

EA080 O - Atividade 4

Pedro Mariano Sousa Bezerra
Gustavo Ciotto Pinton

RA:118383
RA:117136

Exercício 1

A figura 1, apresentada logo a seguir, representa a execução dos comandos *ping* e *traceroute* para a máquina *10.0.4.147*, conectada ao roteador *R₂* na subrede *10.0.4.0/23*. Tais comandos foram executados a partir de um *host* conectado a *R₁* na sub-rede *10.0.2.0/23*. Observa-se que o valor de **TTL** dos pacotes transmitidos por *ping* vale 61, significando, portanto, que os pacotes transitaram por 3 roteadores, sendo eles, *R₁*, *R₅* e *R₂*. Esse caminho é confirmado pelo *traceroute*, que evidencia as interfaces dos roteadores citados acima utilizadas para o transporte. Conforme mostrado na figura 2 do enunciado, os pacotes enviados passam por *eth4* de *R₁* e são roteados para a *eth1* de *R₅* (*10.0.10.25*) e, posteriormente, para *eth3* de *R₂*.

```
ea080@u12043-32b:~$ ping 10.0.4.147 -c 4
PING 10.0.4.147 (10.0.4.147) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.4.147: icmp_req=1 ttl=61 time=1.18 ms
64 bytes from 10.0.4.147: icmp_req=2 ttl=61 time=1.25 ms
64 bytes from 10.0.4.147: icmp_req=3 ttl=61 time=1.28 ms
64 bytes from 10.0.4.147: icmp_req=4 ttl=61 time=1.17 ms

--- 10.0.4.147 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3004ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.178/1.226/1.281/0.056 ms
ea080@u12043-32b:~$ traceroute 10.0.4.147
traceroute to 10.0.4.147 (10.0.4.147), 30 hops max, 60 byte packets
 1  10.0.2.21 (10.0.2.21)  1.192 ms  1.158 ms  1.187 ms
 2  10.0.10.25 (10.0.10.25)  1.610 ms  1.539 ms  0.377 ms
 3  10.0.6.22 (10.0.6.22)  0.871 ms  0.941 ms  0.868 ms
 4  u12043-32b-7.local (10.0.4.147)  1.296 ms  1.200 ms  1.121 ms
```

Figura 1: Resultados dos comandos *ping* e *traceroute* para o *host 10.0.4.147*

A figura 2, por sua vez, evidencia os resultados dos mesmos comandos com destino à interface *eth4* de *R₃*, cujo endereço é *10.0.12.23*. O valor de **TTL** também vale 61, o que significa que os pacotes passaram por 3 roteadores. Destaca-se que se o *ping* fosse realizado a uma máquina pertencente à sub-rede *10.0.12.0/23*, o TTL valeria 60 ao invés de 61. Isso porque o roteador *R₃* também seria considerado nessa contagem, fato que não acontece no caso anterior. O *traceroute* evidencia os endereços das interfaces utilizadas na transmissão dos pacotes e estão conforme com a figura 2 do enunciado.

```
ea080@u12043-32b:~$ traceroute 10.0.12.23
traceroute to 10.0.12.23 (10.0.12.23), 30 hops max, 60 byte packets
 1  10.0.2.21 (10.0.2.21)  0.425 ms  0.423 ms  0.345 ms
 2  10.0.10.25 (10.0.10.25)  0.800 ms  0.819 ms  0.794 ms
 3  10.0.1.24 (10.0.1.24)  1.276 ms  1.302 ms  1.229 ms
 4  10.0.12.23 (10.0.12.23)  1.579 ms  1.581 ms  1.627 ms
ea080@u12043-32b:~$ ping 10.0.12.23
PING 10.0.12.23 (10.0.12.23) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.12.23: icmp_req=1 ttl=61 time=1.20 ms
64 bytes from 10.0.12.23: icmp_req=2 ttl=61 time=0.957 ms
64 bytes from 10.0.12.23: icmp_req=3 ttl=61 time=1.02 ms
64 bytes from 10.0.12.23: icmp_req=4 ttl=61 time=0.961 ms
64 bytes from 10.0.12.23: icmp_req=5 ttl=61 time=1.00 ms
64 bytes from 10.0.12.23: icmp_req=6 ttl=61 time=1.00 ms
^C
--- 10.0.12.23 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5005ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.957/1.027/1.208/0.088 ms
```

Figura 2: Resultados dos comandos *ping* e *traceroute* para a interface *eth4* de *R₃*.

- a. As figuras 3 e 4 representam, respectivamente, a tabela de roteamento e a configuração do protocolo OSPF em R_1 . Em relação à tabela, destaca-se o estado atribuído a cada possível sub-rede de destino, isto é, se elas pertencem a mesma área ou a alguma outra. Considerando a figura 2 do enunciado e que R_1 está presente na área 1, tem-se que as sub-redes 10.0.6.0/23 e 10.0.10.0/23 também pertencem à área 1 e, assim, as rotas atribuídas a elas são classificadas como *intra-area*. A sub-rede 10.0.4.0/23 também está contida na área 1, entretanto a respectiva rota é classificada como *ext-1* por possuir *hosts* conectados a ela. As demais rotas, isto é, rotas para 10.0.8.0/23 (área 2) e 10.0.0.0/23 (área 0), são classificadas como *inter-area*. Em relação à configuração do protocolo OSPF, destaca-se o atributo *AREA* configurado corretamente como *area1* (R_1 pertence exclusivamente a essa área) e *NETWORK*, configurado com endereço da sub-rede na qual está inserido.

```
[admin@Router-21] >> routing ospf route print
```

| # | DST-ADDRESS | STATE | COST | GATEWAY | INTERFACE |
|---|--------------|----------------|------|------------|-----------|
| 0 | 10.0.0.0/23 | inter-area | 20 | 10.0.10.25 | ether3 |
| 1 | 10.0.2.0/23 | imported-ext-1 | 20 | | |
| 2 | 10.0.4.0/23 | ext-1 | 40 | 10.0.10.25 | ether3 |
| 3 | 10.0.6.0/23 | intra-area | 20 | 10.0.10.25 | ether3 |
| 4 | 10.0.8.0/23 | inter-area | 30 | 10.0.10.25 | ether3 |
| 5 | 10.0.10.0/23 | intra-area | 10 | 0.0.0.0 | ether3 |
| 6 | 10.0.12.0/23 | ext-1 | 50 | 10.0.10.25 | ether3 |

Figura 3: Tabela de roteamento de R_1

```
[admin@Router-21] > routing ospf network print
Flags: X - disabled, I - invalid
# NETWORK AREA
0 10.0.10.0/23 area1
[admin@Router-21] > routing ospf instance print
Flags: X - disabled, * - default
0 * name="default" router-id=0.0.0.0 distribute-default=never
redistribute-connected=as-type-1 redistribute-static=no
redistribute-rip=no redistribute-bgp=no redistribute-other-ospf=no
metric-default=1 metric-connected=20 metric-static=20 metric-rip=20
metric-bgp=20 metric-other-ospf=auto in-filter=ospf-in
out-filter=ospf-out
```

Figura 4: Configuração do protocolo OSPF de R_1

As figuras 5 e 6 mostram, respectivamente, a tabela de roteamento e a configuração de OSPF de R_2 . Considerando que R_2 pertence à área 1, os resultados obtidos são muito semelhantes com aqueles encontrados para R_1 . Em relação à tabela, a única diferença é que, neste caso, a rota para a sub-rede 10.0.2.0/23 é classificada como *ext-1*. As demais rotas para sub-redes de outras rotas permanecem as mesmas.

```
[Router-22@Roteador-22] > routing ospf route print
```

| # | DST-ADDRESS | STATE | COST | GATEWAY | INTERFACE |
|---|--------------|----------------|------|-----------|-----------|
| 0 | 10.0.0.0/23 | inter-area | 20 | 10.0.6.25 | ether3 |
| 1 | 10.0.2.0/23 | ext-1 | 40 | 10.0.6.25 | ether3 |
| 2 | 10.0.4.0/23 | imported-ext-1 | 20 | | |
| 3 | 10.0.6.0/23 | intra-area | 10 | 0.0.0.0 | ether3 |
| 4 | 10.0.8.0/23 | inter-area | 30 | 10.0.6.25 | ether3 |
| 5 | 10.0.10.0/23 | intra-area | 20 | 10.0.6.25 | ether3 |
| 6 | 10.0.12.0/23 | ext-1 | 50 | 10.0.6.25 | ether3 |

Figura 5: Tabela de roteamento de R_2

```
[Router-22@Roteador-22] > routing ospf network print
Flags: X - disabled, I - invalid
# NETWORK AREA
0 10.0.6.0/23 area1
[Router-22@Roteador-22] > routing ospf instance print
Flags: X - disabled, * - default
0 * name="default" router-id=0.0.0.0 distribute-default=never
redistribute-connected=as-type-1 redistribute-static=no
redistribute-rip=no redistribute-bgp=no redistribute-other-ospf=no
metric-default=1 metric-connected=20 metric-static=20 metric-rip=20
metric-bgp=20 metric-other-ospf=auto in-filter=ospf-in
out-filter=ospf-out
```

Figura 6: Configuração do protocolo OSPF de R_2

As figuras 7 e 8 mostram, respectivamente, a tabela de roteamento e a configuração de OSPF de R_3 , inserido na área 2. Naturalmente, sua tabela de roteamento será completamente diferente daquelas obtidas nos casos anteriores. As rotas para as subredes $10.0.2.0/23$ e $10.0.4.0/23$ continuam classificadas como *ext-1* por possuírem *hosts* conectados a elas e as rotas para $10.0.0.0/23$ (área 0), $10.0.6.0/23$ (área 1) e $10.0.10.0/23$ (área 1) são rotuladas como *inter-area*, justamente por estarem fora da área 2. Enfim, a rota para $10.0.8.0/23$ é *intra-area* pelo fato de que essa subrede estar nessa mesma área. Em relação à configuração, nota-se que *AREA* vale corretamente *area2* e R_3 pertence a ela exclusivamente.

```
[admin@Router-23] > routing ospf route print
```

| # | DST-ADDRESS | STATE | COST | GATEWAY | INTERFACE |
|---|--------------|----------------|------|-----------|-----------|
| 0 | 10.0.0.0/23 | inter-area | 20 | 10.0.8.24 | ether1 |
| 1 | 10.0.2.0/23 | ext-1 | 50 | 10.0.8.24 | ether1 |
| 2 | 10.0.4.0/23 | ext-1 | 50 | 10.0.8.24 | ether1 |
| 3 | 10.0.6.0/23 | inter-area | 30 | 10.0.8.24 | ether1 |
| 4 | 10.0.8.0/23 | intra-area | 10 | 0.0.0.0 | ether1 |
| 5 | 10.0.10.0/23 | inter-area | 30 | 10.0.8.24 | ether1 |
| 6 | 10.0.12.0/23 | imported-ext-1 | 20 | | |

Figura 7: Tabela de roteamento de R_3

```
[admin@Router-23] > routing ospf network print
Flags: X - disabled, I - invalid
# NETWORK AREA
0 10.0.8.0/23 area2
[admin@Router-23] > routing ospf instance print
Flags: X - disabled, * - default
0 * name="default" router-id=0.0.0.0 distribute-default=never
redistribute-connected=as-type-1 redistribute-static=no
redistribute-rip=no redistribute-bgp=no redistribute-other-ospf=no
metric-default=1 metric-connected=20 metric-static=20 metric-rip=20
metric-bgp=20 metric-other-ospf=auto in-filter=ospf-in
out-filter=ospf-out
```

Figura 8: Configuração do protocolo OSPF de R_3

As figuras 9 e 10 mostram, respectivamente, a tabela de roteamento e a configuração de OSPF de R_4 , inserido na fronteira entre o *backbone* e a área 2. Em relação à tabela, destaca-se que rotas para subredes que estão em áreas distintas podem, nesse caso, ser classificadas como *intra-area*, como, por exemplo, as rotas para $10.0.0.0/23$ (área 0) e $10.0.8.0/23$ (área 2). Isso ocorre porque R_4 pertence simultaneamente às duas áreas, já que realiza o papel de fronteira entre elas. As rotas para subredes possuindo *hosts* são classificadas como *ext-1*, sendo elas $10.0.2.0/23$, $10.0.4.0/23$ e $10.0.12.0/23$, e as rotas para as subredes da área 1 $10.0.6.0/23$ e $10.0.10.0/23$ são classificadas como *inter-area*, já que não estão ligadas diretamente a R_4 . Em relação à configuração, observa-se R_4 está inserido em duas redes, cada qual com sua respectiva área, em oposição ao que ocorre nos casos precedentes. Isso confirma a ideia apresentada anteriormente de que este roteador pertence a mais de uma área.


```
[admin@Router-24] > routing ospf route print
```

| # | DST-ADDRESS | STATE | COST | GATEWAY | INTERFACE |
|---|--------------|------------|------|-----------|-----------|
| 0 | 10.0.0.0/23 | intra-area | 10 | 0.0.0.0 | ether5 |
| 1 | 10.0.2.0/23 | ext-1 | 40 | 10.0.1.25 | ether5 |
| 2 | 10.0.4.0/23 | ext-1 | 40 | 10.0.1.25 | ether5 |
| 3 | 10.0.6.0/23 | inter-area | 20 | 10.0.1.25 | ether5 |
| 4 | 10.0.8.0/23 | intra-area | 10 | 0.0.0.0 | ether2 |
| 5 | 10.0.10.0/23 | inter-area | 20 | 10.0.1.25 | ether5 |
| 6 | 10.0.12.0/23 | ext-1 | 30 | 10.0.8.23 | ether2 |

Figura 9: Tabela de roteamento de R₄

```
[admin@Router-24] > routing ospf network print
Flags: X - disabled, I - invalid
# NETWORK AREA
0 10.0.8.0/23 area2
1 10.0.0.0/23 backbone
[admin@Router-24] > routing ospf instance print
Flags: X - disabled, * - default
0 * name="default" router-id=0.0.0.0 distribute-default=never
redistribute-connected=as-type-1 redistribute-static=no
redistribute-rip=no redistribute-bgp=no redistribute-other-ospf=no
metric-default=1 metric-connected=20 metric-static=20 metric-rip=20
metric-bgp=20 metric-other-ospf=auto in-filter=ospf-in
out-filter=ospf-out
```

Figura 10: Configuração do protocolo OSPF de R₄

As figuras 11 e 12 mostram, respectivamente, a tabela de roteamento e a configuração de OSPF de R₅, inserido na fronteira entre o *backbone* e a área 1. Em relação à tabela, como no caso de R₄, observa-se que rotas para subredes em áreas distintas entre si podem ser consideradas como *intra-area*. Pela mesma razão, isso ocorre porque R₅ está inserido justamente na fronteira de duas áreas. A única rota classificada como *inter-area* é aquela para 10.0.8.0/23, pertencente à área 2 que não está ligada diretamente a R₅. Em relação à configuração, destaca-se que R₅ está inserido em três subredes diferentes: 10.0.8.0/23 e 10.0.6.0/23, pertencentes à área 1, e 10.0.0.0/23, pertencente à área 0 (*backbone*). Analogamente ao caso anterior, esse resultado justifica a presença de rotas *intra-area* entre áreas distintas.

```
[Router-25@Router-25] > routing ospf route print
```

| # | DST-ADDRESS | STATE | COST | GATEWAY | INTERFACE |
|---|--------------|------------|------|------------|-----------|
| 0 | 10.0.0.0/23 | intra-area | 10 | 0.0.0.0 | ether5 |
| 1 | 10.0.2.0/23 | ext-1 | 30 | 10.0.10.21 | ether1 |
| 2 | 10.0.4.0/23 | ext-1 | 30 | 10.0.6.22 | ether2 |
| 3 | 10.0.6.0/23 | intra-area | 10 | 0.0.0.0 | ether2 |
| 4 | 10.0.8.0/23 | inter-area | 20 | 10.0.1.24 | ether5 |
| 5 | 10.0.10.0/23 | intra-area | 10 | 0.0.0.0 | ether1 |
| 6 | 10.0.12.0/23 | ext-1 | 40 | 10.0.1.24 | ether5 |

Figura 11: Tabela de roteamento de R₅

```
[admin@Router-25] > routing ospf network print
Flags: X - disabled, I - invalid
# NETWORK AREA
0 10.0.0.0/23 backbone
1 10.0.6.0/23 area1
2 10.0.10.0/23 area1
[admin@Router-25] > routing ospf instance print
Flags: X - disabled, * - default
0 * name="default" router-id=0.0.0.0 distribute-default=never
redistribute-connected=as-type-1 redistribute-static=no
redistribute-rip=no redistribute-bgp=no redistribute-other-ospf=no
metric-default=1 metric-connected=20 metric-static=20 metric-rip=20
metric-bgp=20 metric-other-ospf=auto in-filter=ospf-in
out-filter=ospf-out
```

Figura 12: Configuração do protocolo OSPF de R₅

- b. Os roteadores da área 1, isto é, R_1 e R_2 , recebem através do roteador de borda R_5 (que é, por sua vez, informado por R_4) que a área 2 possui 2 subredes de endereços 10.0.8.0/23 e 10.0.12.0/23. Eles armazenam em suas respectivas tabelas de roteamento que as rotas para essas redes devem passar por este roteador de borda (os respectivos *gateway* são endereços das interfaces de R_5). Tais rotas recebem o 'rótulo' de *inter-area* e um custo associado. Da mesma maneira, os roteadores da área 1 só conhecem que, para acessar a subredes contida na *backbone*, é preciso transmitir os pacotes através de R_5 . As topologias de rede da área 2 e *backbone* são desconhecidas para os roteadores da área 1.
- c. Os roteadores de borda, por estarem inseridos também na outras áreas além da de *backbone*, possuem o conhecimento de toda a topologia de rede de uma respectiva área. Assim, R_5 conhece toda a organização dos roteadores da área 1 e R_4 conhece toda a topologia da área 2.
- d. Os roteadores de borda trocam mensagens entre si através de LSA resumo (*summary-LSAs*). Dessa maneira, R_5 aprende informações sobre a área 2 através de R_4 e R_4 aprende sobre a área 1 através de R_5 . Uma vez que R_5 está também inserido na área 1, ele pode retransmitir as informações aprendidas para os demais roteadores, que poderão atualizar suas respectivas tabelas de roteamento. O mesmo processo ocorre para os roteadores presentes na área 2: R_4 os retransmite os dados aprendidos, permitindo a atualização de suas tabelas.

Exercício 2

Inicialmente com todas as interfaces habilitadas, a desativação de *eth3* de R_1 modifica a topologia de rede da área 1. Uma vez que os roteadores dessa área tenham se readaptado a essa nova configuração, o roteador de borda, R_5 , pode transmitir a R_4 esse novo estado de área. Para tal, ele envia uma mensagem OSPF do tipo *LS UPDATE* em *multicast* ou *broadcast*, que pode ser capturada através do Wireshark executado em uma máquina na rede 10.0.0.0/23 (área 0 - *backbone*). A seguir, temos um exemplo de uma mensagem capturada através desse mecanismo. Destacam-se o tipo de mensagem (*LS Update*), o roteador de origem (10.0.1.25 - *eth5* de R_5) e a ID da área (0.0.0.0 - *Backbone*). As mensagens OSPF não utilizam nenhum protocolo da camada de transporte e, por isso, são transportadas diretamente via datagramas IP. Por essa razão, não é necessária nenhuma técnica de espelhamento (*ver Exercício 4 a seguir*).

| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
|-----|-----------|-----------|-------------|----------|--------|------------------|
| 13 | 36.245190 | 10.0.1.25 | 224.0.0.5 | OSPF | 134 | LS Update |

Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:62 (00:0c:42:2e:a4:62), Dst: IPv4mcast_00:00:05 (01:00:5e:00:00:05)
Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.25 (10.0.1.25), Dst: 224.0.0.5 (224.0.0.5)

Open Shortest Path First
 OSPF Header
 OSPF Version: 2
 Message Type: LS Update (4)
 Packet Length: 100
 Source OSPF Router: 10.0.6.25 (10.0.6.25)
 Area ID: 0.0.0.0 (Backbone)
 [...]
 Advertising Router: 10.0.6.25 (10.0.6.25)
 [...]
 LS Type: AS-External-LSA (ASBR)
 LS Age: 3600 seconds
 [...]

Quando R_4 detecta uma dessas mensagens, ele deve comunicar o respectivo recebimento. Para isso, ele utiliza uma mensagem do tipo *LS ACKNOWLEDGE*, também em *multicast* ou *broadcast*. A seguir, temos um exemplo dessa mensagem, enviada logo após R_5 envia seu *LS Update*. Destacam-se igualmente o tipo de mensagem (*LS Acknowledge*), o roteador de origem (*eth5* de R_4) e a *id* da área.

| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
|-----|-----------|-----------|-------------|----------|--------|----------------|
| 16 | 37.247091 | 10.0.1.24 | 224.0.0.5 | OSPF | 98 | LS Acknowledge |

```

Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:71 (00:0c:42:2e:a4:71), Dst: IPv4mcast_00:00:05
(01:00:5e:00:00:05)
Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.24 (10.0.1.24), Dst: 224.0.0.5 (224.0.0.5)
Open Shortest Path First
  OSPF Header
  OSPF Version: 2
  Message Type: LS Acknowledge (5)
  Packet Length: 64
  Source OSPF Router: 10.0.8.24 (10.0.8.24)
  Area ID: 0.0.0.0 (Backbone)
  [...]
  Link-State Advertisement Type: AS-External-LSA (ASBR) (5)
  [...]
  Advertising Router: 10.0.6.25 (10.0.6.25)
  [...]

```

A desativação de *eth1* de R₃ produz um efeito parecido na área 2: os roteadores nessa área se readaptam e R₄ envia o resultado dessa readaptação através de mensagens *LS Update* em *broadcast* ou *multicast* para os roteadores presentes na subrede 10.0.0.0/23 (área 0). Quando R₅ recebe essa informação, ele transmite um *LS Acknowledge*, confirmando o recebimento. O tráfego a seguir ilustra esse comportamento:

| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
|--|------------|-----------|-------------|----------|--------|----------------|
| 47 | 123.743664 | 10.0.1.24 | 224.0.0.5 | OSPF | 134 | LS Update |
| Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:71 (00:0c:42:2e:a4:71), Dst: IPv4mcast_00:00:05 (01:00:5e:00:00:05) Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.24 (10.0.1.24), Dst: 224.0.0.5 (224.0.0.5) Open Shortest Path First OSPF Header OSPF Version: 2 Message Type: LS Update (4) Packet Length: 100 Source OSPF Router: 10.0.8.24 (10.0.8.24) Area ID: 0.0.0.0 (Backbone) LS Update Packet [...] LS Type: AS-External-LSA (ASBR) [...] Advertising Router: 10.0.8.24 (10.0.8.24) LS Sequence Number: 0x80000001 LS Checksum: 0x25de Length: 36 Netmask: 255.255.254.0 | | | | | | |
| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
| 49 | 124.744824 | 10.0.1.25 | 224.0.0.5 | OSPF | 98 | LS Acknowledge |
| Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:62 (00:0c:42:2e:a4:62), Dst: IPv4mcast_00:00:05 (01:00:5e:00:00:05) Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.25 (10.0.1.25), Dst: 224.0.0.5 (224.0.0.5) Version: 4 | | | | | | |

```
Open Shortest Path First
  OSPF Header
  OSPF Version: 2
  Message Type: LS Acknowledge (5)
  Packet Length: 64
  Source OSPF Router: 10.0.6.25 (10.0.6.25)
  Area ID: 0.0.0.0 (Backbone)
  [...]
```

Exercício 3

- a. As figuras 13 a 17 mostram as tabelas de roteamento dos roteadores R1 a R5, respectivamente, após realizar as configurações do roteamento BGP. Observamos que todos os roteadores são alcançáveis pois contêm rotas para todas as sub-redes da configuração. R1 e R2 têm como *gateway* padrão a interface de R5 à qual estão conectados, enquanto que R3 tem uma interface de R4 como *gateway* padrão. Observa-se também que graças ao roteamento BGP existem *gateways* alternativos para sub-redes conectadas entre dois roteadores, onde a rota ativa tem como *gateway* a interface de um dos roteadores conectada à sub-rede, e a rota alternativa é dada pelo protocolo BGP, com o *gateway* correspondendo ao endereço da interface do outro roteador.

```
[admin@Router-21] > ip route print
Flags: X - disabled, A - active, D - dynamic,
C - connect, S - static, r - rip, b - bgp, o - ospf, m - mme,
B - blackhole, U - unreachable, P - prohibit
```

| # | DST-ADDRESS | PREF-SRC | GATEWAY | DISTANCE |
|---|------------------|------------|------------|----------|
| 0 | ADb 10.0.0.0/23 | | 10.0.10.25 | 20 |
| 1 | ADC 10.0.2.0/23 | 10.0.2.21 | ether4 | 0 |
| 2 | ADb 10.0.4.0/23 | | 10.0.10.25 | 20 |
| 3 | ADb 10.0.6.0/23 | | 10.0.10.25 | 20 |
| 4 | ADb 10.0.8.0/23 | | 10.0.10.25 | 20 |
| 5 | ADC 10.0.10.0/23 | 10.0.10.21 | ether3 | 0 |
| 6 | Ddb 10.0.10.0/23 | | 10.0.10.25 | 20 |
| 7 | ADb 10.0.12.0/23 | | 10.0.10.25 | 20 |

Figura 13: Tabela de roteamento do roteador R1

```
[admin@Router-22] > ip route print
Flags: X - disabled, A - active, D - dynamic,
C - connect, S - static, r - rip, b - bgp, o - ospf, m - mme,
B - blackhole, U - unreachable, P - prohibit
```

| # | DST-ADDRESS | PREF-SRC | GATEWAY | DISTANCE |
|---|------------------|-----------|-----------|----------|
| 0 | ADb 10.0.0.0/23 | | 10.0.6.25 | 20 |
| 1 | ADb 10.0.2.0/23 | | 10.0.6.25 | 20 |
| 2 | ADC 10.0.4.0/23 | 10.0.4.22 | ether4 | 0 |
| 3 | ADC 10.0.6.0/23 | 10.0.6.22 | ether3 | 0 |
| 4 | Ddb 10.0.6.0/23 | | 10.0.6.25 | 20 |
| 5 | ADb 10.0.8.0/23 | | 10.0.6.25 | 20 |
| 6 | ADb 10.0.10.0/23 | | 10.0.6.25 | 20 |
| 7 | ADb 10.0.12.0/23 | | 10.0.6.25 | 20 |

Figura 14: Tabela de roteamento do roteador R2


```
[admin@Router-23] > ip route print
Flags: X - disabled, A - active, D - dynamic,
C - connect, S - static, r - rip, b - bgp, o - ospf, m - mme,
B - blackhole, U - unreachable, P - prohibit
```

| # | DST-ADDRESS | PREF-SRC | GATEWAY | DISTANCE |
|---|------------------|------------|-----------|----------|
| 0 | ADb 10.0.0.0/23 | | 10.0.8.24 | 20 |
| 1 | ADb 10.0.2.0/23 | | 10.0.8.24 | 20 |
| 2 | ADb 10.0.4.0/23 | | 10.0.8.24 | 20 |
| 3 | ADb 10.0.6.0/23 | | 10.0.8.24 | 20 |
| 4 | ADC 10.0.8.0/23 | 10.0.8.23 | ether1 | 0 |
| 5 | Db 10.0.8.0/23 | | 10.0.8.24 | 20 |
| 6 | ADb 10.0.10.0/23 | | 10.0.8.24 | 20 |
| 7 | ADC 10.0.12.0/23 | 10.0.12.23 | ether4 | 0 |

Figura 15: Tabela de roteamento do roteador R3

```
[admin@Router-24] > ip route print
Flags: X - disabled, A - active, D - dynamic,
C - connect, S - static, r - rip, b - bgp, o - ospf, m - mme,
B - blackhole, U - unreachable, P - prohibit
```

| # | DST-ADDRESS | PREF-SRC | GATEWAY | DISTANCE |
|---|------------------|-----------|-----------|----------|
| 0 | ADC 10.0.0.0/23 | 10.0.1.24 | ether5 | 0 |
| 1 | Db 10.0.0.0/23 | | 10.0.1.25 | 200 |
| 2 | ADb 10.0.2.0/23 | | 10.0.1.25 | 200 |
| 3 | ADb 10.0.4.0/23 | | 10.0.1.25 | 200 |
| 4 | ADb 10.0.6.0/23 | | 10.0.1.25 | 200 |
| 5 | ADC 10.0.8.0/23 | 10.0.8.24 | ether2 | 0 |
| 6 | Db 10.0.8.0/23 | | 10.0.8.23 | 20 |
| 7 | ADb 10.0.10.0/23 | | 10.0.1.25 | 200 |
| 8 | ADb 10.0.12.0/23 | | 10.0.8.23 | 20 |

Figura 16: Tabela de roteamento do roteador R4

```
[admin@Router-25] > ip route print
Flags: X - disabled, A - active, D - dynamic,
C - connect, S - static, r - rip, b - bgp, o - ospf, m - mme,
B - blackhole, U - unreachable, P - prohibit
```

| # | DST-ADDRESS | PREF-SRC | GATEWAY | DISTANCE |
|---|------------------|------------|------------|----------|
| 0 | ADC 10.0.0.0/23 | 10.0.1.25 | ether5 | 0 |
| 1 | Db 10.0.0.0/23 | | 10.0.1.24 | 200 |
| 2 | ADb 10.0.2.0/23 | | 10.0.10.21 | 20 |
| 3 | ADb 10.0.4.0/23 | | 10.0.6.22 | 20 |
| 4 | ADC 10.0.6.0/23 | 10.0.6.25 | ether2 | 0 |
| 5 | Db 10.0.6.0/23 | | 10.0.6.22 | 20 |
| 6 | ADb 10.0.8.0/23 | | 10.0.1.24 | 200 |
| 7 | ADC 10.0.10.0/23 | 10.0.10.25 | ether1 | 0 |
| 8 | Db 10.0.10.0/23 | | 10.0.10.21 | 20 |
| 9 | ADb 10.0.12.0/23 | | 10.0.1.24 | 200 |

Figura 17: Tabela de roteamento do roteador R5

As figuras 18 e 19 mostram o resultado de comandos *ping* e *traceroute* executados do host 10.0.2.141 da AS100 para o host 10.0.4.147 da AS400 e para o roteador 10.0.12.23 da AS200, comprovando sua alcançabilidade.


```

ea080@ul2043-32b:~$ ping 10.0.4.147 -c 4
PING 10.0.4.147 (10.0.4.147) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.4.147: icmp_req=1 ttl=61 time=1.22 ms
64 bytes from 10.0.4.147: icmp_req=2 ttl=61 time=1.12 ms
64 bytes from 10.0.4.147: icmp_req=3 ttl=61 time=1.07 ms
64 bytes from 10.0.4.147: icmp_req=4 ttl=61 time=1.14 ms

--- 10.0.4.147 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3003ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.070/1.141/1.226/0.065 ms
ea080@ul2043-32b:~$ traceroute 10.0.4.147
traceroute to 10.0.4.147 (10.0.4.147), 30 hops max, 60 byte packets
 1  10.0.2.21 (10.0.2.21)  0.425 ms  0.309 ms  0.341 ms
 2  10.0.10.25 (10.0.10.25)  0.726 ms  0.656 ms  0.659 ms
 3  10.0.6.22 (10.0.6.22)  1.042 ms  0.679 ms  0.669 ms
 4  10.0.4.147 (10.0.4.147)  1.011 ms  1.075 ms  1.003 ms

```

Figura 18: Comandos *ping* e *traceroute* executados do host 10.0.2.141 para o host 10.0.4.147

```

ea080@ul2043-32b:~$ ping 10.0.12.23 -c 4
PING 10.0.12.23 (10.0.12.23) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.12.23: icmp_req=1 ttl=61 time=1.08 ms
64 bytes from 10.0.12.23: icmp_req=2 ttl=61 time=1.00 ms
64 bytes from 10.0.12.23: icmp_req=3 ttl=61 time=0.966 ms
64 bytes from 10.0.12.23: icmp_req=4 ttl=61 time=1.02 ms

--- 10.0.12.23 ping statistics ---
4 packets transmitted, 4 received, 0% packet loss, time 3003ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.966/1.022/1.088/0.049 ms
ea080@ul2043-32b:~$ traceroute 10.0.12.23 -n
traceroute to 10.0.12.23 (10.0.12.23), 30 hops max, 60 byte packets
 1  10.0.2.21  0.395 ms  0.310 ms  0.232 ms
 2  10.0.10.25  0.528 ms  0.410 ms  0.427 ms
 3  10.0.1.24  0.818 ms  0.831 ms  0.839 ms
 4  10.0.12.23  1.029 ms  1.026 ms  1.065 ms

```

Figura 19: Comandos *ping* e *traceroute* executados do host 10.0.2.141 para o roteador 10.0.12.23

- b. Após desabilitar a interface *eth5* de R5, as tabelas de roteamento de R1, R2 e R5 sofrem alterações, como podemos observar nas figuras 20 a 22. Os roteadores se comunicam e atualizam suas informações de alcançabilidade sobre as sub-redes. Como a rota entre R5 e R4 está agora indisponível, as sub-redes da AS200 tornam-se inalcançáveis a partir de R1, R2 e R5, bem como a sub-rede 10.0.0.0/23, e elas desapareceram das tabelas de roteamento destes roteadores. Como estávamos operando em um *host* na AS100 e a comunicação com R3 e R4 foi perdida, não foi possível obter as tabelas de roteamento destes roteadores, mas podemos afirmar que as entradas nas tabelas destes roteadores com rotas para as sub-redes da AS100 e da AS400 e para a sub-rede 10.0.0.0/23 também seriam removidas.

```

[admin@Router-21] > ip route print
Flags: X - disabled, A - active, D - dynamic,
C - connect, S - static, r - rip, b - bgp, o - ospf, m - mme,
B - blackhole, U - unreachable, P - prohibit
#    DST-ADDRESS    PREF-SRC    GATEWAY    DISTANCE
0 ADC 10.0.2.0/23      10.0.2.21   ether4      0
1 ADb 10.0.4.0/23      10.0.10.25  20
2 ADb 10.0.6.0/23      10.0.10.25  20
3 ADC 10.0.10.0/23     10.0.10.21  ether3      0
4 Db  10.0.10.0/23     10.0.10.25  20

```

Figura 20: Tabela de roteamento do roteador R1

| Transmission Control Protocol, Src Port: bgp (179), Dst Port: 58389 (58389), Seq: 1, Ack: 20, Len: 0 | | | | | |
|---|-------------|-----------|-------------|------------|-------------------------------|
| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length Info |
| | 23 7.807612 | 10.0.1.25 | 10.0.1.24 | BGP | 85 KEEPALIVE |
| Message | | | | | |
| Frame 23: 85 bytes on wire (680 bits), 85 bytes captured (680 bits) | | | | | |
| Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:62 (00:0c:42:2e:a4:62), Dst: Routerbo_2e:a4:71 (00:0c:42:2e:a4:71) | | | | | |
| Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.25 (10.0.1.25), Dst: 10.0.1.24 (10.0.1.24) | | | | | |
| Transmission Control Protocol, Src Port: bgp (179), Dst Port: 58389 (58389), Seq: 1, Ack: 20, Len: 19 | | | | | |
| Border Gateway Protocol | | | | | |
| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length Info |
| | 24 7.807804 | 10.0.1.24 | 10.0.1.25 | TCP | 66 58389 > bgp |
| [ACK] Seq=20 Ack=20 Win=2920 Len=0 TSval=264429 TSecr=312260 | | | | | |
| Frame 24: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits) | | | | | |
| Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:71 (00:0c:42:2e:a4:71), Dst: Routerbo_2e:a4:62 (00:0c:42:2e:a4:62) | | | | | |
| Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.24 (10.0.1.24), Dst: 10.0.1.25 (10.0.1.25) | | | | | |
| Transmission Control Protocol, Src Port: 58389 (58389), Dst Port: bgp (179), Seq: 20, Ack: 20, Len: 0 | | | | | |

Em seguida, foi desabilitada a interface *ether5* de R5. Podemos ver nas mensagens BGP a seguir a perda da conexão entre os roteadores: R4 envia uma mensagem *KEEPALIVE* a R5, que não responde, e a mensagem é retransmitida logo depois de um broadcast para identificar quem possui o endereço 10.0.1.25.

| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length Info |
|--|----------------|-------------------|-------------|------------|---|
| | 615 262.810254 | 10.0.1.24 | 10.0.1.25 | BGP | 85 KEEPALIVE |
| Message | | | | | |
| Frame 615: 85 bytes on wire (680 bits), 85 bytes captured (680 bits) | | | | | |
| Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:71 (00:0c:42:2e:a4:71), Dst: Routerbo_2e:a4:62 (00:0c:42:2e:a4:62) | | | | | |
| Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.24 (10.0.1.24), Dst: 10.0.1.25 (10.0.1.25) | | | | | |
| Transmission Control Protocol, Src Port: 58389 (58389), Dst Port: bgp (179), Seq: 96, Ack: 96, Len: 19 | | | | | |
| Border Gateway Protocol | | | | | |
| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length Info |
| | 616 262.926044 | CadmusCo_bc:8f:e5 | Broadcast | ARP | 60 Who has 10.0.1.25? Tell 10.0.0.155 |
| Frame 616: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) | | | | | |
| Ethernet II, Src: CadmusCo_bc:8f:e5 (08:00:27:bc:8f:e5), Dst: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff) | | | | | |
| Address Resolution Protocol (request) | | | | | |
| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length Info |
| | 617 263.020073 | 10.0.1.24 | 10.0.1.25 | BGP | 85 [TCP Retransmission] KEEPALIVE Message |
| Frame 617: 85 bytes on wire (680 bits), 85 bytes captured (680 bits) | | | | | |
| Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:71 (00:0c:42:2e:a4:71), Dst: Routerbo_2e:a4:62 (00:0c:42:2e:a4:62) | | | | | |
| Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.24 (10.0.1.24), Dst: 10.0.1.25 (10.0.1.25) | | | | | |
| Transmission Control Protocol, Src Port: 58389 (58389), Dst Port: bgp (179), Seq: 96, Ack: 96, Len: 19 | | | | | |
| Border Gateway Protocol | | | | | |
| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length Info |


```

618 263.440081 10.0.1.24 10.0.1.25 BGP 85 [TCP
Retransmission] KEEPALIVE Message

Frame 618: 85 bytes on wire (680 bits), 85 bytes captured (680 bits)
Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:71 (00:0c:42:2e:a4:71), Dst: Routerbo_2e:a4:62
(00:0c:42:2e:a4:62)
Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.24 (10.0.1.24), Dst: 10.0.1.25 (10.0.1.25)
Transmission Control Protocol, Src Port: 58389 (58389), Dst Port: bgp (179), Seq: 96,
Ack: 96, Len: 19
Border Gateway Protocol

```

```

No.      Time                Source                Destination                Protocol Length Info
    755 316.451616  10.0.1.25                10.0.1.24                TCP 66 [TCP
Previous segment lost] bgp > 58389 [ACK] Seq=190 Ack=115 Win=2896 Len=0 TSval=343123
TSecr=295292

Frame 755: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits)
Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:62 (00:0c:42:2e:a4:62), Dst: Routerbo_2e:a4:71
(00:0c:42:2e:a4:71)
Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.25 (10.0.1.25), Dst: 10.0.1.24 (10.0.1.24)
Transmission Control Protocol, Src Port: bgp (179), Dst Port: 58389 (58389), Seq: 190,
Ack: 115, Len: 0


No.      Time                Source                Destination                Protocol Length Info
    804 320.414040  10.0.1.24                10.0.1.25                BGP 85 KEEPALIVE
Message

Frame 804: 85 bytes on wire (680 bits), 85 bytes captured (680 bits)
Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:71 (00:0c:42:2e:a4:71), Dst: Routerbo_2e:a4:62
(00:0c:42:2e:a4:62)
Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.24 (10.0.1.24), Dst: 10.0.1.25 (10.0.1.25)
Transmission Control Protocol, Src Port: 58389 (58389), Dst Port: bgp (179), Seq: 115,
Ack: 96, Len: 19
Border Gateway Protocol


No.      Time                Source                Destination                Protocol Length Info
    805 320.414373  10.0.1.25                10.0.1.24                TCP 66 bgp >
58389 [ACK] Seq=190 Ack=134 Win=2896 Len=0 TSval=343520 TSecr=295689

Frame 805: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits)
Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:62 (00:0c:42:2e:a4:62), Dst: Routerbo_2e:a4:71
(00:0c:42:2e:a4:71)
Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.25 (10.0.1.25), Dst: 10.0.1.24 (10.0.1.24)
Transmission Control Protocol, Src Port: bgp (179), Dst Port: 58389 (58389), Seq: 190,
Ack: 134, Len: 0

```

| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
|-----|------------|-----------|-------------|----------|--------|------|
| 962 | 395.434255 | 10.0.1.24 | 10.0.1.25 | BGP | 87 | |

NOTIFICATION Message

Frame 962: 87 bytes on wire (696 bits), 87 bytes captured (696 bits)

Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:71 (00:0c:42:2e:a4:71), Dst: Routerbo_2e:a4:62 (00:0c:42:2e:a4:62)

| | | | | | | |
|--|----------------|-----------|-------------|----------|--------|-----------|
| Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.24 (10.0.1.24), Dst: 10.0.1.25 (10.0.1.25) | | | | | | |
| Transmission Control Protocol, Src Port: 58389 (58389), Dst Port: bgp (179), Seq: 153, Ack: 96, Len: 21 | | | | | | |
| Border Gateway Protocol | | | | | | |
| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
| | 963 395.434410 | 10.0.1.24 | 10.0.1.25 | TCP | 66 | 58389 > |
| bgp [FIN, ACK] Seq=174 Ack=96 Win=2920 Len=0 TSval=303191 TSecr=333020 | | | | | | |
| Frame 963: 66 bytes on wire (528 bits), 66 bytes captured (528 bits) | | | | | | |
| Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:71 (00:0c:42:2e:a4:71), Dst: Routerbo_2e:a4:62 (00:0c:42:2e:a4:62) | | | | | | |
| Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.24 (10.0.1.24), Dst: 10.0.1.25 (10.0.1.25) | | | | | | |
| Transmission Control Protocol, Src Port: 58389 (58389), Dst Port: bgp (179), Seq: 174, Ack: 96, Len: 0 | | | | | | |
| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
| | 964 395.436688 | 10.0.1.25 | 10.0.1.24 | BGP | 156 | KEEPALIVE |
| Message, UPDATE Message, KEEPALIVE Message, NOTIFICATION Message | | | | | | |
| Frame 964: 156 bytes on wire (1248 bits), 156 bytes captured (1248 bits) | | | | | | |
| Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:62 (00:0c:42:2e:a4:62), Dst: Routerbo_2e:a4:71 (00:0c:42:2e:a4:71) | | | | | | |
| Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.25 (10.0.1.25), Dst: 10.0.1.24 (10.0.1.24) | | | | | | |
| Transmission Control Protocol, Src Port: bgp (179), Dst Port: 58389 (58389), Seq: 190, Ack: 175, Len: 90 | | | | | | |
| Border Gateway Protocol | | | | | | |
| Border Gateway Protocol | | | | | | |
| Border Gateway Protocol | | | | | | |
| Border Gateway Protocol | | | | | | |
| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
| | 965 395.436839 | 10.0.1.24 | 10.0.1.25 | TCP | 60 | 58389 > |
| bgp [RST] Seq=175 Win=0 Len=0 | | | | | | |
| Frame 965: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) | | | | | | |
| Ethernet II, Src: Routerbo_2e:a4:71 (00:0c:42:2e:a4:71), Dst: Routerbo_2e:a4:62 (00:0c:42:2e:a4:62) | | | | | | |
| Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.1.24 (10.0.1.24), Dst: 10.0.1.25 (10.0.1.25) | | | | | | |
| Transmission Control Protocol, Src Port: 58389 (58389), Dst Port: bgp (179), Seq: 175, Len: 0 | | | | | | |

- b. O uso do protocolo TCP pode ser justificado por este possuir vários mecanismos que asseguram a confiabilidade e robustez: números de sequência que garantem a entrega ordenada, código detector de erros (*checksum*) para detecção de falhas em segmentos específicos, confirmação de recepção e temporizadores que permitem o ajuste e contorno de eventuais atrasos e perdas de segmentos.
- c. O *next-hop* do roteador R2 para o AS200 é o endereço 10.0.6.25, correspondente à interface *eth2* de R5.
- d. Nesta topologia, os pares (*peers*) são: R1-R5, R2-R5, R5-R4 e R4-R3.

Os filtros propostos podem ser visualizados para atender as especificações do enunciado na figura 23. O primeiro impede que todos os pacotes com origem na sub-rede 10.0.0.0/23 se propaguem para as outras sub-redes, enquanto que o segundo rejeita todos os pacotes que não tem origem na sub-rede 10.0.2.0/23. Para atender corretamente a primeira especificação do enunciado, o valor *invert-match* deste segundo filtro deveria ser *no*, para que ele rejeite todos os pacotes que tem origem na sub-rede 10.0.2.0/23 e consequentemente impedi-los de alcançar o AS200.

```
[admin@Router-25] > routing filter print
Flags: X - disabled
 0 chain=caian prefix=10.0.0.0/23 invert-match=no action=discard
  set-bgp-prepend-path=""
 1 chain=filtro002 pref-src=10.0.2.0/23 invert-match=yes action=reject
  set-bgp-prepend-path=""
[admin@Router-25] > 
```

Figura 23: Filtros implementados