



**TÉCNICO**  
LISBOA

**Engenharia de Tráfego**  
2018-2019

---

Mestrado em Engenharia Telecomunicações e Informática

# Relatório

*Test of IP VPNs on MPLS*

domingo, 18 de novembro de 2018

Grupo 5

João Correia - 81990  
João Costa - 82528

## Introdução

Este laboratório tem como objetivo simular uma rede de operador, a qual funciona com base no protocolo *Multi Protocol Label Switching* (MPLS), e dos seus clientes, tendo estes escritórios em diferentes locais. Para a comunicação dentro de um cliente, por exemplo entre Lisboa e Porto, são usadas VPNs, de maneira a abstrair todo o encaminhamento efetuado entre as redes.

O MPLS é uma tecnologia de encaminhamento de pacotes que se baseia em etiquetas, ou seja, os routers em vez de procurarem nas suas tabelas de encaminhamento o endereço de destino do pacote, procuram numa tabela MPLS a etiqueta que vem no cabeçalho desse mesmo pacote. Desta maneira, reduz-se consideravelmente o processamento nos *routers* evitando que estes façam consultas complexas nas tabelas de encaminhamento.

Esta tabelas MPLS consiste num par de etiquetas, a etiqueta que vem no cabeçalho do pacote recebido, e a etiqueta que substitui a anterior, para que o pacote possa prosseguir para o nó seguinte.

Em termos de configuração do MPLS, todos os *routers* anunciam as redes a que estão diretamente ligados, e indicam qual a etiqueta que tem que vir no pacote que passa através dele. Estas etiquetas são distribuídas pelo protocolo *Label Distribution Protocol* (LDP), o qual necessita de um protocolo IGP para encaminhar as informações relativas às etiquetas tanto como o *shortest path* para os diversos dispositivos da rede.

Para além da melhoria de desempenho no encaminhamento dos pacotes, também é possível criar caminhos diferentes entre os *routers*, possibilitando a associação de QoS à rede.

Numa rede MPLS existem dois tipos de *routers*:

- *Label Switch Router* (LSR) – Encarregues de trocar as *labels* dos pacotes e por vezes removê-las (caso do *penultimate hop popping*)
- *Label Edge Routing* (LER) – Encarregues de atribuir etiquetas aos pacotes que surgem de fora da rede MPLS, como de as remover quando estes chegam ao último *hop* da rede MPLS, antes de serem encaminhados para o destino

Na nossa topologia, a rede MPLS está presente apenas no *provider*. Para estabelecer ligação entre as diferentes redes de um cliente, é usada uma VPN. Esta é criada sobre o MPLS no *provider* e usa o protocolo MP-iBGP entre os *routers edge* do *provider*.

Numa rede com VPN sobre MPLS, existem dois tipos diferentes de *routers*:

- *Provider Edge Router* (PE) – *Router edge* da rede do *provider*, o qual se liga à rede do cliente
- *Cient Edge Router* (CE) – *Router edge* do cliente, o qual se liga à rede do *provider*

O funcionamento da VPN sobre MPLS baseia-se também no conceito de *labels*. Os PE do *provider* comunicam todos entre si, através do protocolo MP-iBGP e combinam entre si qual a *label* a atribuir a cada *site* dos clientes. Assim, quando um novo pacote entra na rede do *provider*, o PE adiciona uma outra *label* que identifica, a qual vai distinguir o cliente para o qual se quer mandar o pacote. Os PEs sabem para onde têm que enviar o pacote e qual a *label* que têm de aplicar através da *VPN Routing and Forwarding* (VRF).

Deste modo, é possível conferir segurança na rede como usufruir de vários clientes ligados ao mesmo router e a partilhar a mesma gama de endereços.

## Arquitetura da rede (MPLS)

A topologia de rede escolhida encontra-se apresentada na Figura 1, e os endereços atribuídos aos *routers* têm como base a regra apresentada no Laboratório 2, ou seja:

- *Subnet* é identificada pelos dois *routers* que a identificam, ou seja, o segundo *byte* é a junção do número dos *routers*. Assim, a *subnet* 192.168.XY.0/24 é caracterizada pelos *routers* número X e Y
- A *subnet* que liga os CEs aos PEs é identificada pelo cliente (A = 1; B = 2), o número do *router* PE/CE, e se a interface corresponde ao *router* PE ou ao *router* CE. Assim, a *subnet* 10.0.XY.Z, onde X é a identificação do cliente, Y é o número do *router* PE/CE associado a essa *subnet*, e Z é o que distingue o *router* CE do PE

Para este exercício a topologia da rede encontra-se na imagem abaixo e pode ser encontrada a configuração no ficheiro **Configuração1.zip**.

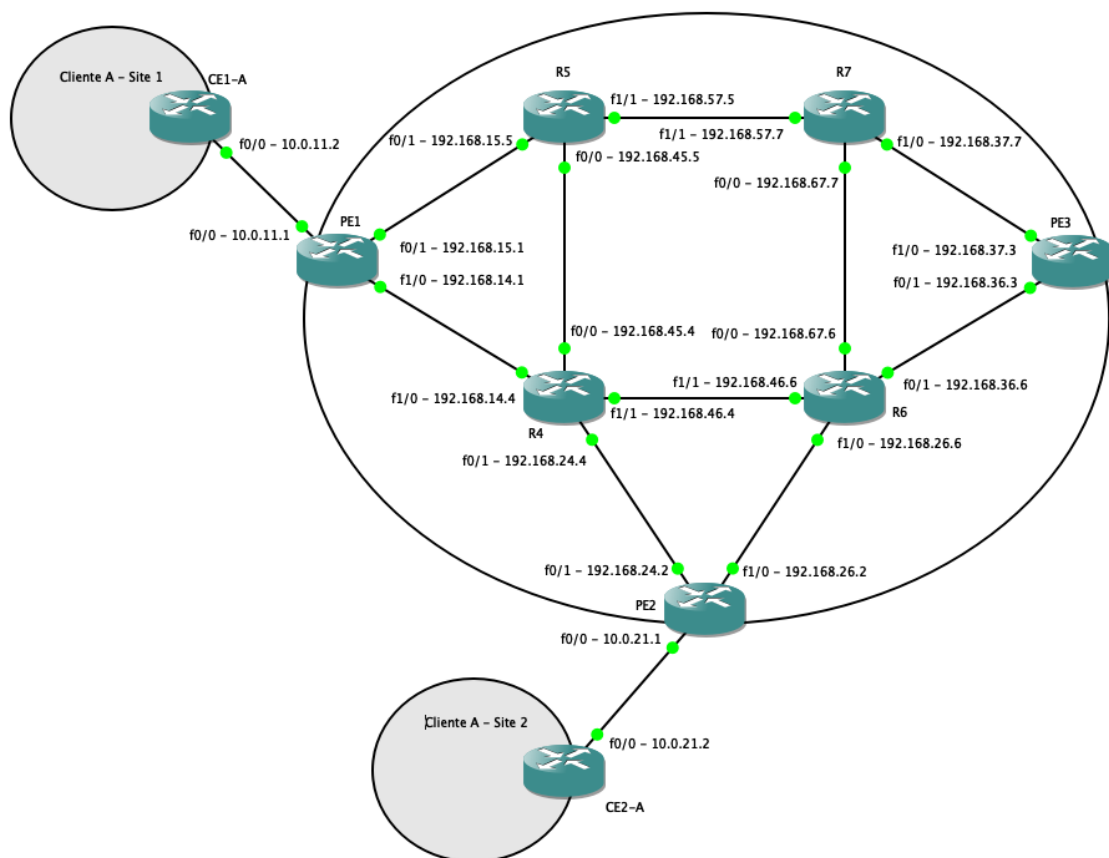


Figure 1 - Topologia de Rede

## Funcionamento (MPLS)

O objetivo deste exercício foi verificar o funcionamento do MPLS na rede do *provider*. Para tal, depois de configuradas todas as interfaces dos *routers*, foi configurado o protocolo OSPF para fazer o encaminhamento das *labels* através do protocolo LDP.

Podemos verificar na Figura 2, que todas as redes são conhecidas pelo *Router* PE1, já depois de configurado tanto o protocolo OSPF como a tecnologia MPLS (configurada apenas nas interfaces com endereços 192.168.X.X. O comando usado para verificar as tabelas de encaminhamento IP foi o **show ip route**.

```
2. PE1 (telnet)
PE1#show ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-
       2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static ro
       ute
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
       + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

10.0.0.0/8 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks
C       10.0.11.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
L       10.0.11.1/32 is directly connected, FastEthernet0/0
O IA    10.0.21.0/24 [110/3] via 192.168.14.4, 00:09:12, FastEthernet1/0
C       192.168.14.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.14.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
L       192.168.14.1/32 is directly connected, FastEthernet1/0
C       192.168.15.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       192.168.15.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
L       192.168.15.1/32 is directly connected, FastEthernet0/1
O       192.168.24.0/24 [110/2] via 192.168.14.4, 00:14:45, FastEthernet1/0
O       192.168.26.0/24 [110/3] via 192.168.14.4, 00:14:45, FastEthernet1/0
O       192.168.36.0/24 [110/3] via 192.168.14.4, 00:14:45, FastEthernet1/0
O       192.168.37.0/24 [110/3] via 192.168.15.5, 00:14:45, FastEthernet0/1
O       192.168.45.0/24 [110/2] via 192.168.15.5, 00:14:45, FastEthernet0/1
O       [110/2] via 192.168.14.4, 00:14:45, FastEthernet1/0
O       192.168.46.0/24 [110/2] via 192.168.14.4, 00:14:45, FastEthernet1/0
O       192.168.57.0/24 [110/2] via 192.168.15.5, 00:14:45, FastEthernet0/1
O       192.168.67.0/24 [110/3] via 192.168.15.5, 00:14:45, FastEthernet0/1
O       [110/3] via 192.168.14.4, 00:14:45, FastEthernet1/0
PE1#
```

Figure 2 - Tabela de encaminhamento Router PE1

Para confirmar o correto funcionamento do MPLS, foi feito um *traceroute* do CE1-A (10.0.11.2) para o CE2-A (10.0.21.2) e averiguado a tabela de encaminhamento do *Router* PE-1 e do *Router* 4, através do comando **show mpls forwarding-table**. Os outputs destes dois comandos podem ser encontrados nas Figuras 3 e 4 respetivamente.

```
2. CE1-A (telnet)
CE1-A#traceroute 10.0.21.2
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 10.0.21.2
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 10.0.11.1 8 msec 12 msec 8 msec
 2 192.168.14.4 [MPLS: Label 22 Exp 0] 40 msec 12 msec 32 msec
 3 192.168.24.2 48 msec 4 msec 32 msec
 4 10.0.21.2 56 msec 48 msec 48 msec
CE1-A#
```

Figure 3 - Traceroute CE1-A para o CE2-A

3. PE1 (telnet)						
PE1#show mpls forwarding-table						
Local Label	Outgoing Label	Prefix or Tunnel Id	Bytes Switched	Label	Outgoing interface	Next Hop
16	Pop Label	192.168.46.0/24	0		Fa1/0	192.168.14.4
17	Pop Label	192.168.45.0/24	0		Fa1/0	192.168.14.4
	Pop Label	192.168.45.0/24	0		Fa0/1	192.168.15.5
18	Pop Label	192.168.24.0/24	0		Fa1/0	192.168.14.4
19	Pop Label	192.168.57.0/24	0		Fa0/1	192.168.15.5
20	21	192.168.26.0/24	0		Fa1/0	192.168.14.4
21	22	10.0.21.0/24	0		Fa1/0	192.168.14.4
22	19	192.168.67.0/24	0		Fa1/0	192.168.14.4
	22	192.168.67.0/24	0		Fa0/1	192.168.15.5
23	23	192.168.37.0/24	0		Fa0/1	192.168.15.5
24	20	192.168.36.0/24	0		Fa1/0	192.168.14.4
PE1#						
1. R4 (telnet)						
R4#show mpls forwarding-table						
Local Label	Outgoing Label	Prefix or Tunnel Id	Bytes Switched	Label	Outgoing interface	Next Hop
16	Pop Label	192.168.15.0/24	0		Fa1/0	192.168.14.1
	Pop Label	192.168.15.0/24	0		Fa0/0	192.168.45.5
17	Pop Label	10.0.11.0/24	420		Fa1/0	192.168.14.1
18	Pop Label	192.168.57.0/24	0		Fa0/0	192.168.45.5
19	Pop Label	192.168.67.0/24	634		Fa1/1	192.168.46.6
20	Pop Label	192.168.36.0/24	0		Fa1/1	192.168.46.6
21	Pop Label	192.168.26.0/24	0		Fa0/1	192.168.24.2
	Pop Label	192.168.26.0/24	0		Fa1/1	192.168.46.6
22	Pop Label	10.0.21.0/24	5040		Fa0/1	192.168.24.2
23	23	192.168.37.0/24	0		Fa0/0	192.168.45.5
	18	192.168.37.0/24	0		Fa1/1	192.168.46.6
R4#						

Figure 4 - MPLS Forwarding Table Router PE1 e R4 respectivamente

Pela análise do *traceroute*, podemos verificar que o pacote segue o caminho CE1-A – PE1 – R4 – PE2 – CE2-A. Na Figura 4 podemos ver que a *label* que o PE1 insere no cabeçalho do pacote é a 22, e que o próximo nó é o 192.168.14.4 (Router 4). O pacote quando chega a este Router é alterado, ou seja, a *label* do mesmo é retirada pois o pacote já se encontra a dois saltos do destino (*penultimate hop popping*).

A *label* é retirada no penúltimo nó antes do destino para evitar que o último *router* antes do CE2-A faça duas leituras na tabela, uma para retirar a *label*, e outra para encontrar o nó para o qual tem que enviar o pacote (através de IP). Isto acontece porque em vez do último nó antes do destino enviar uma mensagem para trocar a *label*, envia uma mensagem para a remover e de seguida reencaminhar para ele.

A Figura 5 mostra informações aprendidas pelo protocolo LDP. Nesta figura podemos ver as redes de destino dos pacotes, as *labels* que vêm nos mesmos, atribuídas pelos LSR, e as *labels* que vão substituir as anteriores, as quais foram aprendidas pelo protocolo LDP. Também é possível visualizar qual o próximo nó do pacote que se destina às diversas redes (através do campo *lrs*).

```
3. PE1 (telnet)
PE1#show mpls ip binding
10.0.11.0/24
  in label:      imp-null
  out label: 19   lsr: 192.168.45.5:0
  out label: 17   lsr: 192.168.45.4:0
10.0.21.0/24
  in label: 21
  out label: 21   lsr: 192.168.45.5:0
  out label: 22   lsr: 192.168.45.4:0  inuse
192.168.14.0/24
  in label:      imp-null
  out label: 18   lsr: 192.168.45.5:0
  out label: imp-null lsr: 192.168.45.4:0
192.168.15.0/24
  in label:      imp-null
  out label: imp-null lsr: 192.168.45.5:0
  out label: 16   lsr: 192.168.45.4:0
192.168.24.0/24
  in label: 18
  out label: 17   lsr: 192.168.45.5:0
  out label: imp-null lsr: 192.168.45.4:0  inuse
192.168.26.0/24
  in label: 20
  out label: 20   lsr: 192.168.45.5:0
  out label: 21   lsr: 192.168.45.4:0  inuse
192.168.36.0/24
  in label: 24
  out label: 24   lsr: 192.168.45.5:0
  out label: 20   lsr: 192.168.45.4:0  inuse
192.168.37.0/24
  in label: 23
  out label: 23   lsr: 192.168.45.5:0  inuse
  out label: 23   lsr: 192.168.45.4:0
192.168.45.0/24
  in label: 17
  out label: imp-null lsr: 192.168.45.5:0  inuse
  out label: imp-null lsr: 192.168.45.4:0  inuse
192.168.46.0/24
  in label: 16
  out label: 16   lsr: 192.168.45.5:0
  out label: imp-null lsr: 192.168.45.4:0  inuse
192.168.57.0/24
  in label: 19
  out label: imp-null lsr: 192.168.45.5:0  inuse
  out label: 18   lsr: 192.168.45.4:0
192.168.67.0/24
  in label: 22
  out label: 22   lsr: 192.168.45.5:0  inuse
  out label: 19   lsr: 192.168.45.4:0  inuse
PE1#
```

Figure 5 - Informações aprendidas pelo protocolo LDP

Para testar a resiliência do MPLS, foi desligada a interface fastEthernet 1/0 do router PE1, ou seja, a interface que liga ao *Router4*. É de esperar que as *labels* usadas mudem, uma vez que o caminho para o destino é diferente.

Nas Figura 6 podemos ver o novo *traceroute*, como também as *labels* usadas. O caminho efetuado foi: CE1-A – PE1 (add label 21) – R5 (add label 22) – R4 (pop label) – R2 – CE2-A.

Uma vez que o *link* entre o PE1 e o *Router4* estava em baixo, o PE1 teve que reencaminhar o pacote pelo *Router5*, atribuindo-lhe uma *label* diferente. Contudo, o *Router5* como tem que enviar o pacote para a rede 10.0.21.2/24, vai atribuir a mesma *label* que o PE1 antigamente atribuía quando ainda tinha a interface F1/0 ativa.

```
2. CE1-A (telnet)
CE1-A#traceroute 10.0.21.2
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 10.0.21.2
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 10.0.11.1 12 msec 16 msec 8 msec
 2 192.168.15.5 [MPLS: Label 21 Exp 0] 48 msec 44 msec 48 msec
 3 192.168.45.4 [MPLS: Label 22 Exp 0] 36 msec 52 msec 40 msec
 4 192.168.24.2 40 msec 40 msec 44 msec
 5 10.0.21.2 40 msec 56 msec 40 msec
CE1-A#
```

Figure 6 - Traceroute PC2-A com interface F1/0 do Router PE1 desligada

A nova tabela de encaminhamento MPLS dos *routers* PE1 e R4 podem ser encontradas na Figura 7, tal como as novas *labels* usadas.

3. PE1 (telnet)

PE1#show mpls forwarding-table

Local Label	Outgoing Label	Prefix or Tunnel Id	Bytes Label Switched	Outgoing interface	Next Hop
16	16	192.168.46.0/24	0	Fa0/1	192.168.15.5
17	Pop Label	192.168.45.0/24	0	Fa0/1	192.168.15.5
18	17	192.168.24.0/24	0	Fa0/1	192.168.15.5
19	Pop Label	192.168.57.0/24	0	Fa0/1	192.168.15.5
20	20	192.168.26.0/24	0	Fa0/1	192.168.15.5
21	21	10.0.21.0/24	0	Fa0/1	192.168.15.5
22	22	192.168.67.0/24	0	Fa0/1	192.168.15.5
23	23	192.168.37.0/24	0	Fa0/1	192.168.15.5
24	24	192.168.36.0/24	0	Fa0/1	192.168.15.5
25	18	192.168.14.0/24	0	Fa0/1	192.168.15.5

PE1#

1. R4 (telnet)

R4#show mpls forwarding-table

Local Label	Outgoing Label	Prefix or Tunnel Id	Bytes Label Switched	Outgoing interface	Next Hop
16	Pop Label	192.168.15.0/24	0	Fa0/0	192.168.45.5
17	19	10.0.11.0/24	1002	Fa0/0	192.168.45.5
18	Pop Label	192.168.57.0/24	0	Fa0/0	192.168.45.5
19	Pop Label	192.168.67.0/24	634	Fa1/1	192.168.46.6
20	Pop Label	192.168.36.0/24	0	Fa1/1	192.168.46.6
21	Pop Label	192.168.26.0/24	0	Fa0/1	192.168.24.2
	Pop Label	192.168.26.0/24	0	Fa1/1	192.168.46.6
22	Pop Label	10.0.21.0/24	5838	Fa0/1	192.168.24.2
23	23	192.168.37.0/24	0	Fa0/0	192.168.45.5
	18	192.168.37.0/24	0	Fa1/1	192.168.46.6

R4#

Figure 7 - MPLS Forwarding Table Router PE1 e R4 respetivamente, com interface F1/0 do Router PE1 desligada

## Arquitetura (MPLS VPN – 1 Cliente)

A topologia de rede escolhida encontra-se apresentada na Figura 1, e os endereços atribuídos aos *routers* têm como base a regra apresentada no Laboratório 2, ou seja:

- *Subnet* é identificada pelos dois *routers* que a identificam, ou seja, o segundo *byte* é a junção do número dos *routers*. Assim, a *subnet* 192.168.XY.0/24 é caracterizada pelos *routers* número X e Y
- A *subnet* que liga os CEs aos PEs é identificada pelo cliente (A = 1; B = 2), o número do *router* PE/CE, e se a interface corresponde ao *router* PE ou ao *router* CE. Assim, a *subnet* 10.0.XY.Z, onde X é a identificação do cliente, Y é o número do *router* PE/CE associado a essa *subnet*, e Z é o que distingue o *router* CE do PE
- A rede privada do cliente é identificada pelo número do *router* CE, e pela indicação se a interface pertence ao *router* CE (0) ou ao computador (1). Assim, para a rede do cliente ligada ao *router* CE1, temos os endereços 172.16.X.XY, onde X é o número do *router* CE e Y é o indicativo do dispositivo.

Para este exercício a topologia da rede encontra-se na imagem abaixo e pode ser encontrada a configuração no ficheiro **Configuração2.zip**.

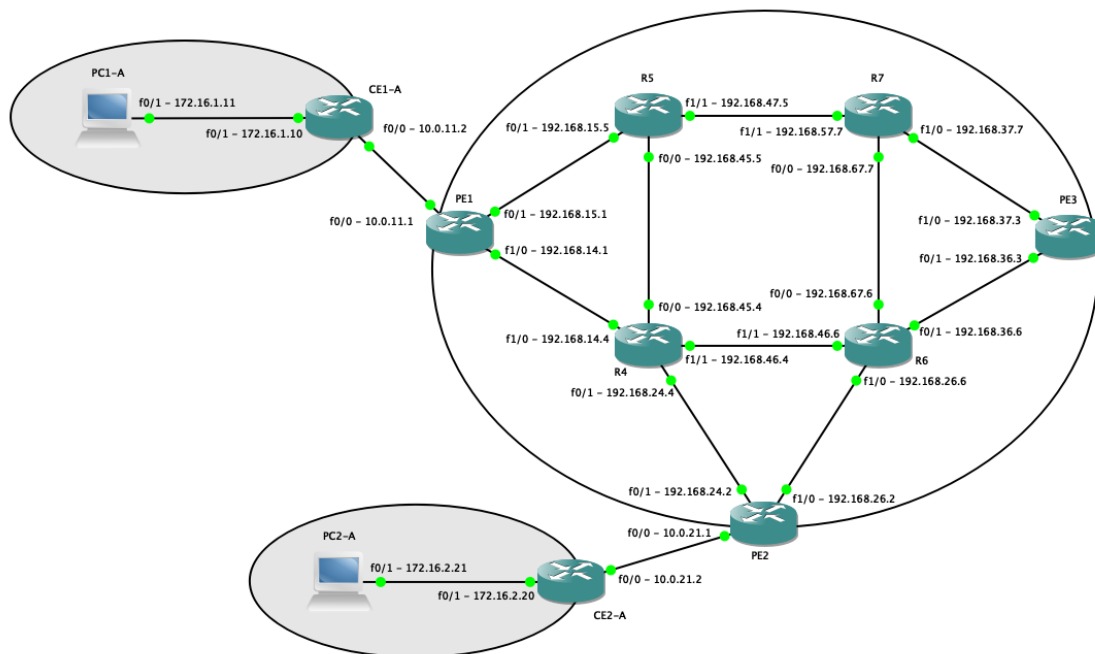


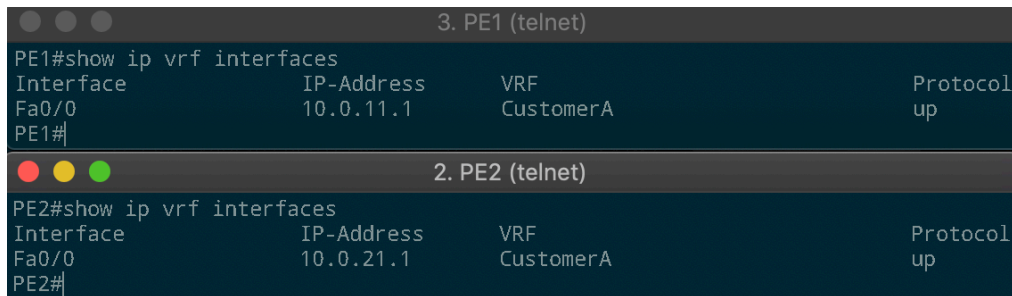
Figure 8 - Topologia da rede



## Funcionamento (MPLS VPN – 1 Cliente)

Para criar a VPN entre os diferentes *sites* de um cliente, foi necessário configurar o protocolo BGP entre os *routers* PE do *provider*. Para tal foi criada em cada um uma interface loopback com o endereço **X.X.X.X**, onde **X** é o número do *router*.

De seguida, e em cada *router* PE, foi criada uma tabela *VPN Routing and Forwarding* (VRF), de maneira a que o *router* PE consiga saber para que cliente tem de enviar o pacote, associando a respetiva interface de saída. O que distingue os diferentes clientes é o *Route Distinguisher* (RD). Na Figura 8 podemos ver as tabelas de ambos os *routers* PEs.



Interface	IP-Address	VRF	Protocol
Fa0/0	10.0.11.1	CustomerA	up


  

Interface	IP-Address	VRF	Protocol
Fa0/0	10.0.21.1	CustomerA	up

Figure 9 - Tabelas VRF

De maneira a que os *routers* PE pudessem estar em sintonia em relação aos diferentes clientes, foi necessário configurar o protocolo MP-iBGP. Nesta configuração, são identificados os vizinhos de cada PE através das suas interfaces *loopback* e criadas *vpnvp4 address-famillys* para cada *site* dos clientes. Desta maneira, os PEs podem trocar entre si informações relativas às redes dos clientes.

Através do comando **show bgp vpnvp4 unicast all summary** podemos verificar a conexão entre os diferentes PEs. A Figura 9 ilustra este comando.



Neighbor	V	AS	MsgRcvd	MsgSent	TblVer	InQ	OutQ	Up/Down	State/PfxRcd
2.2.2.2	4	100	6	7	1	0	0	00:01:53	0

Neighbor	V	AS	MsgRcvd	MsgSent	TblVer	InQ	OutQ	Up/Down	State/PfxRcd
1.1.1.1	4	100	7	6	1	0	0	00:01:50	0

Figure 10 - Ligação entre os diferentes PEs

De seguida foi criado mais um processo OSPF em cada *router* PE para que estes possam estar em sincronia com as redes dos CEs.

Na Figura 10 podemos ver as rotas que este novo processo OSPF possui (rotas dos diferentes *sites* do cliente A).

```
3. PE1 (telnet)
PE1#show ip route vrf CustomerA

Routing Table: CustomerA
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
        D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
        N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
        E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
        i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
        ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
        o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
        + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

    10.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       10.0.11.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
L       10.0.11.1/32 is directly connected, FastEthernet0/0
       172.16.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
O       172.16.1.0 [110/2] via 10.0.11.2, 00:00:23, FastEthernet0/0
PE1#

2. PE2 (telnet)
PE2#show ip route vrf CustomerA

Routing Table: CustomerA
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
        D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
        N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
        E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
        i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
        ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
        o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
        + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

    10.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C       10.0.21.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
L       10.0.21.1/32 is directly connected, FastEthernet0/0
       172.16.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
O       172.16.2.0 [110/2] via 10.0.21.2, 00:00:10, FastEthernet0/0
PE2#
```

Figure 11 - PEs já têm conhecimento das rotas sites dos clientes a que estão ligados

Contudo, cada *site* do ClienteA ainda não conhece as redes dos outros *sites*. Para tal é necessário fazer a redistribuição dos processos OSPF de cada VRF para o MP-iBGP, e vice-versa.

As Figuras 11 e 12 mostram as tabelas de encaminhamento dos PEs (referente ao Cliente A) e as tabelas de encaminhamentos dos CEs. Como podemos ver, os PEs já partilham as redes que conhecem dos sites do Cliente, e os CEs já têm conhecimento das redes de todas as redes do Cliente A.

```

3. PE1 (telnet)
PE1#show ip bgp vpnv4 vrf CustomerA
BGP table version is 7, local router ID is 1.1.1.1
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale, m multipath, b backup-path, f RT-Filter,
               x best-external, a additional-path, c RIB-compressed,
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
RPKI validation codes: V valid, I invalid, N Not found

   Network          Next Hop        Metric LocPrf Weight Path
Route Distinguisher: 100:1 (default for vrf CustomerA)
*> 10.0.11.0/24      0.0.0.0              0         32768 ?
*>i 10.0.21.0/24      2.2.2.2              0        100    0 ?
*> 172.16.1.0/24     10.0.11.2            2         32768 ?
*>i 172.16.2.0/24     2.2.2.2              2        100    0 ?
PE1#

2. PE2 (telnet)
PE2#show ip bgp vpnv4 vrf CustomerA
BGP table version is 7, local router ID is 2.2.2.2
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale, m multipath, b backup-path, f RT-Filter,
               x best-external, a additional-path, c RIB-compressed,
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
RPKI validation codes: V valid, I invalid, N Not found

   Network          Next Hop        Metric LocPrf Weight Path
Route Distinguisher: 100:1 (default for vrf CustomerA)
*>i 10.0.11.0/24      1.1.1.1              0        100    0 ?
*> 10.0.21.0/24      0.0.0.0              0         32768 ?
*>i 172.16.1.0/24     1.1.1.1              2        100    0 ?
*> 172.16.2.0/24     10.0.21.2            2         32768 ?
PE2#

```

Figure 13 - Redes compartilhadas pelos CEs

```

5. CE1-A (telnet)
CE1-A#show ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
       + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

  10.0.0.0/8 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks
C    10.0.11.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
L    10.0.11.2/32 is directly connected, FastEthernet0/0
O E2  10.0.21.0/24 [110/1] via 10.0.11.1, 00:05:49, FastEthernet0/0
      172.16.0.0/16 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks
C    172.16.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
L    172.16.1.10/32 is directly connected, FastEthernet0/1
O E2  172.16.2.0/24 [110/2] via 10.0.11.1, 00:05:49, FastEthernet0/0
CE1-A#

4. CE2-A (telnet)
CE2-A#show ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
       + - replicated route, % - next hop override

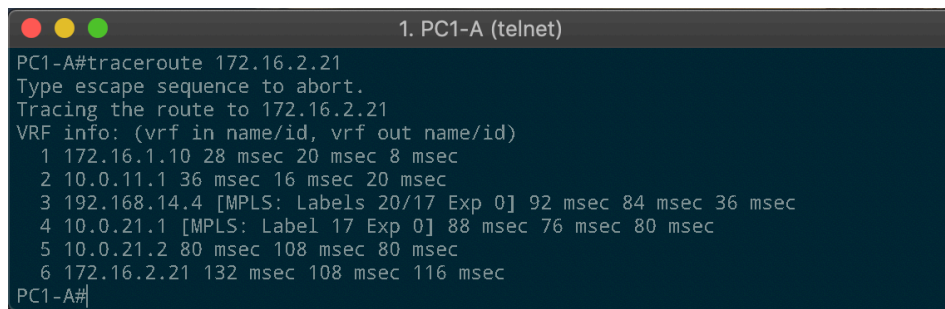
Gateway of last resort is not set

  10.0.0.0/8 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks
O E2  10.0.11.0/24 [110/1] via 10.0.21.1, 00:05:36, FastEthernet0/0
C    10.0.21.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
L    10.0.21.2/32 is directly connected, FastEthernet0/0
      172.16.0.0/16 is variably subnetted, 3 subnets, 2 masks
O E2  172.16.1.0/24 [110/2] via 10.0.21.1, 00:05:36, FastEthernet0/0
C    172.16.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
L    172.16.2.20/32 is directly connected, FastEthernet0/1
CE2-A#

```

Figure 12 - Redes conhecidas pelos CEs

O correto funcionamento da VPN entre os *sites* do Cliente A pode ser verificado com um *traceroute* do Computador1-A (172.16.1.11) para o Computador2-A (172.16.2.21). Este *traceroute* pode ser visto na Figura 13.



```
1. PC1-A (telnet)
PC1-A#traceroute 172.16.2.21
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 172.16.2.21
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 172.16.1.10 28 msec 20 msec 8 msec
 2 10.0.11.1 36 msec 16 msec 20 msec
 3 192.168.14.4 [MPLS: Labels 20/17 Exp 0] 92 msec 84 msec 36 msec
 4 10.0.21.1 [MPLS: Label 17 Exp 0] 88 msec 76 msec 80 msec
 5 10.0.21.2 80 msec 108 msec 80 msec
 6 172.16.2.21 132 msec 108 msec 116 msec
PC1-A#
```

Figure 14 - Traceroute do PC1-A para o PC2-A

## Arquitetura (MPLS VPN – 2 Clientes)

A metodologia adotada para a atribuição de endereços é igual à da secção anterior. Este ponto trás uma novidade, a implementação de um novo cliente precisamente com os mesmos endereços que o primeiro cliente.

Para este exercício a topologia da rede encontra-se na imagem abaixo e pode ser encontrada a configuração no ficheiro **Configuração3.zip**.

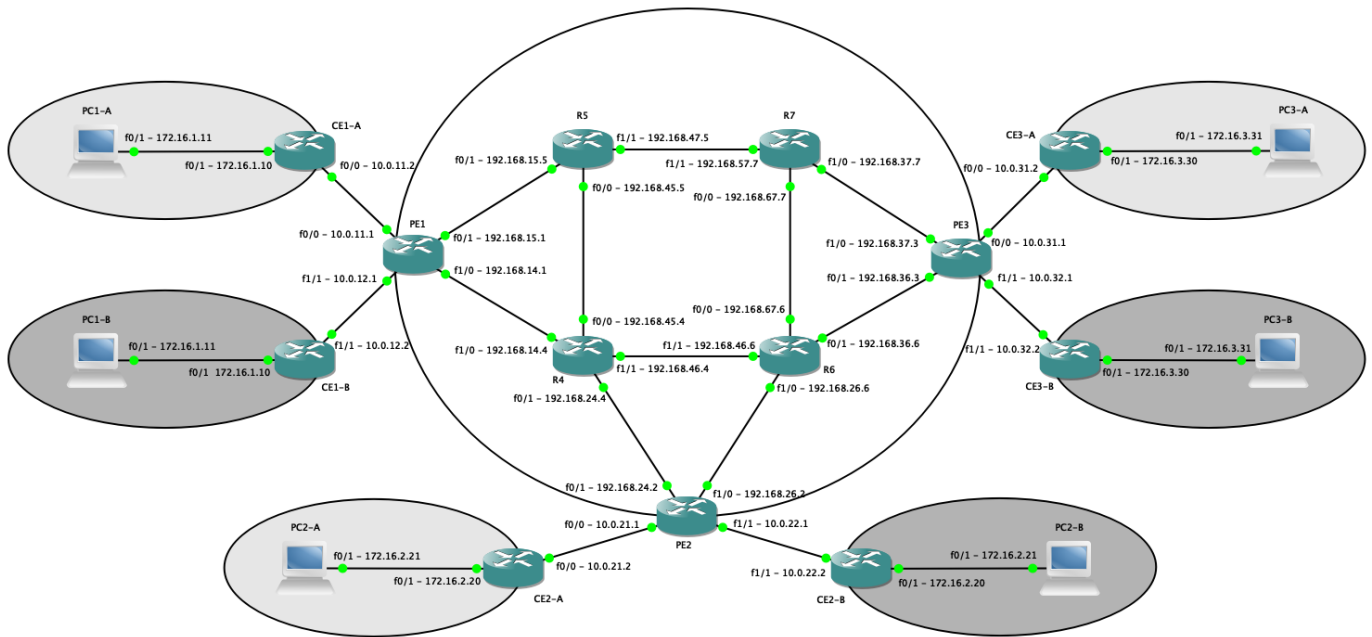


Figure 15 - Topologia da rede



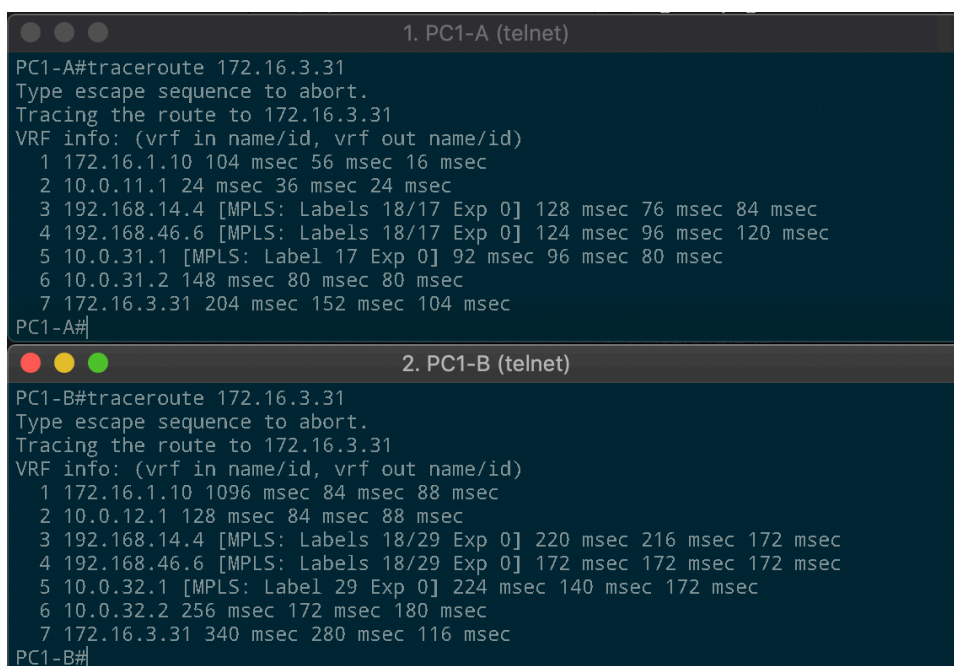
## Funcionamento (MPLS VPN – 2 Clientes)

Neste exercício, foi criada uma nova VRF para os PEs, sendo que esta VRF está associada ao Cliente B. Foi também configurado o novo PE (3), como vizinho dos outros, no processo BGP. Agora, em vez dos PEs redistribuírem apenas as redes do Cliente A, redistribuem também as redes do Cliente B, sendo que estes só enviam os pacotes para o cliente que for especificado na *label* do MPLS. Agora quando receberem o pacote, vão verificar a qual das tabelas VRF é que têm que ir.

As configurações deste exercício foram praticamente iguais às configurações do ponto anterior, à exceção da criação de uma nova VRF e adaptação do protocolo MP-iBGP para o novo PE.

Para ver o correto funcionamento desta rede, foram feitos dois *traceroutes*. Um primeiro do PC1-A para o PC3-A, e outro do PC1-B para o PC3-B. Estes *traceroutes* podem ser visualizados na Figuras 16. As tabelas de encaminhamento dos CE1-A e B encontram-se na Figura 17.

É de salientar que os PC1s tanto do Cliente A como do Cliente B têm o mesmo IP, tal como os PC3s do Cliente A e B.



```
1. PC1-A (telnet)
PC1-A#traceroute 172.16.3.31
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 172.16.3.31
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 172.16.1.10 104 msec 56 msec 16 msec
 2 10.0.11.1 24 msec 36 msec 24 msec
 3 192.168.14.4 [MPLS: Labels 18/17 Exp 0] 128 msec 76 msec 84 msec
 4 192.168.46.6 [MPLS: Labels 18/17 Exp 0] 124 msec 96 msec 120 msec
 5 10.0.31.1 [MPLS: Label 17 Exp 0] 92 msec 96 msec 80 msec
 6 10.0.31.2 148 msec 80 msec 80 msec
 7 172.16.3.31 204 msec 152 msec 104 msec
PC1-A#

2. PC1-B (telnet)
PC1-B#traceroute 172.16.3.31
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 172.16.3.31
VRF info: (vrf in name/id, vrf out name/id)
 1 172.16.1.10 1096 msec 84 msec 88 msec
 2 10.0.12.1 128 msec 84 msec 88 msec
 3 192.168.14.4 [MPLS: Labels 18/29 Exp 0] 220 msec 216 msec 172 msec
 4 192.168.46.6 [MPLS: Labels 18/29 Exp 0] 172 msec 172 msec 172 msec
 5 10.0.32.1 [MPLS: Label 29 Exp 0] 224 msec 140 msec 172 msec
 6 10.0.32.2 256 msec 172 msec 180 msec
 7 172.16.3.31 340 msec 280 msec 116 msec
PC1-B#
```

Figure 16 - Traceroutes dos PC1s para os PC3s

Pode-se verificar nos endereços dos pontos 5 e 6 do *traceroute*, que o PE soube distinguir para onde é que o pacote se dirigia.

```
2. CE1-A (telnet)
CE1-A#show ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
        D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
        N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
        E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
        i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
        ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
        o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
        + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

    10.0.0.0/8 is variably subnetted, 4 subnets, 2 masks
C       10.0.11.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
L       10.0.11.2/32 is directly connected, FastEthernet0/0
O E2    10.0.21.0/24 [110/1] via 10.0.11.1, 03:02:29, FastEthernet0/0
O E2    10.0.31.0/24 [110/1] via 10.0.11.1, 00:26:02, FastEthernet0/0
    172.16.0.0/16 is variably subnetted, 4 subnets, 2 masks
C       172.16.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
L       172.16.1.10/32 is directly connected, FastEthernet0/1
O E2    172.16.2.0/24 [110/2] via 10.0.11.1, 03:02:20, FastEthernet0/0
O E2    172.16.3.0/24 [110/2] via 10.0.11.1, 00:26:02, FastEthernet0/0
CE1-A#

3. CE1-B (telnet)
CE1-B#show ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
        D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
        N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
        E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
        i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
        ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
        o - ODR, P - periodic downloaded static route, H - NHRP, l - LISP
        + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

    10.0.0.0/8 is variably subnetted, 4 subnets, 2 masks
C       10.0.12.0/24 is directly connected, FastEthernet1/1
L       10.0.12.2/32 is directly connected, FastEthernet1/1
O E2    10.0.22.0/24 [110/1] via 10.0.12.1, 00:28:15, FastEthernet1/1
O E2    10.0.32.0/24 [110/1] via 10.0.12.1, 00:25:57, FastEthernet1/1
    172.16.0.0/16 is variably subnetted, 4 subnets, 2 masks
C       172.16.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
L       172.16.1.10/32 is directly connected, FastEthernet0/1
O E2    172.16.2.0/24 [110/2] via 10.0.12.1, 00:27:57, FastEthernet1/1
O E2    172.16.3.0/24 [110/2] via 10.0.12.1, 00:25:57, FastEthernet1/1
CE1-B#
```

Figure 17 - Tabelas de encaminhamento dos CEs

Nas tabelas de encaminhamento dos CEs pode-se verificar que as máquinas dentro do *sites* do Cliente A não conhecem as máquinas do Cliente B, e vice-versa. Isto deve-se ao facto do PE não fazer *advertise* das redes entre Clientes. Deste modo é garantida a confidencialidade dentro das empresas, mesmo que os pacotes circulem pelos mesmos *routers* no *provider*.

## Conclusão

Com este laboratório podemos concluir que a implementação de MPLS na rede do operador alivia a carga nos *routers*, pois estes não têm que procurar pelo endereço de destino nas suas tabelas de encaminhamento.

Quando se pensa em larga escala, o uso de VPNs sobre MPLS torna-se numa maneira segura de vários escritórios associados a uma empresa poderem comunicar uns com os outros, sem que estas sintam a necessidade de implementar novas rotas e configurar novos dispositivos. Assim, as empresas se quiserem ter uma rede privada e possuir escritórios em várias partes do mundo, podem fazê-lo só com base nos operadores.

Em termos de escalabilidade, a única limitação é o número de portas que os *routers* PE possuem. Contudo, se as tabelas VRF já estiverem implementadas, é fácil de configurar um novo cliente, tal como associar a um já existe, uma nova gama de endereços para um novo escritório.

O facto de se poder usar a mesma gama de endereços privados para diferentes clientes também é um ponto a favor deste sistema, uma vez que o número de endereços disponíveis no mundo é limitada.