

# **Arquitetura de Redes de Computadores**

**Luiz Paulo Maia**

**Camada de Redes**

# Sumário

- Comutação
  - circuito X pacote
- Endereçamento IP
- Classes de endereços e CIDR
- Configuração de endereços IP
  - estática X dinâmica
- Protocolo ARP
- NAT
- IPv6
- Prática com Packet Tracer

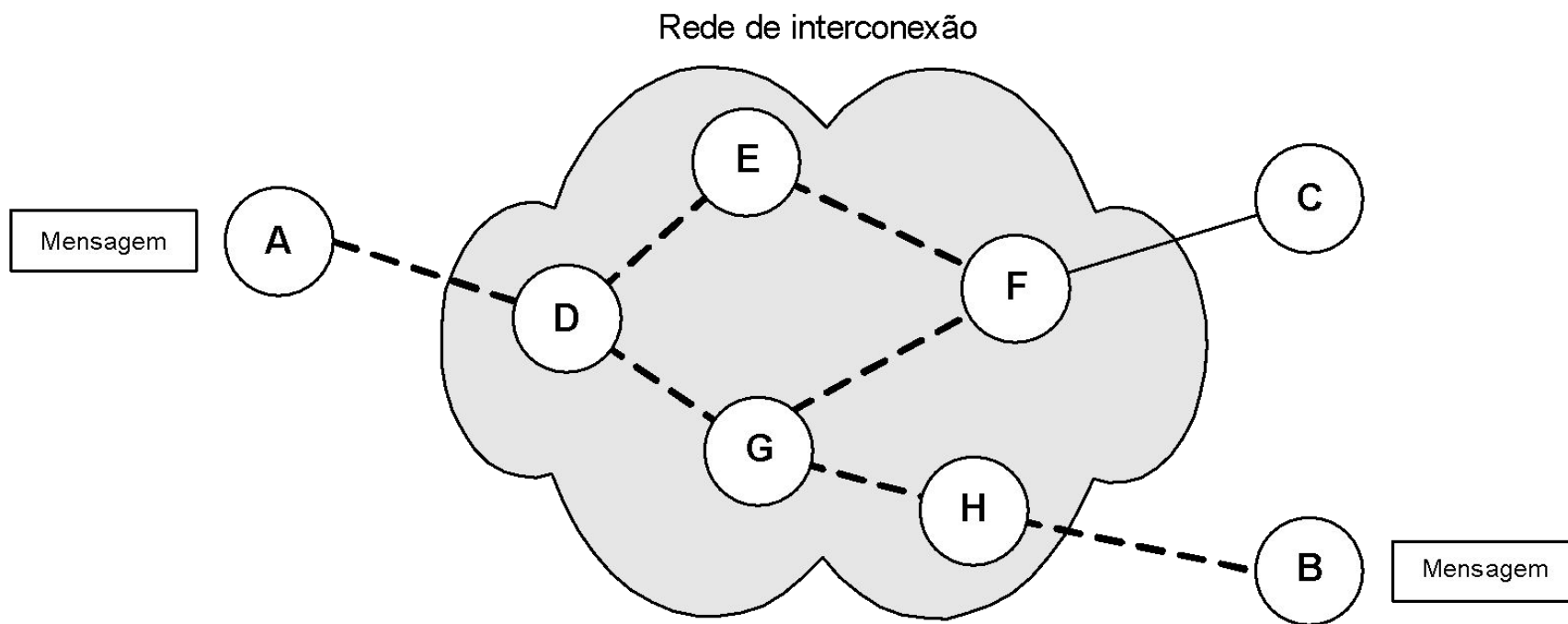
# Introdução

- A principal função da *camada de rede* é permitir que uma mensagem enviada pelo transmissor chegue ao destino utilizando **dispositivos intermediários**.
  - Processo este chamado de comutação;
  - Também conhecido como processo de roteamento e executado por dispositivos chamados Roteadores;

# Comutação

- A *comutação* é o mecanismo que permite que dispositivos **não adjacentes** em uma rede distribuída se comuniquem.

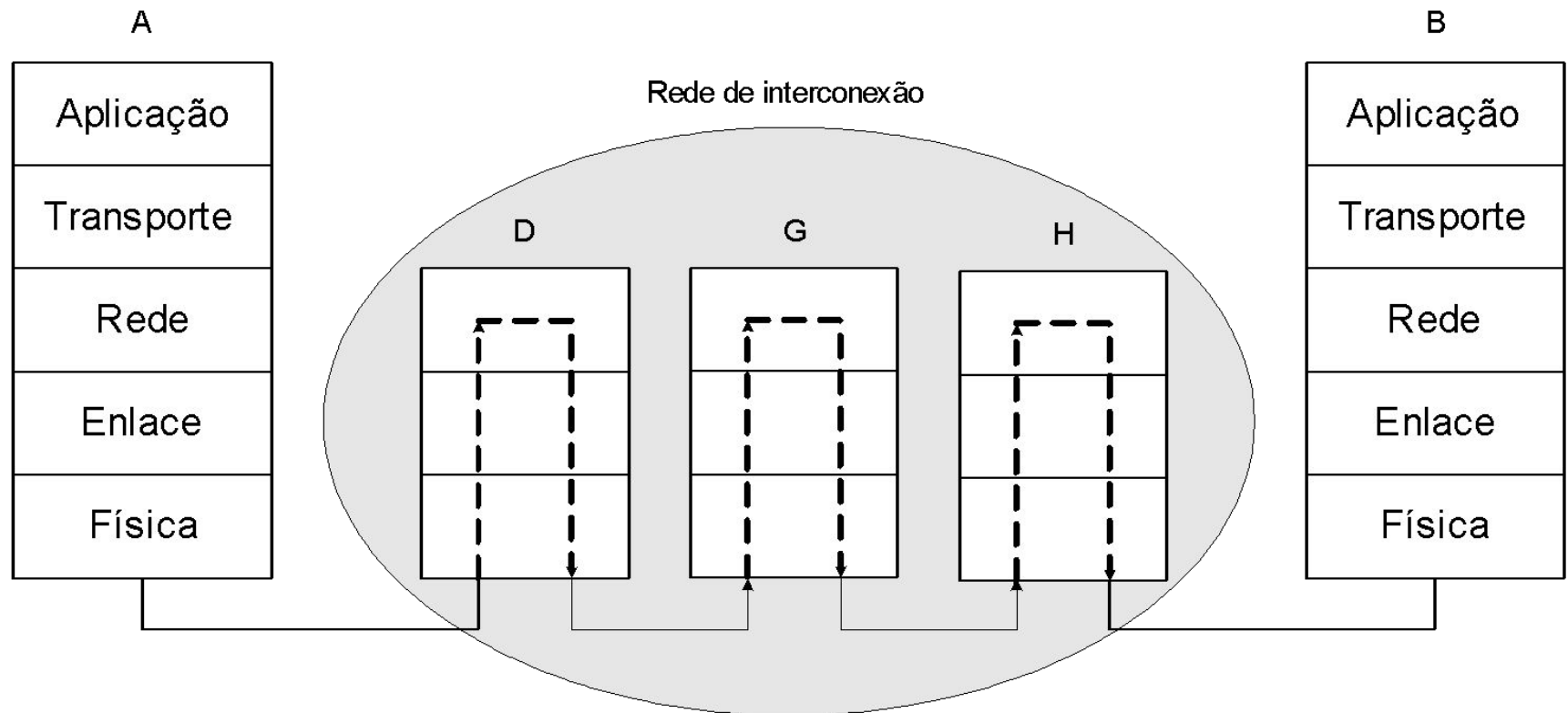
# Comutação



# Comutadores

- Os comutadores são dispositivos que atuam nas 3 camadas inferiores do modelo de 5 camadas;
  - Camada de rede permite (3) permite a conexão entre dispositivos **não adjacentes**;

# Modelo de camadas e comutação

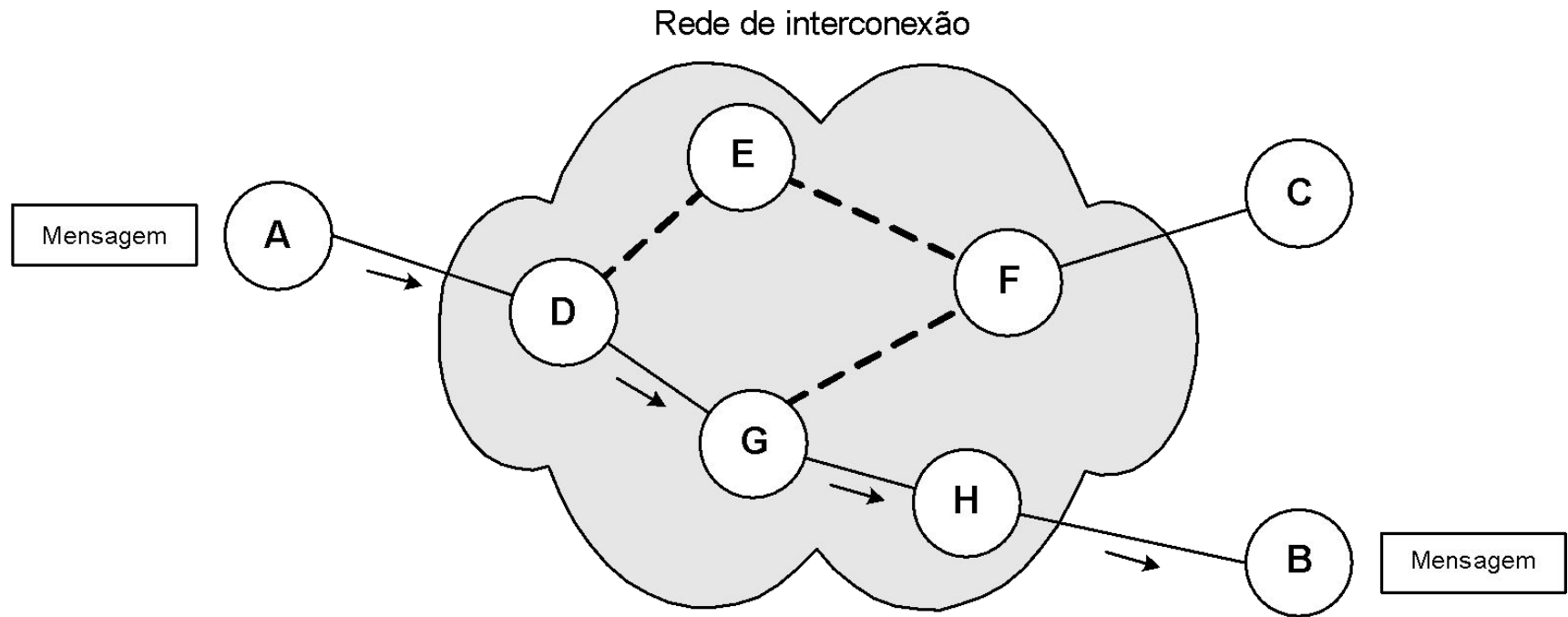


# Computadores

- A técnica de comutação é a base para a implementação de redes distribuídas, como o sistema de telefonia e a Internet.
- Dois tipos de comutação que são utilizadas em redes de computadores:
  - comutação por circuito;
  - comutação por pacotes.



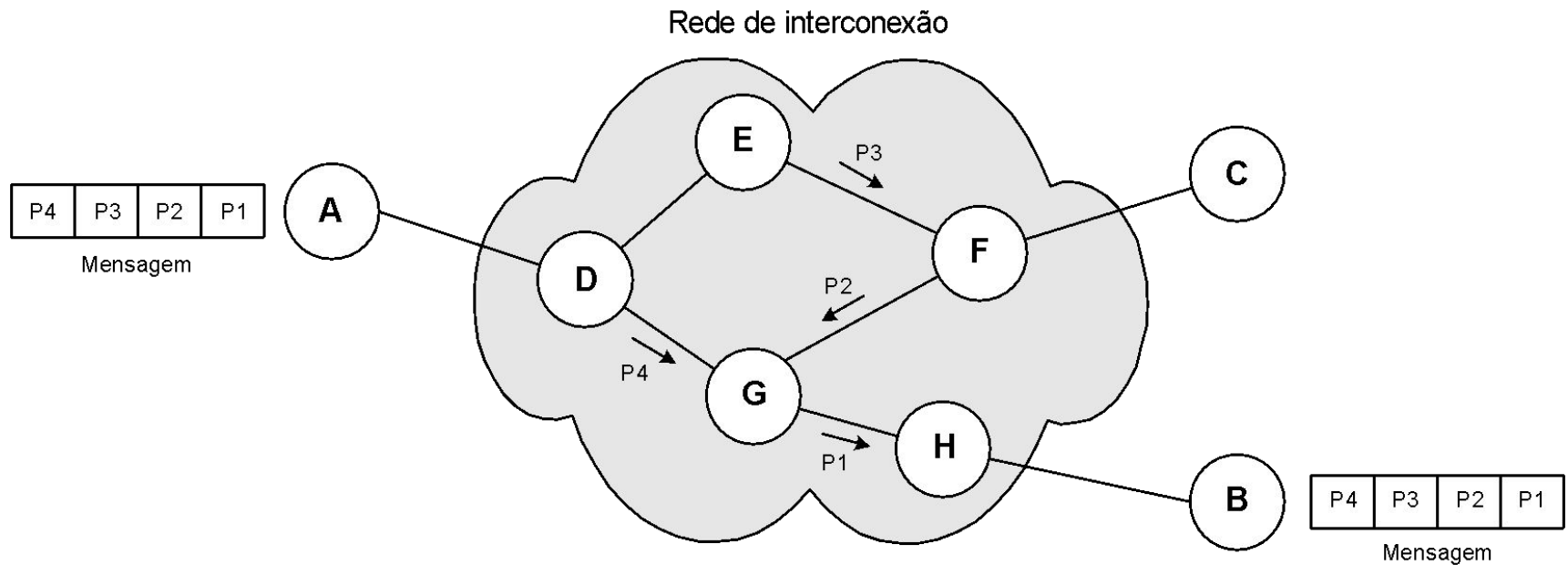
# Comutação por circuito



# Comutação por circuito

- A vantagem da comutação por circuito é a existência de um caminho predefinido
  - Não será necessária a comutação nos dispositivos intermediários;
  - Minimiza problemas de congestionamento;
- Grande desvantagem é a subutilização do canal;
  - Tempo para inicializar o circuito pode ser inaceitável dependendo da aplicação;

# Comutação por pacote



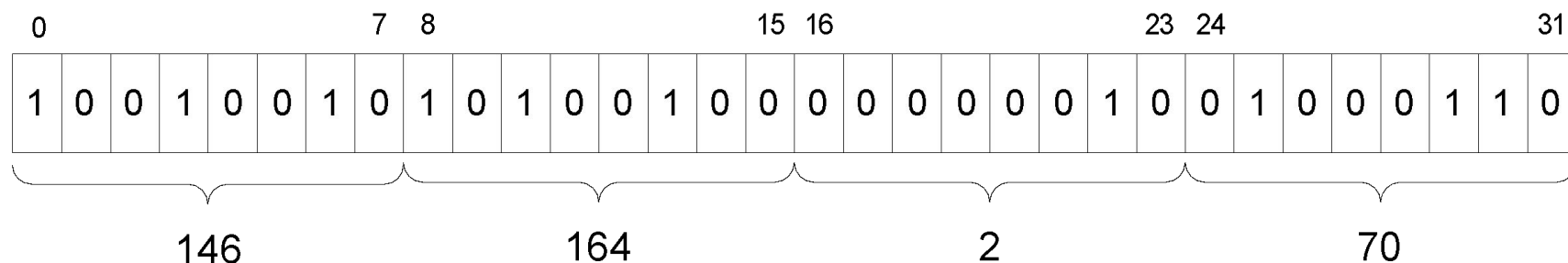
# Comutação por pacotes

- Base para implementação de redes de interconexão modernas;
  - Mensagens divididas em **pacotes**;
  - Sequência de reencaminhamentos por roteadores até o destino;
  - Melhor utilização do meio;
- Desvantagem de aumentar o custo de processamento de cada dispositivo individual na rede de interconexão;

# Endereçamento

- Uma das principais atribuições da camada de redes;
  - Permite a identificação de dispositivos na rede;
  - Uso do protocolo **IP**;
  - No modelo Internet, cada host (ou melhor dizendo, cada interface de rede) possui um número identificador **único** conhecido como endereço IP;

# Formato do endereço IP



146.164.2.70

- É mandatório que não haja problemas de conflitos de endereços na Internet;
  - *ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)*: Entidade que controla e centraliza a distribuição de endereços e nomes
  - Geralmente, para se obter um endereço IP não há contato direto com a ICANN.
  - A tarefa de distribuição de endereços é delegada aos provedores de acesso ou *ISP (Internet Service Provider)*.

# Endereçamento hierárquico

- No modelo Internet o endereço IP é dividido em duas partes: uma para identificar o **host** e outra para identificar a **rede** à qual o host pertence.
- Dessa forma, o processo de roteamento é realizado utilizando **apenas a parte que identifica a rede e não cada host individualmente**.
- Esse esquema de endereçamento é conhecido como endereçamento hierárquico ou endereçamento em níveis



# Classes de endereços IP

	0	7	8	15	16	23	24	31		
A	0	Id. da rede			Id. do host					
B	1	0	Id. da rede			Id. do host				
C	1	1	0	Id. da rede			Id. do host			
D	1	1	1	0	Endereço multicast					
E	1	1	1	1	Endereço reservado					

# Classes de endereços IP

**Tabela 6.1** Número de redes e hosts por classe

Classe	Redes	Hosts	Descrição
A	128 ( $2^7$ )	16777216 ( $2^{24}$ )	Redes muito grandes
B	16384 ( $2^{14}$ )	65536 ( $2^{16}$ )	Redes médias/grandes
C	2097152 ( $2^{21}$ )	256 ( $2^8$ )	Redes pequenas

# *Classless Inter-Domain Routing* (CIDR)

- Endereçamento usando classes se mostrou ineficiente com o passar do tempo;
- CIDR surgiu como um esquema mais flexível para separação entre parte de rede e parte de hosts;
  - Representado pela notação /n

# Classless Inter-Domain Routing (CIDR)

- Por exemplo:
  - 200.10.10.0/25 define que os primeiros 25 bits do endereço são para a parte da rede e os 7 restantes são para o host.

# Configuração de endereçamento

- Os endereços da camada de rede podem ser configurados nos hosts de duas formas diferentes.
  - Endereçamento estático;
  - Endereçamento dinâmico;

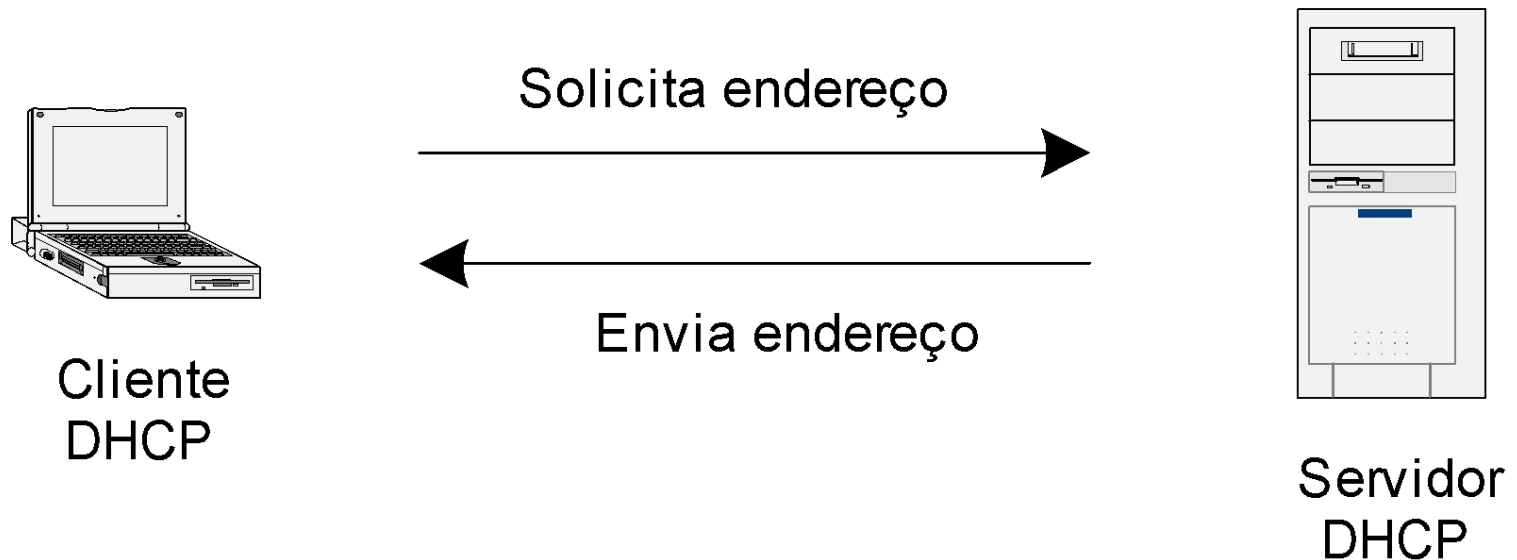
# Endereçamento estático

- Configurado manualmente pelo administrador da rede;
- Feito máquina por máquina;
- IP fica permanentemente associado a uma interface de rede;

# Endereçamento dinâmico

- Os hosts não possuem um endereço predefinido.
- O host, ao ser inicializado, solicita um endereço IP a um servidor de endereços através de uma mensagem do tipo **broadcast** na rede.
- *DHCP (Dynamic Host Control Protocol)*
  - *cliente DHCP;*
  - *servidor DHCP;*

# Endereçamento dinâmico





# Dinâmico X Estático

- Endereçamento estático:
  - Dificuldade na gerência de endereços;
  - Duas máquinas configuradas com mesmo IP pode gerar conflito na rede;
  - Mobilidade limitada de hosts;
- Endereçamento dinâmico:
  - Resolve os problemas relacionados ao endereçamento estático
  - Fragilidade em termos de segurança;

# Mapeamento de endereços

- Em uma rede ethernet local, cada host possui 2 endereços distintos:
  - Endereço de enlace (MAC);
  - Endereço de rede (IP);
- Problema do mapeamento de endereços:
  - Mapeamento estático – cada host possui uma lista de outros hosts;
  - Mapeamento dinâmico – uso do protocolo ARP;

# Mapeamento de endereços



# ARP (Address Resolution Protocol)

- Utilizado para “descobrir” qual endereço MAC está associado ao qual endereço IP;
  - Uso de mensagem de broadcast;
  - Uma vez descoberto o endereço, as informações são guardadas em cache;
  - Periodicamente as informações devem ser renovadas – evita a associação errada de endereço MAC ao trocar uma interface de rede;

# Comando arp

```
C:\> arp -a
```

```
Interface: 10.41.1.100 --- 0x2
```

Endereço IP	Endereço físico	Tipo
10.41.1.1	00-04-96-34-a6-16	dinâmico
10.41.1.5	00-30-48-8b-52-e6	dinâmico
10.41.1.6	00-30-48-8b-55-90	dinâmico
10.41.1.110	00-40-a7-12-11-c9	dinâmico

**arp**: resolução de endereços IP em endereços MAC. Exibe e modifica as tabelas de traduções dos endereços IP em endereços físicos utilizados pelo protocolo de resolução de endereços (ARP)

# Tradução de Endereços de rede

- Quando a Internet foi concebida, um espaço de endereçamento da ordem de  $2^{32}$  parecia difícil de ser esgotado;
  - Crescimento exponencial do número de equipamentos conectados;
  - Número de endereços próximo do fim;
    - NAT - *Network Address Translation*;
    - IPV6 – *Internet Protocol Version 6*;

- O *NAT* permite que uma instituição opere com apenas um endereço na Internet, mesmo possuindo inúmeros hosts na rede interna.
  - Necessário um dispositivo que implementa o NAT, geralmente um roteador
  - O NAT utiliza o conceito de endereços privados, que são endereços que não podem ser utilizados na Internet, mas apenas dentro da rede interna.

# Intervalos de endereços privados

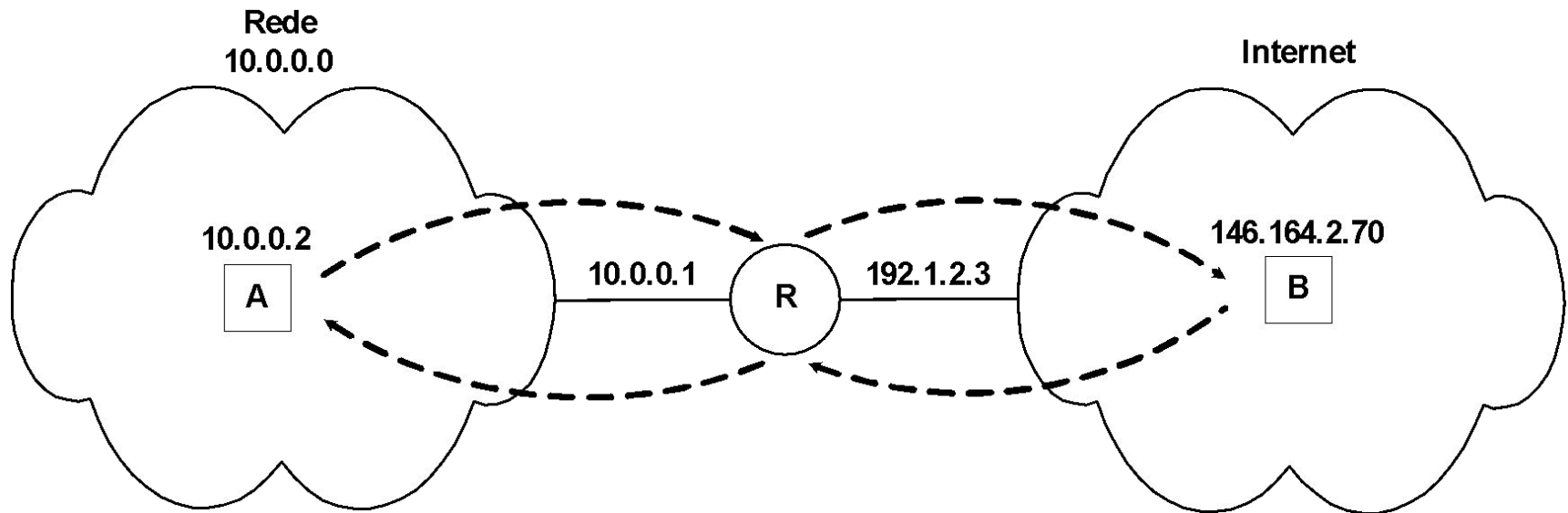
- Há conjuntos de endereços das classes A, B e C que são privados. Isso significa que eles não podem ser usados na internet, pois foram reservados para aplicações locais.



# Intervalos de endereços privados

Classe	Endereço Inicial	Endereço Final
A	10.0.0.0	10.255.255.255
B	172.16.0.0	172.31.255.255
C	192.168.0.0	192.168.255.255

# Funcionamento do NAT



# Funcionamento do NAT

- Roteadores são configurados por padrão para descartar qualquer requisição para endereços privados;
- Como o roteador, ao receber um pacote da rede externa, sabe para qual host da rede interna o datagrama deve ser encaminhado?
  - Faz uso do conceito de Portas (Será abordado mais a frente, na camada de transporte);

# Um olhar sobre o IPV6

- O principal problema do protocolo IPv4, apresentado anteriormente, é com relação ao espaço de endereçamento disponível;
  - Proposta de uma nova versão IP chamada IPV6;
  - Endereços de 128 bits –  $2^{128}$  endereços;
  - Uso do formato hexadecimal para representação de endereços
    - 2001:DB8::FF00:42:8329

# Um olhar sobre o IPV6

- Esquema de divisão de endereço em rede/host
  - 2001:DB8::FF00:42:8329/64
- Mesmo sendo uma solução definitiva para os problemas apresentados pela versão 4 do protocolo, ainda levará algum tempo para o IPV6 ser implementado em larga escala;

# Dúvidas, Perguntas, Questionamentos?

# Roteamento

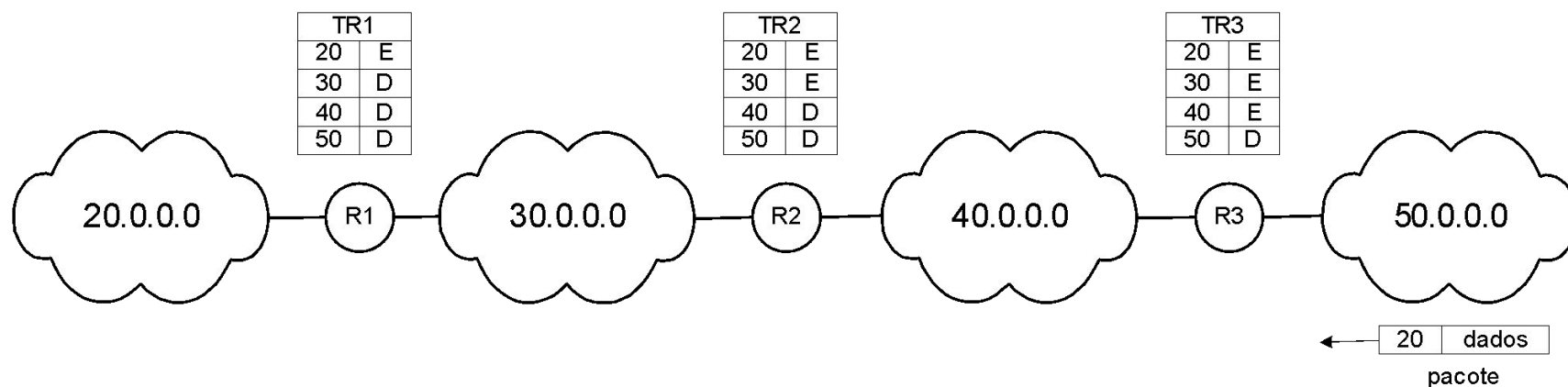
- O *roteamento* é a tarefa de encaminhar um pacote da origem ao destino utilizando dispositivos intermediários, chamados de *roteadores*, que juntos compõem a rede de interconexão;
  - Algoritmo de roteamento;
  - Tabelas de roteamento;

# Roteadores

- Equipamento utilizado no processo de roteamento;
  - Possui pelo menos 2 interfaces de redes;
  - Cada roteador mantém sua própria tabela de roteamento;
  - Responsabilidades:
    - Encaminhar pacotes para o destino final;
    - Manter a tabela de roteamento atualizada;

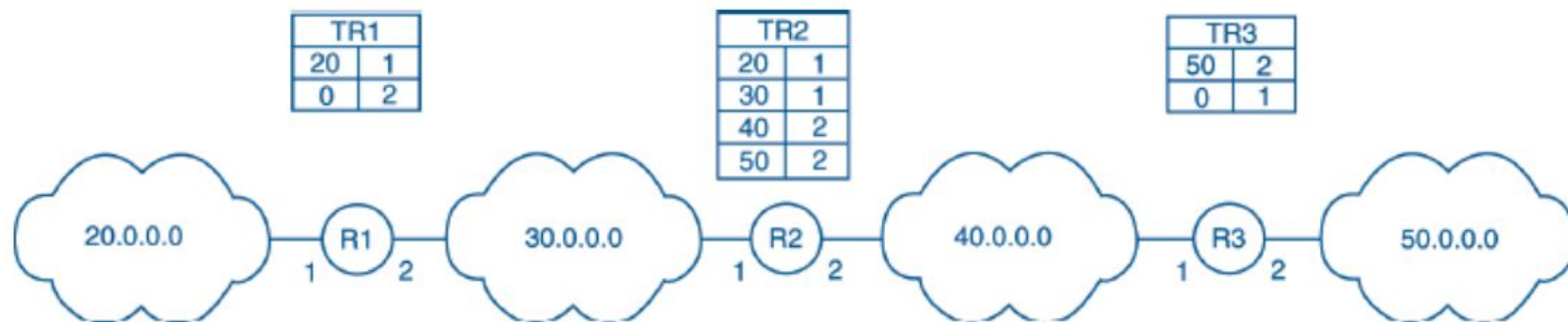


# Processo de roteamento



# Processo de roteamento

- No exemplo, todas as tabelas de roteamento estão preenchidas com todas as rotas possíveis;
- Dependendo da topologia da rede, não é necessário definir todas as rotas existentes;
  - *rota padrão ou rota default;*



# Gateway

- Do inglês, *gateway* significa portão ou portal;
  - Atua como um elemento intermediário para ligação entre duas redes;
  - Todos os pacotes serão encaminhados para essa rota na ausência de uma rota específica;

# Características de um algoritmo de roteamento

- Selecionar o melhor caminho;
- Convergir rapidamente;
- Oferecer robustez;
- Oferecer escalabilidade;
- Consumir poucos recursos;

# Métricas de roteamento

- Número de saltos ou *hops*;
- Taxa de transmissão (bps) e carga da rede (%);
- Atraso ou latência RTT (Round Trip Time);
- Taxa de Erro – transmitidos / recebidos
- Disponibilidade;
- Custo;

# Tipos de roteamento

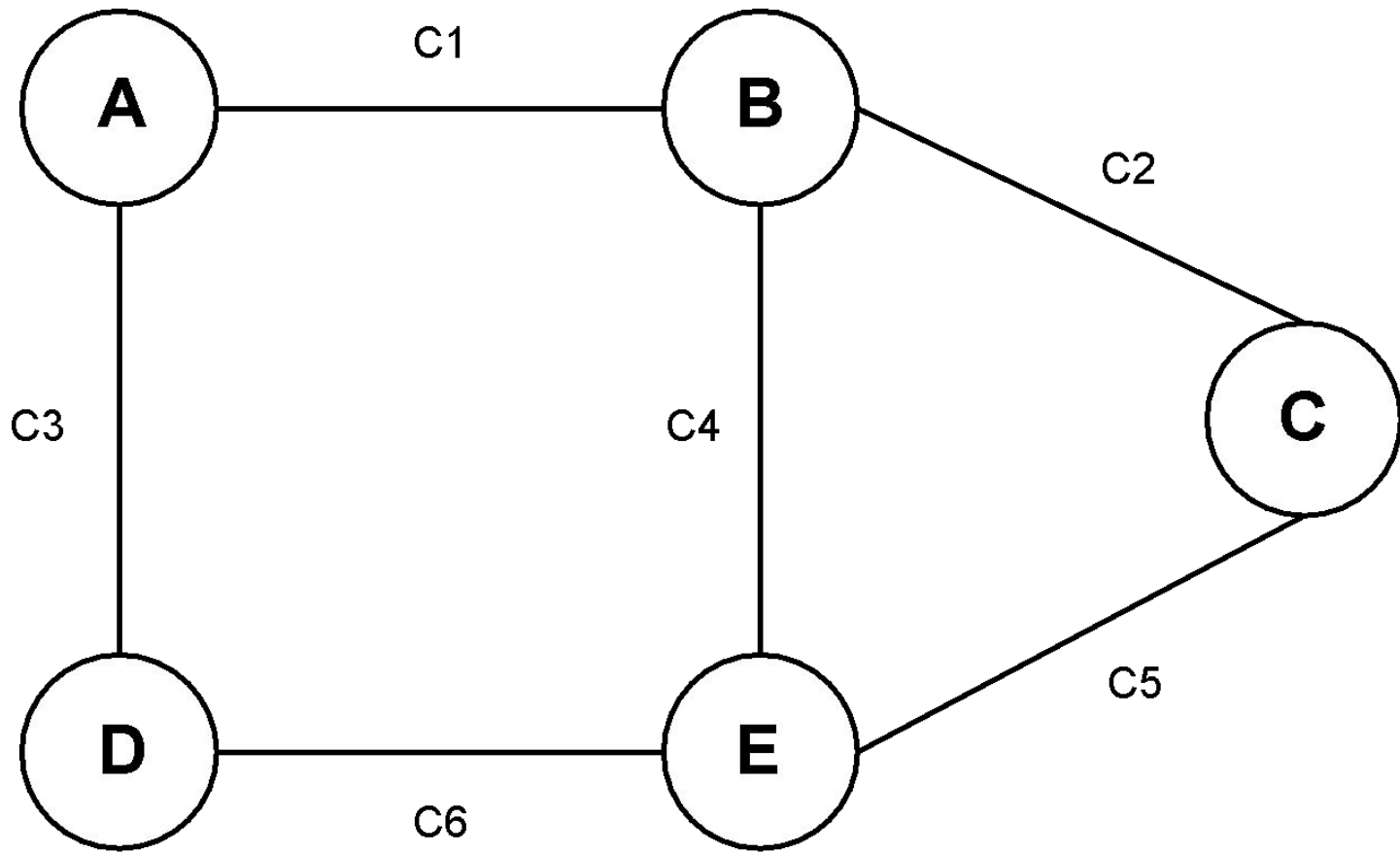
- Duas categorias de roteamento mais comuns:
  - Roteamento por vetor de distância;
  - Roteamento por estado do enlace;

# Roteamento por vetor de distância

- Primeiro algoritmo usado na internet;
  - Ainda muito usado pela simplicidade e baixo consumo computacional;
  - RIP - *Routing Information Protocol*;
    - *Utiliza o número de saltos como métrica para avaliação da melhor rota;*



# Exemplo do roteamento por vetor de distância



# Exemplo do roteamento por vetor de distância

Destino	Caminho	Custo
A	-	0

Destino	Caminho	Custo
B	-	0

Destino	Caminho	Custo
C	-	0

Destino	Caminho	Custo
D	-	0

Destino	Caminho	Custo
E	-	0

Destino	Caminho	Custo
A	-	0
B	C1	1
D	C3	1

Destino	Caminho	Custo
B	-	0
A	C1	1
C	C2	1
E	C4	1

Destino	Caminho	Custo
C	-	0
B	C2	1
E	C5	1

Destino	Caminho	Custo
D	-	0
A	C3	1
E	C6	1

Destino	Caminho	Custo
E	-	0
B	C4	1
C	C5	1
D	C6	1

# Exemplo do roteamento por vetor de distância

Destino	Caminho	Custo
A	-	0
B	C1	1
D	C3	1
C	C1	2
E	C1	2

Destino	Caminho	Custo
B	-	0
A	C1	1
C	C2	1
E	C4	1
D	C1	2

Destino	Caminho	Custo
C	-	0
B	C2	1
E	C5	1
A	C2	2
D	C5	2

Destino	Caminho	Custo
D	-	0
A	C3	1
E	C6	1
B	C3	2
C	C6	2

Destino	Caminho	Custo
E	-	0
B	C4	1
C	C5	1
D	C6	1
A	C4	2

# Roteamento por estado do enlace

- Algoritmo alternativo ao roteamento por vetor de distância
- O roteamento por estado do enlace é implementado nos protocolos OSPF (*Open Shortest Path First*);
- O algoritmo baseado no estado do enlace tem uma visão global da rede;

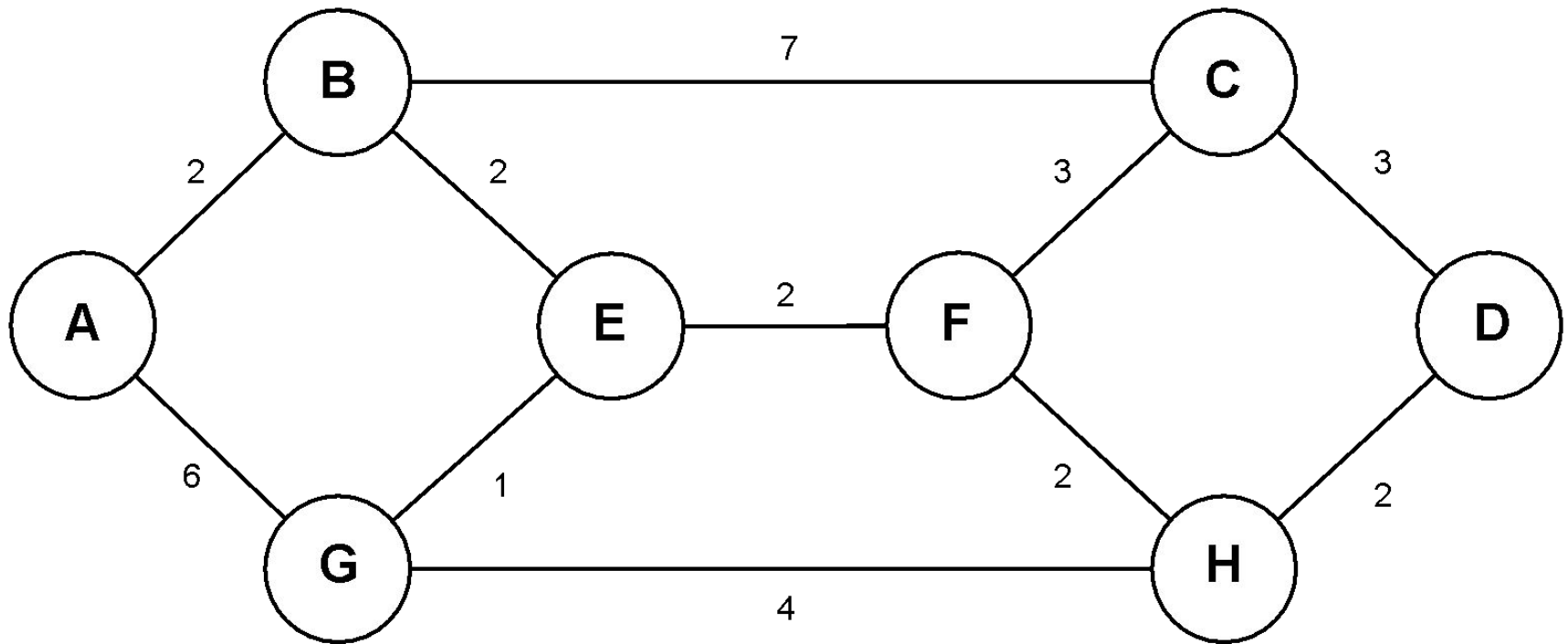
# Roteamento por estado do enlace

- Todos os roteadores mantêm uma base de dados com informações sobre todos os caminhos disponíveis e seus respectivos custos.
- As informações são, periodicamente, atualizadas;
- Sempre que for necessário reencaminhar um pacote, o roteador pode calcular o melhor caminho com base nessas informações;

# Métricas do roteamento por estado do enlace

- Número de saltos;
- Taxa de transmissão e carga da rede;
- Atraso;
- Taxa de erro;
- ...

# Exemplo do roteamento por estado do enlace



# Exemplo do roteamento por estado do enlace

- 1. cada roteador envia uma mensagem do tipo *Hello para* a identificação do dispositivo adjacente.
  - Ao receber a resposta, o roteador passa a conhecer seus vizinhos. Esse mecanismo também é utilizado para garantir que os roteadores estão ativos.
  - Periodicamente, uma mensagem *Hello* é enviada para os dispositivos vizinhos para garantir que estão em funcionamento.



# Exemplo do roteamento por estado do enlace

- 2. Os roteadores calculam o custo para alcançar cada um de seus vizinhos, utilizando alguma das métricas apresentadas.
  - Depois de calculado o custo, cada roteador cria um pacote contendo sua identificação e o custo para alcançar seus vizinhos - LSP (*Link State Packet*).

A	B	C	D	E	F	G	H
B 2	A 2	B 7	C 3	B 2	C 3	A 6	D 2
G 6	C 7	D 3	H 2	F 2	E 2	E 1	F 2
	E 2	F 3		G 1	H 2	H 4	G 4

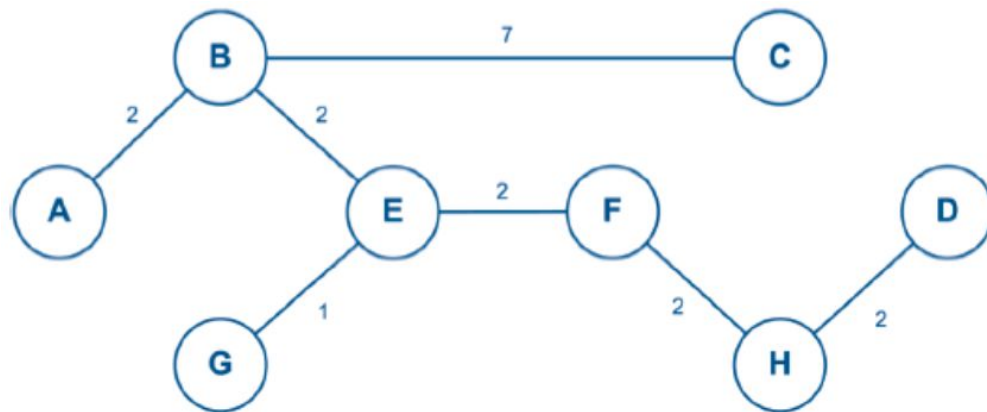
# Exemplo do roteamento por estado do enlace

- 3. Os pacotes criados por cada roteador são enviados para todos os demais utilizando o roteamento por **inundação**;
  - À medida que os pacotes são recebidos pelo roteador, é criada uma base de dados contendo a origem, o destino e o custo do enlace.

De	Para	Custo
A	B	2
A	G	6
B	A	2
B	C	7
B	E	2
C	B	7
C	D	3
C	F	3
D	C	3
D	H	2
E	B	2
E	F	2
E	G	1
F	C	3
F	E	2
F	H	2
G	A	6
G	E	1
G	H	4
H	D	2
H	F	2
H	G	4

# Exemplo do roteamento por estado do enlace

- 4. O melhor caminho é calculado com base nas informações da base de dados usando algum algoritmo como por exemplo o algoritmo SPF (*Shortest Path First*) [Dijkstra, 1959];
  - O algoritmo SPF cria uma árvore de caminho de menor custo a partir de determinado roteador, chamado de raiz, para todos os demais.



# Redes, subredes e IPV6

# Número de redes e hosts por classe

Classe	Redes	Hosts	Descrição
A	128 ( $2^7$ )	16777216 ( $2^{24}$ )	Redes muito grandes
B	16384 ( $2^{14}$ )	65536 ( $2^{16}$ )	Redes médias/grandes
C	2097152 ( $2^{21}$ )	256 ( $2^8$ )	Redes pequenas

# Intervalos de endereços por classe

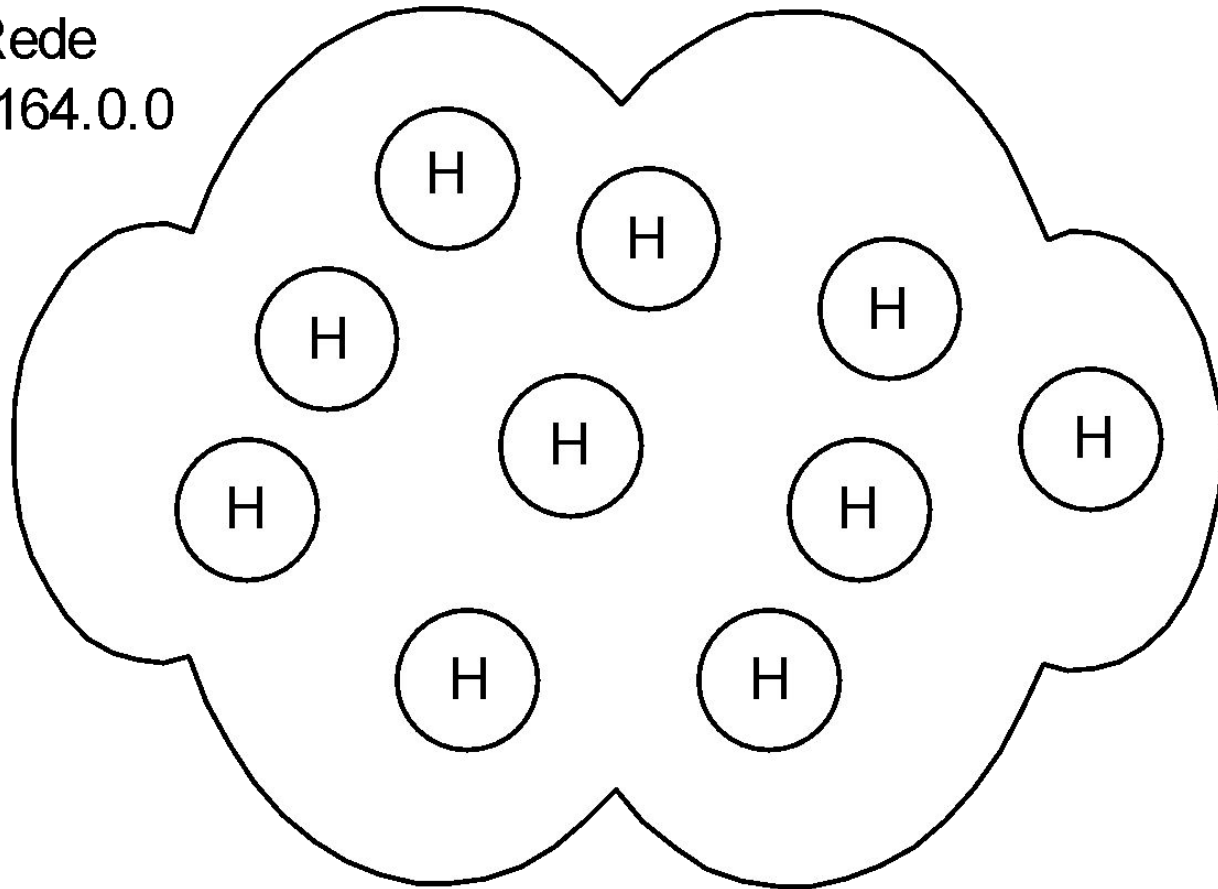
Classe	Endereço Inicial	Endereço Final
A	0.0.0.0	127.255.255.255
B	128.0.0.0	191.255.255.255
C	192.0.0.0	223.255.255.255
D	224.0.0.0	239.255.255.255
E	240.0.0.0	255.255.255.255

# Redes e Sub-redes

- No esquema de endereçamento IP em apenas dois níveis, o endereço é dividido em duas partes:
  - Identificação da rede e;
  - Identificação do host;
- Esquema com dois níveis pode ser insuficiente;

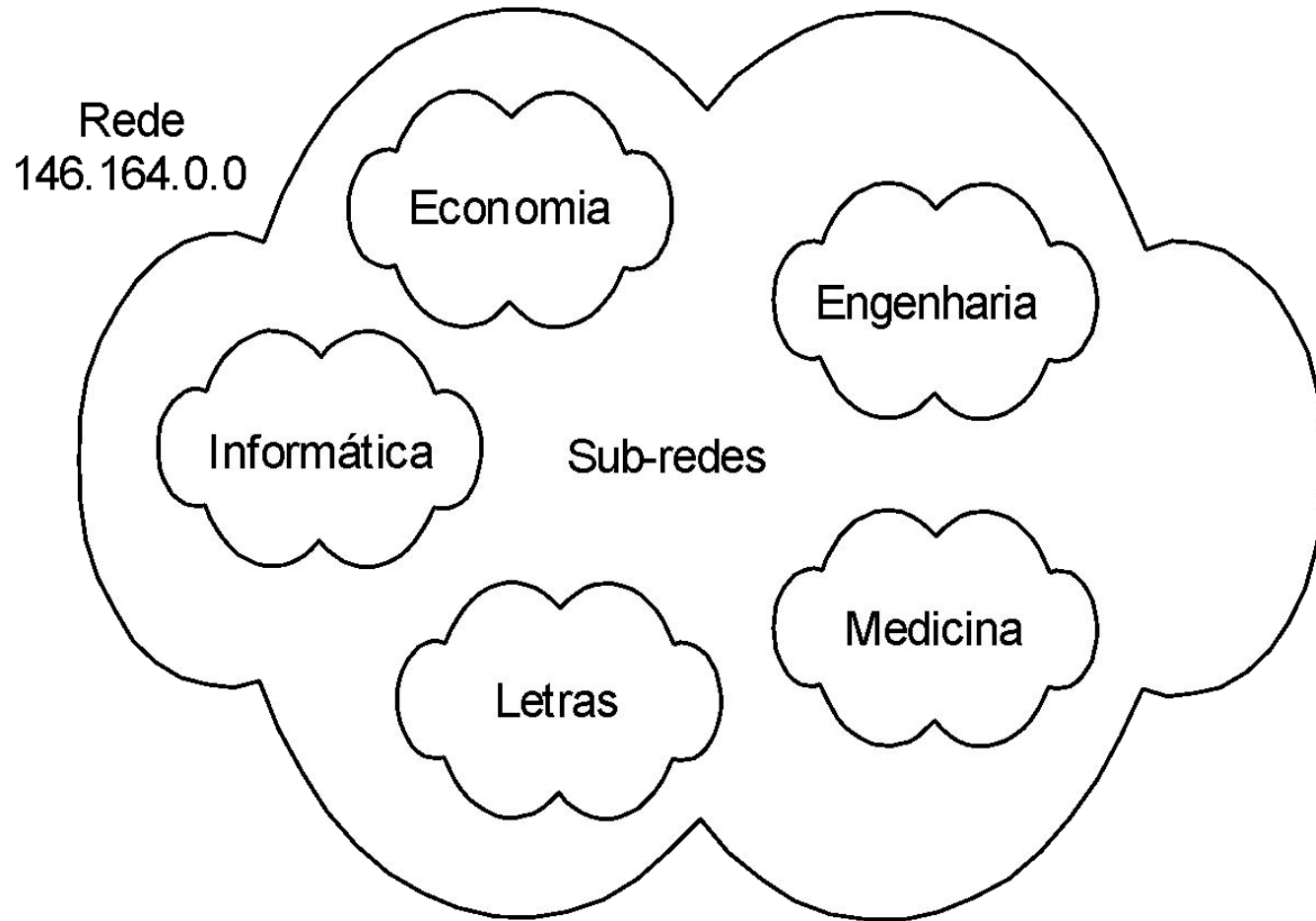
# Rede sem sub-redes

Rede  
146.164.0.0





# Rede com sub-redes

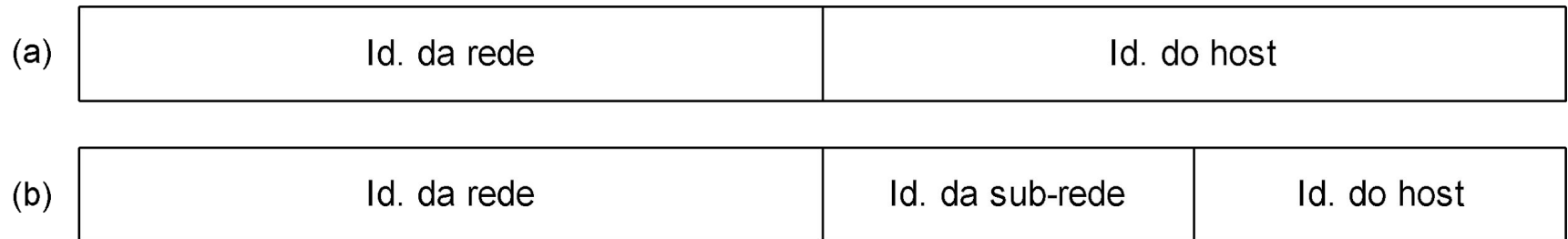


Rede 146.164.0.0 pertence ao tipo B

# Sub-redes

- O subendereçamento é implementado na prática utilizando-se parte dos bits destinados à identificação do host.
- Nesse caso, o endereço é dividido em três partes:
  - identificação da rede;
  - identificação da sub-rede e;
  - identificação do host dentro da sub-rede;

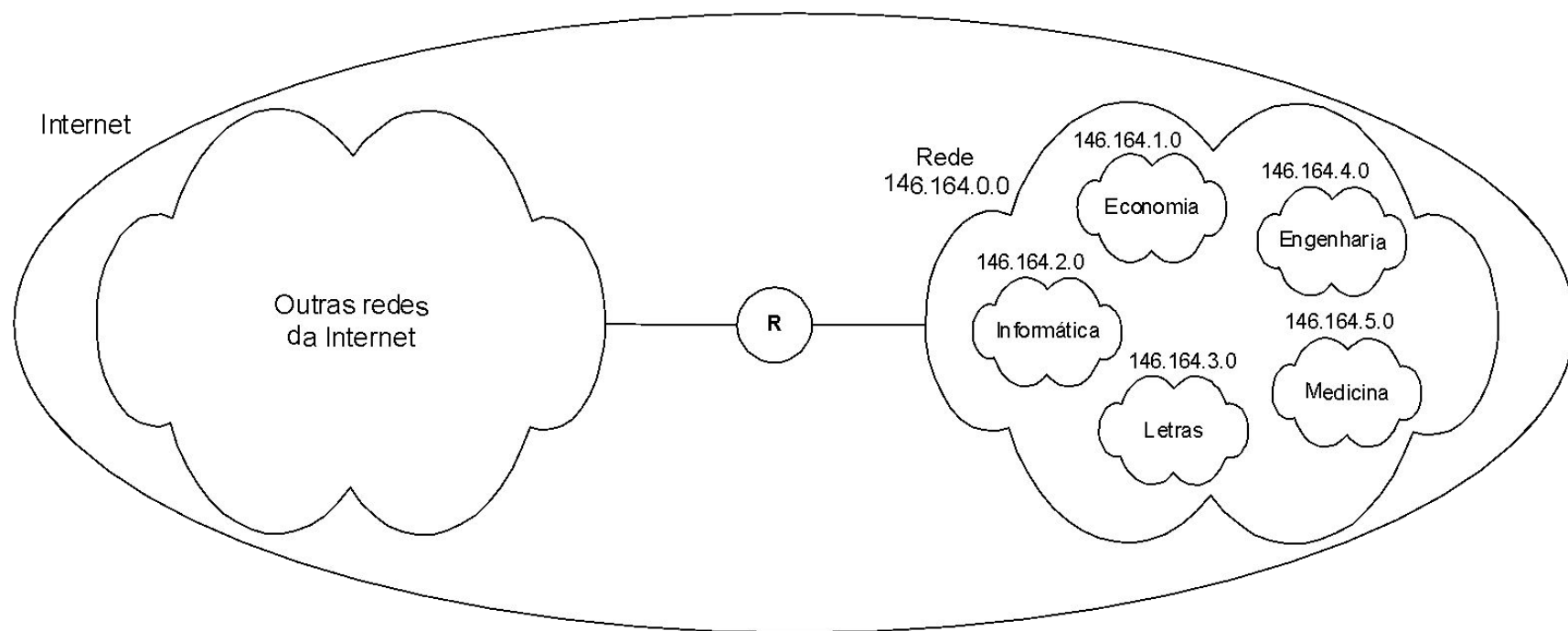
# Endereçamento e subendereçamento



# Exemplo de subendereçoamento

Sub-rede	Endereço da Sub-rede	Endereço Inicial	Endereço Final	Endereço de Broadcast
1	146.164.1.0	146.164.1.1	146.164.1.254	146.164.1.255
2	146.164.2.0	146.164.2.1	146.164.2.254	146.164.2.255
3	146.164.3.0	146.164.3.1	146.164.3.254	146.164.3.255
...	...	...	...	...
254	146.164.254.0	146.164.254.1	146.164.254.254	146.164.254.255

# Endereçamento hierárquico



# Sub-redes

- Analisando apenas para o endereço 146.164.2.70, não é possível identificar se há ou não a utilização do esquema de subendereçamento.
- Para diferenciar os dois tipos de endereçamento, utiliza-se uma máscara de bits, chamada de **máscara de sub-rede (subnet mask)**.

# Máscara de sub-rede

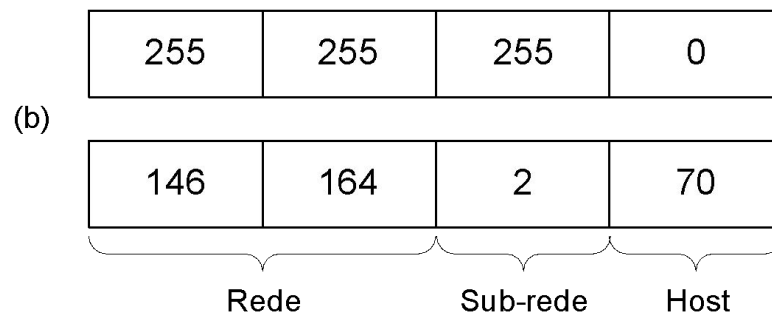
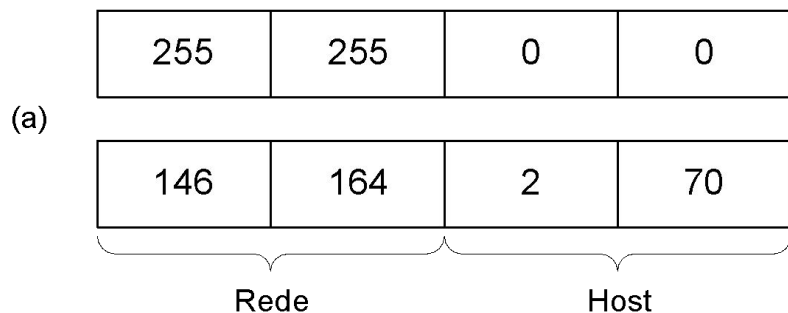
- A *máscara de sub-rede* permite especificar os bits do identificador de *host* que estão sendo utilizados para subendereçoamento.
  - Para isso, a máscara é formada por uma sequência de bits 1, que representa a parte da rede e sub-rede,
  - Seguida de uma sequência de bits 0, que representa a parte do host.

# Exemplos de máscaras de sub-rede

11111111	00000000	00000000	00000000	=	255	0	0	0
11111111	11111111	00000000	00000000	=	255	255	0	0
11111111	11111111	11111111	00000000	=	255	255	255	0



# Exemplo de máscara de sub-rede



# Máscara de sub-rede

- A máscara sozinha não permite identificar se há utilização de sub-redes.
  - O subendereçoamento é uma combinação da classe do endereço com a máscara de sub-rede.
  - Por exemplo, enquanto a máscara 255.255.255.0 para um endereço classe B implementa o esquema de sub-redes, a mesma máscara para um endereço classe C não implica subendereçoamento.

# Máscara de sub-rede

- O exemplo anterior considerou um subendereçoamento com 256 sub-redes e cada uma contendo 254 hosts.
- Mas suponha uma instituição que tenha cerca de 1000;



# Máscara de sub-rede

- O subendereçoamento permite manipular a máscara de sub-rede de forma a refletir as necessidades da instituição.
  - Nesse caso, como são 1000 hosts, basta calcular a potência de dois mais próxima e descobrir o número de bits necessários para representá-los.
  - 1024 ( $2^{10}$ ), ou seja dez bits para endereçamento dos hosts.

# Máscara de sub-rede

- O subendereçoamento permite manipular a máscara de sub-rede de forma a refletir as necessidades da instituição.
  - Como existem 16 bits possíveis para subendereçoamento e são necessários dez para hosts, sobram seis bits para endereçamento de sub-redes.
  - A máscara de sub-rede em decimal deverá representar essa sequência de bits, tendo, assim, a máscara 255.255.252.0.

# Endereçamento sem classe

- *A utilização das classes gerou um problema quanto à otimização do uso de endereços;*
  - *Classless Inter-Domain Routing (CIDR);*
  - Permite a criação de sub-redes com tamanhos variados;
  - Uso de uma nova notação;
    - 200.10.10.0/25
    - /25 significa a quantidade de bits usados para identificação de redes;
  - Possibilidade de máscaras variáveis;