

## Protocolos de Comunicação 2021-2022

### Ficha prática 3 – INTRODUÇÃO AO ENCAMINHAMENTO

#### Objetivos e organização

A presente ficha prática tem por objetivo tomar contacto com as questões de encaminhamento em redes IP. Sendo usados encaminhadores Cisco como base de trabalho, a ficha debruçar-se-á, tanto quanto possível, sobre questões de encaminhamento independentes de fabricantes. O encaminhamento é uma das principais funções da camada protocolar de rede (camada 3 do modelo OSI da ISO), responsável pela determinação dos caminhos a percorrer pelos pacotes IP desde a origem até ao destino, sendo, por isso, indispensável ao funcionamento de qualquer rede ou conjuntos de redes e, em geral, ao funcionamento da Internet.

A ficha poderá ser preparada em ambiente de emulação (utilizando o simulador GNS3), antes de ser testada em ambiente laboratorial na aula. A ficha é composta por exercícios guiados, para os quais se indicam os comandos a executar, e por exercícios abertos, isto é, exercícios cuja resolução exigirá pesquisa e concretização autónomas.

Nesta ficha serão abordados os seguintes tópicos

- Encaminhamento estático
- Encaminhamento dinâmico
- Tipos de protocolos de encaminhamento
- Protocolo RIP

Ao longo da execução da ficha deverão ser guardados os resultados dos comandos digitados e os ficheiros de configuração elaborados, de forma a possibilitar a sua análise pelo docente. Para além desses resultados, deverá dar especial atenção à interpretação e análise decorrentes não só do trabalho realizado nas aulas como do estudo extra-aula subjacente a esta ficha.

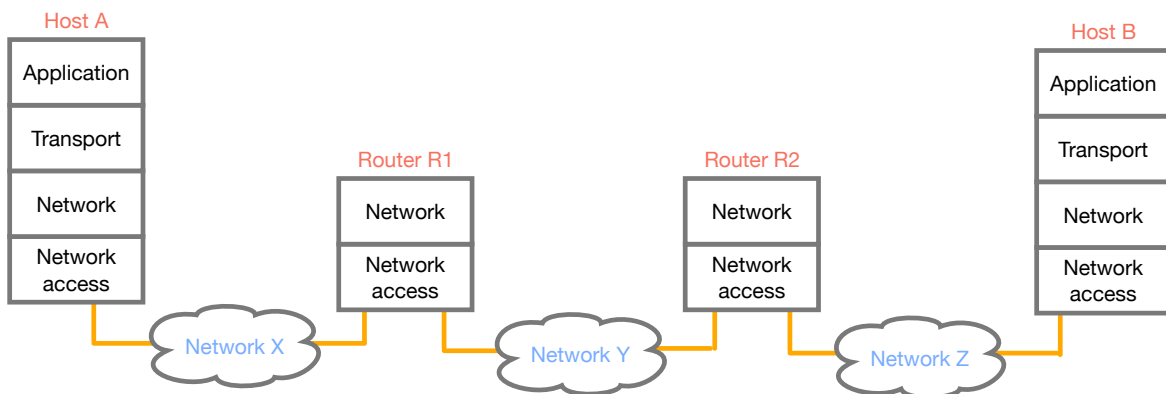
Deve ter em atenção que a execução das fichas práticas pode exigir a colaboração entre grupos de trabalho, de modo a serem construídos cenários com dimensão e funcionalidades adequadas ao estudo das questões em análise. Mais importante do que a simples configuração individual dos *routers* dos diversos cenários é a interpretação dos resultados obtidos, quer no(s) *router(s)* sob direta responsabilidade do seu grupo quer no conjunto das redes, interpretação essa que constitui um fator fundamental na avaliação.

A avaliação da ficha terá em conta as seguintes componentes e pesos:

- Preparação prévia da ficha – 10%
- Conhecimento da matéria – 30%
- Execução dos exercícios – 50%
- Autonomia – 10%

## 1. Encaminhamento IP – visão geral

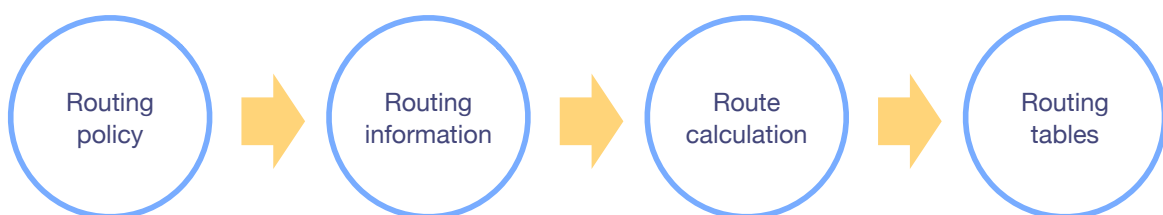
A comunicação entre dispositivos pertencentes a redes diferentes é feita com recurso a encaminhadores (*routers*). A Figura 1 ilustra um cenário de encaminhamento.



**Figura 1** – Cenário de encaminhamento

De uma maneira geral, quando um *router* recebe um pacote vindo de uma rede e que se destina a outra, consulta a sua tabela de encaminhamento para determinar para onde deve enviar esse pacote. Assim, pode afirmar-se que as tabelas de encaminhamento mantidas nos *routers* suportam o mecanismo básico de encaminhamento: determinação do próximo salto a utilizar. Estas tabelas mantêm informação quanto ao caminho que deve ser utilizado para atingir um determinado destino (sistema terminal ou rede).

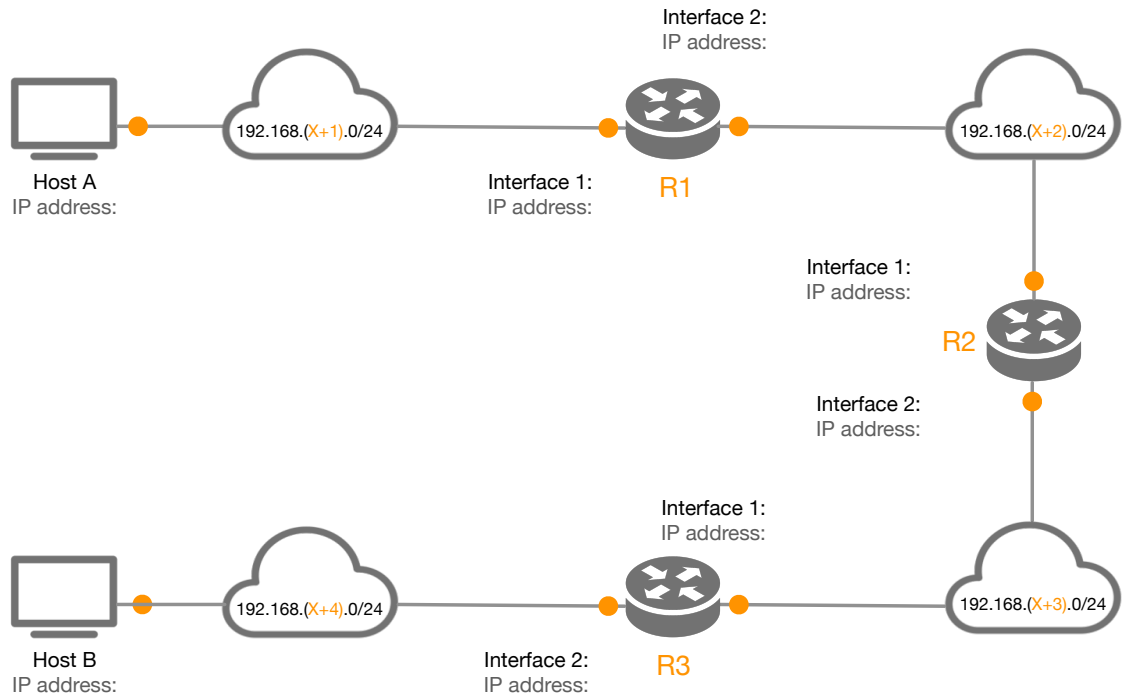
A introdução dos caminhos nas tabelas é feita de acordo com as políticas de encaminhamento, que podem assentar na utilização de rotas definidas estaticamente (calculadas *off-line* e introduzidas manualmente no *router*) ou na utilização de rotas dinâmicas (calculadas pelos *routers* com base em informação trocada entre eles com recurso a protocolos de encaminhamento). Assim, as políticas de encaminhamento determinam qual a origem e tipo de informação a usar para o cálculo dos caminhos que serão introduzidos nas tabelas de encaminhamento. Esta relação entre componentes é ilustrada na Figura 2.



**Figura 2** – Relação entre componentes de encaminhamento

## 2. Encaminhamento estático

Nesta secção iremos abordar o encaminhamento estático, recorrendo ao cenário apresentado na Figura 3, que envolve três *routers*, quatro redes e dois *hosts*, a implementar e explorar na aula. A montagem do cenário exige a cooperação entre grupos de alunos, de acordo com as instruções do docente. Os grupos devem articular-se, de forma a que as configurações dos diversos *routers* sejam coerentes e não entrem em conflito.



**Figura 3** – Cenário de *routing* a implementar na aula

### 2.1 Plano de ligações e de endereçamento

**Exercício 1** – Na última página desta ficha encontrará uma reprodução do cenário da Figura 3. Utilize essa página para elaborar o plano de ligações e de endereçamento. Use as gamas de endereços privados indicados na figura. Solicite ao docente o valor da variável X a utilizar.

Esse plano deve conter:

- a identificação das interfaces de cada um dos routers
- o endereço IP atribuído a cada interface dos routers
- os endereços IP atribuídos aos hosts A e B

### 2.2 Constituição do cenário

**Exercício 2** – Monte o cenário representado na Figura 3, estabelecendo as ligações entre equipamentos e configurando as interfaces com os endereços constantes do plano elaborado no Exercício 1. Para tal, recorra aos comandos já explorados na Ficha 1, em particular os comandos 'enable', 'config t' e 'interface'. Nesta fase não configure qualquer rota nos *routers*.

Configuradas as interfaces dos diversos *routers* e *hosts*, verifique a conectividade, a partir do *host* A, para as diversas interfaces dos *routers*, começando pela interface 1 do *router* R1, interface 2 do mesmo *router*, interface 1 do *router* 2 e assim sucessivamente. Para tal, utilize o comando 'ping'.

Consegue atingir o Host B a partir do Host A? Qual a interface mais distante que consegue atingir? Faça a mesma experiência a partir do Host B.

Verifique a tabela de encaminhamento existente em cada *router*. Para tal, utilize o comando

```
R1#show ip route
```

Este comando produz uma listagem semelhante à apresentada na Figura 4 (note que o *output* desta figura não diz respeito ao cenário no qual está a trabalhar, sendo meramente ilustrativo).

Interprete os resultados da execução deste comando em cada um dos três *routers*. Apresente hipóteses para o facto de o comando 'ping' falhar nalguns casos. Porque é que o comando ping desde o host A até à interface 1 do R2 dá timeout e o mesmo comando executado para a interface 2 do mesmo router gera um 'host unreachable'?

```
gta#show ip route
Codes: C - connected, S - static, I - IGRP, R - RIP, M - mobile
       B - BGP, D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF
       IA - OSPF inter area, N1 - OSPF NSSA external type 1
       N2 - OSPF NSSA external type 2, E1 - OSPF external type 1
       E2 - OSPF external type 2, E - EGP, i - IS-IS
       L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter a
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route
Gateway of last resort is 192.168.094.1 to network 0.0.0.0
C    192.168.201.0/24 is directly connected, Ethernet0
R    192.168.200.0/24 [120/1] via 192.168.201.2, 00:00:17, Ethernet0
R    192.168.202.0/24 [120/1] via 192.168.204.2, 00:00:53, Serial0
```

1	2	3	4	5	6

#### LEGENDA:

- 1: Indica a origem da informação de encaminhamento, de acordo com os códigos apresentados na parte superior da tabela
- 2: Endereço IP da rede de destino e número de bits da respectiva máscara de rede
- 3: Distância administrativa e métrica associada à rota; a distância administrativa é um parâmetro específico da Cisco, que reflecte o grau de confiança no modo como a rota foi criada; a métrica depende da origem da informação de encaminhamento
- 4: Endereço IP do *router* para onde se deve enviar os pacotes que têm por destino o endereço identificado no campo 2
- 5: Tempo decorrido desde a última actualização da rota
- 6: Interface a utilizar para encaminhar os pacotes para esta rota

**Figura 4** – *Output* típico do comando 'show ip route' e respectiva interpretação

### 2.3 Constituição de rotas estáticas no Cenário 1

Para ultrapassar a situação de falta de conectividade, poder-se-ão configurar rotas estáticas, nos routers R1, R2 e R3, de forma que cada *router* saiba como atingir qualquer das redes envolvidas, independentemente de estarem diretamente ligadas ou não.

A configuração de rotas estáticas faz-se através da utilização do comando 'ip route', cuja sintaxe é a seguinte:

```
ip route [rede_remota] [máscara] [próximo_salto] [distância]
```

O campo de *distância* consiste na chamada 'distância administrativa', que é uma medida da confiança do *router* na rota. Quanto menor for o seu valor maior será a confiança nessa rota. Este parâmetro pode ser utilizado para definir rotas de *backup* (que terão uma distância administrativa maior). A distância administrativa depende, também, do protocolo ou mecanismo usado para a criação da rota, de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1** – Distâncias administrativas

Origem da informação da rota	Distância administrativa
Directamente ligada	0
Rota estática	1
BGP externo	20
EIGRP interno	90
IGRP	100
OSPF	110
IS-IS	115
RIP	120
EGP	140
EIGRP externo	170
BGP interno	200
Desconhecida	255

**Exercício 3** – No caso do *router* R1, introduza rotas estáticas para as redes 192.168.(X+3).0 e 192.168.(X+4).0, da seguinte forma:

```
R1#config t
R1(config)#ip route 192.168.(X+3).0 255.255.255.0 <end_IP_R2_if1>
R1(config)#ip route 192.168.(X+4).0 255.255.255.0 <end_IP_R2_if1>
```

Introduza também as rotas estáticas necessárias nos *routers* R2 e R3.

Após introdução dessas rotas visualize as tabelas de encaminhamento em cada um dos *routers*, utilizando o comando 'show ip route'. Analise e interprete essas tabelas.

Poderá agora verificar a conectividade entre os hosts A e B, utilizando o comando 'ping'.

Em vez de se configurar explicitamente as rotas para as redes 192.168.(X+3).0 e 192.168.(X+4).0, poder-se-ia especificar uma rota a utilizar para o acesso a todas as redes para além das redes às quais o *router* R1 se encontra directamente ligado. Tal pode ser feito através da especificação de

uma rota de omissão, isto é, uma rota a utilizar para aceder a todas as redes que não constem explicitamente da tabela de encaminhamento.

No caso do *router* R1, a especificação de uma rota de omissão pode ser feita utilizando o comando 'ip route' da seguinte forma:

```
R1#config t
R1(config)#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 <end_IP_R2_if1>
```

---

**Exercício 4** – Substitua as rotas estáticas introduzidas anteriormente por rotas de omissão, nos casos dos *routers* R1 e R3 (a eliminação de rotas pode ser feita utilizando o comando 'no ip route ...'). Observe agora as respetivas tabelas de encaminhamento.

---

### 3. Encaminhamento dinâmico

A utilização de encaminhamento estático só é viável em redes pequenas, tipicamente com uma única ligação ao exterior e nas quais as alterações de topologia são raras.

Em redes de grande dimensão e de topologias complexas, onde poderão existir frequentes alterações de topologia e/ou caminhos redundantes, com diferentes características e custos, que se alteram ao longo do tempo, tem que ser utilizado encaminhamento dinâmico.

O encaminhamento dinâmico recorre a protocolos de encaminhamento, que veiculam informação sobre a topologia, estado e características da rede, sendo essa informação utilizada pelos *routers* para calcularem rotas que, subseqüentemente, são armazenadas nas tabelas de encaminhamento.

Visto que não seria viável que todos os *routers* da Internet trocassem informação entre si, para efeitos de encaminhamento considera-se que esta se encontra organizada em sistemas autónomos. Essa organização é representada na Figura 5.

Dentro de um sistema autónomo, os *routers* (também conhecidos por *gateways*) trocam informação de encaminhamento entre si, recorrendo a protocolos designados por protocolos de encaminhamento interior. A informação de encaminhamento trocada entre sistemas autónomos distintos é transportada por protocolos de encaminhamento exterior.

Na presente ficha abordaremos apenas o encaminhamento interior e, dentro deste tipo de encaminhamento, utilizaremos apenas o protocolo RIP-2 (*Routing Information Protocol version 2*). Este protocolo é extremamente simples e está disponível em todo o tipo de *routers*. Apesar da sua simplicidade e limitações (a maior parte das quais inerentes aos protocolos do tipo *distance-vector*), ainda é bastante utilizado, sobretudo em redes pequenas, de topologias simples.

#### 3.1 Características básicas do protocolo RIP

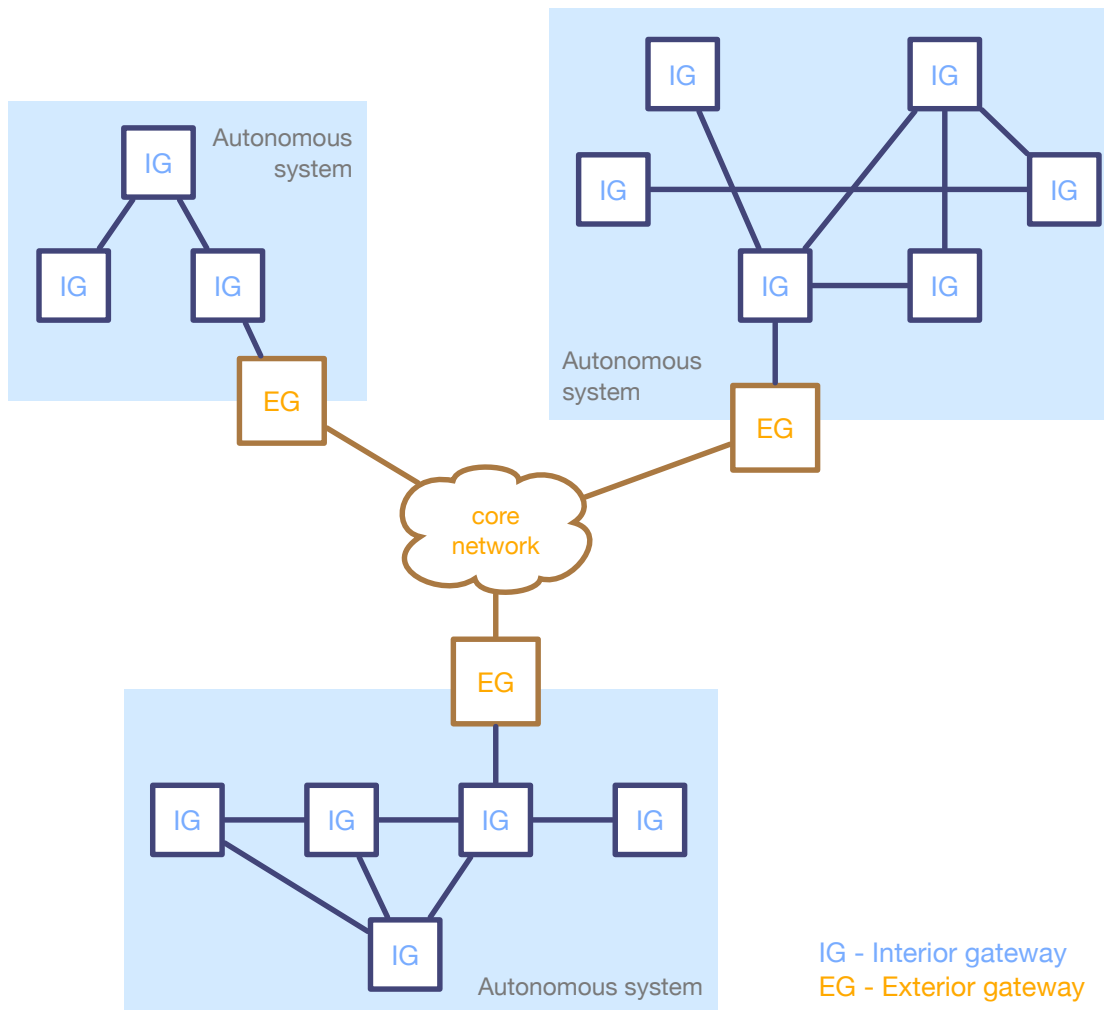
Como referido atrás, o protocolo RIP é um protocolo bastante simples, com algumas limitações. Os pacotes RIP (versão 1 ou 2) transportam, basicamente, um vetor de distâncias (recordemos que o RIP é um protocolo do tipo *distance-vector*). Cada elemento desse vetor tem os seguintes campos:

- Destino atingível – trata-se do endereço IP de uma das redes atingíveis por este *router*.
- Distância – número de saltos necessários para atingir a rede de destino anunciada.

- Próximo router – endereço IP do *router* que dá acesso a este destino. Se a rota estiver diretamente ligada este campo está em branco.

Os pacotes RIP são enviados periodicamente pelos *routers* aos seus vizinhos. Estes utilizam a informação neles contida para calcular e/ou atualizar a sua tabela de encaminhamento.

O RIP tem várias limitações. Por um lado, utiliza uma métrica simplista: só considera o número de saltos e não outros parâmetros como, por exemplo, largura de banda, taxa de erros ou custo da rota. Por outro lado, está limitado a redes com 15 saltos ou menos, pois 15 é o valor máximo do campo de distância. O valor 16 significa que o destino em causa não é atingível. *Obs.:* Este parâmetro de distância não deve ser confundido com a distância administrativa referida anteriormente. Para além disso, a versão 1 não suporta máscaras de sub-rede e os pacotes não são autenticados. A versão 2 do protocolo RIP tem suporte para máscaras de sub-rede e autenticação de rotas.



**Figura 5** – Arquitetura de encaminhamento da Internet

### 3.2 Encaminhamento dinâmico usando o RIP

A configuração do RIP nos *routers* Cisco é bastante simples. Para tal utiliza-se o comando 'router rip'.

Tomando como exemplo o cenário desta ficha prática, o *router* R1 poderia facilmente ser configurado para anunciar as redes a que está ligado da seguinte forma:

```
R1#config t
R1(config)#router rip
R1(config-router)#version 2
R1(config-router)#network 192.168.(X+1).0
R1(config-router)#network 192.168.(X+2).0
R1(config-router)#passive-interface interface1
R1(config-router)#^Z
R1#
```

O comando 'version 2' dá instruções ao *router* para enviar pacotes RIP-2 em vez de RIP-1. Por defeito os *routers* recebem e processam pacotes de qualquer das duas versões, mas enviam apenas pacotes RIP-1 se este comando não for utilizado.

O comando 'network' é utilizado para indicar as redes que devem ser anunciadas de início pelo *router* nos pacotes RIP. (Nota: À medida que outras rotas forem dinamicamente adicionadas à tabela de encaminhamento do *router* também essas passarão a ser anunciadas).

O comando 'passive-interface' é utilizado para indicar ao *router* que não deve enviar pacotes RIP através da interface 'interface1'. Com efeito, esse envio é desnecessário, pois não existem outros *routers* na rede ligada a essa interface, pelo que os pacotes RIP para aí enviados apenas estariam a consumir largura de banda. Por conseguinte, no caso do *router* R1, os pacotes RIP (contendo todas as rotas conhecidas pelo *router* R1) só são enviadas pela interface 'interface2'.

---

**Exercício 5** – Tomando como base o exemplo dado acima, configure o cenário desta ficha prática de modo a que seja utilizado o protocolo RIP em todos os *routers*. Mais uma vez, a cada *router* deve estar adstrito um grupo de trabalho, e estes devem colaborar de forma a construir o cenário.

Uma vez construído o cenário com RIP, verifique:

- A conectividade de todos os elementos de rede, usando os comandos 'ping' e 'traceroute';
- A tabela de encaminhamento em cada um dos *routers*, usando o comando 'show ip route';
- Rotas individuais, usando o comando 'show ip route <end\_destino>';

Analise e interprete os resultados.

Poderá, ainda, utilizar o comando 'show ip protocols' para obter informação detalhada sobre os protocolos de encaminhamento que se encontram a correr no *router* (no caso presente, será apenas o protocolo RIP).

De modo a observar em tempo real o funcionamento do protocolo RIP, poderá utilizar o comando 'debug ip rip'. Para cancelar este modo deverá usar o comando 'no debug ip rip'.

---



