

# Nível de Rede

---

**Mestrado Integrado em  
Engenharia de Comunicações**

3º ano

1º semestre

2012/2013



# Sumário

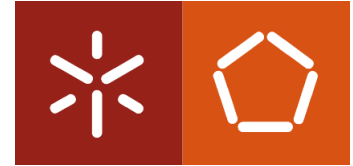


- Interligação de Redes
  - Encapsulamento na pilha TCP/IP
- Datagramas IP versão 4 (IPv4)
  - Cabeçalhos IPv4
  - Fragmentação e reagrupamento
- Endereçamento (IPv4)
  - Classfull e classless
  - Subnetting e supernetting
- Atribuição dinâmica de endereços (DHCP)
- Resolução de endereços nível 2 (ARP)
- Mensagens de Controlo (ICMP)

# Interligação de Redes



- **Nenhuma das tecnologias existentes de rede local (LAN) é adequada para satisfazer todos os requisitos de comunicações das aplicações.**
- **Nenhuma dessas tecnologias é totalmente escalável:**
  - Os endereços não têm estrutura, resultando em:
    - dificuldade de distribuição e administração
    - complexidade no encaminhamento dos PDU, mas...
  - Não há mecanismos de encaminhamento nos protocolos
  - Os PDU têm comprimentos limitados;
  - Os métodos de acesso não suportam grandes distâncias



### Questão:

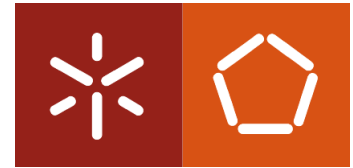
***Será que para existir um serviço de rede único e global (universal) é necessário adoptar a mesma tecnologia de rede em todos os locais? Ou será possível oferecer serviços de conectividade universal mesmo adoptando diferentes tecnologias locais?***

**É possível a conectividade global entre redes com protocolos locais distintos introduzindo uma camada protocolar superior independente daqueles:**

A camada protocolar de rede, também chamada de interligação de redes ou de internetworking.

# Interligação de Redes

## *Introdução*



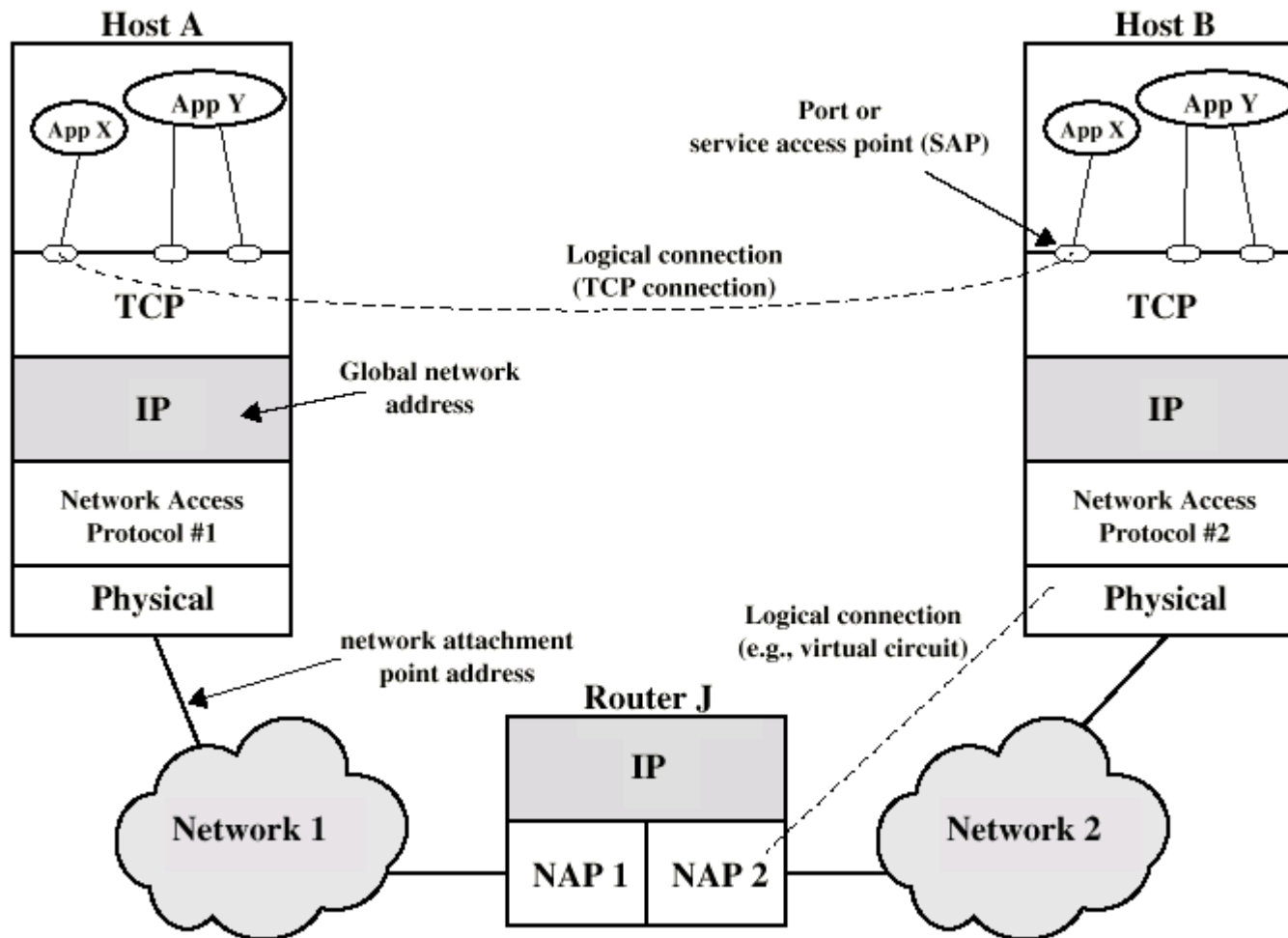
**A Interligação de Redes baseia-se na utilização de funcionalidades específicas de rede (realizadas tanto em *hardware* como em *software*) que proporcionam um serviço global de interligação de redes locais (LAN) heterogéneas:**

- *Software:* protocolos de rede (*internetworking*)
- *Hardware:* *routers* (encaminhadores)

**A maior Rede de Redes que existe: Internet**

# Interligação de Redes

## Introdução



# Interligação de Redes

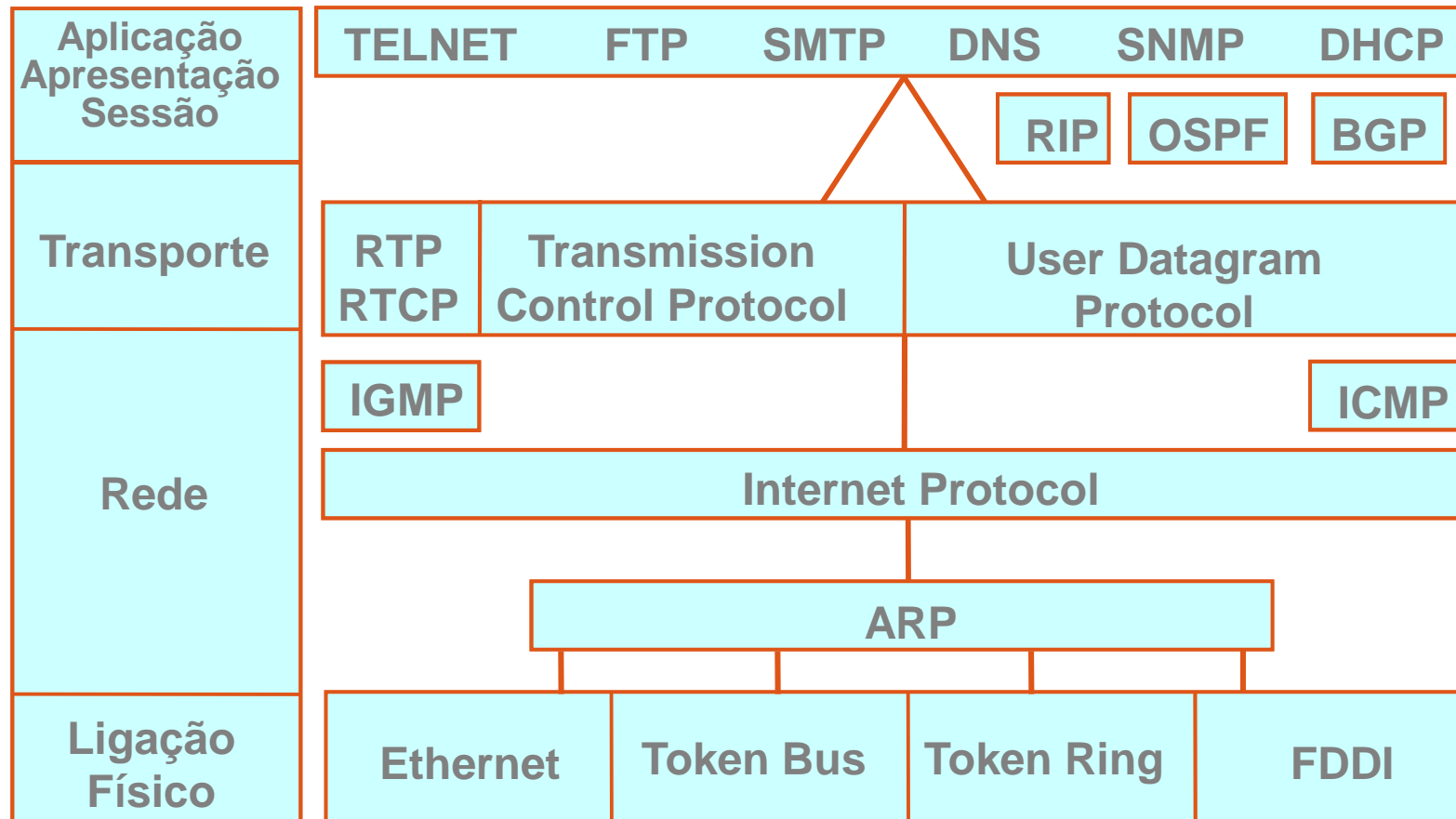
## *A pilha TCP/IP*



- **O protocolo do nível de rede mais utilizado é o protocolo de rede usado na Internet: o Internet Protocol (IP), da pilha protocolar TCP/IP**
- **A pilha TCP/IP apresenta como principais características:**
  - **Aberta**
    - especificações publicadas e bem conhecidas
    - abertura completa ao desenvolvimento de código
  - **Portável**
    - independência do sistema operativo e plataforma
    - quaisquer sistemas podem comunicar
  - **Estável e Robusta**
    - normas testadas ao longo de três décadas e fixas
    - mas ainda em desenvolvimento e aperfeiçoamento
  - **Suporte global**
    - incluída em todos os sistemas de computação

# Interligação de Redes

## *A pilha TCP/IP*





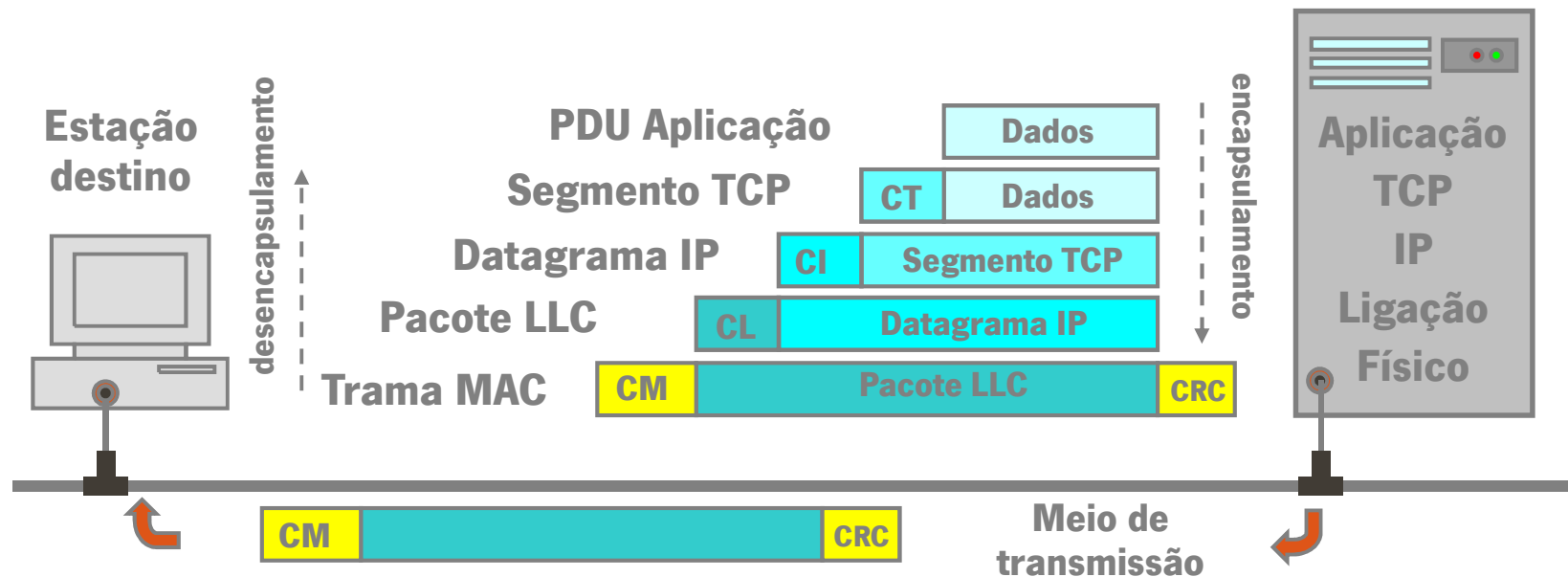
# Interligação de Redes

## Encapsulamento TCP/IP



**A hierarquia protocolar por camadas traduz-se no encapsulamento dos PDU:**

- Na origem, o PDU da camada N+1 é inserido no campo de dados do PDU da camada N
- No destino, o PDU da camada N é recuperado do campo de dados do PDU da camada N-1



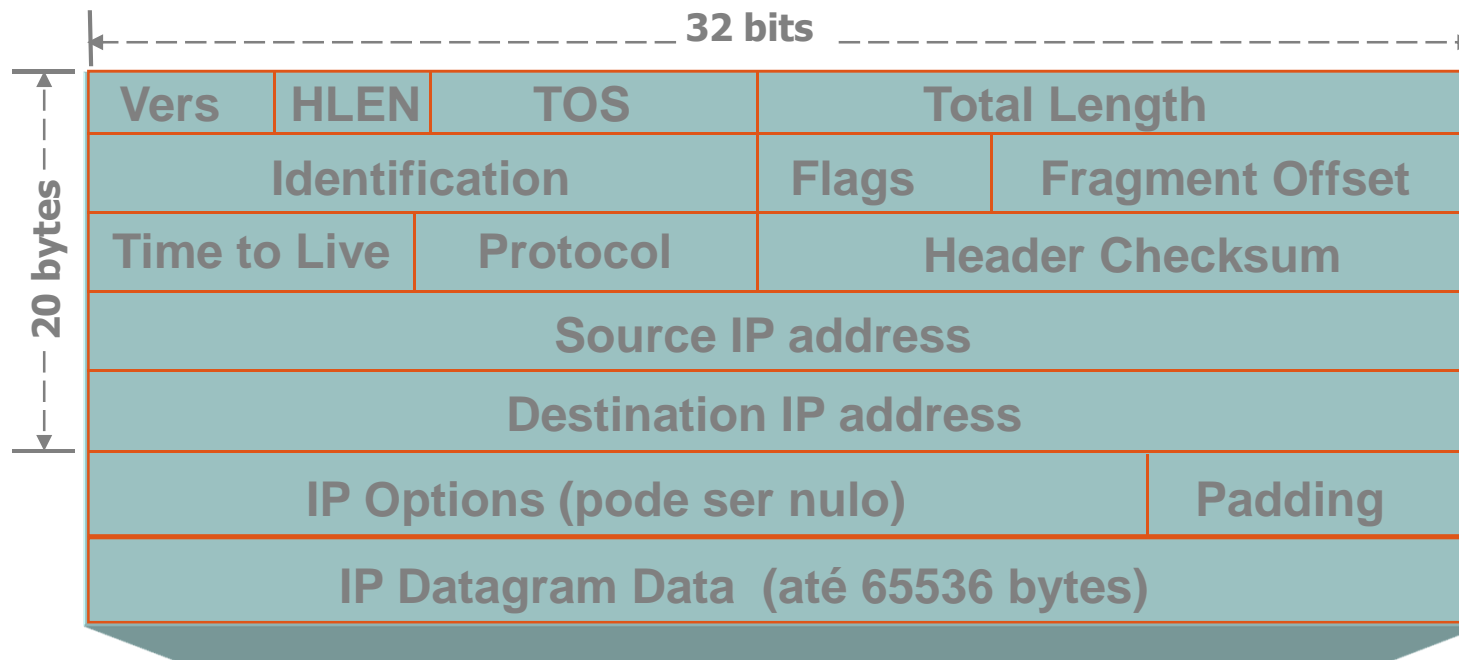
# IP – Internet Protocol



- **É um protocolo de interligação de rede, cujo paradigma protocolar é o melhor esforço (*best effort*):**
  - o protocolo esforça-se por entregar os datagramas ao destino mas não o garante (datagramas podem perder-se)
- **Versões: IPv4 (em uso generalizado), IPv6 (em instalação)**
- **Principais funções:**
  - fornece a unidade elementar de transferência de dados:
    - o PDU do IP é um datagrama IP
    - inclui mecanismos para o seu encaminhamento
  - fragmentação de datagramas: transita em qualquer LAN
  - incorpora um esquema de endereçamento universal

# IP – Internet Protocol

## *Formato dos datagramas*



Ethernet Data Field

# IP – Internet Protocol

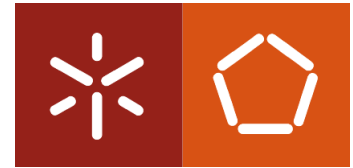
## *Formato dos datagramas*



- **Vers** (4bit): versão do protocolo (valor 4 ou valor 6)
- **HLEN** (4bit): tamanho do cabeçalho em blocos de 32 bits; valor mínimo é 5;
- **TOS** (8bit): dá uma indicação em abstracto dos parâmetros de qualidade de serviço pretendidos (atraso baixo, débito elevado, etc)
- **Total Length** (16bit): tamanho total (cabeçalho+dados) em bytes; (máximo é 65535, mas normalmente não passa dos 1500 bytes)
- **Identification** (16bit): identificador único por datagrama e por cada conexão que ajuda a identificar todos os fragmentos que devem ser reagrupados
- **Flags** (3bit): Bit 0 = 0 (reservado); Bit 1 = DF (don't fragment); Bit 2 = MF (more fragments);
- **Fragment Offset** (13bit): define a que parte do datagrama pertence este fragmento e mede-se em blocos de 64 bits (8 bytes)

# IP – Internet Protocol

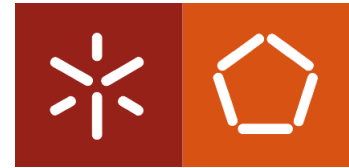
## *Formato dos datagramas*



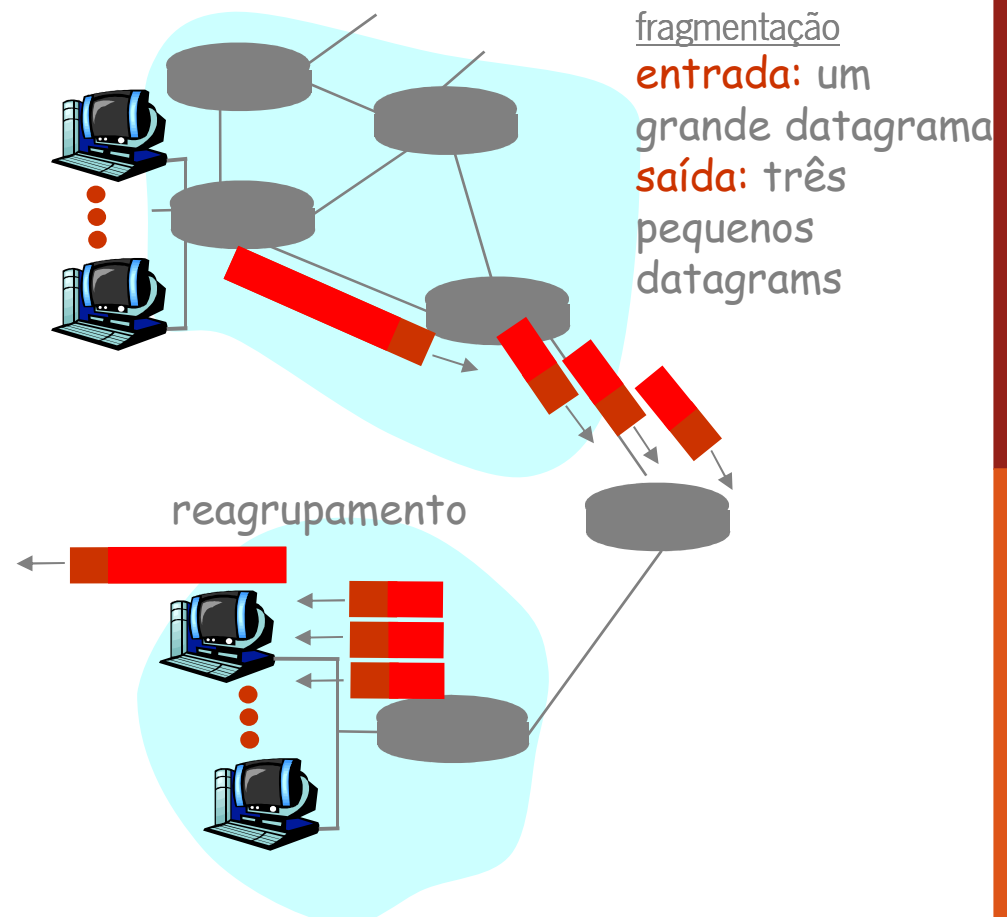
- **Time To Live** (8bit): máximo tempo de vida do datagrama que é decrementado a cada salto; quando o valor é zero o datagrama é destruído;
- **Protocol** (8bit): usado para identificar qual o protocolo da camada acima a quem devem ser entregues os dados transportados
- **Header Checksum** (16bit): soma de verificação em complemento para 1 do cabeçalho (recalculado em cada salto por causa do TTL)
- **IP Options** (opcional e de tamanho variável):
  - **Security**
  - **Loose Source Rounting**
  - **Strict Source Routing**
  - **Record Route**
  - **Stream ID**
  - **Internet Timestamp**

# IP – Internet Protocol

## *Fragmentação e reagrupamento*



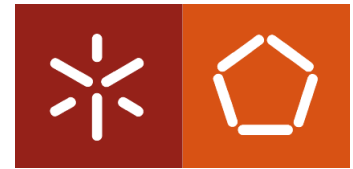
- **As ligações de rede têm diferentes MTU (max.transfer unit) – tamanho máximo da trama da camada de ligação**
  - Diferentes tipos de ligação implicam diferentes MTUs
- **Um datagrama IP “demasiado grande” é dividido em vários fragmentos dentro da rede**
  - Um datagrama transforma-se em vários datagramas
  - A junção é efectuada apenas no nó destino
  - Existem no cabeçalho IP um conjunto de campos para identificar e ordenar fragmentos.



Universidade do MinhoFonte: Computer Networking: A Top-Down Approach  
Featuring the Internet, J. Kurose, Addison-Wesley, 2001

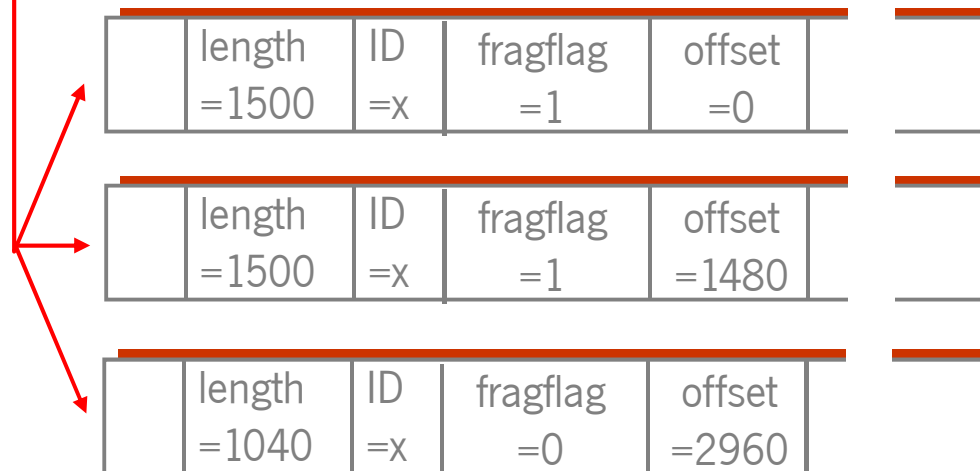
# IP – Internet Protocol

## *Fragmentação e reagrupamento*



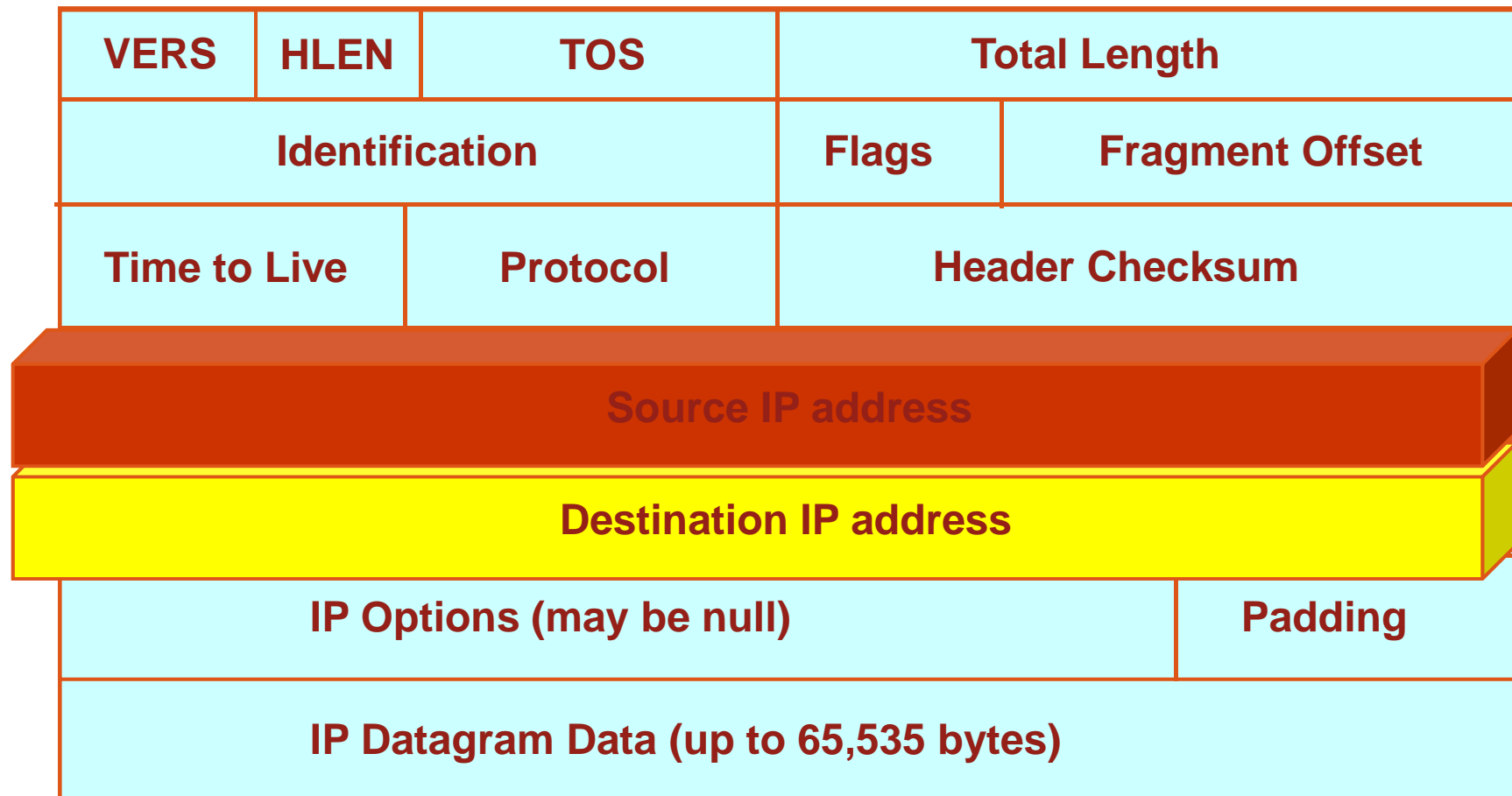
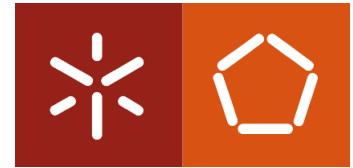
	length =4000	ID =x	fragflag =0	offset =0	
--	-----------------	----------	----------------	--------------	--

**Um grande datagrama transforma-se em vários pequenos datagramas**



# IP – Internet Protocol

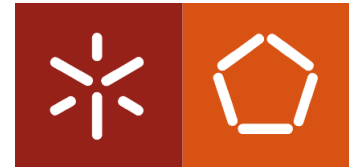
## *Endereçamento*





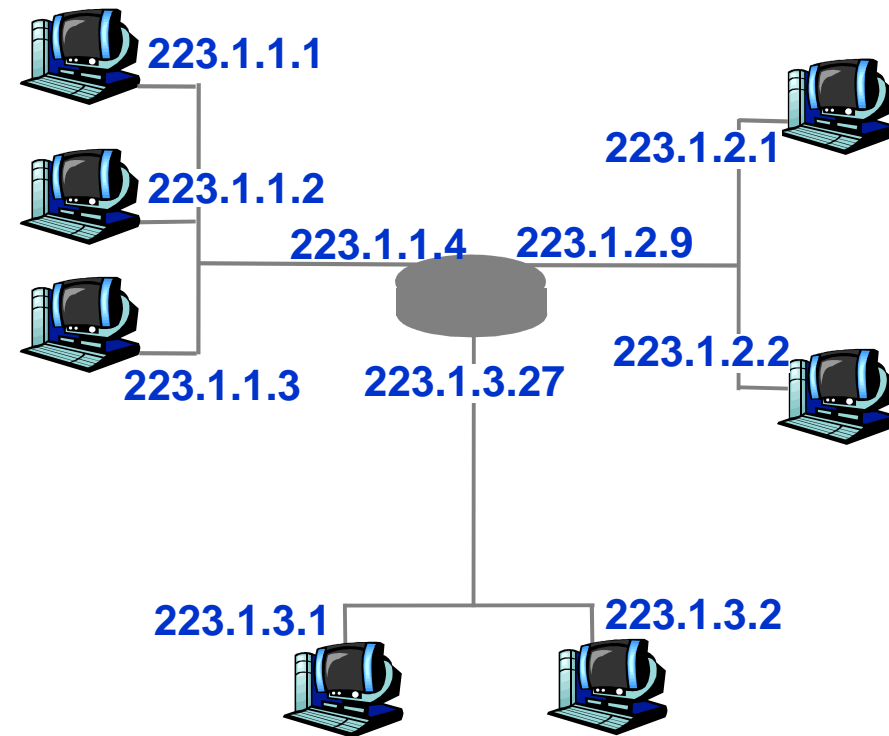
# IP – Internet Protocol

## Endereçamento



- **Endereço IP:** identificador de 32-bits por interface do sistema terminal ou encaminhador
- **Interface:** ligação entre o sistema terminal ou o encaminhador e a ligação física
  - Os encaminhadores têm tipicamente múltiplas interfaces
  - Os sistemas terminais podem ter múltiplas interfaces
  - Os endereços IP associam-se a interfaces (não a sistemas terminais ou encaminhadores)

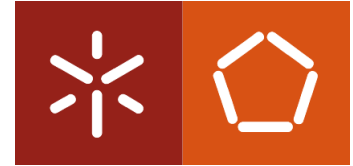
### Interligações de rede com 3 redes IP



Fonte: Computer Networking: A Top-Down Approach Featuring the Internet, J. Kurose, Addison-Wesley, 2001

# IP – Internet Protocol

## *Endereçamento*



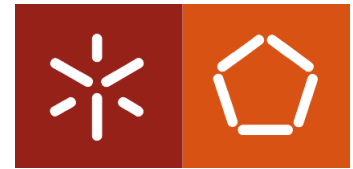
- **Endereço IP:**
  - Parte da Rede (bits mais significativos)
  - Parte do Sistema Terminal (bits menos significativos)
- ***O que é uma Rede ?* (perspectiva dos endereços IP)**
  - interfaces de dispositivos com a mesma “Parte de Rede”
  - mutuamente e fisicamente atingíveis sem intervenção de um encaminhador

223.1.1.1 = 11011111 00000001 00000001 00000001

223                      1                      1                      1

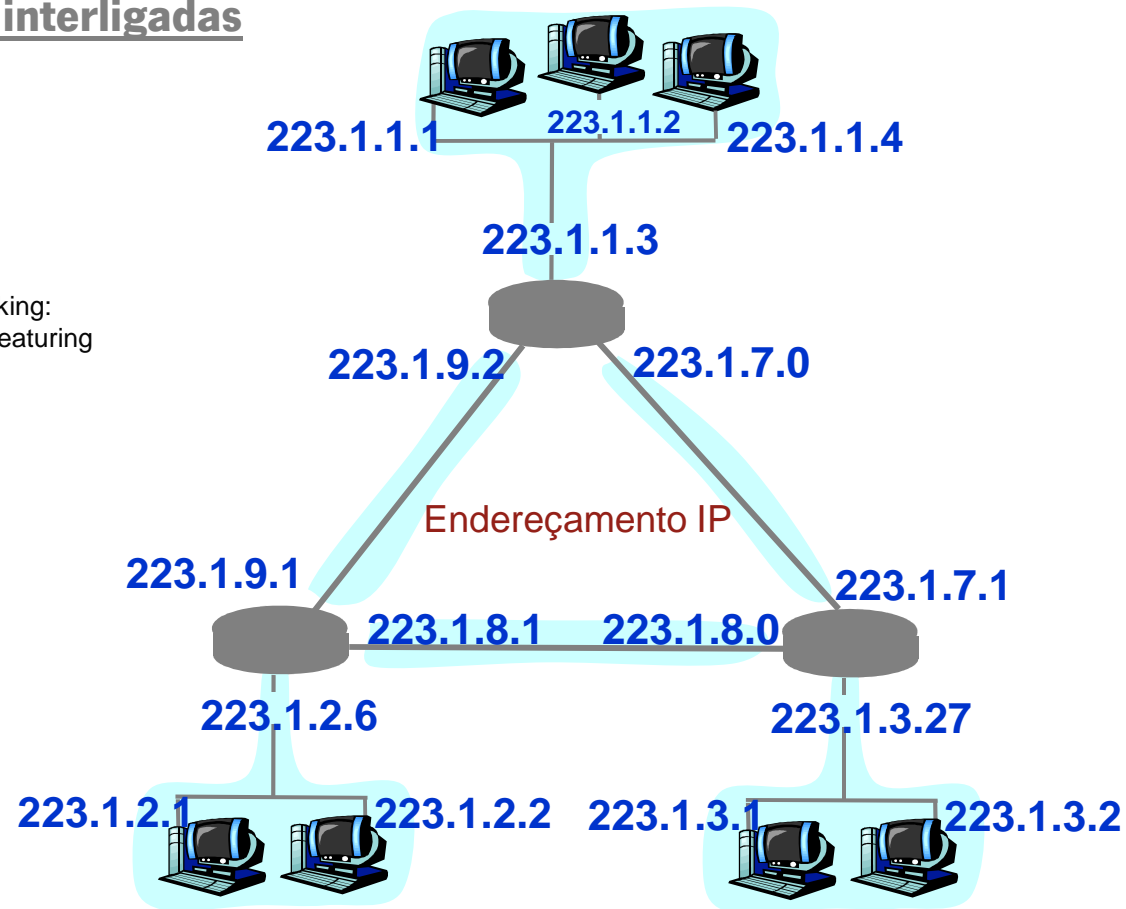
# IP – Internet Protocol

## Endereçamento



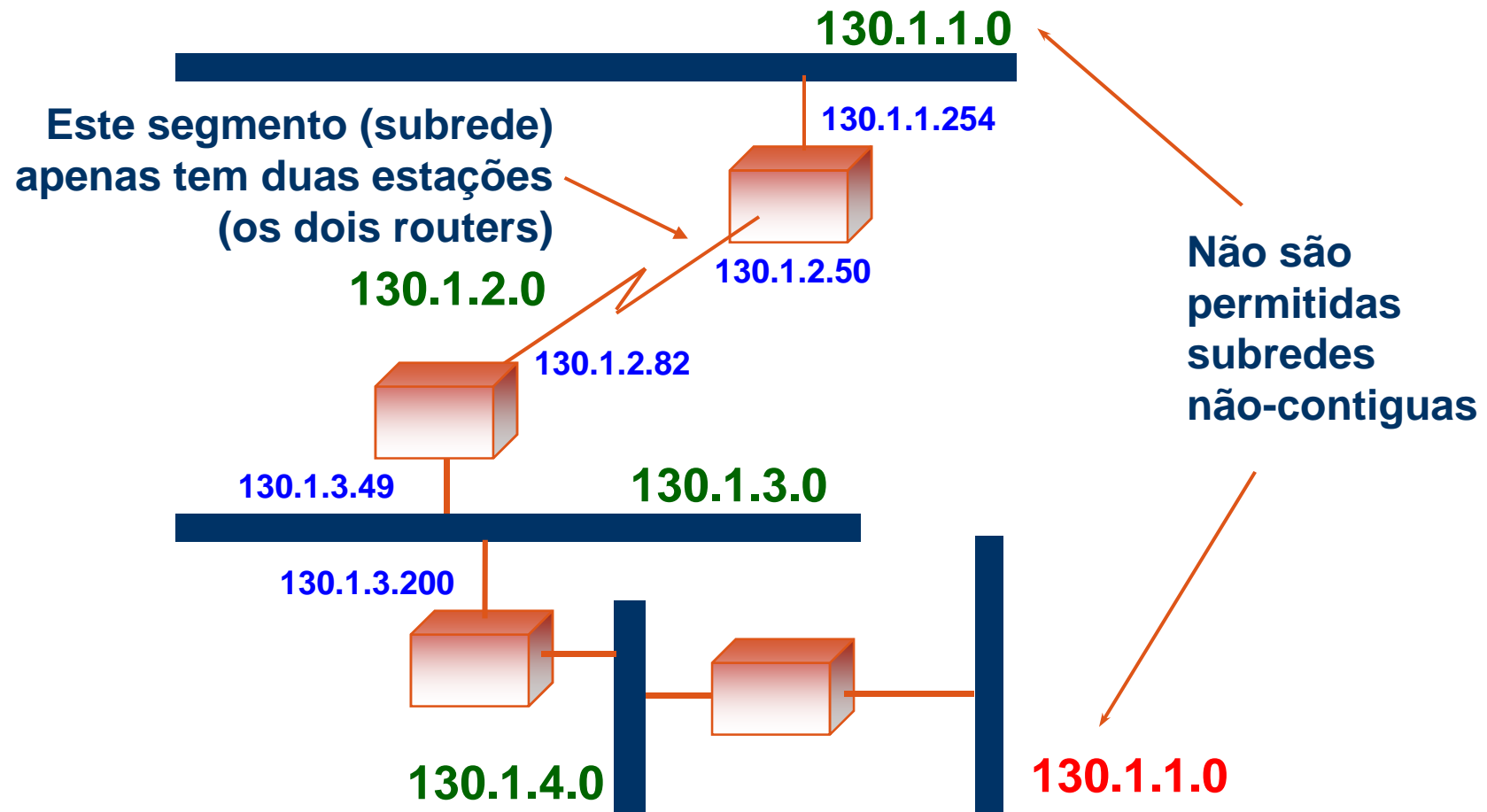
### Sistema com 6 redes interligadas

Fonte: Computer Networking:  
A Top-Down Approach Featuring  
the Internet, J. Kurose,  
Addison-Wesley, 2001



# IP – Internet Protocol

## Endereçamento



# IP – Internet Protocol

## Endereçamento



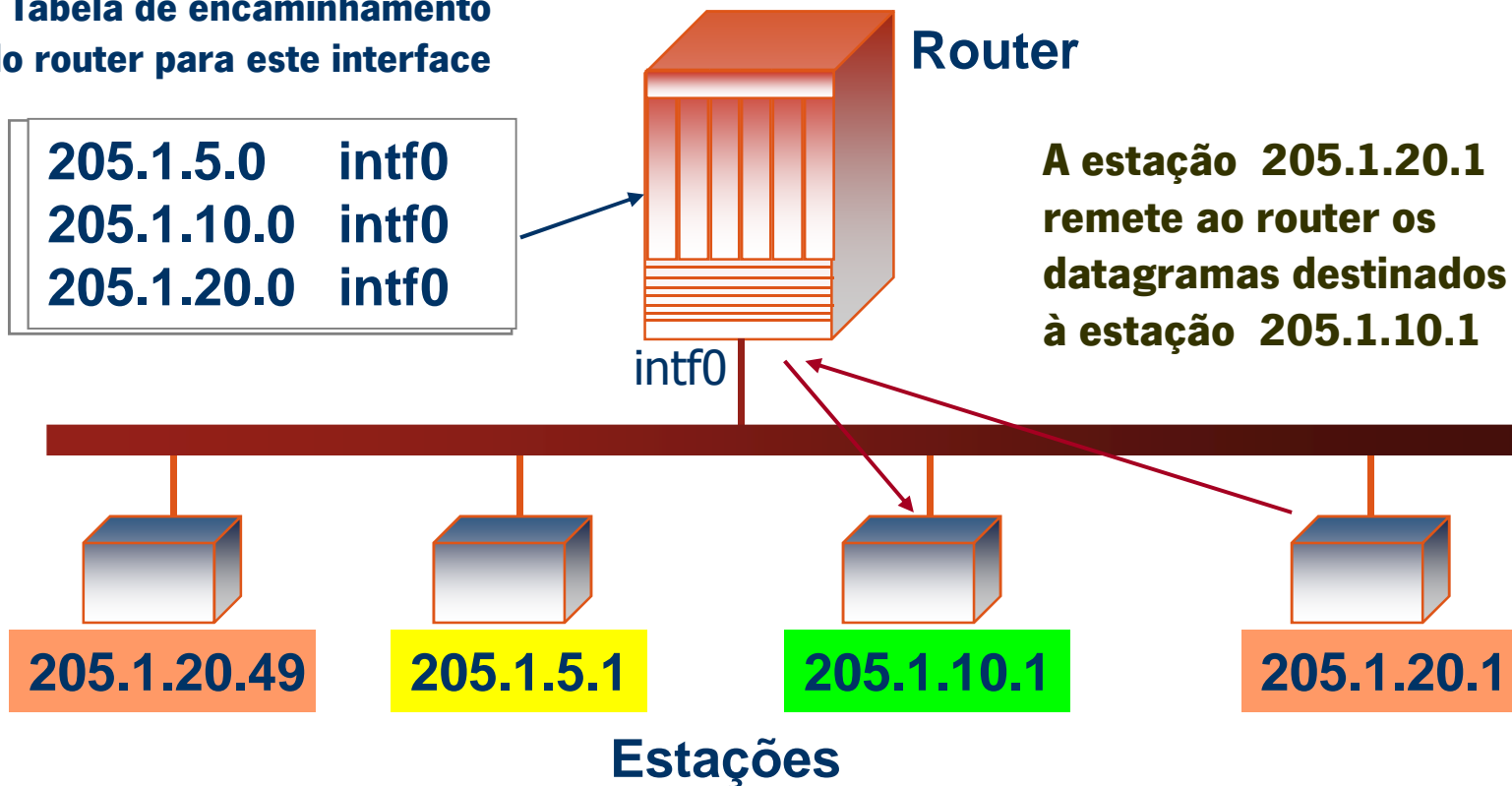
### Múltiplas subredes no mesmo interface

Tabela de encaminhamento  
do router para este interface

205.1.5.0	intf0
205.1.10.0	intf0
205.1.20.0	intf0

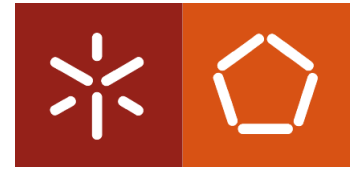
Router

A estação 205.1.20.1  
remete ao router os  
datagramas destinados  
à estação 205.1.10.1



# IP – Internet Protocol

## *Endereçamento*



- **Endereçamento por classes (ou *Classful*)**
  - esquema original, baseado na RFC 791
  - usa os primeiros bits como identificadores de classe
- **Endereçamento sem classes (ou *Classless*)**
  - não considera os bits de classe utilizando uma máscara de 32 bits para determinar o endereço de rede
  - permite encaminhamento mais eficiente por agregação de rotas, designado por CIDR (*Classless Internet Domain Routing*)
  - tabelas de encaminhamento mais pequenas
    - as rotas são agregadas por grupos de endereços adjacentes
  - usado pelas tabelas de encaminhamento de ISPs

# IP – Internet Protocol

## *Endereçamento (Classfull)*



Identificador da classe	Parte do Endereço de Rede	Parte do Endereço de Estação
-------------------------	---------------------------	------------------------------

### Classe A

0	7 bits de endereço de rede	24 bits de endereço de estação
---	----------------------------	--------------------------------

### Classe B

10	14 bits de endereço de rede	16 bits de endereço de estação
----	-----------------------------	--------------------------------

### Classe C

110	21 bits de endereço de rede	8 bits endereço de estação
-----	-----------------------------	----------------------------

### Classe D

1110	Endereços Multicast no intervalo 224.0.0.0 - 239.255.255.255	
------	--	--

### Classe E

11110	Classe E – Reservado para utilização futura	
-------	---	--

# IP – Internet Protocol

## *Endereçamento (Classfull)*



### Endereços IPv4 por classes

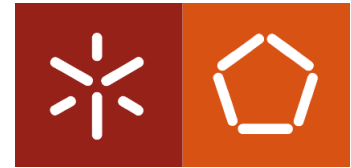
Classe	A	B	C	D
redes (1º byte)	126 (1-126)	16.384 (128-191)	2.097.152 (192-223)	
hosts/rede	16.277.214	65.354	254	
reservado	host a 0s ou 1s	host a 0s ou 1s	host a 0s ou 1s	(224-239)





### Máscara de endereço

- **Máscara: padrão que conjugado com o endereço IP, devolve a parte do endereço de rede (ou sub-rede)**
- **No endereçamento por classes as máscaras são:**
  - Classe A: 11111111.00000000.00000000.00000000  
notação decimal: 255.0.0.0      notação CIDR: /8
  - Classe B: 11111111.11111111.00000000.00000000  
notação decimal: 255.255.0.0      notação CIDR: /16
  - Classe C: 11111111.11111111.11111111.00000000  
notação decimal: 255.255.255.0      notação CIDR: /24
- **No endereçamento sem classes as máscaras têm qualquer outro valor**



### Restrições a Endereços IP

- **Endereços reservados:**
  - os primeiros 4 bits não podem ser 1
  - 127.x.x.x é o endereço reservado para *loopback*
  - bits de host a 0s ou 1s são reservados (rede ou broadcast)
- **Endereços privados: atribuídos para internets privadas (sem conectividade global, não devem ser visíveis nem são encaminhados na internet exterior), RFC1918:**
  - bloco 192.168.0.0 - 192.168.255.255 (prefixo 192.168 /16)
  - bloco 172.16.0.0 - 172.31.255.255 (prefixo 172.16 /12)
  - bloco 10.0.0.0 - 10.255.255.255 (prefixo 10 /8)

# IP – Internet Protocol

## Endereçamento (Classless)



- **Endereçamento por classes (*classfull*):**
  - Uso ineficiente do espaço de endereçamento, exaustão de espaço
  - Ex: uma classe B aloca 65K hosts mesmo que existam apenas 2K hosts!
- **Endereçamento sem classes (*classless*):**
  - **Parte de rede** (do endereço) com comprimento arbitrário
  - Formato: **a.b.c.d/x**, em que **x** é o nº de bits correspondente à parte de rede



# IP – Internet Protocol

## *Endereçamento (Classless)*



### Endereçamento sem classes

- **Considere-se o endereço IP 130.1.5.1**
  - é o endereço da estação **5.1** da rede **130.1.0.0** (classe B)
- **Considere-se o endereço IP 130.1.5.1/24**
  - é o endereço da estação **1** da sub-rede **130.1.5.0**

(máscara com multiplo de 8 bits)

<u>Rede</u>	<u>Estação</u>
<b>130.1</b>	<b>5.1</b>

interpretação  
original por classe

<u>Máscara de subrede</u>
<b>255.255.255.0</b>

<u>Rede</u>	<u>Subrede</u>	<u>Estação</u>
<b>130.1</b>	<b>5</b>	<b>1</b>

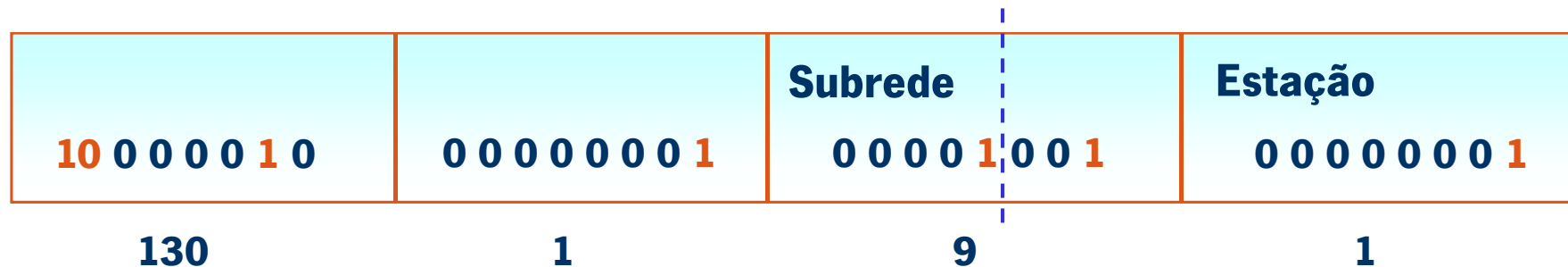
interpretação  
sem classe (CIDR)

# IP – Internet Protocol

## Endereçamento (Classless)



- Considere-se o endereço IP **130.1.9.1/21**
  - é o endereço da estação **257** da sub-rede **130.1.8.0**



(máscara com 21 bits)

**11111111.11111111.11110000.00000000**

**Máscara de Subnet 255.255.248.0**

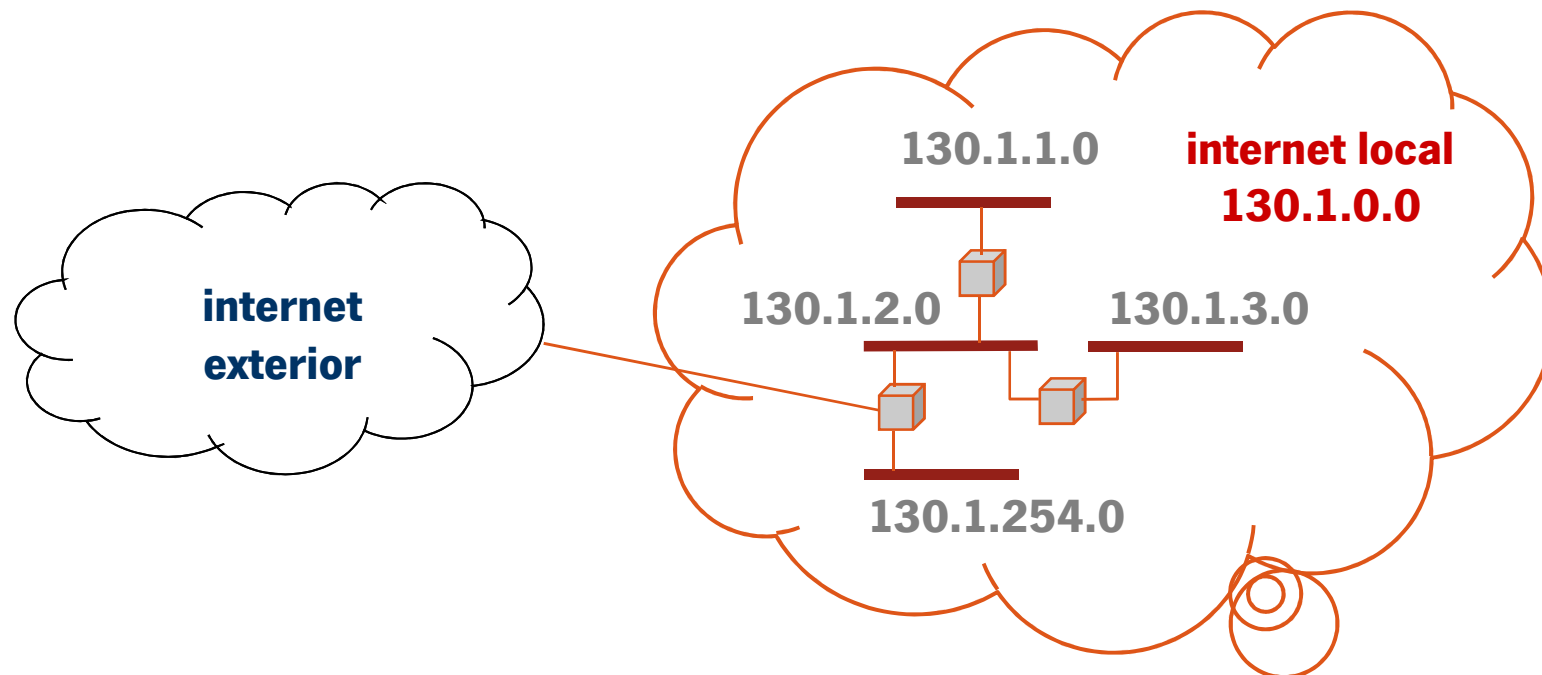
# IP – Internet Protocol

## *Endereçamento (Subnetting)*



### **Sub-redes (*Subnetting*)**

- permite melhor aproveitamento, organização e gestão do espaço de endereços
- introduz outro nível hierárquico para routing



# IP – Internet Protocol

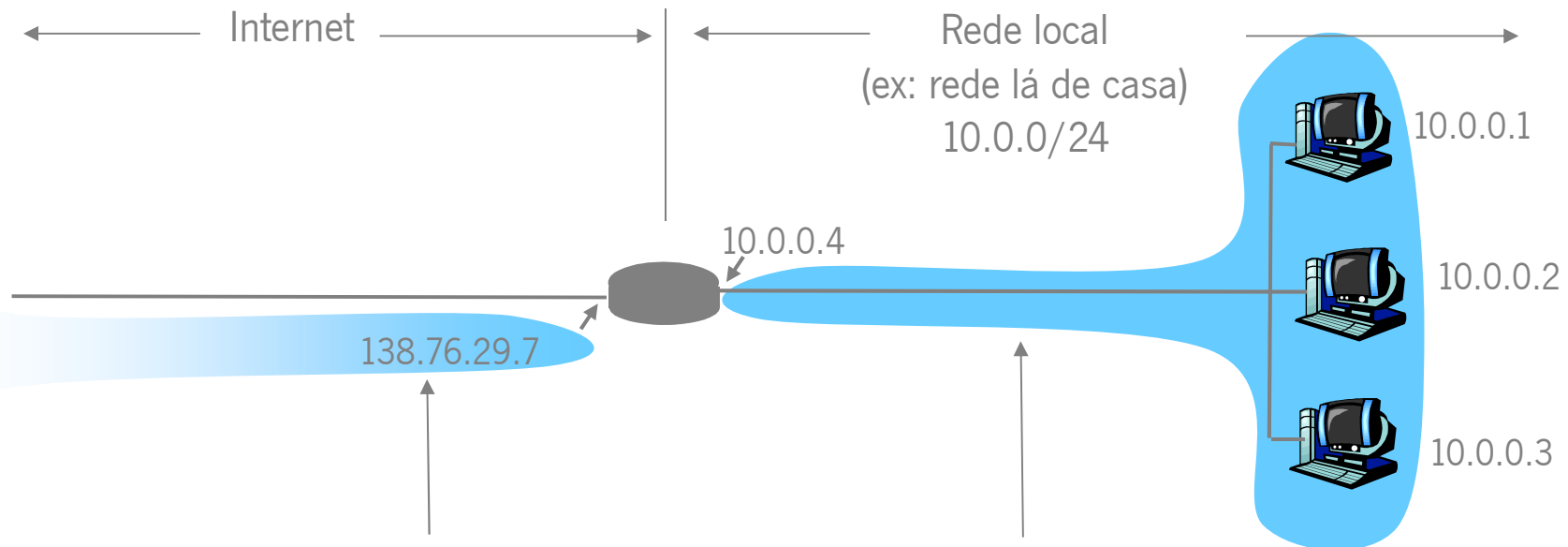
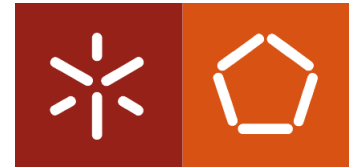
*Reescrita de endereços (NAT: Network Address Translation)*



- **Motivação** para a rede local usar apenas um endereço Internet conhecido com acesso global:
  - Não é preciso gastar uma gama de endereços ao ISP: basta um!
  - Podem-se mudar os endereços da rede a qualquer momento sem ter de avisar o mundo inteiro desse facto
  - Pode-se mudar de ISP sem mudar de endereços na rede local
  - Os equipamentos da rede local não são directamente **endereçáveis** do exterior (protecção de segurança acrescida!)

# IP – Internet Protocol

## *Reescrita de endereços (NAT: Network Address Translation)*



*Todos* os datagramas que *saiem* para a Internet são forçados a usar o mesmo endereço de origem: 138.76.29.7, e números de porta origem distintos

Todos os datagramas nesta rede contêm, como habitualmente endereços de origem e/ou de destino na gama disponível 10.0.0/24



# IP – Internet Protocol

## *Reescrita de endereços (NAT: Network Address Translation)*

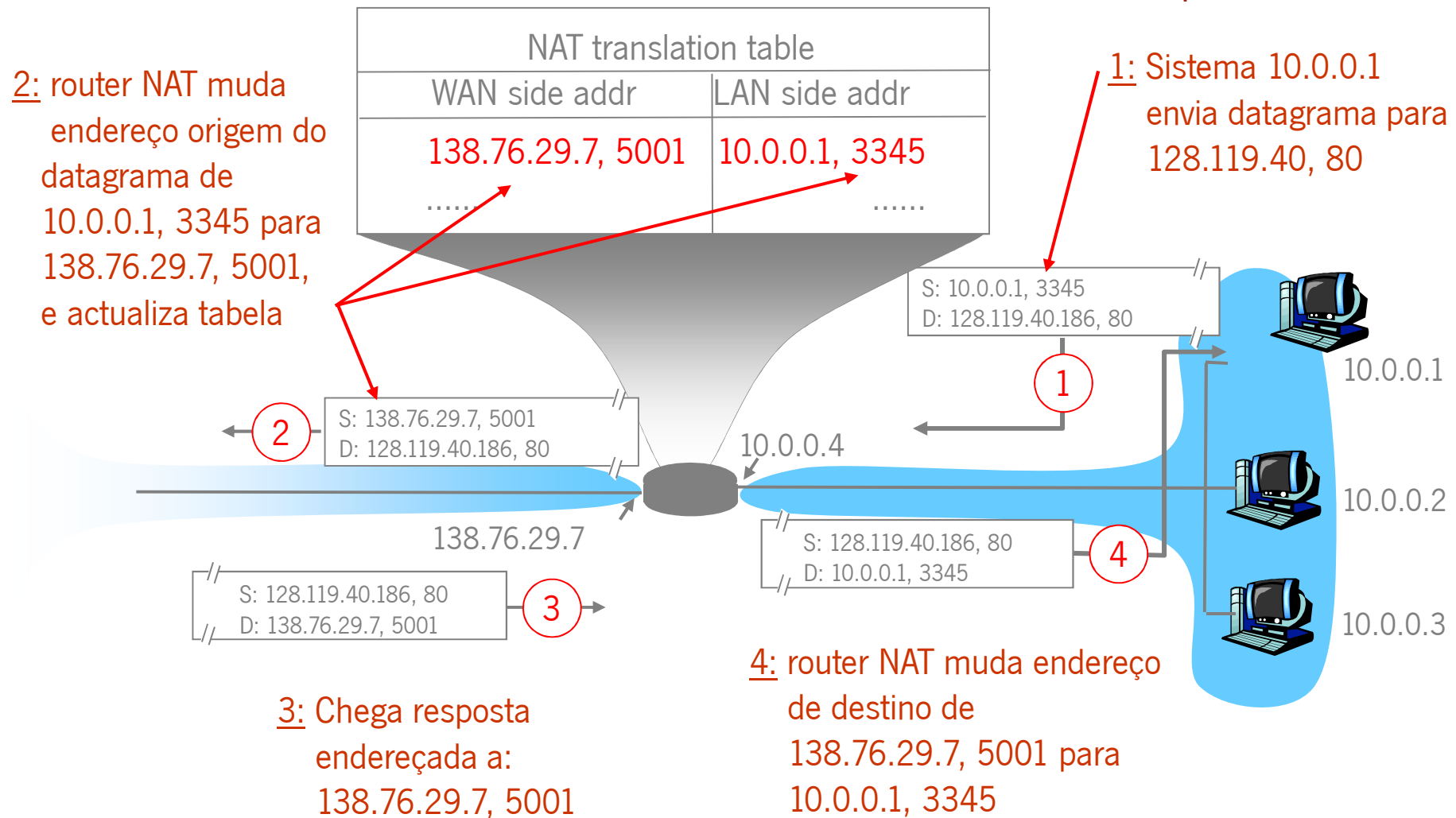
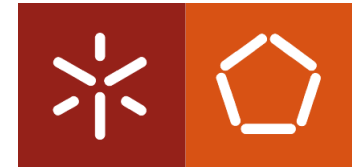


### **Implementação: router NAT**

- Datagramas que saiem: **substituir** o par (*Endereço IP Origem, N° Porta*) de todos os datagramas por (*Endereço IP NAT, Novo N° de Porta*)  
... os sistemas no exterior vão naturalmente endereçar os datagramas de resposta para (*Endereço IP NAT, Novo N° de Porta*)
- Guardar numa tabela NAT todas as trocas que foram feitas de pares (*Endereço IP Origem, N° Porta*) para (*Endereço IP NAT, Novo N° de Porta*)
- Datagramas que chegam: **substituir** (*Endereço IP, Porta*) pelo endereço interno (*Endereço IP Origem, Porta Origem*) armazenado na tabela NAT

# IP – Internet Protocol

## Reescrita de endereços (NAT: Network Address Translation)



# IP – Internet Protocol

*Reescrita de endereços (NAT: Network Address Translation)*



- **Porta é um campo da camada de transporte com 16-bit**
  - 60,000 conexões simultâneas com um único endereço!
- **NAT é muito controverso:**
  - Viola independência entre camadas:
    - routers só devem poder mexer nos cabeçalhos de nível 3!
  - Viola o conceito fim-a-fim
    - Estado intermédio por conexão
    - As aplicações (P2P e outras) são obrigadas a ter o NAT em consideração...
  - Não é a forma certa de resolver a escassez de endereços (IPv6)
- **Como endereçar servidores internos? (e-mail, web, etc)**

# IP – Internet Protocol

*Endereçamento (Alocação dinâmica)*



## Hosts (parte de host):

- hard-coded em ficheiro de sistema p/ admin
- **DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol**: obter endereço dinamicamente: “plug-and-play”
  - host faz broadcast msg “DHCP discover”
  - servidor DHCP responde c/ msg “DHCP offer”
  - host pede endereço IP: msg “DHCP request”
  - servidor DHCP envia endereço: msg “DHCP ack”

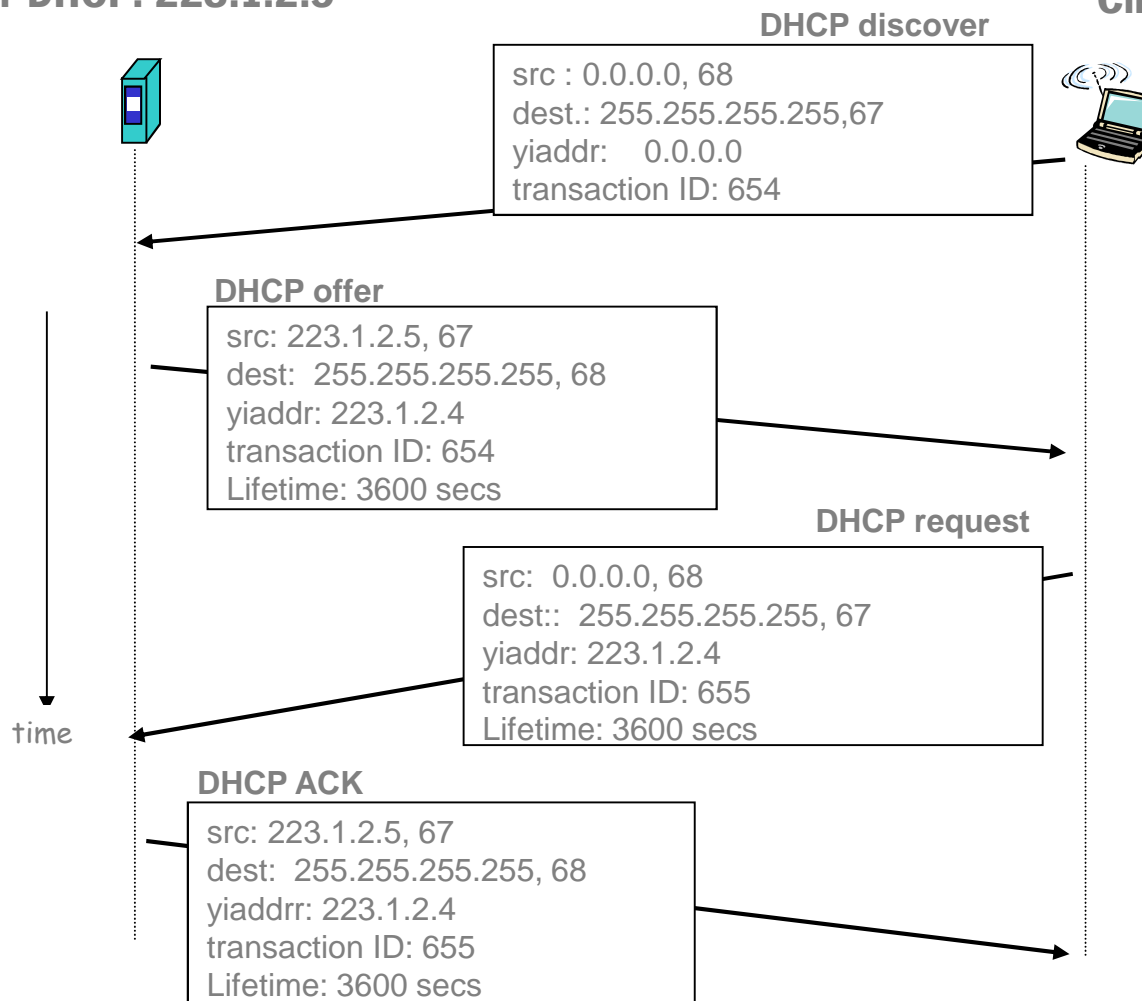
# IP – Internet Protocol

## Endereçamento (Alocação dinâmica)



Servidor DHCP: 223.1.2.5

Cliente



# IP – Internet Protocol

## *Endereçamento (Alocação dinâmica)*



- O servidor DHCP deve estar na mesma rede que o cliente. Se não estiver, é necessário um agente DHCP-Relay (tipicamente um router) que sirva de intermediário...
- Um cliente pode receber ofertas de mais do que um servidor DHCP, mas só pode escolher uma delas; a mensagem DHCP Request, enviada de novo para o endereço de difusão, serve para todos saberem qual foi a oferta escolhida e anularem as reservas que fizeram
- Uma curiosidade: O DHCP é a terceira geração de protocolos de configuração de sistemas; Pode ser visto como uma extensão ao BOOTP (protocolo de arranque para sistemas sem disco) que por sua vez deriva do protocolo RARP (Reverse Address Resolution Protocol)

# IP – Internet Protocol

## *Endereçamento (supernetting)*



### Network (parte de rede):

- **Alocado via espaço de endereçamento do ISP**

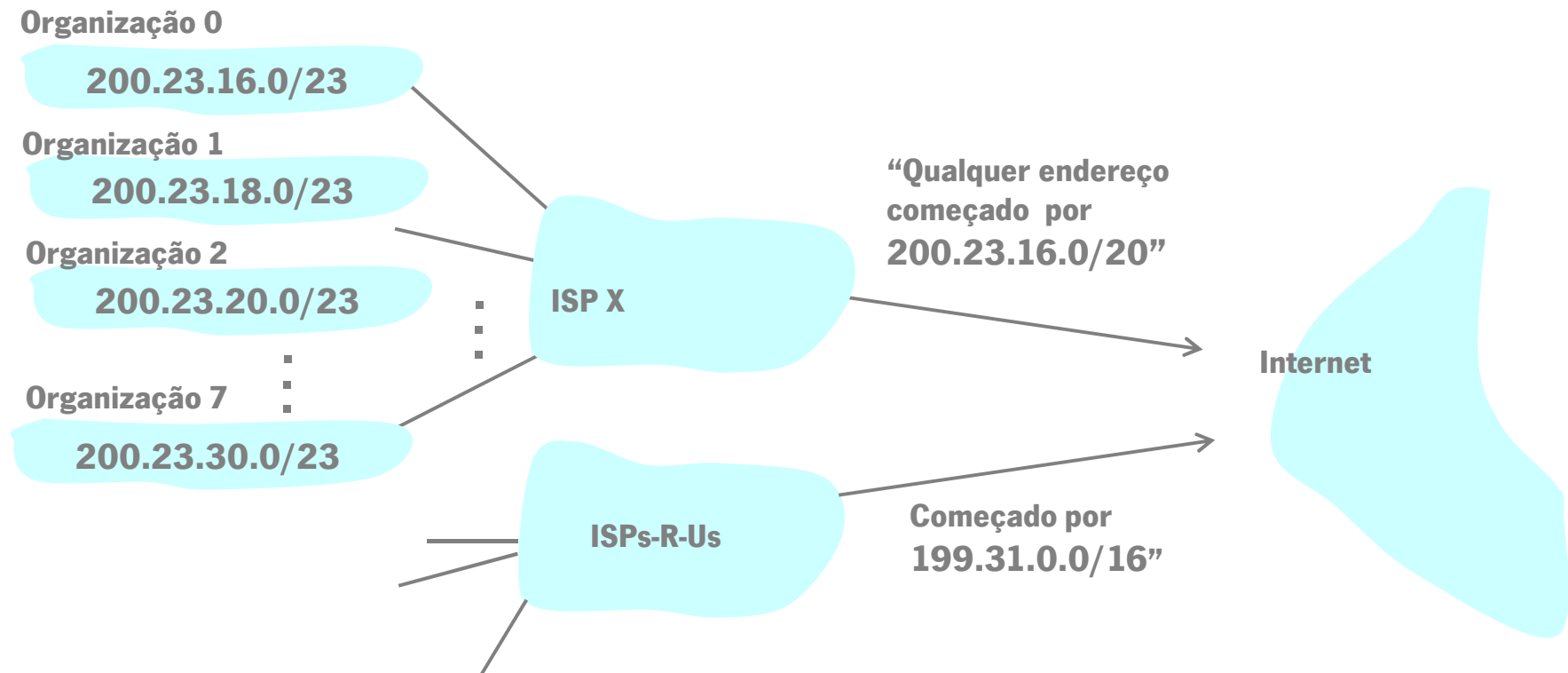
<b>Bloco do ISP</b>	<b><u>11001000 00010111 00010000</u> 00000000</b>	<b>200.23.16.0/20</b>
Organização 0	<u>11001000 00010111 00010000</u> 00000000	200.23.16.0/23
Organização 1	<u>11001000 00010111 00010010</u> 00000000	200.23.18.0/23
Organização 2	<u>11001000 00010111 00010100</u> 00000000	200.23.20.0/23
...	.....	....
Organização 7	<u>11001000 00010111 00011110</u> 00000000	200.23.30.0/23

# IP – Internet Protocol

## *Endereçamento hierárquico – agregação de rotas*



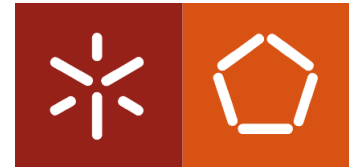
**Endereçamento Hierárquico** permite anúncios eficientes de informação de encaminhamento:



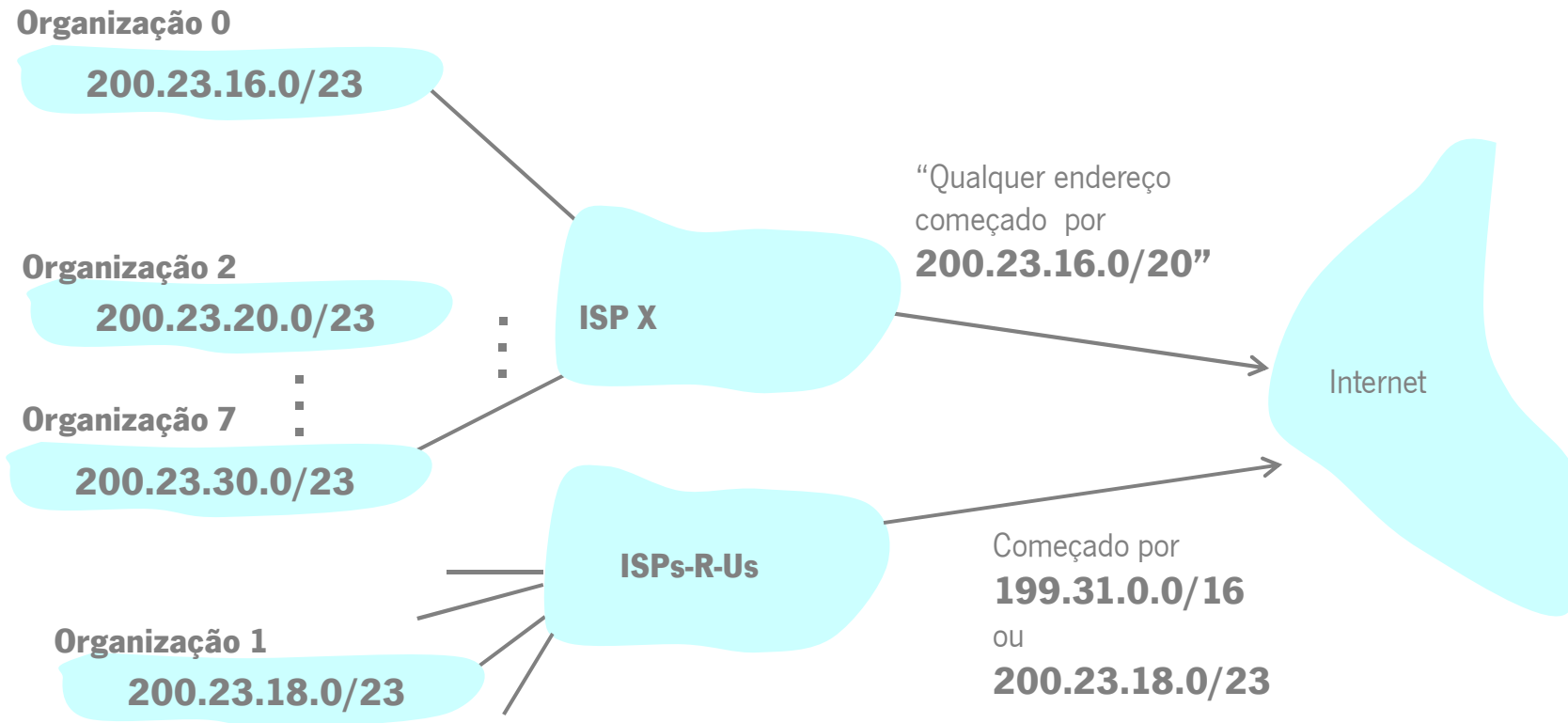


# IP – Internet Protocol

*Endereçamento hierárquico – rotas mais específicas*

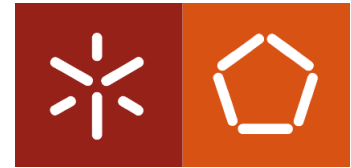


ISPs-R-Us tem uma rota mais específica para a Organização 1



# IP – Internet Protocol

*Encaminhamento – da origem ao destino (I)*



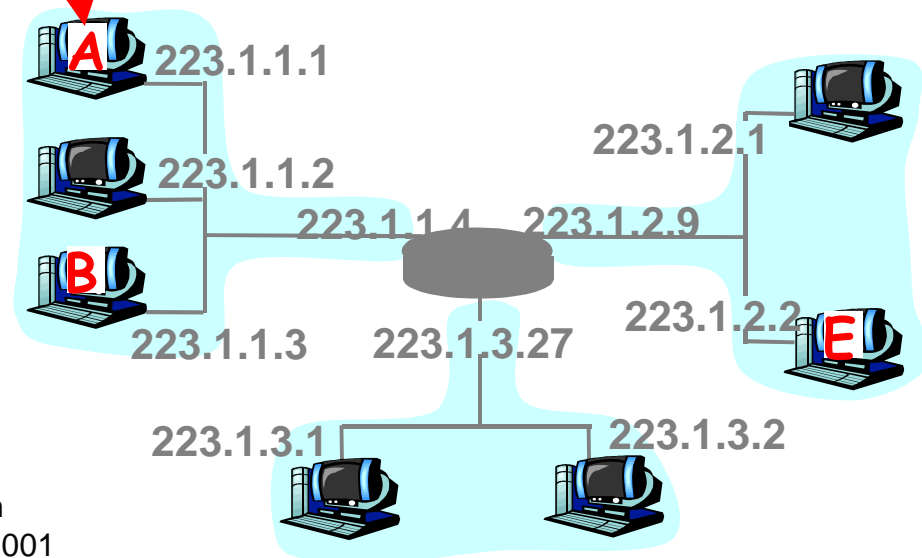
## Datagrama IP:

misc fields	source IP addr	dest IP addr	data
----------------	-------------------	-----------------	------

- O datagrama não é modificado, desde a origem até ao destino

## Tabela encaminhamento de A

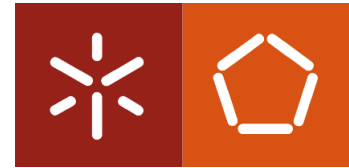
Dest. Net.	next router	#hops
223.1.1		1
223.1.2	223.1.1.4	2
223.1.3	223.1.1.4	2



Fonte: Computer Networking: A Top-Down Approach  
Featuring the Internet, J. Kurose, Addison-Wesley, 2001

# IP – Internet Protocol

## Encaminhamento – da origem ao destino (II)

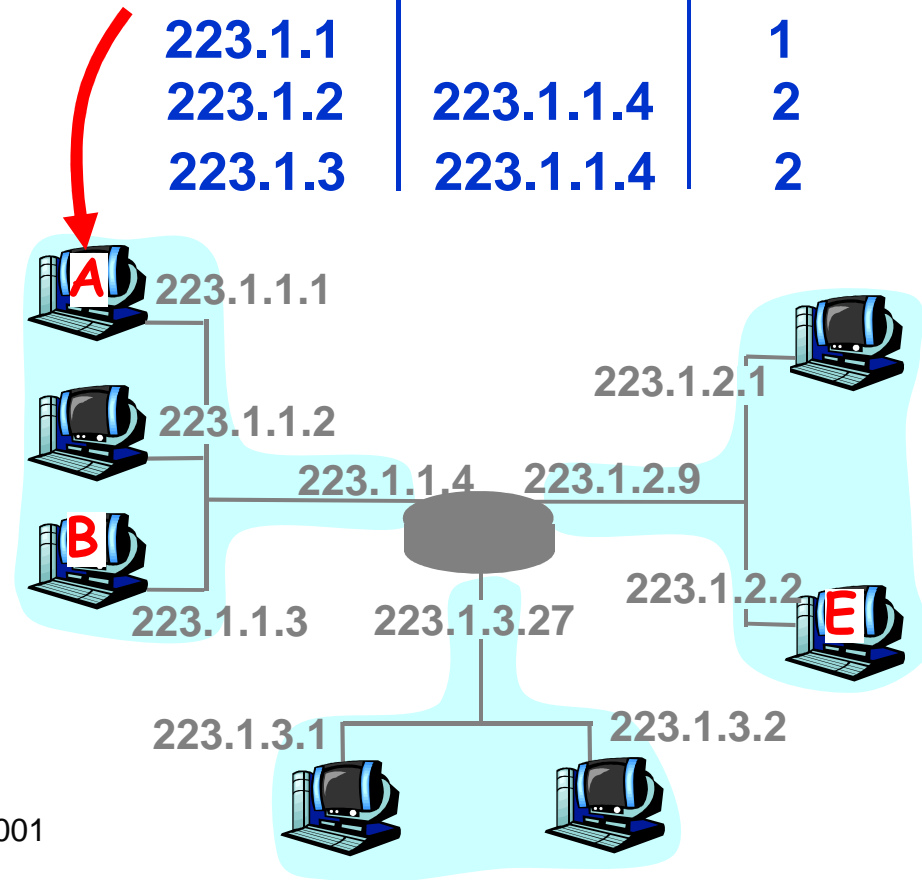


misc fields	223.1.1.1	223.1.1.3	data
-------------	-----------	-----------	------

Partindo de A, datagrama IP endereçado a B:

- Buscar endereço de rede de B
- B está na mesma rede de A
- datagrama directamente para B
  - B e A estão ligados directamente

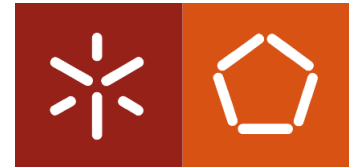
Dest. Net.	next router	#hops
223.1.1		1
223.1.2	223.1.1.4	2
223.1.3	223.1.1.4	2



Fonte: Computer Networking: A Top-Down Approach  
Featuring the Internet, J. Kurose, Addison-Wesley, 2001

# IP – Internet Protocol

## Encaminhamento – da origem ao destino (III)



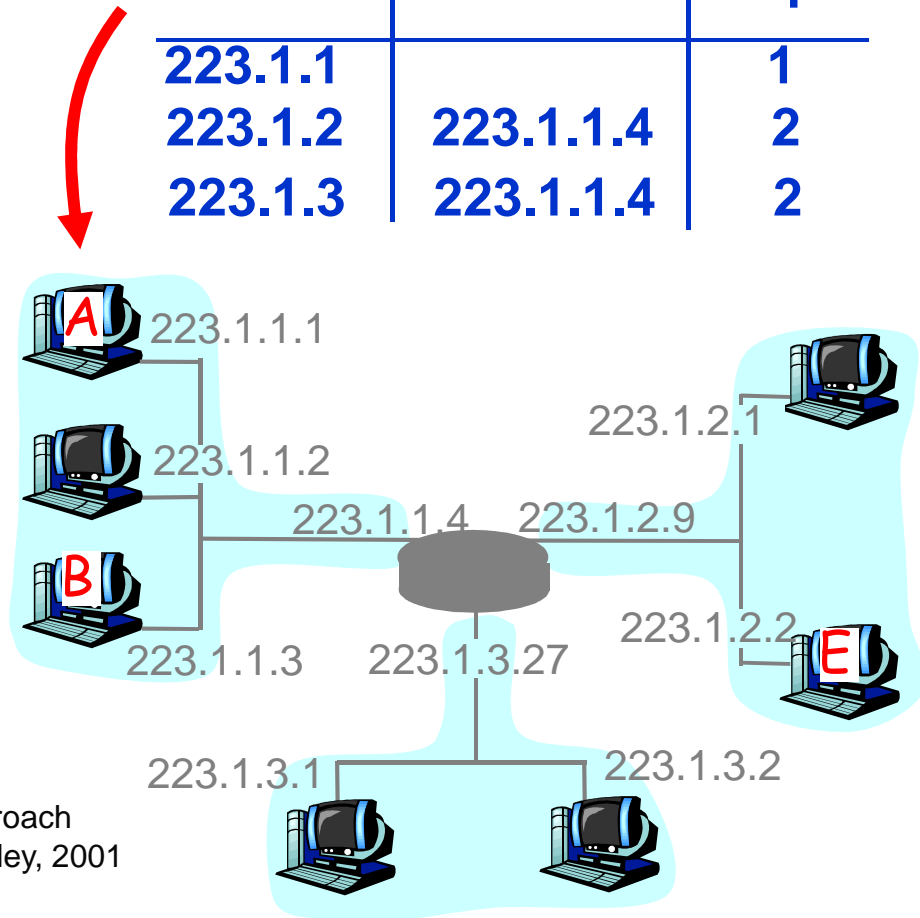
misc fields	223.1.1.1	223.1.2.2	data
----------------	-----------	-----------	------

Partindo de A, destino E:

- Busca endereço de rede de E
- E está numa rede *diferente*
  - A, E sem ligação directa
- Tabela encaminhamento: próximo nó é 223.1.1.4
- envia datagrama para router 223.1.1.4
- datagrama chega a 223.1.1.4
- ....

Dest. Net. next router #hops

Dest. Net.	next router	#hops
223.1.1		1
223.1.2	223.1.1.4	2
223.1.3	223.1.1.4	2



Fonte: Computer Networking: A Top-Down Approach  
Featuring the Internet, J. Kurose, Addison-Wesley, 2001

# IP – Internet Protocol

## Encaminhamento – da origem ao destino (IV)

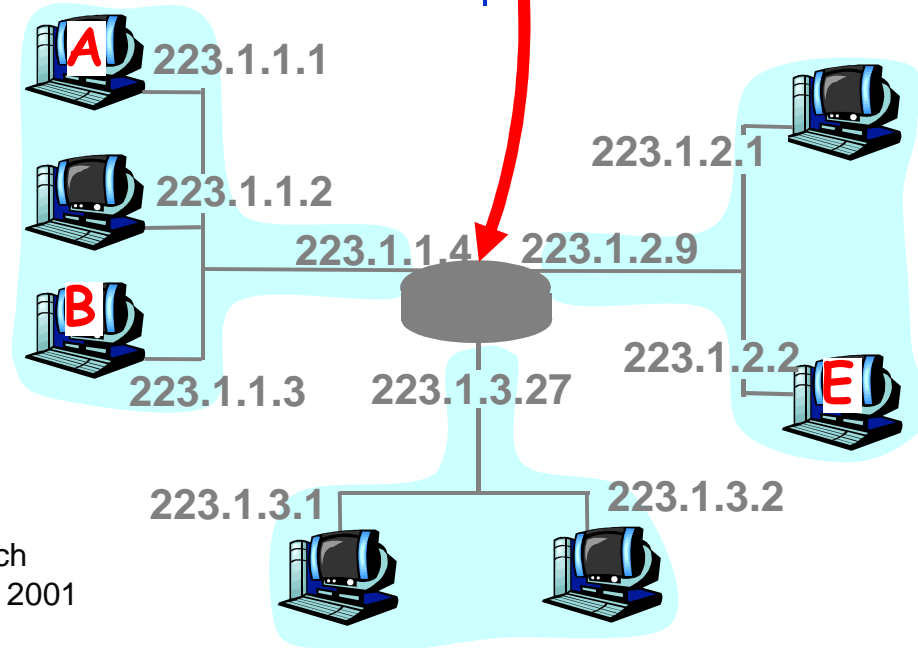


misc fields	223.1.1.1	223.1.2.2	data
----------------	-----------	-----------	------

**Chega ao nó 223.1.4, com destino 223.1.2.2**

- **Busca endereço de rede de E**
- **E está na mesma rede da interface 223.1.2.9**
  - Encaminhador e nó E ligados directamente
- **envia datagrama para 223.1.2.2 ( via interface 223.1.2.9)**

Dest. network	next router	#hops	interface
223.1.1	-	1	223.1.1.4
223.1.2	-	1	223.1.2.9
223.1.3	-	1	223.1.3.27



Fonte: Computer Networking: A Top-Down Approach  
Featuring the Internet, J. Kurose, Addison-Wesley, 2001

# TCP/IP

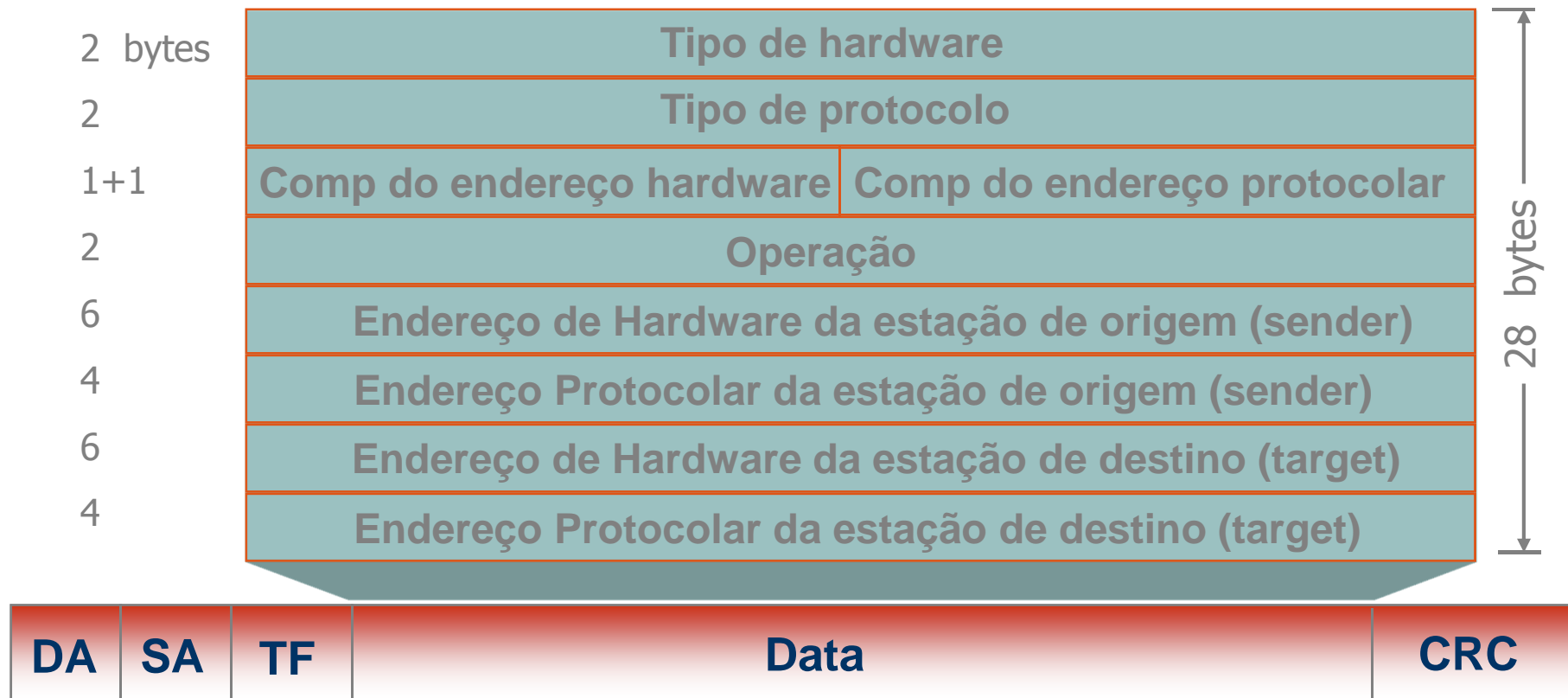
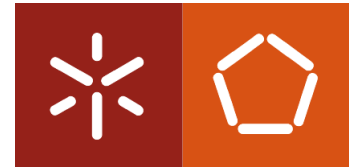
## ARP (*Protocolo de Resolução de Endereços*)



- **ARP (Address Resolution Protocol)** mapeia um endereço de rede no endereço **MAC (48 bytes)** que lhe corresponde.
- **RFC 826: *An Ethernet Address Resolution Protocol***
- **Operação:**
  - local à LAN
  - não usa encapsulamento IP
  - o EtherType ARP é: 0x0806
  - ARP-PDUs: *ARP Request* e *ARP Reply*

# TCP/IP

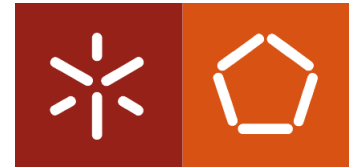
## ARP (*Protocolo de Resolução de Endereços*)



DA - Destination Address    SA - Source Address    TF - Type Field

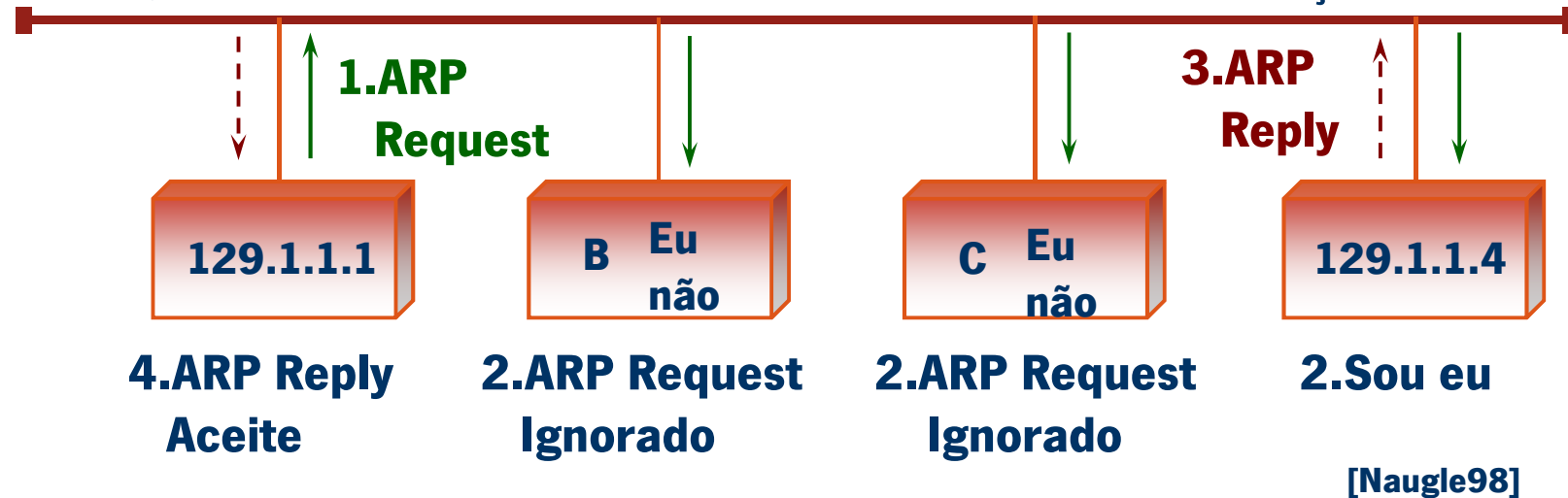
# TCP/IP

## ARP (*Protocolo de Resolução de Endereços*)



1. Quem tem o endereço MAC da estação 129.1.1.4?

3. Aqui está o meu Endereço MAC

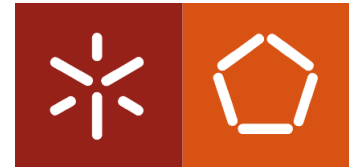


- **ARP Request** é enviado em broadcast
- **ARP Reply** é enviado em unicast à estação requerente, que mantém temporariamente a resolução na cache de ARP



# TCP/IP

## ICMP (*Internet Control Message Protocol*)



- **Protocolo usado por sistemas terminais e encaminhadores para trocarem informação do nível de rede**

- reportar erros: nó, rede, porta ou protocolo inatingíveis,
- echo request/reply (utilizado pelo ping)
- TTL expired (usado pelo traceroute)

- **Camada de rede “sobre” o IP:**

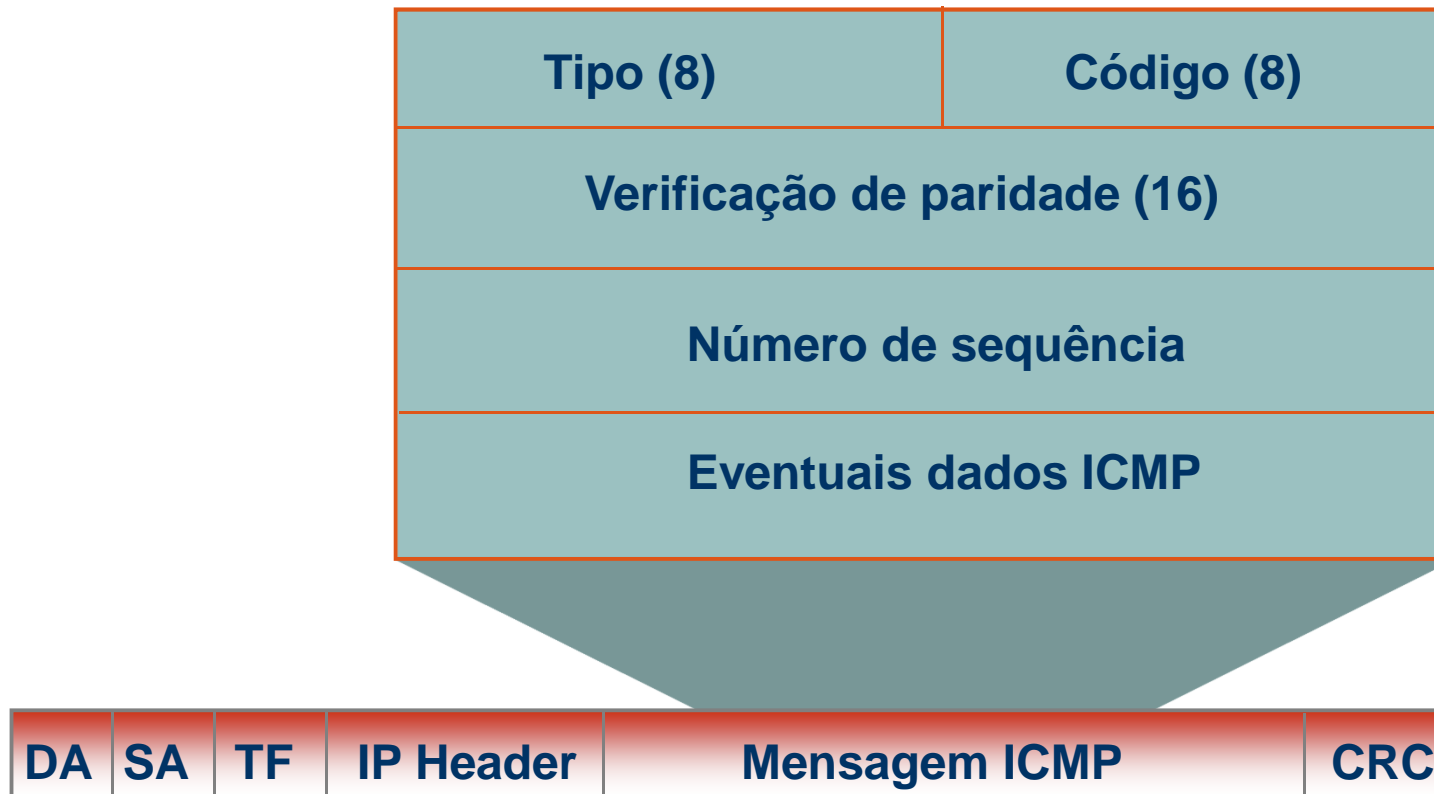
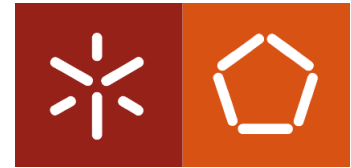
- Mensagens ICMP encapsuladas em datagramas IP

- **Mensagem ICMP: tipo, código, os primeiros 8 bytes do datagrama IP responsável pelo erro**

<u>Type</u>	<u>Code</u>	<u>description</u>
0	0	echo reply (ping)
3	0	dest. network unreachable
3	1	dest host unreachable
3	2	dest protocol unreachable
3	3	dest port unreachable
3	6	dest network unknown
3	7	dest host unknown
4	0	source quench (congestion control - not used)
8	0	echo request (ping)
9	0	route advertisement
10	0	router discovery
11	0	TTL expired
12	0	bad IP header

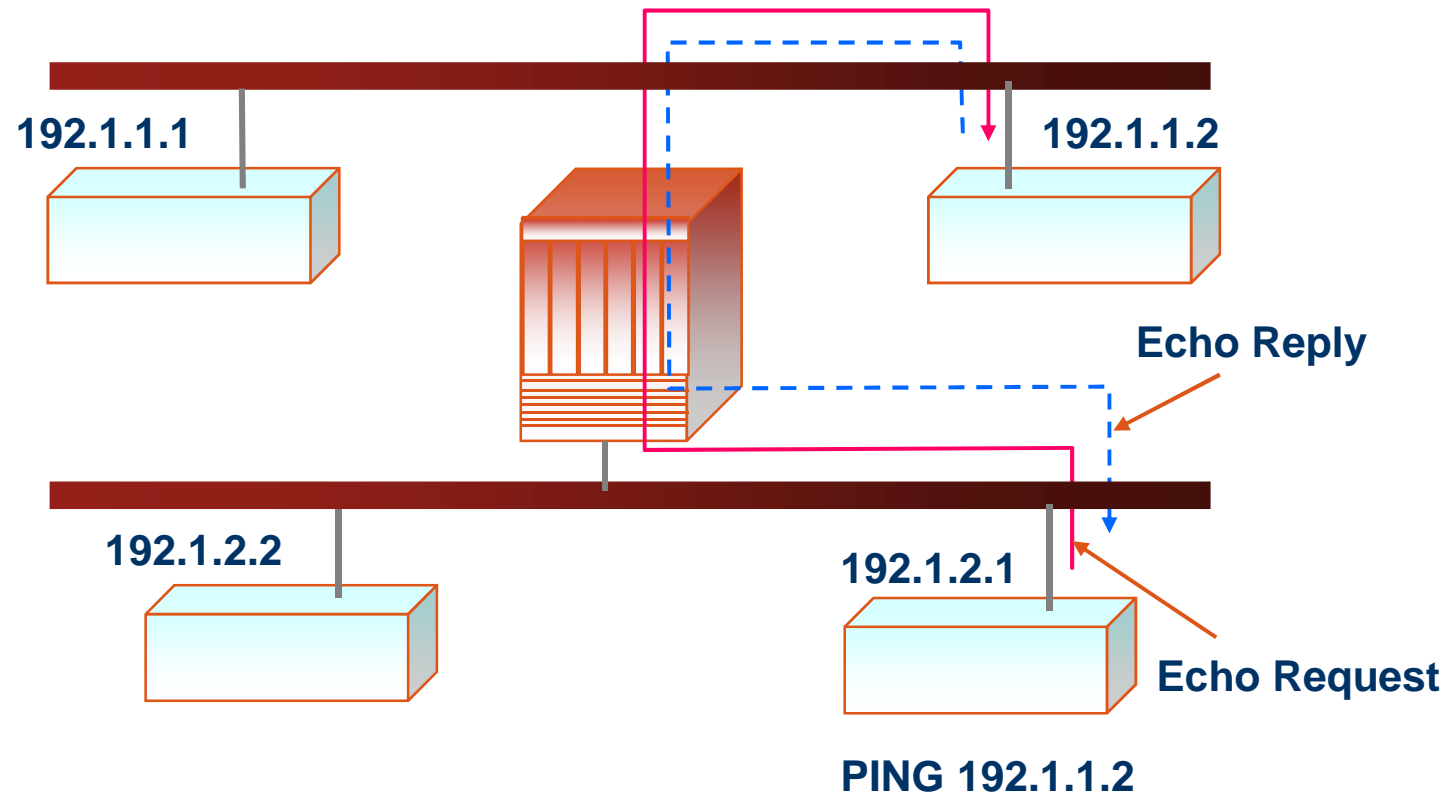
# TCP/IP

## ICMP (*Internet Control Message Protocol*)

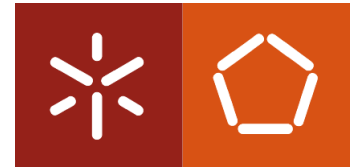


# TCP/IP

## ICMP (*Internet Control Message Protocol*)



# Exercício Prático



Alguns comandos:

```
% ifconfig -a
```

```
% arp -a
```

```
% ping <host>
```

```
% netstat -n -r
```

Exercício exemplo:

Começar por ver a tabela de ARP e a tabela de routing...

Activar o Ethereal e pô-lo a capturar todos os pacotes...

Fazer ping para um sistema da mesma rede ainda não contactado...

Observar a troca de mensagens ARP e o resultado na tabela de ARP

