

Volnys B. Bernal (c) 1

Tecnologia de Redes

Protocolo Ethernet

Volnys Borges Bernal
volnys@lsi.usp.br
<http://www.lsi.usp.br/~volnys>



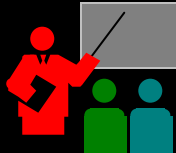
Volnys B. Bernal (c) 2

Agenda

- ❑ Protocolo Aloha
- ❑ Protocolo Ethernet
- ❑ Protocolo IEEE 802.x

Volnys B. Bernal (c) 3

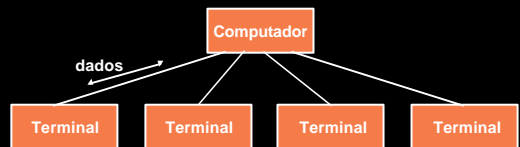
Protocolo Aloha



Volnys B. Bernal (c) 4

Protocolo Aloha

- ❑ Protocolo de acesso ao meio desenvolvido para a "Rede Aloha"
- ❑ Rede Aloha
 - * Rede de radiodifusão via satélite que começou a operar em 1970
 - * Objetivo era interligar o computador do centro de computação da Universidade do Havaí aos terminais localizados na mesma ilha ou em outras ilhas



Volnys B. Bernal (c) 5

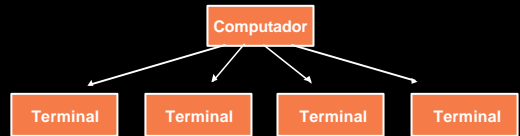
Protocolo Aloha

- ❑ Funcionamento
 - * Existem somente dois canais de comunicação
 - ⇄ um canal para transmissão do computador aos terminais
 - ♦ transmissores:
 - somente o computador central possui transmissor
 - ♦ receptores
 - cada terminal possui um receptor para este canal
 - ⇄ um canal para transmissão dos terminais ao computador
 - ♦ transmissores:
 - cada terminal possui um dispositivo transmissor para este canal
 - ♦ receptores
 - somente o computador central possui um receptor

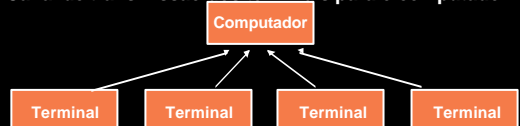
Volnys B. Bernal (c) 6

Protocolo Aloha

- ❑ Canal de transmissão do computador para os terminais



- ❑ Canal de transmissão dos terminais para o computador



Volnys B. Bernal (c) 7

Protocolo Aloha

- ❑ Topologia
 - * Topologia física: estrela
 - * Topologia lógica: barramento
- ❑ Problema:
 - * Colisão:
 - ⇄ Dois ou mais terminais transmitindo ao mesmo tempo
 - * Necessário implementar um método de acesso ao meio

Volnys B. Bernal (c) 8

Protocolo Aloha

- ❑ Método de acesso ao meio
 - * Quando um terminal tem um quadro para transmitir ele o transmite, independente do canal estar sendo utilizado ou não
 - * Após a transmissão é disparado um relógio temporizador, com tempo aleatório
 - * Se após este período não chega uma mensagem de "reconhecimento de transmissão" não chegar após o intervalo, este é transmitido novamente
 - * O receptor no centro de computação é capaz de detectar quando ocorre uma colisão pela verificação do CRC (Código de Redundância Cíclica)

Volnys B. Bernal (c) 9

Protocolo Aloha

- ❑ Colisão e retransmissão

tempo

Volnys B. Bernal (c) 10

Protocolo Aloha

- ❑ Colisão no protocolo aloha

- * Melhoria:
 - ⇄ O ideal seria que os quadros em colisão se sobreponham o máximo possível

Volnys B. Bernal (c) 11

Protocolo Slotted-Aloha

- ❑ Aloha

- ❑ Slotted-Aloha

Volnys B. Bernal (c) 12

Protocolo Aloha

- ❑ Aloha

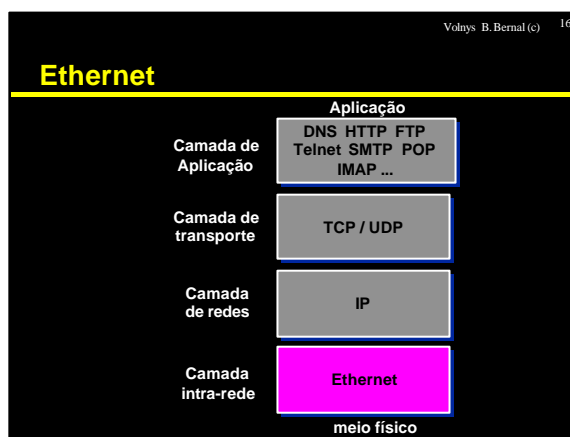
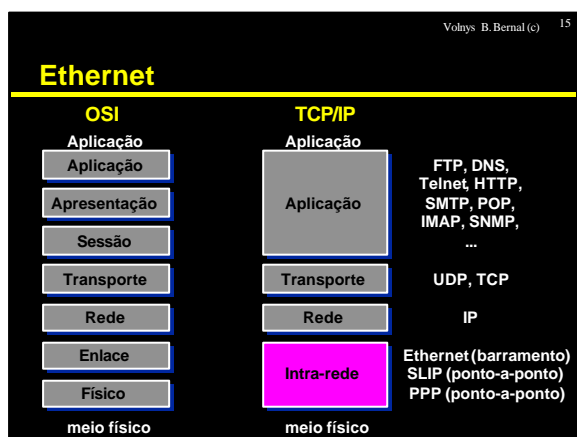
- ❑ Slotted-Aloha



Volnys B. Bernal (c) 14

Ethernet

- ❑ **Protocolo Ethernet**
 - * **Protocolo padrão da Internet (pilha TCP/IP) para a camada intra-rede em redes locais**
 - * **Características**
 - ⇨ tipo de rede lógica: multiponto (barramento)
 - ⇨ protocolo de acesso ao meio: CSMA/CD
 - * **Objetivo:**
 - ⇨ Transferência de pacotes para máquinas que estão na mesma rede
 - * **O termo "Ethernet"**
 - ⇨ geralmente se refere ao padrão publicado em 1982 pela Digital e Xerox
 - ⇨ Existe um padrão similar definido pelo IEEE (será visto logo em seguida)



Volnys B. Bernal (c) 17

Ethernet

- ❑ **Pacote Ethernet**
 - * O pacote Ethernet é responsável pela transmissão de dados entre máquinas de uma mesma rede local que se utiliza do protocolo Ethernet
 - * Para um dado ser transmitido para outra máquina é necessário colocá-lo dentro de um pacote Ethernet
 - * Pode-se fazer uma analogia entre o pacote Ethernet e um caminhão:
 - ⇨ Pacote ethernet Caminhão
 - ⇨ Dado transportado: Container

Volnys B. Bernal (c) 18

Ethernet

- ❑ **Endereço Ethernet**
 - * Também chamado de
 - ⇨ endereço físico
 - ⇨ endereço de hardware
 - ⇨ ou endereço MAC

00	C0	D2	A1	B8	32
Fabricante			Ident da placa		

- * Composto por 6 bytes
 - ⇨ Exemplo de endereço Ethernet: 00:C0:D2:A1:B8:32
- * O endereço Ethernet vem definido com a placa de rede
- * Cada placa de rede possui um endereço físico distinto
- * Endereços adotados pelos fabricantes é organizado pela IANA
 - ⇨ IANA - Internet Assigned Numbers Authority
 - ⇨ <http://www.iana.org>
 - selecione link "Protocol Numbers and Assignment Services"
 - selecione link "Ethernet Numbers"
 - É apresentada uma lista parcial (a segunda) dos fabricantes

Volnys B. Bernal (c) 19

Ethernet

❑ Para mostrar o endereço Ethernet no Windows

```
ipconfig -all
Host Name                : angra.site.com.br
DNS Servers               : 10.0.161.200
                        : 192.168.10.13
Node Type                 : Hybrid
NetBIOS Scope IP         :
IP Routing Enabled        : No
WINS Proxy Enabled       : No
NetBIOS Resolution Uses DNS: Yes
0 Ethernet Adapter:
Description              : DEC DC21140 PCI Fast Eth Adapter
Physical Address         : 00-60-67-30-D3-0D
DHCP Enable              : No
IP Address               : 10.0.161.50
Subnet Mask              : 255.255.254.0
Default Gateway          : 10.0.161.254
Primary WINS Server      : 10.0.161.185
Secondary WINS Server    : 10.0.161.186
```

Volnys B. Bernal (c) 20

Ethernet

❑ Para mostrar o endereço Ethernet no UNIX

```
/sbin/ifconfig -a
lo    Link encap:Local Loopback
      inet:127.0.0.1 Mask:255.0.0.0
      UP LOOPBACK RUNNING MULTICAST  MTU:3924  Metric:1
      RXpackets:3205 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
      Txpackets:3205 errors:0 drppped:0 oversuns:0 carrier:0
      collisions:0 txqueuelen:0

eth0  Link encap: Ethernet HWaddr 00:80:AD:1A:93:87
      inet:10.0.161.59 Bcast:10.0.161.255 Mask:255.255.254.0
      UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
      RXpackets:5823 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:259
      Txpackets:4606 errors:0 drppped:0 oversuns:0 carrier:0
      collisions:381 txqueuelen:100
      Interrupt:10   Base Address:0x340
```

Volnys B. Bernal (c) 21

Exercício

(1) A respeito de endereços ethernet, responda:

- Descubra o endereço Ethernet de sua máquina
- Qual é o número do fabricante representado neste endereço Ethernet?
- A partir deste número, descubra o fabricante (utilize uma lista de números de fabricantes)
- Converta o endereço ethernet para o valor binário
- Qual o valor do oitavo bit do endereço Ethernet de seu computador?

Volnys B. Bernal (c) 22

Ethernet

❑ Pacote Ethernet

- * Endereço Destino : endereço Ethernet do destinatário
- * Endereço Origem : endereço Ethernet do emissor
- * Tipo : tipo de dado sendo transmitido
- * Dados : container de dados
- * CRC : Código de Redundância Cíclica

Volnys B. Bernal (c) 23

Ethernet

❑ Pacote Ethernet

- * Campo "Tipo"
 - ⇨ Define o tipo da informação que o pacote ethernet está transportando
 - ⇨ Alguns valores mais utilizados:
 - ♦ IP v4 : 0800
 - ♦ ARP : 0806
 - ♦ RARP : 8035
 - ⇨ Uma lista parcial dos valores possíveis está em:
 - ♦ <http://www.iana.org>
 - link "Protocol Numbers and Assignment Services"
 - link "Ethernet Numbers"
 - A primeira lista apresentada no documento é uma lista parcial dos possíveis valores deste campo

Volnys B. Bernal (c) 24

Ethernet

❑ Transmissão UNICAST

- * Endereço Destino: Endereço Ethernet da máquina destino
 - ⇨ Neste caso, oitavo bit do endereço ethernet destino sempre terá valor 0 (o oitavo bit é o primeiro bit a ser transmitido no fio!).
 - ⇨ Exemplo:

0 0	C 0	D 2	A 1	B 8	3 2
0000 0000	1100 0000	1101 0010	1010 0001	1011 1000	0011 0010

❑ Transmissão Broadcast

- * Endereço Destino: FF-FF-FF-FF-FF-FF

❑ Transmissão Multicast

- * Endereço Destino: endereço multicast (um endereço ethernet com o oitavo bit do endereço ethernet destino = 1)

Volnys B. Bernal (c) 25

Ethernet

- ❑ MTU
 - * *Maximum Transmission Unit*
 - * Unidade máxima de transmissão
- ❑ Fragmentação
 - * Quando o pacote a ser transmitido é maior do que o MTU o pacote deve ser fragmentado (dividido em várias partes)

Volnys B. Bernal (c) 26

Exercício

(1) Sejam dois computadores (A e B) ligados a uma mesma rede local que utiliza o protocolo Ethernet

Computador A:
 Nome: terra
 Endereço IP: 10.0.0.1
 Endereço Ethernet: 00:C0:24:A5:43:8B

Computador B:
 Nome: marte
 Endereço IP: 10.0.0.2
 Endereço Ethernet: 00:C0:24:A5:48:55

Mostre como seria o formato do pacote Ethernet resultante de uma transmissão unicast de A para B. Suponha que o pacote Ethernet esteja carregando um pacote IP com 125 octetos.

Volnys B. Bernal (c) 27

Exercício

(2) Seja um computador A ligado a uma rede local que utiliza o protocolo Ethernet

Computador A:
 Nome: terra
 Endereço IP: 10.0.0.1
 Endereço Ethernet: 00:C0:24:A5:43:8B

Mostre como seria o formato do pacote Ethernet resultante de uma transmissão broadcast por A. Suponha que o pacote Ethernet esteja carregando um pacote ARP com 28 octetos.

(3) Em um pacote Ethernet qual deve ser o valor do campo tipo se estiver sendo transportado um pacote IPv6 (IP versão 6)?

(4) Qual o valor do parâmetro MTU associado à interface Ethernet de sua máquina?

Volnys B. Bernal (c) 28

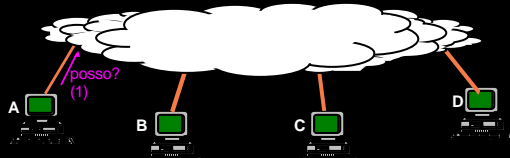
Ethernet

- ❑ Método de acesso ao meio utilizado no Ethernet:
 - * CSMA/CD
 - *Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection*
 - *Carrier Sense*
 - ◆ Antes de transmitir é verificado se o meio está disponível
 - *Multiple Access*
 - ◆ Vários equipamentos podem transmitir no mesmo meio (rede multiponto: barramento)
 - *Collision Detection*
 - ◆ Durante a transmissão do pacote é verificado se ocorreu uma colisão

Volnys B. Bernal (c) 29

Ethernet

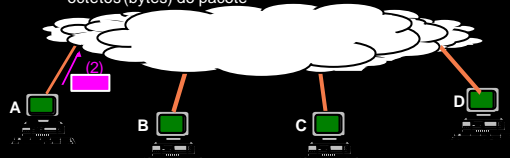
- ❑ Funcionamento do CSMA/CD
 - * (1) O equipamento A deseja transmitir um pacote
 - Se o meio estiver ocupado (existe algum pacote sendo transmitido), aguarda
 - Se o meio está disponível (não existe nenhum pacote sendo transmitido), transmite o pacote



Volnys B. Bernal (c) 30

Ethernet

- ❑ Funcionamento do CSMA/CD
 - * (2) Durante a transmissão do pacote, verifica se não ocorreu colisão
 - A colisão ocorre quando dois ou mais equipamentos transmitem pacotes ao mesmo tempo, misturando o sinal
 - O padrão define que a colisão, quando existir, deve obrigatoriamente ocorrer durante a transmissão dos primeiros 64 octetos (bytes) do pacote

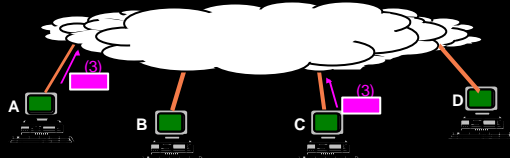


Volnys B. Bernal (c) 31

Ethernet

❑ **Funcionamento do CSMA/CD**

- * (3) Se ocorrer uma colisão
 - o equipamento para imediatamente a transmissão do pacote e transmite um sinal especial (jam) indicando a ocorrência de colisão
 - aguarda um tempo aleatório
 - se o meio estiver disponível, tenta novamente transmitir



Volnys B. Bernal (c) 32

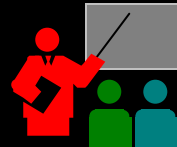
Ethernet

❑ **Colisão**

- * **Deteção**
 - A colisão é detectada pela própria placa de rede através da comparação do sinal transmitido com o sinal recebido
 - Se este sinal for diferente, a placa supõe que tenha ocorrido uma colisão
 - Quando detectada uma colisão, a placa envia um sinal especial (jam) indicando às outras máquinas que ocorreu uma colisão
- * **Ocorrência**
 - Nas redes Ethernet sempre ocorrem colisões
 - Porém, um número excessivo de colisões pode indicar que o meio (barramento) possui:
 - ♦ quantidade muito grande de equipamentos interconectados
 - ♦ equipamentos com taxa de comunicação muito alta
 - ♦ ambas as anteriores

Volnys B. Bernal (c) 33

Protocolo IEEE 802.x



Volnys B. Bernal (c) 34

Protocolo IEEE 802.x

❑ **Padrão 802**

- * Alguns anos após a definição do Ethernet o IEEE (Instituto dos Engenheiros Eletrônicos e Eletricitistas) definiu o padrão IEEE 802.2, semelhante ao padrão Ethernet
- * O IEEE 802 divide a camada inter-redes em três sub-camadas:
 - LLC - Logical Link Control
 - MAC - Medium Access Control
 - Físico
- * Assim, é possível utilizar outros métodos de acesso ao meio, não necessariamente CSMA/CD:
 - 802.2 + 802.3 - CSMA/CD
 - 802.2 + 802.4 - token bus
 - 802.2 + 802.5 - token ring
 - 802.2 + 802.6 - DQDB
- * **Ethernet: semelhante ao Protocolo IEEE 802.2 + IEEE 802.3**

Volnys B. Bernal (c) 35

Ethernet & IEEE 802.x

Camada de Aplicação	DNS HTTP FTP Telnet SMTP POP IMAP ...			
Camada de transporte	TCP / UDP			
Camada entre redes	IP			
Camada de Interface	Ethernet	802.2		
		802.3 CSMA/CD	802.4 Token Bus	802.5 Token Ring
		meio físico		

Volnys B. Bernal (c) 36

Ethernet & 802.x

❑ **Pacote Ethernet**


64 a 1518 octetos									
end. destino	end. origem	tipo	dados				CRC		
6	6	2	46-1500				4		

❑ **Pacote IEEE 802.2 + 802.3**

end. destino	end. origem	compr	DSAP	SSAP	contl	org	tipo	dados	CRC
6	6	2	1	1	1	3	2	38-1492	4

Volnys B. Bernal (c) 37

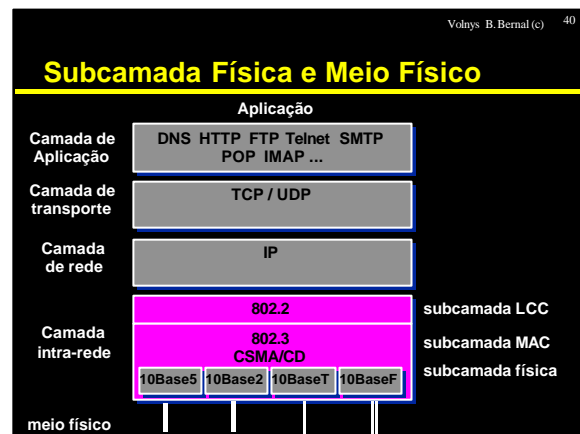
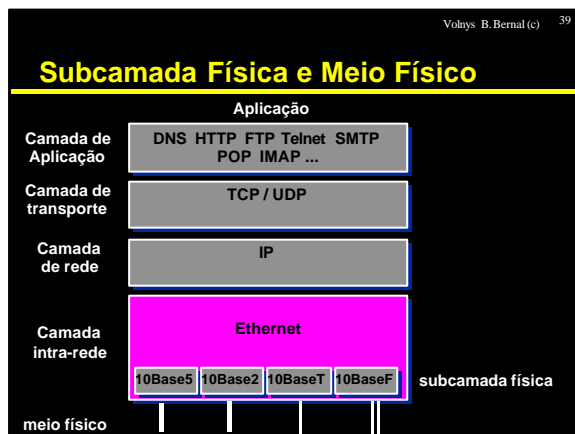
Ethernet e IEEE 802.3: Subcamada Física e Meio Físico



Volnys B. Bernal (c) 38

Subcamada Física e Meio Físico

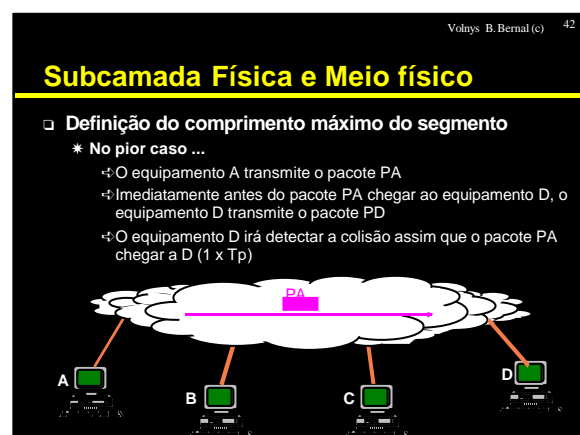
- ❑ **Protocolo Ethernet e IEEE 802.3**
 - * **Suporta as seguintes subcamadas físicas:**
 - ⇨ 10Base5
 - ⇨ 10Base2
 - ⇨ 10BaseT
 - ⇨ 10BaseF
 - * **Restrições: em relação ao comprimento do cabo**
 - ⇨ 10Base5 - 500 m
 - ⇨ 10Base2 - 185 m
 - ⇨ 10BaseT - 100 m
 - ⇨ 10BaseF - 2000 m



Volnys B. Bernal (c) 41

Subcamada Física e Meio Físico

- ❑ **Comprimento máximo do segmento**
 - * **Depende de:**
 - ⇨ tempo de propagação do cabo
 - ♦ tempo que o sinal leva para se propagar no cabo
 - ♦ depende do meio físico utilizado (coaxial, UTP, fibra)
 - ⇨ tamanho mínimo do pacote Ethernet (64 bytes)
 - ⇨ velocidade de transferência (Ethernet = 10Mbps)
 - * **Comprimento máximo do cabo:**
 - ⇨ $T_t \geq 2 T_p$
 - ♦ T_t - Tempo de transmissão do menor pacote (64 bytes)
 - ♦ T_p - Tempo de propagação do sinal entre dois pontos mais distantes (comprimento máximo) de um mesmo segmento de repetição



Volnys B. Bernal (c) 43

Subcamada Física e Meio Físico

- **Definição do comprimento máximo do segmento (cont.)**
 - O equipamento A irá detectar a colisão somente quando o pacote PD chegar a A ($\sim 2 \times T_p$)
 - A colisão deve ocorrer antes de ser transmitido o último octeto (byte) do pacote PA, ou seja:
 - $T_t \geq 2 T_p$
 - T_p - Tempo de propagação do sinal entre A e D
 - T_t - Tempo de transmissão do menor pacote (64 octetos)

Volnys B. Bernal (c) 44

Equipamentos para Ethernet

Volnys B. Bernal (c) 45

Equipamentos Ethernet

- **Equipamentos**
 - * Repetidor
 - * HUB
 - * Bridge
 - * Switch

Volnys B. Bernal (c) 46

Repetidor

- **Todo sinal recebido por uma porta é repetido nas outras portas**
- **Restrições**
 - * Estas restrições são estabelecidas devido ao problema da colisão ter que ser detectada antes da transmissão do octeto 64
 - * Restrições quanto ao número de repetidores em cascata:
 - Utilizando somente cabo coaxial (10Base2 ou 10Base5)
 - Máximo de 4 repetidores entre dois nós
 - Sendo que 2 segmentos não pode ser povoado!

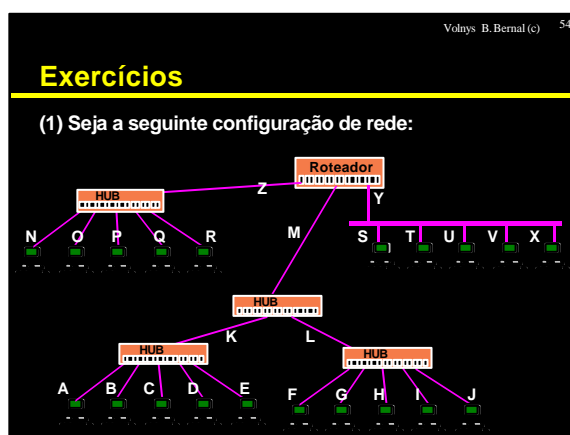
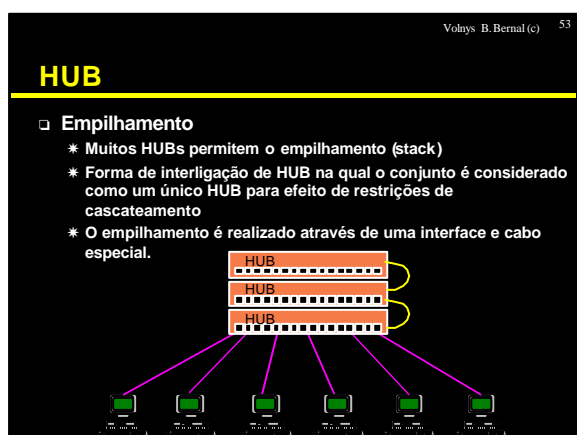
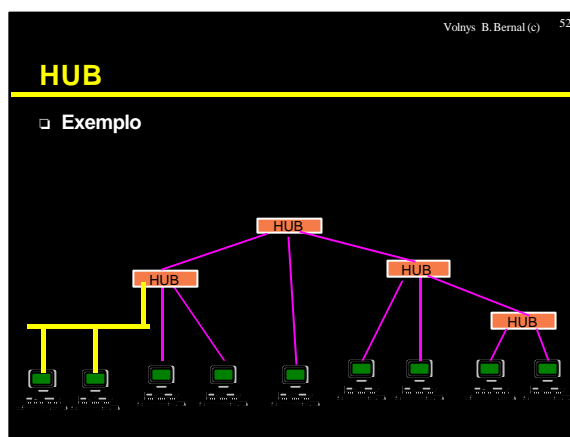
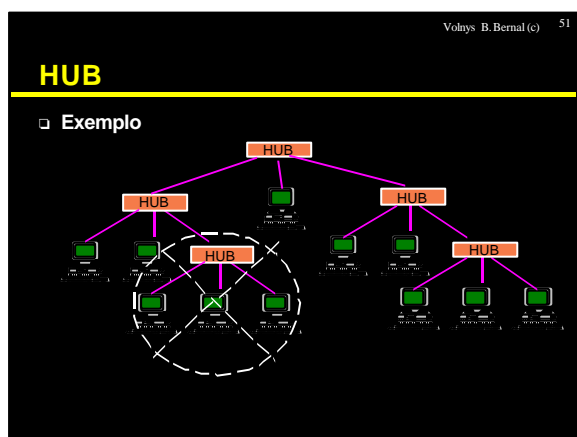
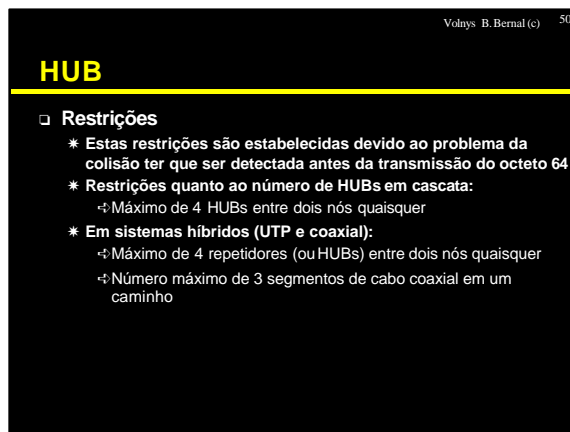
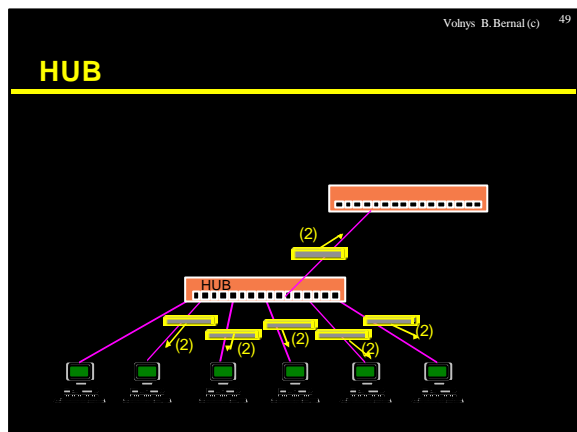
Volnys B. Bernal (c) 47

HUB

- **O HUB é um repetidor para topologia física tipo estrela**
 - * Para ser utilizado com cabeamento estruturado
 - * Utilizado junto aos concentradores de fiação (patch panel)
- **Funcionamento:**
 - * Todo sinal recebido por uma porta é repetido nas outras portas

Volnys B. Bernal (c) 48

HUB

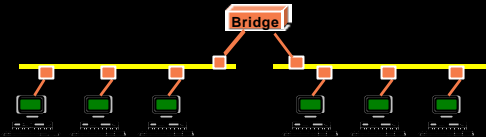


Exercícios

- Quantos domínios de broadcast (ou redes locais) estão definidos nesta configuração?
- Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet unicast para B. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?
- Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet broadcast. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?
- Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet unicast para S. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?
- Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet broadcast para P. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?

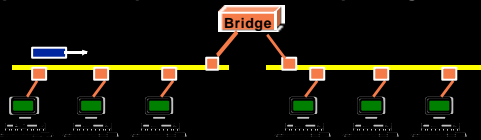
Bridge

- “Ponte” entre redes
- Permite “juntar” duas redes locais (dois barramentos) formando uma única rede



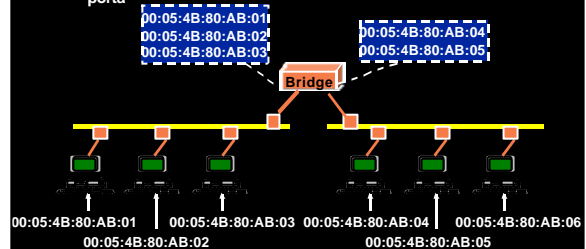
Bridge

- A bridge, ao invés do repetidor que sempre propaga um pacote para todas as interfaces, irá somente propagar um pacote para uma determinada interface quando for estritamente necessário.
- Existem algumas restrições relativas à utilização de múltiplas bridges em uma rede como o de não permitir ciclos. Caso existam “ciclos” é necessário utilizar um protocolo complementar chamado “spanning tree”.



Bridge

- Funcionamento
 - Para cada porta é mantida uma tabela (tabela de bridging) com os endereços Ethernet das interfaces que estão a partir desta porta



Bridge

- Funcionamento
 - A “Tabela de Bridging” é construída dinamicamente:
 - Quando um pacote Ethernet é recebido por uma das portas, é obtido o endereço ethernet de origem do pacote (máquina que o enviou).
 - É verificado se este endereço já existe na tabela de bridging desta porta
 - Se não existir, este é inserido
 - Cada entrada possui um tempo limitado de vida.

Bridge

- Para um pacote unicast:
 - Quando chega um pacote Unicast em uma porta:
 - É consultada a tabela de bridging da porta para verificar se a máquina destino se encontra a partir desta mesma porta.
 - Se estiver na tabela da mesma porta, descarta o pacote
 - Senão, consulta as tabelas de bridging das outras portas
 - Se achar uma porta cuja tabela de bridging tenha o endereço Ethernet do destinatário, transmite o pacote por esta porta
 - Se não achar em nenhuma porta, transmite para todas as portas

Volnys B. Bernal (c) 61

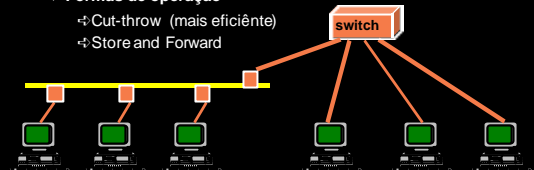
Bridge

- Para um pacote Broadcast:
 - * Quando chega um pacote broadcast em uma porta
 - Transmite para todas as portas

Volnys B. Bernal (c) 62

Switch


- Switch
 - * Evolução da Bridge:
 - várias portas
 - várias transmissões entre portas simultaneamente
 - utilização de buffers (para enfileirar um pacotes quando a porta de destino está ocupada)
 - * Formas de operação
 - Cut-throw (mais eficiente)
 - Store and Forward



Volnys B. Bernal (c) 63

Switch

- Switch
 - * Formas de operação
 - Store and Forward
 - ◆ Armazena o pacote inteiro (store) para então envia-lo pela porta destino
 - Cut-throw (mais eficiente)
 - ◆ Assim que o campo de destinatário é recebido pode começar a enviar o pacote pela porta



Volnys B. Bernal (c) 64

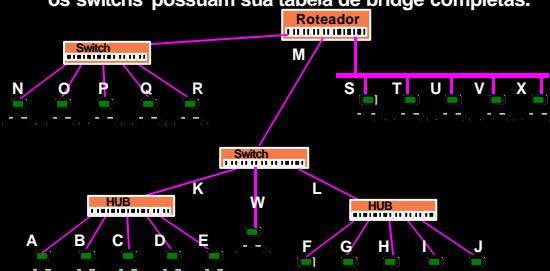
Bridge e Switch: Modos de operação

- Modos de operação de Bridge / Switch
 - * Transparent Bridge
 - Descobre automaticamente os equipamentos que estão abaixo de cada porta de bridge
 - Para cada porta mantém uma tabela com endereços ethernet dos equipamentos que estão abaixo da porta
 - Descoberta: Quando o primeiro pacote proveniente do equipamento é recebido por uma porta é verificado o endereço ethernet de origem
 - * Spanning Tree
 - Protocolo que permite tratar conexões cíclicas, transformando em uma árvore

Volnys B. Bernal (c) 65

Exercícios

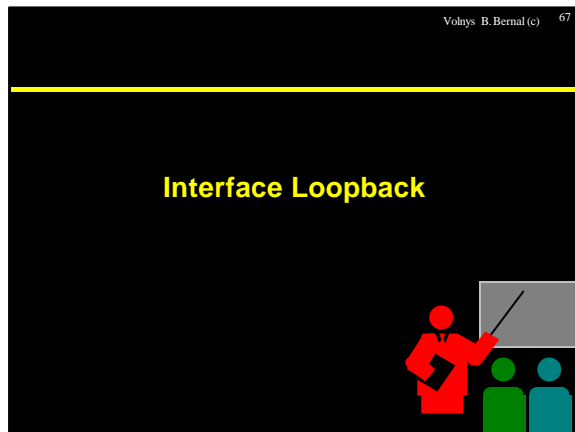
(2) Seja a seguinte configuração de rede e suponha que os switches possuam sua tabela de bridge completas.



Volnys B. Bernal (c) 66

Exercícios

- Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet unicast para B. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?
- Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet broadcast. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?
- Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet unicast para W. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?
- Suponha que a máquina A transmita um pacote ethernet unicast para F. Este pacote ethernet irá chegar a quais interfaces de rede?



Volnys B. Bernal (c) 68

Interface Loopback

- ❑ Interface “virtual”
- ❑ Utilizada quando é necessário contactar via protocolos de rede o próprio host

Volnys B. Bernal (c) 69

Exercícios

(1) Projete uma rede para uma empresa onde existem 2 prédios (A e B) separados por 400 m. Cada prédio possui 3 andares (A1,A2,A3, B1,B2,B3). Os computadores estão distribuídos da seguinte maneira:

A3 = 20	B3 = 5
A2 = 16	B2 = 28
A1 = 30	B1 = 40 (5 destes são servidores)

A medida de cada andar é 20 m x 50 m.
Uma linha LP externa chega ao andar B1.

a) Seguindo a recomendação de cabeamento estruturado defina a tecnologia de cabeamento utilizada, a localização dos centros de distribuição e a localização da sala central de distribuição.

b) Projete a rede utilizando somente HUBs de 24 portas

Volnys B. Bernal (c) 70

Exercícios

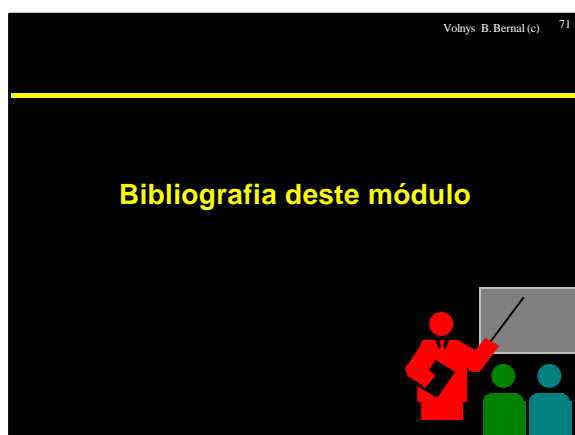
(2) Nesta configuração, quantas máquinas podem transmitir ao mesmo tempo na rede local? Explique!

(3) Projete a rede anterior utilizando HUBs de 24 portas e 1 switch de 12 portas.

(4) No seu projeto é possível conectar os servidores diretamente ao switch?

(5) Nesta configuração, quantas máquinas podem transmitir ao mesmo tempo na rede local? Explique!

(6) Projete a rede anterior utilizando HUBs de 24 portas e 2 switches de 12 portas



Volnys B. Bernal (c) 72

Bibliografia deste módulo

- ❑ Livros
 - * TCP/IP Illustrated Volume 1: The Protocols
 - STEVENS, W. RICHARD.
 - Addison-Wesley. 1994.
 - * Computer Networks
 - TANENBAUM, ANDREW S.
 - 3rd edition. Prentice Hall 1996.
 - * Redes de Computadores: das LANs MANs e WANs às Redes ATM
 - SOARES, LUIZ F. G.
 - Editora Campus. 1995