol (N_{CBPS}) | Data bits per OFDM symbol (N_{DBPS}) | Data rate (Mb/s) (20 MHz channel spacing) | Data rate (Mb/s) (10 MHz channel spacing) | Data rate (Mb/s) (5 MHz channel spacing) |
|------------|---------------------|--|---|--|---|---|--|
| BPSK | 1/2 | 1 | 48 | 24 | 6 | 3 | 1.5 |
| BPSK | 3/4 | 1 | 48 | 36 | 9 | 4.5 | 2.25 |
| QPSK | 1/2 | 2 | 96 | 48 | 12 | 6 | 3 |
| QPSK | 3/4 | 2 | 96 | 72 | 18 | 9 | 4.5 |
| 16-QAM | 1/2 | 4 | 192 | 96 | 24 | 12 | 6 |
| 16-QAM | 3/4 | 4 | 192 | 144 | 36 | 18 | 9 |
| 64-QAM | 2/3 | 6 | 288 | 192 | 48 | 24 | 12 |
| 64-QAM | 3/4 | 6 | 288 | 216 | 54 | 27 | 13.5 |

(dBm)

-82

-81

-79

-77

-74

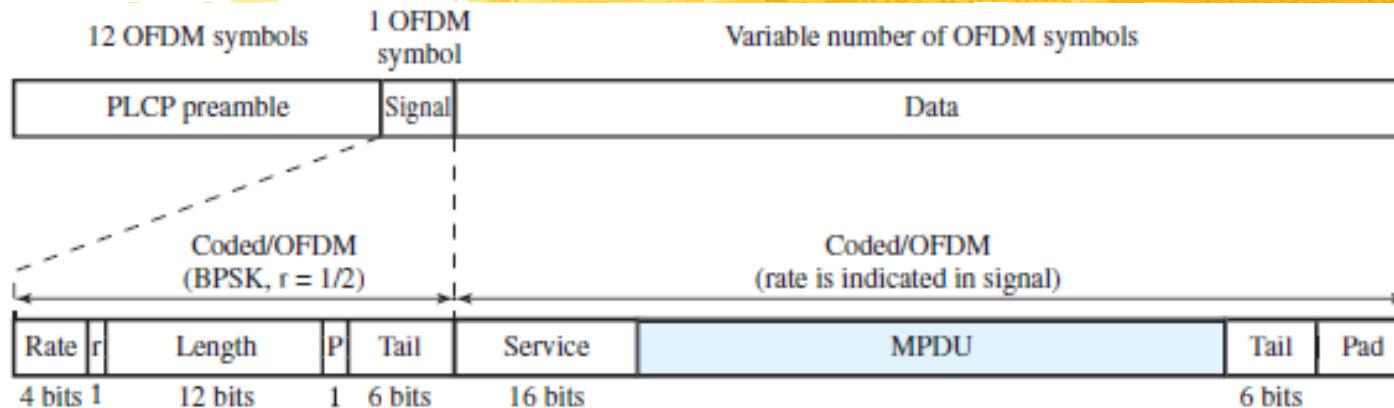
-70

-66

-65



PDU PLCP IEEE 802.11a



PLCP Preamble: enables the receiver to **acquire** an incoming **OFDM signal** and **synchronize** the **demodulator**.

Signal: 24 bits encoded as a single **OFDM symbol** (Preamble/Signal transmitted at **6 Mbps** using **BPSK**)

Rate: Specifies the **data rate** at which the **data field** portion of the frame is transmitted

r: Reserved for future use

Length: Number of **octets** in the **MAC PDU**

P: An even parity bit for the 17 bits in the **Rate**, **r**, and **Length** subfields.

Tail: Consists of **6 zero bits** appended to the symbol to bring the **convolutional encoder** to zero state

Data: **OFDM symbols** transmitted at the **data rate** specified (all of the bits of the **Data field** are **scrambled**.)

Service: Consists of 16 bits, with the first 6 bits set to zeros to **synchronize the descrambler** in the receiver, and the remaining 9 bits (all zeros) reserved for future use.

MAC PDU: Handed down from the MAC layer.

Tail: Produced by replacing the six scrambled bits following the MPDU end with 6 bits of all zeros; **used to re-initialize the convolutional encoder**.

Pad: The number of bits required to make the **Data field** a **multiple of the number of bits** in an OFDM symbol (48, 96, 192 or 288).

802.11a-OFDM

RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS

- + banda ISM em **5 GHz**
- + **8 canais** sem *overlap* na faixa de 5,15-5,35 GHz
- + **4 canais** sem *overlap* na faixa de 5,725-5,825 GHz
- + taxas de transmissão de até **54 Mbps**



802.11g

CARACTERÍSTICAS

- **versão melhorada do 802.11b** aprovada em novembro de **2001**
- utiliza **OFDM**, assim como a 802.11a, mas opera na faixa ISM de **2,4 GHz**
- pode operar em taxas variáveis **até 54Mbps**
 - | diferentes esquemas de modulação
- **3 canais** sem *overlap*

ESQUEMAS DE MODULAÇÃO IEEE 802.11g

| Data Rate (Mbps) | Modulation Scheme |
|------------------|-------------------|
| 1 | DSSS |
| 2 | DSSS |
| 5.5 | CCK or PBCC |
| 6 | ERP-OFDM |
| 9 | ERP-OFDM |
| 11 | CCK or PBCC |
| 12 | ERP-OFDM |

| Data Rate (Mbps) | Modulation Scheme |
|------------------|-------------------|
| 18 | ERP-OFDM |
| 22 | ERP-PBCC |
| 24 | ERP-OFDM |
| 33 | ERP-PBCC |
| 36 | ERP-OFDM |
| 48 | ERP-OFDM |
| 54 | ERP-OFDM |

DSSS

Direct Sequence Spread Spectrum

CCK

Complementary Code Keying

PBCC

Packet Binary Convolutional Code

ERP

Extended Rate Phy

QUADRO COMPARATIVO

| IEEE 802.11 Radio Link Interfaces | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|---|-------------------|----------------|-----------------|
| Standard | Maximum Bit Rate | Fallback Rates | Channels Provided | Band | Radio Technique |
| 802.11 | 2 Mbps | 1 Mbps | 3 | 2.4 GHz ISM | FHSS or DSSS |
| 802.11b | 11 Mbps | 5.5 Mbps 2 Mbps 1 Mbps | 3 | 2.4 GHz ISM | DSSS |
| 802.11a | 54 Mbps | 48 Mbps 36 Mbps 24 Mbps 18 Mbps 12 Mbps 9 Mbps 6 Mbps | 12 | 5 GHz ISM | OFDM |
| 802.11g | 54 Mbps | Same as 802.11a Plus 2 Mbps and 1 Mbps | 3 | 2.4 GHz ISM | OFDM |



IEEE 802.11n

ESPECIFICAÇÕES IEEE 802.11n

802.11n IEEE Specification

| | |
|--------------------------------|-------------------------|
| Frequency Band: | Dual Band 2.4 & 5GHz |
| No. of Spatial Streams: | 4x4 |
| Channel Width: | 20 / 40 MHz |
| Max Modulation Scheme: | 64-QAM |
| Max PHY Rate: | 600 Mb/s |
| Max MAC Throughput: | 390 Mb/s |
| Beamforming Support: | Vendor Specific |
| MIMO Support: | Yes (SU-MIMO) |

Fonte: Newell, D. et al. - Comparison of Theoretical and Practical Performances with 802.11n and 802.11ac Wireless Networking
Proc. of The 2017-31st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops

MODOS DE OPERAÇÃO IEEE 802.11n

LOW MODE

- operação clássica tipo **a/b ou g**

HIGH THROUGHPUT (HT)-MODE

- operação com banda de **20 ou 40 MHz** com feixes espaciais **MIMO (1- 4)**.

DUPLICATE NON-HT MODE

- dispositivo opera num canal de 40 MHz composto de dois canais adjacentes de 20 MHz

40 MHZ UPPER MODE

- transmissão de quadros no canal 20 MHz superior de um canal de 40 MHz

40 MHZ LOWER MODE

- transmissão de quadros no canal 20 MHz inferior de um canal de 40 MHz

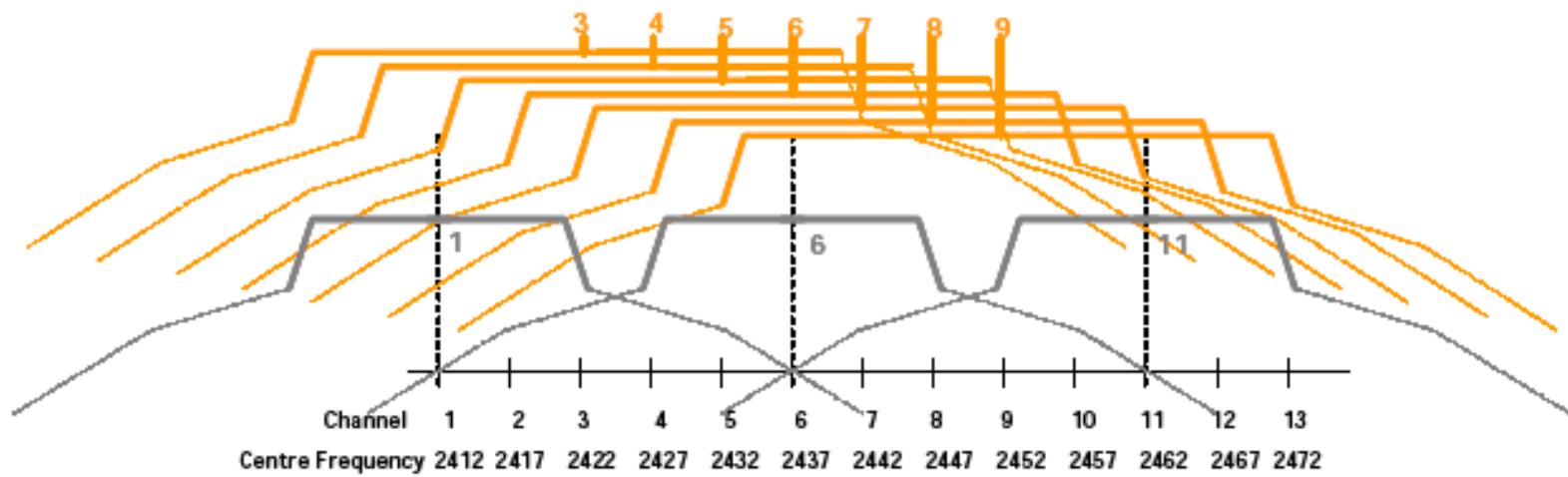
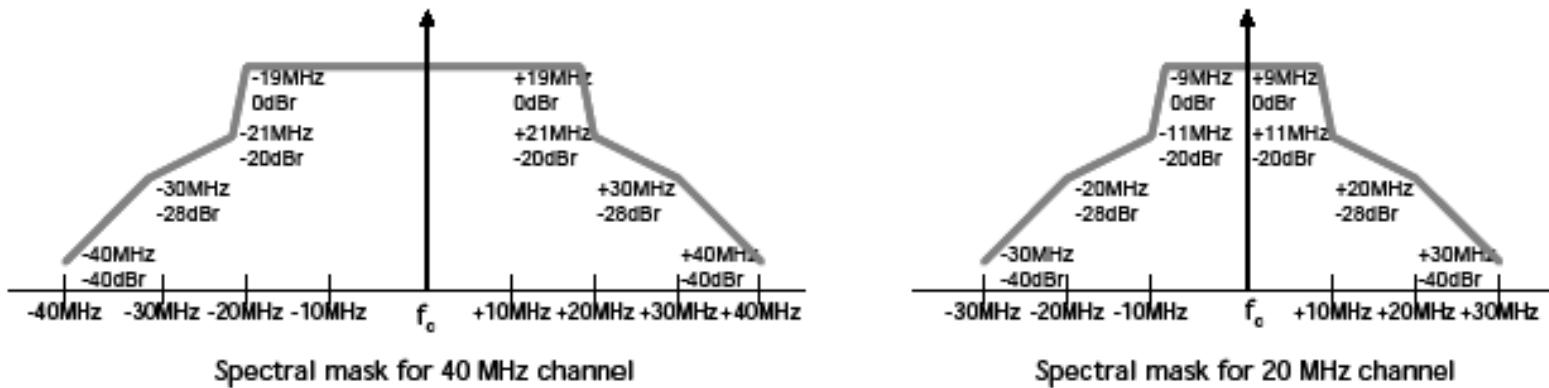
Melhorias da
Camada Física

MELHORIAS DA CAMADA FÍSICA IEEE 802.11n



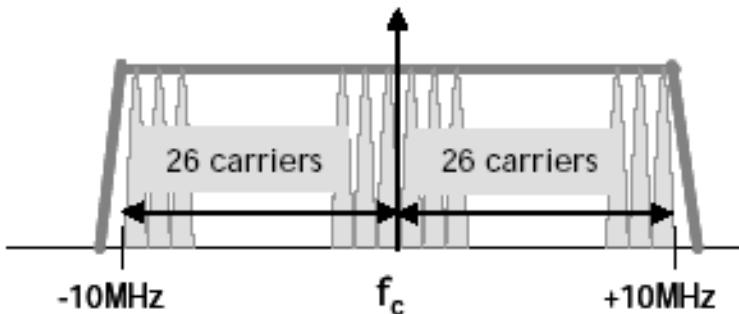
1. Canais de 40 MHz
2. Mais Sub-portadoras OFDM
3. Novos Esquemas de Codificação/Modulação
4. Intervalos de Guarda Mais Curtos
5. Antenas MIMO

CANAIS DE 40 MHz

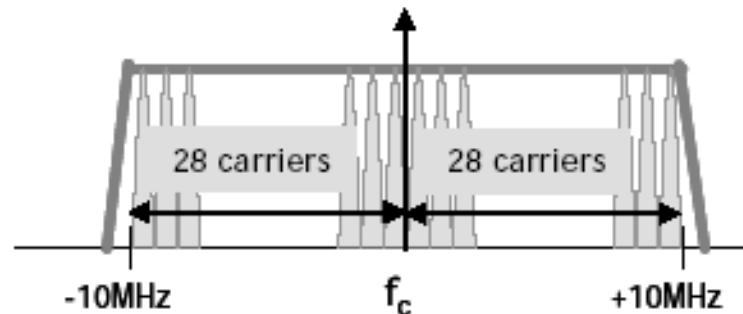


Channels defined for 2.4 GHz band, showing common 20 MHz channel plan and 40 MHz options

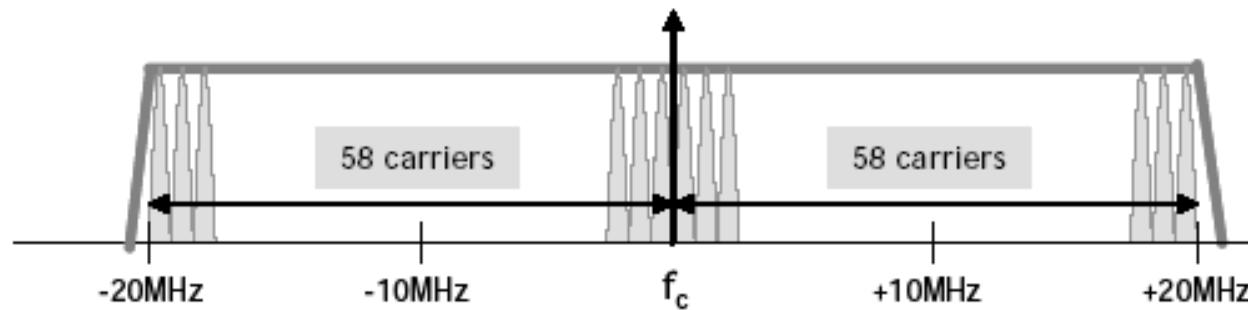
MAIS SUB-PORTADORAS OFDM



*52 subportadoras num canal de 20 MHz
em modo non-HT (legacy 802.11a/g)*



*56 subportadoras num canal de 20 MHz
em modo HT (802.11n)*



116 subportadoras num canal 40 MHz em modo HT (802.11n)



NOVOS ESQUEMAS DE CODIFICAÇÃO/MODULAÇÃO

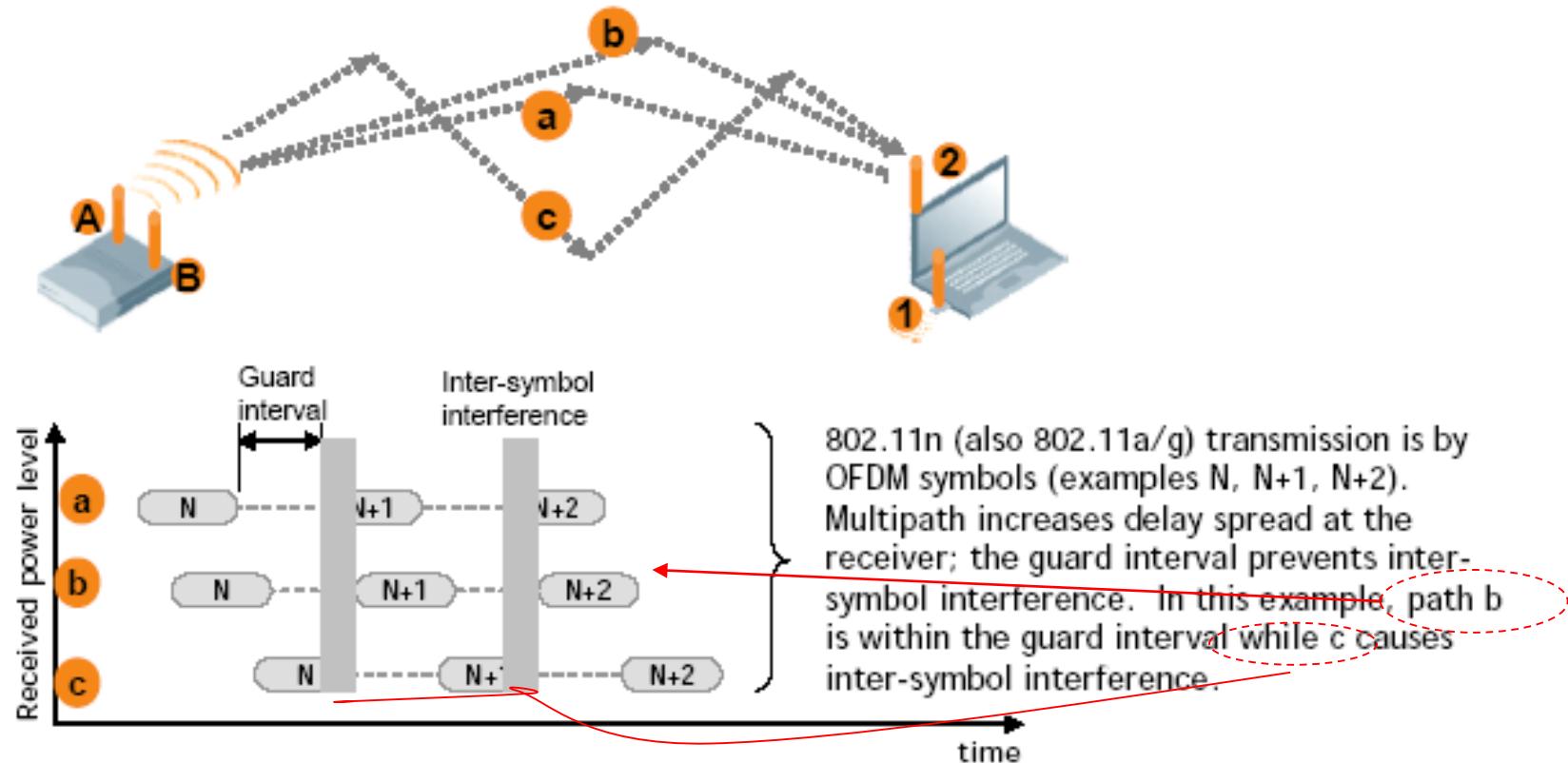
| Nominal configuration | Band-width (MHz) | Constellation size and rate | PHY data rate (Mbps) | Throughput (Mbps)* |
|---------------------------------|------------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|
| 802.11a | | | | |
| All | 20 | 64QAMr3/4 | 54 | 24 |
| 802.11n | | | | |
| Amendment min | 20 | 64QAMr5/6 | 65 | 46 |
| Low-end product (2.4 GHz only+) | 20 | 64QAMr5/6 | 72 | 51 |
| Mid-tier product | 40 | 64QAMr5/6 | 300 | 210 |
| Max product | 40 | 64QAMr5/6 | 450 | 320 |
| Amendment max | 40 | 64QAMr5/6 | 600 | 420 |

*Assuming a 70 percent efficient MAC, except for 802.11a, which lacks aggregation.

+Assuming that 40 MHz is not available due to the presence of other APs.



INTERVALO DE GUARDA MENOR



Os padrões **IEEE 802.11 anteriores** estabelecem um intervalo de guarda de **800ns**.

Por outro lado, o padrão **IEEE 802.11n** adiciona uma opção de **400ns**, negociada entre receptor e transmissor, para casos onde o pior atraso multipercorso seja baixo (obs.: atraso de propagação no espaço livre = distância x 0,3 metros/ns, implica que 400ns é equivalente a uma diferença de percurso de 120 metros).

INTERVALO DE GUARDA MENOR

| Nominal configuration | Band-width (MHz) | Constellation size and rate | Guard interval | PHY data rate (Mbps) | Throughput (Mbps)* |
|---------------------------------|------------------|-----------------------------|----------------|----------------------|--------------------|
| 802.11a | | | | | |
| All | 20 | 64QAMr3/4 | Long | 54 | 24 |
| 802.11n | | | | | |
| Amendment min | 20 | 64QAMr5/6 | Long | 65 | 46 |
| Low-end product (2.4 GHz only+) | 20 | 64QAMr5/6 | Short | 72 | 51 |
| Mid-tier product | 40 | 64QAMr5/6 | Short | 300 | 210 |
| Max product | 40 | 64QAMr5/6 | Short | 450 | 320 |
| Amendment max | 40 | 64QAMr5/6 | Short | 600 | 420 |

*Assuming a 70 percent efficient MAC, except for 802.11a, which lacks aggregation.

+Assuming that 40 MHz is not available due to the presence of other APs.

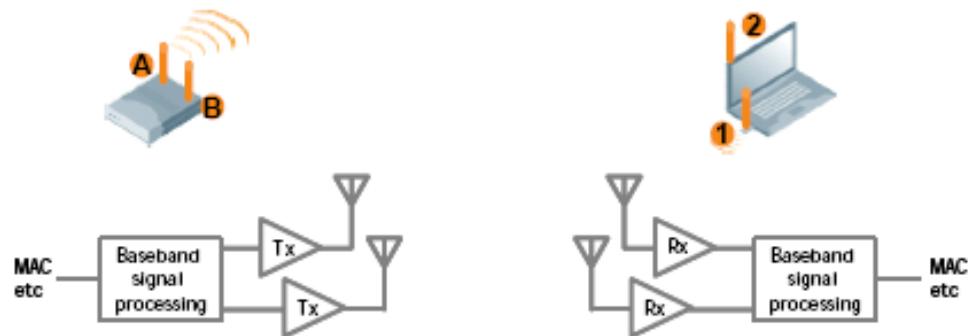


MIMO - Multiple Input Multiple Output

multiple antennas at the transmitter and receiver

multiple spatial streams = multiple parallel data paths

Suporte até 4 streams espaciais



| Nominal configuration | Band-width (MHz) | Number of spatial streams | Constellation size and rate | Guard interval | PHY data rate (Mbps) | Throughput (Mbps)* |
|---------------------------------|------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|----------------------|--------------------|
| 802.11a | | | | | | |
| All | 20 | 1 | 64QAMr3/4 | Long | 54 | 24 |
| 802.11n | | | | | | |
| Amendment min | 20 | 1 | 64QAMr5/6 | Long | 65 | 46 |
| Low-end product (2.4 GHz only+) | 20 | 1 | 64QAMr5/6 | Short | 72 | 51 |
| Mid-tier product | 40 | 2 | 64QAMr5/6 | Short | 300 | 210 |
| Max product | 40 | 3 | 64QAMr5/6 | Short | 450 | 320 |
| Amendment max | 40 | 4 | 64QAMr5/6 | Short | 600 | 420 |

*Assuming a 70 percent efficient MAC, except for 802.11a, which lacks aggregation.

+Assuming that 40 MHz is not available due to the presence of other APs.



IEEE 802.11ac

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO IEEE 802.11ac

Menos interferência

- opera **apenas em 5GHz**

Modulação/Codificação de ordem maior

- até **256 QAM**

Canais de maior capacidade

Agrupamento de canais adicional

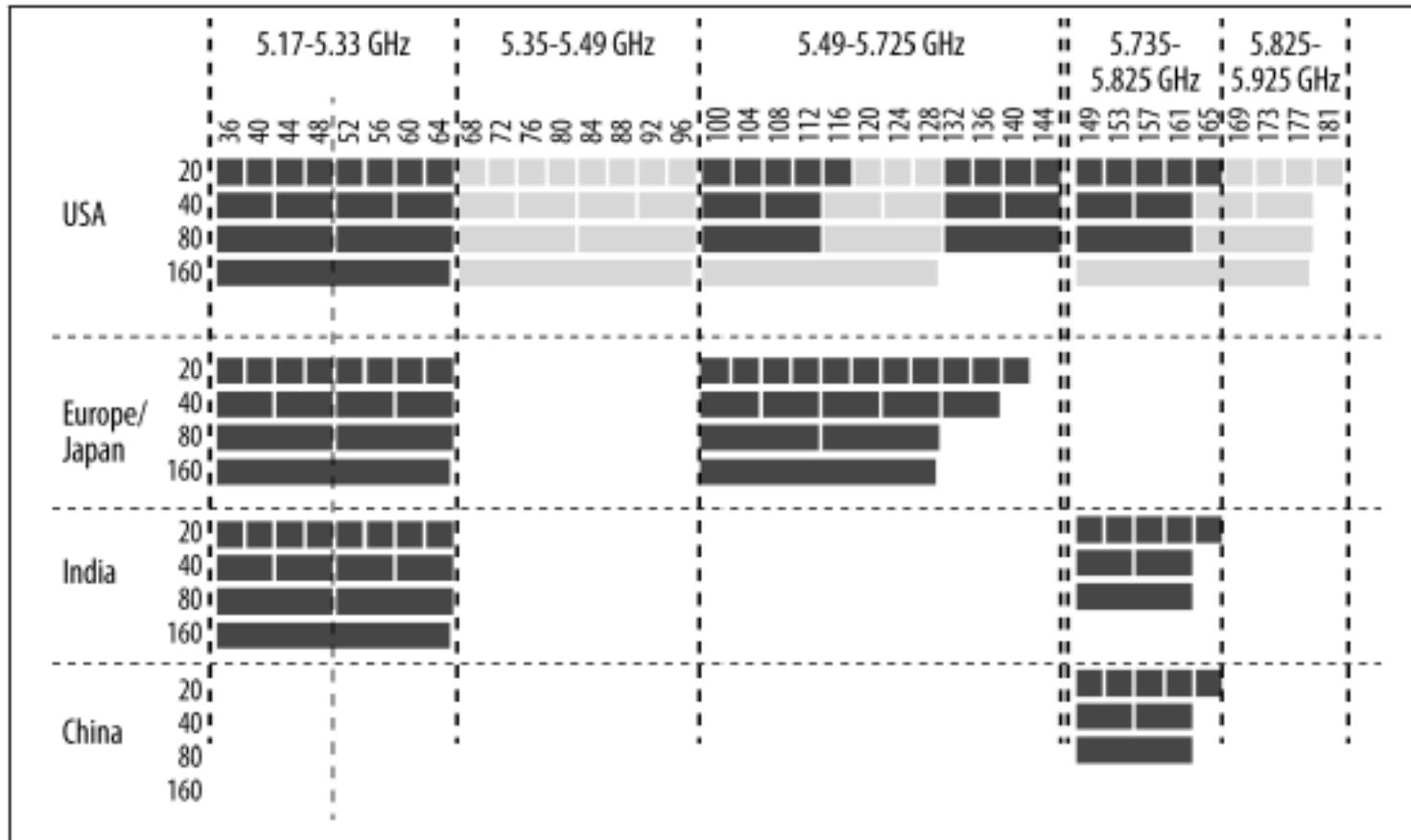
- até **80 MHz ou 160 MHz**

Maior número de subportadoras por canal

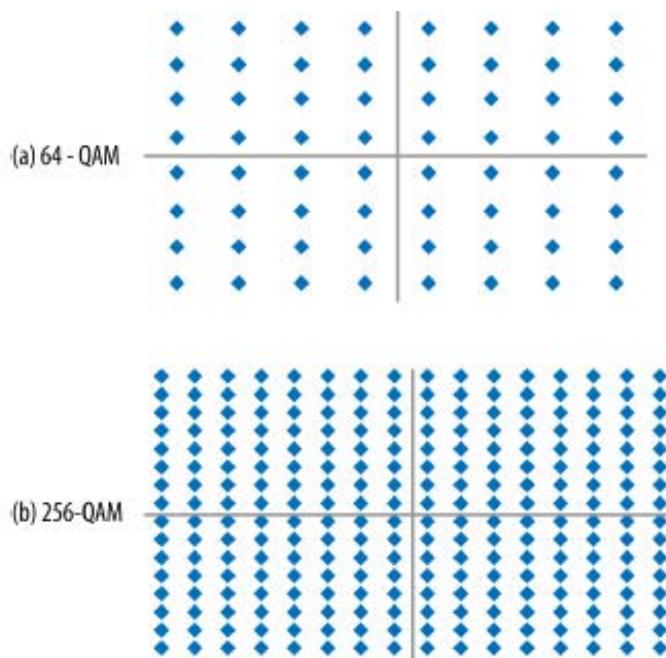
MIMO avançado

- Quantidade maior de feixes espaciais
 - até **8 feixes**
- MIMO multiusuário

ESPECTRO IEEE 802.11ac



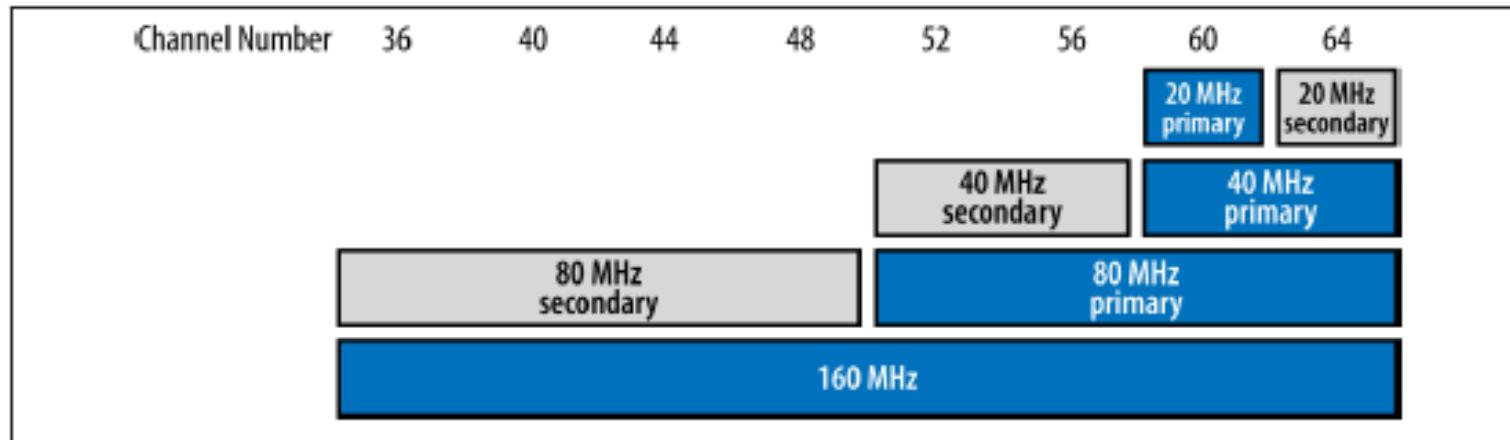
MODULAÇÃO/CODIFICAÇÃO IEEE 802.11ac



| MCS index value | Modulation | Code rate (R) |
|-----------------|------------|---------------|
| 0 | BPSK | 1/2 |
| 1 | QPSK | 1/2 |
| 2 | QPSK | 3/4 |
| 3 | 16-QAM | 1/2 |
| 4 | 16-QAM | 3/4 |
| 5 | 64-QAM | 2/3 |
| 6 | 64-QAM | 3/4 |
| 7 | 64-QAM | 5/6 |
| 8 | 256-QAM | 3/4 |
| 9 | 256-QAM | 5/6 |

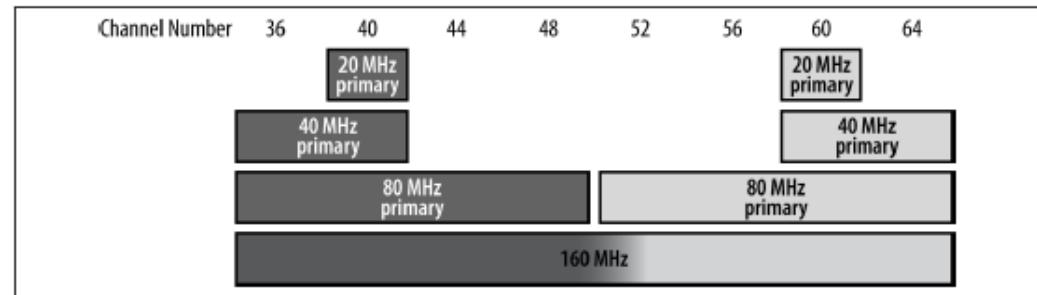


AGRUPAMENTO DE CANAIS



Fonte: Matthew S. Gast - 802.11ac A Survival Guide. O'Reilly, 2013.

Coexistência de múltiplas redes



Subportadoras em IEEE 802.11ac

| PHY standard | Subcarrier range | Pilot subcarriers | Subcarriers (total/data) | Capacity relative to 802.11a/g | Capacity relative to 20 MHz 802.11ac |
|-----------------------------------|--|--|---|--------------------------------|--------------------------------------|
| 802.11a/g | -26 to -1, +1 to +26 | $\pm 7, \pm 21$ | 52 total, 48 usable (8% pilots) | x1.0 | n/a |
| 802.11n/ 802.11ac, 20 MHz | -28 to -1, +1 to +28 | $\pm 7, \pm 21$ | 56 total, 52 usable (7% pilots) | x1.1 | x1.0 |
| 802.11n/ 802.11ac, 40 MHz | -58 to -2, +2 to +58 | $\pm 11, \pm 25, \pm 53$ | 114 total, 108 usable (5% pilots) | x2.3 | x2.1 |
| 802.11ac, 80 MHz | -122 to -2, +2 to +122 | $\pm 11, \pm 39, \pm 75,$ ± 103 | 242 total, 234 usable (3% pilots) | x4.9 | x4.5 |
| 802.11ac, 160 MHz ^a | -250 to -130, -126 to -6, +6 to +126, +130 to +250 | $\pm 25, \pm 53, \pm 89,$ $\pm 117, \pm 139,$ $\pm 167, \pm 203,$ ± 231 | 484 total, 468 usable (3% pilots) | x9.75 | x9.0 |

^a For 80+80 MHz channels, the numbers are identical to the 160 MHz channel numbers.

MU-MIMO

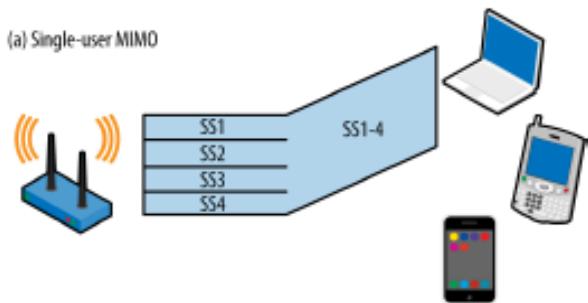
■ *Single-User MIMO (SU-MIMO) @ 802.11n*

- | um dispositivo pode transmitir **múltiplos feixes espaciais** simultaneamente mas direcionados para um **único endereço**.
 - | para quadros endereçados individualmente (*unicast*) significa que somente um único dispositivo (ou usuário) recebe os dados.

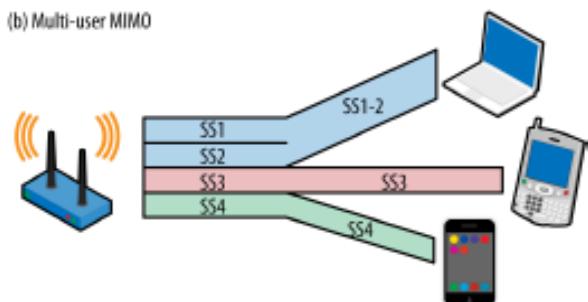
■ *Multiuser MIMO (MU-MIMO)*

- | um AP é capaz de usar os recursos de suas antenas para transmitir **múltiplos quadros para diferentes clientes**, ao **mesmo tempo** e na **mesma frequência spectral**.
 - | Se o IEEE 802.11n é um *hub*, o IEEE 802.11ac pode ser visto como um *switch wireless* (no *downlink*).

(a) Single-user MIMO

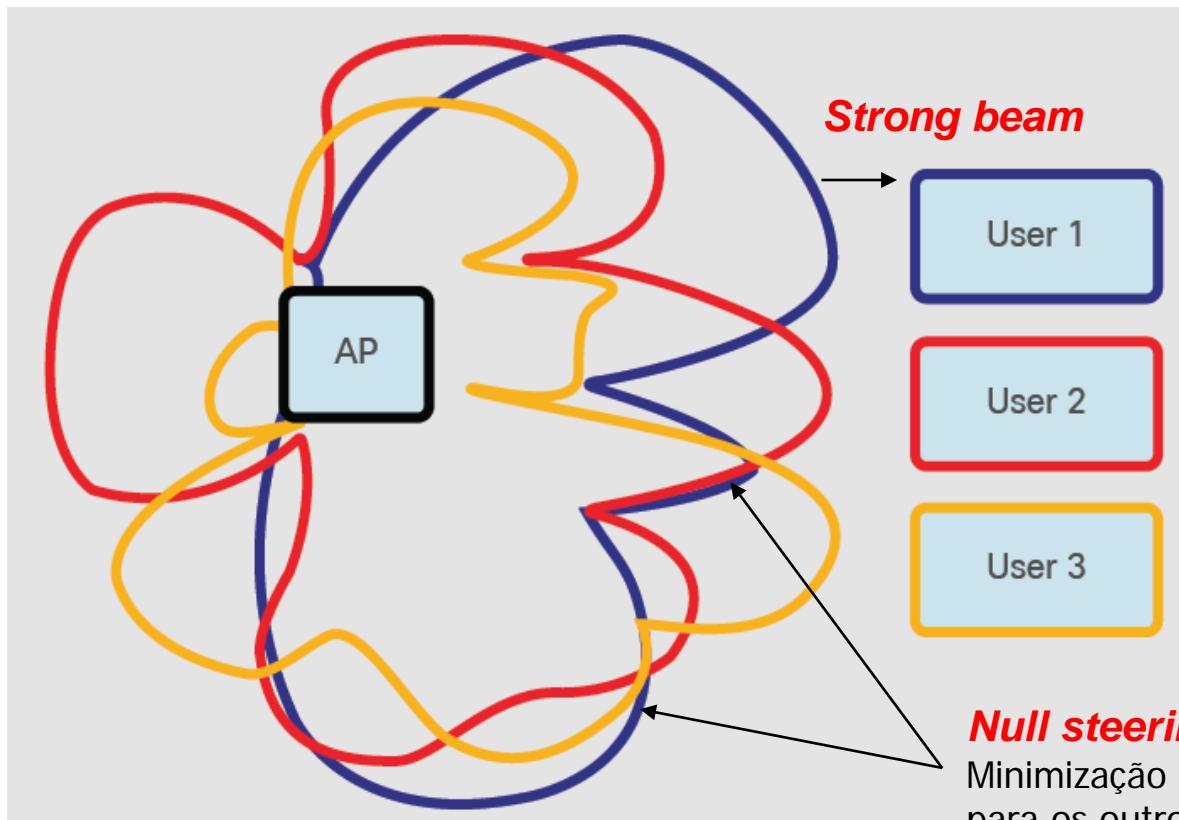


(b) Multi-user MIMO

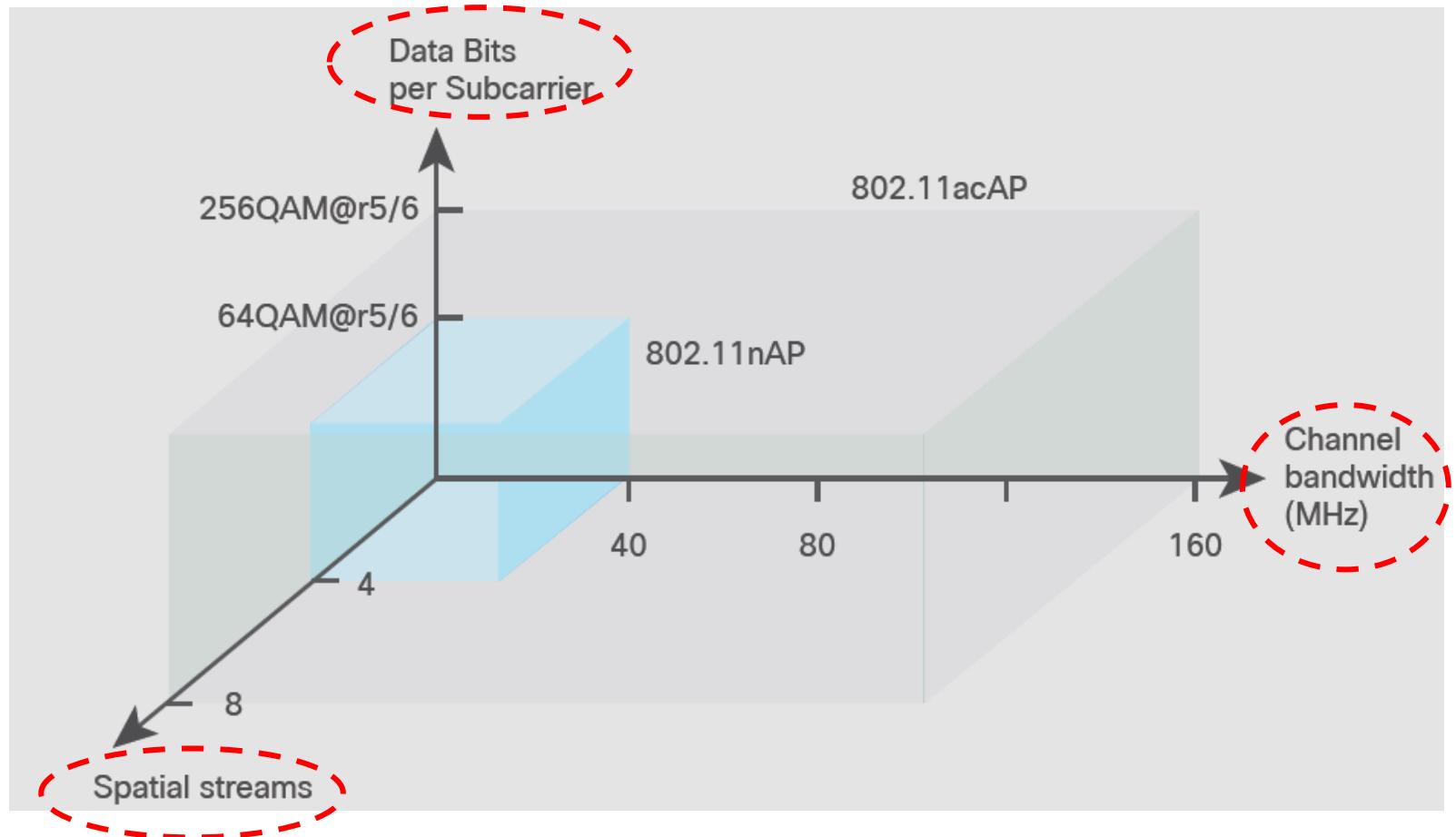


MU-MIMO (II)

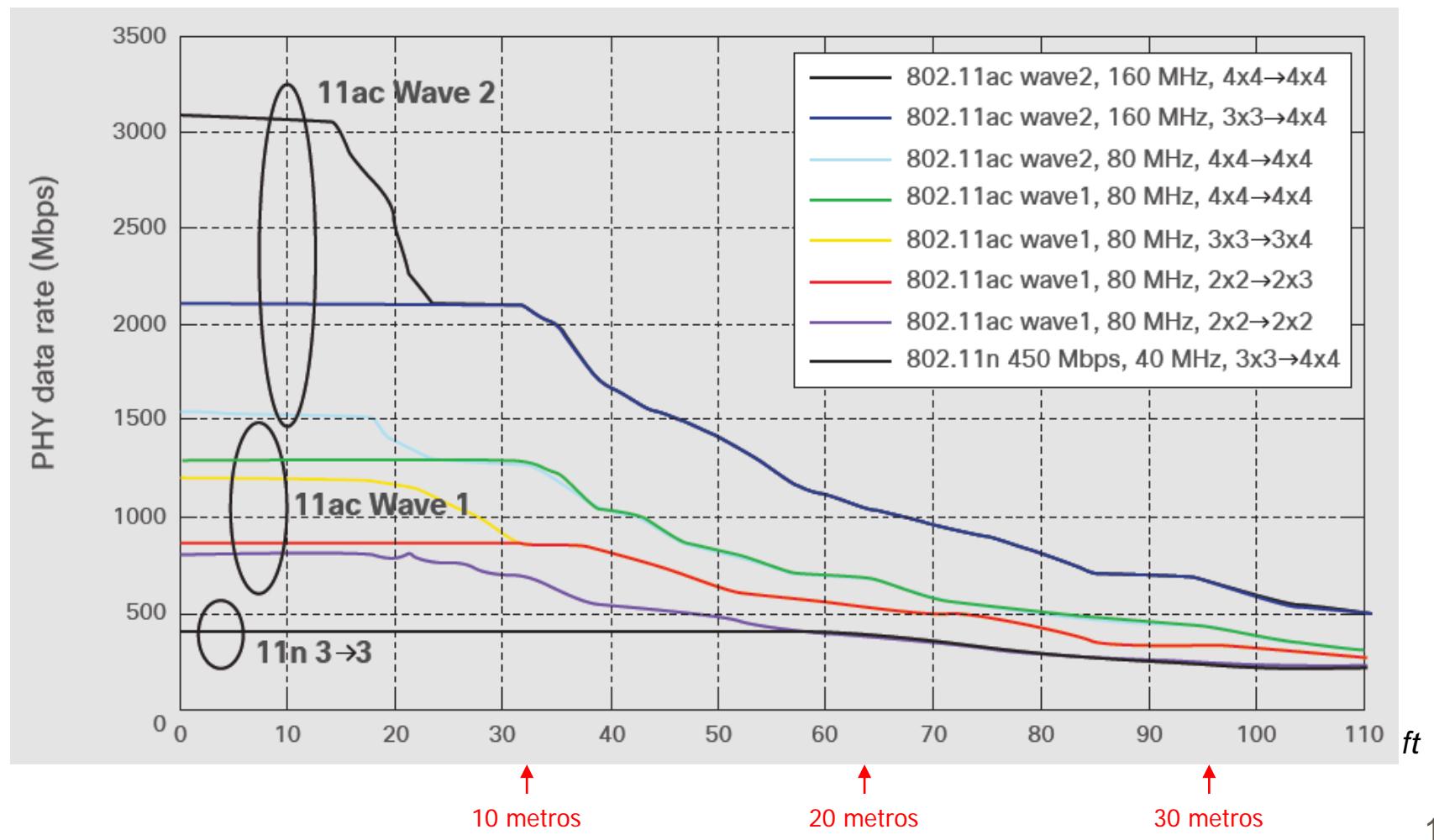
- Usando uma combinação de "*beamforming*" e "*null steering*" para **múltiplos clientes** em paralelo.



PRINCIPAIS MELHORIAS NO IEEE 802.11ac



TAXA X ALCANCE @ IEEE 802.11ac



TAXAS DE TRANSMISSÃO IEEE 802.11ac

| PHY | Bandwidth (as number of data subcarriers) | Number of spatial streams | Data bits per subcarrier | Time per OFDM symbol | PHY data rate (bps) |
|---------------------------|---|---------------------------------|---|--|---------------------------|
| 802.11n or 802.11ac | 56 (20 MHz) | 1 to 4 | X | X | |
| | 108 (40 MHz) | X | | | |
| 802.11ac only | 234 (80 MHz) | 5 to 8 | | | |
| | 2 × 234 (160 MHz) | | Up to $5/6 \times \log_2(256) \approx 6.67$ | ÷ 3.6 microseconds (short guard interval) = 4 microseconds (long guard interval) | ? |

TAXAS DE TRANSMISSÃO IEEE 802.11ac

| PHY | Bandwidth (as number of data subcarriers) | Number of spatial streams | Data bits per subcarrier | Time per OFDM symbol | PHY data rate (bps) |
|---------------------------|---|---------------------------------|---|--------------------------------------|--|
| 802.11n or 802.11ac | 56 (20 MHz) | 1 to 4 | X | Up to $5/6 \times \log_2(64) = 5$ | $\frac{3.6 \text{ microseconds (short guard interval)}}{4 \text{ microseconds (long guard interval)}} = ?$ |
| | 108 (40 MHz) | X | | | |
| 802.11ac only | 234 (80 MHz) | 5 to 8 | Up to $5/6 \times \log_2(256) \approx 6.67$ | 4 microseconds (long guard interval) | |
| | 2 × 234 (160 MHz) | | | | |

Exemplo: 234 portadoras OFDM (80MHz), 3 *streams* espaciais, taxa de codificação 5/6, modulação 256 QAM e intervalo de guarda para os símbolos OFDM igual a 3,6 μs

$$234 \times 3 \times 5/6 \times \log_2 (256) / 3,6 \mu\text{s} = 1,3 \text{ Gbps}$$

MATRIZ DE TAXAS DE TRANSMISSÃO

| MCS value | 20 MHz data rate (1SS, short GI) | Spatial stream multiplication factor | Channel width multiplication factor | Maximum 40 MHz rate (8 SS, short GI) | Maximum 80 MHz rate (8 SS, short GI) | Maximum 160 MHz rate (8 SS, short GI) |
|-----------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| MCS 0 | 7.2 Mbps | x2 for 2 streams | x1.0 for 20 MHz | 120.0 Mbps | 260.0 Mbps | 520.0 Mbps |
| MCS 1 | 14.4 | x3 for 3 streams | x2.1 for 40 MHz | 240.0 | 520.0 | 1040.0 |
| MCS 2 | 21.7 | x4 for 4 streams | x4.5 for 80 MHz | 360.0 | 780.0 | 1560.0 |
| MCS 3 | 28.9 | x5 for 5 streams | x9.0 for 160 MHz | 480.0 | 1040.0 | 2080.0 |
| MCS 4 | 43.3 | x6 for 6 streams | | 720.0 | 1560.0 | 3120.0 |
| MCS 5 | 57.8 | x7 for 7 streams | | 960.0 | 2080.0 | 4160.0 |
| MCS 6 | 65.0 | x8 for 8 streams | | 1080.0 | 2340.0 | 4680.0 |
| MCS 7 | 72.2 | | | 1200.0 | 2600.0 | 5200.0 |
| MCS 8 | 86.7 | | | 1440.0 | 3120.0 | 6240.0 |
| MCS 9 | 96.3 ^a | | | 1600.0 | 3466.7 | 6933.3 |

^a MCS 9 is not allowed for 20 MHz channels, as will be described in the next section.

PAYLOADS IEEE 802.11ac

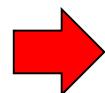
Table 3-1. Size comparisons of transmissions for different 802.11 PHYs

| Attribute | 802.11a | 802.11n | 802.11ac |
|-------------------------------------|------------------------------|--|------------------------------|
| MSDU (MAC payload) size | 2,304 | 2,304 | 2,304 |
| MPDU (MAC frame) size | Implied by maximum MSDU size | Implied by A-MSDU size | 11,454 |
| A-MSDU (aggregate MAC payload) size | Not used with 802.11a | 7,935 | Implied by maximum MPDU size |
| PSDU (PLCP payload) size | 4,095 bytes | 65,535 bytes | 4,692,480 bytes |
| PPDU (PLCP frame) size | Implied by maximum PSDU size | 5.484 ms (mixed mode) or 10 ms (greenfield mode) | 5.484 ms |

IEEE 802.11ax

A especificação do padrão **IEEE 802.11ax** foi publicada em....

Fevereiro de 2021 !!!



| MCS index ^[a] | Modulation type | Coding rate | Data rate (in Mbit/s) ^[b] | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------|-------------|--------------------------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|------------------|-----------|
| | | | 20 MHz channels | | 40 MHz channels | | 80 MHz channels | | 160 MHz channels | |
| | | | 1600 ns GI ^[c] | 800 ns GI | 1600 ns GI | 800 ns GI | 1600 ns GI | 800 ns GI | 1600 ns GI | 800 ns GI |
| 0 | BPSK | 1/2 | 8 | 8.6 | 16 | 17.2 | 34 | 36.0 | 68 | 72 |
| 1 | QPSK | 1/2 | 16 | 17.2 | 33 | 34.4 | 68 | 72.1 | 136 | 144 |
| 2 | QPSK | 3/4 | 24 | 25.8 | 49 | 51.6 | 102 | 108.1 | 204 | 216 |
| 3 | 16-QAM | 1/2 | 33 | 34.4 | 65 | 68.8 | 136 | 144.1 | 272 | 282 |
| 4 | 16-QAM | 3/4 | 49 | 51.6 | 98 | 103.2 | 204 | 216.2 | 408 | 432 |
| 5 | 64-QAM | 2/3 | 65 | 68.8 | 130 | 137.6 | 272 | 288.2 | 544 | 576 |
| 6 | 64-QAM | 3/4 | 73 | 77.4 | 146 | 154.9 | 306 | 324.4 | 613 | 649 |
| 7 | 64-QAM | 5/6 | 81 | 86.0 | 163 | 172.1 | 340 | 360.3 | 681 | 721 |
| 8 | 256-QAM | 3/4 | 98 | 103.2 | 195 | 206.5 | 408 | 432.4 | 817 | 865 |
| 9 | 256-QAM | 5/6 | 108 | 114.7 | 217 | 229.4 | 453 | 480.4 | 907 | 961 |
| 10 | 1024-QAM | 3/4 | 122 | 129.0 | 244 | 258.1 | 510 | 540.4 | 1021 | 1081 |
| 11 | 1024-QAM | 5/6 | 135 | 143.4 | 271 | 286.8 | 567 | 600.5 | 1134 | 1201 |

Notes

1. MCS 9 is not applicable to all channel width/spatial stream combinations.
- A *second stream* doubles the *theoretical data rate*, a *third one* triples it, etc.
- *GI* stands for the *guard interval*.

IEEE 802.11ax

MELHORIAS TÉCNICAS

- Operação na faixa spectral de **1 GHz a 6 GHz**.
- Portanto, diferentemente do IEEE 802.11ac, o IEEE 802.11ax opera também em **2,4 GHz**.
- Para atingir o objetivo de suporte a instalações com alta densidade de usuários, as seguintes características foram aprovadas:

| Feature | IEEE 802.11ac | IEEE 802.11ax | Comment |
|---------|---------------|--|--|
| OFDMA | Not available | <p><i>Centrally controlled medium access with dynamic assignment</i> of 26, 52, 106, 242(?), 484(?), or 996(?) tones per station.</p> <p><i>Each tone consists of a single subcarrier of 78.125 kHz bandwidth.</i></p> <p><i>Therefore, bandwidth occupied by a single OFDMA transmission</i> is between 2.03125 MHz and ca. 80 MHz bandwidth.</p> | <p><i>OFDMA segregates the spectrum in time-frequency resource units (RUs).</i></p> <p><i>A central coordinating entity (the AP in 802.11ax) assigns RUs for reception or transmission to associated stations.</i></p> <p><i>Through the central scheduling of the RUs contention overhead can be avoided, which increases efficiency in scenarios of dense deployments.</i></p> |

IEEE 802.11ax

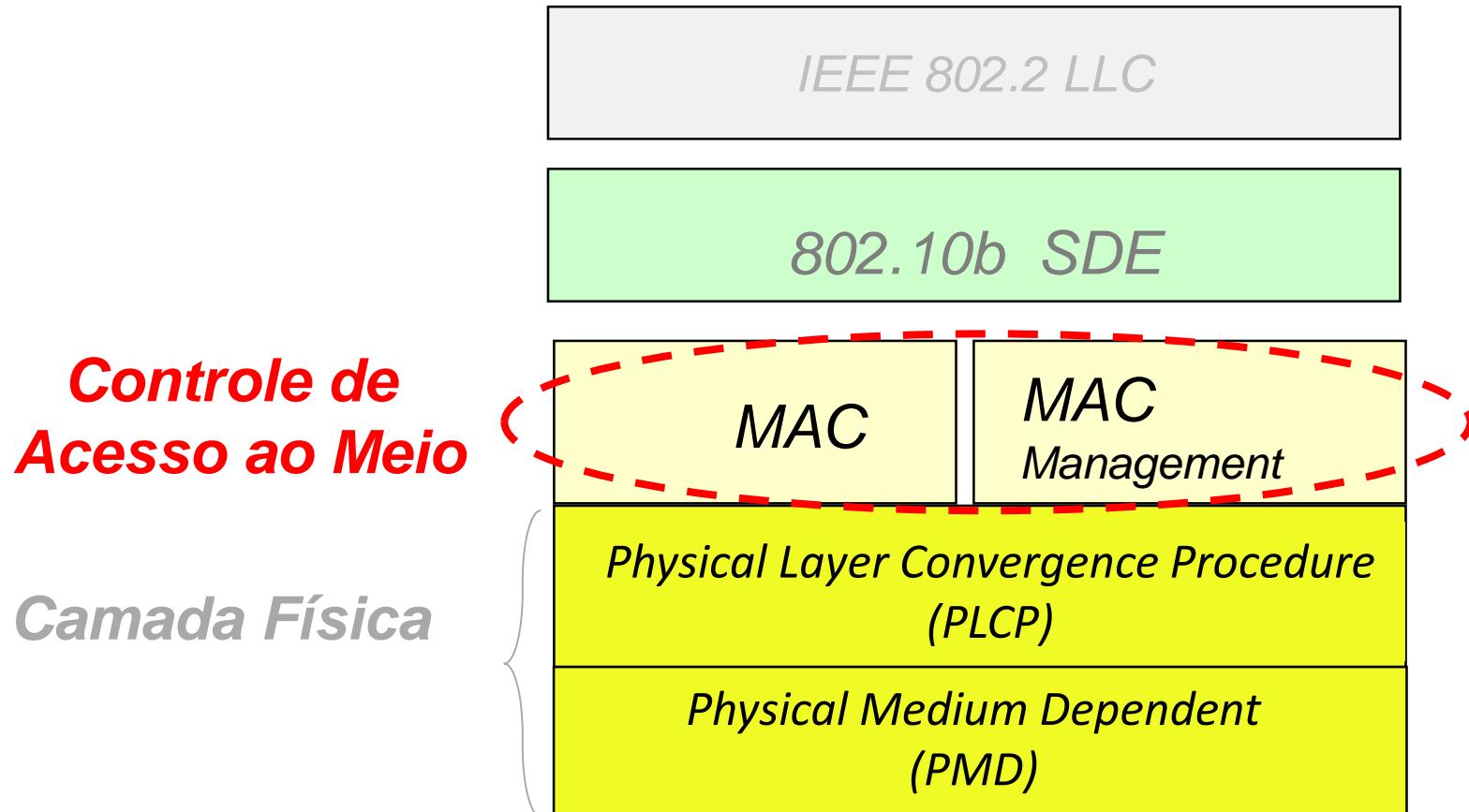
| Feature | IEEE 802.11ac | IEEE 802.11ax | Comment |
|---------------------------|---------------------------------|--|---|
| Multi-user MIMO (MU-MIMO) | Available in Downlink direction | Available in Downlink and Uplink direction | <ul style="list-style-type: none"> With Downlink MU MIMO an AP may transmit concurrently to multiple stations and with Uplink MU MIMO an AP may simultaneously receive from multiple stations. Whereas OFDMA separates receivers to different RUs, with MU MIMO the devices are separated to different spatial streams. In 802.11ax, MU MIMO and OFDMA technologies can be used simultaneously. To enable uplink MU transmissions, the AP transmits a new control frame (Trigger) which contains scheduling information (RUs allocations for stations, modulation and coding scheme (MCS) that shall be used for each station). Furthermore, Trigger also provides synchronization for an uplink transmission, since the transmission starts SIFS after the end of Trigger. |
| Spatial frequency reuse | Not available | Coloring enables devices to differentiate transmissions in their own network from transmissions in neighboring networks. Adaptive Power and Sensitivity Thresholds allows dynamically adjusting transmit power and signal detection threshold to increase spatial reuse. | <ul style="list-style-type: none"> Without spatial reuse capabilities devices refuse transmitting concurrently to transmissions ongoing in other, neighboring networks. With coloring, a wireless transmission is marked at its very beginning helping surrounding devices to decide if a simultaneous use of the wireless medium is permissible or not. A station is allowed to consider the wireless medium as idle and start a new transmission even if the detected signal level from a neighboring network exceeds legacy signal detection threshold, provided that the transmit power for the new transmission is appropriately decreased. |
| Guard interval duration | 0.4 µs or 0.8 µs | 0.8 µs, 1.6 µs or 3.2 µs | <ul style="list-style-type: none"> Extended guard interval durations allow for better protection against signal delay spread as it occurs in outdoor environments. |
| Symbol duration | 3.2 µs | 12.8 µs | <ul style="list-style-type: none"> Since the subcarrier spacing is reduced by a factor of 4, the OFDM symbol duration is increased by a factor of 4 as well. Extended symbol durations allow for increased efficiency. |

REDES LOCAIS



MAC IEEE 802.11

Arquitetura IEEE 802.11

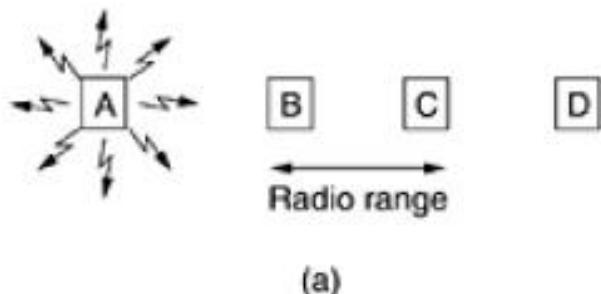


O NOVO PARADIGMA WIRELESS

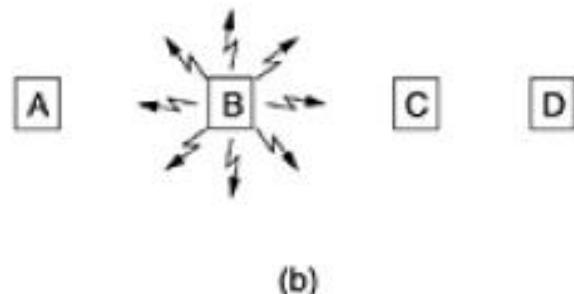
Problema da **estação oculta** e Problema da estação exposta

Esse problema é específico de rede *wireless*, representando o ponto fundamental para entendimento dos protocolos MAC.

Estação Oculta

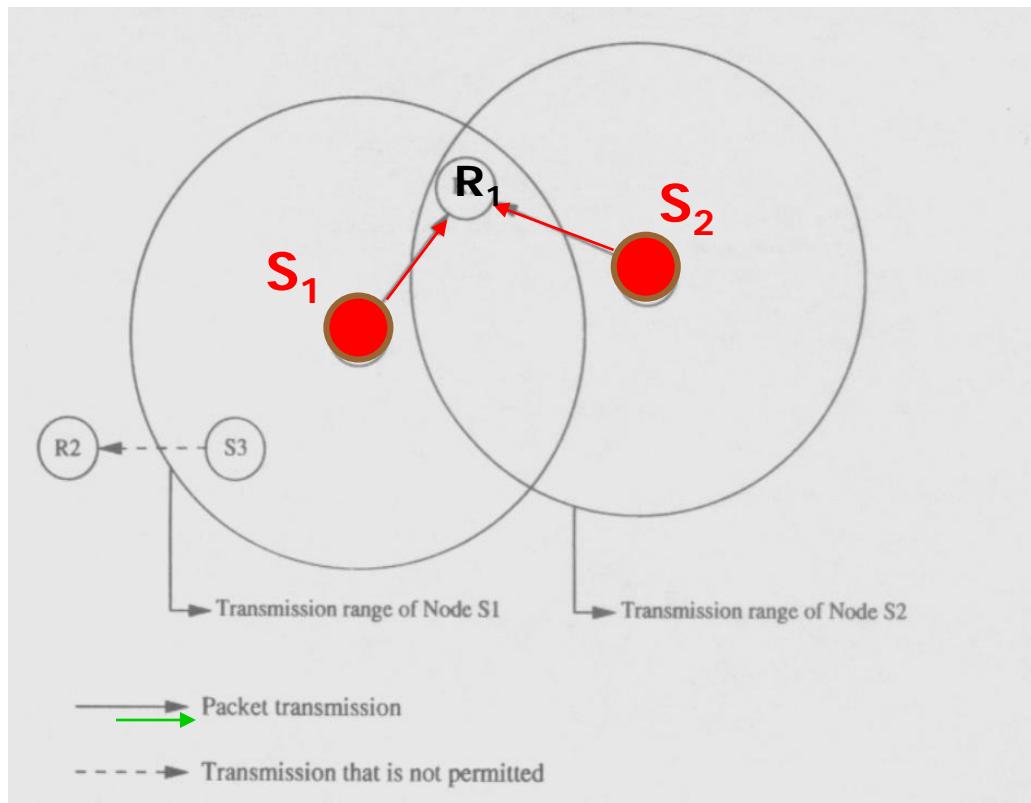


Estação Exposta



PROBLEMA DA ESTAÇÃO OCULTA

Hidden Terminal Problem



Caso S₁ e S₂ começarem a transmitir para R₁, haverá **colisão de pacotes** no terminal R₁.

Ocorre quando **uma estação não consegue detectar uma concorrente** que está **fora de seu contorno de comunicação**.

CONTORNO DE COMUNICAÇÃO

É importante ressaltar que esse contorno não é tão definido quanto ilustra a figura anterior.

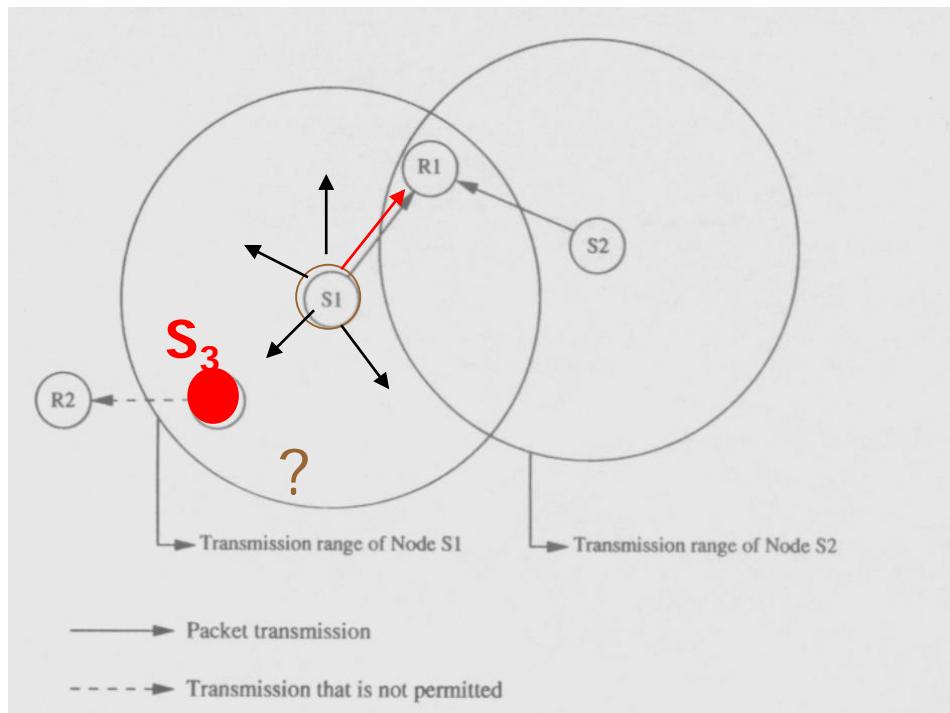


Quando há **mobilidade** das estações, haverá **contornos** de geometria **variável no tempo**.



PROBLEMA DA ESTAÇÃO EXPOSTA

O problema da Estação Exposta



Supondo que S1 esteja transmitindo para R1.

O terminal S3 não transmite para R2, pois detecta comunicação no canal e evita interromper a comunicação de S1 para R1.

Ocorre quando uma **estação fica inabilitada a transmitir** para um determinado nó, por uma **transmissão de uma estação próxima** para um outro nó.

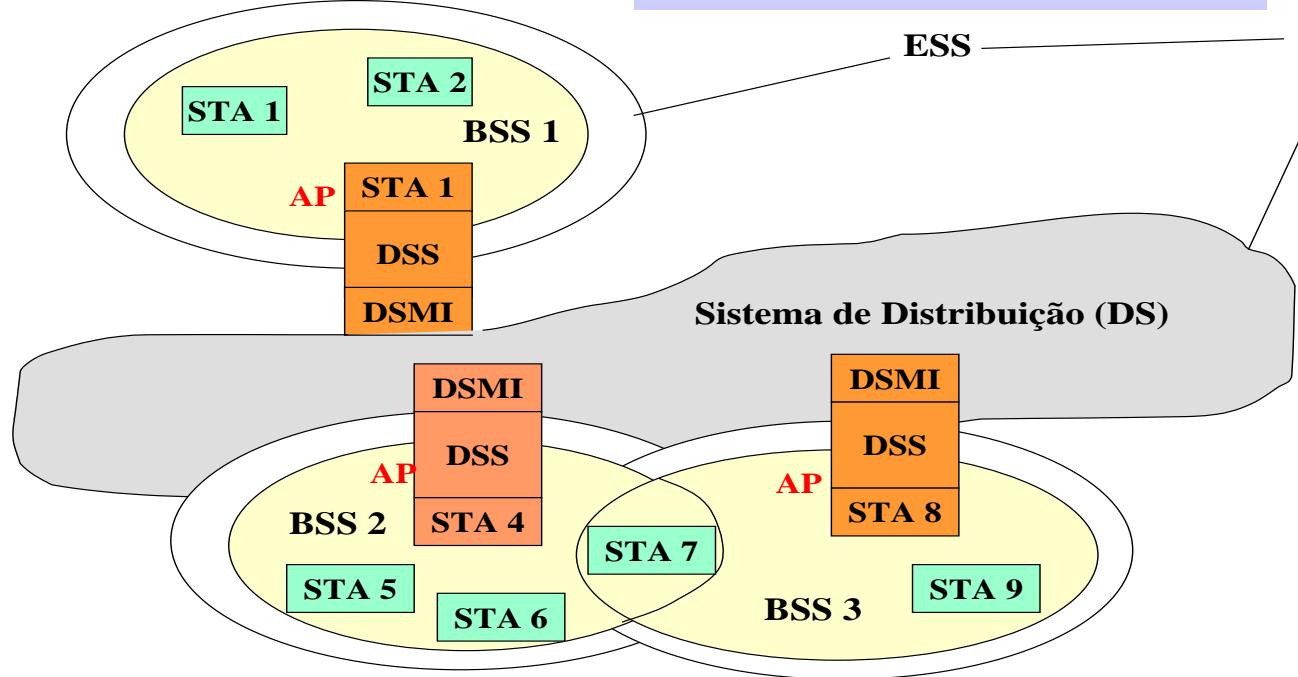
ELEMENTOS BÁSICOS IEEE 802.11

STA - Estações
AP - Pontos de Acesso

DSS - Serviços do Sistema Distribuído
DSMI - Interface com o meio do Sistema Distribuído

BSS (Basic Service Set)
ESS (Extended Service Set)

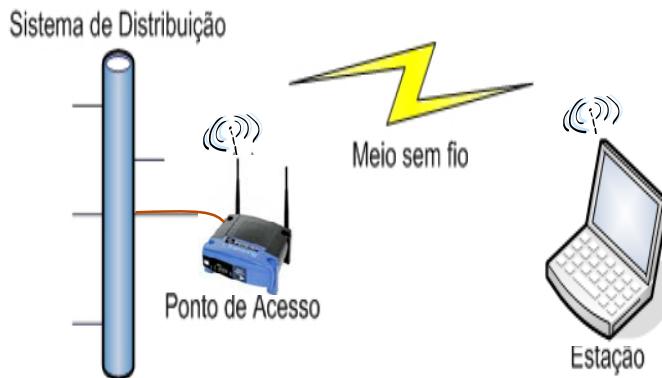
Identificação da rede
NID = ESS-ID + BSS-ID



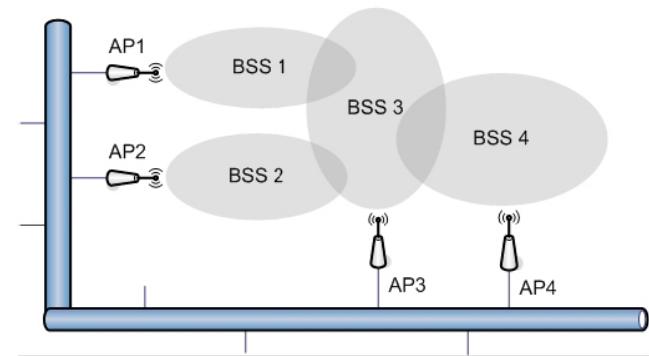
SSID (*Service Set Identifier*)

Para que uma **estação** possa ser reconhecida no seu domínio ou área de atuação, ela tem que possuir uma **identificação (ID) compartilhada** com o **ponto de acesso**.

BSS (Basic Service Set)



ESS (Extended Service Set)



SSID (*Service Set Identifier*)

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

- Cada rede IEEE 802.11, recebe um campo para definir o **nome do SSID**
- No AP, o SSID vem incorporado com um nome **padrão de fábrica** (ex: SSID = linksys, nos APs da marca Linksys)
 - esse nome tem que ser **modificado** pelo **administrador da rede**
- O AP transmite mensagens de sinalização (sem criptografia) contendo o **nome do SSID** da rede
- Cada usuário tem que ter o nome do **SSID previamente disponibilizado**
 - Toda transmissão de estação para AP inclui o SSID

SSID (*Service Set Identifier*)

- **único**, sensível a maiúsculas e alfanuméricos (2 a 32 caracteres)
- usado como o **nome da rede** e configurado em **cada AP**
- enviado com **beacons**, **probe request**, **probe response** e outros tipos de **quadros de controle**

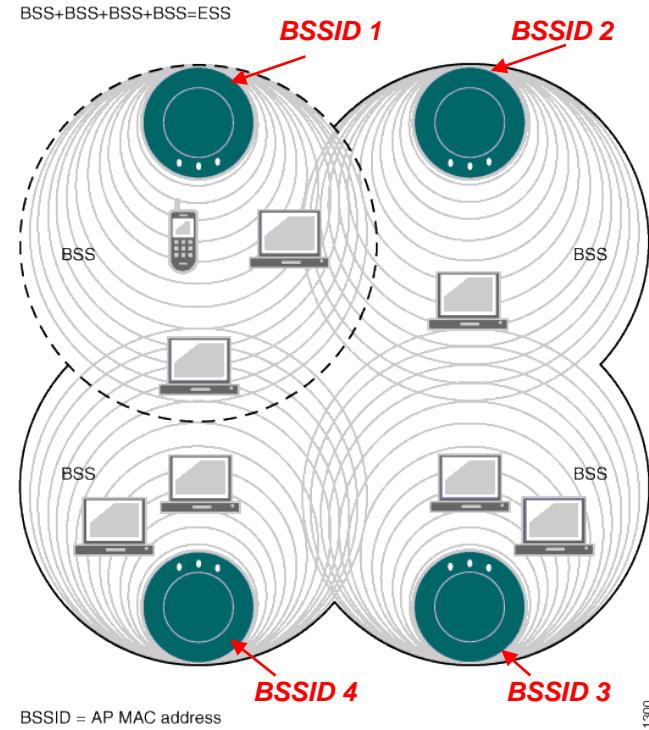
ESSID (*Extended Service Set Identifier*)

- identifica o **nome da rede** no caso de **vários BSS**
- **na prática** identifica a mesma rede identificada pelo SSID

BSSID (*Basic Service Set Identifier*)

BSSID (*Basic Service Set Identifier*)

- diferente do SSID
- identifica o **endereço MAC** (hexadecimal de 6 bytes) **do AP**



g041900

SSID

na ESTAÇÃO



no AP



Conectar-se manualmente a uma rede sem fio

Digite as informações da rede sem fio que deseja adicionar

Nome da rede: Campo para receber o nome do SSID

Tipo de segurança:

Exibir caracteres

Iniciar esta conexão automaticamente

Conectar mesmo que a rede não esteja transmitindo

Aviso: com esta opção, a privacidade do computador poderá estar em risco.

LINKSYS®
A Division of Cisco Systems, Inc. Firmware Version: v3.03.1

Wireless-G Broadband Router WRT54G

Wireless

Setup Wireless Security Access Restrictions Applications & Gaming Administration Status

Basic Wireless Settings | Wireless Security | Wireless MAC Filter | Advanced Wireless Settings

Wireless Network

Wireless Network Mode: Campo para receber o nome do SSID

Wireless Network Name (SSID):

Wireless Channel:

Wireless SSID Broadcast: Enable Disable

Save Settings Cancel Changes

Wireless Network Mode: If you wish to exclude Wireless-G clients, choose B-Only Mode. If you would like to disable wireless access, choose Disable. More...

CISCO SYSTEMS

ESCOLHA DE CANAIS



FAIXA DE FREQUÊNCIA

- **2,4 GHz** : 11 canais básicos de 20 MHz (3 canais não-sobrepostos)
 - | @ IEEE 802.11b/g/n
- **5 GHz** : 12 canais básicos não-sobrepostos de 20 MHz ou combinações destes em canais de 40, 80 e 160 MHz
 - | @ IEEE 802.11a/n/ac

ESCOLHA DO CANAL

- **administrador do AP** escolhe frequência para AP
- necessidade de *site survey*
 - | possível interferência: caso canal for o mesmo daquele escolhido pelo AP vizinho!

CAMADA MAC IEEE 802.11

SERVIÇOS

associação e desassociação à uma rede

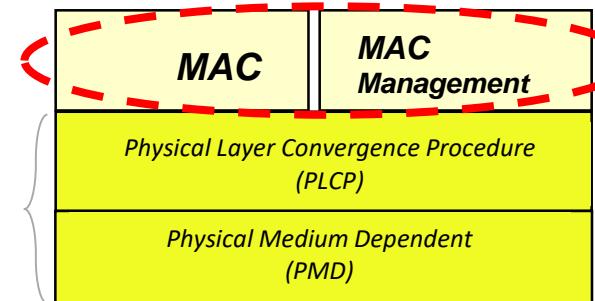
- | descoberta de estação ou ponto de acesso (AP)

autenticacão e **privacidade**

- | *open system authentication*
- | *shared key authentication*

controle de acesso ao meio *wireless*

- | DCF (*Distributed Coordination Function*)
 - **CSMA-CA**
- | PCF (*Point Coordination Function*)
 - acesso baseado em prioridade (**polling**)



ASSOCIAÇÃO

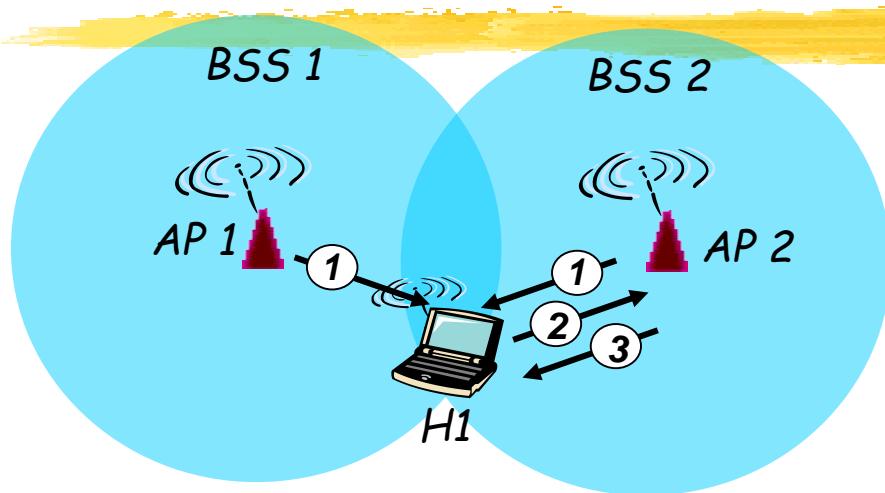
PROCEDIMENTOS

- | serviço invocado antes de enviar info através de um sistema de distribuição
 - | a **associação** **mapeia uma estação** ao sistema de distribuição via um **ponto de acesso (AP)**
 - | **cada estação** pode estar **associada** a um **único AP**
 - cada AP pode ter várias estações associadas
 - | a **associação** é um **primeiro passo** para prover **mobilidade** das estações **entre BSS's**

Associação a um AP

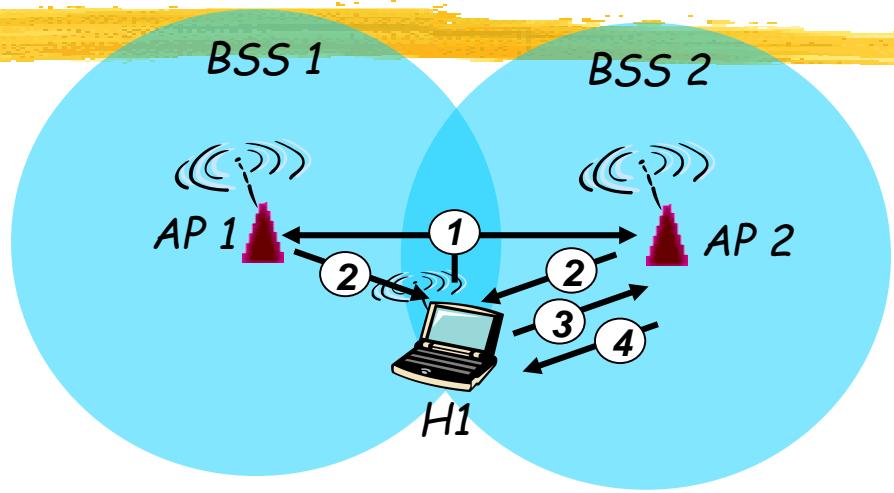
- | Estação **varre canais**, escutando quadros de sinalização (*beacons*) contendo o nome da rede (**SSID**) e endereço MAC (**BSSID**) do AP
- | **seleciona AP** para associar-se

VARREDURA PASSIVA/ATIVA



Varredura passiva:

- (1) **quadros de sinalização** (beacons) enviados dos APs
- (2) quadro de **solicitação de associação** enviado: H1 para AP selecionado
- (3) quadro de **resposta de associação** enviado: H1 para AP selecionado



Varredura ativa:

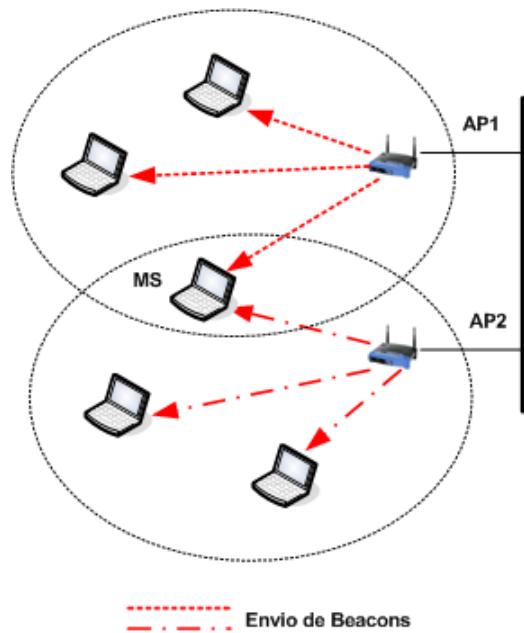
- (1) Broadcast de quadro de **solicitação de investigação** de H1
- (2) Quadros de **resposta de investigação** enviados pelos APs
- (3) Quadro de **resposta de associação** enviado: H1 para AP selecionado
- (4) Quadro de **resposta de associação** enviado: AP selecionado para H1

Reassociação (roaming)

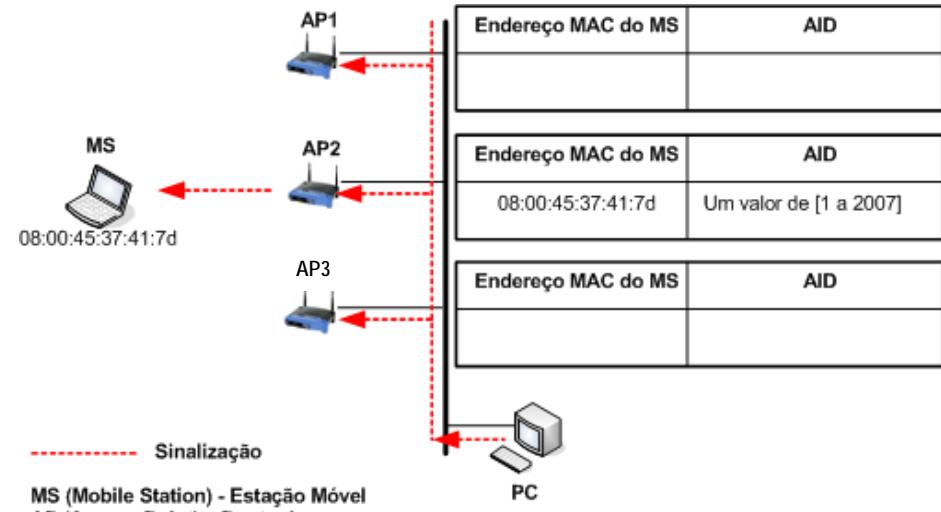
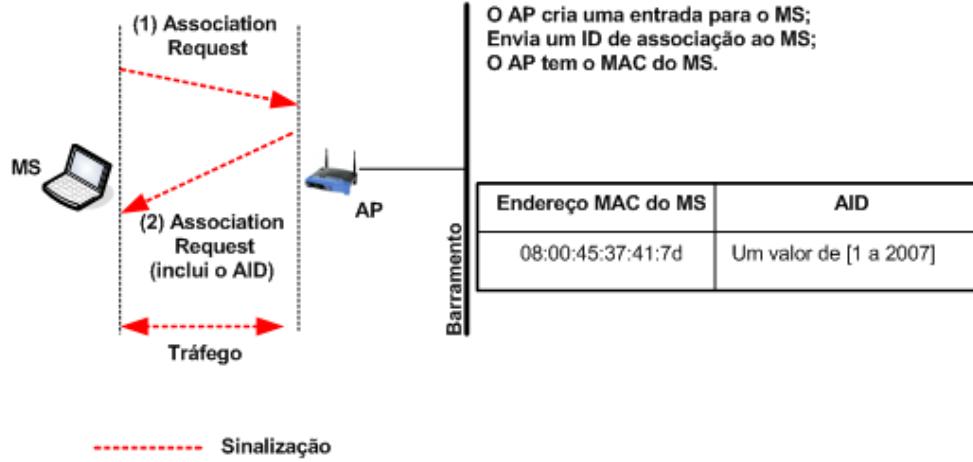
BEACONS

São **mensagens de sinalização difundidas** (*broadcast*) em **intervalos regulares** pelo **AP**

- pequenos quadros que servem para **organizar e sincronizar** a rede
 - no caso de redes *ad-hoc*, o mecanismo é realizado entre estações
- anunciam a existência do AP** na rede
- intervalo de transmissão** entre *beacons* pode ser de 100ms



ASSOCIAÇÃO (II)

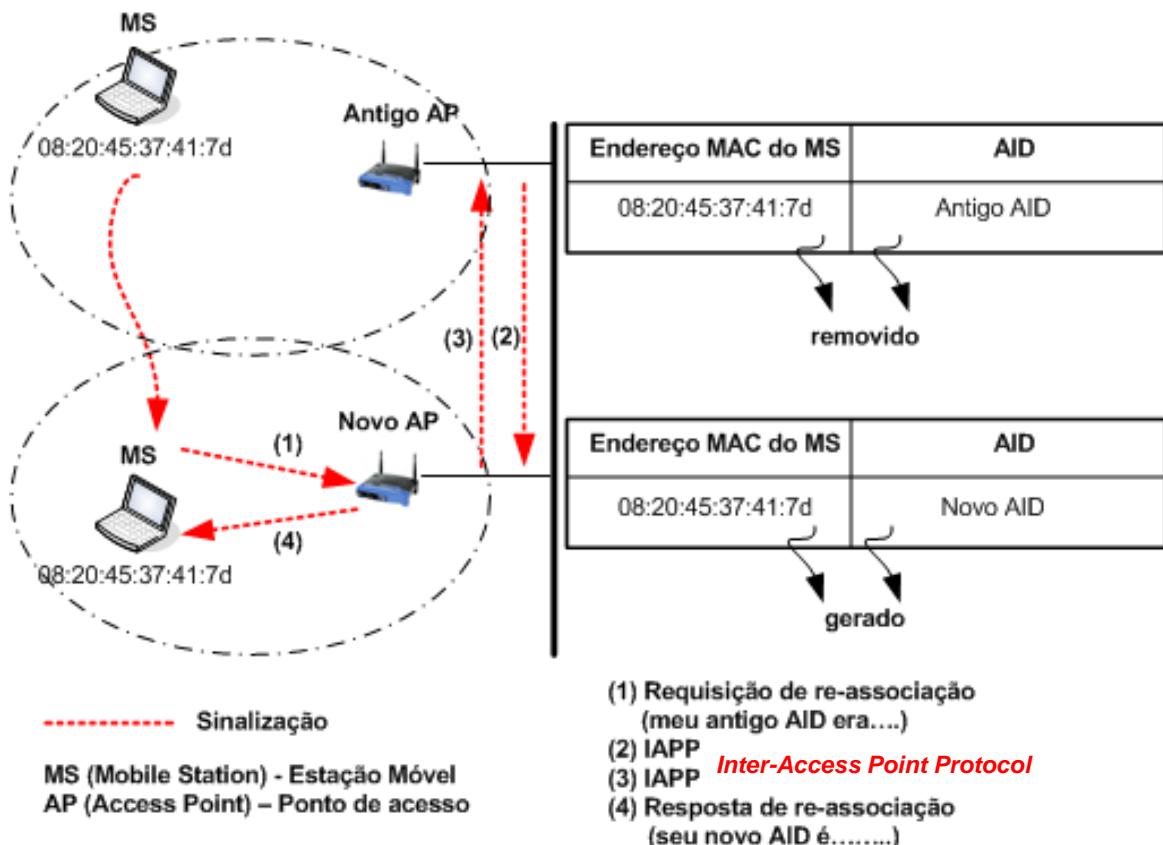


RE-ASSOCIAÇÃO (@ Roaming)

Quando a estação se desloca pode haver necessidade de mudança de AP

A **re-associação** é o processo de mudar a associação de um AP antigo para um novo AP, quando uma estação móvel estiver se deslocando entre áreas distintas

APs adjacentes podem interagir (via **IAPP**) um com o outro durante esta operação



Handoff rápido (IEEE 802.11r/k)

IEEE 802.11r/k

IEEE 802.11r

- Introduziu a padronização de **handoffs rápidos** de um AP para outro em uma mesma ESS

CARACTERÍSTICAS

- Permite que a estação e o “novo” AP usem o **mesmo par de chaves** negociados (@ autenticação) entre a estação e o “velho” AP
- Também agiliza o processo de reassociação. Todavia, as transições devem ainda ser iniciadas pela estação.
- Obs.: limita-se a *handoffs*. Não trata da busca do AP que uma estação qualquer está associada nem do roteamento entre APs.

IEEE 802.11k

- Permite reduzir o tempo necessário para o *roaming* fazendo com que a estação **determine mais rapidamente qual é e como chegar** ao próximo AP

CARACTERÍSTICAS

- A estação recebe continuamente **informações** sobre os **APs da vizinhança** e seus **canais**
- Dessa forma quando a estação estiver pronta para o *roaming*, ela já tem uma ideia melhor para onde fazer o *roaming*.

DESASSOCIAÇÃO

PROCEDIMENTO

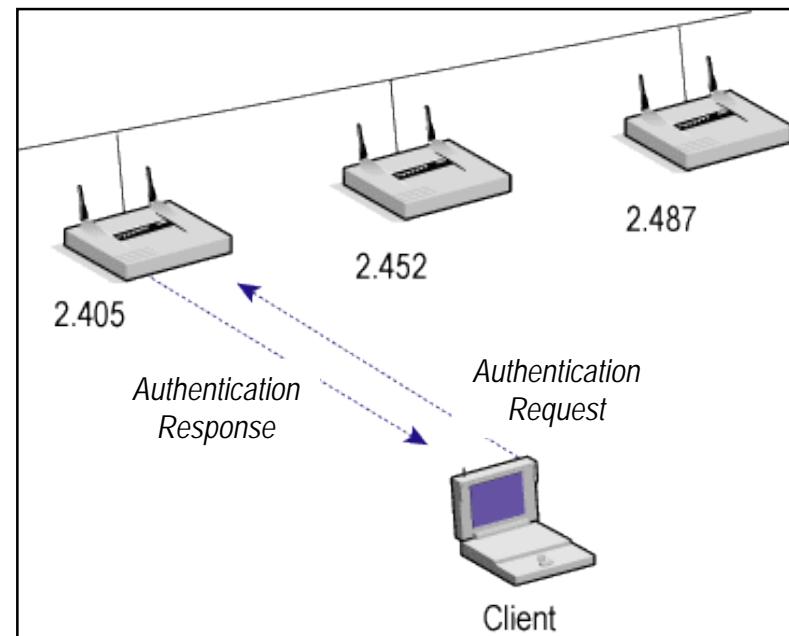
- | uma **estação** ou **ponto de acesso** pode invocar uma desassociação para **terminar uma associação**
- | é uma **notificação**
 - | não pode ser recusada
- | as **estações devem se desassociar** qdo sairem da rede
- | **um AP pode desassociar** todas as suas estações (e.g., necessidade de manutenção)



AUTENTICAÇÃO

PROCEDIMENTOS

- O primeiro passo para entrar em uma WLAN é via **autenticação com o AP**
- mensagens ***authentication request*** são usadas para esse propósito
- O AP aceita ou recusa através do envio de mensagens ***authentication response***
- Uma estação pode estar **pré-autenticada** em vários APs mas somente estar associada a um único AP



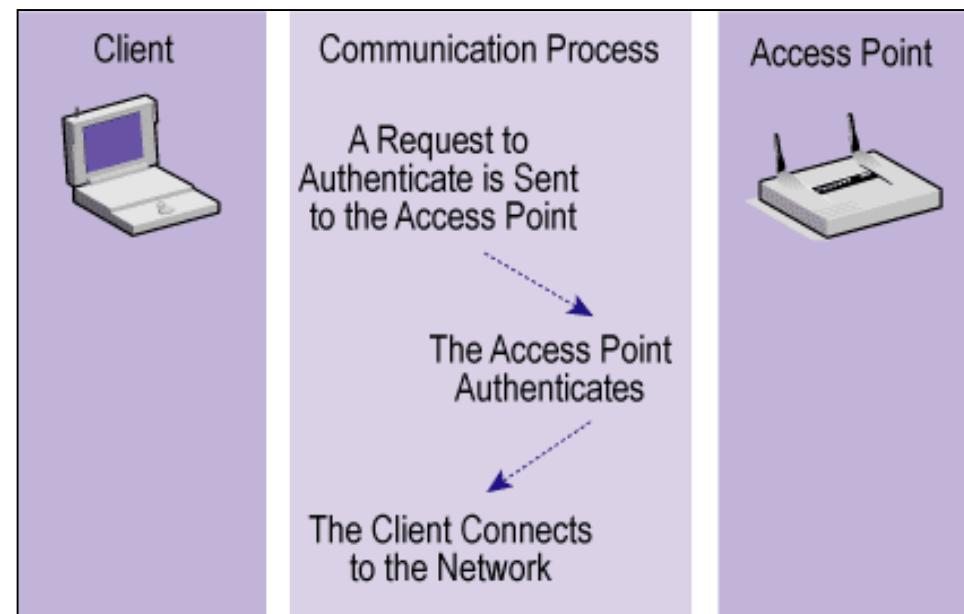
SERVIÇOS DE AUTENTICAÇÃO

- Sistemas Abertos**
- Sistemas com Chave Compartilhada**

SISTEMAS ABERTOS

Open System Authentication

- sistema *default* no 802.11
- sistema de autenticação **baseado no SSID**



CHAVE COMPARTILHADA

Shared Key Authentication

■ cada estação recebe uma **chave compartilhada** secreta via um canal independente seguro

■ requer implementação de um **algoritmo de criptografia**

- WEP (*Wired Equivalency Privacy*) @ IEEE 802.11 pioneiro

- WPA (*Wifi Protected Access*) @ *Alliance WiFi* (2003)

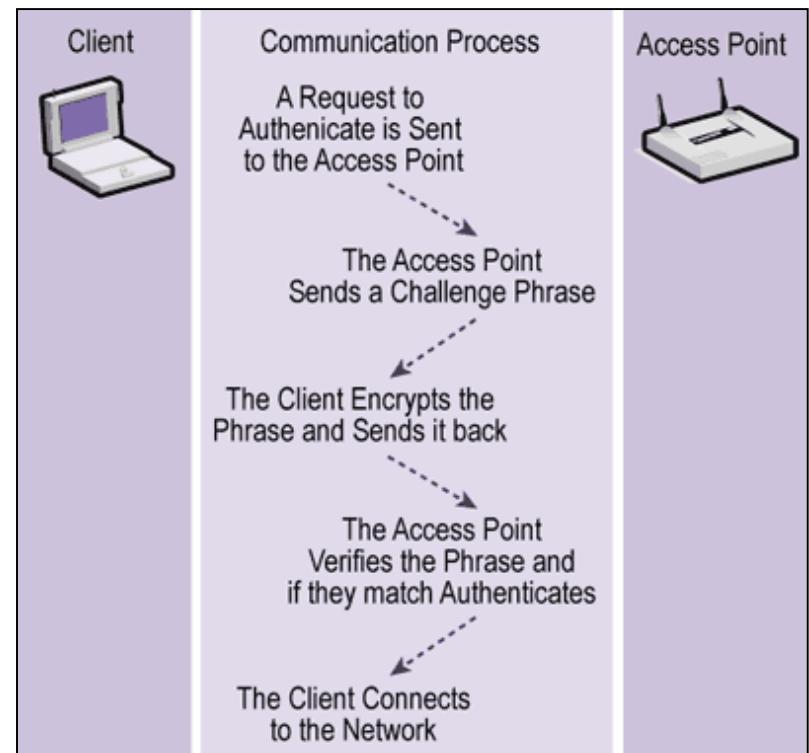
- TKIP (*Temporary Key Integrity Protocol*)

- **WPA2** @ IEEE 802.11i (2004)

- **AES** (*Advanced Encryption Standard*)
 - chave de 128 bits

- **WPA3** @ última versão anunciada pela *Alliance WiFi*

- WPA3-Personal
 - WPA3-Enterprise (chave de 192 bits)



O que há de novo no WPA3?

As senhas são muito mais difíceis de quebrar.

- Com o WPA2, um intruso pode capturar alguns dados do seu fluxo de Wi-Fi e executá-lo por meio de um ataque com base em dicionário, para tentar adivinhar sua senha.
- O WPA3, por outro lado, exige que os invasores interajam com o seu Wi-Fi para cada palpite de senha, tornando muito mais difícil e demorada a invasão, sendo muito útil por exemplo se você estiver usando uma senha fraca em sua rede.

Seus dados antigos são mais seguros.

- Mesmo se um intruso descobrir sua senha, ela não conseguirá fazer o máximo possível com o WPA2.
- O WPA3 suporta **sigilo de encaminhamento**, o que significa que, se um intruso capturar qualquer dado criptografado de sua máquina e, em seguida, descobrir sua senha, ele não poderá descriptografar os dados antigos capturados. Ele só poderá descriptografar dados recém-capturados.

Os dispositivos domésticos inteligentes são mais fáceis de configurar com o *Wi-Fi Easy Connect*.

- Se você já tentou configurar um dispositivo da **Internet das Coisas** em sua rede, especialmente um que não tem tela, sabe o quanto isso pode ser chato; você precisa conectar seu *smartphone* à uma rede separada pelo dispositivo, depois selecionar seu Wi-Fi doméstico em uma lista e assim por diante.
- Com o **Wi-Fi Easy Connect** do WPA3, você poderá conectar um dispositivo simplesmente digitalizando um **código QR** em seu *smartphone*. (O WPA2 tem um recurso um pouco semelhante chamado *Wi-Fi Protected Setup*, mas contendo várias vulnerabilidades de segurança.)

As redes públicas de Wi-Fi serão mais seguras.

- Se uma rede não exige uma senha, ela está transmitindo muitos dos seus dados não criptografados, o que significa que um intruso sentado dentro da cafeteria pode conseguir obter suas informações pessoais.
- Com o WPA3, **até mesmo as redes abertas criptografam** seu tráfego individual, tornando-as muito mais seguras de usar.

DESAUTENTICAÇÃO

PROCEDIMENTO

- | estação querendo se **desassociar** de uma outra invoca o **serviço de desautenticação**
- | envia um **quadro de gerenciamento** de autenticação (ou um grupo de quadros para múltiplas estações) para notificar o **término da autenticação**
- | é uma **notificação**
 - não pode ser recusada



ACESSO AO MEIO *WIRELESS*



MÉTODOS DE ACESSO

acesso distribuído (método básico)

| Função de Coordenação Distribuída (DCF)

- **CSMA-CA** (*Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance*)

Quadros RTS/CTS

- *Virtual Carrier Sense/Net Allocation Vector* (NAV)

acesso centralizado (método opcional)

| Função Ponto de Coordenação (PCF)

- **Sem concorrência**/acesso baseado em prioridade

PROTOCOLO CSMA-CA

PROTOCOLO

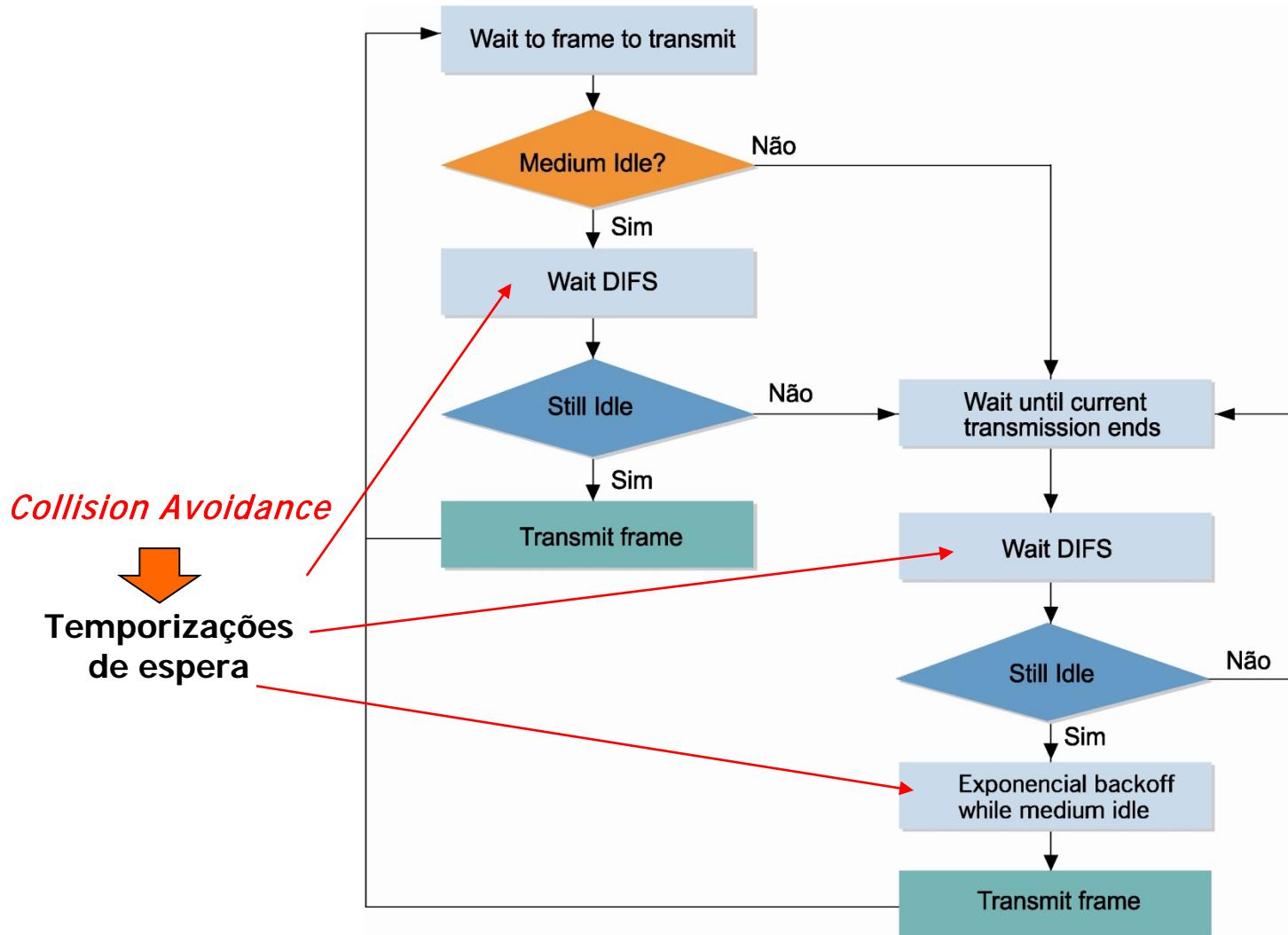
- escutar se o meio está livre (**CSMA**)
- meio livre \Rightarrow *Collision Avoidance (CA)*

- esperar *Inter-Frame Space (IFS)*

- **SIFS (Short IFS)**
 - maior prioridade (quadros de ACK)
 - **PIFS (Point Coordination Function IFS)**
 - prioridade intermediária (quadros sem concorrência)
 - **DIFS (Distributed Coordination Function IFS)**
 - menor prioridade

- esperar **tempo aleatório** após IFS (e meio continua livre)

ALGORITMO CSMA/CA



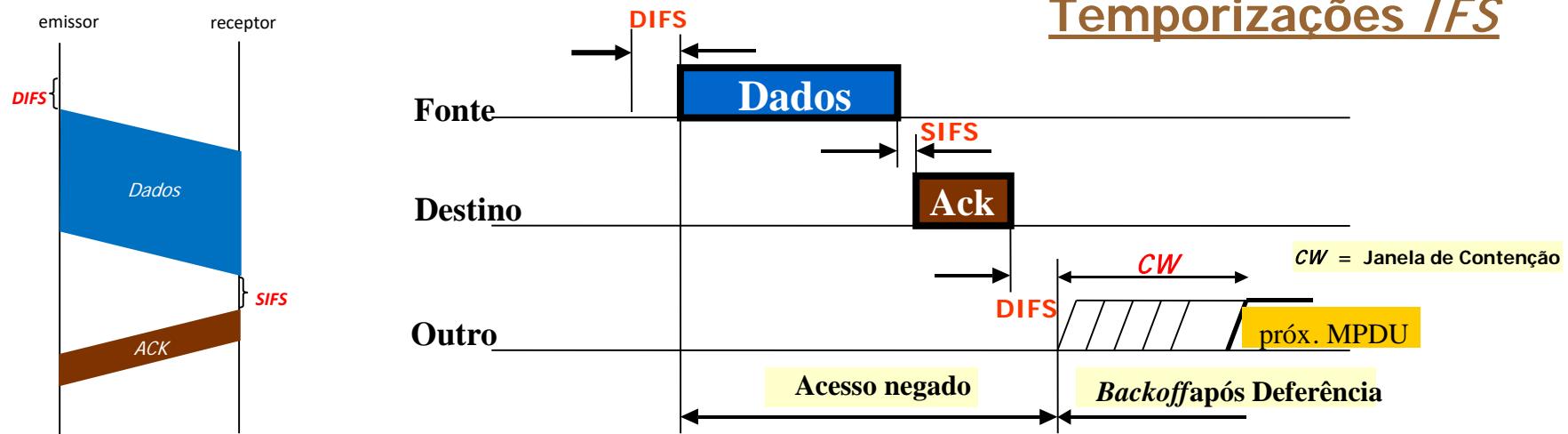
OPERAÇÃO CSMA/CA

Remetente 802.11

- se detectar **canal ocioso** após tempo DIFS então transmite quadro inteiro
- se detectar **canal ocupado** então
 - inicia tempo aleatório de *backoff*
 - temporizador conta regressivamente enquanto canal está ocioso
 - se não recebe ACK, aumenta intervalo de *backoff* aleatório

Destinatário 802.11

- se quadro recebido OK, **retorna ACK** após SIFS
- ACK necessário devido ao **problema de terminal oculto**



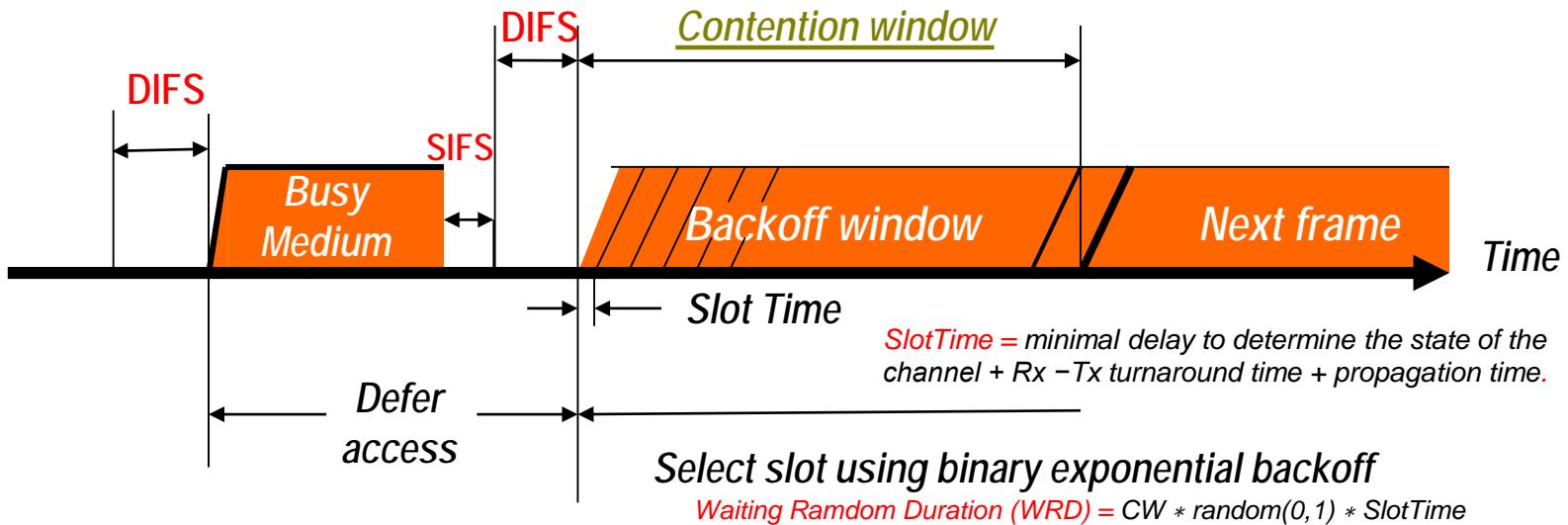
TEMPORIZAÇÕES DO CSMA/CA

INTERVALOS IFS diferentes

- I **SIFS** (*Short IFS*): 10 µs@ IEEE 802.11b ; 16 µs @ IEEE 802.11 a/n/c
- I **DIFS** (*Distributed Coordination Function IFS*):
SIFS + 2 x slot time

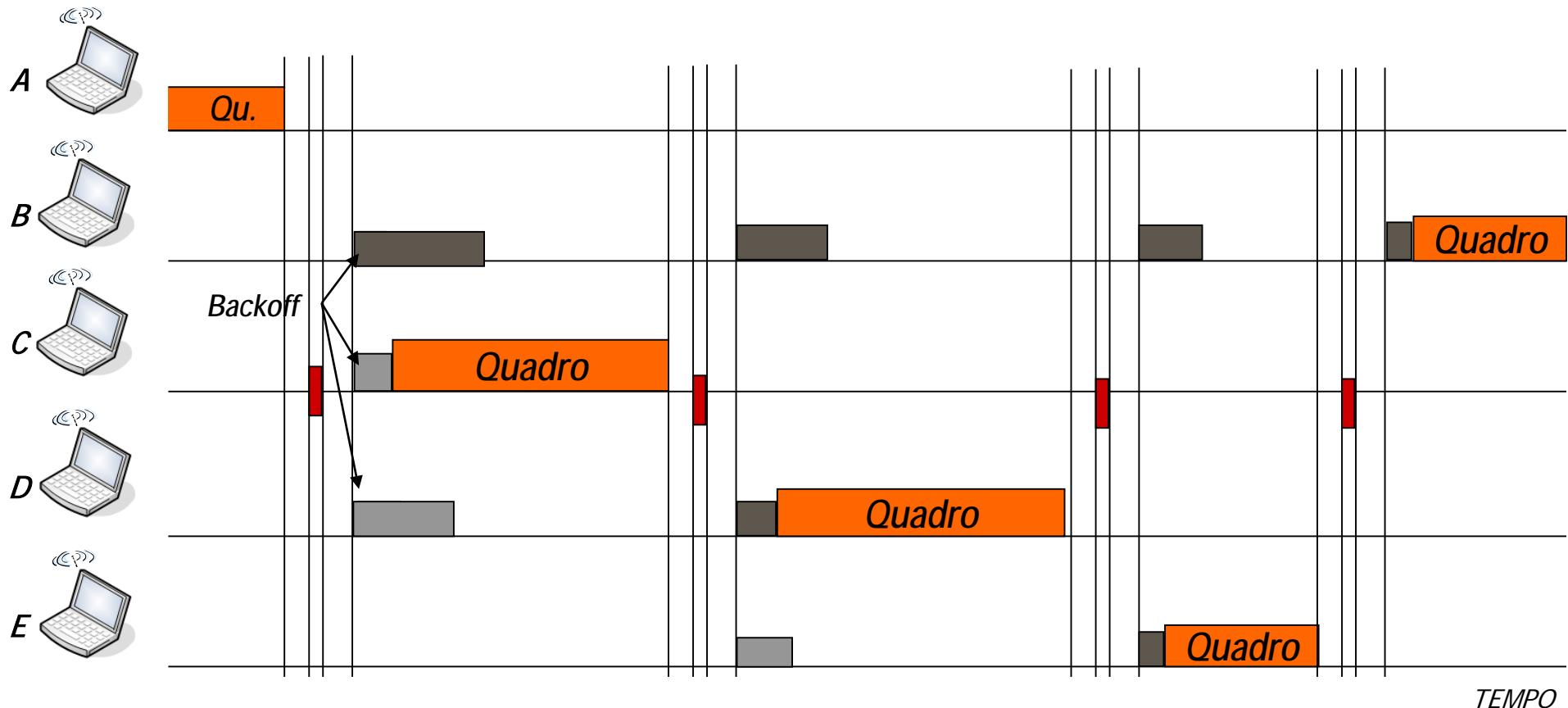
JANELA DE CONTENÇÃO (CW)

| Padrão | Slot Time (µs) | DIFS (µs) |
|------------------------|----------------|-----------|
| IEEE 802.11b | 20 | 50 |
| IEEE 802.11a | 9 | 34 |
| IEEE 802.11g | 9 ou 20 | 28 ou 50 |
| IEEE 802.11n (2.4 GHz) | 9 ou 20 | 28 ou 50 |
| IEEE 802.11n (5 GHz) | 9 | 34 |
| IEEE 802.11ac (5 GHz) | 9 | 34 |



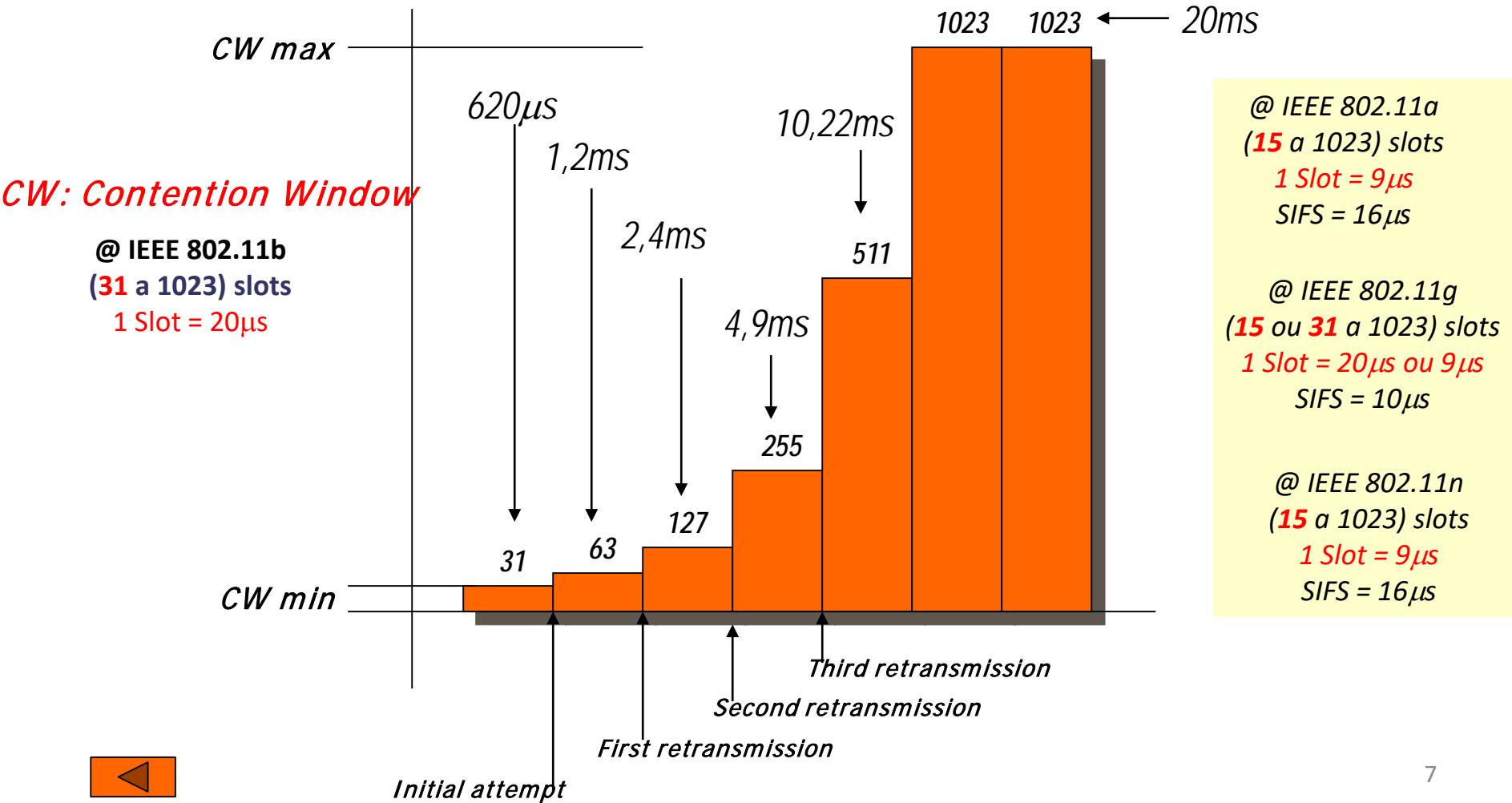
PROCEDIMENTO DE BACKOFF

Exemplo de **sequência de transmissão de várias estações**



JANELA DE CONTENÇÃO CSMA/CA

Exemplo de variação na janela do backoff



QUADROS RTS / CTS

OBJETIVO

permitir ao remetente **“reservar” o canal** para envio de quadros sem acesso aleatório

- | minimizar as colisões entre estações ocultas, que ocorrem quando um AP e os usuários da rede convivem com muitas retransmissões de quadros
- | prevenir colisões de quadros longos

**Prevenir colisões de quadros de dados
usando pacotes de reserva pequenos!**

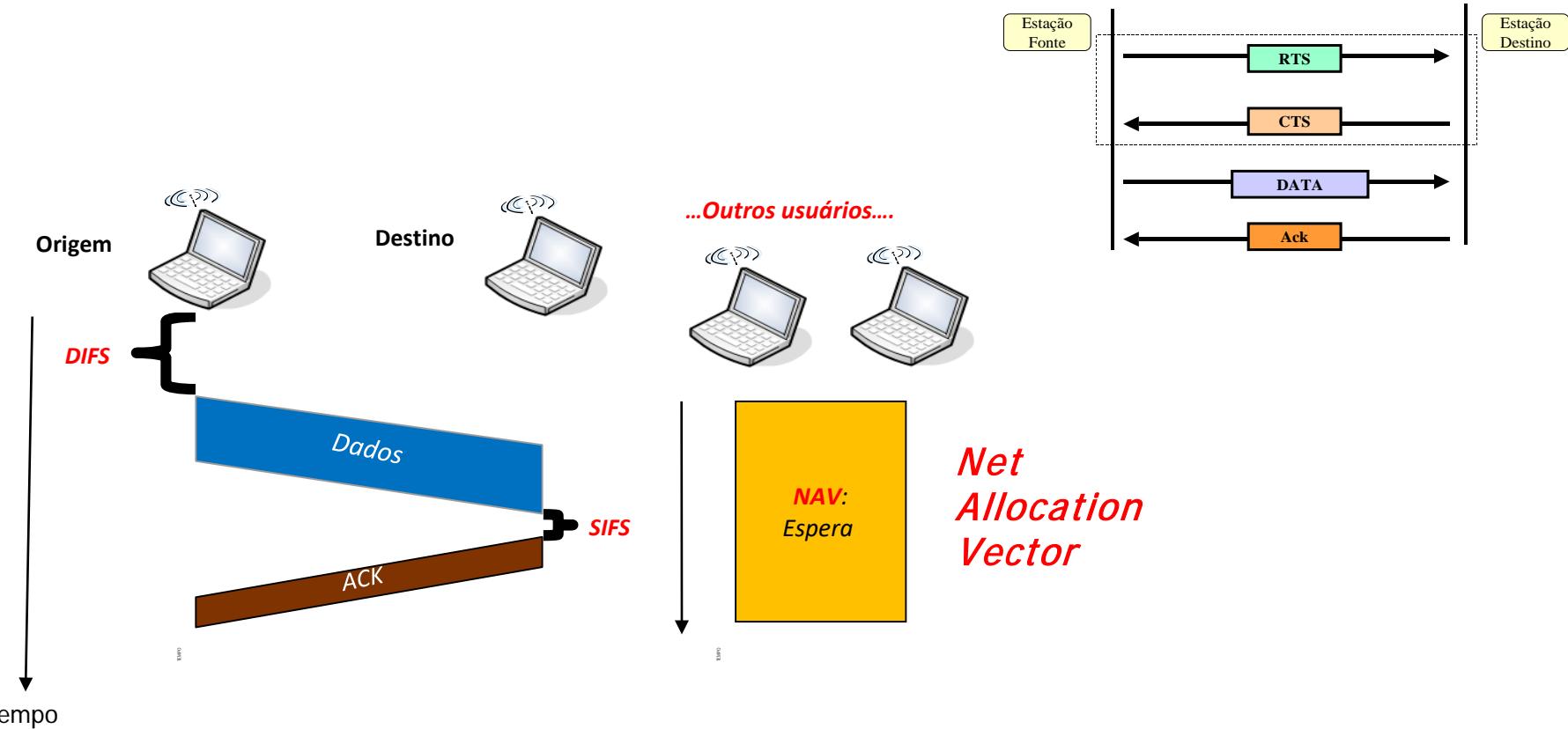
| serviço é opcional (tipicamente não usado)

QUADROS RTS / CTS

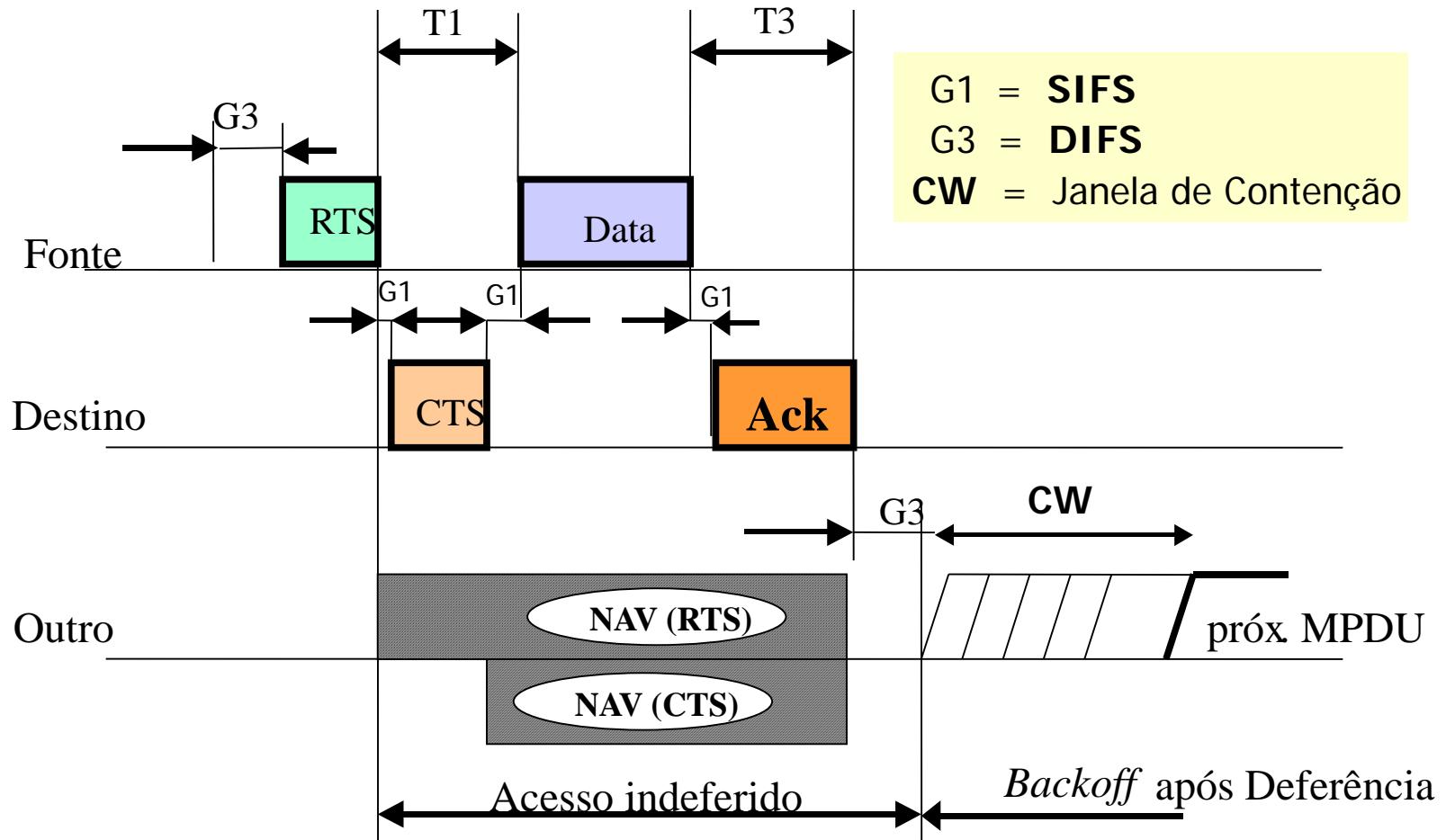
OPERAÇÃO COM RTS/CTS

- **remetente** primeiro **transmite** um quadro curto ***Request-To-Send*** (RTS) para o AP **usando CSMA-CA**
 - | quadros RTS podem colidir entre si (mas são “curtos”)
 - | quadro RTS usado para a distribuição de **NAV (Net Allocation Vector)**, notificando todas as outras estações que elas devem esperar até que quadros CTS, de dados e ACK tenham sido transmitidos
- AP **broadcasts** ***Clear-To-Send*** (CTS) em **resposta ao RTS**
 - | quadro CTS é escutado por todos os nós
 - | se alguma estação não tiver escutado o quadro RTS, escutará o quadro CTS, pois todas as estações são membros do mesmo BSS (*Basic Service Set*).
- **remetente** transmite o **quadro de dados**
 - | as **outras estações** deferem (adiam) suas transmissões

NET ALLOCATION VECTOR (NAV)



EXEMPLO DE USO DE RTS/CTS



PCF

OBJETIVO

- provê transferência de quadros sem concorrência (*contention-free*) para aplicações tempo-real críticas (opcional)
 - reside no AP

OPERAÇÃO

- no início de cada período, o **AP** envia um **quadro *beacon*** com um ***CF Parameter Set*** indicando a duração do período sem concorrência e que todas as estações usam para **atualização dos NAV**
- após o *beacon*, o **PCF envia:**
 - quadro de dados**
 - quadro *CF Poll***
 - quadro *CF Poll + Dados***
 - quadro *CF End***

QUADROS MAC IEEE 802.11

FORMATO GERAL

Quadro de Dados

Quadros de Controle

Quadros de Gerenciamento

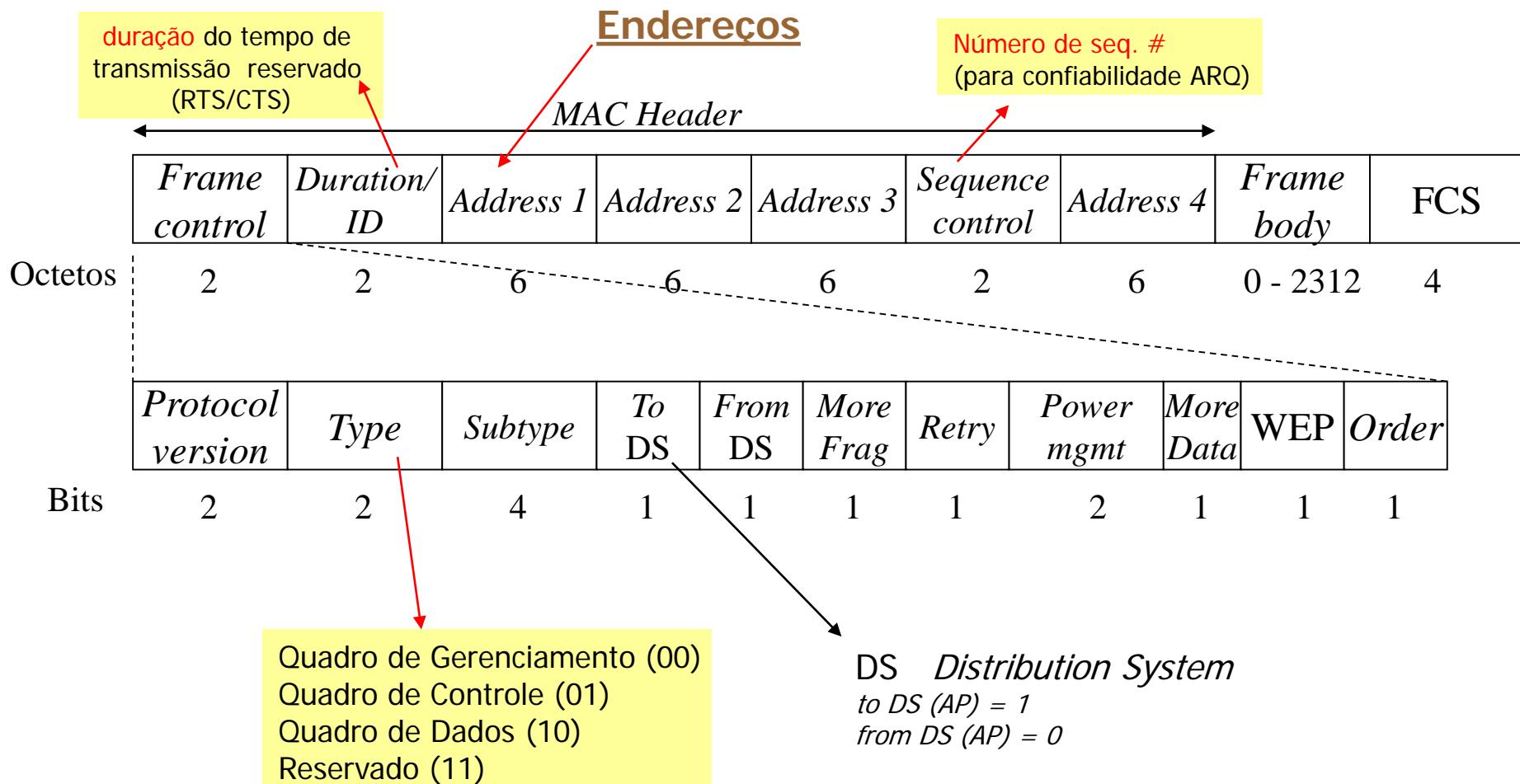
Beacons

gerenciamento de energia (quadro Null)

association request / response

authentication request / response

QUADROS MAC IEEE 802.11



Endereçamento IEEE 802.11

| scenario | to DS | from DS | address 1 | address 2 | address 3 | address 4 |
|-----------------------------------|-------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ad-hoc network, from AP | 0 | 0 | DA | SA | BSSID | - |
| infrastructure network, to AP | 0 | 1 | DA | BSSID | SA | - |
| infrastructure network, within DS | 1 | 0 | BSSID | SA | DA | - |
| | 1 | 1 | RA | TA | DA | SA |

DS: Distribution System

AP: Access Point

DA: Destination Address

SA: Source Address

BSSID: Basic Service Set Identifier

RA: Receiver Address

TA: Transmitter Address

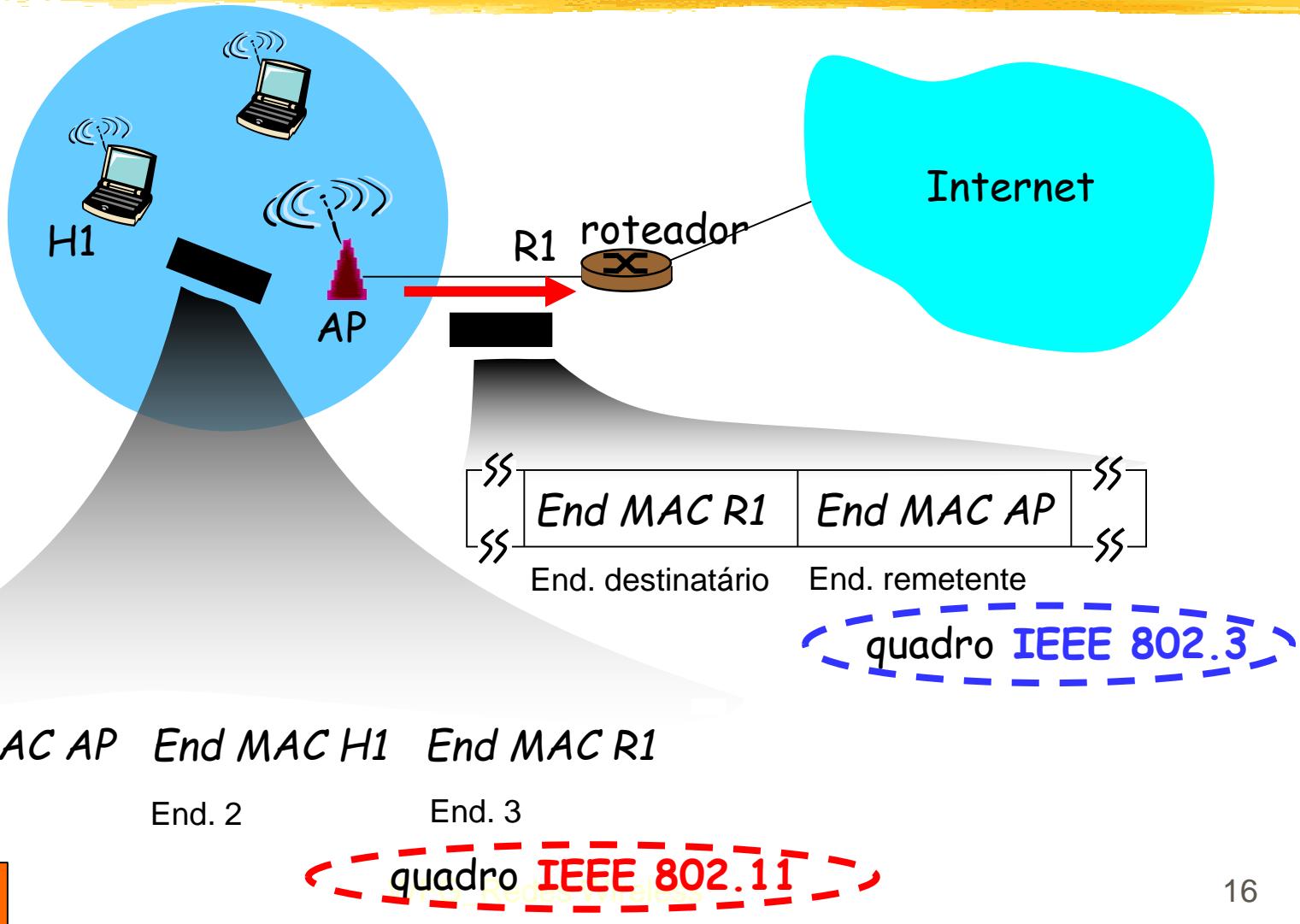
Address 1 is **always the address of the receiver** (i.e. the station in the BSS which is the receiver of the packet). If ToDS = 1, it is the **address of the AP**, if not, it is the address of the station.

Address 2 is **always the address of the transmitter** (i.e. the station that physically transmits the packet). If FromDS = 1, it is the **address of the AP**, if not, it is the address of the transmitting station.

Address 3 is the address of the **original transmitter** when the FromDS = 1. If not, and if ToDS = 1, address 3 is the **destination address**.

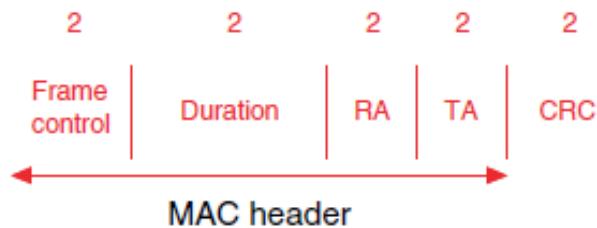
Address 4 is used in a **special case**, when the DS is used and a frame is transmitted **from an AP to another**. In this case, ToDS and FromDS are both set to 1 and it is thus necessary to inform at the same time the original transmitter and the recipient.

ENDEREÇAMENTO IEEE 802.11 (II)



Quadros de Controle

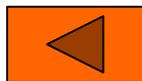
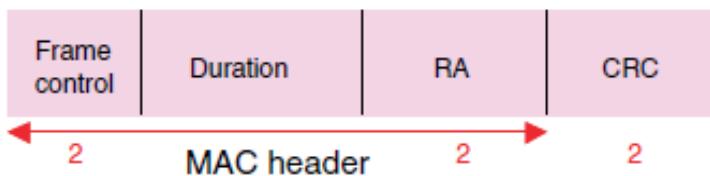
RTS



ACK

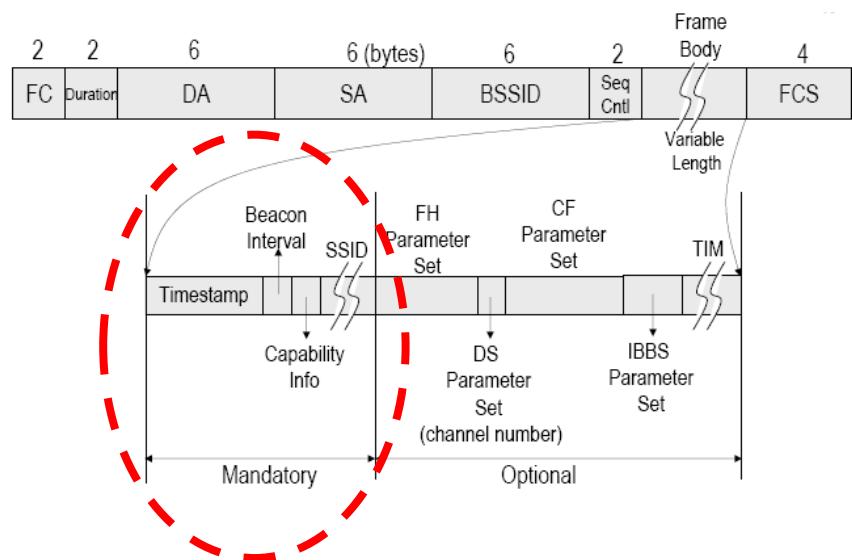


CTS



BEACON MANAGEMENT FRAME

- **Time stamp**—Synchronization information
- **Channel information**—Channel used by the AP or IBSS
- **Data rates**—Basic and supported rates
- **Service set capabilities**—Extra BBS or IBSS parameters
- **SSID**—Network name
- **Traffic indication map (TIM)**—A field used during the power save process
- **Vendor proprietary information**—Vendor-unique or vendor-specific information



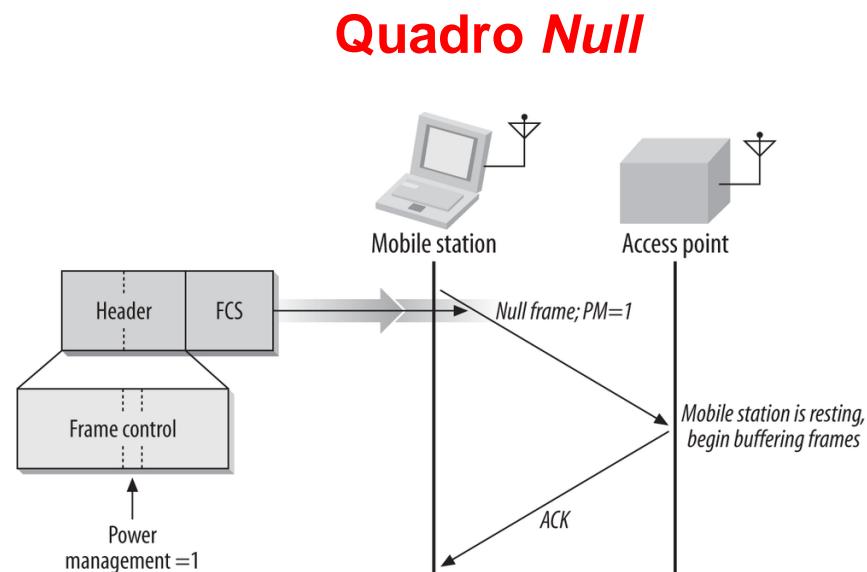
QUADRO NULL

- **Nó-para-AP:** “**Vou dormir até o próximo quadro de sinalização**”

- AP não transmite quadros para esse nó
- nó acorda antes do próximo quadro de sinalização

- **Quadro de sinalização (beacon):** contém **lista de estações móveis com quadros AP-para-móvel esperando** para serem enviados

- nó permanecerá acordado se quadros AP-para-móvel forem enviados;
- caso contrário, dorme novamente até próximo quadro de sinalização.



Management

Association request
Association response
Reassociation request
Reassociation response
Proberequest
Proberesponse
Privacyrequest
Privacyresponse
Beacon
ATIM (Announcement
Traffic Indication Map)
Disassociation
Authentication
Deauthentication

Control

RTS

CTS

ACK

Power-Save (PS) Poll

Contention-Free (CF)

End

CF End + CF ACK

Asynchronous data

Dados

Dados + CF ACK

Dados + CF Poll

Dados + CF ACK + CF Poll

CF ACK

CF Poll

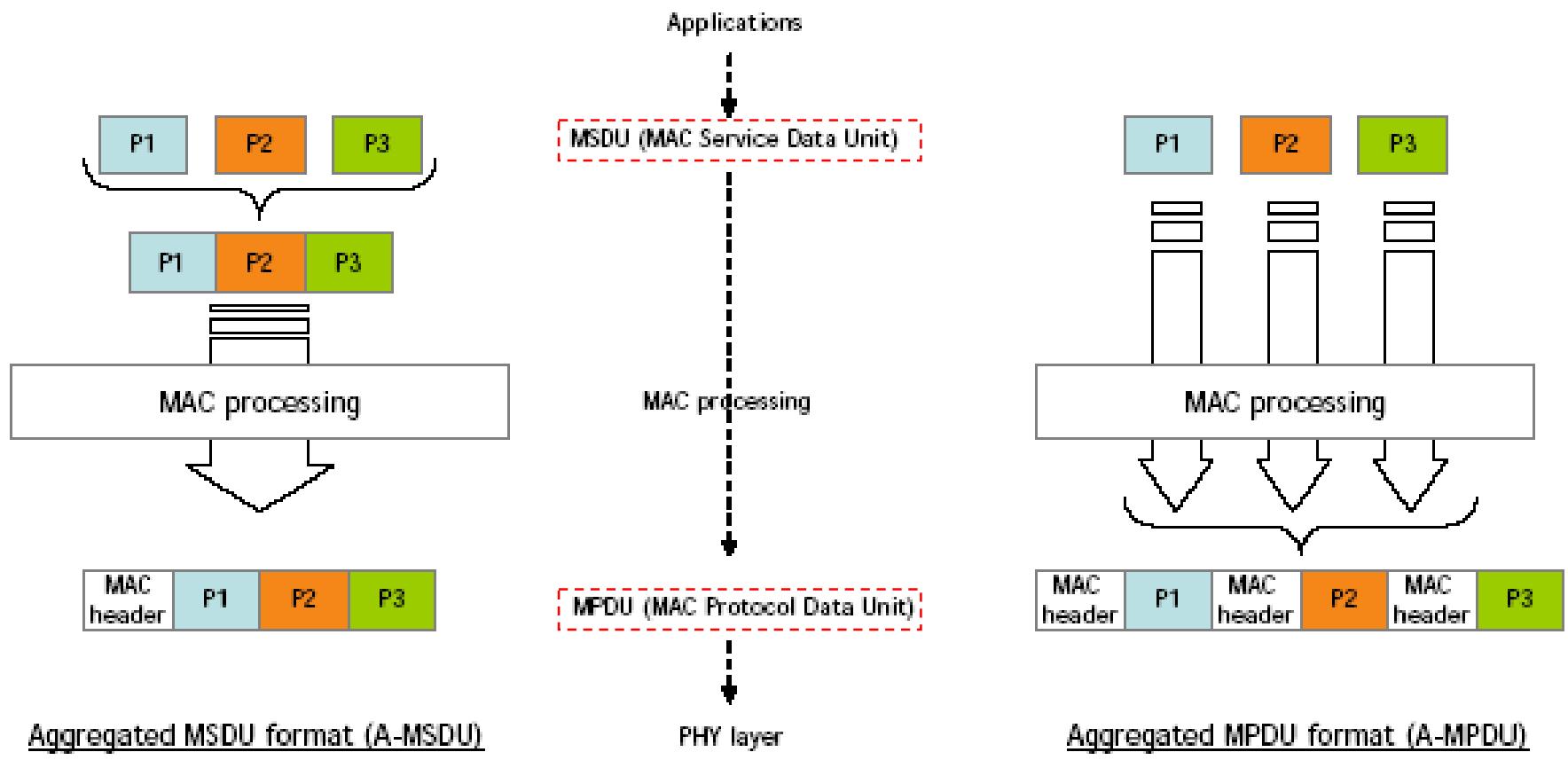
CF ACK + CF Poll

Tipos e Subtipos de Quadros
MAC IEEE 802.11

IEEE 802.11n: Melhorias na Camada MAC

1. Agregação de quadros
2. *Multiple Traffic ID Block Acknowledgement (MTBA)*
3. Espacamento entre quadros reduzido (RIFS)
4. *Spatial Multiplexing power save (SM power save)*
5. *Power Save Multi-poll (PSMP)*

AGREGAÇÃO DE QUADROS



Payloads

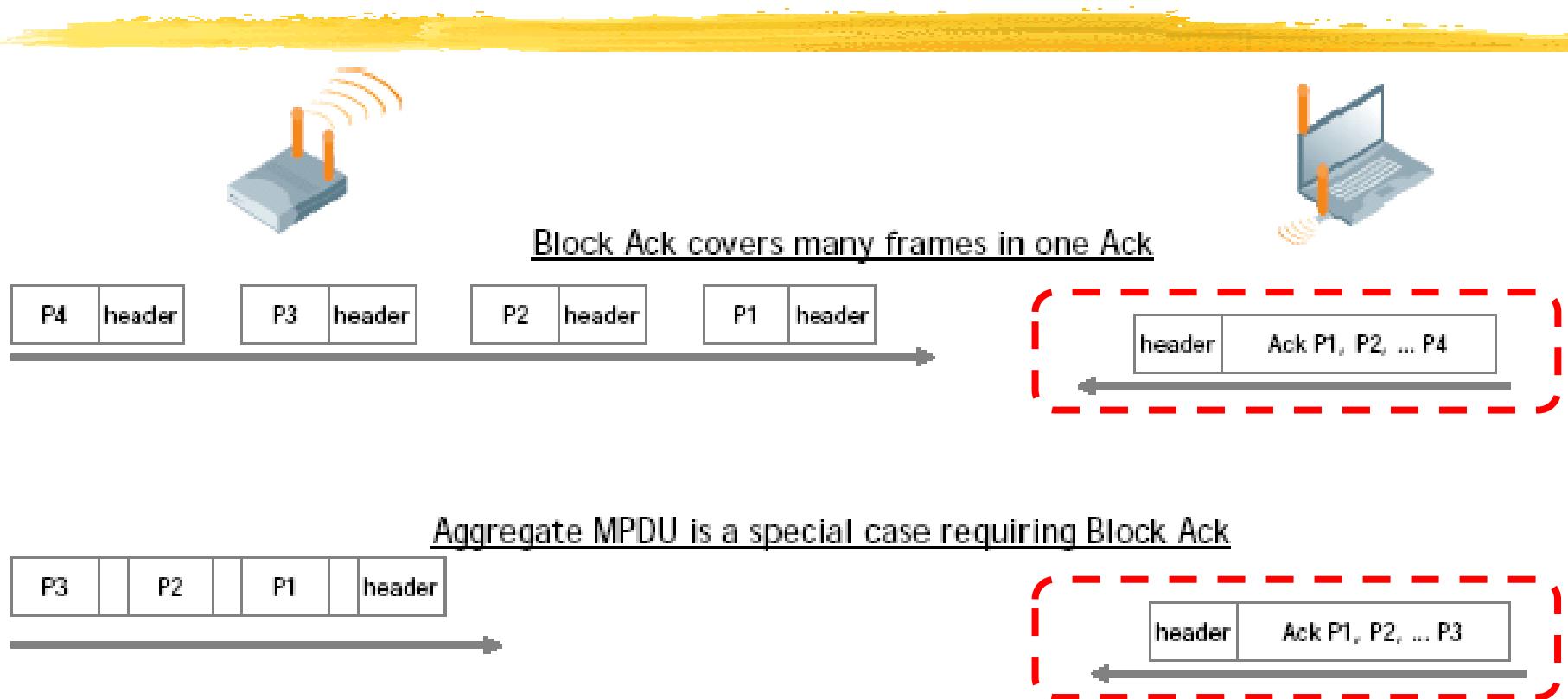
IEEE 802.11 PAYLOADS

Table 3-1. Size comparisons of transmissions for different 802.11 PHYs

| Attribute | 802.11a | 802.11n | 802.11ac |
|-------------------------------------|------------------------------|--|------------------------------|
| MSDU (MAC payload) size | 2,304 | 2,304 | 2,304 |
| MPDU (MAC frame) size | Implied by maximum MSDU size | Implied by A-MSDU size | 11,454 |
| A-MSDU (aggregate MAC payload) size | Not used with 802.11a | 7,935 | Implied by maximum MPDU size |
| PSDU (PLCP payload) size | 4,095 bytes | 65,535 bytes | 4,692,480 bytes |
| PPDU (PLCP frame) size | Implied by maximum PSDU size | 5.484 ms (mixed mode) or 10 ms (greenfield mode) | 5.484 ms |



MULTIPLE TRAFFIC ID BLOCK ACKNOWLEDGEMENT (MTBA)



O formato do **Block Ack** é um *bit-map* para reconhecer (confirmar) **cada quadro recebido**, baseado num mecanismo originalmente definido no IEEE 802.11e. O *bit-map* identifica os quadros não-recebidos, permitindo a **retransmissão seletiva** apenas destes.



REDUCED INTER-FRAME SPACING (RIFS)

■ Uma **estação** (cliente ou AP) que tem **mais de um quadro** para enviar **sequencialmente** deve aguardar um intervalo (**pausa**) entre os quadros

- essas pausas impactam o desempenho global da rede

■ No padrão IEEE 802.11a, a pausa entre quadros transmitidos pela mesma estação era especificada igual ao SIFS (*Short Inter-Frame Spacing*)

■ O padrão IEEE 802.11n para melhorar a eficiência define um espaçamento inferior, igual a **RIFS (Reduced Inter-Frame Spacing)**

- não pode ser usado entre quadros transmitidos por estações diferentes e só pode ser utilizado no modo HT (802.11n)

- é especificado como igual **2 µs** (SIFS é 16 µs)

■ Dispositivos operando no modo HT (IEEE 802.11n) podem enviar dois quadros com uma separação de RIFS (2 µs) ao invés do intervalo bem maior SIFS (10 µs na banda 2,4 GHz e 16 µs na banda 5 GHz)

■ **Porém**, se há múltiplos quadros para transmitir para um dispositivo, é **mais eficiente o uso** da **agregação de quadros**

- mesmo com a melhoria usando RIFS, a transmissão de dois quadros separadamente ainda requer dois cabeçalhos completos e dois quadros PLCP.

■ **Uma simples mensagem A-MPDU** pode transmitir **dois quadros de uma só vez** e receber **um único bloco ACK** de confirmação.

■ Por isso **RIFS não é usado no IEEE 802.11ac**



SPATIAL MULTIPLEXING POWER SAVE

IEEE 802.11n mantém funções de **economia de energia** dos padrões anteriores

o cliente notifica o AP de seu **status de economia de energia** (intenção de dormir) e desativa sua recepção, acordando apenas com a recepção de quadros **ATIM (Ad-hoc Traffic Indication Map)** difundidos periodicamente pelo AP

Spatial Multiplexing Power Save (SM power save mode)

melhoria para a **operação MIMO**

como **MIMO** requer a manutenção de **várias cadeias RF ligadas**, o **consumo de energia** dos dispositivos MIMO é **bem superior** do que nos padrões anteriores

um cliente MIMO pode “desligar” todos seus canais de RF mantendo apenas um ligado

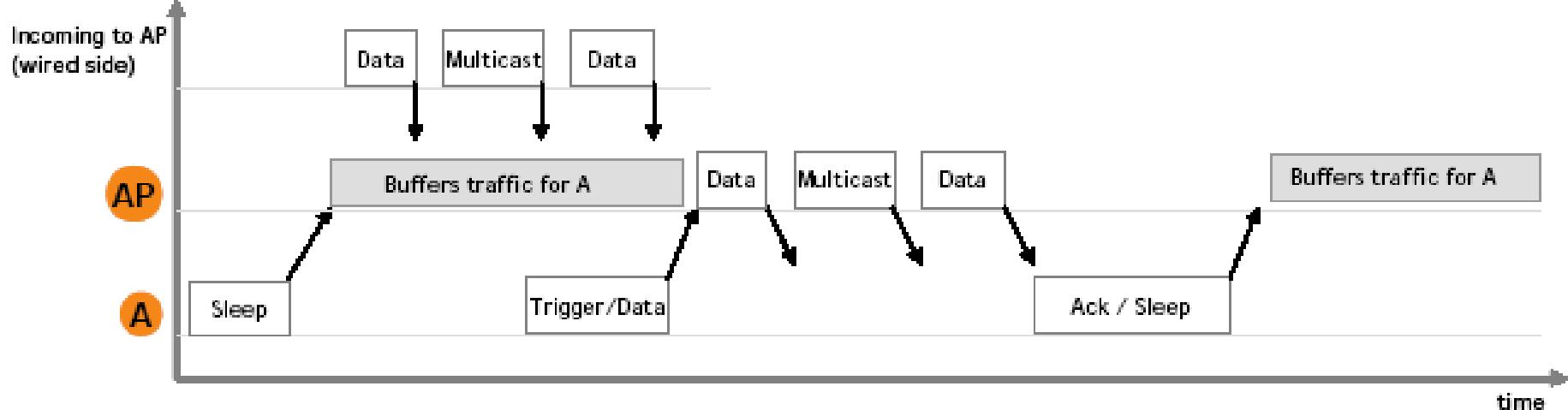
no **modo dinâmico**, um cliente é acordado com um quadro enviado pelo AP, usualmente envolvendo a troca de quadros RTS/CTS a fim de dar um tempo para a ativação das outras antenas e cadeias RF

no **modo estático**, o cliente decide quando ativar completamente suas cadeias RF, independentemente do status do tráfego

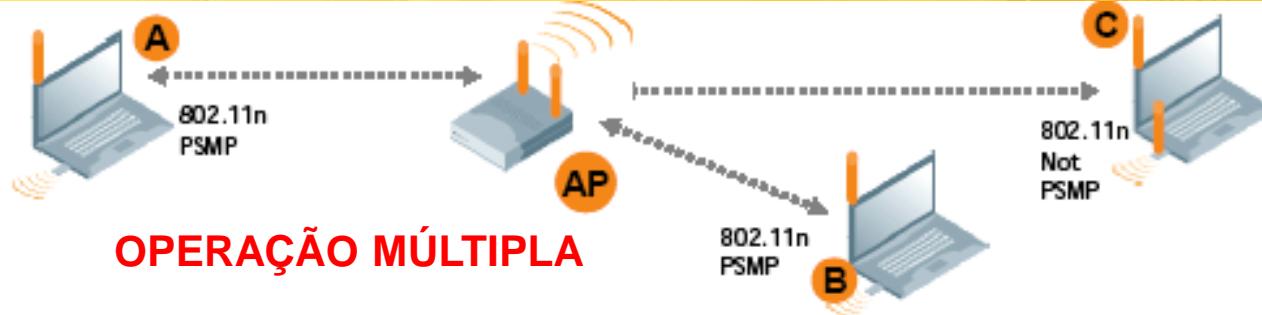


POWER SAVE MULTI-POLL (PSMP)

OPERAÇÃO BÁSICA



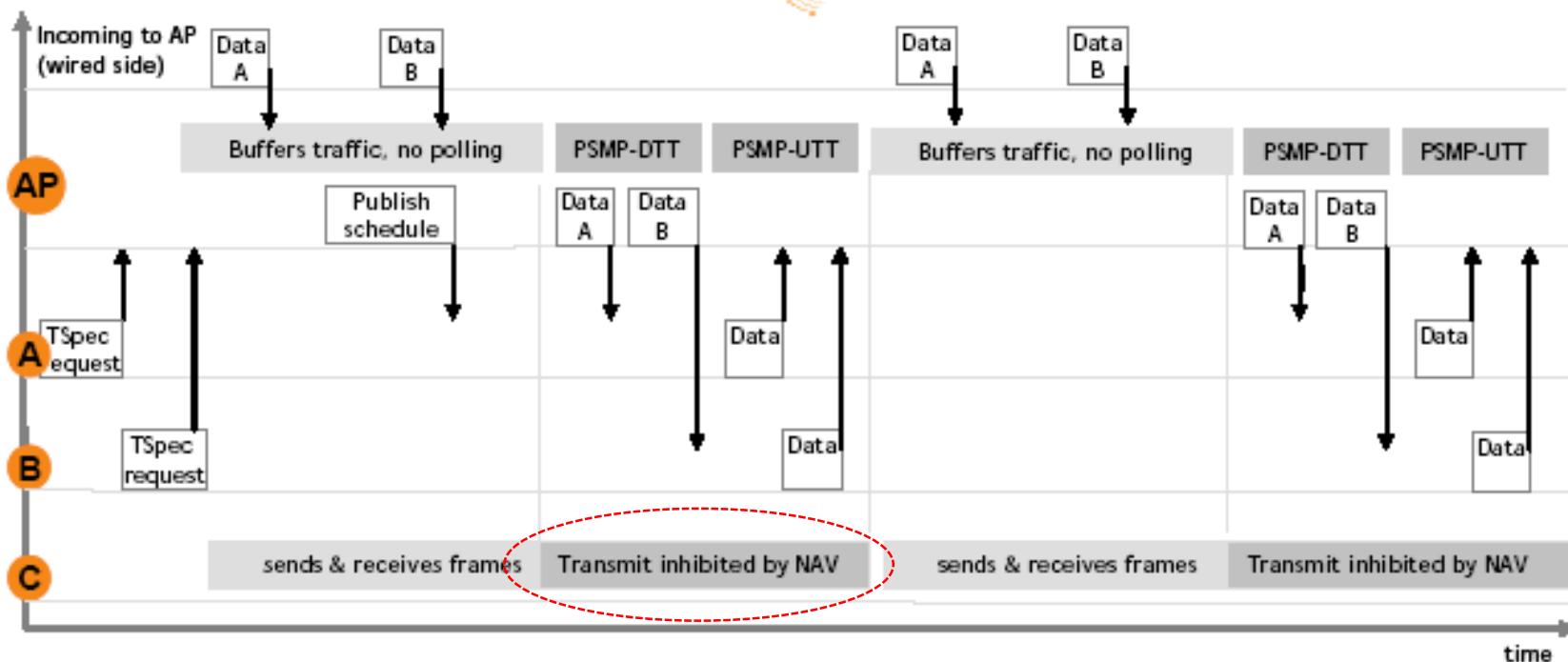
POWER SAVE MULTI-POLL (PSMP)_(II)



PSMP = power save multi-poll

DTT = downlink transmission time

UTT = uplink transmission time



IEEE 802.11ax

Melhorias na Camada MAC

TECHNICAL IMPROVEMENTS

- The IEEE 802.11ax amendment will bring several key improvements over IEEE 802.11ac.
- IEEE 802.11ax addresses frequency bands between **1 GHz and 6 GHz**.
- Therefore, unlike IEEE 802.11ac, IEEE 802.11ax **will also operate in the unlicensed 2.4 GHz band**.
- To meet the goal of supporting dense IEEE 802.11 deployments, the following features have been approved:

| Feature | IEEE 802.11ac | IEEE 802.11ax | Comment |
|---------|---------------|--|--|
| OFDMA | Not available | <p><i>Centrally controlled medium access with dynamic assignment</i> of 26, 52, 106, 242(?), 484(?), or 996(?) tones per station.</p> <p><i>Each tone consists of a single subcarrier of 78.125 kHz bandwidth.</i></p> <p><i>Therefore, bandwidth occupied by a single OFDMA transmission</i> is between 2.03125 MHz and ca. 80 MHz bandwidth.</p> | <p><i>OFDMA segregates the spectrum in time-frequency resource units (RUs).</i></p> <p><i>A central coordinating entity (the AP in 802.11ax) assigns RUs for reception or transmission to associated stations.</i></p> <p><i>Through the central scheduling of the RUs contention overhead can be avoided, which increases efficiency in scenarios of dense deployments.</i></p> |

IEEE 802.11ax

| Feature | IEEE 802.11ac | IEEE 802.11ax | Comment |
|-----------------------------|---------------------------------|---|---|
| Multi-user MIMO (MU-MIMO) | Available in Downlink direction | Available in Downlink and Uplink direction | <ul style="list-style-type: none"> With Downlink MU MIMO an AP may transmit concurrently to multiple stations and with Uplink MU MIMO an AP may simultaneously receive from multiple stations. Whereas OFDMA separates receivers to different RUs, with MU MIMO the devices are separated to different spatial streams. In 802.11ax, MU MIMO and OFDMA technologies can be used simultaneously. To enable uplink MU transmissions, the AP transmits a new control frame (Trigger) which contains scheduling information (RUs allocations for stations, modulation and coding scheme (MCS) that shall be used for each station). Furthermore, Trigger also provides synchronization for an uplink transmission, since the transmission starts SIFS after the end of Trigger. |
| Trigger-based Random Access | Not available | Allows performing UL OFDMA transmissions by stations which are not allocated RUs directly. | <ul style="list-style-type: none"> In Trigger frame, the AP specifies scheduling information about subsequent UL MU transmission. However, several RUs can be assigned for random access. Stations which are not assigned RUs directly can perform transmissions within RUs assigned for random access. To reduce collision probability (i.e. situation when two or more stations select the same RU for transmission), the 802.11ax amendment specifies special OFDMA back-off procedure. Random access is favorable for transmitting buffer status reports when the AP has no information about pending UL traffic at a station. |
| Spatial frequency reuse | Not available | <p>Coloring enables devices to differentiate transmissions in their own network from transmissions in neighboring networks. Adaptive Power and Sensitivity Thresholds allows dynamically adjusting transmit power and signal detection threshold to increase spatial reuse.</p> | <ul style="list-style-type: none"> Without spatial reuse capabilities devices refuse transmitting concurrently to transmissions ongoing in other, neighboring networks. With coloring, a wireless transmission is marked at its very beginning helping surrounding devices to decide if a simultaneous use of the wireless medium is permissible or not. A station is allowed to consider the wireless medium as idle and start a new transmission even if the detected signal level from a neighboring network exceeds legacy signal detection threshold, provided that the transmit power for the new transmission is appropriately decreased. |

IEEE 802.11ax

| Feature | <i>IEEE 802.11ac</i> | <i>IEEE 802.11ax</i> | Comment |
|--------------------------------|----------------------------|--|---|
| <i>NAV</i> | Single NAV | Two NAVs | <ul style="list-style-type: none"> In dense deployment scenarios, NAV value set by a frame originated from one network may be easily reset by a frame originated from another network, which leads to misbehavior and collisions. To avoid this, each 802.11ax station will maintain two separate NAVs — one NAV is modified by frames originated from a network the station is associated with, the other NAV is modified by frames originated from overlapped networks. |
| <i>Target Wake Time (TWT)</i> | Not available | TWT reduces power consumption and medium access contention. | <ul style="list-style-type: none"> TWT is a concept developed in 802.11ah. It allows devices to wake up at other periods than the beacon transmission period. Furthermore, the AP may group device to different TWT period thereby reducing the number of devices contending simultaneously for the wireless medium. |
| <i>Fragmentation</i> | Static fragmentation | Dynamic fragmentation | <ul style="list-style-type: none"> With static fragmentation all fragments of a data packet are of equal size except for the last fragment. With dynamic fragmentation a device may fill available RUs of other opportunities to transmit up to the available maximum duration. Thus, dynamic fragmentation helps reduce overhead. |
| <i>Guard interval duration</i> | $0.4 \mu s$ or $0.8 \mu s$ | $0.8 \mu s$, $1.6 \mu s$ or $3.2 \mu s$ | <ul style="list-style-type: none"> Extended guard interval durations allow for better protection against signal delay spread as it occurs in outdoor environments. |
| <i>Symbol duration</i> | $3.2 \mu s$ | $12.8 \mu s$ | <ul style="list-style-type: none"> Since the subcarrier spacing is reduced by a factor of 4, the OFDM symbol duration is increased by a factor of 4 as well. Extended symbol durations allow for Increased efficiency. |

REDES LOCAIS



*Cálculo de
perdas em
enlace sem fio*

O BELL E O DECIBELL

- Medida de **potência relativa** de sinal

$$P_{dB} = 10 \log \left(\frac{\text{Potência _ Medida}}{\text{Potência _ de _ referência}} \right)$$

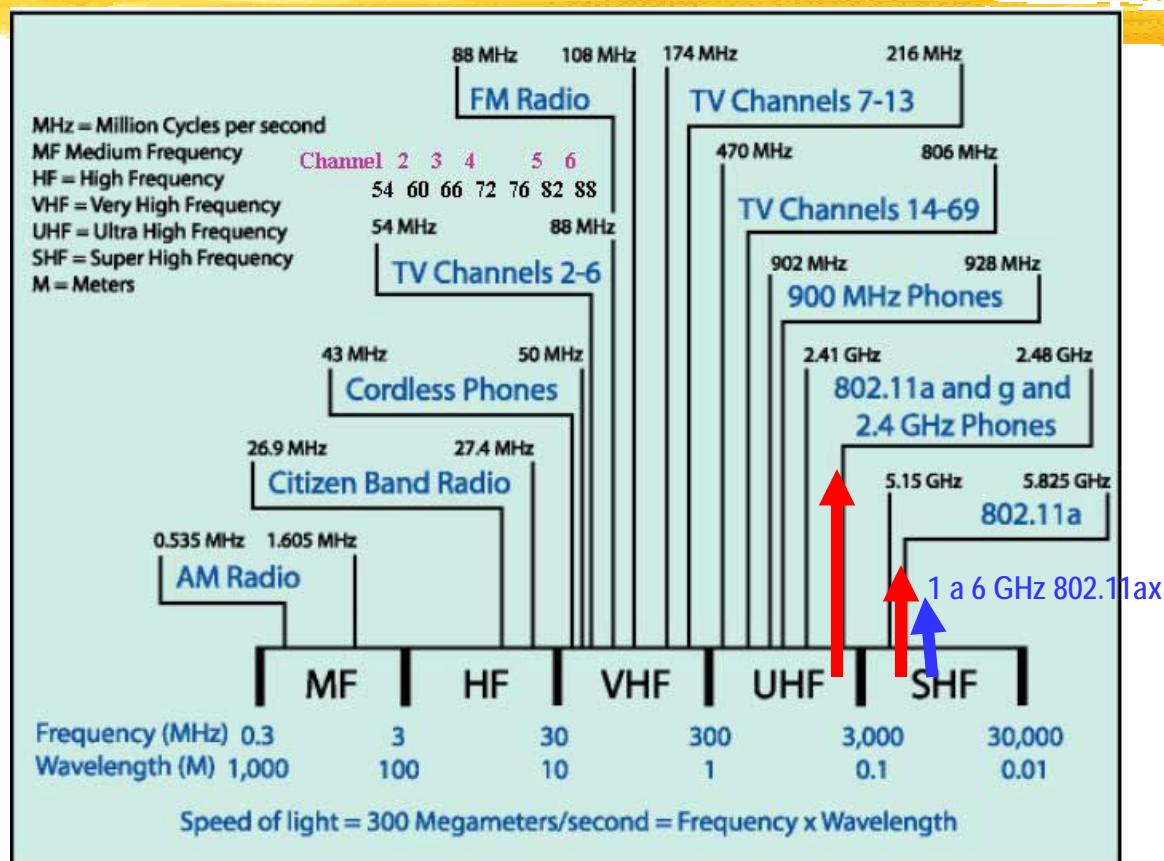
- Exemplos
 - **dBm** (@ transceptores)
 - **dBi** (@ antenas)

dBm

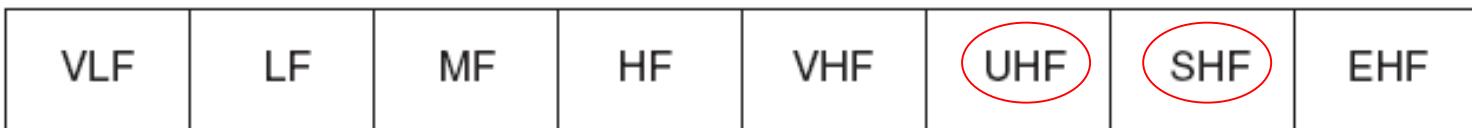
*Os termos **dBmiliwatts** e **dBmicrowatts** são muito usuais pois indicam que o cálculo foi aplicado sobre um valor em **miliWatts** ou **microWatts**, ordens de grandezas comumente associadas às sensibilidades dos receptores de sinais para garantia de manutenção nas taxas de transmissão.*

| Available transmit power | Receive Sensitivity |
|-----------------------------------|---------------------|
| 21 +/- 2dBm @1, 2, 5.5 and 11Mbps | -86dBm @ 11Mbps |
| 20 +/- 2dBm @18Mbps | -86dBm @ 18Mbps |
| 17 +/- 2dBm @24, 36Mbps | -83dBm @ 24Mbps |
| 16 +/- 2dBm @48, 54Mbps | -79dBm @ 36Mbps |
| | -74dBm @ 48Mbps |
| | -72dBm @ 54Mbps |

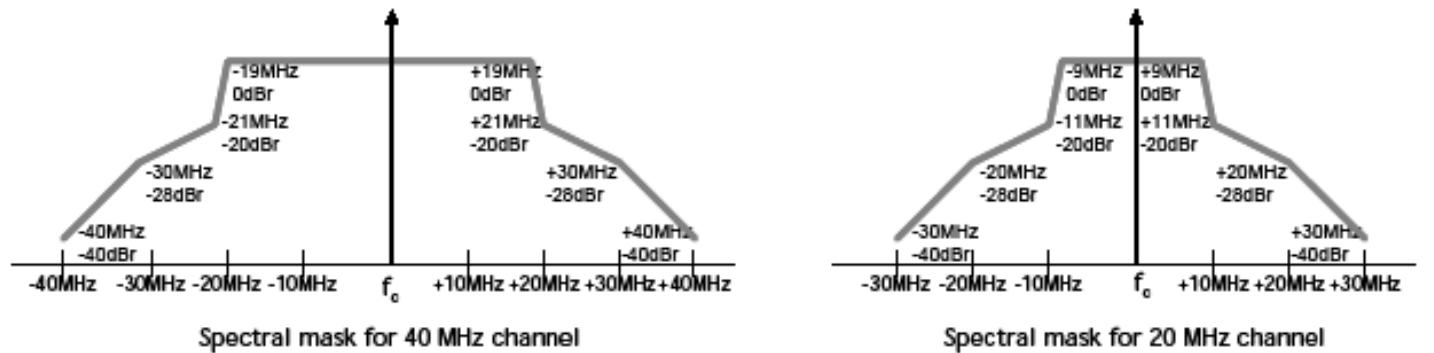
ESPECTRO DE FREQUÊNCIAS



3 kHz 30 kHz 300 kHz 3 MHz 30 MHz 300 MHz 3 GHz 30 GHz 300 GHz

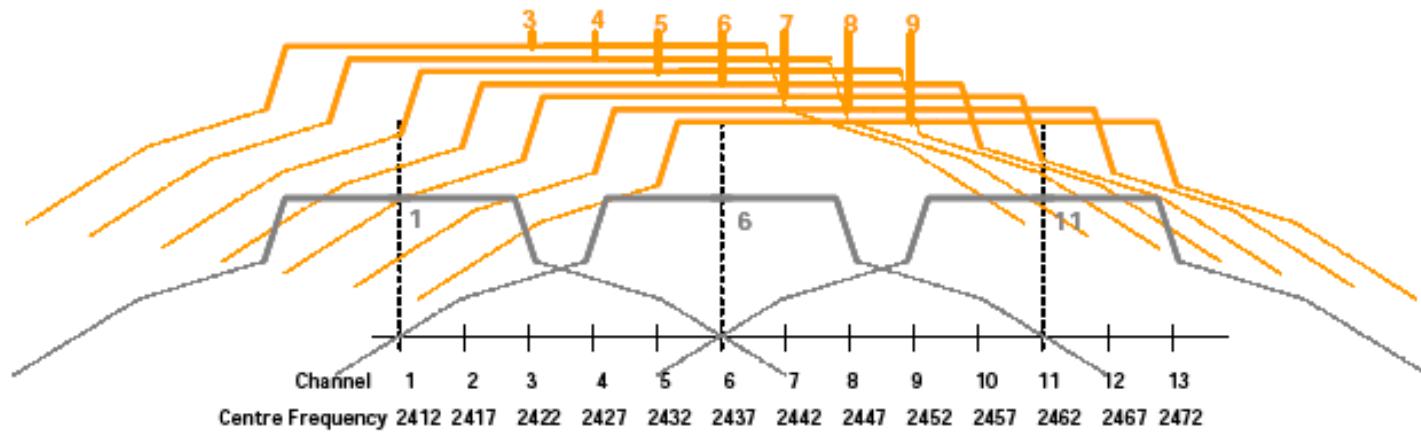


CANAIS IEEE 802.11 @ 2,4 GHz



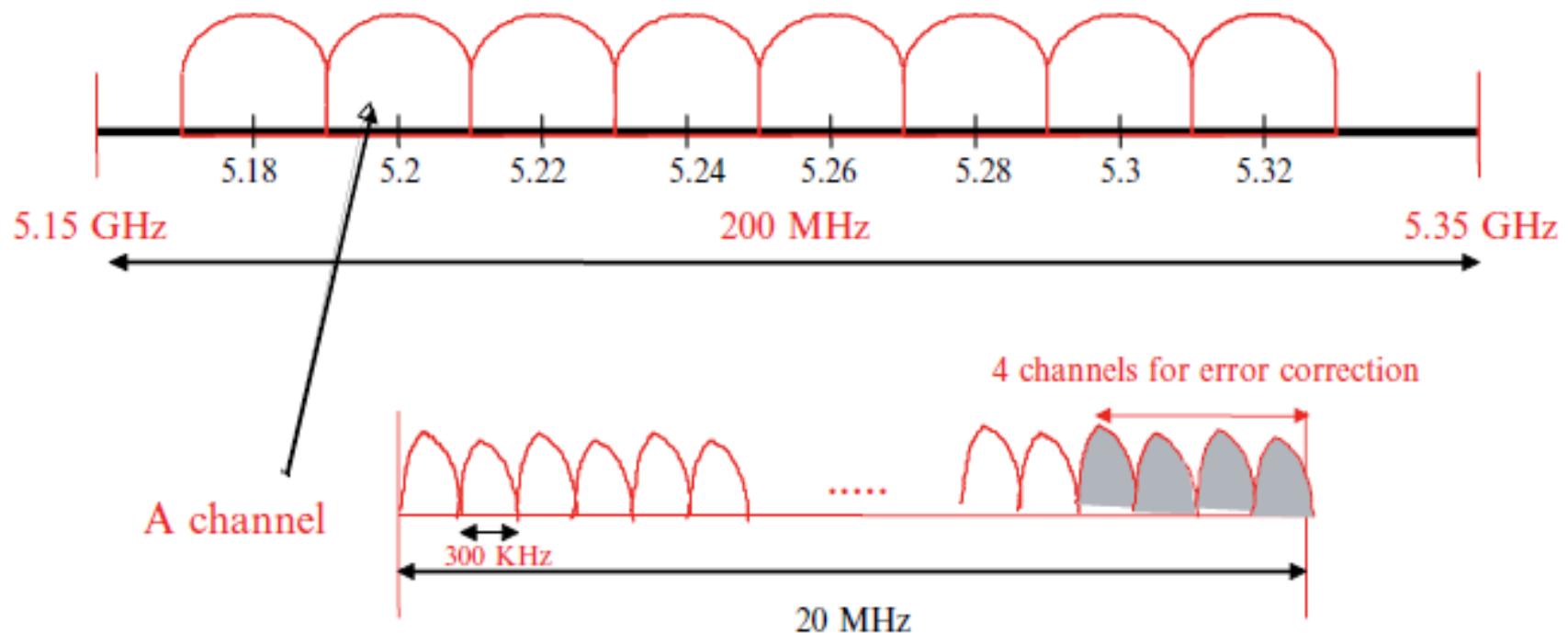
Spectral mask for 40 MHz channel

Spectral mask for 20 MHz channel



Channels defined for 2.4 GHz band, showing common 20 MHz channel plan and 40 MHz options

CANAIS IEEE 802.11 @ 5 GHz

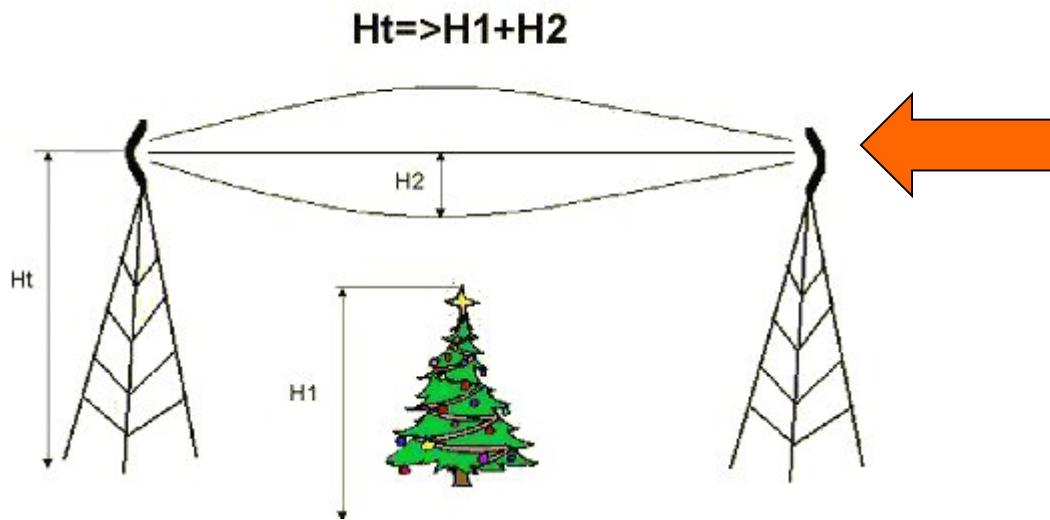


Canais OFDM @ 5 GHz (EUA)

| Banda | Nº do Canal | Frequência Central (MHz) | Potência máxima (com ganho de antena ≤ 6 dB) |
|--|-------------|--------------------------|---|
| U-NII <i>lower band</i> (5,15 – 5,25 MHz) | 36 | 5.180 | 40 mW (2,5 mW/MHz) |
| | 40 | 5.200 | 20 MHz (indoor) |
| | 44 | 5.220 | |
| | 48 | 5.240 | |
| U-NII <i>middle band</i> (5,25 – 5,35 MHz) | 52 | 5.260 | 200 mW (12,5 mW/MHz) |
| | 56 | 5.280 | (indoor) |
| | 60 | 5.300 | |
| | 64 | 5.320 | |
| U-NII <i>upper band</i> (5,725 – 5,825 MHz) | 149 | 5.745 | 800 mW (50 mW/MHz) |
| | 153 | 5.765 | (indoor ou outdoor) |
| | 157 | 5.785 | |
| | 161 | 5.805 | |

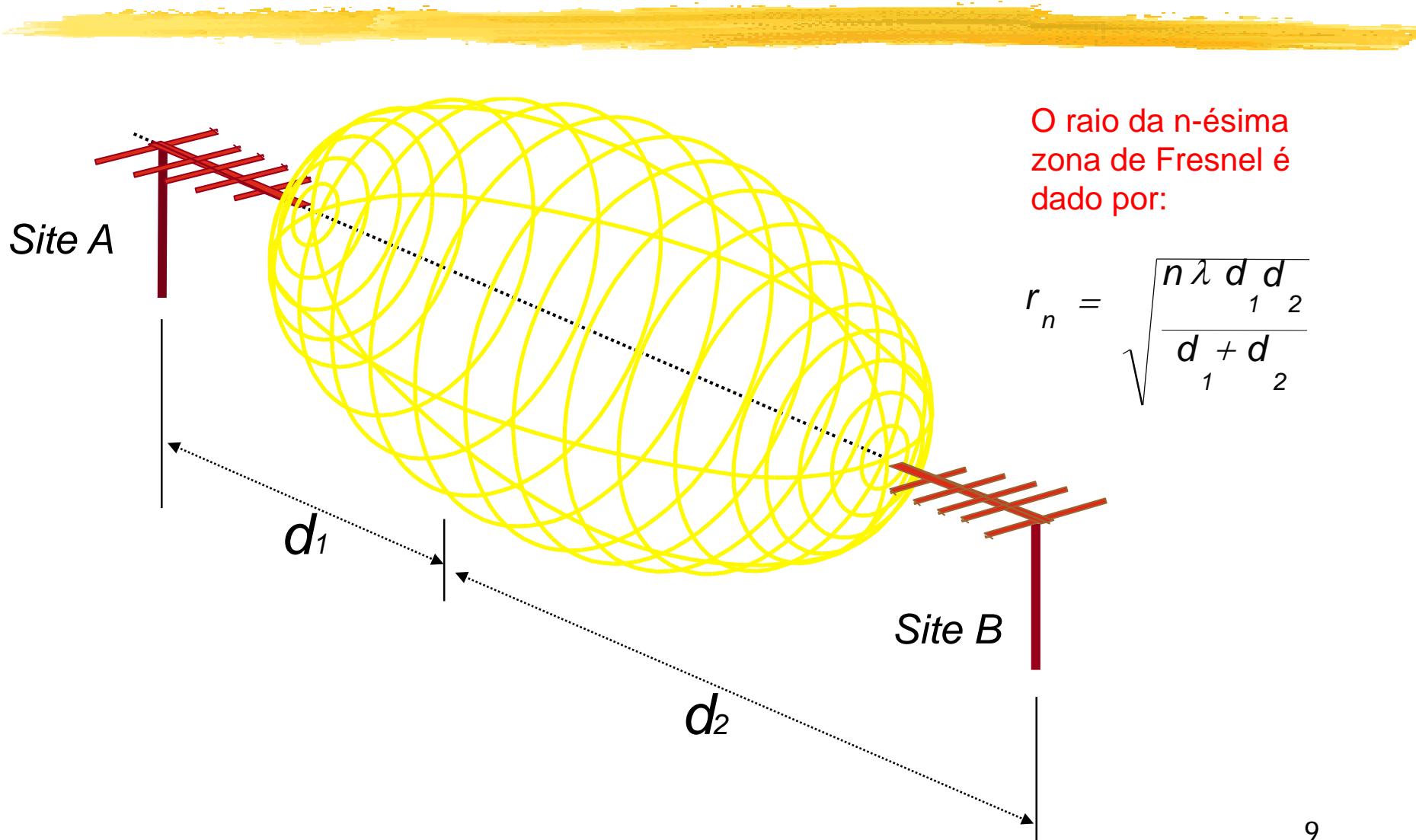
PERDAS NO ESPAÇO LIVRE

O **espaço livre** representa uma região do espaço no qual uma onda pode propagar-se **sem obstáculos, sem reflexão ou absorção** pelo meio.



*Na prática, é uma aproximação válida para a **zona de Fresnel***

A PRIMEIRA ZONA DE FRESNEL



A FÓRMULA DE FRIIS

Potência no Receptor →

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

P_t : Potência no Transmissor

G_t : Ganho da Antena Transmissora

G_r : Ganho da Antena Receptora

d : Distância entre Transmissor e Receptor

L : Perdas (*loss*) no Espaço Livre

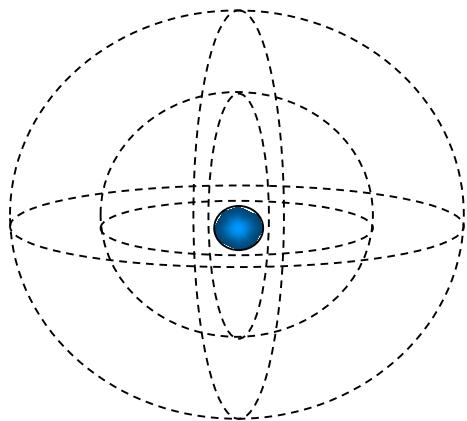
λ : Comprimento de onda, calculado por **c/f**

onde **c** é a velocidade de propagação da onda eletromagnética
e **f** representa a freqüência da onda radiada.

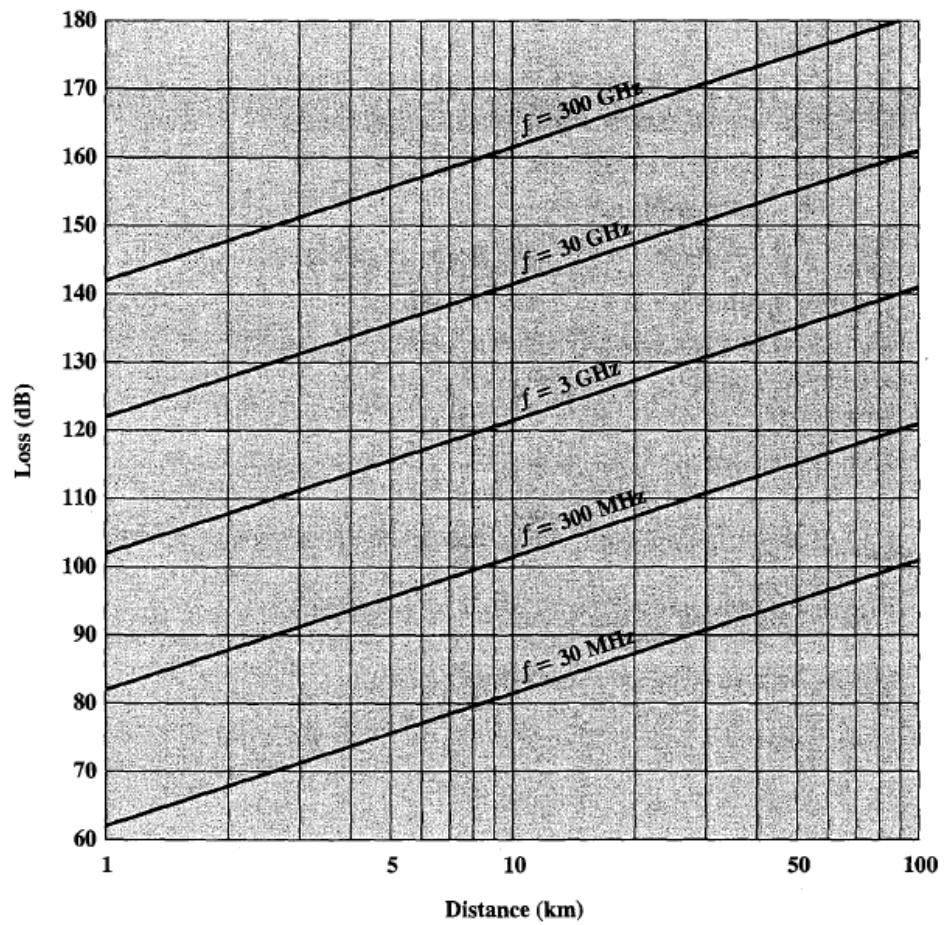
PERDAS NO ESPAÇO LIVRE

@ antena isotrópica ideal

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi d)^2}{\lambda^2} = \frac{(4\pi f d)^2}{c^2}$$



- antena sem perdas que irradia igualmente para todas as direções
- referência para a expressão das propriedades de **diretividade** das antenas



TIPOS DE ANTENAS

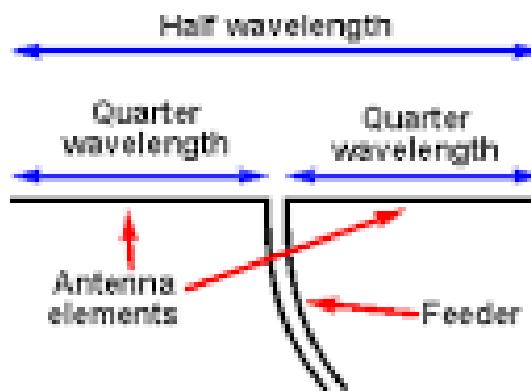
Turnstyle



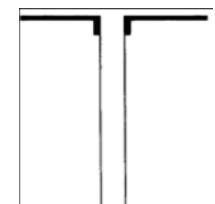
Horn



Parabólica



Dipolo



GANHO E ÁREA EFETIVA DE ANTENA

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$

| Type of Antenna | Effective Area A_e (m^2) | Power Gain (relative to isotropic) |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Isotropic | $\lambda^2/4\pi$ | 1 |
| Infinitesimal dipole or loop | $1.5\lambda^2/4\pi$ | 1.5 |
| Half-wave dipole | $1.64\lambda^2/4\pi$ | 1.64 |
| Horn, mouth area A | $0.81A$ | $10A/\lambda^2$ |
| Parabolic, face area A | $0.56A$ | $7A/\lambda^2$ |
| Turnstile (two crossed, perpendicular dipoles) | $1.15\lambda^2/4\pi$ | 1.15 |

Fonte: livro do Stallings Wireless Communications and Networking

PERDAS NO ESPAÇO LIVRE EM dB

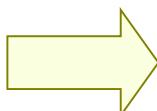
$$L_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = -10 \log \left(\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right)$$

$$L_{dB} = -20 \log(\lambda) + 20 \log(d) + 21,98 - G_t - G_r \text{ dB}$$

Esta equação só é válida para a chamada **região de Fresnel**.

Por exemplo, para a **norma IEEE 802.11**, só pode ser aplicada, em média a mais que **um metro do transmissor e do receptor**.

Para saber a partir de que distância a fórmula de Friis pode ser aplicada, pode-se usar a seguinte expressão:



$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}$$

D representa a maior dimensão da antena utilizada

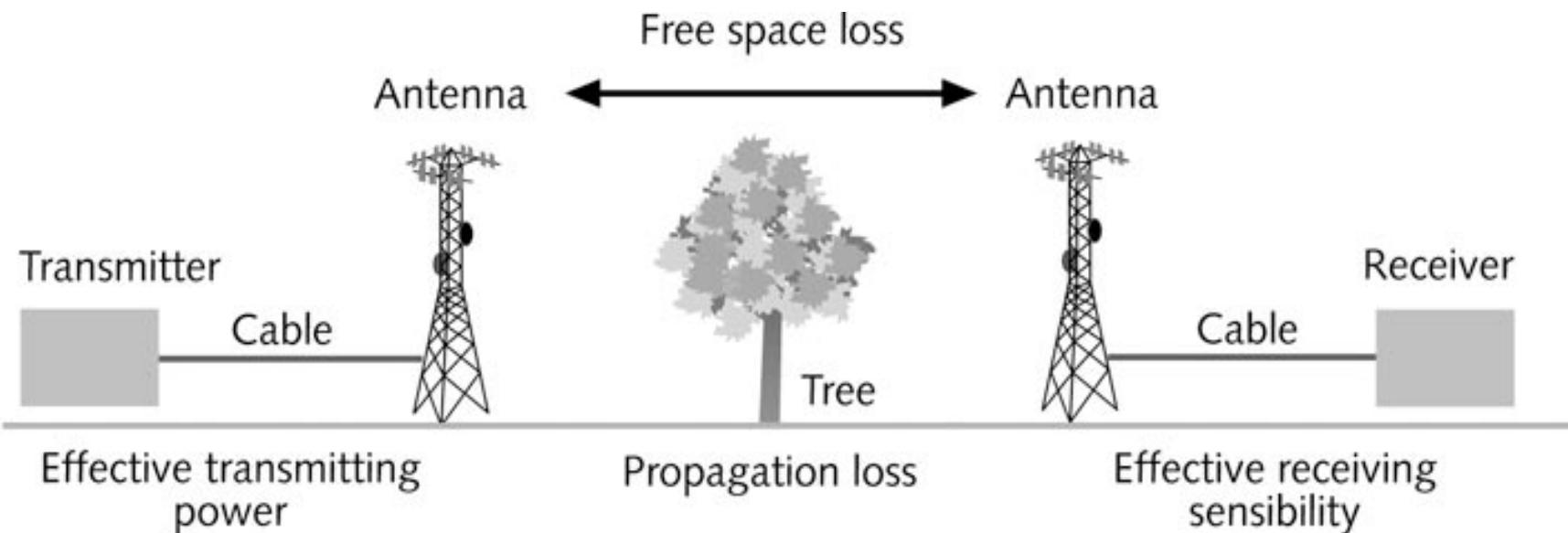
EXERCÍCIO 5.1

Suponha $G_t = G_r = 0 \text{ dB}$

- Formule uma expressão para L_{dB} em função da frequência f medida em **GHz** e da distância d medida em **km**;
- Elabore uma tabela de perdas com as seguintes distâncias (km): 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5 e 10

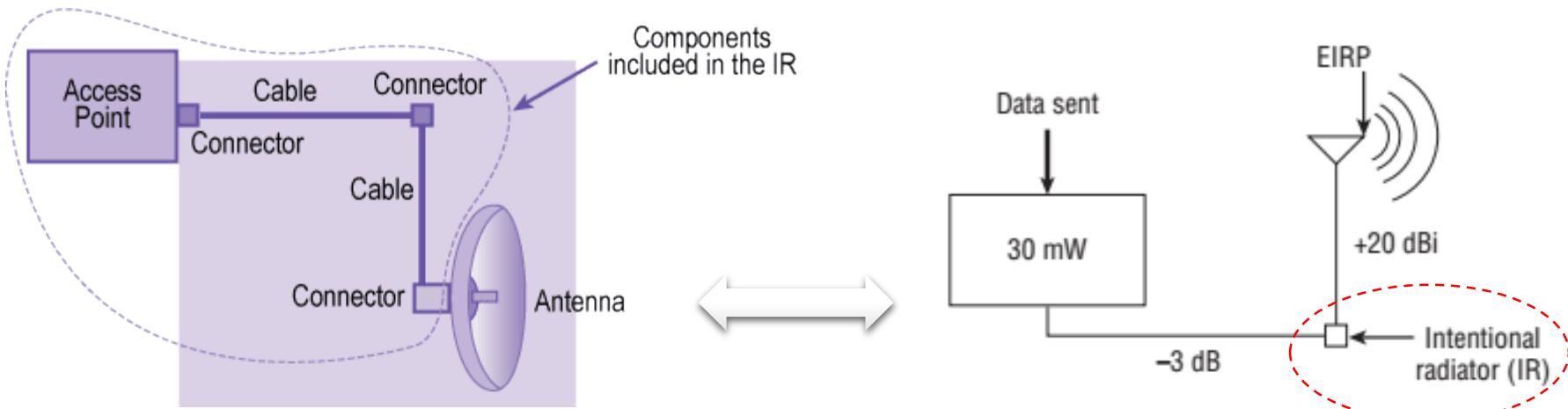
| Distância (km) | Perdas (dB) em 2,4 GHz | Perdas (dB) em 5 GHz |
|----------------|------------------------|----------------------|
| 0,5 | | |
| 1,0 | | |
| 1,5 | | |
| 2,0 | | |
| 3,0 | | |
| 4,0 | | |
| 5,0 | | |
| 10,0 | | |

BALANÇO DE POTÊNCIA DE ENLACE NO ESPAÇO LIVRE



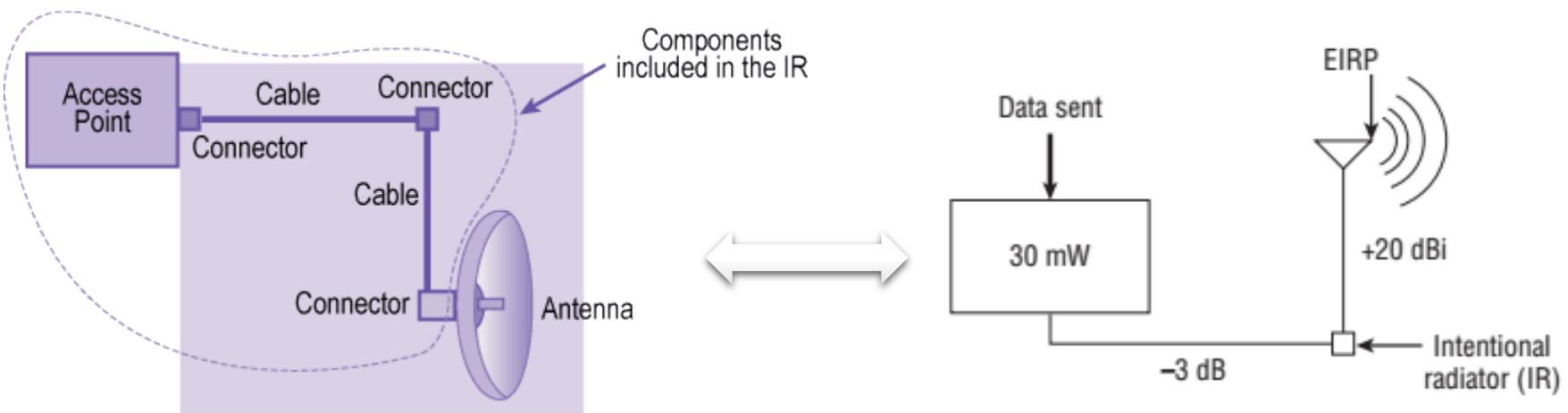
INTENTIONAL RADIATOR

- ✓ Definido pela FCC (*Federal Communication Commission*) um **radiador intencional** é um dispositivo RF construído especificamente para gerar e irradiar um sinal RF.
- ✓ O IR é composto por um **dispositivo de RF e todos os cabos e conectores** até a antena.



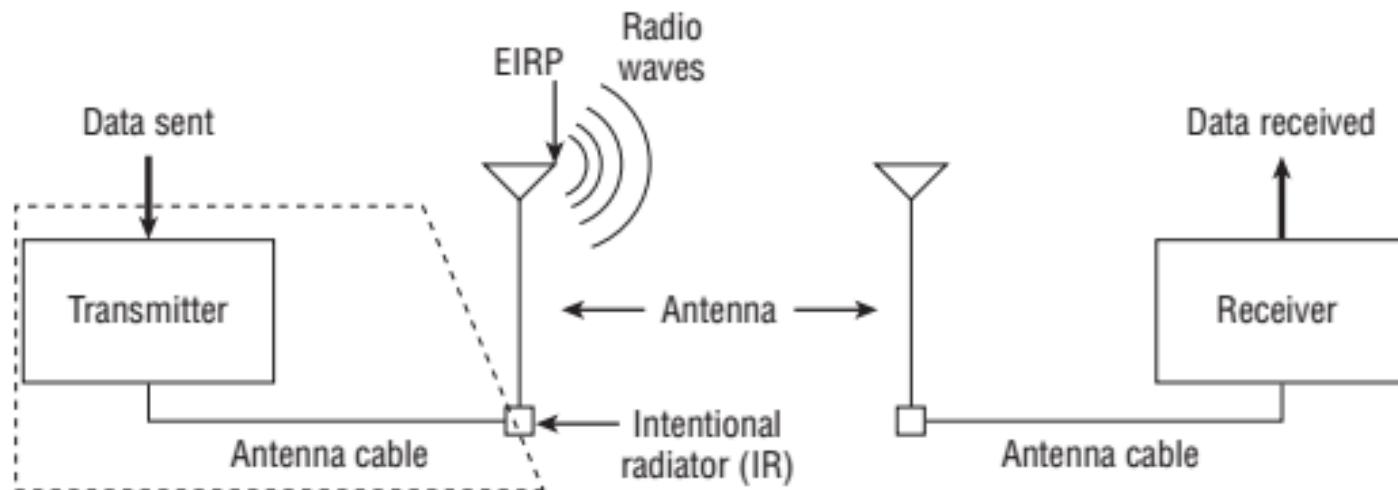
INTENTIONAL RADIATOR (II)

- ✓ A **potência de saída** vista em um IR é considerada como potência que é obtida **no último cabo e conector antes de chegar na antena**.
 - ✓ Por exemplo, para um transmissor de 30 mW, que perdeu 15 mW de potência no cabo e 5 mW no conector: a potência do IR será de 10 mW.

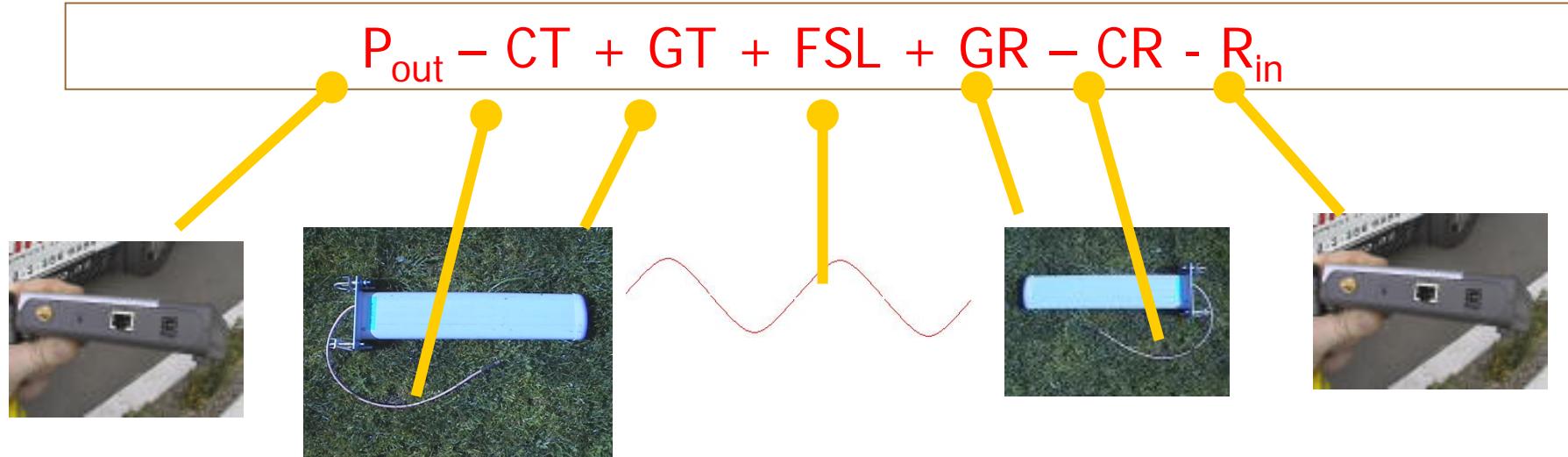


EIRP

- ✓ O **EIRP – Equivalent Isotropically Radiated Power** é a Potência Irradiada Isotrópica Equivalente pela antena.
- ✓ A EIRP leva em conta o **Ganho da antena**.
Suponha que um AP com cabos e conectores tenha um IR de 100 mW e uma antena de 10 dBi (que amplifica o sinal 10 vezes).
O EIRP do sistema todo será de 1000 mW ou 1 Watt.



BALANÇO DE POTÊNCIA



P_{out} : Potência de Saída do Transmissor (dBm)

CT : Perdas no Cabo e Antena Transmissora (dB)

GT : Ganho da Antena Transmissora (dBi)

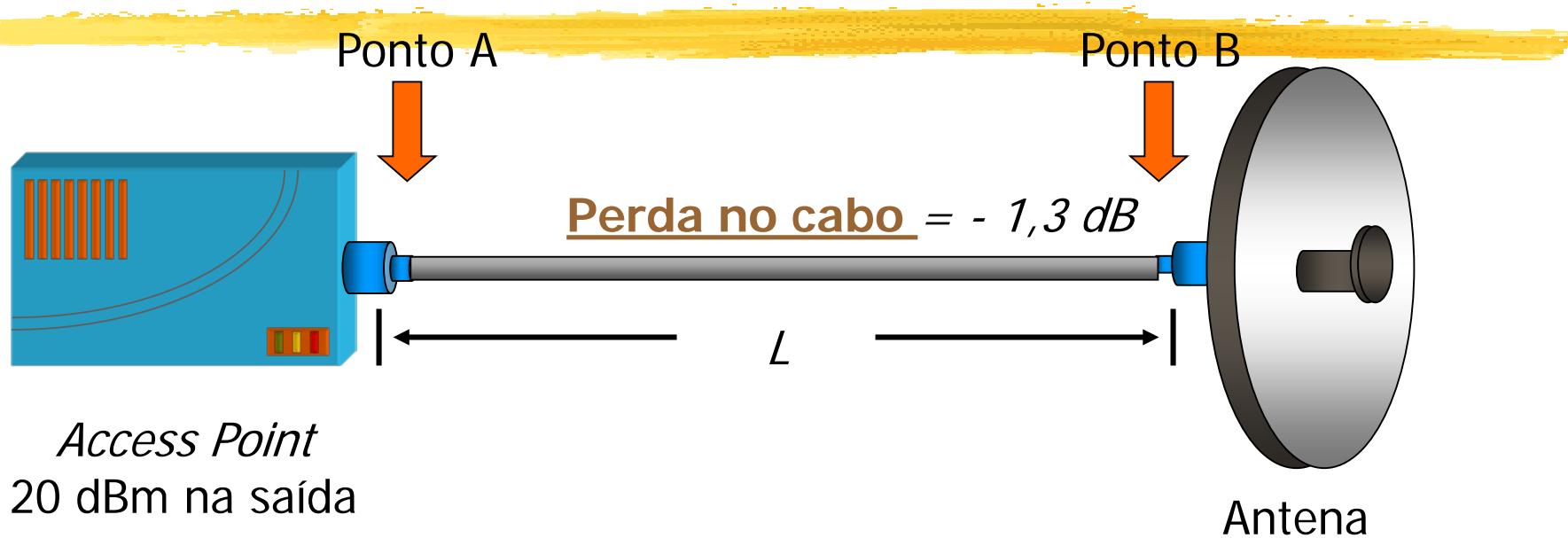
FSL : *Free Space Loss* (é um valor negativo em dB)

GR : Ganho da Antena Receptora (dBi)

CR : Perdas no Cabo e na Antena Receptora (dB)

R_{in} : Sensibilidade do Receptor (dBm)

BALANÇO DE POTÊNCIA (II)



Potência no ponto A é 20 dBm = 100 mW

Potência no ponto B é 20 dBm – 1,3 dB = 18,7 dBm = 74,1 mW

PERDAS EM CABOS @ 2,4 GHz

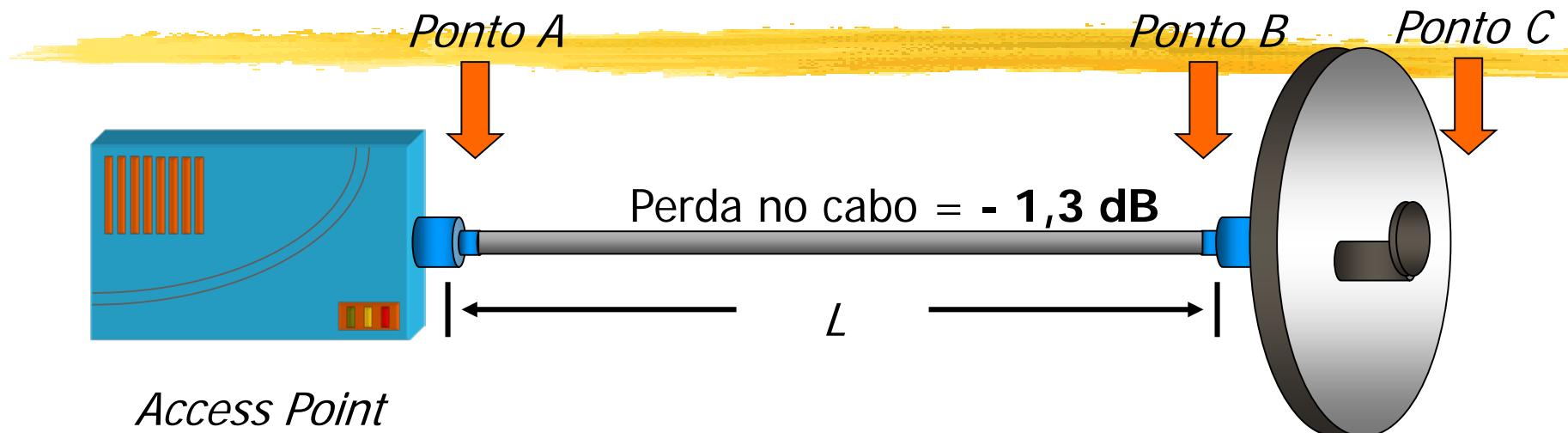


- RG 58 (bastante comum, usado par Ethernet): 1 dB por metro
- RG 213 ("big black", bastante comum): 0,6 dB por metro
- RG 174 (fino, usado como pigtail em cabos adaptadores): 2 dB por metro
- Aircom : 0,21 dB por metro.
- Aircell : 0,38 dB por metro
- LMR-400: 0,22 dB/m por metro
- Cabos da Cisco

EXEMPLOS CISCO @ AIRONET

| Recurso | AIR-CAB020LL-R | AIR-CAB050LL-R | AIR-CAB100UL-L-R | AIR-CAB150ULL-R |
|----------------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|
| Comprimento de cabo | 20 ft (6 m) | 50 pés ft (15 m) | 100 ft (30 m) | 150 ft (46 m) |
| Perda de transmissão | DB 1.3 | DB 3.4 | DB 4.4 | 6.6 dB |
| dB/metro | 0,21 | 0,22 | 0,15 | 0,14 |

BALANÇO DE POTÊNCIA (III)



Access Point

20 dBm na saída

Potência no ponto A é $20 \text{ dBm} = 100 \text{ mW}$

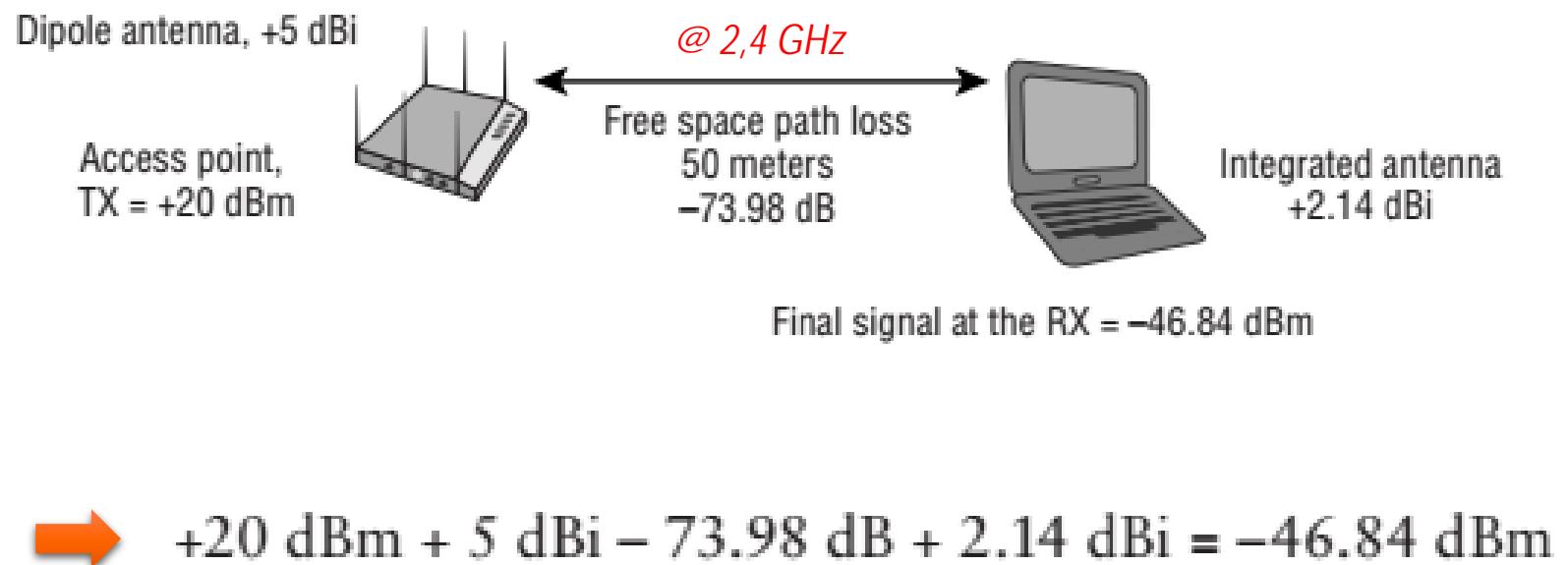
Antena

Parabólica de **24 dBi**

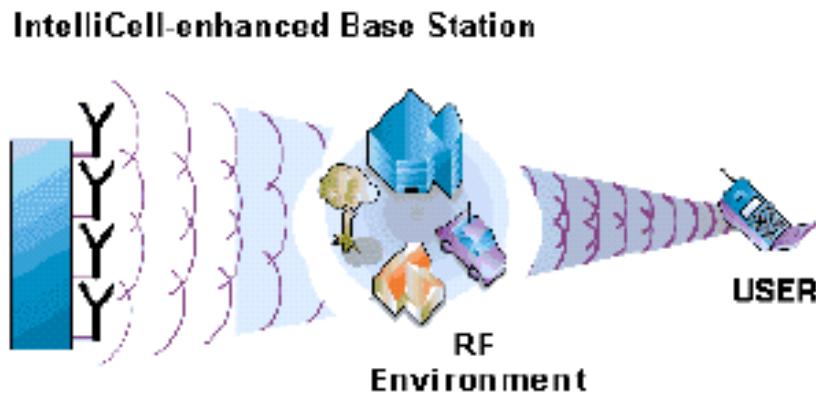
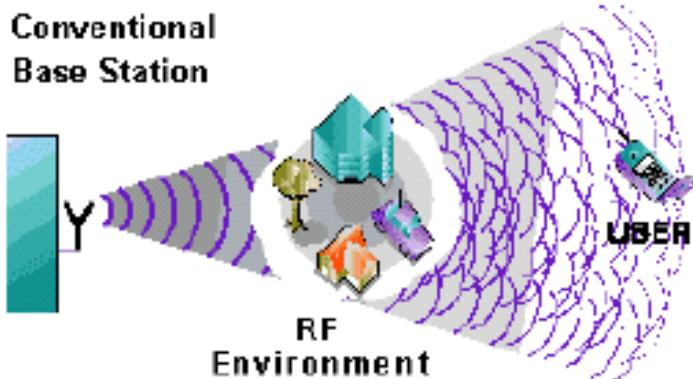
Potência no ponto B é $20 \text{ dBm} - 1,3 \text{ dB} = 18,7 \text{ dBm} = 74,1 \text{ mW}$

EIRP no ponto C é $74,1 \text{ mW} \times 251 = \mathbf{18,6 \text{ W}}$

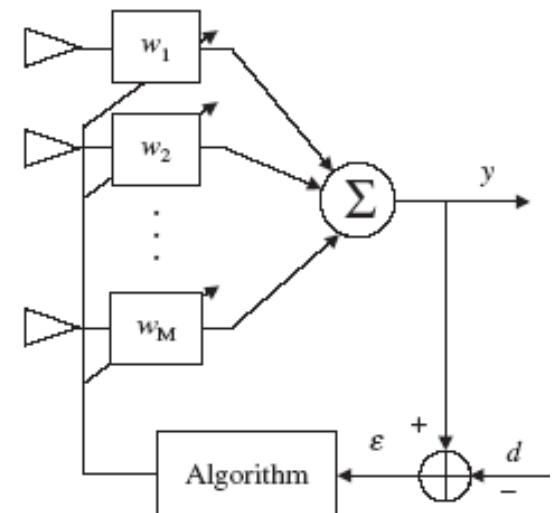
EXEMPLO DE CÁLCULO DE BALANÇO DE POTÊNCIA



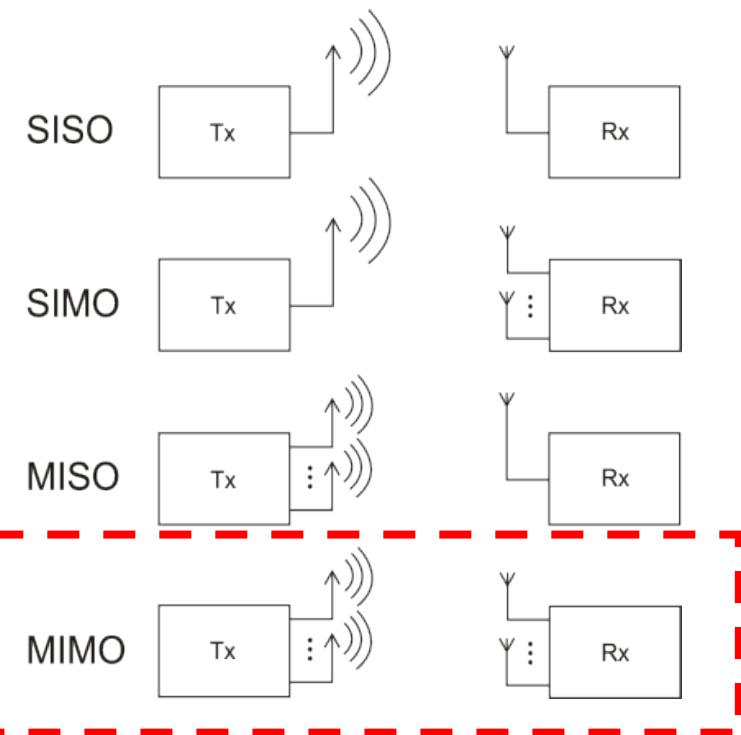
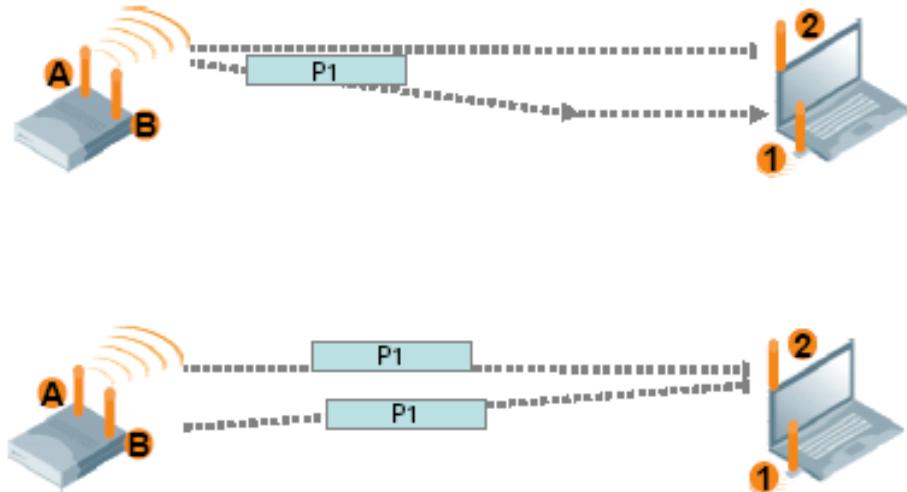
ANTENAS INTELIGENTES



*Smart
Antenna*



MIMO



Single/Multiple Input Single/Multiple Output

EXERCÍCIO 5.2

Deseja-se realizar um enlace bidirecional de rádio-comunicação de **5 km** operando na frequência de **2,4 GHz**, entre um ponto de acesso (AP) e uma estação móvel cliente, sabendo-se que:

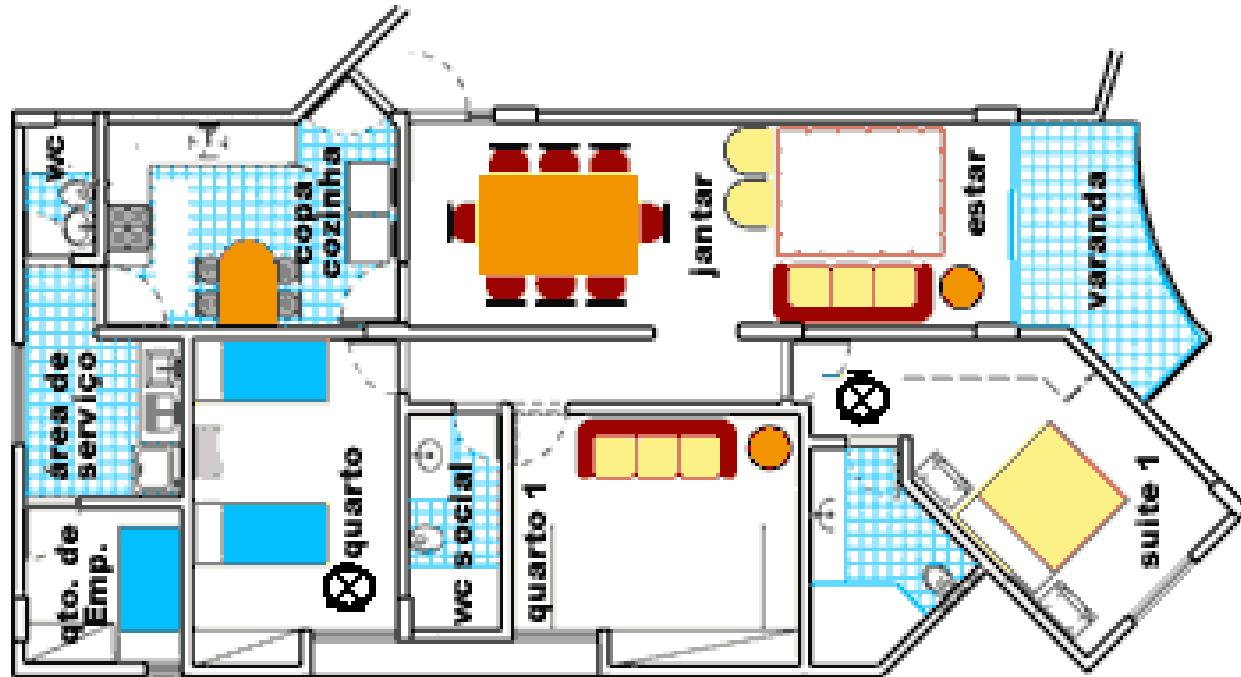
- O AP é conectado a uma antena com ganho de **10dBi**, com uma potência de transmissão de **20dBm** e uma sensibilidade de recepção de **-89 dBm**;
- A estação cliente está conectada a uma antena com ganho de **14dBi**, com uma potência de transmissão de **15dBm** e uma sensibilidade de recepção de **-82 dBm**;
- Os cabos de conexão às antenas em ambos os sistemas são relativamente curtos, com uma perda de **2dB** (incluindo conectores) em cada lado dos dispositivos.

Pergunta-se:

- Esse enlace é realizável, para rádio-comunicação entre AP-Estação Móvel e entre Estação Móvel-AP ?
- Caso contrário, pode ser melhorado? Como?

Considere a necessidade de uma **margem de segurança mínima de 5dB** para o sistema.

MODELOS DE PROPAGAÇÃO *WIRELESS INDOOR*



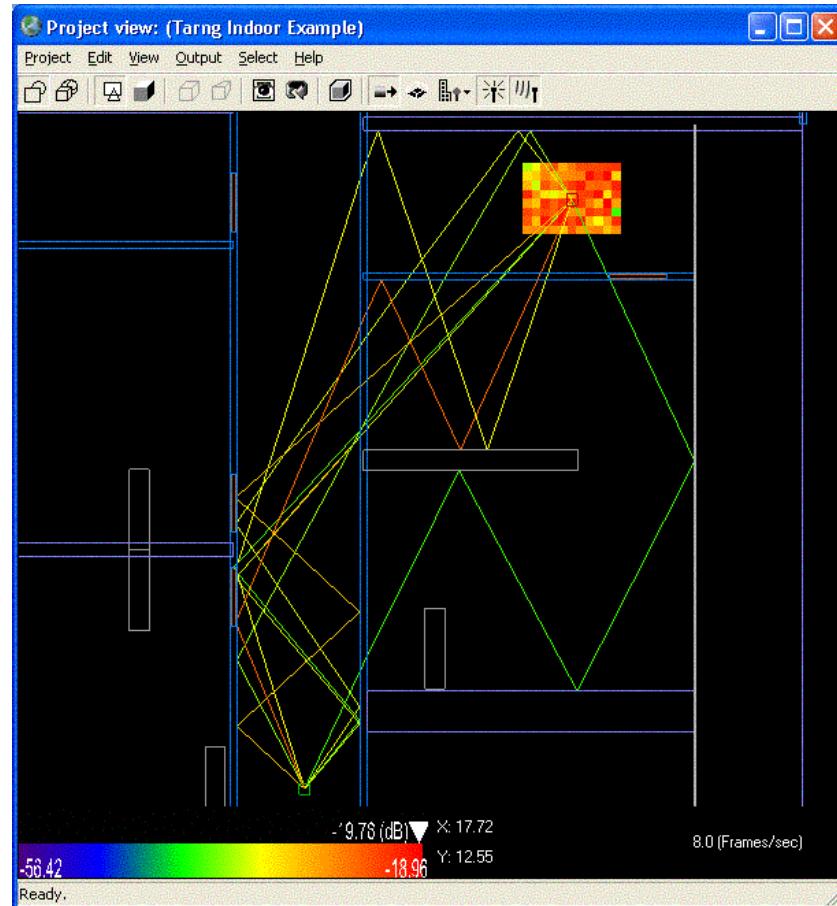
AMBIENTE *INDOOR*



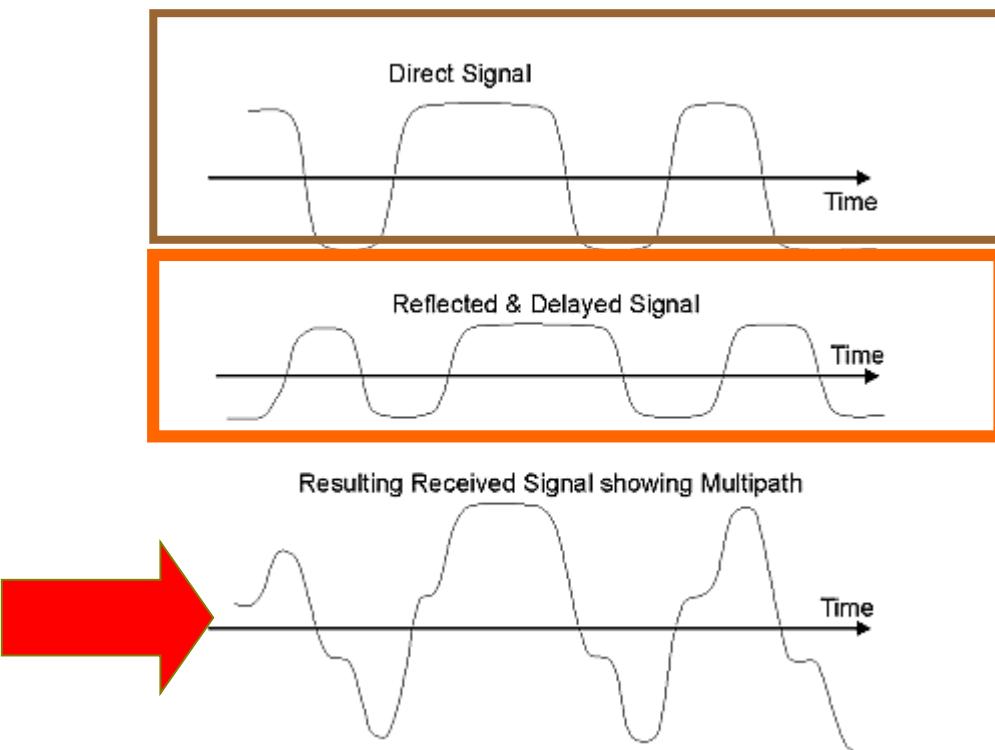
- O **ambiente *indoor*** apresenta:
 - Menores **distâncias** nos enlaces
 - **Maior flutuação** no comportamento do Campo Elétrico
 - O problema do ***Multipath*** se torna mais relevante
 - **Maior atenuação** através de paredes, piso, obstáculos e pessoas
 - Canalização de energia – **Efeito Guia de Onda**
 - **Ambiente Dinâmico**

MULTIPATH

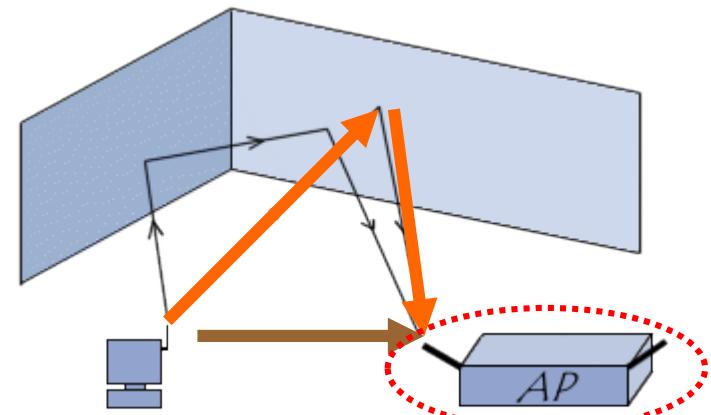
É importante perceber que os **multicaminhos** fazem com que o mesmo sinal chegue ao receptor em **intervalos de tempos diferentes**



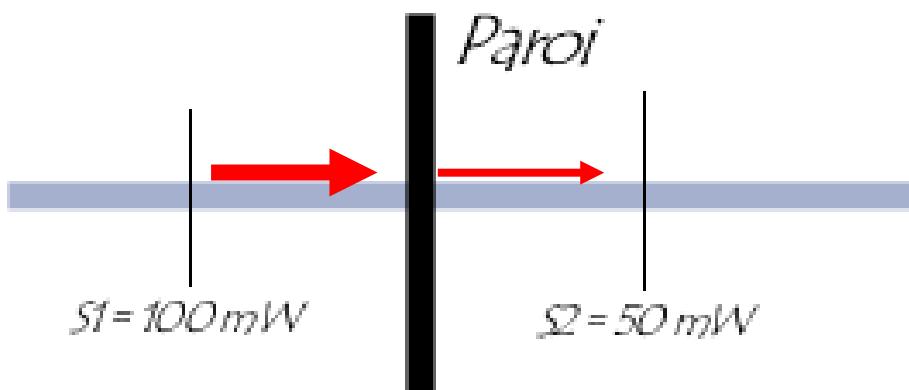
ESPALHAMENTO TEMPORAL DO SINAL



O espalhamento temporal do sinal pode ser usado para **medir a influência dos multicaminhos no ambiente de rádio propagação**



ATENUAÇÃO POR OBSTÁCULOS

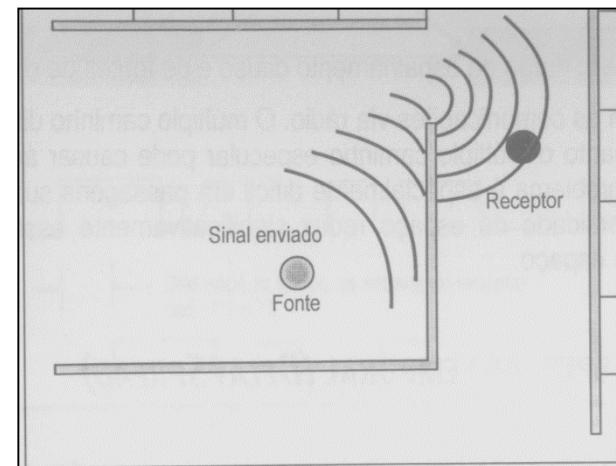
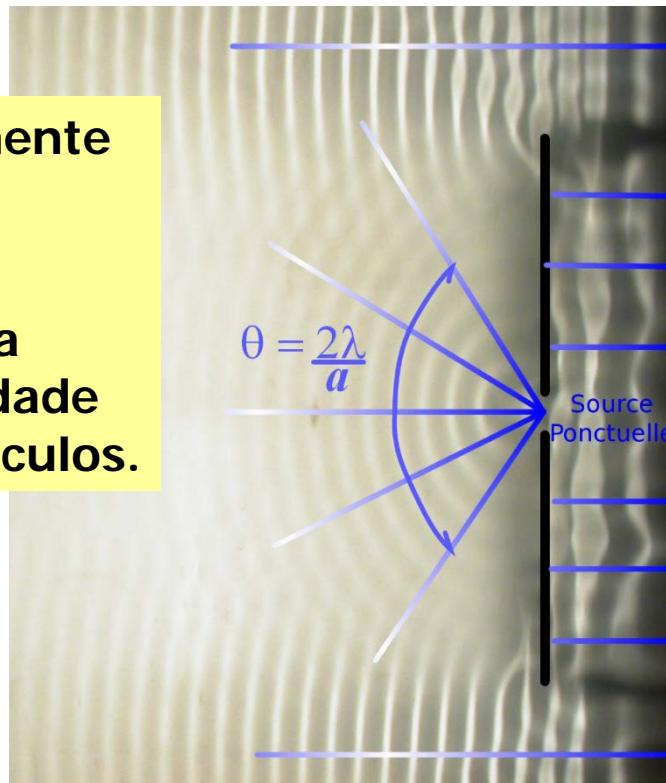


Como regra prática,
assume-se que a cada perda
de aproximadamente **3dB**,
estamos perdendo **50% da
potência do sinal incidente**

$$R (\text{dB}) = 10 \log \left(\frac{S2}{SI} \right) = -3 \text{dB}$$

DIFRAÇÃO DO SINAL

É explicada fisicamente pelo **princípio de Huygens**.
Ocorre quando uma onda tem a capacidade de contornar obstáculos.



A FÓRMULA DE FRIIS

Potência no Receptor →

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

P_t : Potência no Transmissor

G_t : Ganho da Antena Transmissora

G_r : Ganho da Antena Receptora

d : Distância entre Transmissor e Receptor

L : Perdas (*loss*) no Espaço Livre

λ : Comprimento de onda, calculado por **c/f**

onde **c** é a velocidade de propagação da onda eletromagnética
e **f** representa a freqüência da onda radiada.

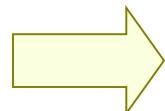
PERDAS EM dB

$$PL(d) = 10 \log\left(\frac{P_t}{P_r}\right) = -10 \log\left(\frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}\right)$$

Esta equação só é válida para a chamada **região de Fresnel**.

Por exemplo, para as normas wireless IEEE 802.11, só pode ser aplicada, em média a mais que um metro do transmissor e do receptor.

Para saber a partir de que distância a fórmula de Friis pode ser aplicada, pode-se usar a seguinte expressão:



$$d_f = \frac{2D^2}{\lambda}$$

D representa a maior dimensão da antena utilizada

GRADIENTE “n” POTÊNCIA-DISTÂNCIA

Perceba que o sinal recebido pelo receptor é proporcional a:

$$P_t \times d^{-n}$$

n no caso do espaço livre é igual a **2**

Para o espaço
livre



$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

MODELAGEM IEEE / ITU-T

Modelo ITU-R Recomendação P.1238

$$L_{total} = 20 \log_{10} f + N \log_{10} d + L_f(n) - 28 \quad \text{dB}$$

Perda total

Freqüência em MHz

Distância
Transmissor-
receptor

Gradiente **N**

Fator de perda por
penetração no
piso, onde **n**
representa o
número de pisos

MODELAGEM IEEE / ITU-T (II)

$$L_{total} = 20 \log_{10} f + N \log_{10} d + L_f(n) - 28 \quad \text{dB}$$

= $10 \times n$

Table 1: Power Loss Coefficients as specified by ITU-R P1238

| Frequency | Residential | Office | Commercial |
|-----------------------|-------------|--------|------------|
| 900 MHz | - | 33 | 20 |
| 1.2-1.3 GHz | - | 32 | 22 |
| 1.8-2.4 GHz | 28 | 30 | 22 |
| 4 GHz | - | 28 | 22 |
| 5.2 GHz | - | 31 | - |
| 60 GHz ⁽¹⁾ | - | 22 | 17 |

Table 2: Floor penetration loss factors, L_f (dB) with n being the number of floors penetrated, for indoor transmission loss calculation ($n \geq 1$)

| Frequency | Residential | Office | Commercial |
|-------------|-------------|---|-----------------|
| 900 MHz | - | 9 (1 floor) 19 (2 floors) 24 (3 floors) | - |
| 1.8-2.4 GHz | $4 n$ | $15 + 4 (n - 1)$ | $6 + 3 (n - 1)$ |
| 5.2 GHz | - | 16 (1 floor) | - |

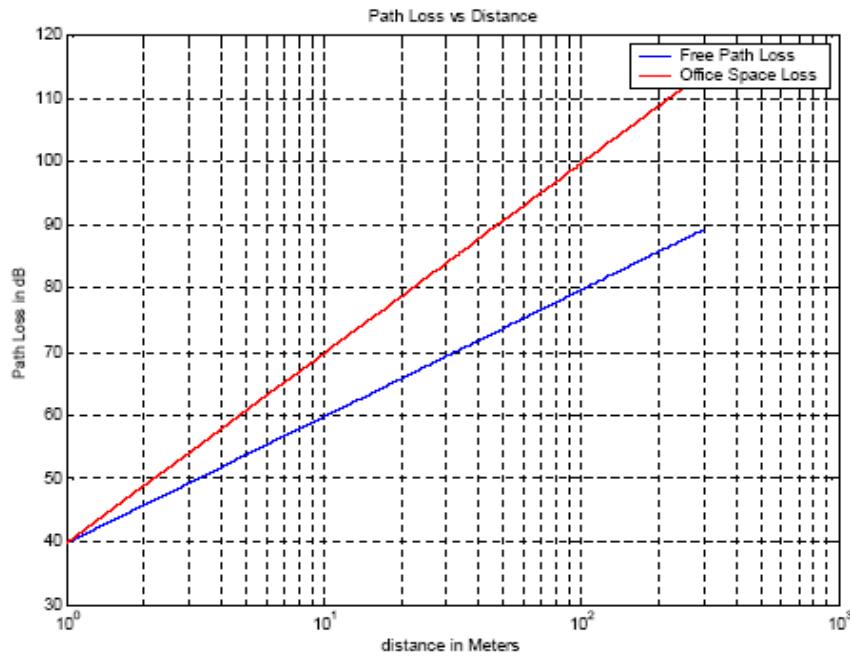
DESVIO PADRÃO

Table 3: Shadow fading statistics, standard deviation (dB), for indoor transmission loss calculation

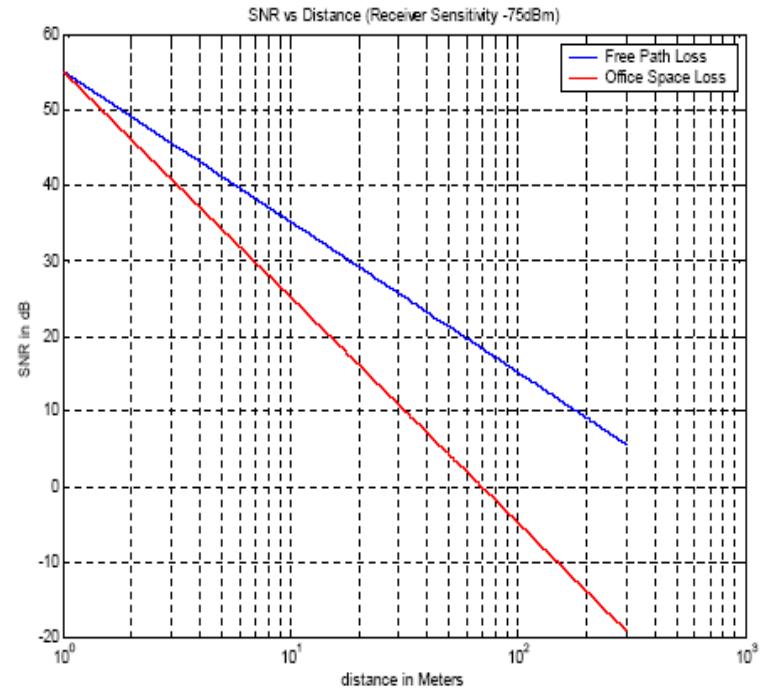
| Frequency | Residential | Office | Commercial |
|-------------|-------------|--------|------------|
| 1.8-2.4 GHz | 8 | 10 | 10 |
| 5.2 GHz | - | 12 | - |

MODELAGEM IEEE / ITU-T (IV)

PERDAS



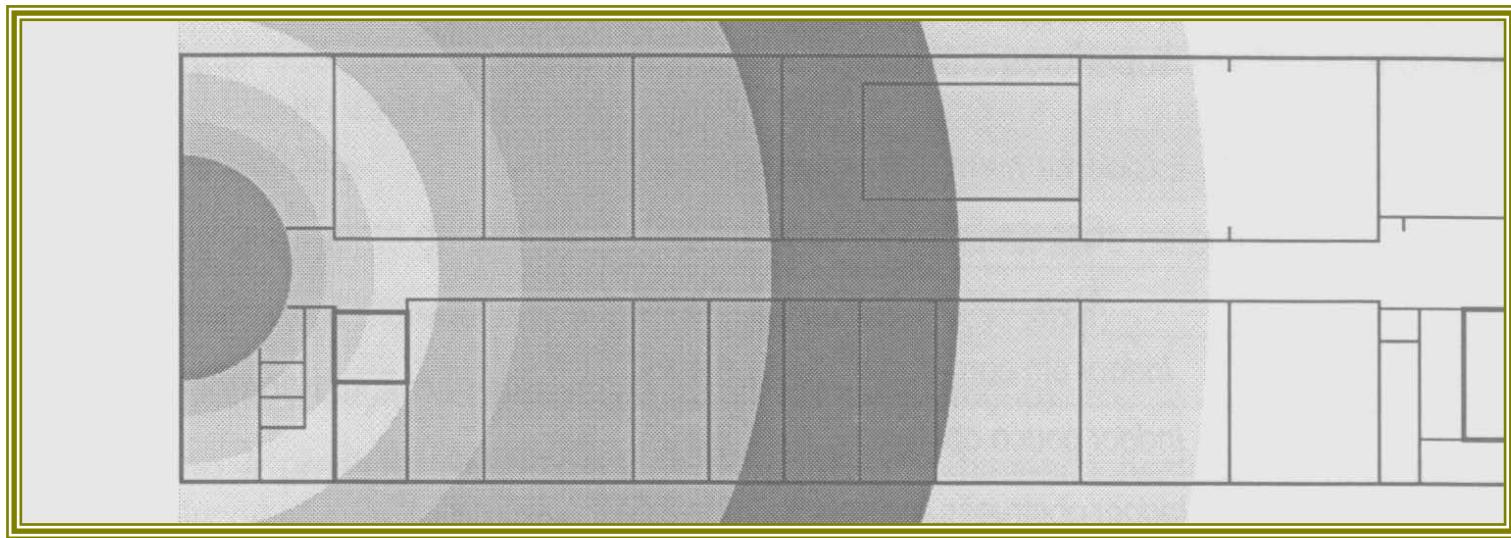
SNR



MODELO IEEE/ITU-T @ IEEE 802.11b

| Table 4: Data rate, required SNR, distance office and distance free space | | | |
|---|--------------|-----------------|---------------------|
| Data Rate | Required SNR | Distance Office | Distance Free Space |
| 11 Mbps | 9dB | 33m | 180m |
| 5.5 Mbps | 5dB | 50m | 300m |
| 2 Mbps | 3dB | 60m | |
| 1 Mbps | 1dB | 70m | |

CRÍTICA AO MODELO IEEE / ITU-T



O modelo é **empírico** e baseado em estatísticas de cunho bastante **generalista**.

O MODELO *ONE-SLOPE*



$$L = L(d_o) + 10 \times n \times \log(d)$$

- **L** : Perda por propagação em função da distância (dB)
- d_o : Distância mínima para podermos utilizar a equação de Friis
- $L(d_o)$: Perda de propagação à distância d_o da fonte
- n : Gradiente de potência-distância

PERDA $L(d_o)$

Valores de $L(d_0)$ para várias faixas de freqüências

| Freqüência - MHz | L_0 - dB |
|--|------------|
| 900 | 31,5 |
| 1900 | 38 |
| 2400 | 40,2 |
| 4000 | 44,5 |
| 5300 | 46,9 |
| 7000 | 49,34 |
| <i>Valor utilizado no cálculo One Slope</i> | 40,2 |
| <i>Valor utilizado no cálculo Multi-Wall</i> | 40,2 |

EXEMPLOS DE GRADIENTE n



| Expoente n em alguns ambientes | |
|-----------------------------------|-----------|
| Espaço livre | 2 |
| Área urbana | 2.7 a 3.5 |
| <i>Indoor</i> em corredores | 1.6 a 1.8 |
| <i>Indoor</i> pouco obstruído | 2.2 a 2.7 |
| <i>Indoor</i> obstrução média | 2.8 a 3.5 |
| Ambientes abertos semi-livre | 3 a 4 |
| <i>Indoor</i> com muita obstrução | 4 a 6 |

MODELO MULTI-WALL

$$L = L_{FS}(d) + \sum_{i=1}^N (K_{Wi} \times L_{wi}) + K_F \times L_F$$

L: Perda por propagação em função da distância d (dB)

L_{FS} : Perdas no espaço livre entre o transmissor e o receptor (dB)

K_{Wi} : Número de paredes do tipo / entre o transmissor e o receptor

L_{wi} : Fator de atenuação das paredes tipo / (dB)

N: Número de tipos de paredes no ambiente indoor considerado

K_F : Número de pisos penetrados

L_F : Fator de atenuação entre pisos adjacentes (dB)

(*FAF – Floor Attenuation Factor*)

SOBRE O MODELO *MULTI-WALL*

$$L = L_{FS}(d) + \sum_{i=1}^N (K_{Wi} \times L_{wi}) + K_F \times L_F$$

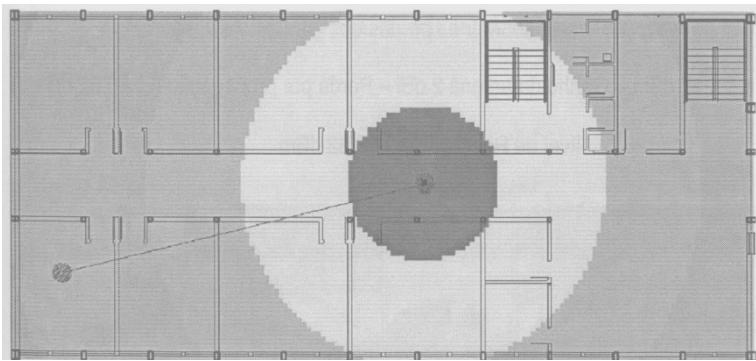
| Material e espessura | 5GHz (dB) | 2,4GHz (dB) |
|--------------------------------------|--------------|----------------|
| Porta de madeira sólida – 45 mm | 10 | 6 |
| Porta de madeira oca – 45 mm | 7 | 4 |
| Parede de tijolo – 90 mm | 10 | 6 |
| Parede de concreto – 450 mm | 30 | 18 |
| Parede interior oca – 100 mm | 3 | 5 |
| Parede interior oca - 150 mm | 4 | 9 |
| Parede interior sólida – 120 mm | 16 | 14 |
| Marmore – 50 mm | 10 | 6 |
| Vidro a prova de bala – 25 mm | 20 | 10 |
| Vidro de segurança com arame - 6 mm | 2 | 3 |
| Vidro de segurança com arame - 25 mm | 18 | 13 |
| Vidro espalhado – 6 mm | 14 | 10 |

| Alguns valores de FAF (Floor Atenuation Factor) | |
|---|----|
| Freqüência - MHz | dB |
| 900 | 10 |
| 1900 | 18 |
| 2400 | 21 |
| 5300 | 26 |

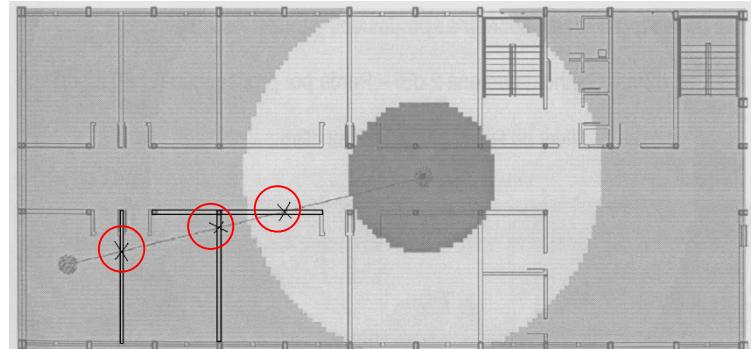
OUTROS OBSTÁCULOS

| Material | 2.4 GHz |
|----------------------------------|----------------|
| Elevator or metal obstacle | -10 dB |
| Metal rack | -6 dB |
| Drywall or sheetrock | -3 dB |
| Nontinted glass windows | -3 dB |
| Wood door | -3 dB |
| Cubicle wall | -2 dB |
| Foundation wall | -15 dB |
| Brick, concrete, concrete blocks | -12 dB |

UM EXEMPLO COMPARATIVO



$$L = L(d_o) + 10 \times n \times \log(d)$$



$$L = L_{FS}(d) + \sum_{i=1}^N (K_{Wi} \times L_{wi}) + K_F \times L_F$$

| One Slope | |
|---------------------------------|-----------|
| Freqüência | 2400 MHz |
| Distância entre base e terminal | 20 metros |
| Expoente n | 2,8 |
| Perda por propagação | 76,63 dB |

| Multiplas Paredes (Multi-Wall) | | |
|--|-------|--------|
| Freqüência | 2400 | MHz |
| Distância entre base e terminal | 20 | metros |
| Expoente n | 2,2 | n |
| Número de paredes tipo i penetradas | 3 | |
| Atenuação nas paredes tipo i | 4 | dB |
| Número de paredes tipo j penetradas | 0 | |
| Atenuação nas paredes tipo j | 6 | dB |
| Número de pisos penetrados | 0 | |
| Atenuação entre pisos adjacentes (FAF) | 21 | dB |
| Perda por propagação | 80,82 | dB |

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- **STALLINGS, W.**- *Wireless Communications and Networking*. Wiley, 2nd ed., 2011
- **STALLINGS, W.**- *Data and Computer Communications*. Wiley, 9ed. , 2011