

UMinho

Mestrado em Engenharia Informática
Interligação de Redes IP (2022/2023)

GRUPO 4

TP3: PROTOCOLO OSPF

Simão Cunha (a93262)
Gonçalo Pereira (a93168)
Rui Alves (pg50745)

Braga, 22 de abril de 2023

Conteúdo

1	Exercício 1	2
	1.1 Resolução	2
2	Exercício 2	3
	2.1 Resolução	3
3	Exercício 3	4
	3.1 Resolução	4
4	Exercício 4	6
	4.1 Resolução	6
5	Exercício 5	7
	5.1 Resolução	7
6	Exercício 6	8
	6.1 Resolução	8
7	Exercício 7	10
	7.1 Resolução	10
8	Exercício 8	11
	8.1 Resolução	11
9	Exercício 9	13
	9.1 Resolução	13
10	Exercício 10	15
	10.1 Resolução	15
11	Exercício 11	16
	11.1 Resolução 11 i)	16
	11.2 Resolução 11 ii)	16
12	Exercício 12	18
	12.1 Resolução	18
13	Exercício 13	19
	13.1 Resolução 13 i)	19
	13.2 Resolução 13 ii)	20
	13.3 Resolução 13 iii)	22

1 Exercício 1

Defina uma topologia de uma rede de interligação envolvendo vários routers, os respectivos links, e redes cliente, com os mesmos requisitos da topologia do trabalho TP2. A Figura 1 apresenta meramente uma topologia exemplo definida neste contexto.

1.1 Resolução

Para este trabalho prático, iremos utilizar a topologia criada para o TP anterior. Segue abaixo a mesma:

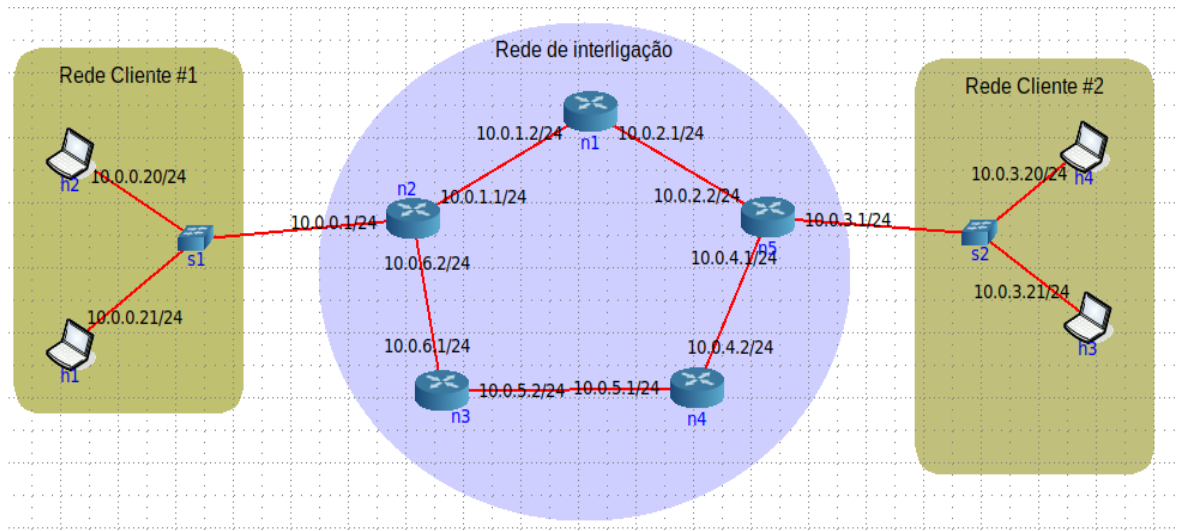


Figura 1: Topologia criada

2 Exercício 2

Na topologia que definiu configure alguns dos links com uma bandwidth de 10 Mbps e outros com 100 Mbps.

2.1 Resolução

Na figura 2, podemos observar os diferentes links com os débitos alterados na nossa topologia.

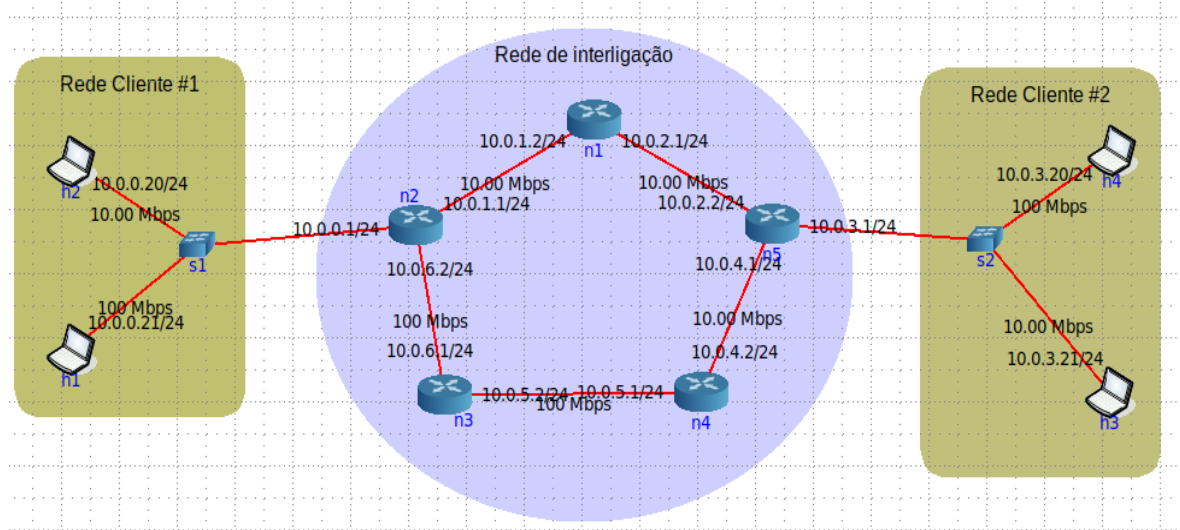


Figura 2: Topologia com débitos nas ligações alterados

3 Exercício 3

Configure, na interface gráfica, todos os routers da topologia para usarem o protocolo OSPF para difusão de todas as redes de interligação e redes clientes. Deverá ser definida uma única área OSPF (e.g. área 0) para todos os equipamentos.

3.1 Resolução

De forma a configurarmos os routers da topologia de forma a utilizarem o protocolo OSPF para a difusão de todas as redes de interligação e redes clientes, temos de seguir alguns passos:

1. *Right click* num certo router;
2. Selecionar *Services*;
3. Ativar as opções consoante a figura 3;
4. Aplicar os três passos acima em todos os routers.

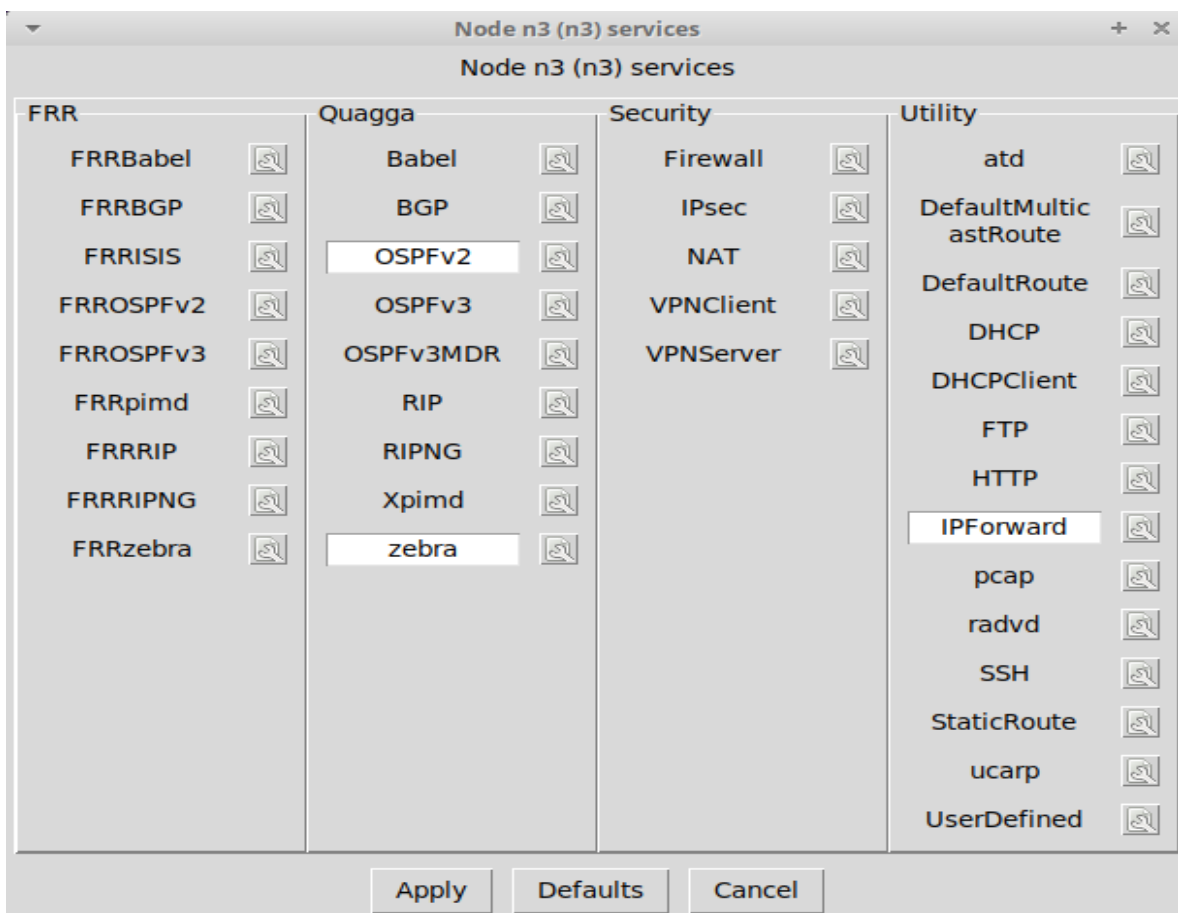


Figura 3: Configuração de um router da topologia através da interface gráfica

Além disso, de forma a que todos os routers estejam associados à área 0, temos que editar a configuração OSPF no Zebra consoante a figura 4 - a figura abaixo é referente ao router n3.

```
router ospf
  router-id 10.0.5.2
  network 10.0.5.2/24 area 0
  network 10.0.6.1/24 area 0
!
```

Figura 4: Configuração OSPF do router n3 no Zebra

4 Exercício 4

Ative a topologia e proceda a testes de conectividade (e.g. ping, etc.) entre os diversos equipamentos. Verifique também as rotas utilizadas pelo tráfego que circula na rede.

4.1 Resolução

Para respondermos a esta alínea, mostraremos os testes de conectividade efetuados fazendo uso de *traceroute* entre diferentes nodos da topologia.

```
root@h2:/tmp/pycore.46717/h2.conf# traceroute 10.0.3.20
traceroute to 10.0.3.20 (10.0.3.20), 30 hops max, 60 byte packets
 1  10.0.0.1 (10.0.0.1)  0.338 ms  0.258 ms  0.231 ms
 2  10.0.1.2 (10.0.1.2)  0.342 ms  0.360 ms  0.476 ms
 3  10.0.2.2 (10.0.2.2)  0.689 ms  0.762 ms  1.235 ms
 4  10.0.3.20 (10.0.3.20)  1.208 ms  2.150 ms  2.318 ms
root@h2:/tmp/pycore.46717/h2.conf#
```

Figura 5: Traceroute host h2 → h4

Observando a figura 5, podemos observar que existe conectividade e a rota dos pacotes entre *h2* e *h4* consiste em *h2* → *n2* → *n1* → *n5* → *h4*.

Na figura 6, podemos observar que também existe conectividade e que existe uma rota entre *n3* e *h3*.

```
root@n3:/tmp/pycore.46717/n3.conf# traceroute 10.0.3.21
traceroute to 10.0.3.21 (10.0.3.21), 30 hops max, 60 byte packets
 1  10.0.5.1 (10.0.5.1)  1.363 ms  1.298 ms  1.281 ms
 2  10.0.4.1 (10.0.4.1)  3.281 ms  3.267 ms  3.253 ms
 3  10.0.3.21 (10.0.3.21)  4.062 ms  4.082 ms  4.082 ms
root@n3:/tmp/pycore.46717/n3.conf#
```

Figura 6: Traceroute n3 → h3

5 Exercício 5

Explique as configurações OSPF que foram introduzidas nos routers da rede de interligação.

5.1 Resolução

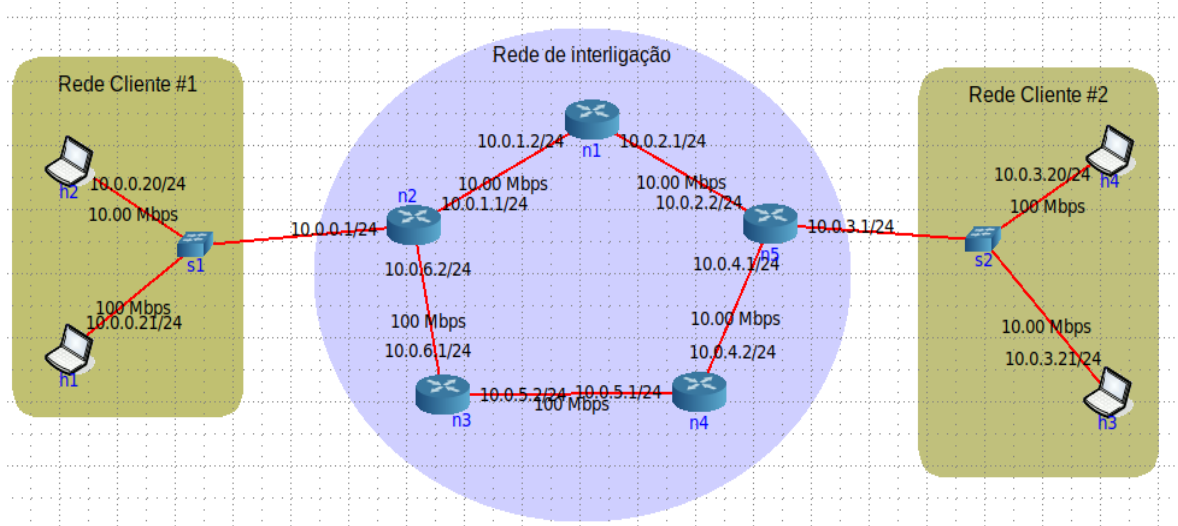


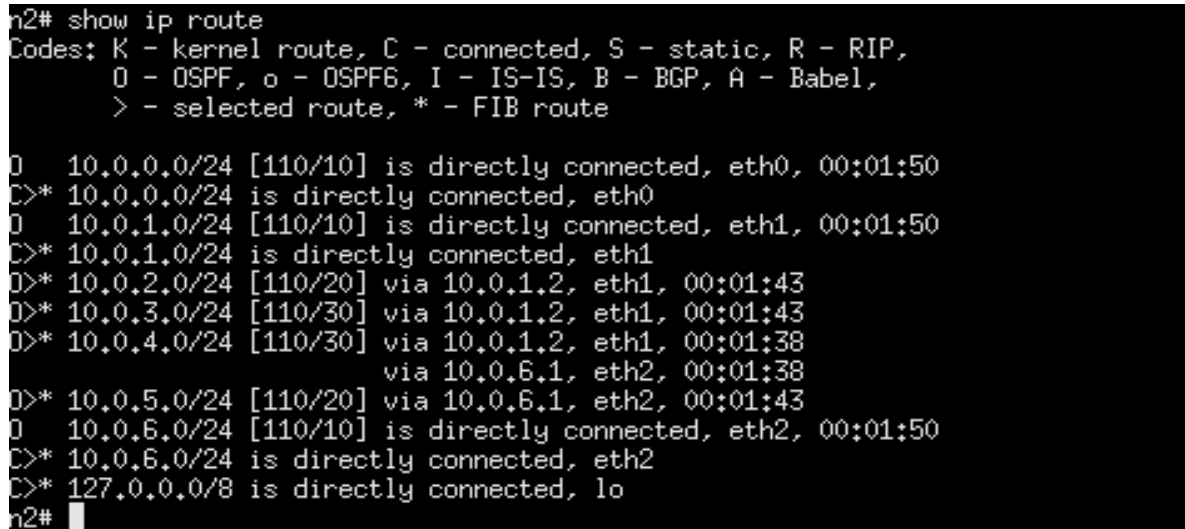
Figura 7: Topologia com débitos nas ligações alterados

- **router-id 10.0.5.2:** Este comando define o “OSPF Router ID” do router em causa como 10.0.5.2. O OSPF Router ID é um identificador exclusivo para este router na rede OSPF. Nesse caso, o router foi configurado para usar o endereço IP da interface conectada à rede 10.0.0.0/24 como seu ID de router.
- **network 10.0.5.2/24 area 0:** Este comando especifica que a rede 10.0.5.0/24 está conectada a este router e deve ser anunciada para outros routers OSPF na Área 0 (a área de backbone). O parâmetro área 0 indica que a rede faz parte da Área 0.
- **network 10.0.6.1/24 area 0:** Este comando especifica que a rede 10.0.6.0/24 está conectada a este router e deve ser anunciada para outros routers OSPF na Área 0 (a área de backbone). O parâmetro área 0 indica que a rede faz parte da Área 0.

6 Exercício 6

Visualize e analise as tabelas de routing que foram estabelecidas pelos equipamentos da rede de interligação. [nota: deverá ser selecionada e explicada em detalhe uma tabela de routing específica que se considere relevante para esse efeito]

6.1 Resolução



```
n2# show ip route
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
       O - OSPF, o - OSPF6, I - IS-IS, B - BGP, A - Babel,
       > - selected route, * - FIB route

O  10.0.0.0/24 [110/10] is directly connected, eth0, 00:01:50
C>* 10.0.0.0/24 is directly connected, eth0
O  10.0.1.0/24 [110/10] is directly connected, eth1, 00:01:50
C>* 10.0.1.0/24 is directly connected, eth1
O>* 10.0.2.0/24 [110/20] via 10.0.1.2, eth1, 00:01:43
O>* 10.0.3.0/24 [110/30] via 10.0.1.2, eth1, 00:01:43
O>* 10.0.4.0/24 [110/30] via 10.0.1.2, eth1, 00:01:38
                        via 10.0.6.1, eth2, 00:01:38
O>* 10.0.5.0/24 [110/20] via 10.0.6.1, eth2, 00:01:43
O  10.0.6.0/24 [110/10] is directly connected, eth2, 00:01:50
C>* 10.0.6.0/24 is directly connected, eth2
C>* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
n2#
```

Figura 8: Tabela de routing de n2

Escolhemos analisar a tabela de routing do router n2 por se tratar de um router de acesso a uma rede cliente.

Em primeiro lugar, na tabela é possível observar as entradas marcadas com C>* e O que indicam as interfaces a que o router está ligado diretamente. As entradas marcadas com O>* indicam rotas obtidas através do protocolo OSPF.

Neste caso, a tabela indica que:

- Por 10.0.1.2 atinge-se 10.0.2.0 com um custo de 20. O tempo desde a última atualização do OSPF é 00:01:43.
- Por 10.0.1.2 atinge-se 10.0.3.0 com um custo de 30 ou atinge-se 10.0.6.1. O tempo desde a última atualização do OSPF é 00:01:43.
- Por 10.0.1.2 atinge-se 10.0.4.0 com um custo de 30. O tempo desde a última atualização do OSPF é 00:01:38.
- Por 10.0.6.1 atinge-se 10.0.5.0 com um custo de 20. O tempo desde a última atualização do OSPF é 00:01:50.

Agora analisando as entradas com C>* e O (que são semelhantes entre si), podemos observar que:

- Para a rede Cliente #1 (identificado pela subrede 10.0.0.0/24), o router n2 encaminha o tráfego através da interface eth0;
- Para o nó n1 (identificado pela subrede 10.0.1.0/24), o router n2 encaminha o tráfego através da interface eth1;
- Para o nó n3 (identificado pela subrede 10.0.6.0/24), o router n2 encaminha o tráfego através da interface eth2;
- A última entrada refere-se ao endereço de loopback.

Por se tratar do protocolo OSPF a escolha das rotas consiste em escolher a rota de menor custo, através da implementação do algoritmo Dijkstra's. Além disso, é possível verificar que o custo administrativo deste protocolo é 110. O custo administrativo só é relevante quando num router existe mais do que um protocolo de encaminhamento, servindo como fator de desempate na escolha de uma rota.

7 Exercício 7

Que comando permite verificar quais os custos OSPF associados às diversas interfaces de um router? Analise e comente os custos que foram atribuídos aos links da sua topologia.

7.1 Resolução

```
Hello, this is Quagga (version 0.99.21mr2.2-dev).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

n3# show ip ospf interface
eth0 is up
  ifindex 152, MTU 1500 bytes, BW 0 Kbit <UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>
  Internet Address 10.0.5.2/24, Area 0.0.0.0
  MTU mismatch detection:enabled
  Router ID 10.0.5.2, Network Type POINTOPOINT, Cost: 10
  Transmit Delay is 1 sec, State Point-To-Point, Priority 1
  No designated router on this network
  No backup designated router on this network
  Multicast group memberships: OSPFAllRouters
  Timer intervals configured, Hello 2s, Dead 6s, Wait 6s, Retransmit 5
  Hello due in 1.767s
  Neighbor Count is 1, Adjacent neighbor count is 1
eth1 is up
  ifindex 155, MTU 1500 bytes, BW 0 Kbit <UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>
  Internet Address 10.0.6.1/24, Area 0.0.0.0
  MTU mismatch detection:enabled
  Router ID 10.0.5.2, Network Type POINTOPOINT, Cost: 10
  Transmit Delay is 1 sec, State Point-To-Point, Priority 1
  No designated router on this network
  No backup designated router on this network
  Multicast group memberships: OSPFAllRouters
  Timer intervals configured, Hello 2s, Dead 6s, Wait 6s, Retransmit 5
  Hello due in 1.767s
  Neighbor Count is 1, Adjacent neighbor count is 1
lo is up
  ifindex 1, MTU 65536 bytes, BW 0 Kbit <UP,LOOPBACK,RUNNING>
  OSPF not enabled on this interface
n3#
n3#
n3#
n3#
n3#
n3#
n3#
n3#
```

```
Hello, this is Quagga (version 0.99.21mr2.2-dev).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

n5# show ip ospf interface
eth0 is up
  ifindex 136, MTU 1500 bytes, BW 0 Kbit <UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>
  Internet Address 10.0.2.2/24, Area 0.0.0.0
  MTU mismatch detection:enabled
  Router ID 10.0.2.2, Network Type POINTOPOINT, Cost: 10
  Transmit Delay is 1 sec, State Point-To-Point, Priority 1
  No designated router on this network
  No backup designated router on this network
  Multicast group memberships: OSPFAllRouters
  Timer intervals configured, Hello 2s, Dead 6s, Wait 6s, Retransmit 5
  Hello due in 0.911s
  Neighbor Count is 1, Adjacent neighbor count is 1
eth1 is up
  ifindex 138, MTU 1500 bytes, BW 0 Kbit <UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>
  Internet Address 10.0.3.1/24, Area 0.0.0.0
  MTU mismatch detection:enabled
  Router ID 10.0.2.2, Network Type BROADCAST, Cost: 10
  Transmit Delay is 1 sec, State DR, Priority 1
  Designated Router (ID) 10.0.2.2, Interface Address 10.0.3.1
  No backup designated router on this network
  Multicast group memberships: OSPFAllRouters OSPFDesignatedRouters
  Timer intervals configured, Hello 2s, Dead 6s, Wait 6s, Retransmit 5
  Hello due in 0.911s
  Neighbor Count is 0, Adjacent neighbor count is 0
eth2 is up
  ifindex 145, MTU 1500 bytes, BW 0 Kbit <UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>
  Internet Address 10.0.4.1/24, Area 0.0.0.0
  MTU mismatch detection:enabled
  Router ID 10.0.2.2, Network Type POINTOPOINT, Cost: 10
  Transmit Delay is 1 sec, State Point-To-Point, Priority 1
  No designated router on this network
  No backup designated router on this network
  Multicast group memberships: OSPFAllRouters
  Timer intervals configured, Hello 2s, Dead 6s, Wait 6s, Retransmit 5
  Hello due in 0.911s
  Neighbor Count is 1, Adjacent neighbor count is 1
lo is up
  ifindex 1, MTU 65536 bytes, BW 0 Kbit <UP,LOOPBACK,RUNNING>
  OSPF not enabled on this interface
n5#
```

Figura 9: Custos OSPF

De modo a observar os custos associados às ligações, foi executado o comando **show ip ospf interface** [1]. Na figura acima é possível observar o output para os routers *n2* e *n5*. Conclui-se que o custo atribuído por defeito usando o protocolo OSPF no emulador CORE é o mesmo para todas as ligações e interfaces. O facto de ser atribuído o mesmo custo a todas as ligações faz com que neste contexto e sabendo que OSPF escolhe as rotas de menores custo, as melhores rotas serão as que têm um menor número de saltos.

8 Exercício 8

Altere os custos dos vários links da rede de interligação por forma que os links de 10 Mbps tenham custo “10” e os links de 100 Mbps tenham custo “1”.

8.1 Resolução

Na figura 10, podemos observar a alteração dos custos consoante o solicitado no enunciado através da execução do comando `ip ospf cost [custo] [2]`.

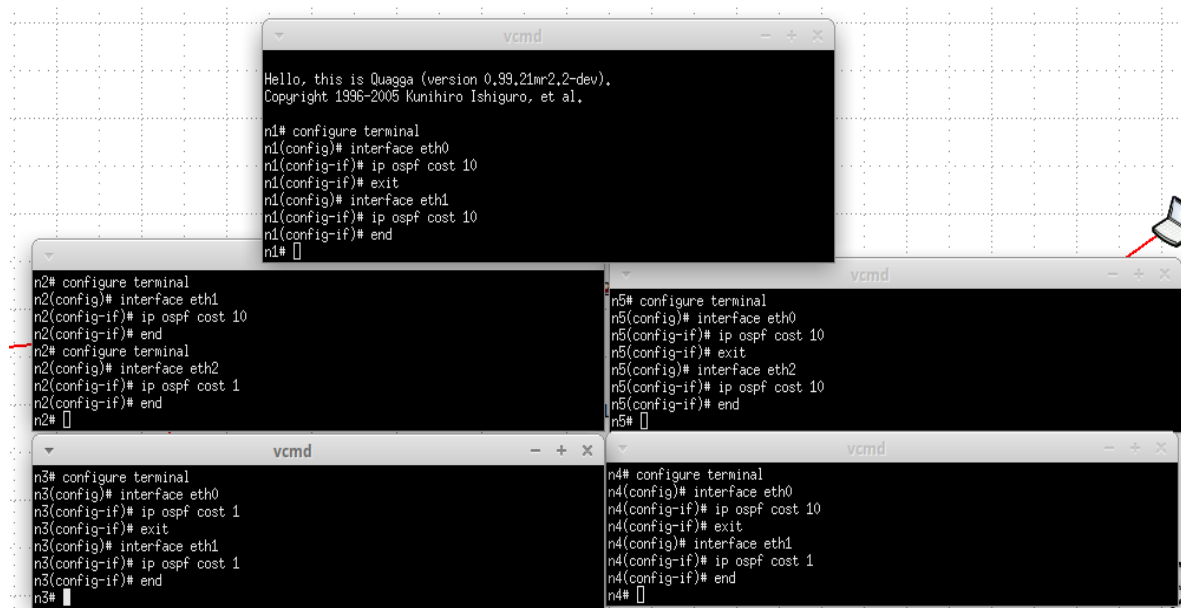


Figura 10: Alteração dos custos em todos os routers

De seguida, de modo a observarmos com maior detalhe os custos em cada ligação, iremos recriar a figura 9, mas, desta vez, com os valores dos custos atualizados.

```

Hello, this is Quagga (version 0.99.21mr2.2-dev).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

n3# show ip ospf interface
eth0 is up
  ifindex 152, MTU 1500 bytes, BW 0 Kbit <UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>
  Internet Address 10.0.5.2/24, Area 0.0.0.0
  MTU mismatch detection:enabled
  Router ID 10.0.5.2, Network Type POINTOPOINT, Cost: 1
  Transmit Delay is 1 sec, State Point-To-Point, Priority 1
  No designated router on this network
  No backup designated router on this network
  Multicast group memberships: OSPFAllRouters
  Timer intervals configured, Hello 2s, Dead 6s, Wait 6s, Retransmit 5
    Hello due in 0.460s
  Neighbor Count is 1, Adjacent neighbor count is 1
eth1 is up
  ifindex 155, MTU 1500 bytes, BW 0 Kbit <UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>
  Internet Address 10.0.5.1/24, Area 0.0.0.0
  MTU mismatch detection:enabled
  Router ID 10.0.5.2, Network Type POINTOPOINT, Cost: 1
  Transmit Delay is 1 sec, State Point-To-Point, Priority 1
  No designated router on this network
  No backup designated router on this network
  Multicast group memberships: OSPFAllRouters
  Timer intervals configured, Hello 2s, Dead 6s, Wait 6s, Retransmit 5
    Hello due in 0.460s
  Neighbor Count is 1, Adjacent neighbor count is 1
lo is up
  ifindex 1, MTU 65536 bytes, BW 0 Kbit <UP,LOOPBACK,RUNNING>
  OSPF not enabled on this interface
n3#
n3#
n3#
n3#
n3#
n3#
n3#
n3# █

Hello, this is Quagga (version 0.99.21mr2.2-dev).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

n5# show ip ospf interface
eth0 is up
  ifindex 136, MTU 1500 bytes, BW 0 Kbit <UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>
  Internet Address 10.0.2.2/24, Area 0.0.0.0
  MTU mismatch detection:enabled
  Router ID 10.0.2.2, Network Type POINTOPOINT, Cost: 10
  Transmit Delay is 1 sec, State Point-To-Point, Priority 1
  No designated router on this network
  No backup designated router on this network
  Multicast group memberships: OSPFAllRouters
  Timer intervals configured, Hello 2s, Dead 6s, Wait 6s, Retransmit 5
    Hello due in 1.231s
  Neighbor Count is 1, Adjacent neighbor count is 1
eth1 is up
  ifindex 138, MTU 1500 bytes, BW 0 Kbit <UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>
  Internet Address 10.0.3.1/24, Area 0.0.0.0
  MTU mismatch detection:enabled
  Router ID 10.0.2.2, Network Type BROADCAST, Cost: 10
  Transmit Delay is 1 sec, State DR, Priority 1
  Designated Router (ID) 10.0.2.2, Interface Address 10.0.3.1
  No backup designated router on this network
  Multicast group memberships: OSPFAllRouters OSPFDesignatedRouters
  Timer intervals configured, Hello 2s, Dead 6s, Wait 6s, Retransmit 5
    Hello due in 1.231s
  Neighbor Count is 0, Adjacent neighbor count is 0
eth2 is up
  ifindex 145, MTU 1500 bytes, BW 0 Kbit <UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>
  Internet Address 10.0.4.1/24, Area 0.0.0.0
  MTU mismatch detection:enabled
  Router ID 10.0.2.2, Network Type POINTOPOINT, Cost: 10
  Transmit Delay is 1 sec, State DR, Priority 1
  No designated router on this network
  No backup designated router on this network
  Multicast group memberships: OSPFAllRouters
  Timer intervals configured, Hello 2s, Dead 6s, Wait 6s, Retransmit 5
    Hello due in 1.231s
  Neighbor Count is 1, Adjacent neighbor count is 1
lo is up
  ifindex 1, MTU 65536 bytes, BW 0 Kbit <UP,LOOPBACK,RUNNING>
  OSPF not enabled on this interface
n5#

```

Figura 11: Custos OSPF atualizados

9 Exercício 9

Face à alteração introduzida na alínea 8 observe e explique as alterações que foram efetuadas nas tabelas de encaminhamento dos routers. [nota: deverá ser selecionada e explicada em detalhe uma tabela de routing específica que se considere relevante para esse efeito]

9.1 Resolução

Na figura 12, podemos observar a execução do comando `traceroute` do host *h2* para o host *h4*. Comparando com a figura 5, podemos observar que a nova rota contém mais um salto que a anterior, mas agora possui saltos com menor custo devido às alterações efetuadas na alínea anterior.

```
root@h2:/tmp/pycore.46717/h2.conf# traceroute 10.0.3.20
traceroute to 10.0.3.20 (10.0.3.20), 30 hops max, 60 byte packets
 1  10.0.0.1 (10.0.0.1)  0.195 ms  0.152 ms  0.256 ms
 2  10.0.6.1 (10.0.6.1)  0.345 ms  0.362 ms  0.943 ms
 3  10.0.5.1 (10.0.5.1)  0.914 ms  0.854 ms  1.116 ms
 4  10.0.4.1 (10.0.4.1)  1.594 ms  1.667 ms  2.184 ms
 5  10.0.3.20 (10.0.3.20)  2.349 ms  2.337 ms  2.575 ms
root@h2:/tmp/pycore.46717/h2.conf#
```

Figura 12: Traceroute h2 → h4

```
n2# show ip route
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
       O - OSPF, o - OSPF6, I - IS-IS, B - BGP, A - Babel,
       > - selected route, * - FIB route

0  10.0.0.0/24 [110/10] is directly connected, eth0, 00:41:07
C>* 10.0.0.0/24 is directly connected, eth0
0  10.0.1.0/24 [110/10] is directly connected, eth1, 00:41:07
C>* 10.0.1.0/24 is directly connected, eth1
O>* 10.0.2.0/24 [110/20] via 10.0.1.2, eth1, 00:41:00
O>* 10.0.3.0/24 [110/22] via 10.0.6.1, eth2, 00:04:02
O>* 10.0.4.0/24 [110/12] via 10.0.6.1, eth2, 00:04:02
O>* 10.0.5.0/24 [110/2] via 10.0.6.1, eth2, 00:04:02
0  10.0.6.0/24 [110/1] is directly connected, eth2, 00:04:02
C>* 10.0.6.0/24 is directly connected, eth2
C>* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
n2#
```

Figura 13: Tabela de routing n2

Comparando com a tabela da figura 8, podemos observar algumas alterações:

- Os custos das rotas foram todos alterados;
- Para atingir a rede 10.0.3.0, antes atingia-se a interface 10.0.1.2 e agora atinge-se a interface 10.0.6.1;
- Para atingir a rede 10.0.4.0, antes tínhamos duas interfaces para lá chegar (10.0.1.2 ou 10.0.6.1) e agora apenas temos 10.0.6.1;

Por se tratar do protocolo OSPF a escolha das rotas consiste em escolher a rota de menor custo, através da implementação do algoritmo Dijkstra's. Neste caso, a métrica que está a se utilizada valoriza as ligações de maior capacidade, devido ao que foi feito na alínea anterior 8. Ligações de maior capacidade tem um custo associado menor, do que ligações de menor capacidade.

10 Exercício 10

Tendo em conta as experiências anteriores e o que foi lecionado/discutido nas aulas teóricas comente, na sua opinião, sobre como devem ser configurados os custos OSPF dos diversos links de uma topologia de rede. Poderá complementar a sua resposta com alguma proposta concreta de uma estratégia de optimização das configurações dos custos OSPF dos links idealizada pelo seu grupo de trabalho.

10.1 Resolução

A configuração dos custos OSPF deve ser sempre em função da optimização de objetivos e da topologia em causa. Na questão 8, por exemplo, pretendia-se valorizar rotas com maior largura de banda, pelo que, atribui-se um menor custo a ligações de maior capacidade.

Existem diferentes optimizações objetivo que se pode ter em conta, como:

1. Bandwidth - Ligações configuradas com um custo inversamente proporcional à da bandwidth (exe.: InvCap-OSPF).
2. Delay - Ligações de menor delay estão associadas a um menor custo (exe.: L2-OSPF).
3. Carga - Ligações com menor taxa de ocupação estão associadas a um menor custo.
4. Resiliência - Ligações tipicamente de maior qualidade estão associadas a um menor custo.

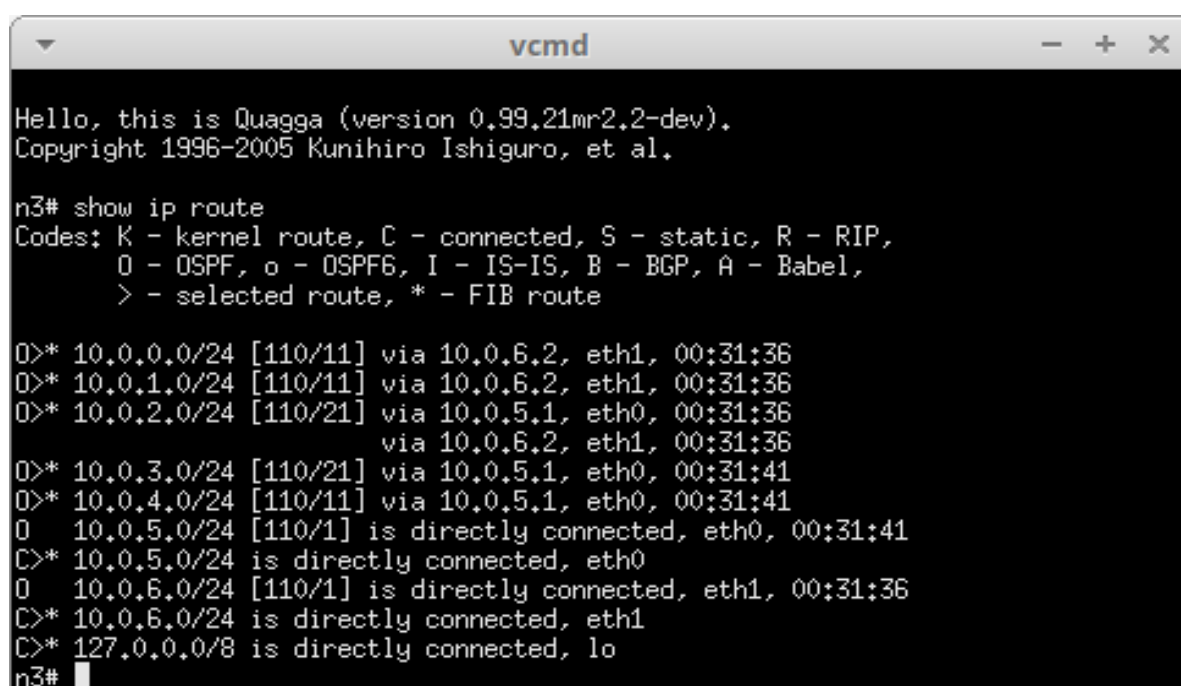
Além disso, é comum considerar mais que uma optimização objetivo sendo que os custos são configurados consoante uma função que expressa o trade off entre os diferentes objetivos. Ou seja, é possível conjugar diferentes objetivos quando se configuram custos OSPF.

11 Exercício 11

Nas experiências efetuadas poderá ter observado que, por vezes, para um mesmo destino existem várias rotas de igual custo. (nota: caso não tenha observado nenhum destes casos proceda a alterações nas configurações que originem rotas de igual custo para um determinado destino).

Apresente e descreva uma tabela de routing da sua topologia que ilustre um cenário desse tipo.

11.1 Resolução 11 i)



```
vcmd
Hello, this is Quagga (version 0.99.21mr2.2-dev).
Copyright 1996-2005 Kunihiro Ishiguro, et al.

n3# show ip route
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
       O - OSPF, o - OSPF6, I - IS-IS, B - BGP, A - Babel,
       > - selected route, * - FIB route

O>* 10.0.0.0/24 [110/11] via 10.0.6.2, eth1, 00:31:36
O>* 10.0.1.0/24 [110/11] via 10.0.6.2, eth1, 00:31:36
O>* 10.0.2.0/24 [110/21] via 10.0.5.1, eth0, 00:31:36
                        via 10.0.6.2, eth1, 00:31:36
O>* 10.0.3.0/24 [110/21] via 10.0.5.1, eth0, 00:31:41
O>* 10.0.4.0/24 [110/11] via 10.0.5.1, eth0, 00:31:41
O 10.0.5.0/24 [110/1] is directly connected, eth0, 00:31:41
C>* 10.0.5.0/24 is directly connected, eth0
O 10.0.6.0/24 [110/1] is directly connected, eth1, 00:31:36
C>* 10.0.6.0/24 is directly connected, eth1
C>* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
n3#
```

Figura 14: Tabela de routing n3

Na figura 14, podemos observar a tabela de routing de n3. Esta contém duas rotas de igual custo para o mesmo destino 10.0.2.0: uma a atingir 10.0.5.1 e outra a atingir 10.0.6.2 (ambas com custo = 21).

Investigue e explique diferentes tipos de abordagens que os routers podem ter para lidar com estas situações (rotas de igual custo para um mesmo destino). Apresente e explique quais são as vantagens/desvantagens inerentes a cada uma delas.

11.2 Resolução 11 ii)

De forma a lidarem com várias rotas de igual custo para um mesmo destino, os routers têm ao seu dispor técnica como o **load balancing**: técnica de distribuição de carga de tráfego em duas ou mais ligações de forma equitativa. Possui algumas vantagens como o aumento da disponibilidade, uma vez que o tráfego é enviado por várias rotas, a falha de uma não implica

que os pacotes não cheguem ao destino; redução da sobrecarga numa ligação para o tráfego correr de forma ótima; utilização eficiente da largura de banda, o que ajuda na maximização do desempenho da rede. Também possui algumas desvantagens como a complexidade da configuração de um router; custo, por poder exigir um aumento da infraestrutura da rede; problemas de escalabilidade, caso a quantidade de tráfego aumente para além da capacidade das rotas disponíveis. [3]

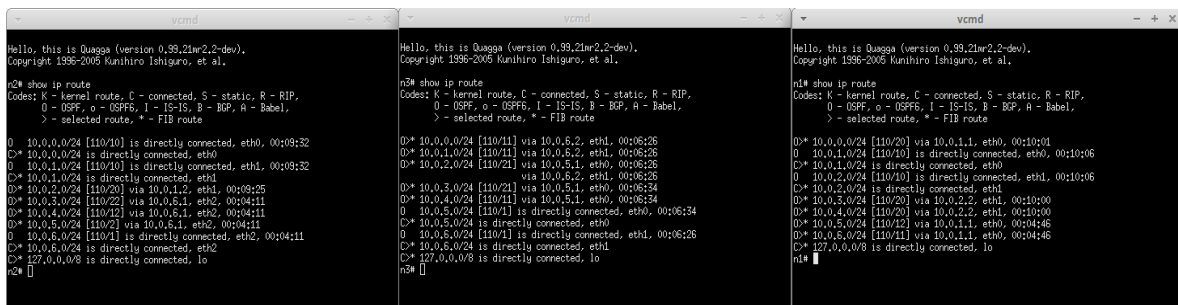
Além disso, os routers também possuem outras técnicas como o **Equal-cost multi-path (ECMP)**, que é uma técnica que divide o tráfego de forma igual entre as várias rotas de igual custo para um mesmo destino - cada rota tem o mesmo peso e o tráfego é dividido igualmente entre elas. O objetivo do ECMP é dar redundância de rotas e melhorar a utilização da largura de banda disponível. [4]

12 Exercício 12

Suponha que os routers da rede que definiu tinham simultaneamente ativados os protocolos RIP e OSPF. Neste caso, que rotas seriam escolhidas preferencialmente? Replique este cenário na sua topologia de rede (RIP e OSPF ativados nos routers) e analise a informação de routing resultante, apresentando e analisando uma tabela de routing exemplo. (nota: caso existam, elimine todos os comandos de redistribuição de rotas entre RIP/OSPF das configurações dos routers antes de analisar a informação de routing).

12.1 Resolução

Depois de ativar na interface gráfica do emulador Core os dois protocolos de routing RIP e OSPF, decidimos consultar a tabela de routing do nós n1, n2 e n3, uma vez que têm links com diferentes débitos.



```

n1# show ip route
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
       O - OSPF, I - IS-IS, B - BGP, A - A*,
       * - selected route, * - FIB route

O* 10.0.0.0/24 [110/10] is directly connected, eth0, 00:09:32
C* 10.0.0.0/24 is directly connected, eth0
O* 10.0.1.0/24 [110/10] is directly connected, eth1, 00:09:32
C* 10.0.1.0/24 is directly connected, eth1
O* 10.0.2.0/24 [110/20] via 10.0.1.2, eth1, 00:09:25
O* 10.0.3.0/24 [110/22] via 10.0.1.2, eth1, 00:04:11
O* 10.0.4.0/24 [110/12] via 10.0.1.1, eth2, 00:04:11
O* 10.0.5.0/24 [110/2] via 10.0.1.1, eth2, 00:04:11
O* 10.0.6.0/24 [110/1] is directly connected, eth2, 00:04:11
C* 10.0.6.0/24 is directly connected, eth2
C* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
n1#

n2# show ip route
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
       O - OSPF, I - IS-IS, B - BGP, A - A*,
       * - selected route, * - FIB route

O* 10.0.0.0/24 [110/11] via 10.0.5.2, eth1, 00:06:26
O* 10.0.1.0/24 [110/11] via 10.0.5.2, eth1, 00:06:26
O* 10.0.2.0/24 [110/21] via 10.0.5.1, eth0, 00:06:26
O* 10.0.3.0/24 [110/21] via 10.0.5.2, eth1, 00:06:26
O* 10.0.4.0/24 [110/11] via 10.0.5.1, eth0, 00:06:34
O* 10.0.5.0/24 [110/1] is directly connected, eth0, 00:06:34
O* 10.0.6.0/24 [110/1] is directly connected, eth1, 00:06:26
C* 10.0.6.0/24 is directly connected, eth1
C* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
n2#

n3# show ip route
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
       O - OSPF, I - IS-IS, B - BGP, A - A*,
       * - selected route, * - FIB route

O* 10.0.0.0/24 [110/20] via 10.0.1.1, eth0, 00:10:01
O* 10.0.1.0/24 [110/10] is directly connected, eth0, 00:10:06
C* 10.0.1.0/24 is directly connected, eth0
O* 10.0.2.0/24 [110/10] is directly connected, eth1, 00:10:06
C* 10.0.2.0/24 is directly connected, eth1
O* 10.0.3.0/24 [110/20] via 10.0.2.2, eth1, 00:10:00
O* 10.0.4.0/24 [110/20] via 10.0.2.2, eth1, 00:10:00
O* 10.0.5.0/24 [110/12] via 10.0.1.1, eth0, 00:04:46
O* 10.0.6.0/24 [110/11] via 10.0.1.1, eth0, 00:04:46
C* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
n3#
```

Figura 15: Tabelas de routing n1, n2 e n3 com RIP e OSPF

Observando as tabelas da figura 15, podemos observar que não consta nenhuma entrada em nenhuma das tabelas que utilize o protocolo RIP. Isto explica-se pelo facto dos routers escolherem um protocolo de routing com a menor distância administrativa (quanto menor for esse número, maior é a importância dada pelos routers a esse protocolo) - OSPF tem distância administrativa de 110 e RIP tem distância administrativa de 120.

13 Exercício 13

Como indicado na questão 3, todos os equipamentos de rede que definiu na sua topologia pertencem à mesma área 0. Defina e apresente uma nova topologia de rede envolvendo, no mínimo, duas áreas OSPF distintas. Para essa nova topologia apresente e explique:

i) as configurações OSPF que considere mais relevantes (e.g. dos routers internos e dos routers de interligação entre diferentes áreas).

13.1 Resolução 13 i)

De forma a realizarmos o exercício 13, adaptamos a topologia anterior de forma a termos 3 áreas OSPF, tal como se vê na figura 16.

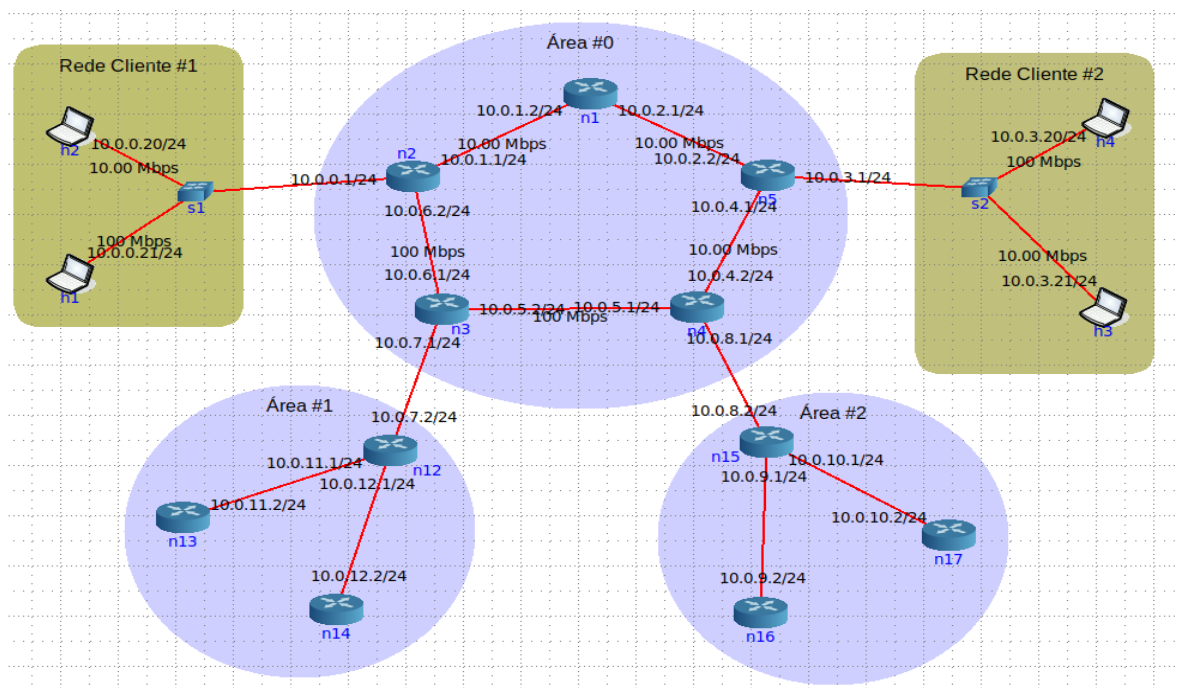


Figura 16: Topologia adaptada

De seguida, passamos à escrita das configurações OSPF no Zebra em todos os routers das áreas #1 e #2 e à adaptação das configurações OSPF da área #0. A título de exemplo, iremos demonstrar as configurações do router *n3* (figura 17), router *n12* (figura 18) e router *n14* (figura 19):

```
router ospf
  router-id 10.0.5.2
  network 10.0.5.2/24 area 0
  network 10.0.6.1/24 area 0
  network 10.0.7.1/24 area 1
!
```

Figura 17: Configuração OSPF de *n3*

Na figura 17, podemos observar a configuração OSPF de um router de interligação da **Área #0** para a **Área #1**, que contém os identificadores das interfaces dos routers de ambas as áreas OSPF - o processo é análogo para a área 2 com o router *n4*.

```
router ospf
  router-id 10.0.7.2
  network 10.0.7.2/24 area 1
  network 10.0.11.1/24 area 1
  network 10.0.12.1/24 area 1
!
```

Figura 18: Configuração OSPF de *n12*

Na figura 18, podemos observar a configuração OSPF de um router interno da **Área #1**, que contém os identificadores das interfaces dos routers dessa mesma área - o processo é análogo para a área 2 com o router *n15*.

```
router ospf
  router-id 10.0.12.2
  network 10.0.12.2/24 area 1
!
```

Figura 19: Configuração OSPF de *n13*

Na figura 19, podemos observar a configuração OSPF de um router interno da **Área #1**, que contém os identificadores das interfaces dos routers dessa mesma área - o processo é análogo para a área 2 com o router *n16*.

ii) As tabelas de encaminhamento e respectivas rotas que considere mais relevantes, devidamente e detalhadamente explicadas.

13.2 Resolução 13 ii)

Analisando a tabela de encaminhamento do router *n2* com rotas OSPF da figura 20, podemos concluir que:

- Para encaminhar tráfego para a área #1 (quer para o router de acesso quer para os seus routers internos), o router *n2* encaminha o mesmo para a interface 10.0.6.1 do router *n3*;
- Para encaminhar tráfego para a área #2 (quer para o router de acesso quer para os seus routers internos), o router *n2* encaminha o mesmo para a interface 10.0.6.1 do router *n3*;

```

n2# show ip route
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
       O - OSPF, o - OSPF6, I - IS-IS, B - BGP, A - Babel,
       > - selected route, * - FIB route

0   10.0.0.0/24 [110/10] is directly connected, eth0, 00:04:53
C>* 10.0.0.0/24 is directly connected, eth0
0   10.0.1.0/24 [110/10] is directly connected, eth1, 00:04:53
C>* 10.0.1.0/24 is directly connected, eth1
0>* 10.0.2.0/24 [110/20] via 10.0.1.2, eth1, 00:04:41
0>* 10.0.3.0/24 [110/22] via 10.0.6.1, eth2, 00:02:00
0>* 10.0.4.0/24 [110/12] via 10.0.6.1, eth2, 00:02:00
0>* 10.0.5.0/24 [110/2] via 10.0.6.1, eth2, 00:02:00
0   10.0.6.0/24 [110/1] is directly connected, eth2, 00:02:00
C>* 10.0.6.0/24 is directly connected, eth2
0>* 10.0.7.0/24 [110/11] via 10.0.6.1, eth2, 00:02:00
0>* 10.0.8.0/24 [110/12] via 10.0.6.1, eth2, 00:02:00
0>* 10.0.9.0/24 [110/22] via 10.0.6.1, eth2, 00:02:00
0>* 10.0.10.0/24 [110/22] via 10.0.6.1, eth2, 00:02:00
0>* 10.0.11.0/24 [110/21] via 10.0.6.1, eth2, 00:02:00
0>* 10.0.12.0/24 [110/21] via 10.0.6.1, eth2, 00:02:00
C>* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
n2#

```

Figura 20: Tabela de routing de *n2* com OSPF

Agora, analisando a tabela de encaminhamento do router *n3* com rotas OSPF da figura 21, podemos concluir que:

- Para encaminhar tráfego para a área #1 (quer para o router de acesso quer para os seus routers internos), o router *n3* encaminha o mesmo para a interface 10.0.7.2 do router *n12*;
- Para encaminhar tráfego para a área #2 (quer para o router de acesso quer para os seus routers internos), o router *n3* encaminha o mesmo para a interface 10.0.5.1 do router *n3*;

```

n3# show ip route
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP,
       O - OSPF, o - OSPF6, I - IS-IS, B - BGP, A - Babel,
       > - selected route, * - FIB route

O>* 10.0.0.0/24 [110/11] via 10.0.6.2, eth1, 00:03:31
O>* 10.0.1.0/24 [110/11] via 10.0.6.2, eth1, 00:03:31
O>* 10.0.2.0/24 [110/21] via 10.0.5.1, eth0, 00:03:31
                        via 10.0.6.2, eth1, 00:03:31
O>* 10.0.3.0/24 [110/21] via 10.0.5.1, eth0, 00:03:40
O>* 10.0.4.0/24 [110/11] via 10.0.5.1, eth0, 00:03:40
O 10.0.5.0/24 [110/1] is directly connected, eth0, 00:03:40
C>* 10.0.5.0/24 is directly connected, eth0
O 10.0.6.0/24 [110/1] is directly connected, eth1, 00:03:31
C>* 10.0.6.0/24 is directly connected, eth1
O 10.0.7.0/24 [110/10] is directly connected, eth2, 00:05:40
C>* 10.0.7.0/24 is directly connected, eth2
O>* 10.0.8.0/24 [110/11] via 10.0.5.1, eth0, 00:03:40
O>* 10.0.9.0/24 [110/21] via 10.0.5.1, eth0, 00:03:40
O>* 10.0.10.0/24 [110/21] via 10.0.5.1, eth0, 00:03:40
O>* 10.0.11.0/24 [110/20] via 10.0.7.2, eth2, 00:05:28
O>* 10.0.12.0/24 [110/20] via 10.0.7.2, eth2, 00:05:28
C>* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo

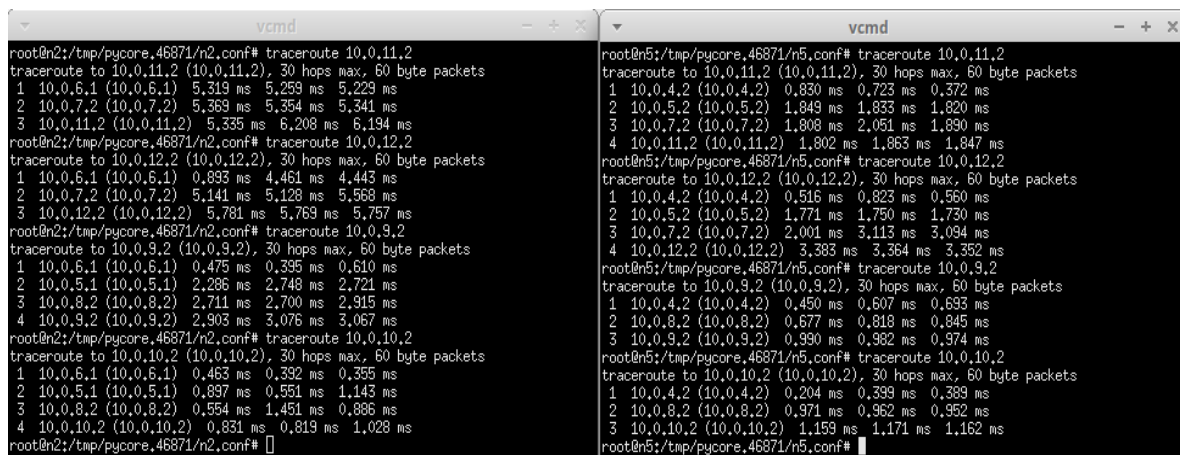
```

Figura 21: Tabela de routing de *n3* com OSPF

iii) Apresente testes de conectividade entre os vários equipamentos de rede comprovando que a topologia definida se encontra em perfeito funcionamento.

13.3 Resolução 13 iii)

Tal como podemos observar na figura 22, podemos observar várias execuções bem sucedidas do comando `traceroute` desde os nós *n2* e *n5* para os nós *n13*, *n14*, *n16* e *n17*, mostrando que a topologia definida se encontra em perfeito funcionamento.



```

vcmd root@n2:/tmp/pycore,46871/n2.conf# traceroute 10.0.11.2
traceroute to 10.0.11.2 (10.0.11.2), 30 hops max, 60 byte packets
 1 10.0.6.1 (10.0.6.1) 5.319 ms 5.259 ms 5.229 ms
 2 10.0.7.2 (10.0.7.2) 5.369 ms 5.354 ms 5.341 ms
 3 10.0.11.2 (10.0.11.2) 5.335 ms 6.208 ms 6.194 ms
root@n2:/tmp/pycore,46871/n2.conf# traceroute 10.0.12.2
traceroute to 10.0.12.2 (10.0.12.2), 30 hops max, 60 byte packets
 1 10.0.6.1 (10.0.6.1) 0.893 ms 4.461 ms 4.443 ms
 2 10.0.7.2 (10.0.7.2) 5.141 ms 5.128 ms 5.568 ms
 3 10.0.12.2 (10.0.12.2) 5.781 ms 5.769 ms 5.757 ms
root@n2:/tmp/pycore,46871/n2.conf# traceroute 10.0.9.2
traceroute to 10.0.9.2 (10.0.9.2), 30 hops max, 60 byte packets
 1 10.0.6.1 (10.0.6.1) 0.475 ms 0.395 ms 0.610 ms
 2 10.0.5.1 (10.0.5.1) 2.286 ms 2.748 ms 2.721 ms
 3 10.0.8.2 (10.0.8.2) 2.711 ms 2.700 ms 2.915 ms
 4 10.0.9.2 (10.0.9.2) 2.903 ms 3.076 ms 3.067 ms
root@n2:/tmp/pycore,46871/n2.conf# traceroute 10.0.10.2
traceroute to 10.0.10.2 (10.0.10.2), 30 hops max, 60 byte packets
 1 10.0.6.1 (10.0.6.1) 0.463 ms 0.392 ms 0.355 ms
 2 10.0.5.1 (10.0.5.1) 0.897 ms 0.551 ms 1.143 ms
 3 10.0.8.2 (10.0.8.2) 0.554 ms 1.451 ms 0.886 ms
 4 10.0.10.2 (10.0.10.2) 0.831 ms 0.819 ms 1.028 ms
root@n2:/tmp/pycore,46871/n2.conf#

vcmd root@n5:/tmp/pycore,46871/n5.conf# traceroute 10.0.11.2
traceroute to 10.0.11.2 (10.0.11.2), 30 hops max, 60 byte packets
 1 10.0.4.2 (10.0.4.2) 0.830 ms 0.723 ms 0.372 ms
 2 10.0.5.2 (10.0.5.2) 1.849 ms 1.833 ms 1.820 ms
 3 10.0.7.2 (10.0.7.2) 1.808 ms 2.051 ms 1.890 ms
 4 10.0.11.2 (10.0.11.2) 1.802 ms 1.863 ms 1.847 ms
root@n5:/tmp/pycore,46871/n5.conf# traceroute 10.0.12.2
traceroute to 10.0.12.2 (10.0.12.2), 30 hops max, 60 byte packets
 1 10.0.4.2 (10.0.4.2) 0.516 ms 0.823 ms 0.560 ms
 2 10.0.5.2 (10.0.5.2) 1.771 ms 1.750 ms 1.730 ms
 3 10.0.7.2 (10.0.7.2) 2.001 ms 3.113 ms 3.094 ms
 4 10.0.12.2 (10.0.12.2) 3.383 ms 3.364 ms 3.352 ms
root@n5:/tmp/pycore,46871/n5.conf# traceroute 10.0.9.2
traceroute to 10.0.9.2 (10.0.9.2), 30 hops max, 60 byte packets
 1 10.0.4.2 (10.0.4.2) 0.450 ms 0.607 ms 0.633 ms
 2 10.0.8.2 (10.0.8.2) 0.677 ms 0.818 ms 0.845 ms
 3 10.0.9.2 (10.0.9.2) 0.990 ms 0.982 ms 0.974 ms
root@n5:/tmp/pycore,46871/n5.conf# traceroute 10.0.10.2
traceroute to 10.0.10.2 (10.0.10.2), 30 hops max, 60 byte packets
 1 10.0.4.2 (10.0.4.2) 0.204 ms 0.399 ms 0.389 ms
 2 10.0.8.2 (10.0.8.2) 0.971 ms 0.962 ms 0.952 ms
 3 10.0.10.2 (10.0.10.2) 1.159 ms 1.171 ms 1.162 ms
root@n5:/tmp/pycore,46871/n5.conf#

```

Figura 22: Execuções do comando `traceroute` desde os nós *n2* e *n5*

Bibliografia

- [1] Documentação `show ip ospf interface:` <https://docs.ruckuswireless.com/fastiron/08.0.60/fastiron-08060-commandref/GUID-6011DB34-9FD3-4409-8937-3F1D476E2F8A.html> (consultado em mar. 2023)
- [2] Documentação `ip ospf cost:` <https://study-ccna.com/ospf-cost-metric/> (consultado em abr. 2023)
- [3] Documentação `loadBalancer:` <https://www.atatus.com/glossary/load-balancer/> (consultado em abr. 2023)
- [4] Documentação `ECMP:` <https://avinetworks.com/glossary/equal-cost-multi-path-routing-ecmp/> (consultado em abr. 2023)