

Protocolos em Redes de Dados

Aula 03

Introdução ao encaminhamento

Luís Rodrigues

FCUL

2004-2005

- ▶ Introdução ao encaminhamento.
- ▶ Distance Vector Routing.
- ▶ Link State Routing.
- ▶ RIP.
- ▶ (Nota: a maioria das figuras foram retiradas de A. Tanenbaum ©Prentice-Hall 1996)

Algoritmo de encaminhamento

Encaminhamento

Encaminhamento estático

Encaminhamento dinâmico

Vectores de Distância
Estado dos Elos
Encaminhamento
Hierárquico

RIP

RIP V1
RIP V2

- ▶ Decide qual o caminho que os pacotes devem tomar.
- ▶ Serviços datagrama:
 - ▶ Executado pacote a pacote.
- ▶ Serviços orientados ao circuito:
 - ▶ Executado quando se cria o circuito.

Dificuldades do encaminhamento

Encaminhamento

Encaminhamento estático

Encaminhamento dinâmico

Vectores de Distância
Estado dos Elos
Encaminhamento
Hierárquico

RIP

RIP V1
RIP V2

- ▶ Tentar maximizar os recursos da rede (desempenho).
- ▶ Tentar garantir o acesso a todos os participantes (igualdade).
 - ▶ Objectivos em conflito.
- ▶ Que tipo de característica se deve privilegiar?
 - ▶ Débito, latência, preço, fiabilidade, etc.

Igualdade e desempenho

Encaminhamento

Encaminhamento
estático

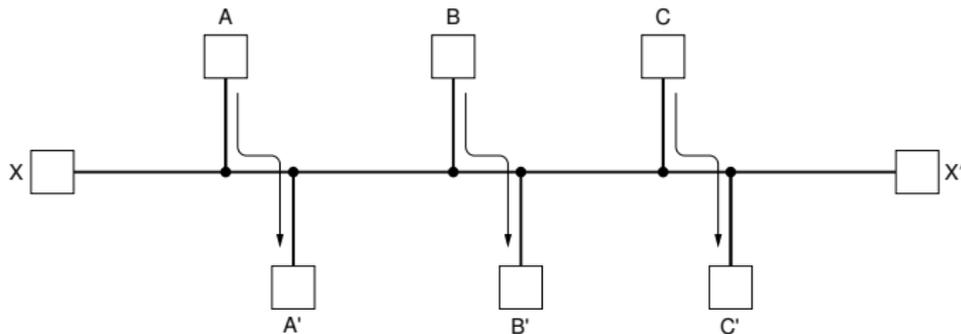
Encaminhamento
dinâmico

Vectores de Distância
Estado dos Elos
Encaminhamento
Hierárquico

RIP

RIP V1

RIP V2



Árvore de escoamento

- ▶ O conjunto de caminhos óptimos entre um nó e os restantes forma uma árvore.
- ▶ Designa-se por árvore de escoamento.
- ▶ Dificuldade na definição da árvore:
 - ▶ Os nós podem ter opiniões diferentes acerca de quais os encaminhadores que estão a montante e quais os que estão jusante.

Árvore de escoamento

Encaminhamento

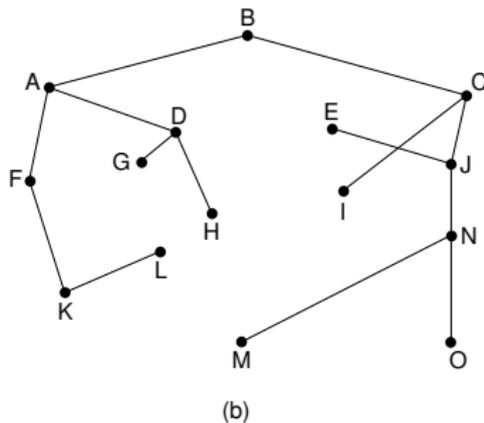
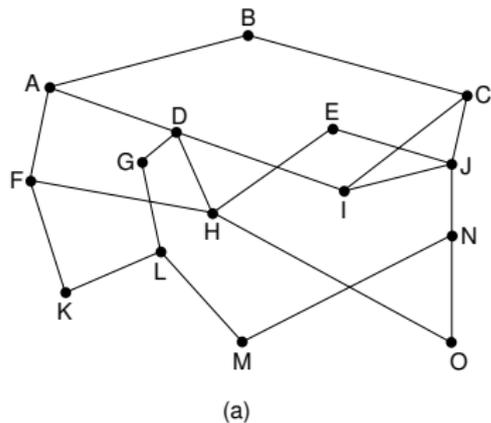
Encaminhamento estático

Encaminhamento dinâmico

Vectores de Distância
Estado dos Elos
Encaminhamento
Hierárquico

RIP

RIP V1
RIP V2



Cálculo do caminho mais curto

Encaminhamento

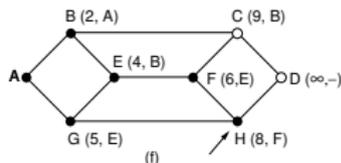
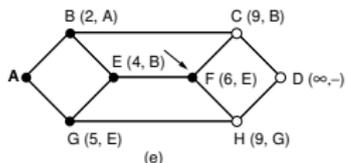
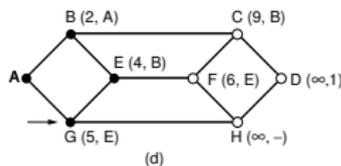
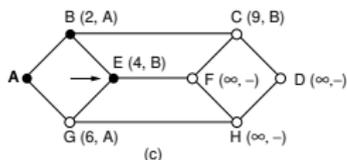
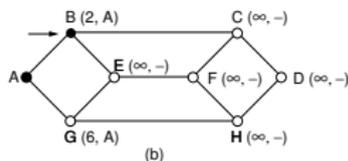
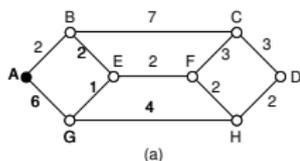
Encaminhamento estático

Encaminhamento dinâmico

Vectores de Distância
Estado dos Elos
Encaminhamento
Hierárquico

RIP

RIP V1
RIP V2



Encaminhamento

Encaminhamento estático

Encaminhamento dinâmico

Vectores de Distância
Estado dos Elos
Encaminhamento
Hierárquico

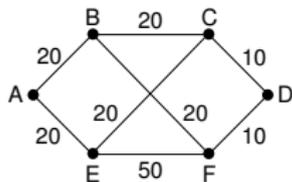
RIP

RIP V1
RIP V2

- ▶ Enviar um pacote por todos os caminhos possíveis.
- ▶ Dispendioso e induz ciclos infinitos.
 - ▶ É necessário acrescentar um mecanismo de descarte de pacotes.
 - ▶ “Tempo-de-vida” do pacote.

- ▶ Suponha-se que se conhecem de antemão os parâmetros da rede:
 - ▶ Padrões de tráfego, topologia, débito dos elos.
- ▶ É possível prever o atraso em cada caminho, para uma determinada configuração de encaminhamento:
 - ▶ Tamanho médio dos pacotes ($1/\mu$), capacidade (C) e taxa de transmissão (λ).
 - ▶ $T = (\mu C - \lambda)^{-1}$
- ▶ Pode-se calcular o encaminhamento que minimiza o atraso médio na rede.

Matriz de encaminhamento



| | | Destination | | | | | |
|--------|---|-------------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| | | A | B | C | D | E | F |
| Source | A | | 9 AB | 4 ABC | 1 ABFD | 7 AE | 4 AEF |
| | B | 9 BA | | 8 BC | 3 BFD | 2 BFE | 4 BF |
| | C | 4 CBA | 8 CB | | 3 CD | 3 CE | 2 CEF |
| | D | 1 DFBA | 3 DFB | 3 DC | | 3 DCE | 4 DF |
| | E | 7 EA | 2 EFB | 3 EC | 3 ECD | | 5 EF |
| | F | 4 FEA | 4 FB | 2 FEC | 4 FD | 5 FE | |

(b)

Encaminhamento

Encaminhamento
estático

Encaminhamento
dinâmico

Vectores de Distância
Estado dos Elos
Encaminhamento
Hierárquico

RIP

RIP V1
RIP V2

Cálculo do atraso médio

- ▶ Considerando $1/\mu = 800\text{bits}$, μC indica a capacidade do elo em pacotes por segundo e a variável “weight” indica a percentagem de pacotes a percorrer o elo em relação ao número total de pacotes trocados.

| i | Line | λ_i (pkts/sec) | C_i (kbps) | μC_i (pkts/sec) | T_i (msec) | Weight |
|---|------|------------------------|--------------|----------------------|--------------|--------|
| 1 | AB | 14 | 20 | 25 | 91 | 0.171 |
| 2 | BC | 12 | 20 | 25 | 77 | 0.146 |
| 3 | CD | 6 | 10 | 12.5 | 154 | 0.073 |
| 4 | AE | 11 | 20 | 25 | 71 | 0.134 |
| 5 | EF | 13 | 50 | 62.5 | 20 | 0.159 |
| 6 | FD | 8 | 10 | 12.5 | 222 | 0.098 |
| 7 | BF | 10 | 20 | 25 | 67 | 0.122 |
| 8 | EC | 8 | 20 | 25 | 59 | 0.098 |

- ▶ Cada encaminhador é configurado estaticamente com as rotas correctas.
 - ▶ Qualquer reconfiguração da rede obriga à reconfiguração dos encaminhadores.
 - ▶ A possibilidade de adaptar dinamicamente o comportamento da rede em função de falhas é bastante limitada.

Rede alvo

Encaminhamento

Encaminhamento
estático

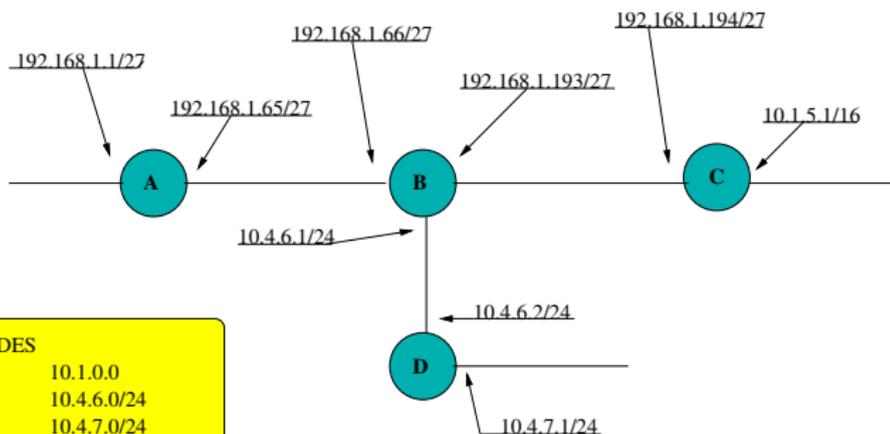
Encaminhamento
dinâmico

Vectores de Distância
Estado dos Elos
Encaminhamento
Hierárquico

RIP

RIP V1

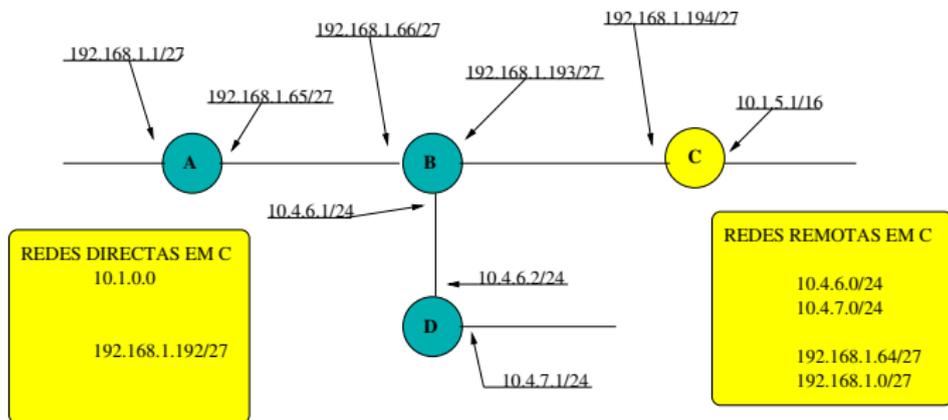
RIP V2



REDES

10.1.0.0
10.4.6.0/24
10.4.7.0/24
192.168.1.192/27
192.168.1.64/27
192.168.1.0/27

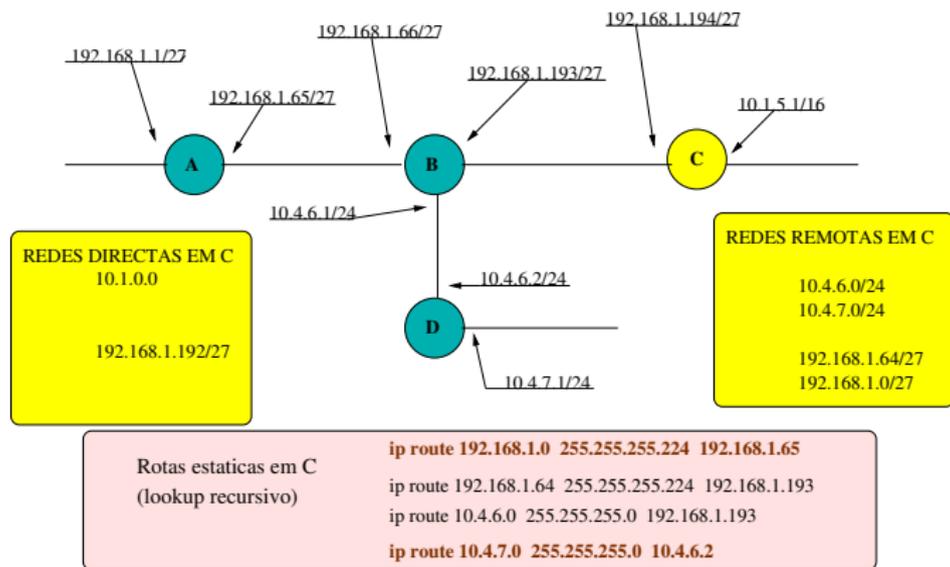
Encaminhamento estático



Rotas estaticas em C

```
ip route 192.168.1.0 255.255.255.224 192.168.1.193
ip route 192.168.1.64 255.255.255.224 192.168.1.193
ip route 10.4.6.0 255.255.255.0 192.168.1.193
ip route 10.4.7.0 255.255.255.0 192.168.1.193
```

Lookup recursivo



Lookup recursivo

- ▶ Obriga a um maior processamento
 - ▶ Embora o encaminhador possa fazer manter as traduções em cache.
- ▶ Pode simplificar a reconfiguração.

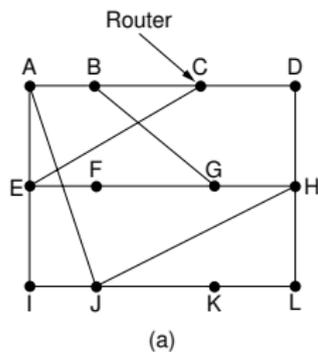
Encaminhamento dinâmico

- ▶ Duas alternativas principais:
 - ▶ Vectores de distância.
 - ▶ Estados dos elos.

Encaminhamento baseado na distância

- ▶ Distance Vector Routing.
 - ▶ Cada encaminhador mantém uma tabela que indica a “distância” em relação aos restantes nós e qual o caminho a seguir.
- ▶ A métrica usada para medir a distância pode variar.
 - ▶ Número de encaminhadores, tempo de espera, etc.
- ▶ Cada nó propaga para os seus vizinhos o conteúdo da sua tabela.
 - ▶ A tabela local é actualizada após receber informação dos vizinhos.

Atualização da informação de custos



New estimated delay from J

| To | A | I | H | K | Line |
|----|----|----|----|----|------|
| A | 0 | 24 | 20 | 21 | 8 A |
| B | 12 | 36 | 31 | 28 | 20 A |
| C | 25 | 18 | 19 | 36 | 28 I |
| D | 40 | 27 | 8 | 24 | 20 H |
| E | 14 | 7 | 30 | 22 | 17 I |
| F | 23 | 20 | 19 | 40 | 30 I |
| G | 18 | 31 | 6 | 31 | 18 H |
| H | 17 | 20 | 0 | 19 | 12 H |
| I | 21 | 0 | 14 | 22 | 10 I |
| J | 9 | 11 | 7 | 10 | 0 - |
| K | 24 | 22 | 22 | 0 | 6 K |
| L | 29 | 33 | 9 | 9 | 15 K |

| JA delay is | JI delay is | JH delay is | JK delay is |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 8 | 10 | 12 | 6 |

Vectors received from J's four neighbors

(b)

New routing table for J

Encaminhamento

Encaminhamento
estático

Encaminhamento
dinâmico

Vectores de Distância

Estado dos Elos

Encaminhamento

Hierárquico

RIP

RIP V1

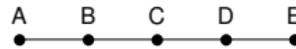
RIP V2

Lentidão na actualização de falhas



| A | B | C | D | E | |
|---|----------|----------|----------|----------|-------------------|
| | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | Initially |
| | 1 | ∞ | ∞ | ∞ | After 1 exchange |
| | 1 | 2 | ∞ | ∞ | After 2 exchanges |
| | 1 | 2 | 3 | ∞ | After 3 exchanges |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | After 4 exchanges |

(a)



| A | B | C | D | E | |
|---|----------|----------|----------|----------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | Initially |
| | 3 | 2 | 3 | 4 | After 1 exchange |
| | 3 | 4 | 3 | 4 | After 2 exchanges |
| | 5 | 4 | 5 | 4 | After 3 exchanges |
| | 5 | 6 | 5 | 6 | After 4 exchanges |
| | 7 | 6 | 7 | 6 | After 5 exchanges |
| | 7 | 8 | 7 | 8 | After 6 exchanges |
| | | \vdots | | | |
| | ∞ | ∞ | ∞ | ∞ | |

(b)

Encaminhamento

Encaminhamento
estático

Encaminhamento
dinâmico

Vectores de Distância

Estado dos Elos

Encaminhamento
Hierárquico

RIP

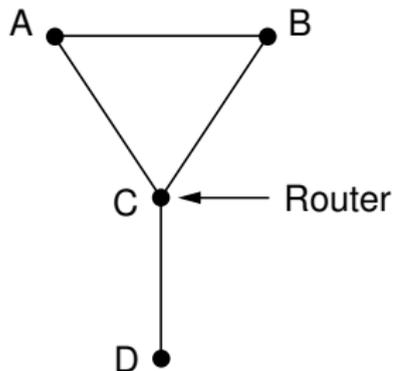
RIP V1

RIP V2

Contagem até ao infinito e “split horizon”

- ▶ O problema anterior é designado por problema da contagem até ao infinito.
- ▶ Uma técnica que tenta resolver este problema consiste em dar informação acerca da direcção dos pacotes.
 - ▶ Se A encaminha pacotes para C através de B, não indica a B que possui um caminho alternativo para C.
 - ▶ Põe essa distância a “infinito”.
 - ▶ Designa-se por “split horizon”.

Falha do algoritmo “split horizon”.



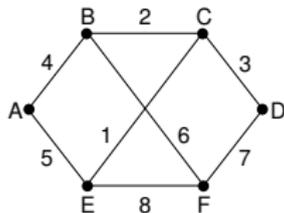
Encaminhamento baseado no estado dos elos

- ▶ Cada nó descobre quais os encaminhadores que estão na sua vizinhança e qual o estado dos elos.
- ▶ Esta informação é propagada na rede para todos os encaminhadores.
- ▶ Cada encaminhador calcula uma tabela de encaminhamento localmente.

Reconhecimento dos vizinhos

- ▶ Pacotes dedicados para saber a identidade dos vizinhos (hello).
- ▶ Pacotes de eco para medir os atrasos na rede:
 - ▶ Podem ou não ter em conta o tráfego (usando as filas normais para transmitir o eco).
- ▶ A informação recolhida é enviada aos restantes nós.

Pacotes do "link-state"



(a)

| Link | | State | | Packets | |
|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| A | B | C | D | E | F |
| Seq. | Seq. | Seq. | Seq. | Seq. | Seq. |
| Age | Age | Age | Age | Age | Age |
| B 4 | A 4 | B 2 | C 3 | A 5 | B 6 |
| E 5 | C 2 | D 3 | F 7 | C 1 | D 7 |
| | F 6 | E 1 | | F 8 | E 8 |

(b)

Encaminhamento

Encaminhamento
estático

Encaminhamento
dinâmico

Vectores de Distância

Estado dos Elos

Encaminhamento
Hierárquico

RIP

RIP V1

RIP V2

Distribuindo o estado das linhas

- ▶ Tenta-se que todos os encaminhadores usem a mesma informação.
- ▶ Os pacotes são numerados e encaminhados por inundação.
- ▶ Pacotes já encaminhados/recebidos são descartados.
- ▶ Cada entrada é apagada ao fim de algum tempo.
- ▶ A recepção dos pacotes é confirmada ao receptor.

Cálculo de novas tabelas de encaminhamento

- ▶ Feito localmente usando o estado da rede recebido.
- ▶ Algoritmos semelhantes aos estudados anteriormente.
- ▶ Variantes deste algoritmo muito utilizadas em redes actuais.
 - ▶ OSPF.

Encaminhamento hierárquico

- ▶ Não é exequível manter tabelas com todos os encaminhadores que existem no mundo.
- ▶ Dividir o espaço de encaminhamento em regiões.
- ▶ Encaminhar entre as regiões sem conhecer a sua estrutura interna.
 - ▶ Aplicar este princípio recursivamente.

- ▶ A rede é vista como um conjunto de sistemas autónomos interligados.
- ▶ A estrutura interna do sistema autónomo não é vista do exterior.
- ▶ Protocolos diferentes dentro e fora do sistema autónomo.

Duas grandes classes de protocolos

- ▶ Interior Routing Protocols:
 - ▶ Usados para encaminhar pacotes dentro de um sistema autónomo.
- ▶ Exterior Routing Protocols:
 - ▶ Usados para encaminhar pacotes entre sistemas autónomos.

Algumas siglas (Protocolos interiores)

- ▶ RIP:
 - ▶ Routing Information Protocol.
- ▶ OSPF:
 - ▶ Open Shortest Path First.
- ▶ IGRP, EIGRP:
 - ▶ Proprietário da Cisco.

Algumas siglas (Protocolos exteriores)

- ▶ EGP:
 - ▶ Exterior Gateway Protocol.
- ▶ BGP:
 - ▶ Border Gateway Protocol.
- ▶ CIDR:
 - ▶ Classless Inter-Domain Routing.

- ▶ Protocolo "simples" da família dos protocolos baseados em vectores de distância.
- ▶ Inspirado nos primeiros protocolos de encaminhamento usados na Internet.

RIP (V1)

- ▶ Define o formato das mensagens usadas para trocar o conteúdo das tabelas.
- ▶ A métrica usada é o número de "hops", e o infinito está definido como 16.
- ▶ Esta convenção para o infinito impede o uso de métricas sofisticadas.

RIP (V1)

- ▶ Originalmente, concretizado por um programa chamado "routed".
- ▶ Distribuído com o Unix de Berkeley.
- ▶ Hoje substituído por outro chamado "gated".
 - ▶ "gated" disponível para a maioria dos Unix.

RIP (V1)

- ▶ Configuração:
 - ▶ O servidor deve obter a lista das suas interfaces e quais as redes a que está ligado através de ficheiros de configuração.
- ▶ É necessário também indicar quais são os vizinhos e quais os seus endereços.

RIP (V1): formato do pacote

| | | |
|---------------------------|---------|---|
| Comand | Version | 0 |
| Address family identifier | | 0 |
| IP address | | |
| 0 | | |
| 0 | | |
| Metric | | |

- ▶ Command: request/response.
- ▶ Version: 1
- ▶ Family: originalmente pensado para suportar XNS, X.25, etc. Na prática IP.

RIP (V1): envio de actualizações

- ▶ Actualizações (response) periódicas.
 - ▶ Em intervalos de 30 s.
- ▶ Estimuladas por alterações na rede:
 - ▶ Propagadas de imediato mas com controlo da taxa máxima.
- ▶ Pedidos:
 - ▶ Utilizados quando um encaminhador se inicia, para solicitar actualizações dos seus vizinhos.

RIP (V2)

- ▶ Uma segunda versão do RIP foi definida em 1993.
- ▶ Permite trocar máscaras de sub-rede, de modo a criar encaminhamentos diferentes para cada uma das sub-redes.
- ▶ Permite trocar um campo de autenticação.

RIP (V2): formato do pacote

| | | |
|---------------------------|---------|-----------|
| Comand | Version | 0 |
| Address family identifier | | Route tag |
| IP address | | |
| Subnet mask | | |
| Next hop | | |
| Metric | | |

- ▶ Route tag: usado para identificar rotas externas.

RIP (V2): autenticação simples

| | | |
|---------------------------|-----------|---------------------|
| Comand | Version | 0 |
| 0xFFFF | | Authentication type |
| Authentication | | |
| Address family identifier | Route tag | |
| IP address | | |
| Subnet mask | | |
| Next hop | | |
| Metric | | |

- ▶ Posteriormente reforçado para suportar outras formas de autenticação.

- ▶ Encaminhamento baseado em vectores de distância.
- ▶ Encaminhamento baseado em “estados-dos-elos”.
- ▶ RIP.