



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Redes de Computadores II
ENGENHARIA DE TELECOMUNICAÇÕES E INFORMÁTICA
2020/2021

(Docente: Maria João Mesquita Rodrigues Cunha Nicolau Pinto)

29 de maio de 2021

**Gestão do encaminhamento em sistemas
autónomos emulados**

Marco António Cerqueira Araújo - a89387@alunos.uminho.pt

Rui Filipe Ribeiro Freitas - a84121@alunos.uminho.pt

Tiago João Pereira Ferreira - a85392@alunos.uminho.pt

Índice

Índice de figuras	3
Índice de tabelas.....	3
Lista de abreviaturas	4
Introdução	5
1. Fundamentos.....	6
1.1. Sistemas Autónomos	6
1.2. Protocolos de encaminhamento.....	6
1.2.1. Encaminhamento externo	6
1.2.2. Encaminhamento interno.....	7
2. Desenvolvimento.....	8
2.1. Desenvolvimento da topologia	8
2.2. Endereçamento da topologia	9
2.3. Endereçamento dos sistemas autónomos.....	10
2.3.1. AS 65000	10
2.3.2. AS 65100	11
2.3.3. AS 65200	12
2.3.4. AS 65300	13
2.3.5. AS 65400	14
2.3.6. AS 65500	15
2.4. Implementação dos protocolos	17
2.4.1. Protocolo RIP	17
2.4.2. Protocolo OSPF	18
2.5. Implementação das políticas do BGP	19
2.5.1. AS 65000	19
2.5.2. AS 65100	19
2.5.3. AS 65200	20
2.5.4. AS 65300	20
2.5.5. AS 65400	21
2.5.6. AS 65500	21
3. Testes e discussão de resultados.....	22
Conclusão.....	23

Índice de figuras

Figura 1 - Topologia da rede.....	8
Figura 2 - AS 65000.....	10
Figura 3 - Tabela de encaminhamento R1.....	10
Figura 4 - AS 65100.....	11
Figura 5 - Tabela de encaminhamento R3.....	11
Figura 6 - AS 65200.....	12
Figura 7 - Tabela de encaminhamento R5.....	12
Figura 8 - AS 65300.....	13
Figura 9 - Tabela de encaminhamento R6.....	13
Figura 10 - AS 65400.....	14
Figura 11 - Tabela de encaminhamento R9.....	14
Figura 12 - AS 65500.....	15
Figura 13 - Tabela de encaminhamento D1.	16
Figura 14 - Configuração router E1.	17
Figura 15 - Configuração router G1.....	18
Figura 16 - Configuração do router D1.....	18
Figura 17 - Tabela BGP router R2.	19
Figura 18 - Tabela BGP router R3.	19
Figura 19 - Tabela BGP router R5.	20
Figura 20 - Tabela BGP router R6.	20
Figura 21 - Tabela BGP router R9.	21
Figura 22 - Tabela BGP router R7.	21
Figura 23 - Teste de rotas BGP entre AS 65300 e 65500.....	22
Figura 24 - Teste de rotas BGP entre AS 65400 e AS 65500.....	22

Índice de tabelas

Tabela 1 - Endereçamento da topologia.	9
Tabela 2 - Tabela de endereçamento AS 65000.....	10
Tabela 3 - Tabela de endereçamento AS 65100.....	11
Tabela 4 - Tabela de endereçamento AS 65200.....	12
Tabela 5 - Tabelas de endereçamento AS 65300.	13
Tabela 6 - Tabelas de endereçamento AS 65400.	14
Tabela 7 - Tabelas dos endereçamentos das ligações das áreas G, H e I.....	15
Tabela 8 - Tabelas dos endereçamentos das sub-redes das várias áreas.	16

Lista de abreviaturas

CORE – *Common Open Research Emulator*

BGP – *Border Gateway Protocol*

RIP – *Routing Information Protocol*

OSPF – *Open Shortest Path First*

AS – *Autonomous System*

ISP – *Internet Service Provider*

ABR – *Area Border Routers*

Introdução

No âmbito da Unidade Curricular de Redes de Computadores II foi-nos proposto o desenvolvimento de um trabalho com o objetivo de promover a aquisição de competências na área das redes de computadores através de um projeto com base na gestão de encaminhamento de sistemas autónomos.

Para a realização deste projeto foram necessários conhecimentos adquiridos em Redes I assim como nas aulas teóricas e teórico-práticas de Redes II permitindo estes o desenvolvimento de uma rede de computadores.

Na realização do trabalho primeiro começamos pela elaboração da topologia fornecida pela docente. Após isso realizamos o endereçamento dos vários sistemas autónomos e implementamos os protocolos de encaminhamento que diziam respeito a cada AS. De modo a comprovar que a topologia estava a funcionar como desejado realizamos vários testes de *traceroute* e *ping* entre os vários *hosts*. Após concluir que estava tudo de acordo com o desejado passamos à implementação das políticas do BGP.

De modo a sermos capazes de cumprir com os objetivos pretendidos tivemos de colocar em prática vários conhecimentos adquiridos ao longo do ano tanto na cadeira de Redes de Computadores I como na de Redes de Computadores II.

1. Fundamentos

1.1. Sistemas Autónomos

Um sistema autónomo (AS - *Autonomous System*) corresponde à agregação de vários encaminhadores que estão por norma sob o mesmo controlo, ou seja, operados pelo mesmo ISP ou por uma só organização/empresa. Cada um destes AS é identificado por um número que pode ser privado (AS 64512 até ao AS 65535) ou público (atribuídos por autoridades regionais). Este número é usado na troca de informação de encaminhamento com os sistemas autónomos vizinhos. Para além do número o AS pode ser de 3 tipos: *Stub*, *Multihomed* e de Trânsito.

Um sistema autónomo **stub** corresponde a um sistema que está ligado apenas a outro, comunicando somente com este.

Um sistema autónomo **multihomed** mantém conexões a mais do que um AS. Isto é benéfico pois se um AS falhar este funciona como uma rota de *backup*. No entanto, os AS do tipo *multihomed* não permitem que tráfego externo passe por eles a caminho de outros sistemas.

Um sistema autónomo de **trânsito** ao contrário do multihomed pode receber tráfego externo e reencaminhá-lo para outros sistemas. Este mantém conexões a mais de um sistema autónomo.

1.2. Protocolos de encaminhamento

1.2.1. Encaminhamento externo

Relativamente ao encaminhamento externo este não é realizado automaticamente através de algoritmos como acontece no encaminhamento interno. Para haver uma configuração nas comunicações entre os vários AS esta é feita manualmente através de políticas que indicam quais rotas devem ou não ser divulgadas e quais caminhos os pacotes devem ou não prosseguir. O protocolo de encaminhamento abordado neste trabalho foi o BGP.

O protocolo **BGP** consiste na troca de informação entre os vários sistemas autónomos através de listas de rotas. Um router BGP recebe e filtra avisos de rotas de encaminhadores vizinhos de modo a poder calcular o melhor caminho para os vários AS colocando estes na tabela de encaminhamento do router.

1.2.2. Encaminhamento interno

Dentro de um AS por norma é utilizado o mesmo protocolo de encaminhamento interno e o objetivo deste é encontrar o melhor caminho para o envio de tráfego entre uma fonte e um destino. Para tal são utilizados algoritmos e processos de descoberta para encontrar os melhores caminhos. Na execução deste trabalho foram utilizados 3 protocolos de encaminhamento interno, o protocolo RIP, o protocolo OSPF e o encaminhamento estático que não corresponde diretamente a nenhum protocolo, mas sim é realizado manualmente.

O protocolo **RIP** é um protocolo de encaminhamento baseado no algoritmo vetor de distâncias que utiliza o número de saltos como métrica de custo. Este protocolo troca com os vizinhos mensagens com atualizações das suas rotas de encaminhamento aproximadamente de 30 em 30 segundos.

O protocolo **OSPF** que foi construído com o objetivo de substituir o RIP, veio introduzir algumas melhorias ao protocolo. Este ao contrário do RIP apresenta um algoritmo de estado de ligação. Após ser realizado o mapa topológico da rede, através do algoritmo de Dijkstra, o router descobre o menor caminho para todas as sub-redes de um AS. Sempre que há uma alteração numa rota o router tem de enviar uma nova tabela de encaminhamento para todos os routers. Neste trabalho é sugerida a implementação de um sistema autónomo por áreas sob este protocolo. A área 0 que corresponde à área do *backbone* e as restantes constituídas por um *border* router em que cada uma implementar o seu próprio algoritmo de estado de ligação.

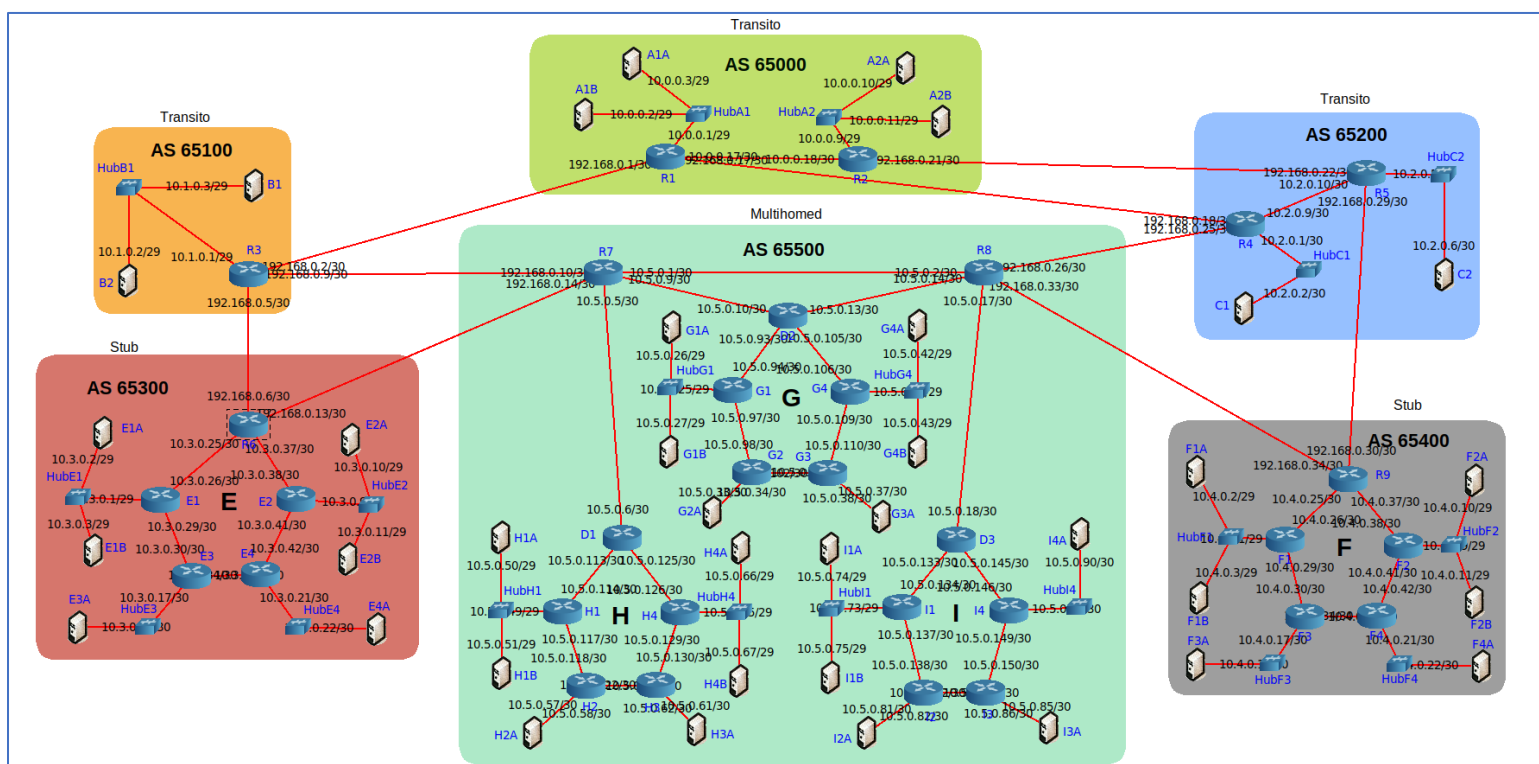
Por último existe o **encaminhamento estático** que não recorre a nenhum protocolo de encaminhamento automático para descobrir os melhores caminhos. Cada router é configurado e gerido manualmente sendo que cada tabela é configurada pelo administrador independente das outras. Este é um método não muito prático pelo que é pouco utilizado.

2.Desenvolvimento

2.1. Desenvolvimento da topologia

Nesta primeira fase do projeto foi necessária a elaboração no CORE de uma rede de computadores dividida em sistemas autónomos em que o encaminhamento entre eles é realizado com o auxílio do protocolo externo BGP e dentro de cada sistema autónomo tem o seu protocolo de encaminhamento interno (RIP ou OSPF) ou então o encaminhamento é estático como é o caso dos sistemas autónomos 65100, 65000, 65400 e 65200.

Na figura seguinte conseguimos observar a topologia por nós elaborada com 6 sistemas autónomos (AS) em que todos eles utilizam como protocolo de encaminhamento externo o BGP, mas internamente não acontece o mesmo. Os AS 65100, 65000, 65400 e 65200 utilizam encaminhamento estático enquanto os restantes utilizam encaminhamento automático. O 65300 utiliza o protocolo RIP e o 65500 o protocolo OSPF.



2.2. Endereçamento da topologia

Inicialmente começamos pelo endereçamento entre os vários sistemas autónomos através do endereço 192.168.0.0/16. Na tabela 2 apresentamos os endereços das várias ligações da topologia.

Estes endereços são utilizados pelas ligações que utilizam o protocolo de encaminhamento externo BGP na comunicação entre os vários sistemas autónomos.

Tabela 1 - Endereçamento da topologia.

Ligação	IpRede	Gama	IpDifusão
R ₁ -R ₃	192.168.0.0	192.168.0.1 - 192.168.0.2	192.168.0.3
R ₃ -R ₆	192.168.0.4	192.168.0.5 - 192.168.0.6	192.168.0.7
R ₃ -R ₇	192.168.0.8	192.168.0.9 - 192.168.0.10	192.168.0.11
R ₆ -R ₇	192.168.0.12	192.168.0.13 - 192.168.0.14	192.168.0.15
R ₁ -R ₄	192.168.0.16	192.168.0.17 - 192.168.0.18	192.168.0.19
R ₂ -R ₅	192.168.0.20	192.168.0.21 - 192.168.0.22	192.168.0.23
R ₄ -R ₈	192.168.0.24	192.168.0.25 - 192.168.0.26	192.168.0.27
R ₅ -R ₉	192.168.0.28	192.168.0.29 - 192.168.0.30	192.168.0.31
R ₈ -R ₉	192.168.0.32	192.168.0.33 - 192.168.0.34	192.168.0.35

2.3. Endereçamento dos sistemas autônomos

2.3.1. AS 65000

Relativamente ao AS 65000 este é um sistema autónomo de trânsito logo não é necessária a configuração de um protocolo de encaminhamento interno. A este sistema autónomo corresponde o endereço de rede 10.0.0.0/16. Este sistema tem 2 *border* routers (R1 e R2) que entre eles mantêm uma ligação i-BGP. A figura seguinte corresponde à implementação no CORE deste sistema autónomo.

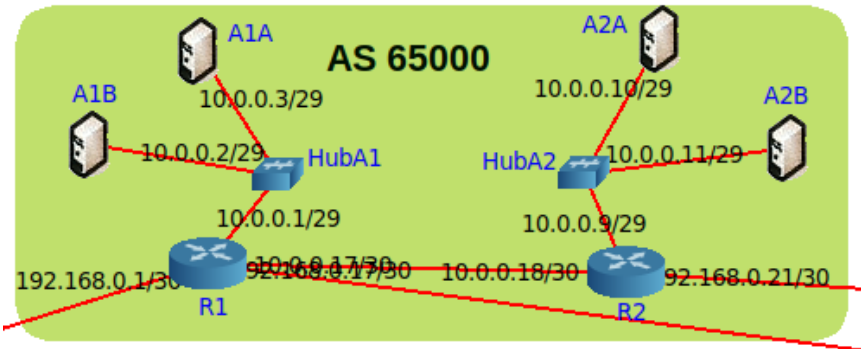


Figura 2 - AS 65000.

De modo a fazer o endereçamento das várias redes dentro deste sistema autónomo elaboramos uma tabela (Tabela 2) que contém 3 redes, uma para a ligação entre R1 e R2 e as outras 2 para o endereçamento de duas redes locais.

Tabela 2 - Tabela de endereçamento AS 65000.

Ligação	IpRede	Gama	IpDifusão
R ₁ -Hub _{A1}	10.0.0.0/29	10.0.0.1 - 10.0.0.6	10.0.0.7
R ₂ -Hub _{A2}	10.0.0.8/29	10.0.0.9 - 10.0.0.14	10.0.0.15
R ₁ -R ₂	10.0.0.16/30	10.0.0.17 - 10.0.0.18	10.0.0.19

Na figura seguinte é apresentada a tabela de encaminhamento do router R1.

```
R1# 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

C>* 10.0.0.0/29 is directly connected, eth0
S>* 10.0.0.8/29 [1/0] via 10.0.0.18, eth1
C>* 10.0.0.16/29 is directly connected, eth1
C>* 10.0.0.16/30 is directly connected, eth1
B>* 10.1.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.2, eth2, 00:03:22
B>* 10.2.0.0/16 [200/0] via 10.0.0.18, eth1, 00:03:17
B>* 10.3.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.2, eth2, 00:03:22
B>* 10.4.0.0/16 [200/0] via 10.0.0.18, eth1, 00:02:47
B>* 10.5.0.0/16 [200/0] via 10.0.0.18, eth1, 00:02:47
C>* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
C>* 192.168.0.0/30 is directly connected, eth2
C>* 192.168.0.16/30 is directly connected, eth3
```

Figura 3 - Tabela de encaminhamento R1.

2.3.2. AS 65100

Tal como o AS 65000 este é um AS de trânsito pelo que não é necessária a configuração de um protocolo de encaminhamento interno. A este sistema autónomo corresponde o endereço de rede 10.1.0.0/16. A figura seguinte corresponde à implementação no CORE deste sistema autónomo.

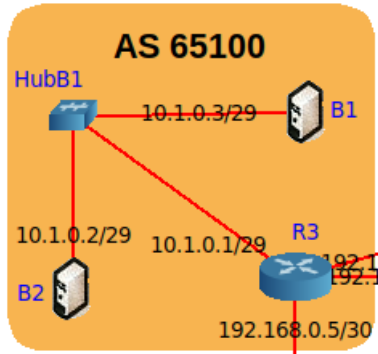


Figura 4 - AS 65100.

A tabela seguinte corresponde ao endereçamento desta rede e na figura 5 podemos observar a tabela de encaminhamento do router R3.

Tabela 3 - Tabela de endereçamento AS 65100.

Ligação	IpRede	Gama	IpDifusão
R3-HubB1	10.1.0.0/29	10.1.0.1 - 10.1.0.6	10.1.0.7

```
R3# 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

B>* 10.0.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.1, eth1, 00:04:48
C>* 10.1.0.0/29 is directly connected, eth0
B>* 10.2.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.1, eth1, 00:04:18
B>* 10.3.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.6, eth2, 00:04:51
B>* 10.4.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.1, eth1, 00:03:48
B>* 10.5.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.10, eth3, 00:04:46
C>* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
C>* 192.168.0.0/30 is directly connected, eth1
C>* 192.168.0.4/30 is directly connected, eth2
C>* 192.168.0.8/30 is directly connected, eth3
```

Figura 5 - Tabela de encaminhamento R3.

2.3.3. AS 65200

Assim como o AS 65000 e o AS 65100, este também é um AS de trânsito pelo que não é necessária a configuração de um protocolo de encaminhamento interno. A este sistema autónomo corresponde o endereço de rede 10.2.0.0/16. A figura seguinte corresponde à implementação no CORE deste sistema autónomo.

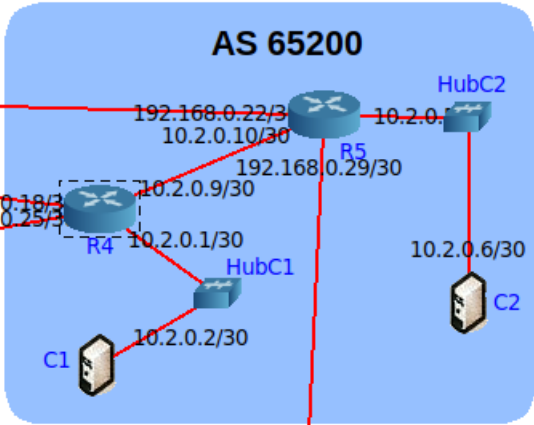


Figura 6 - AS 65200.

A tabela seguinte corresponde ao endereçamento desta rede e na figura 7 podemos observar a tabela de encaminhamento do router R5.

Tabela 4 - Tabela de endereçamento AS 65200.

Ligação	IpRede	Gama	IpDifusão
R4 - HubC1	10.2.0.0/30	10.2.0.1 - 10.2.0.2	10.2.0.3
R5 - HubC2	10.2.0.4/30	10.2.0.5 - 10.2.0.6	10.2.0.7
R4-R5	10.2.0.8/30	10.2.0.9 - 10.2.0.10	10.2.0.11

```
R5# 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

B>* 10.0.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.21, eth0, 00:06:08
B>* 10.1.0.0/16 [200/0] via 10.2.0.9, eth2, 00:05:36
S>* 10.2.0.0/30 [1/0] via 10.2.0.9, eth2
C>* 10.2.0.4/30 is directly connected, eth1
C>* 10.2.0.8/30 is directly connected, eth2
B>* 10.3.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.21, eth0, 00:05:38
B>* 10.4.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.30, eth3, 00:06:06
B>* 10.5.0.0/16 [200/0] via 10.2.0.9, eth2, 00:06:01
C>* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
C>* 192.168.0.20/30 is directly connected, eth0
C>* 192.168.0.28/30 is directly connected, eth3
```

Figura 7 - Tabela de encaminhamento R5.

2.3.4. AS 65300

O AS 65300 corresponde a um sistema autónomo *stub* pelo que mantém relações de peering BGP exterior com um único sistema autónomo vizinho que lhe garante acesso externo, o seu ISP AS65100. No entanto, para comunicar com o AS 65500, o 65300 utiliza uma ligação parceria com este. Caso ocorra uma falha e este desejar comunicar com o AS 65400 poderá utilizar essa ligação parceria. A este sistema autónomo corresponde o endereço de rede 10.3.0.0/16. A figura seguinte corresponde à implementação no CORE deste sistema autónomo.

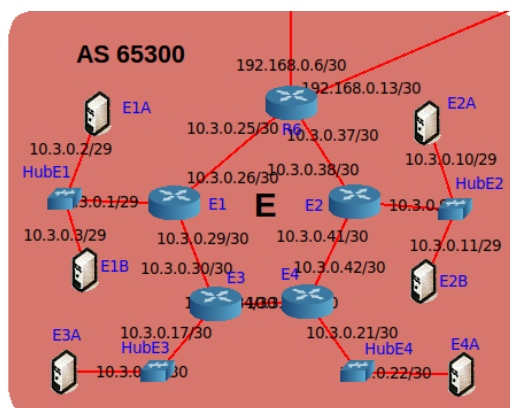


Figura 8 - AS 65300.

As tabelas seguintes correspondem ao endereçamento das ligações entre a rede e ao endereçamento das sub-redes e na figura 9 podemos observar a tabela de encaminhamento do router R6.

Tabela 5 - Tabelas de endereçamento AS 65300.

Ligação	IpRede	Gama	IpDifusão
R ₆ - E ₁	10.3.0.24/30	10.3.0.25 - 10.3.0.26	10.3.0.27
E ₁ - E ₃	10.3.0.28/30	10.3.0.29 - 10.3.0.30	10.3.0.31
E ₃ - E ₄	10.3.0.32/30	10.3.0.33 - 10.3.0.34	10.3.0.35
R ₆ - E ₂	10.3.0.36/30	10.3.0.37 - 10.3.0.38	10.3.0.39
E ₂ - E ₄	10.3.0.40/30	10.3.0.41 - 10.3.0.42	10.3.0.43

Ligação	IpRede	Gama	IpDifusão
E ₁	10.3.0.0/29	10.3.0.1 - 10.3.0.6	10.3.0.7
E ₂	10.3.0.8/29	10.3.0.9 - 10.3.0.14	10.3.0.15
E ₃	10.3.0.16/30	10.3.0.17 - 10.3.0.18	10.3.0.19
E ₄	10.3.0.20/30	10.3.0.21 - 10.3.0.22	10.3.0.23

```
R6# 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

B>* 10.0.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.5, eth0, 00:06:41
B>* 10.1.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.5, eth0, 00:07:11
B>* 10.2.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.5, eth0, 00:06:11
R>* 10.3.0.0/29 [120/2] via 10.3.0.26, eth1, 00:07:13
R>* 10.3.0.8/29 [120/2] via 10.3.0.38, eth2, 00:07:13
R>* 10.3.0.16/30 [120/3] via 10.3.0.26, eth1, 00:07:11
R>* 10.3.0.20/30 [120/3] via 10.3.0.38, eth2, 00:07:11
C>* 10.3.0.24/30 is directly connected, eth1
C>* 10.3.0.36/30 is directly connected, eth2
B>* 10.4.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.5, eth0, 00:05:41
B>* 10.5.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.14, eth3, 00:07:06
C>* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
C>* 192.168.0.4/30 is directly connected, eth0
C>* 192.168.0.12/30 is directly connected, eth3
```

Figura 9 - Tabela de encaminhamento R6.

2.3.5. AS 65400

Assim como o AS 65300, o AS 65400 corresponde a um sistema *stub*, no entanto este tem como ISP o 65200 e como ligação parceria o AS 65500. Caso ocorra uma falha e este desejar comunicar com o AS 65300 poderá utilizar essa ligação parceria. A este sistema autónomo corresponde o endereço de rede 10.4.0.0/16. A figura seguinte corresponde à implementação no CORE deste sistema autónomo.

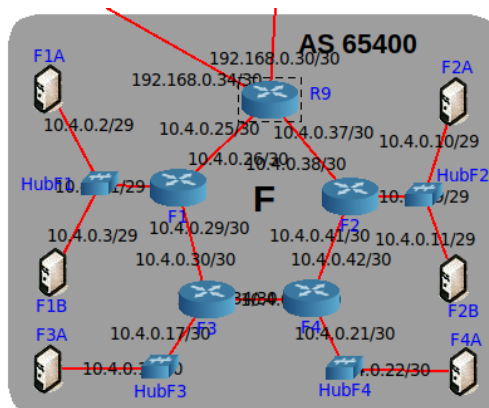


Figura 10 - AS 65400.

As tabelas seguintes correspondem ao endereçamento das ligações entre a rede e ao endereçamento das sub-redes e na figura 11 podemos observar a tabela de encaminhamento do router R9.

Tabela 6 - Tabelas de endereçamento AS 65400.

Ligação	IpRede	Gama	IpDifusão
R ₉ -F ₁	10.4.0.24/30	10.4.0.25 - 10.4.0.26	10.4.0.27
F ₁ -F ₃	10.4.0.28/30	10.4.0.29 - 10.4.0.30	10.4.0.31
F ₃ -F ₄	10.4.0.32/30	10.4.0.33 - 10.4.0.34	10.4.0.35
R ₉ -F ₂	10.4.0.36/30	10.4.0.37 - 10.4.0.38	10.4.0.39
F ₂ -F ₄	10.4.0.40/30	10.4.0.41 - 10.4.0.42	10.4.0.43

Ligação	IpRede	Gama	IpDifusão
F ₁	10.4.0.0/29	10.4.0.1 - 10.4.0.6	10.4.0.7
F ₂	10.4.0.8/29	10.4.0.9 - 10.4.0.14	10.4.0.15
F ₃	10.4.0.16/30	10.4.0.17 - 10.4.0.18	10.4.0.19
F ₄	10.4.0.20/30	10.4.0.21 - 10.4.0.22	10.4.0.23

```
R9# 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

B>* 10.0.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.29, eth0, 00:09:23
B>* 10.1.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.29, eth0, 00:08:53
B>* 10.2.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.29, eth0, 00:09:23
B>* 10.3.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.29, eth0, 00:08:53
S>* 10.4.0.0/29 [1/0] via 10.4.0.26, eth1
S>* 10.4.0.8/29 [1/0] via 10.4.0.38, eth2
S>* 10.4.0.16/30 [1/0] via 10.4.0.26, eth1
S>* 10.4.0.20/30 [1/0] via 10.4.0.38, eth2
C>* 10.4.0.24/30 is directly connected, eth1
C>* 10.4.0.36/30 is directly connected, eth2
B>* 10.5.0.0/16 [20/0] via 192.168.0.29, eth0, 00:08:53
C>* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
C>* 192.168.0.28/30 is directly connected, eth0
C>* 192.168.0.32/30 is directly connected, eth3
```

Figura 11 - Tabela de encaminhamento R9.

2.3.6. AS 65500

O AS 65500 ao contrário dos outros sistemas corresponde a um AS *multihomed* e seletivamente de trânsito. Como tal mantém relações de *peering* BGP exterior com dois sistemas autónomos vizinhos que lhe garantem acesso externo, o AS 65100 e o AS 65200. No entanto, são seletivamente de trânsito pois aceita enviar tráfego entre os sistemas 65300 e 65400. A este sistema autónomo corresponde o endereço de rede 10.5.0.0/16. A figura seguinte corresponde à implementação no CORE deste sistema autónomo.

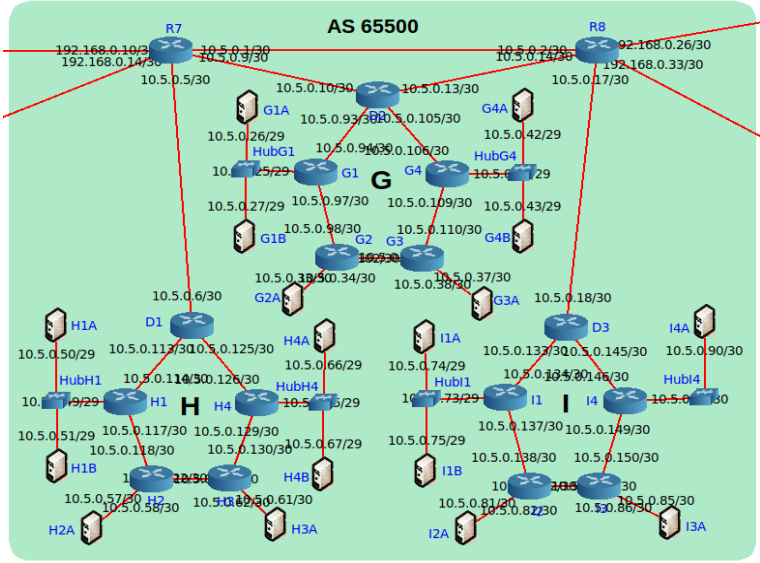


Figura 12 - AS 65500.

A tabela 7 corresponde ao endereçamento das ligações entre as áreas G, H e I.

Tabela 7 - Tabelas dos endereçamentos das ligações das áreas G, H e I.

Ligação	IpRede	Host	IpDifusão
D2 - G1	10.3.0.24/30	10.3.0.25 - 10.3.0.26	10.3.0.27
G1 - G2	10.3.0.28/30	10.3.0.29 - 10.3.0.30	10.3.0.31
G2 - G3	10.3.0.32/30	10.3.0.33 - 10.3.0.34	10.3.0.35
D2 - G4	10.3.0.36/30	10.3.0.37 - 10.3.0.38	10.3.0.39
G4 - G3	10.3.0.40/30	10.3.0.41 - 10.3.0.42	10.3.0.43

Ligação	IpRede	Host	IpDifusão
D1 - H1	10.3.0.24/30	10.3.0.25 - 10.3.0.26	10.3.0.27
H1 - H2	10.3.0.28/30	10.3.0.29 - 10.3.0.30	10.3.0.31
H2 - H3	10.3.0.32/30	10.3.0.33 - 10.3.0.34	10.3.0.35
D1 - H4	10.3.0.36/30	10.3.0.37 - 10.3.0.38	10.3.0.39
H4 - H3	10.3.0.40/30	10.3.0.41 - 10.3.0.42	10.3.0.43

Ligação	IpRede	Host	IpDifusão
D3 - I1	10.3.0.24/30	10.3.0.25 - 10.3.0.26	10.3.0.27
I1 - I2	10.3.0.28/30	10.3.0.29 - 10.3.0.30	10.3.0.31
I2 - I3	10.3.0.32/30	10.3.0.33 - 10.3.0.34	10.3.0.35
D3 - I4	10.3.0.36/30	10.3.0.37 - 10.3.0.38	10.3.0.39
I4 - I3	10.3.0.40/30	10.3.0.41 - 10.3.0.42	10.3.0.43

Foi necessária a elaboração de tabelas de endereçamento para as sub-redes das várias áreas, representadas nas tabelas seguintes.

Tabela 8 - Tabelas dos endereçamentos das sub-redes das várias áreas.

Ligação	IpRede	Host	IpDifusão
G1	10.5.0.24/29	10.5.0.25 - 10.5.0.30	10.5.0.31
G2	10.5.0.32/30	10.5.0.33 - 10.5.0.34	10.5.0.35
G3	10.5.0.36/30	10.5.0.37 - 10.5.0.38	10.5.0.39
G4	10.5.0.40/29	10.5.0.41 - 10.5.0.46	10.5.0.47

Ligação	IpRede	Host	IpDifusão
H1	10.5.0.48/29	10.5.0.49 - 10.5.0.54	10.5.0.55
H2	10.5.0.56/30	10.5.0.57 - 10.5.0.58	10.5.0.59
H3	10.5.0.60/30	10.5.0.61 - 10.5.0.62	10.5.0.63
H4	10.5.0.64/29	10.5.0.65 - 10.5.0.70	10.5.0.71

Ligação	IpRede	Host	IpDifusão
I1	10.5.0.72/29	10.5.0.73 - 10.5.0.78	10.5.0.79
I2	10.5.0.80/30	10.5.0.81 - 10.5.0.82	10.5.0.83
I3	10.5.0.84/30	10.5.0.85 - 10.5.0.86	10.5.0.87
I4	10.5.0.88/29	10.5.0.89 - 10.5.0.94	10.5.0.95

Nas figuras seguintes é apresentado as tabelas de encaminhamento do router D1.

```
D2# 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>* 10.0.0.0/16 [110/20] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:50
    via 10.5.0.14, eth1, 00:09:50
O>* 10.1.0.0/16 [110/20] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:50
O>* 10.2.0.0/16 [110/20] via 10.5.0.14, eth1, 00:09:50
O>* 10.3.0.0/16 [110/20] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:50
O>* 10.4.0.0/16 [110/20] via 10.5.0.14, eth1, 00:09:50
O>* 10.5.0.0/30 [110/20] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:51
    via 10.5.0.14, eth1, 00:09:51
O>* 10.5.0.4/30 [110/20] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:51
O 10.5.0.8/30 [110/10] is directly connected, eth0, 00:10:36
C>* 10.5.0.8/30 is directly connected, eth0
O 10.5.0.12/30 [110/10] is directly connected, eth1, 00:10:36
C>* 10.5.0.12/30 is directly connected, eth1
O>* 10.5.0.16/30 [110/20] via 10.5.0.14, eth1, 00:09:51
O>* 10.5.0.24/29 [110/20] via 10.5.0.94, eth3, 00:09:45
O>* 10.5.0.32/30 [110/30] via 10.5.0.94, eth3, 00:09:45
O>* 10.5.0.36/30 [110/30] via 10.5.0.106, eth2, 00:09:45
O>* 10.5.0.40/29 [110/20] via 10.5.0.106, eth2, 00:09:45
O>* 10.5.0.48/29 [110/40] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:41
O>* 10.5.0.56/30 [110/50] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:41
O>* 10.5.0.60/30 [110/50] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:41
O>* 10.5.0.64/29 [110/40] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:48
O>* 10.5.0.72/29 [110/40] via 10.5.0.14, eth1, 00:09:41
O>* 10.5.0.80/30 [110/50] via 10.5.0.14, eth1, 00:09:41
O>* 10.5.0.84/30 [110/50] via 10.5.0.14, eth1, 00:09:41
O>* 10.5.0.88/30 [110/40] via 10.5.0.14, eth1, 00:09:41
O 10.5.0.92/30 [110/10] is directly connected, eth3, 00:10:36
C>* 10.5.0.92/30 is directly connected, eth3
O>* 10.5.0.96/30 [110/20] via 10.5.0.94, eth3, 00:09:45
O>* 10.5.0.100/30 [110/30] via 10.5.0.94, eth3, 00:09:45
    via 10.5.0.106, eth2, 00:09:45
O 10.5.0.104/30 [110/10] is directly connected, eth2, 00:10:36
C>* 10.5.0.104/30 is directly connected, eth2
O>* 10.5.0.108/30 [110/20] via 10.5.0.106, eth2, 00:09:45
O>* 10.5.0.112/30 [110/30] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:50
O>* 10.5.0.116/30 [110/40] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:41
O>* 10.5.0.120/30 [110/50] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:41
O>* 10.5.0.124/30 [110/30] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:50
O>* 10.5.0.128/30 [110/40] via 10.5.0.9, eth0, 00:09:48
O>* 10.5.0.132/30 [110/30] via 10.5.0.14, eth1, 00:09:50
O>* 10.5.0.136/30 [110/40] via 10.5.0.14, eth1, 00:09:41
O>* 10.5.0.140/30 [110/50] via 10.5.0.14, eth1, 00:09:41
O>* 10.5.0.144/30 [110/30] via 10.5.0.14, eth1, 00:09:50
O>* 10.5.0.148/30 [110/40] via 10.5.0.14, eth1, 00:09:41
C>* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
```

Figura 13 - Tabela de encaminhamento D1.

2.4. Implementação dos protocolos

2.4.1. Protocolo RIP

O encaminhamento interno realizado no AS 65300 foi diferente do realizado nos demais visto este ter de ser implementado com o auxílio do protocolo RIPv2. A configuração deste protocolo foi realizada de maneira simples utilizando o comando *network* para a rede, o comando *neighbor* para cada um dos vizinhos e o comando *redistribute bgp* apenas no router R6 para partilhar pela rede as rotas BGP. Na figura seguinte apresentamos um exemplo de um *router* desta rede, o router E1.

```
interface eth0
  ip address 10.3.0.26/30
  ip rip authentication string MIETI
!
interface eth1
  ip address 10.3.0.29/30
  ip rip authentication string MIETI
!
interface eth2
  ip address 10.3.0.1/29
!
router rip
  network 10.3.0.0/29
  neighbor 10.3.0.25
  neighbor 10.3.0.30
!
```

Figura 14 - Configuração router E1.

Para além dos comandos enunciados anteriormente também podemos observar na figura anterior o comando *ip rip authentication* que asseguram a imunidade do router a falsos *advertisements*. Estes comandos são utilizados em todas as interfaces conectadas dentro da rede.

2.4.2. Protocolo OSPF

Relativamente ao AS 65500 este também foi necessária a implementação de um novo protocolo de encaminhamento intra-domínio, o OSPF. Na configuração deste protocolo foram utilizados os comandos `network` para a identificação da rede e da área a que pertencem. Na figura seguinte apresentamos um exemplo de um router desta rede, o router G1.

```
interface eth0
  ip address 10.5.0.97/30
  ip ospf authentication-key MIETI
!
interface eth1
  ip address 10.5.0.94/30
  ip ospf authentication-key MIETI
!
interface eth2
  ip address 10.5.0.25/29
  ip ospf authentication-key MIETI
!
router ospf
  network 10.5.0.96/30 area 1
  network 10.5.0.92/30 area 1
  network 10.5.0.24/29 area 1
  area 1 authentication
!
```

Figura 15 - Configuração router G1.

Para além dos comandos enunciado em cima também foi realizada a autenticação de modo que não haja a possibilidade de existir falsos anúncios de falsos encaminhadores através do comando `ip ospf authentication-key`.

Relativamente aos *Area Border Routers* (ABR), estes têm uma configuração ligeiramente diferente visto tratar-se de routers que fazem a ligação entre as várias áreas. Estes routers têm interfaces de diferentes áreas atribuídas pelo que têm de fazer a autenticação de todas as áreas a eles conectadas. Na figura 16 é apresentada a configuração do router D1 para servir como exemplo ilustrativo.

```
interface eth0
  ip address 10.5.0.6/30
  ip ospf authentication-key MIETI
!
interface eth1
  ip address 10.5.0.125/30
  ip ospf authentication-key MIETI
!
interface eth2
  ip address 10.5.0.113/30
  ip ospf authentication-key MIETI
!
router ospf
  network 10.5.0.4/30 area 0
  network 10.5.0.112/30 area 2
  network 10.5.0.124/30 area 2
  area 0 authentication
  area 2 authentication
!
```

Figura 16 - Configuração do router D1.

2.5. Implementação das políticas do BGP

Relativamente à implementação das políticas do BGP, como cada sistema autónomo tem as suas próprias políticas de encaminhamento vamos falar de cada uma em particular.

2.5.1. AS 65000

Este é um sistema autónomo de trânsito pelo que realiza a conexão entre os vários sistemas autónomos. Este AS é o responsável pela conectividade global da topologia sendo que tem como clientes os AS 65100 e 65200 que são ISPs dos restantes. Nesta topologia em específico o 65000 contém 2 *border* routers em que o R2 é responsável por encaminhar o tráfego para o exterior. Em seguida é apresentada a configuração do router R2.

```
R2# show ip bgp
BGP table version is 0, local router ID is 10.0.0.18
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale, R Removed
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network        Next Hop        Metric LocPrf Weight Path
* i10.0.0.0/16    10.0.0.17         0      100      0 i
*>                0.0.0.0           0           32768 i
*>i10.1.0.0/16    10.0.0.17         0      100      0 65100 i
*> 10.2.0.0/16    192.168.0.22      0      500      0 65200 i
*>i10.3.0.0/16    10.0.0.17         0      100      0 65100 65300 i
*> 10.4.0.0/16    192.168.0.22      0      500      0 65200 65400 i
*> 10.5.0.0/16    192.168.0.22      0      500      0 65200 65500 i

Total number of prefixes 6
```

Figura 17 - Tabela BGP router R2.

2.5.2. AS 65100

Relativamente ao sistema autónomo 65100 este também é um AS de trânsito. No entanto, este serve de ISP aos AS 65300 e AS 65500 e é cliente do 65000. Este AS deve aceitar e divulgar as rotas provenientes dos seus clientes. Em seguida é apresentada a configuração do router R3.

```
R3# show ip bgp
BGP table version is 0, local router ID is 10.1.0.1
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale, R Removed
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network        Next Hop        Metric LocPrf Weight Path
*> 10.0.0.0/16    192.168.0.1         0           0 65000 i
*> 10.1.0.0/16    0.0.0.0           0           32768 i
*> 10.2.0.0/16    192.168.0.1         0           0 65000 65200 i
*> 10.3.0.0/16    192.168.0.6         0           0 65300 i
*> 10.4.0.0/16    192.168.0.1         0           0 65000 65200 65400 i
* 10.5.0.0/16    192.168.0.1         0           0 65000 65200 65500 i
*>                192.168.0.10        0           0 65500 i

Total number of prefixes 6
```

Figura 18 - Tabela BGP router R3.

2.5.3. AS 65200

Quanto ao AS 65200 este também é um sistema autónomo de trânsito. No entanto, este serve de ISP aos AS 65400 e AS 65500 e é cliente do 65000. Este AS deve aceitar e divulgar as rotas provenientes dos seus clientes. Para além disso, deve ser preferida a rota por R4 se o destino for o AS 65100 e a rota por R5 se o destino for o AS 65000 ou o AS 65300. Em seguida é apresentada a configuração do router R5.

```
R5# show ip bgp
BGP table version is 0, local router ID is 10.2.0.10
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale, R Removed
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network        Next Hop        Metric LocPrf Weight Path
*> 10.0.0.0/16     192.168.0.21          0     500      0 65000 i
*>i10.1.0.0/16     10.2.0.9              500      0 65000 65100 i
*                  192.168.0.21          0     100      0 65000 65100 i
* i10.2.0.0/16     10.2.0.9              0      100      0 i
*>                  0.0.0.0               0      32768 i
*> 10.3.0.0/16     192.168.0.21          500      0 65000 65100 65300 i
*> 10.4.0.0/16     192.168.0.30          0      0 65400 i
*>i10.5.0.0/16     10.2.0.9              0     100      0 65500 i

Total number of prefixes 6
```

Figura 19 - Tabela BGP router R5.

2.5.4. AS 65300

O AS 65300 é constituído por um *border* router, o R6, que implementa o protocolo de encaminhamento externo BGP com certas políticas no encaminhamento do tráfego. Este AS deve realizar uma conexão com o 65500 e enviar para este o tráfego a ele destinado enquanto o tráfego destinado aos outros AS deve ser enviado para o 65100. A seguir é apresentada a configuração do router R6.

```
R6# show ip bgp
BGP table version is 0, local router ID is 10.3.0.37
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale, R Removed
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network        Next Hop        Metric LocPrf Weight Path
*> 10.0.0.0/16     192.168.0.5          0      0 65100 65000 i
*> 10.1.0.0/16     192.168.0.5          0      0 65100 i
*> 10.2.0.0/16     192.168.0.5          0      0 65100 65000 65200 i
*> 10.3.0.0/16     0.0.0.0             0      32768 i
*> 10.4.0.0/16     192.168.0.5          0      0 65100 65000 65200 6
5400 i
* 10.5.0.0/16     192.168.0.5          0      0 65100 65500 i
*>                  192.168.0.14         0     500      0 65500 i

Total number of prefixes 6
```

Figura 20 - Tabela BGP router R6.

2.5.5. AS 65400

Este AS é parecido ao 65300, no entanto tem como seu ISP o 65200 ao contrário do 65100. Para além disso a conexão ao 65500 em vez de ser prioritária, neste caso é apenas caso ocorra uma falha. Ou seja, todo o tráfego é enviado para o seu ISP, o 65200, exceto se ocorrer uma falha que pode utilizar a ligação com o 65500 para chegar a este. Em seguida é apresentada a configuração do router R9.

```
R9# show ip bgp
BGP table version is 0, local router ID is 10.4.0.37
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale, R Removed
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network        Next Hop        Metric LocPrf Weight Path
*> 10.0.0.0/16     192.168.0.29          500      0 65200 65000 i
*> 10.1.0.0/16     192.168.0.29          500      0 65200 65000 65100 i
*> 10.2.0.0/16     192.168.0.29           0      500      0 65200 i
*> 10.3.0.0/16     192.168.0.29          500      0 65200 65000 65100 6
5300 i
*> 10.4.0.0/16     0.0.0.0              0          32768 i
*> 10.5.0.0/16     192.168.0.29          500      0 65200 65500 i
*                   192.168.0.33           0          0 65500 i

Total number of prefixes 6
```

Figura 21 - Tabela BGP router R9.

2.5.6. AS 65500

O AS 65500 é um sistema *multihomed* pelo que está conectado a 2 ISPs distintos, o 65100 e o 65200. No entanto este também é seletivamente de trânsito visto ser possível a ligação entre o 65300 e o 65400 através deste. Na ligação deste o 65300 a ligação é prioritária enquanto na ligação ao 65400 é apenas uma ligação de parceria caso ocorra uma falha. A configuração do router R7 é apresentada na figura seguinte.

```
R7# show ip bgp
BGP table version is 0, local router ID is 10.5.0.9
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale, R Removed
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network        Next Hop        Metric LocPrf Weight Path
* i10.0.0.0/16     10.5.0.2          100          0 65200 65000 i
*>                   192.168.0.9          0          0 65100 65000 i
*> 10.1.0.0/16     192.168.0.9           0          0 65100 i
* 10.2.0.0/16     192.168.0.9          0          0 65100 65000 65200 i
*>i                10.5.0.2          0      100      0 65200 i
*> 10.3.0.0/16     192.168.0.13         0      500      0 65300 i
*                   192.168.0.9          0          0 65100 65300 i
* 10.4.0.0/16     192.168.0.9          0          0 65100 65000 65200 6
5400 i
*>i                10.5.0.2          0      100      0 65200 65400 i
* i10.5.0.0/16     10.5.0.2           0      100          0 i
*>                   0.0.0.0              0          32768 i

Total number of prefixes 6
```

Figura 22 - Tabela BGP router R7.

3. Testes e discussão de resultados

De modo a verificarmos a completa funcionalidade da nossa topologia foram efetuados vários testes de *ping* e *traceroute*. De seguida serão apresentados alguns exemplos tendo em conta que nos deparamos com algumas dificuldades na implementação das políticas de encaminhamento externo. Apesar de a topologia estar conectada globalmente faltaram realizar certas políticas nomeadamente a de caso a ligação com o seu ISP falhe, o AS 65300/65400 deveriam conseguir comunicar com o 65400/65300 através do 65500 e faltou também algumas políticas no AS 65500.

Apesar de certas dificuldades encontradas realizamos testes à topologia por nós realizada que vamos demonstrar a seguir.

Em primeiro lugar vamos supor um cenário de um host que está no AS 65300 querer conectar com um host do 65500. Através da figura seguinte conseguimos ver que a rota preferencial deste passa pela ligação direta ao 65500 e caso esta falhe existe uma rota opcional a passar pelo 65100, como era pretendido.

```
R6# show ip bgp
BGP table version is 0, local router ID is 10.3.0.37
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale, R Removed
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network        Next Hop        Metric LocPrf Weight Path
*> 10.0.0.0/16     192.168.0.5              0 65100 65000 i
*> 10.1.0.0/16     192.168.0.5              0 65100 i
*> 10.2.0.0/16     192.168.0.5              0 65100 65000 65200 i
*> 10.3.0.0/16     0.0.0.0              0 32768 i
*> 10.4.0.0/16     192.168.0.5              0 65100 65000 65200 6
5400 i
* 10.5.0.0/16     192.168.0.5              0 65100 65500 i
*> 10.5.0.0/16     192.168.0.14           0 500 65500 i

Total number of prefixes 6
R6#
```

Figura 23 - Teste de rotas BGP entre AS 65300 e 65500.

Outro teste que realizamos foi na conexão entre o 65400 e o 65500. Esta rota só pode ser feita diretamente caso ocorra uma falha no ISP do 65400, o 65200 e podemos comprovar que isto acontece através da figura seguinte com a rota por defeito ser a rota com o ISP.

```
R9# show ip bgp
BGP table version is 0, local router ID is 10.4.0.37
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale, R Removed
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network        Next Hop        Metric LocPrf Weight Path
*> 10.0.0.0/16     192.168.0.29           500 0 65200 65000 i
*> 10.1.0.0/16     192.168.0.29           500 0 65200 65000 65100 i
*> 10.2.0.0/16     192.168.0.29           0 500 65200 i
*> 10.3.0.0/16     192.168.0.29           500 0 65200 65000 65100 6
5300 i
*> 10.4.0.0/16     0.0.0.0              0 32768 i
*> 10.5.0.0/16     192.168.0.29           500 0 65200 65500 i
* 10.5.0.0/16     192.168.0.33           0 65500 i

Total number of prefixes 6
```

Figura 24 - Teste de rotas BGP entre AS 65400 e AS 65500.

Conclusão

Com a realização deste trabalho o grupo pôs em prática conhecimentos adquiridos nas cadeiras de redes de computadores. Através disto foi possível chegar a um resultado satisfatório, no entanto não muito completo visto ter faltado certas políticas de encaminhamento externo.

Durante o decorrer deste trabalho foram implementados vários protocolos de encaminhamento, tanto internos como externos, nomeadamente o RIP e o OSPF nos internos e o BGP para os externos. Para além das competências adquiridas da realização deste projeto o grupo procurou melhorar técnicas para cumprir com os objetivos propostos principalmente no que toca às políticas do BGP que foram os assuntos que mais problemas deram visto serem complicados de implementar.

No entanto, apesar disto não achamos ter realizado um mau trabalho pois conseguimos cumprir com grande parte dos objetivos pretendidos como a implementação eficaz dos diferentes protocolos de encaminhamento interno.

Em suma, podemos concluir que o trabalho foi uma experiência enriquecedora para a aprendizagem sobre assuntos importantes para o nosso futuro.