Administração de Redes 2019/20

Open Shortest Path First (OSPF)

Open Shortest Path First (OSPF)

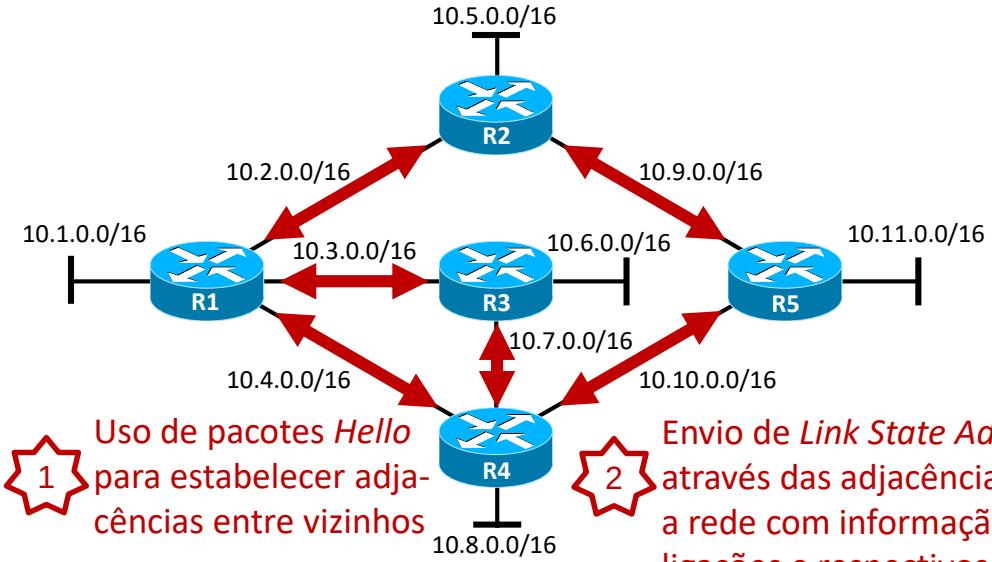
- Protocolo de estado das ligações (*link state — LS*)
  - Convergência mais rápida que os de vectores de distâncias
  - Sem problema de contagem até ao infinito / ciclos de encaminhamento temporários
  - Complexo (RFC-2328 tem 244 páginas)
- Mensagens enviadas directamente sobre IP
- Suporta autenticação das mensagens
  - Evita injecção de informação maliciosa
- Hierarquia de dois níveis para redes de grandes dimensões
  - Diferentes áreas interligadas por "espinha dorsal" (*backbone*)

Protocolos de Estado das Ligações

- Os *routers* conhecem a topologia da rede
- Cada *router* calcula os caminhos mais curtos de forma independente

- Funções essenciais de um protocolo LS *(link-state)* :
  - Detectar vizinhos e estabelecer adjacências
  - Inundar a rede com informação topológica (nós e ligações)
    - De forma fiável, para todos os *routers* terem a mesma visão da topologia e o encaminhamento ficar consistente
  - Armazenar a informação topológica recebida numa base de dados
    - Usada para construir um grafo dirigido da rede
  - Calcular a árvore de caminhos mais curtos com origem em si próprio
    - Algoritmo de Dijkstra ou similar (*Shortest Path First*)
    - Primeiro router de cada caminho é o próximo salto a instalar na tabela de encaminhamento ← <u>objectivo do protocolo</u>

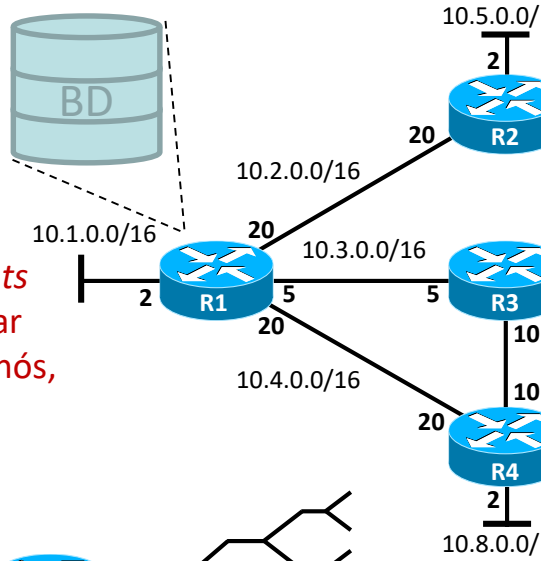
OSPF — Funcionamento Genérico



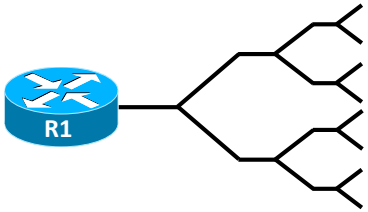
1 Uso de pacotes *Hello* para estabelecer adjacências entre vizinhos

2 Envio de *Link State Advertisements* através das adjacências p/ inundar a rede com informação sobre os nós, ligações e respectivos custos

3 Cada *router* guarda a informação recebida numa base de dados topológica



Destino	Custo	Próximo Salto
10.0.5.0/16	22	10.2.0.2
10.0.6.0/16	7	10.3.0.2
10.0.7.0/16	15	10.3.0.2
10.0.8.0/16	17	10.3.0.2
10.0.9.0/16	30	10.2.0.2
10.0.10.0/16	25	10.3.0.2
10.0.11.0/16	27	10.3.0.2



4 Cada *router* corre o algoritmo SPF sobre o grafo gerado a partir da base de dados topológica, obtendo caminhos para todos os destinos (árvore de caminhos mais curtos)

5 Dessa árvore, extrai o próximo salto e o custo do caminho para cada destino e coloca-os na tabela de encaminhamento

Custo

- O custo dos caminhos é a soma dos custos das interfaces de saída atravessadas
  - Especificado com comando `ip ospf cost` na interface
  - Determinado automaticamente se não especificado
    - Inversamente proporcional à capacidade
    - Constante de proporcionalidade configurada com o comando `auto-cost reference-bandwidth`
    - Valor-padrão para a capacidade de referência: 100 Mb/s
- O custo de uma interface é um inteiro positivo de 16 bits
  - Entre 1 e 65535 (2^{16}-1)
- O custo de um caminho é um inteiro positivo de 24 bits
  - Entre 1 e 16777214 (2^{24}-2)
  - O valor 16777215 (2^{24}-1) significa um destino inatingível ("infinito")

Link State Advertisements

- A informação topológica é enviada em *Link State Advertisements*
- Cada LSA contém informação sobre um pedaço da topologia
  - Existem diversos tipos de LSA
- Os LSA são enviados em mensagens *LS Update*
  - Com fiabilidade: cada LSA recebido deve ser confirmado
- Para o cálculo do encaminhamento ser consistente, o grafo construído pelos routers tem que ser o mesmo*

Envelhecimento

- Cada LSA tem associada uma idade (em segundos)
- LSA na base de dados topológica vão envelhecendo
- Quando um LSA atinge MaxAge (3600 s)
  - Deixa de ser usado para cálculo de caminhos
  - Deve ser novamente inundado (pelo nó de origem) para chegar ao fim de vida em todos os nós
  - E depois removido da BD topológica
- Um router pode remover um LSA que anteriormente tinha enviado reenviando-o com idade MaxAge
  - Envelhecimento prematuro

Número de sequência

- Cada anúncio (LSA — *Link State Advertisement*) tem associado um número de sequência
  - Inteiro com sinal de 32 bits
  - Valor inicial: 0x80000001 (i.e., -2147483647)
  - Valor máximo: 0x7fffffff (i.e., 2147483647)
- Usado para fazer inundação controlada dos LSA
  - Fiabilidade na inundação
  - Garantir que todos os routers usam a versão mais actual
- Sempre que o *router* alterar o LSA, tem que incrementar o número de sequência
  - Chegando ao número de sequência máximo
    - Faz envelhecimento prematuro do LSA
    - Gera um novo LSA com o número de sequência inicial
- Mesmo sem alterações, *routers* geram novo LSA a cada 1800 s

Checksum

- Cada LSA tem associada uma soma de controlo
  - Testada periodicamente
  - Permite detectar se o LSA se corrompeu na BD

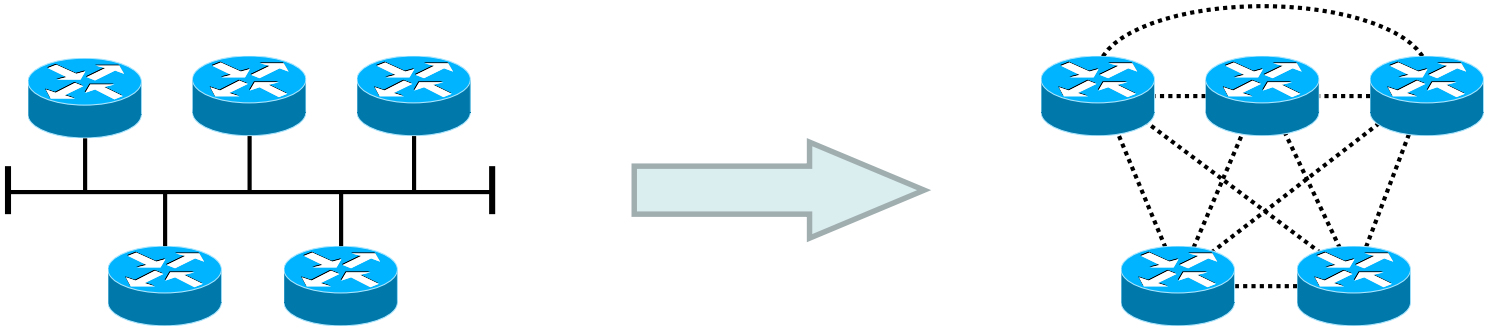
Tipos de redes (ligações)

- O OSPF define 5 tipos de rede (ligação)
  - Ponto-a-ponto (e.g., ligação por porta série)*
    - É sempre estabelecida adjacência
  - Redes de difusão (*broadcast; e.g.*, ethernet)
    - Uso de *multicast:* 224.0.0.5 (todos os *routers* OSPF) e 224.0.0.6 (todos os *designated routers* OSPF)
  - Redes de acesso múltiplo sem difusão (*non-broadcast multiple access* — NBMA; e.g., ATM)
    - Pacotes trocados com o *designated router* em *unicast*
  - Ponto-a-multiponto (NBMA configurada como múltiplas ligações ponto-a-ponto)
  - Ligações virtuais*
- Uma rede (ligação) de acessso múltiplo pode ser
  - De trânsito, se tiver dois ou mais *routers* ligados*
  - Ponta *(stub)*, se tiver apenas um *router* ligado*

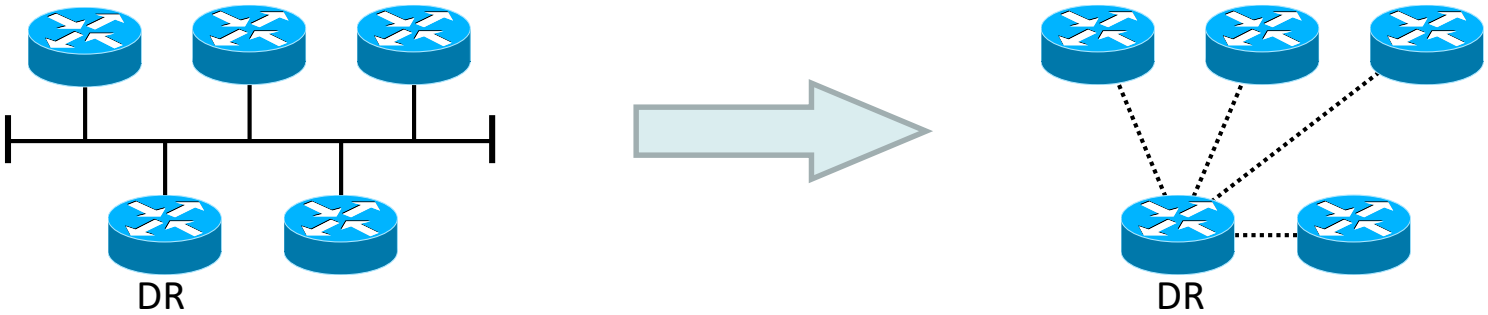
Tipos de ligação possíveis num anúncio (Router LSA) indicados com *

Designated Routers

- Em redes de difusão, o número de adjacências cresceria com o quadrado do número de *routers*

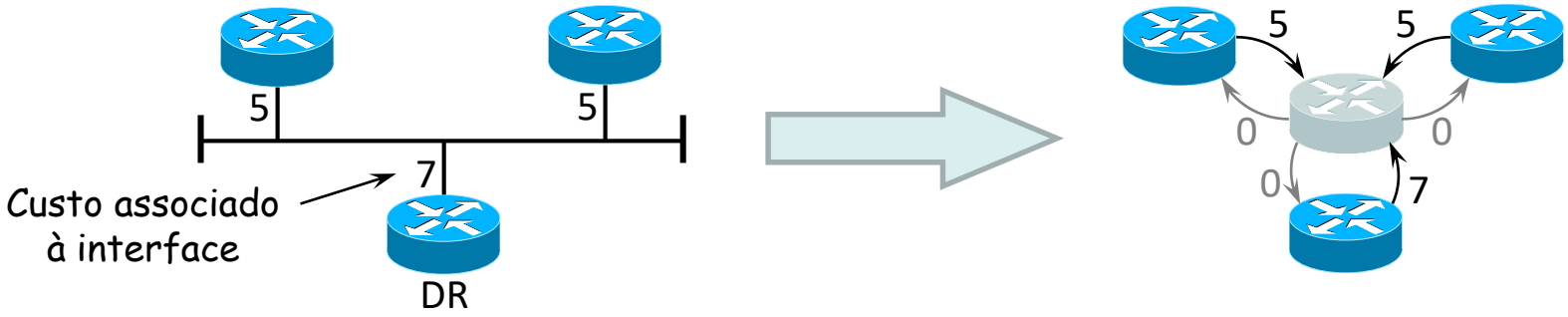


- Cada anúncio teria que ser enviado em todas as adjacências
  - n(n-1)/2 transmissões
  - Desperdício, pois todos os *routers* conseguem escutar cada transmissão
- Para evitar isto, no OSPF usa-se o conceito de *Designated Router*



Designated Routers

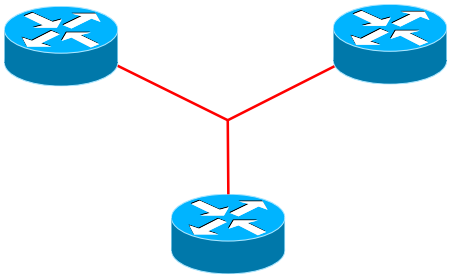
- O Designated Router é responsável por
  - Gerir o processo de inundação na rede de acesso múltiplo
  - Gerar informação topológica sobre um nó virtual que representa a ligação de acesso múltiplo



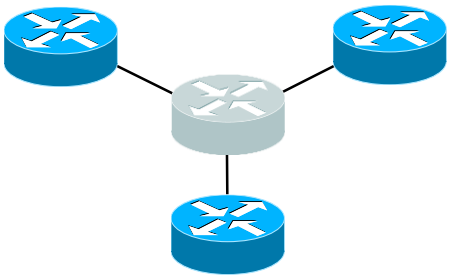
- Eleição independente em cada ligação de acesso múltiplo
  - Um *router* pode ser DR numa das suas ligações e não ser noutra
- É eleito também um Backup DR
  - Toma o lugar do DR caso este falhe — mais rápido que nova eleição
  - Nesse caso, posteriormente é eleito um novo BDR

Nó virtual

- Nas ligações de trânsito é adicionado ao grafo um nó virtual
  - Gerado pelo DR dessa ligação (rede de acesso múltiplo)
- Útil para a representação da rede ser um grafo
  - Permite representar uma ligação entre *N* nós como *N* ligações entre pares de nós
  - Possibilita o uso do algoritmo SPF (Dijkstra)



Não é um grafo!



É um grafo.

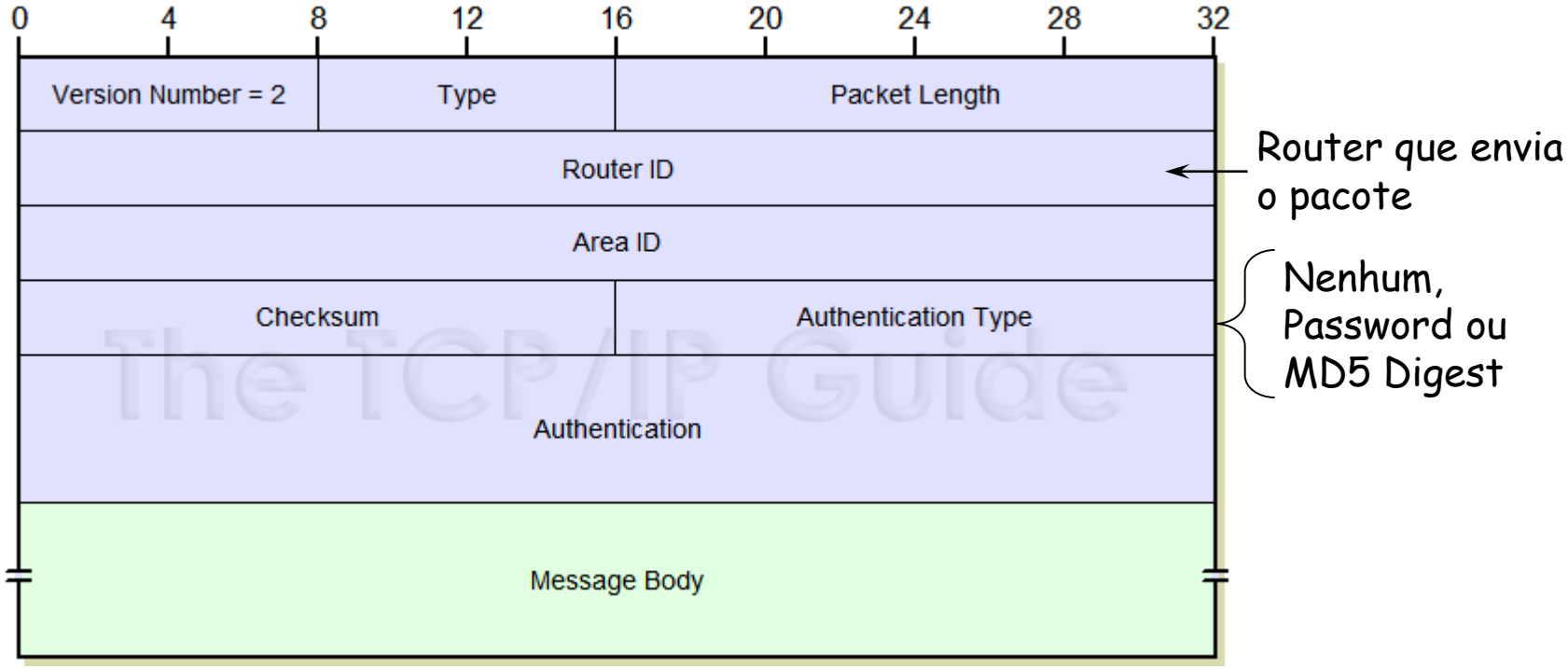
DR, BDR, e DROther

- *Os routers* que não são DR nem BDR designam-se DROther
- *Routers* DROther estabelecem adjacências apenas com o DR e com o BDR
  - DR e BDR confirmam os LSA recebidos
  - Mas apenas o DR os retransmite
- Para reduzir o tráfego de encaminhamento, em redes *broadcast* os LSA são enviados em *multicast*
  - 224.0.0.6 ("todos os *designated routers*") para enviar para DR e BDR
  - 224.0.0.5 ("todos os *routers* OSPF") para o DR enviar para os outros
- As confirmações também são enviadas em *multicast*, e podem ser
  - Explícitas (pacotes LS Acknowledgement)
  - Implícitas (a retransmissão de um LSA pelo DR confirma que este o recebeu)

Sub-protocolos

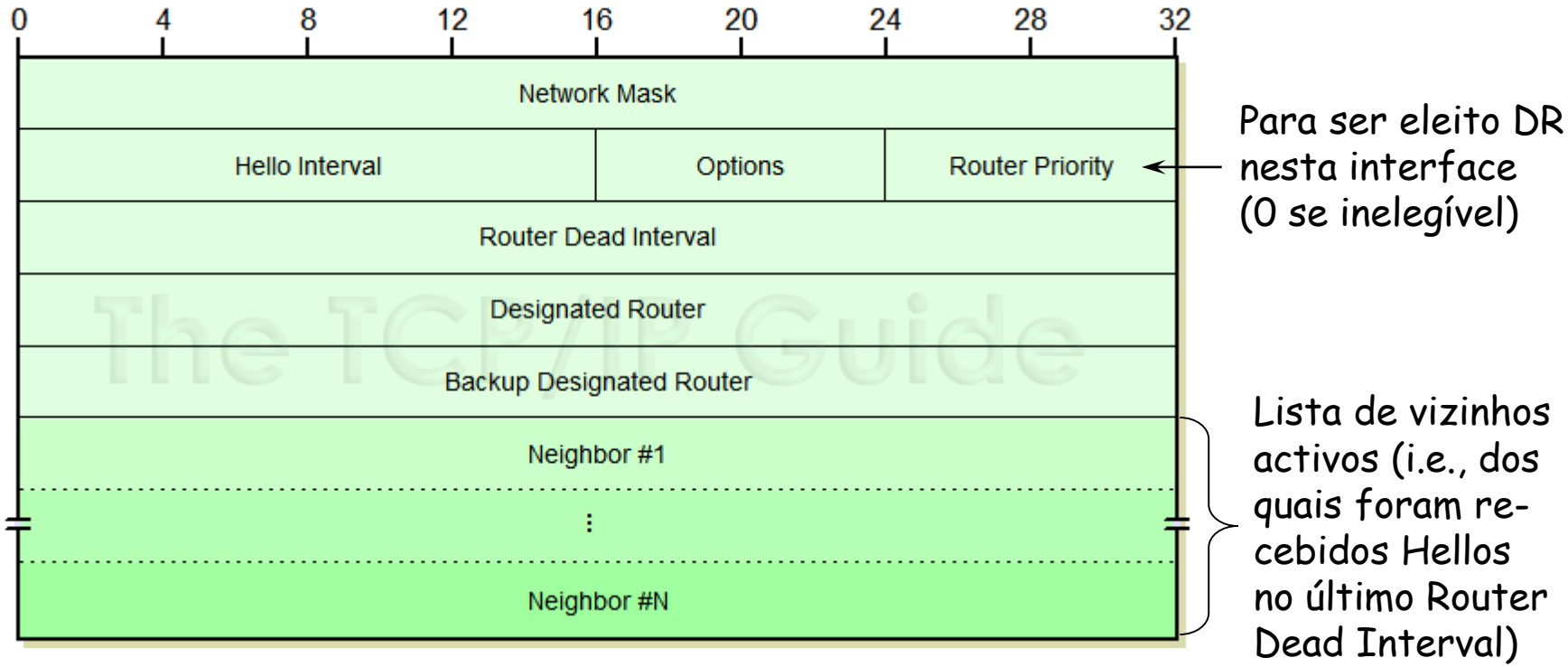
- Hello
  - Anunciar parâmetros em que routers têm que concordar para se poderem tornar vizinhos
  - Descoberta de vizinhos
  - Verificar conexão bidireccional entre vizinhos
  - Sinal de vida entre vizinhos *(keepalive)*
  - Eleição de DR e BDR
- DB Exchange
  - Sincronização de bases de dados topológicas
  - No arranque do router ou quando, após uma partição da rede, esta se volta a juntar
- Flooding
  - Inundação da rede com informação topológica, de forma fiável

Cabeçalho OSPF comum



- Router ID é um endereço IP que identifica o router
  - Se configurado à mão (comando `router-id`), o router usa esse valor
  - Senão, usa o endereço IP mais alto das interfaces de *loopback*
  - Se não tiver interfaces de *loopback*, usa o endereço IP mais alto de qualquer interface do *router* (mesmo que não faça parte do OSPF)

Mensagem Hello



- *Hello interval* configurável por interface usando `ip ospf hello-interval`
  - Por norma, 10 s em interfaces *broadcast* e 30 s em NBMA
- *Dead interval* configurável por interface usando `ip ospf dead-interval`
  - Por norma, 4× o *hello interval*

Hello — Detecção de vizinhos

- Mensagem *Hello* enviada periodicamente
  - Em redes *broadcast* ou ponto-a-ponto, para o endereço *multicast* 224.0.0.5 ("todos os *routers* OSPF")
  - Noutros tipos de rede, em *unicast* para os vizinhos (que o *router* tem que descobrir de outra forma)
- Para ser aceite, têm que coincidir com a interface que recebe
  - Área
  - Parâmetros de autenticação
  - Opções
  - Máscara de rede*
  - *Hello interval* e *Dead interval*
- Só estabelece adjacência se isso acontecer
- Cada *router* lista os vizinhos activos
  - Quando um *router* vê o seu *Router ID* num *Hello* recebido, sabe que tem comunicação bidireccional com o vizinho que o enviou

* A máscara é ignorada em ligações ponto-a-ponto e virtuais

Hello — Eleição de DR / BDR

- Campos DR e BDR do pacote Hello usados na eleição do DR e BDR
- Critérios para eleição de DR
  - Router com prioridade mais alta
    - Routers com prioridade 0 são eliminados — não podem ser DR nem BDR
  - Em caso de empate, router ID mais alto
    - Para BDR, fica o mais alto que não é DR
- Questões temporais também influenciam a eleição
  - Se já existe um DR, não é eleito outro até esse falhar
    - Mesmo o Router com ID mais baixo pode ficar DR, basta arrancar suficientemente antes dos outros
- Routers DROther ficam em estado 2WAY entre si
  - Não estabelecem adjacência

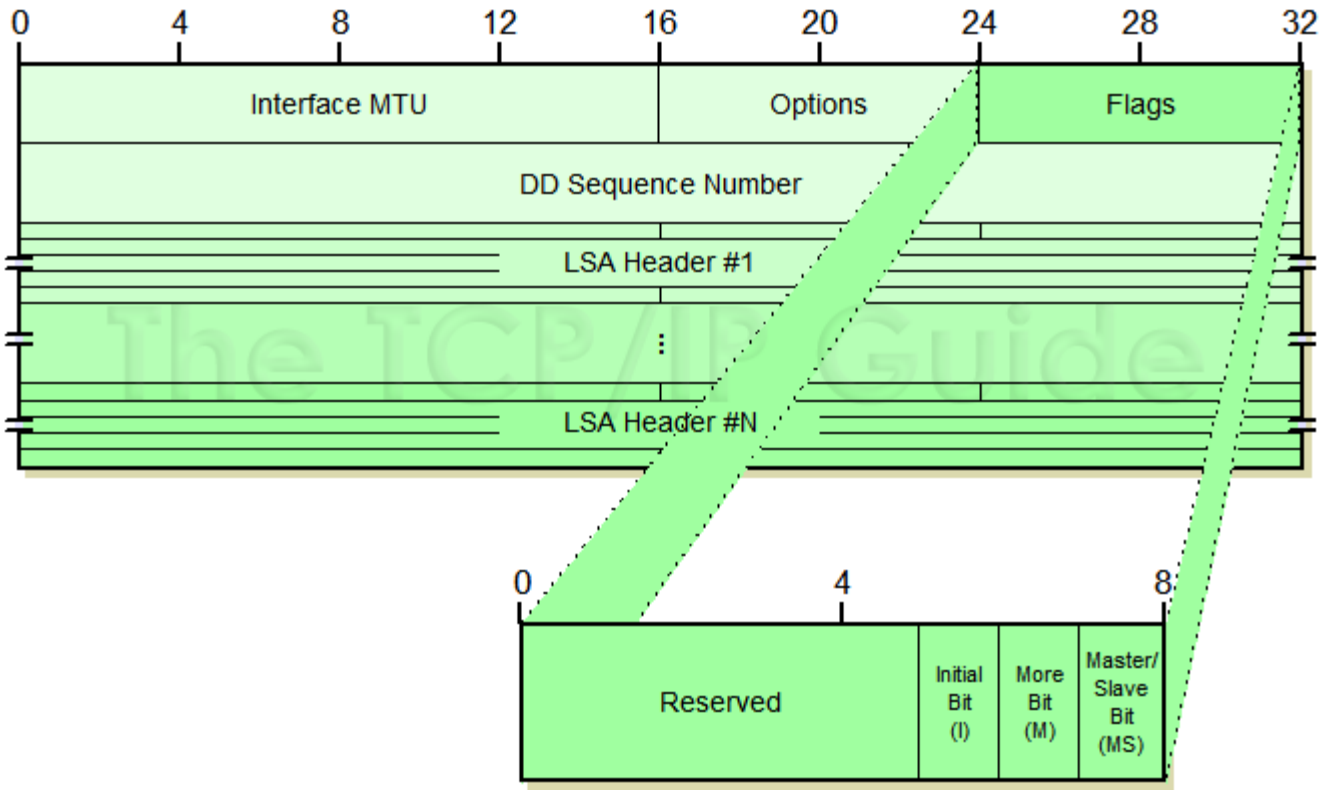
DB Exchange

- Quando um router decide estabelecer adjacência com um vizinho tem que se certificar de que as suas BD topológicas são idênticas
  - Trocam pacotes *Database Description* com meta-informação *(headers)* sobre todos os LSA que têm
    - Apenas o imprescindível para saberem se têm as versões mais recentes
  - Se um *router* não tiver LSA que o vizinho tem (ou tiver apenas uma versão mais antiga), pede-as usando pacotes *Link State Request*
  - O vizinho responde aos *Link State Requests* com *Link State Updates* contendo os LSA pedidos
  - Quando o *router* já não precisa de mais nenhum LSA do vizinho, a adjacência fica completa (estado Full)
- A troca de pacotes DD é feita num modelo mestre/escravo
  - Envio inicial de pacotes DD vazios para negociar papéis
  - O *router* com ID mais baixo declara-se escravo (MS=0)
    - Aceita o número de sequência do pacote DD do outro (mestre)

DB Exchange

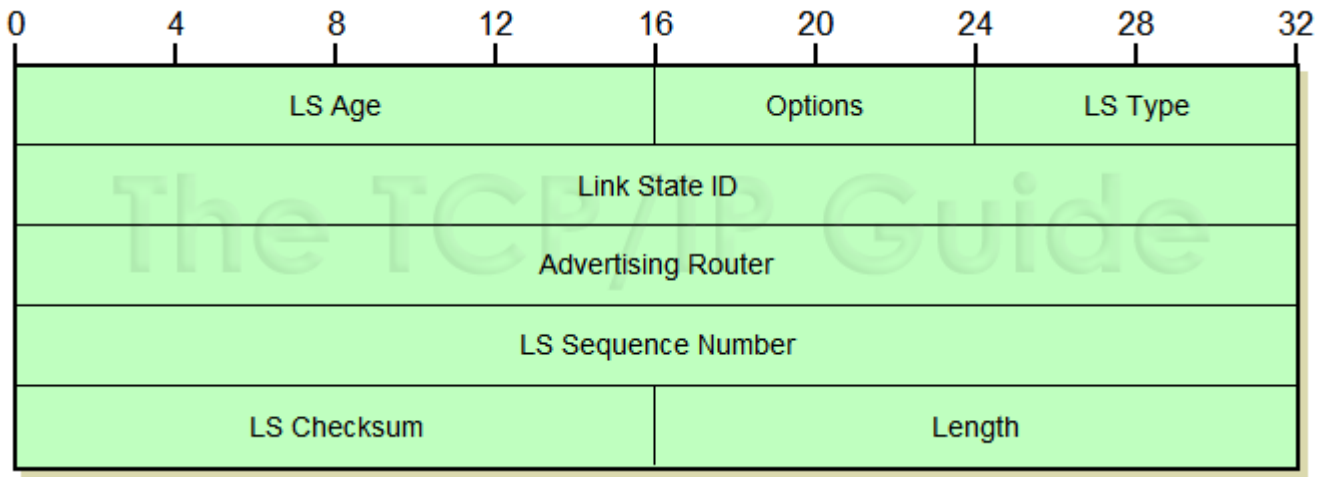
- Escravo envia um pacote DD sempre e só em resposta a outro recebido do mestre
  - Mesmo número de sequência
  - Serve de confirmação
  - Pode transportar *LSA Headers*
- Mestre espera um certo tempo por esse pacote
  - Se não o receber, retransmite pacote DD que tinha enviado
  - Caso contrário, transmite pacote com nº de seq. incrementado
- Se o escravo receber pacote com nº de seq. antigo
  - Mestre não recebeu o último pacote DD do escravo
  - Escravo retransmite esse pacote
- Processo termina quando ambos receberam indicação de que o outro não enviará mais pacotes DD

Mensagem Database Description (DD)



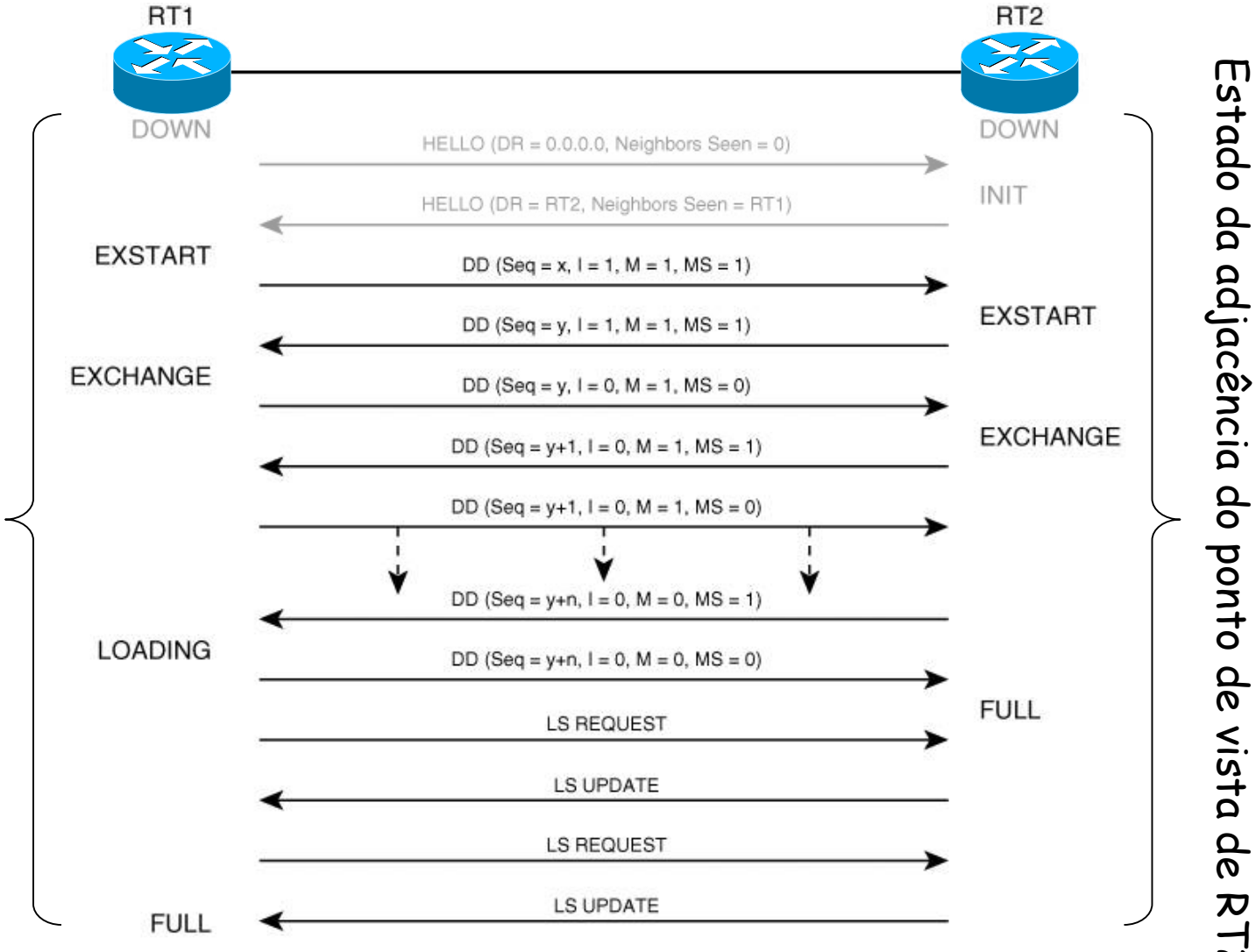
Flags: I = Pacote DD inicial M = Vou enviar mais pacotes DD MS = 1 mestre, 0 escravo

LSA Header

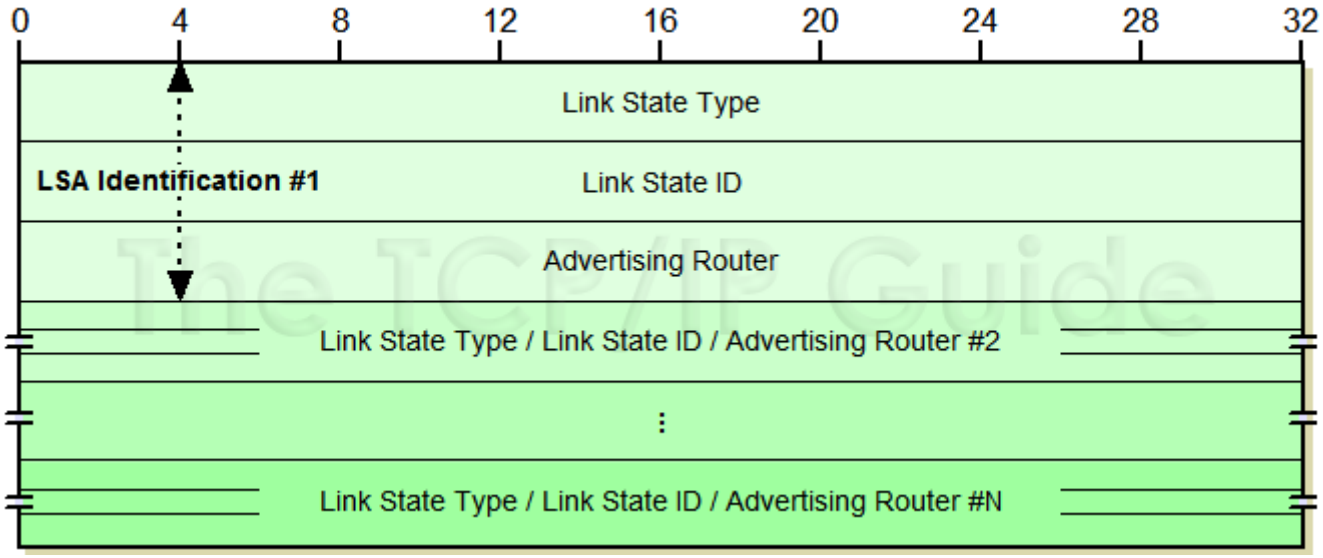


LSA Header contém apenas metainformação sobre o *link state* correspondente

DB Exchange — Exemplo

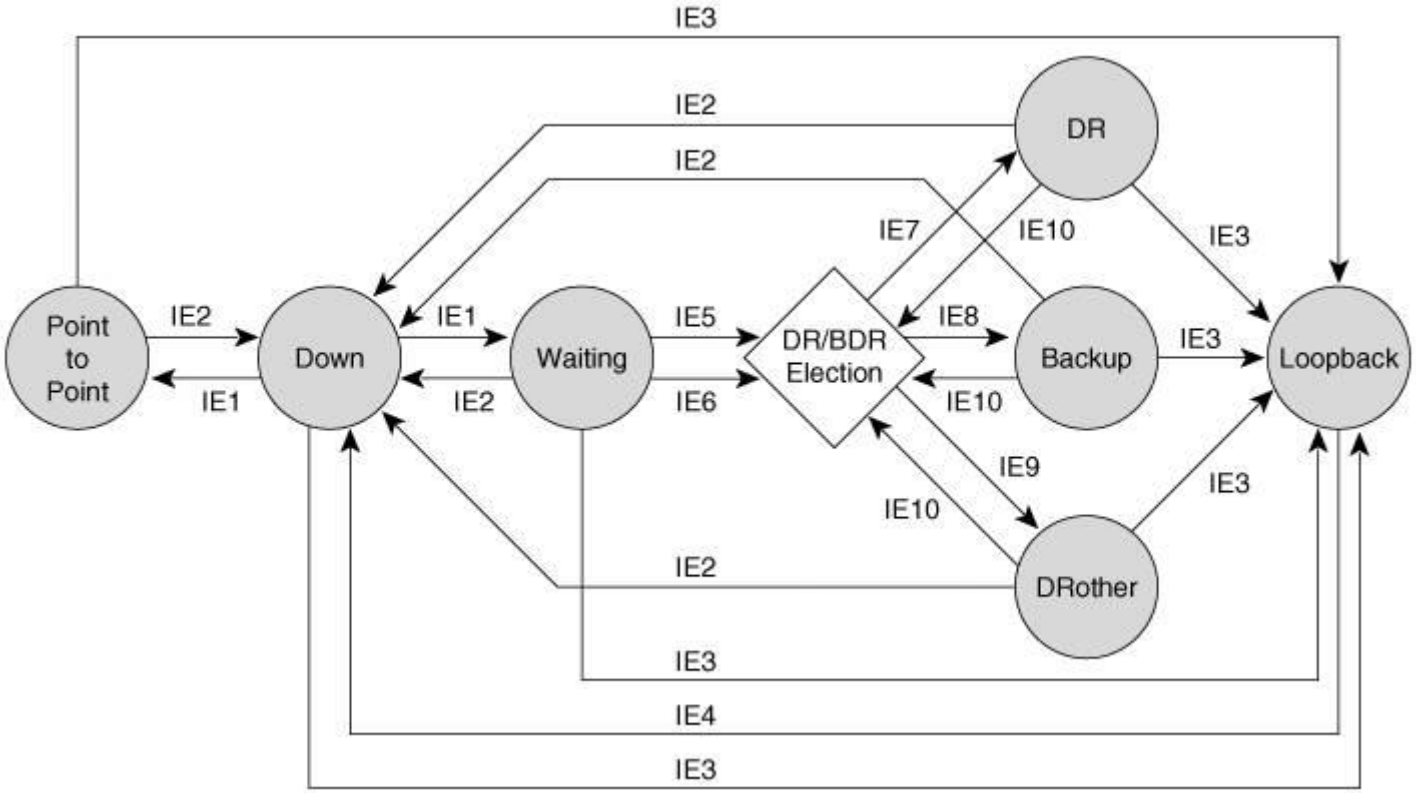


LS Request



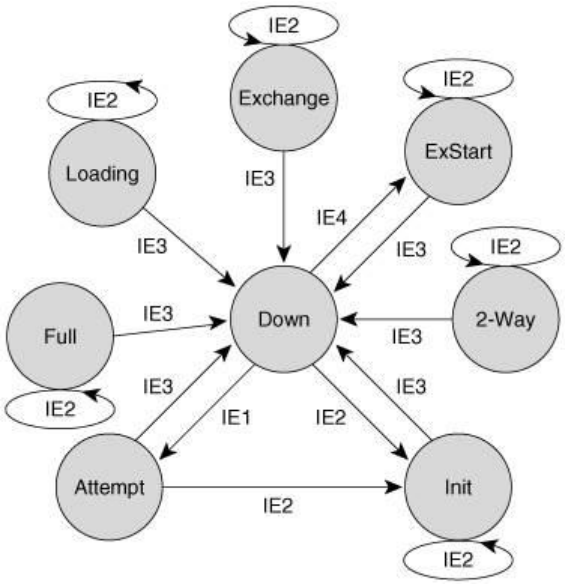
- Concluído o processo DB Exchange, se o *router* precisar de um ou mais LSA do vizinho, pede-os usando mensagens LS Request
  - Estado "Loading"
- Caso contrário, a adjacência está completa
  - Estado "Full"

Máquina de estados de uma interface

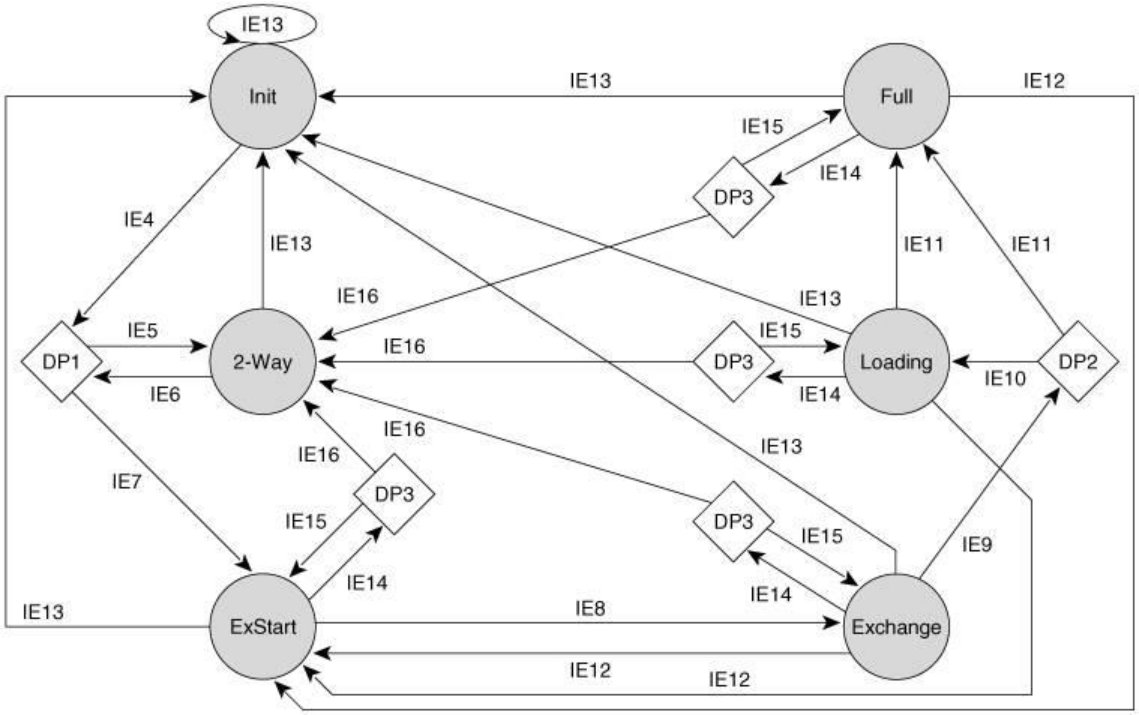


Ver lista dos eventos de transição na tabela 8-1 do livro *Routing TCP/IP*, vol.1, 2ª ed.

Máquina de estados de um vizinho



a) Transições de/para o estado Down



b) Outras transições

Ver lista dos eventos de transição e pontos de decisão nas tabelas 8-2 e 8-3 do livro *Routing TCP/IP*, vol.1, 2ª ed.

Inundação (*Flooding*)

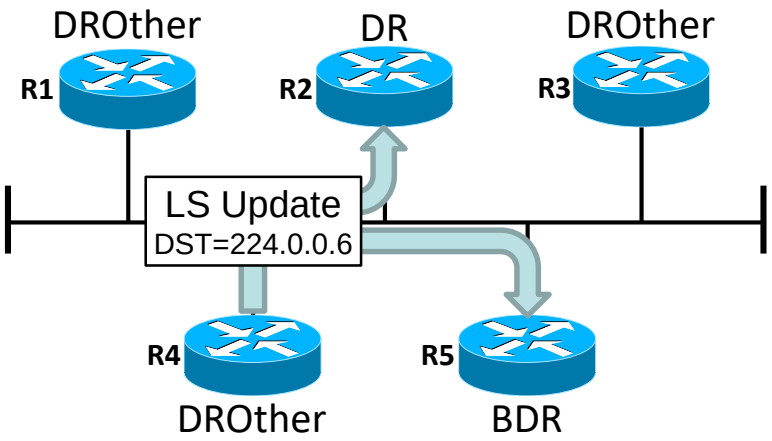
- Para o cálculo do encaminhamento ser consistente, é fundamental que as bases de dados topológicas sejam idênticas*
  - Todos os routers têm que ter o mesmo conjunto de LSA
- O processo de inundação garante que cada LSA chega a todos os *routers* da área
  - LSA enviados em mensagens *LS Update*
    - Apenas aos *routers* adjacentes
  - Inundação controlada (usando a meta-informação sobre os LSA)
  - Fiabilidade
    - Confirmações explícitas — mensagens *LS Acknowledgement*
    - Confirmações implícitas — se um *router* reenviar um LSA é porque o recebeu

*Dentro da mesma área

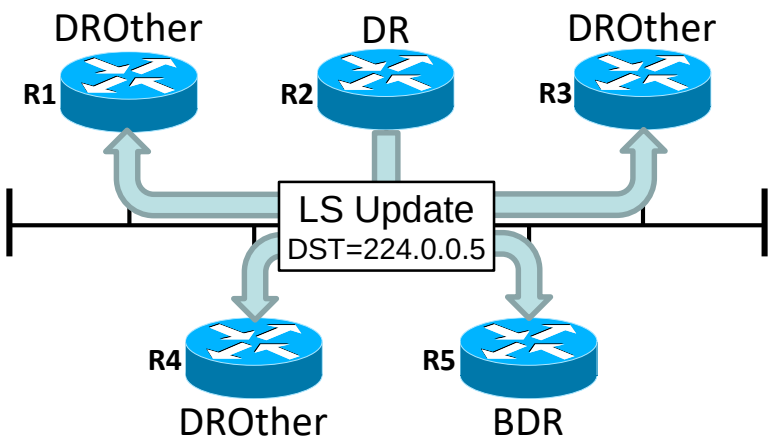
Inundação (*Flooding*)

- Cada mensagem *LS Update* pode transportar vários LSA
  - LSA são considerados independentes
- Cada mensagem *LS Acknowledgement* pode confirmar vários LSA
  - Confirmações são independentes
    - Podem confirmar LSA recebidos em *LS Updates* diferentes
    - Podem confirmar LSA recebidos de vizinhos diferentes (em redes *broadcast*)
- Em redes *broadcast* e ponto-a-ponto os *LS Update* são enviados em *multicast*
  - Para o 224.0.0.5 (DR, BDR e em ligações ponto-a-ponto)
  - Para o 224.0.0.6 (DROther)
    - DR reenvia para 224.0.0.5

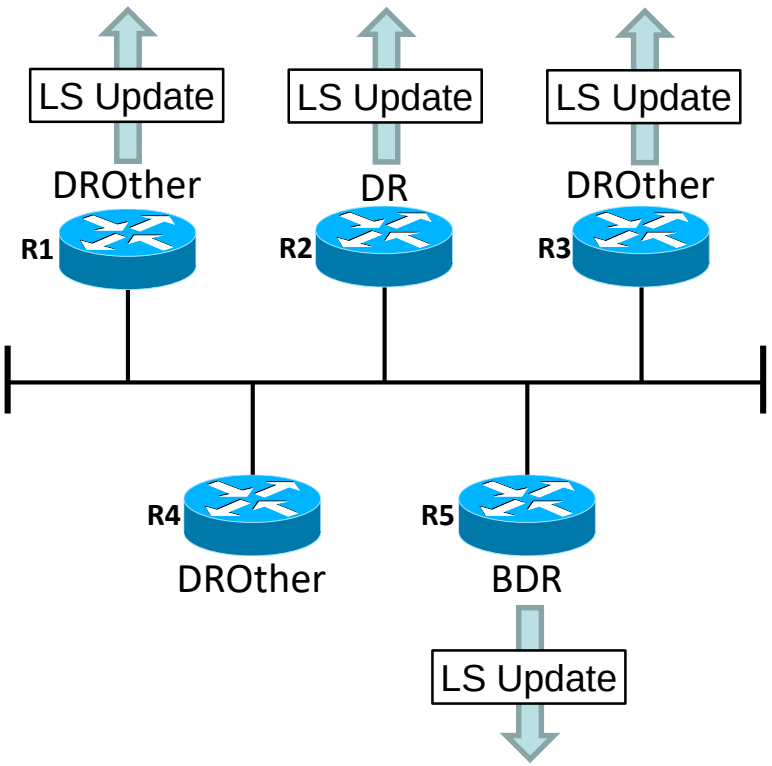
Inundação numa sub-rede *broadcast*



① R4 reenvia para o DR e o BDR um LS Update que recebeu noutra interface

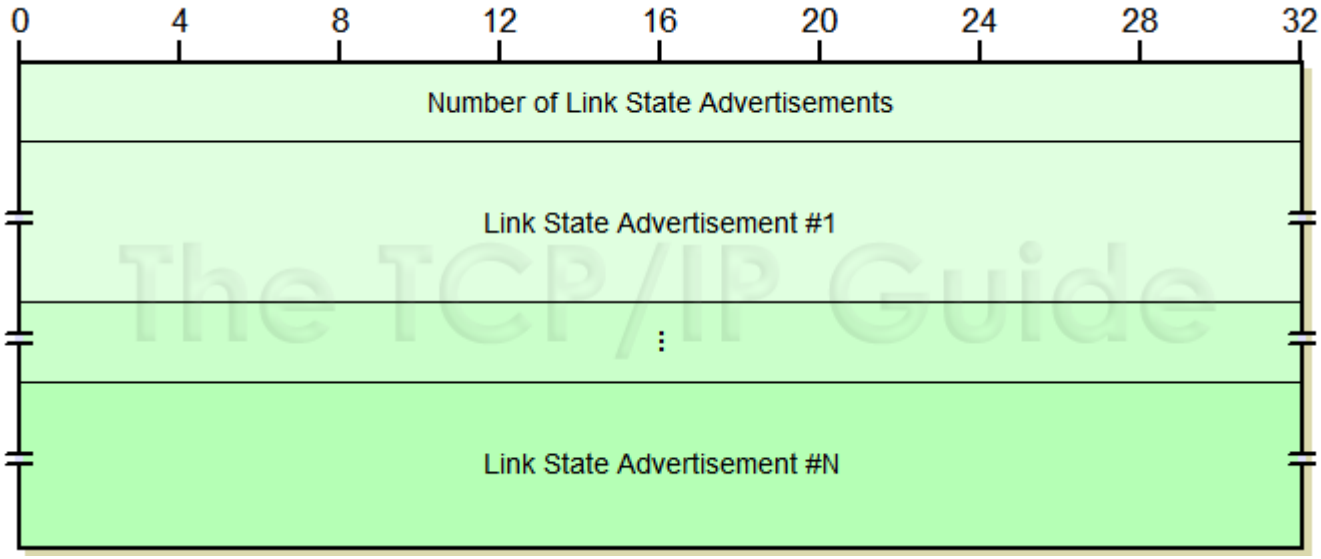


② O DR reenvia o LS Update para todos



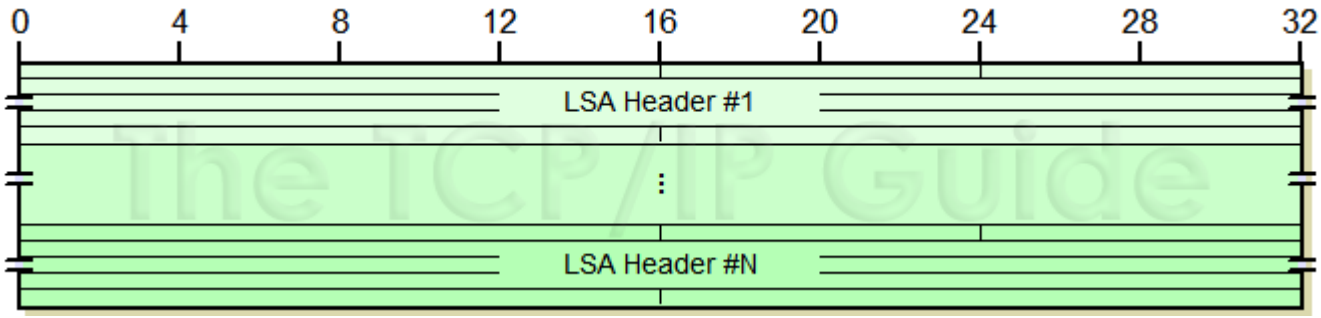
③ Todos reenviam o LS Update nas restantes interfaces

LS Update



- Cada LSA contém um LSA Header e um conjunto de campos adicionais dependentes do tipo de LSA

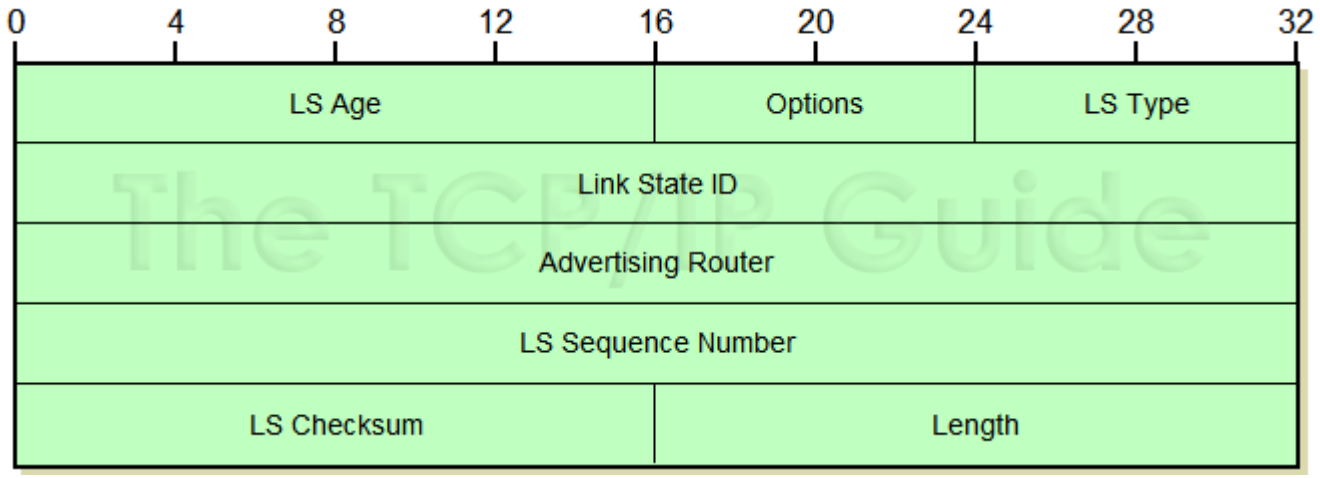
LS Acknowledge



- Conjunto de *LSA Headers* com metainformação para identificar os LSA cuja recepção se está a confirmar

LSA Header

- Cabeçalho comum a todos os tipos de LSA



Tipos de LSA

LS Type	Descrição	Link State ID
1	Router LSA	Router ID do router que gerou o LSA
2	Network LSA	Endereço IP da interface do DR nessa rede
3	Network Summary LSA	Endereço IP da rede de destino (prefixo)†
4	ASBR Summary LSA	Router ID do ASBR em questão
5	AS External LSA	Endereço IP da rede de destino (prefixo)†
6	Group Membership LSA	
7	NSSA External LSA	Endereço IP da rede de destino (prefixo)†
8	External Attributes LSA	
9	Opaque LSA (link-local scope)	
10	Opaque LSA (area-local sc.)	
11	Opaque LSA (AS scope)	

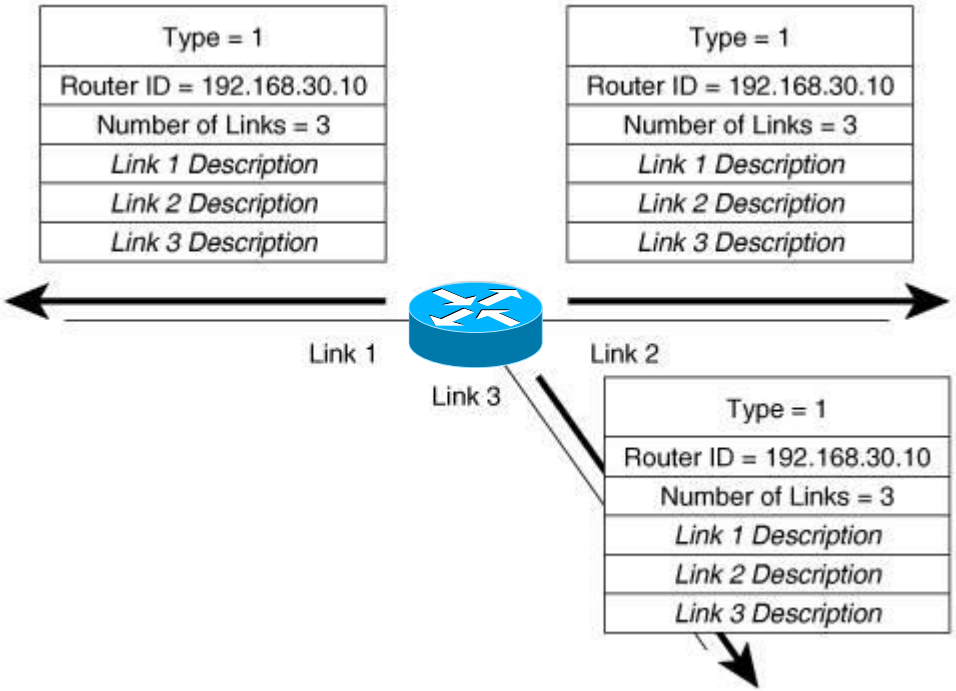
† Se existir um mesmo prefixo com diferentes máscaras (subnet zero ou supernet), podem pôr-se a 1 alguns bits da parte de host para os diferenciar.

NÃO ESQUECER

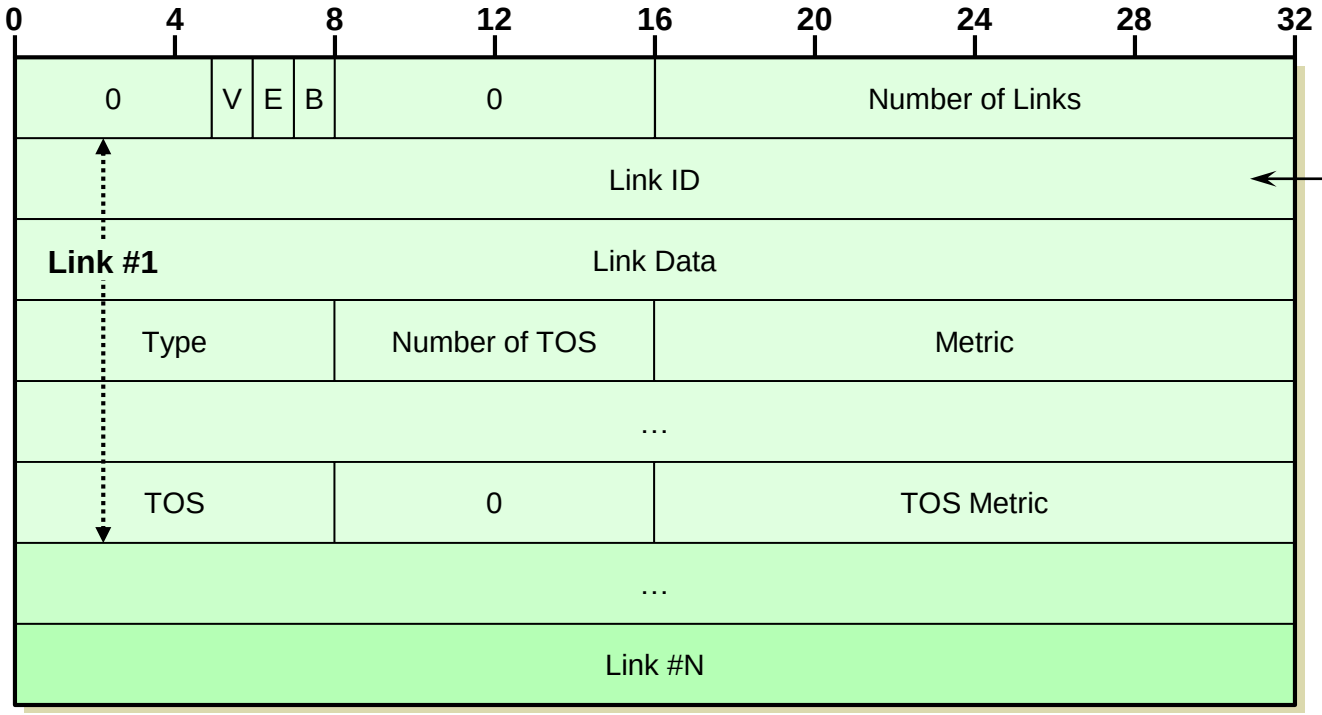
O objectivo dos LSA é possibilitar a construção de um grafo dirigido da rede para depois se poder calcular o caminho mais curto para cada destino.

Router LSA

- Serve para cada *router* se anunciar e identificar as suas ligações



Router LSA



Identifica aquilo a que o *router* se liga (prefixo de uma ligação *stub* ou Link State ID de outro LSA).

Type	Descr.	Link ID	Link Data
1	Ponto-a-ponto	Router ID do vizinho	Endereço IP do *router* nessa rede / ifIndex[1]
2	Ligação de trânsito	Endereço IP do DR nessa rede	Endereço IP do *router* nessa rede
3	Ligação *stub* (ponta)	Prefixo da rede	Máscara de rede
4	Ligação virtual	Router ID na outra "ponta" da L.V.	Endereço IP do *router*

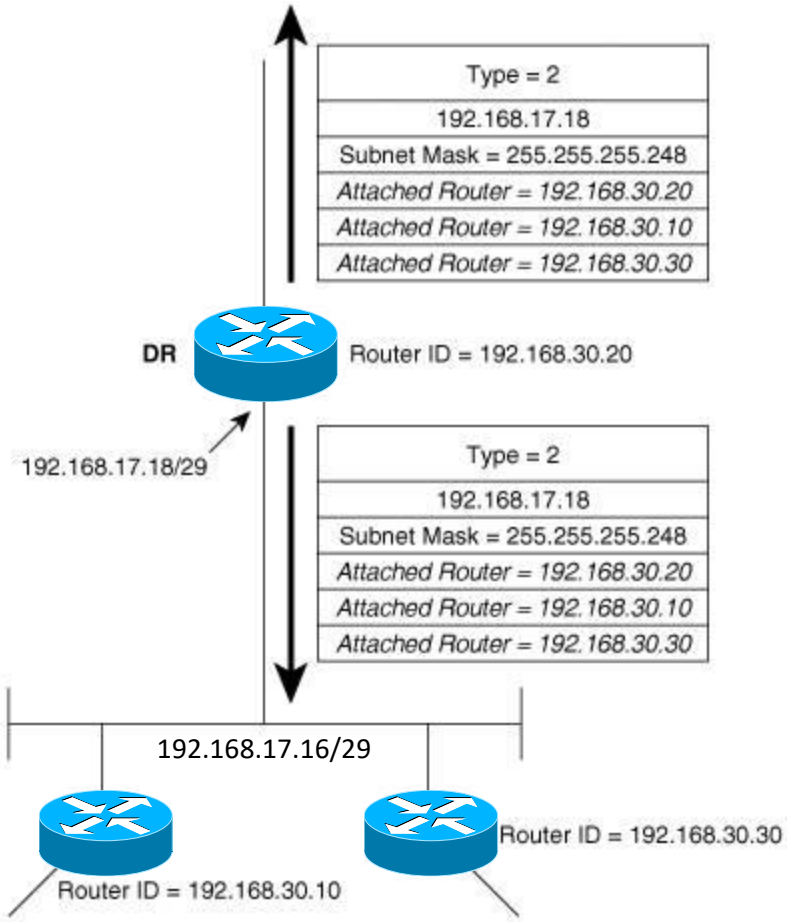
[1] MIB-II interface index, apenas em ligações ponto-a-ponto não numeradas

Router LSA

```
Router#show ip ospf database router 192.168.30.10

      OSPF Router with ID (192.168.30.50) (Process ID 1)

                    Router Link States (Area 0)

Routing Bit Set on this LSA
LS age: 680
Options: (No TOS-capability)
LS Type: Router Links
Link State ID: 192.168.30.10
Advertising Router: 192.168.30.10
LS Seq Number: 80001428
Checksum: 0x842A
Length: 60
Area Border Router
 Number of Links: 3

  Link connected to: another Router (point-to-point)
   (Link ID) Neighboring Router ID: 192.168.30.80
   (Link Data) Router Interface address: 192.168.17.9
    Number of TOS metrics: 0
     TOS 0 Metrics: 64

  Link connected to: a Stub Network
   (Link ID) Network/subnet number: 192.168.17.8
   (Link Data) Network Mask: 255.255.255.248
    Number of TOS metrics: 0
     TOS 0 Metrics: 64

  Link connected to: a Transit Network
   (Link ID) Designated Router address: 192.168.17.18
   (Link Data) Router Interface address: 192.168.17.17
    Number of TOS metrics: 0
     TOS 0 Metrics: 10
```

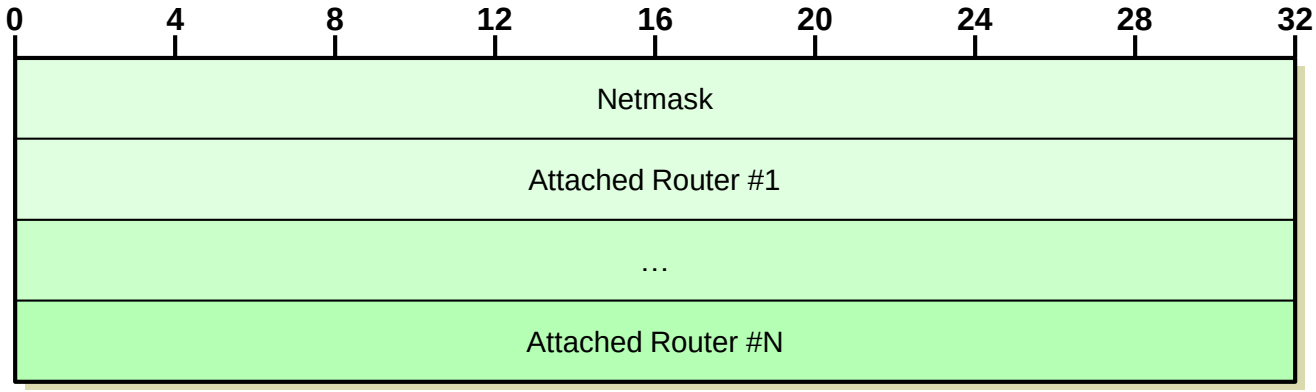
Network LSA

- Enviados pelo DR de cada rede de acesso múltiplo
- Representam o nó virtual correspondente à rede
- Inclui lista de Routers ligados (Router ID)
  - Ligações do nó virtual para os *routers*



Cf. 2º slide "Designated Routers"

Network LSA



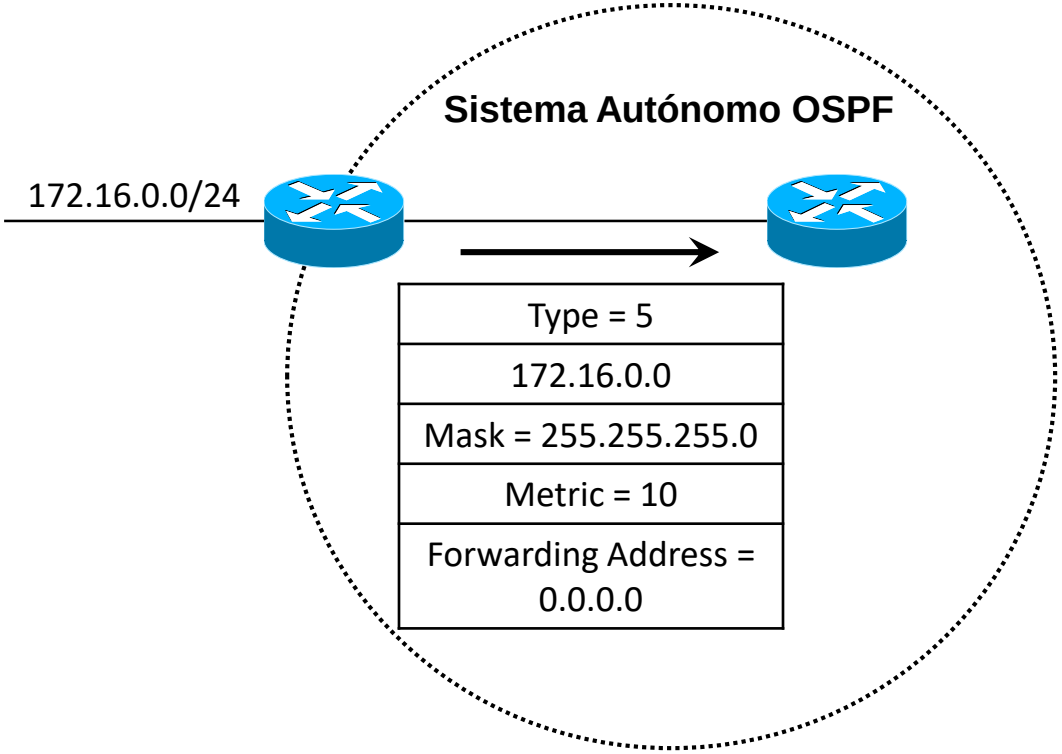
- Contém a máscara da rede de acesso múltiplo
  - Informação ausente na identificação da ligação de trânsito no Router LSA
- Sem campo para a métrica
  - Ligação do nó virtual aos *routers* tem sempre custo 0

Network LSA

```
Router#show ip ospf database network 192.168.17.18

       OSPF Router with ID (192.168.30.50) (Process ID 1)

                     Net Link States (Area 0)

Routing Bit Set on this LSA
LS age: 244
Options: (No TOS-capability)
LS Type: Network Links
Link State ID: 192.168.17.18 (address of Designated Router)
Advertising Router: 192.168.30.20
LS Seq Number: 800001BF
Checksum: 0x60AC
Length: 32
Network Mask: /29
      Attached Router: 192.168.30.20
      Attached Router: 192.168.30.10
      Attached Router: 192.168.30.30
```

AS-External LSA

- Representam destinos externos ao sistema autónomo OSPF (rotas importadas)
- Funcionam como ligações do Advertising Router (ou do Forwarding Address, se especificado)



AS-External LSA

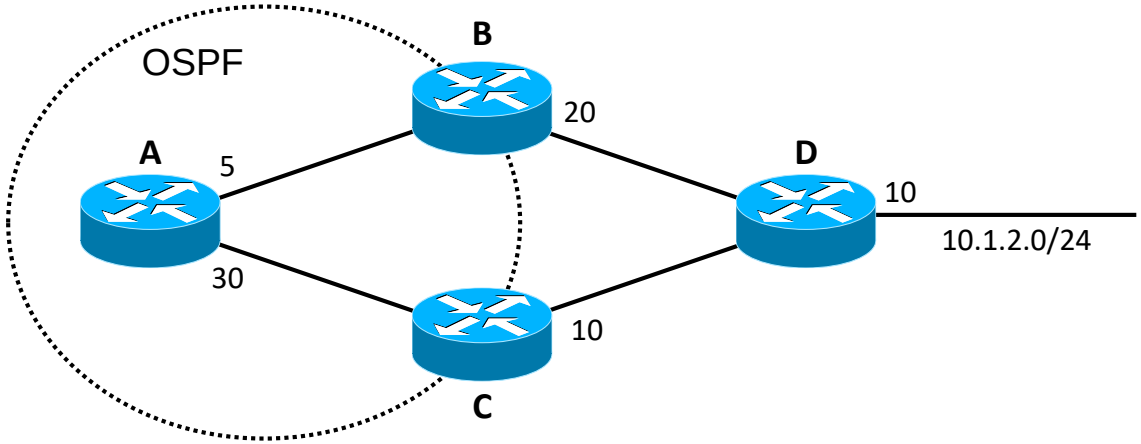
- O bit E indica se é uma rota externa de tipo 1 ou 2

AS-External LSA

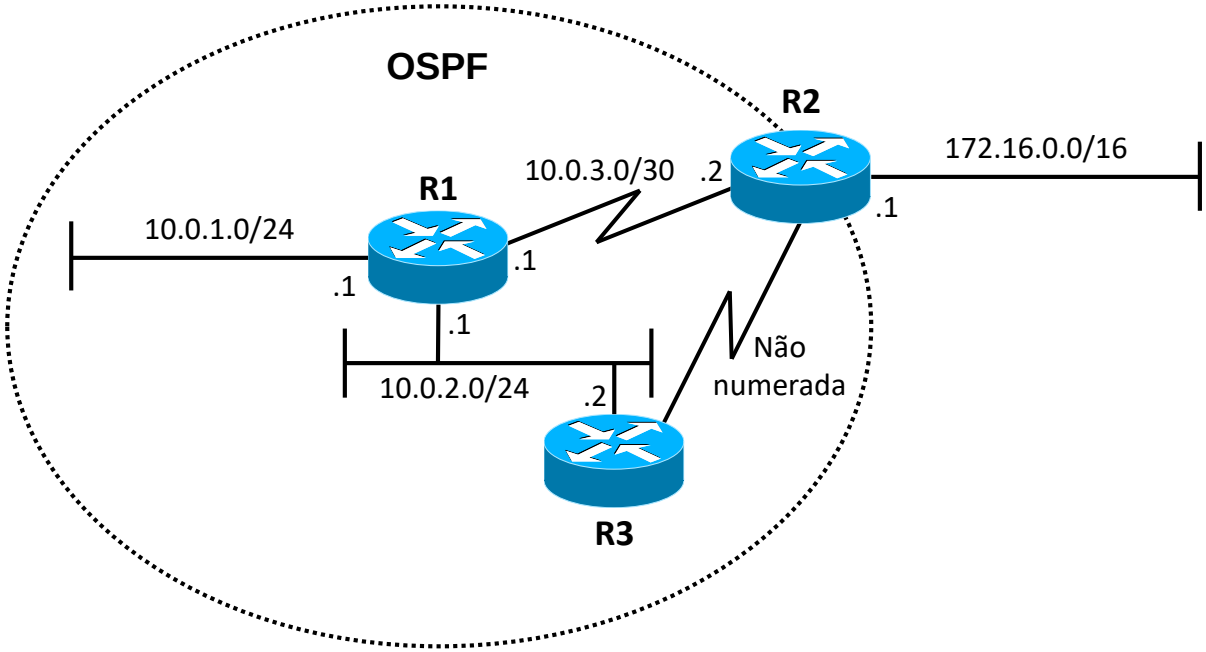
```
Router#show ip ospf database external 172.16.0.0

            OSPF Router with ID (0.0.0.1) (Process ID 1)

                Type-5 AS External Link States

  LS age: 70
  Options: (No TOS-capability, DC)
  LS Type: AS External Link
  Link State ID: 172.16.0.0 (External Network Number )
  Advertising Router: 0.0.0.1
  LS Seq Number: 80000001
  Checksum: 0x5C86
  Length: 36
  Network Mask: /24
        Metric Type: 2 (Larger than any link state path)
        TOS: 0
        Metric: 20
        Forward Address: 0.0.0.0
        External Route Tag: 0
```

Rotas externas de tipo 1 e 2

- Tipo 1: Métrica compatível com a da rede OSPF
  - Será somada ao custo do caminho interno ao correr o algoritmo SPF (Dijkstra)
- Tipo 2: Métrica incompatível com a da rede OSPF
  - O custo é apenas o importado, considerado maior do que qualquer custo OSPF
  - O custo do caminho interno só é tido em conta se a rota for importada com o mesmo custo externo por mais de um ASBR
- Encaminhamento da "batata quente" se custo externo igual (tipo 1 ou 2)
- Neste exemplo, se a rota importada para 10.1.2.0/24 for de tipo 1, A envia pacotes para essa rede por B; se for de tipo 2, envia por C.

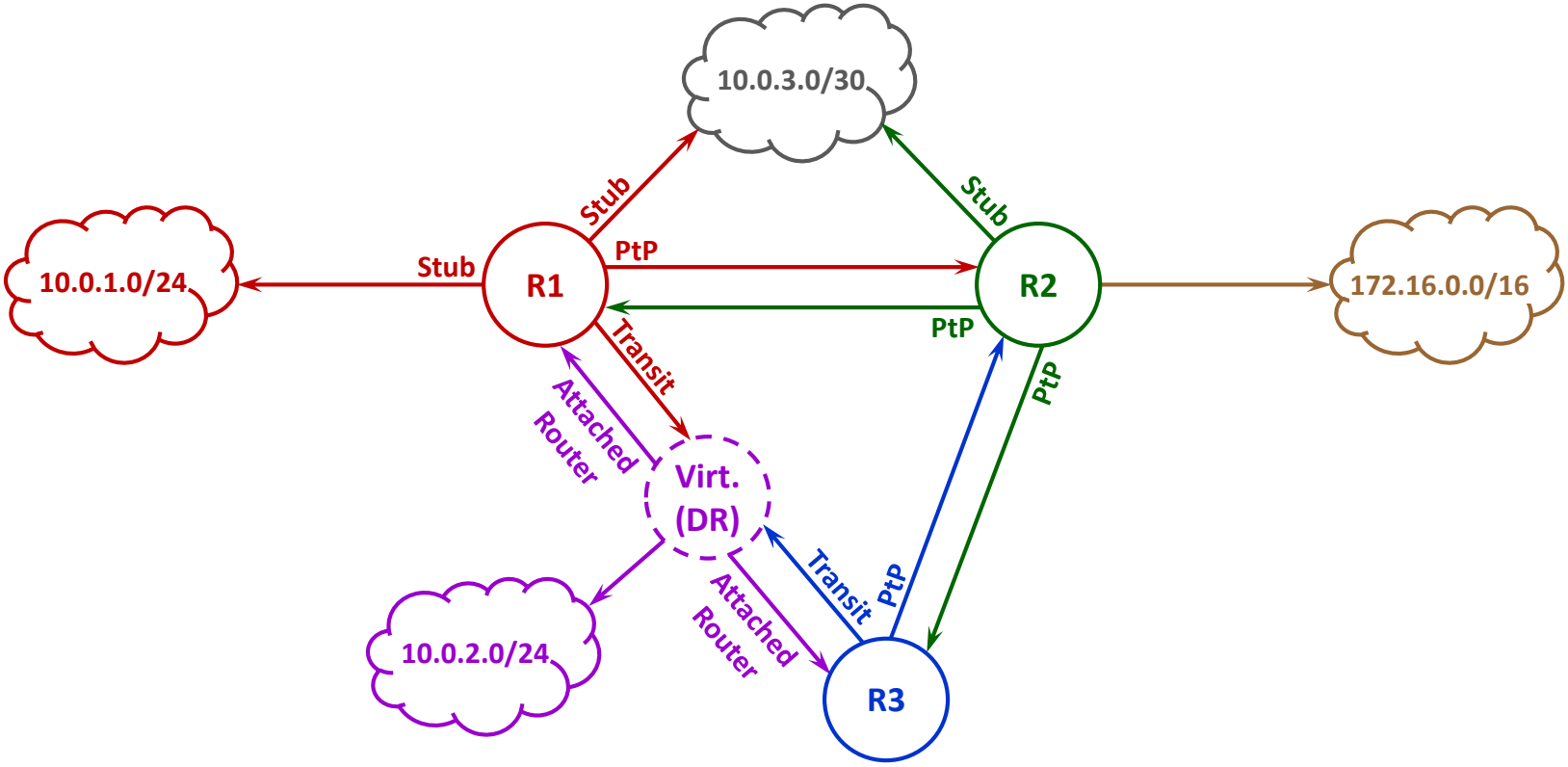


Exemplo com LSA de tipo 1, 2 e 5



Cada router R*n* configurado com ID 0.0.0.*n*

Exemplo com LSA de tipo 1, 2 e 5



Router LSA anunciado por R1

Router LSA anunciado por R2

Router LSA anunciado por R3

10.0.3.0/30 anunciada nos Router LSA de R1 e R2

Network LSA anunciado pelo DR da 10.0.2.0/24

AS-External LSA anunciado por R2

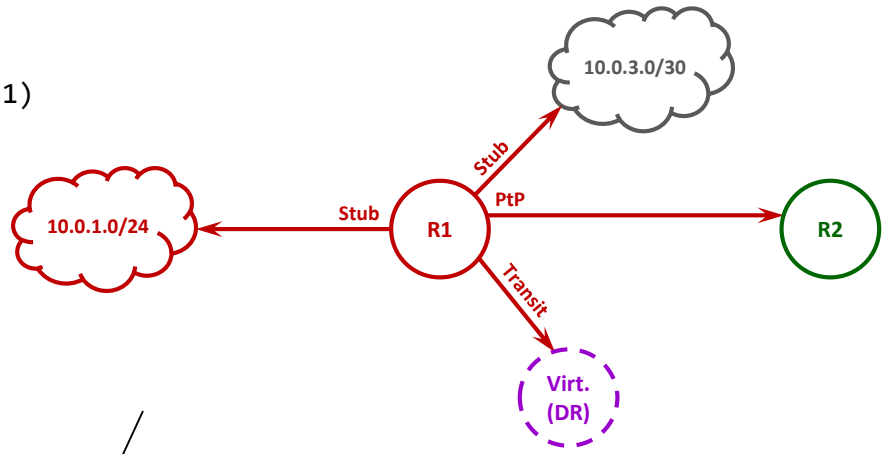
NOTA: Uma ligação ponto-a-ponto numerada aparece como uma ligação PtP mais uma Stub à sub-rede correspondente

Exemplo — Resumo dos LSA

```
R3#show ip ospf database

            OSPF Router with ID (0.0.0.3) (Process ID 1)

                Router Link States (Area 0)

Link ID         ADV Router      Age         Seq#       Checksum Link count
0.0.0.1         0.0.0.1         56          0x80000002 0x008AB5 4
0.0.0.2         0.0.0.2         52          0x80000003 0x0035F4 3
0.0.0.3         0.0.0.3         51          0x80000003 0x006651 2

                Net Link States (Area 0)

Link ID         ADV Router      Age         Seq#       Checksum
10.0.2.2        0.0.0.3         56          0x80000001 0x000D18

                Type-5 AS External Link States

Link ID         ADV Router      Age         Seq#       Checksum Tag
172.16.0.0      0.0.0.2         66          0x80000001 0x00568B 0
```

Exemplo — Router LSA de R1

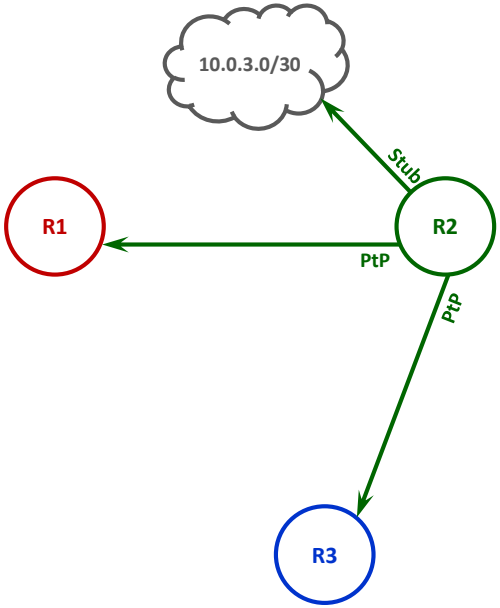
```
R3#show ip ospf database router 0.0.0.1

            OSPF Router with ID (0.0.0.3) (Process ID 1)

                Router Link States (Area 0)

  LS age: 108
  Options: (No TOS-capability, DC)
  LS Type: Router Links
  Link State ID: 0.0.0.1
  Advertising Router: 0.0.0.1
  LS Seq Number: 80000002
  Checksum: 0x8AB5
  Length: 72
  Number of Links: 4

    Link connected to: another Router (point-to-point)
     (Link ID) Neighboring Router ID: 0.0.0.2
     (Link Data) Router Interface address: 10.0.3.1
      Number of TOS metrics: 0
       TOS 0 Metrics: 64

    Link connected to: a Stub Network
     (Link ID) Network/subnet number: 10.0.3.0
     (Link Data) Network Mask: 255.255.255.252
      Number of TOS metrics: 0
       TOS 0 Metrics: 64
```




```
    Link connected to: a Transit Network
     (Link ID) Designated Router address: 10.0.2.2
     (Link Data) Router Interface address: 10.0.2.1
      Number of TOS metrics: 0
       TOS 0 Metrics: 1

    Link connected to: a Stub Network
     (Link ID) Network/subnet number: 10.0.1.0
     (Link Data) Network Mask: 255.255.255.0
      Number of TOS metrics: 0
       TOS 0 Metrics: 1
```

Exemplo — Router LSA de R2

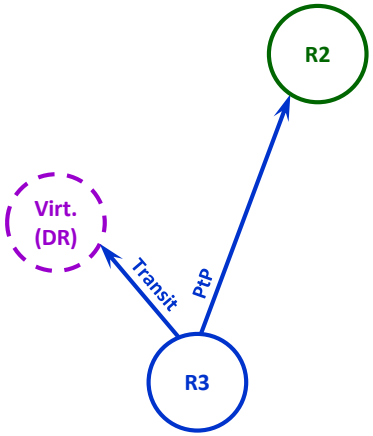
```
R3#show ip ospf database router 0.0.0.2

            OSPF Router with ID (0.0.0.3) (Process ID 1)

                Router Link States (Area 0)

  Routing Bit Set on this LSA
  LS age: 175
  Options: (No TOS-capability, DC)
  LS Type: Router Links
  Link State ID: 0.0.0.2
  Advertising Router: 0.0.0.2
  LS Seq Number: 80000003
  Checksum: 0x35F4
  Length: 60
  AS Boundary Router
  Number of Links: 3

    Link connected to: another Router (point-to-point)
     (Link ID) Neighboring Router ID: 0.0.0.3
     (Link Data) Router Interface address: 0.0.0.7
      Number of TOS metrics: 0
       TOS 0 Metrics: 64

    Link connected to: another Router (point-to-point)
     (Link ID) Neighboring Router ID: 0.0.0.1
     (Link Data) Router Interface address: 10.0.3.2
      Number of TOS metrics: 0
       TOS 0 Metrics: 64
```




```
Link connected to: a Stub Network
 (Link ID) Network/subnet number: 10.0.3.0
 (Link Data) Network Mask: 255.255.255.252
  Number of TOS metrics: 0
   TOS 0 Metrics: 64
```

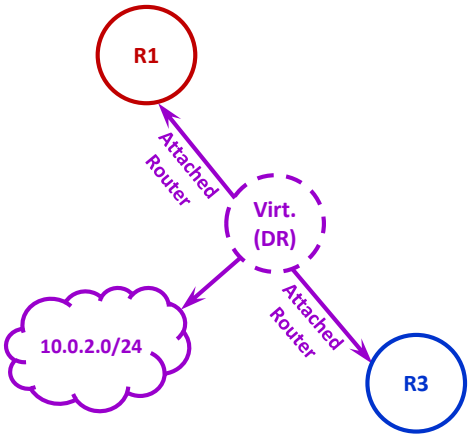
Exemplo — Router LSA de R3

```
R3#show ip ospf database router 0.0.0.3

            OSPF Router with ID (0.0.0.3) (Process ID 1)

                Router Link States (Area 0)

  LS age: 224
  Options: (No TOS-capability, DC)
  LS Type: Router Links
  Link State ID: 0.0.0.3
  Advertising Router: 0.0.0.3
  LS Seq Number: 80000003
  Checksum: 0x6651
  Length: 48
  Number of Links: 2

    Link connected to: another Router (point-to-point)
     (Link ID) Neighboring Router ID: 0.0.0.2
     (Link Data) Router Interface address: 0.0.0.7
      Number of TOS metrics: 0
       TOS 0 Metrics: 64

    Link connected to: a Transit Network
     (Link ID) Designated Router address: 10.0.2.2
     (Link Data) Router Interface address: 10.0.2.2
      Number of TOS metrics: 0
       TOS 0 Metrics: 1
```



Exemplo — Network LSA

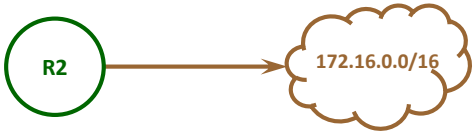
```
R3#show ip ospf database network 10.0.2.2

            OSPF Router with ID (0.0.0.3) (Process ID 1)

                Net Link States (Area 0)

  Routing Bit Set on this LSA
  LS age: 253
  Options: (No TOS-capability, DC)
  LS Type: Network Links
  Link State ID: 10.0.2.2 (address of Designated Router)
  Advertising Router: 0.0.0.3
  LS Seq Number: 80000001
  Checksum: 0xD18
  Length: 32
  Network Mask: /24
        Attached Router: 0.0.0.3
        Attached Router: 0.0.0.1
```



NOTA: Aplicando a máscara ao endereço do DR na sub-rede (Link State ID) obtém-se o prefixo dessa sub-rede

Exemplo — AS-External LSA

```
R3#show ip ospf database external 172.16.0.0

            OSPF Router with ID (0.0.0.3) (Process ID 1)

                Type-5 AS External Link States

  Routing Bit Set on this LSA
  LS age: 316
  Options: (No TOS-capability, DC)
  LS Type: AS External Link
  Link State ID: 172.16.0.0 (External Network Number )
  Advertising Router: 0.0.0.2
  LS Seq Number: 80000001
  Checksum: 0x568B
  Length: 36
  Network Mask: /16
        Metric Type: 2 (Larger than any link state path)
        TOS: 0
        Metric: 20
        Forward Address: 0.0.0.0
        External Route Tag: 0
```



Exemplo — Configuração de R2

```
interface FastEthernet1/0
 ip address 172.16.0.1 255.255.0.0
 no shutdown
!
interface Serial2/0
 ip address 10.0.3.2 255.255.255.252
 no shutdown
!
interface Serial2/1
 ip unnumbered Serial2/0
 no shutdown
!
router ospf 1
 router-id 0.0.0.2
 redistribute connected subnets
 network 10.0.0.0 0.255.255.255 area 0
```

Interface não numerada com IP "emprestado" da s2/0

Identificador do processo OSPF (número arbitrário)

Importação de rotas (redes directamente ligadas, incluindo subnets)

Wildcard mask — inverso bit-a-bit de uma netmask

- Os bits a 0 devem ser iguais aos do prefixo indicado
- Os bits a 1 são irrelevantes
- Neste caso, participam no OSPF todas as interfaces cujo endereço IP seja 10.x.y.z

Notas sobre a configuração

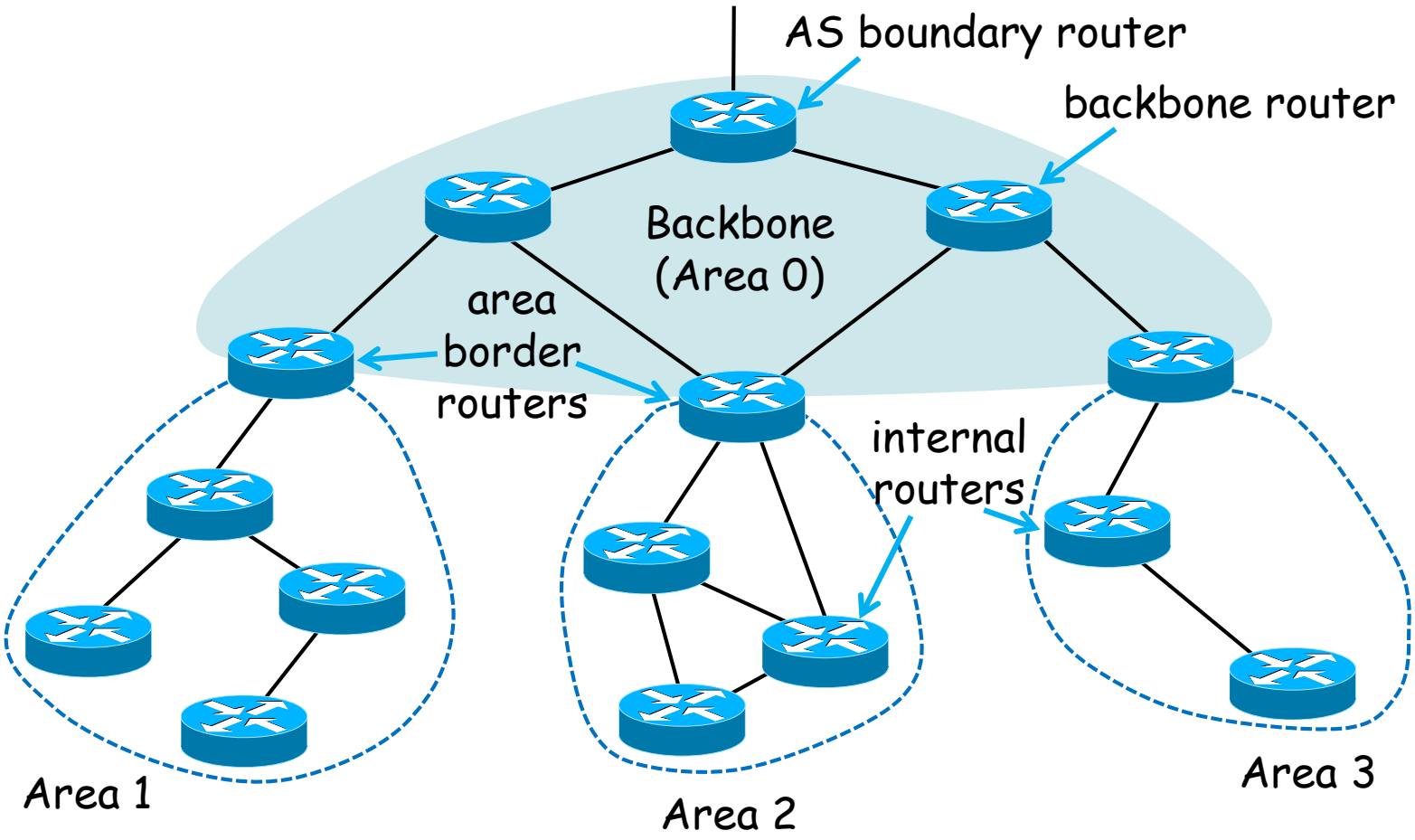
- O identificador de processo OSPF possibilita que um *router* pertença a mais de um sistema autónomo OSPF
  - É interno a cada router, pelo que pode ter qualquer valor
  - Contudo, é mais fácil para o administrador usar o mesmo valor em todos os *routers* do sistema autónomo
- Em vez de configurar o Router ID directamente, pode ser útil configurá-lo através de uma interface *loopback*
  - No Cisco IOS, as ligações ponto-a-ponto não numeradas usam um IP "emprestado" de outra interface, que deve estar activa
  - As interfaces de *loopback* não falham ☺
  - Não permitem usar como Router ID endereços inválidos como 0.0.0.1 ☹

```
interface loopback 0
 ip address 10.0.0.1 255.255.255.255
```

OSPF Hierárquico

- Problemas de escalabilidade para redes de muito grandes dimensões (centenas ou milhares de *routers*)
- Uso de informação topológica detalhada é penalizador
  - Consumo de memória
  - Uso de CPU
  - Tráfego para inundação
- OSPF evita esses problemas usando áreas
  - Informação topológica detalhada apenas dentro de cada área
  - Informação sumária sobre destinos noutras áreas
    - Como se estivessem directamente ligados ao ABR (com um custo igual ao custo do caminho do ABR até cada destino)
  - Hierarquia de dois níveis: área 0 (*backbone*) faz interligação das restantes áreas

Áreas no OSPF



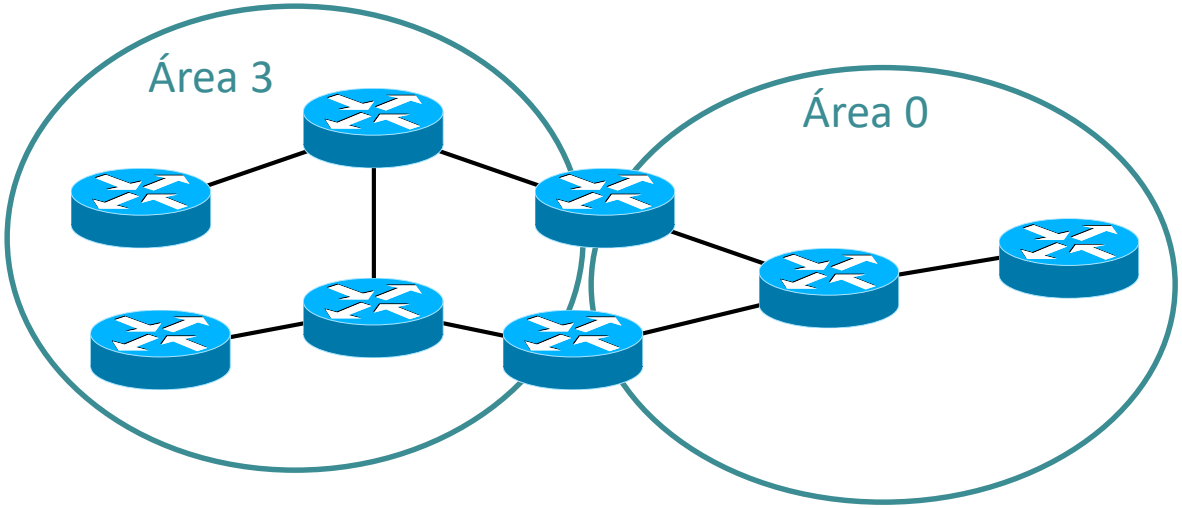
RFC 2328

Tipos de *router* OSPF

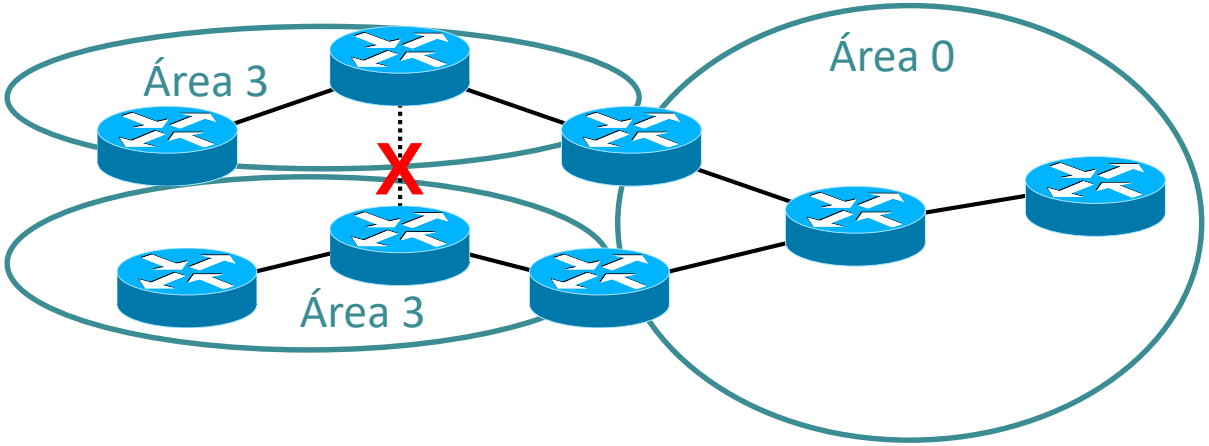
- Router interno
  - Todas as interfaces na mesma área
  - Apenas uma BD topológica
- Router de *backbone*
  - Têm pelo menos uma interface na área 0 *(backbone)*
- Area Border Router (ABR)
  - Interliga uma ou mais áreas ao *backbone*
  - Mantém BDs topológicas distintas para cada área (incluindo a 0)
  - Injecta numa área informação sumarizada das restantes
  - Routers com interfaces em mais de uma área mas não no *backbone* **não são** ABR (funcionam como internos em cada uma das áreas)
- Autonomous System Boundary Router (ASBR)
  - Injecta informação recebida de outros protocolos de encaminhamento (rotas importadas)
  - Pode estar no *backbone* ou noutra área (excepto áreas *stub*†)

†Não confundir *área stub* (área onde não são injectadas rotas externas) com *ligação stub*

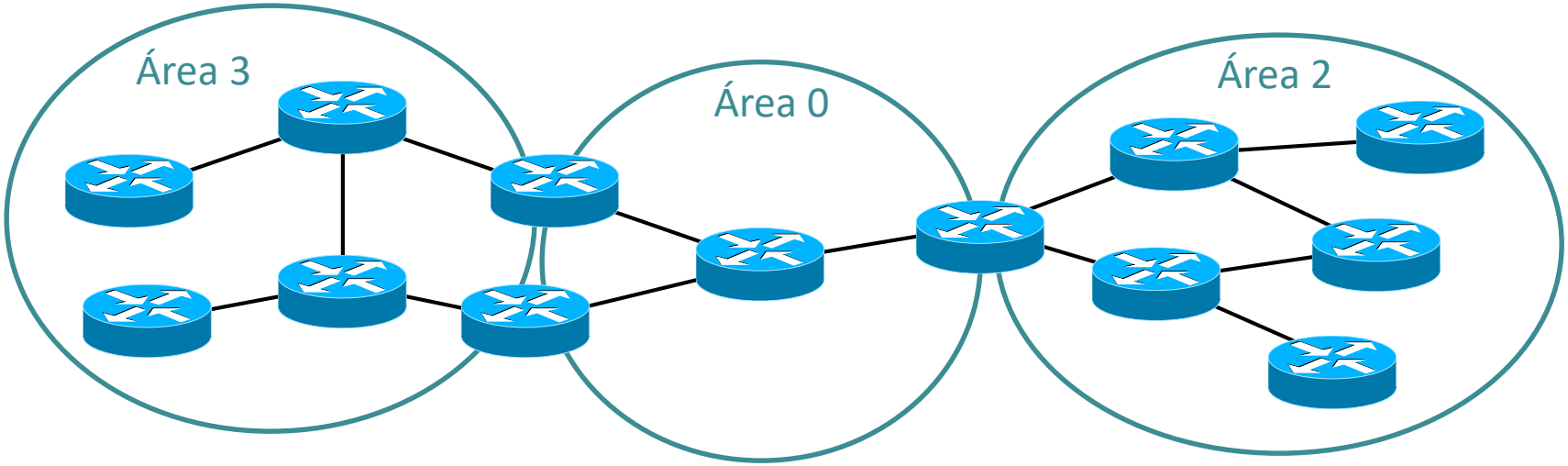
Partição numa área ≠ 0



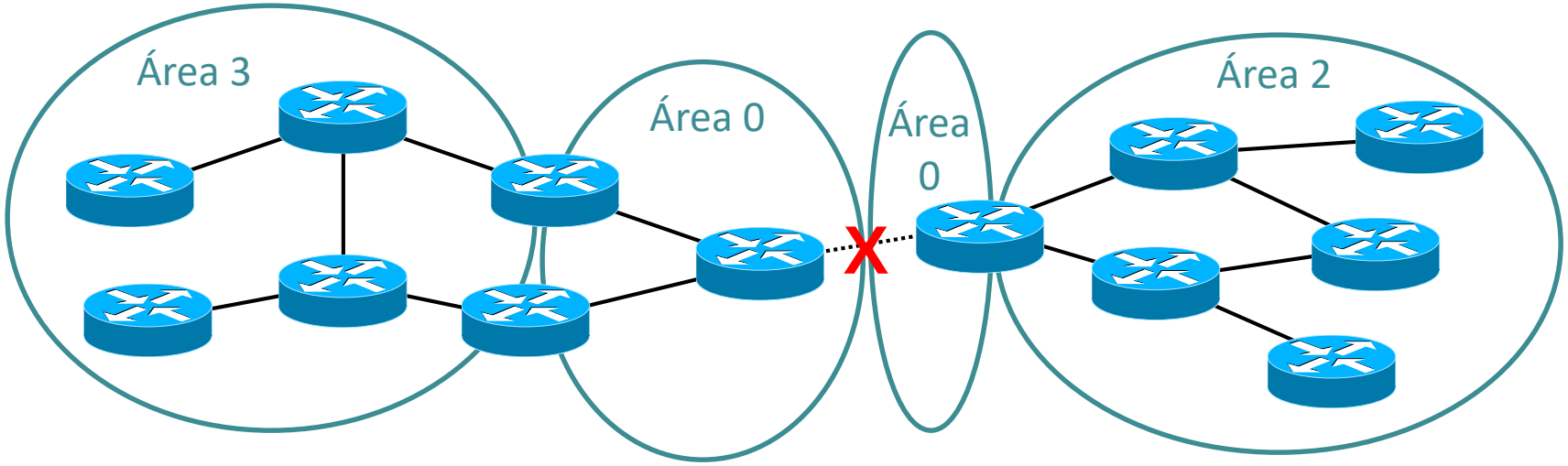
Se a ligação se quebrar, área 3 passa a funcionar como 2 áreas independentes:



Partição na área de backbone

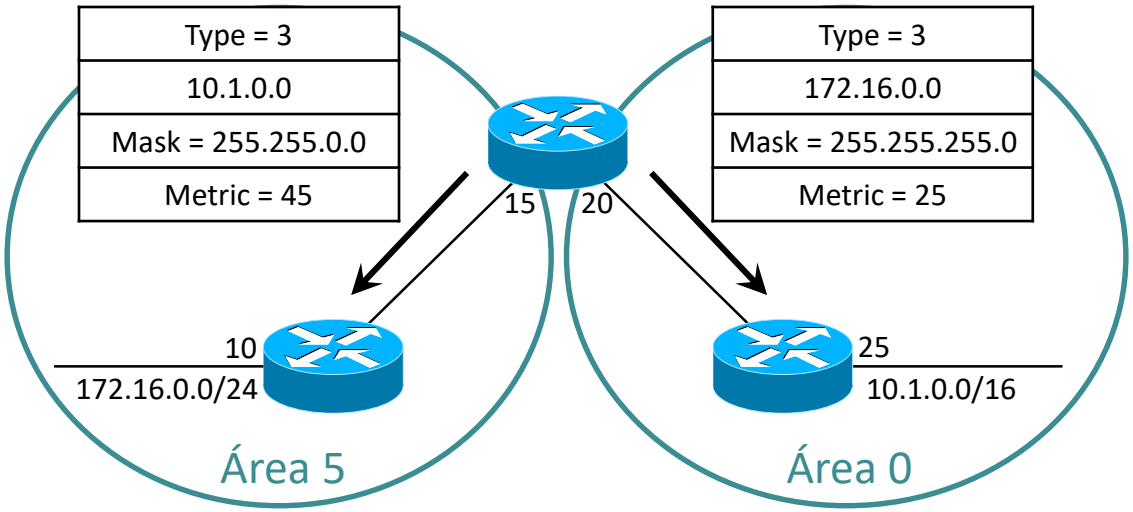


Se a ligação se quebrar, passa a funcionar como dois sistemas autónomos:

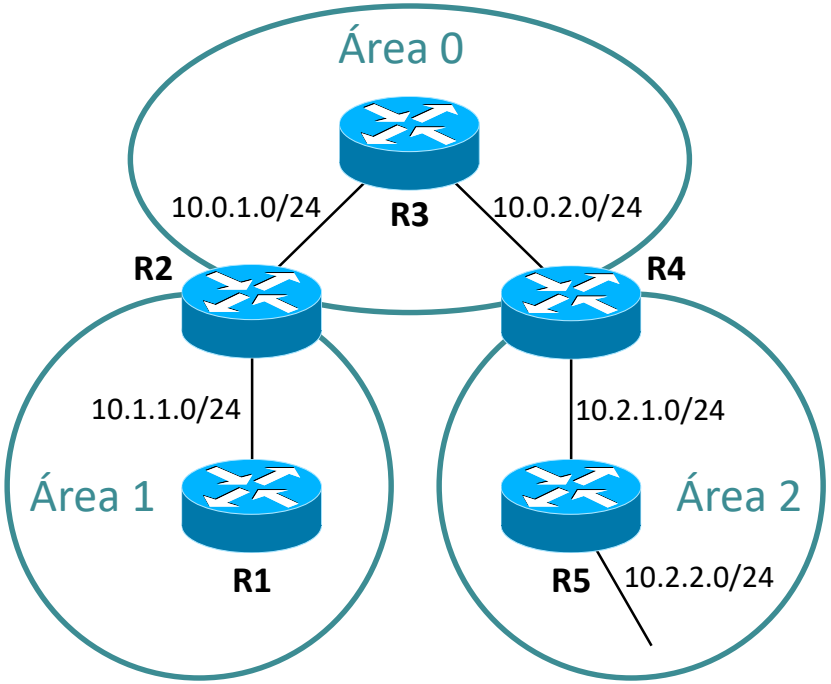


Network Summary LSA

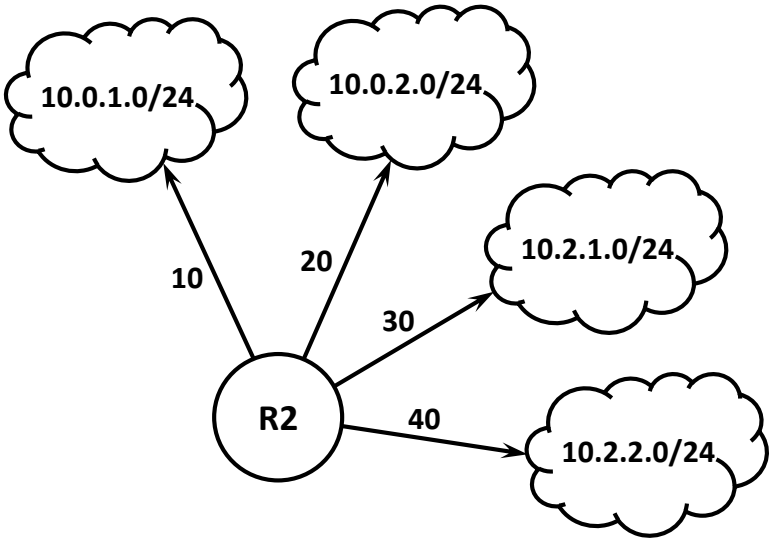
- Injectados pelo ABR numa área para anunciar destinos de outras
- Em termos do grafo, é como se esses destinos fossem redes às quais o ABR está directamente ligado
  - Com um custo associado igual ao custo (composto) para chegar do ABR a esses destinos



Network Summary LSA



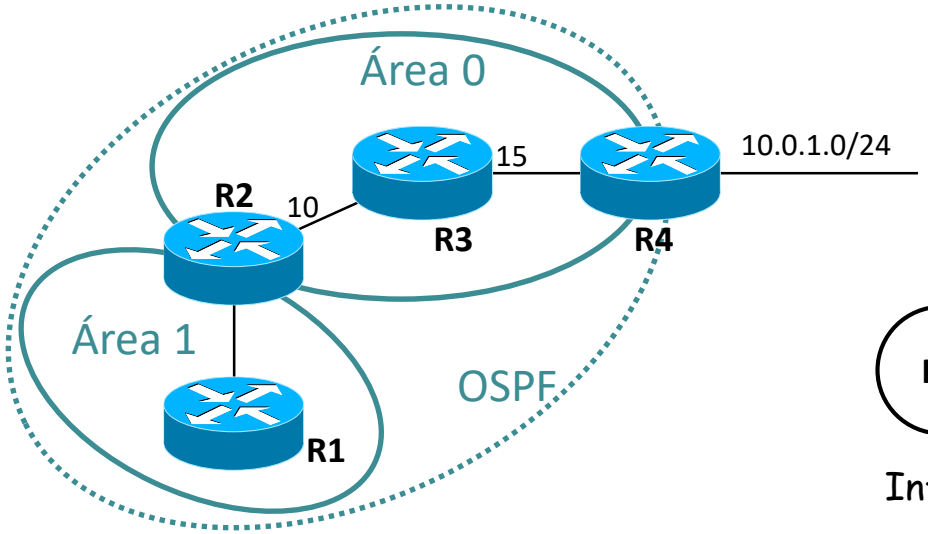
Rede OSPF multi-área
Todas as interfaces têm custo 10

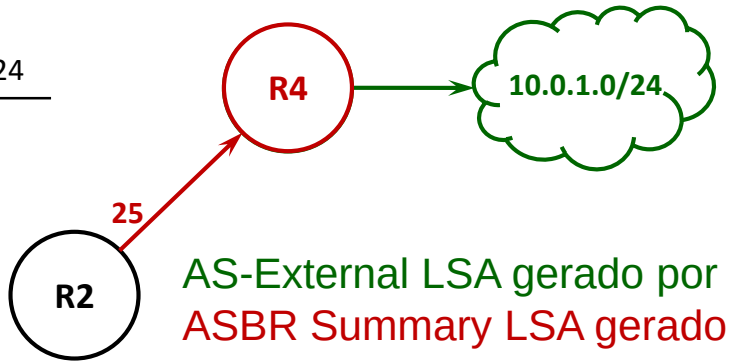


Significado (em termos do grafo) dos Network Summary LSA enviados por R2 a R1

ASBR Summary LSA

- Os AS-External LSA são passados entre áreas pelos ABR
- Contudo, fora da área do ASBR que os gerou, esse ASBR não é conhecido
  - Os Network Summary LSA informam sobre destinos, não *routers*
- Os ASBR Summary LSA permitem tornar o grafo conexo
  - Sem eles, os destinos importados por ASBR fora da própria área seriam conhecidos mas inatingíveis

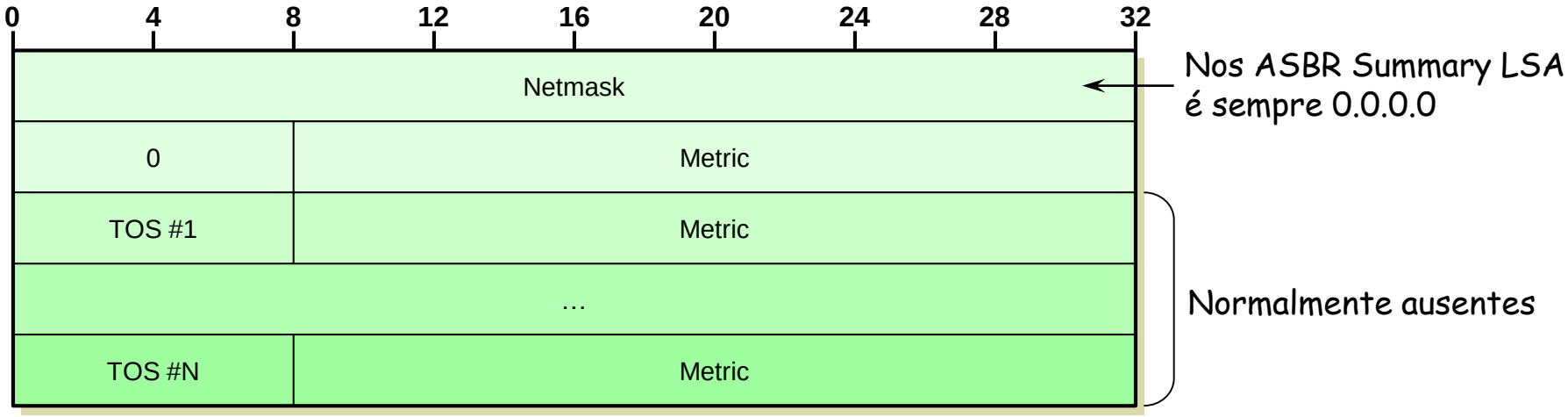




AS-External LSA gerado por R4
ASBR Summary LSA gerado por R2

Informação vista na área 1 sobre a rota importada

Network/ASBR Summary LSA



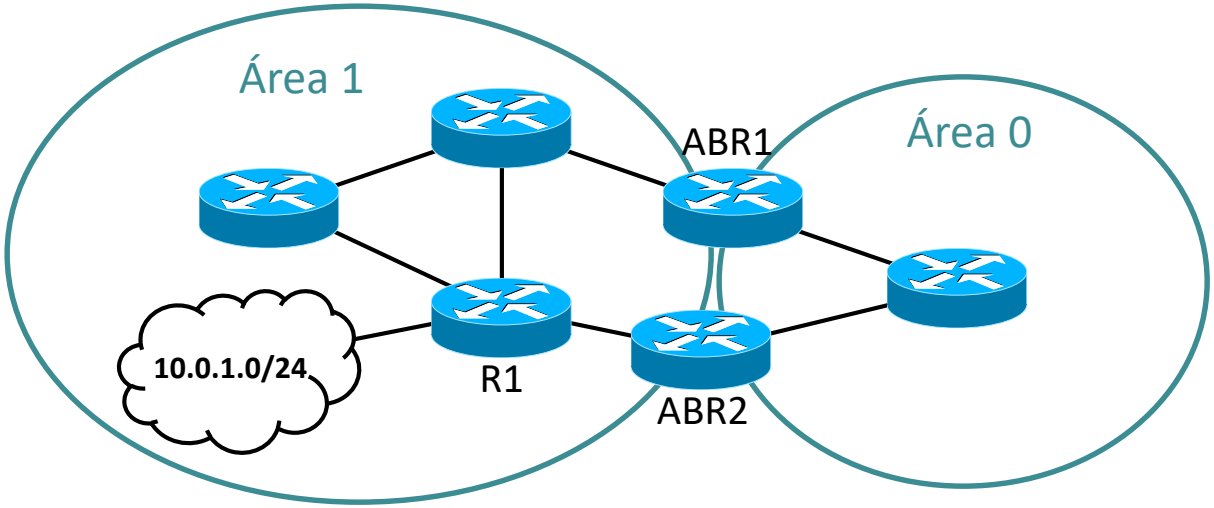
- Formato igual para os LSA de tipo 3 (Network Summary) e de tipo 4 (ASBR Summary)

Áreas, encaminhamento e reenvio

- A organização em áreas aplica-se apenas ao encaminhamento (processo de estabelecimento de rotas)
  - Plano de controlo
- O reenvio de pacotes é feito com base nas tabelas de encaminhamento estabelecidas
  - Plano de dados
- No reenvio de pacotes as áreas não são usadas
  - Excepto na medida em que influenciaram a tabela de encaminhamento
  - Para o reenvio de pacotes, uma rota obtida por OSPF não é diferente de uma obtida por RIP ou de uma estática
    - Diferem apenas na distância administrativa

Preferência de rotas

- É possível um *router* receber informação sobre um mesmo destino de diferentes formas



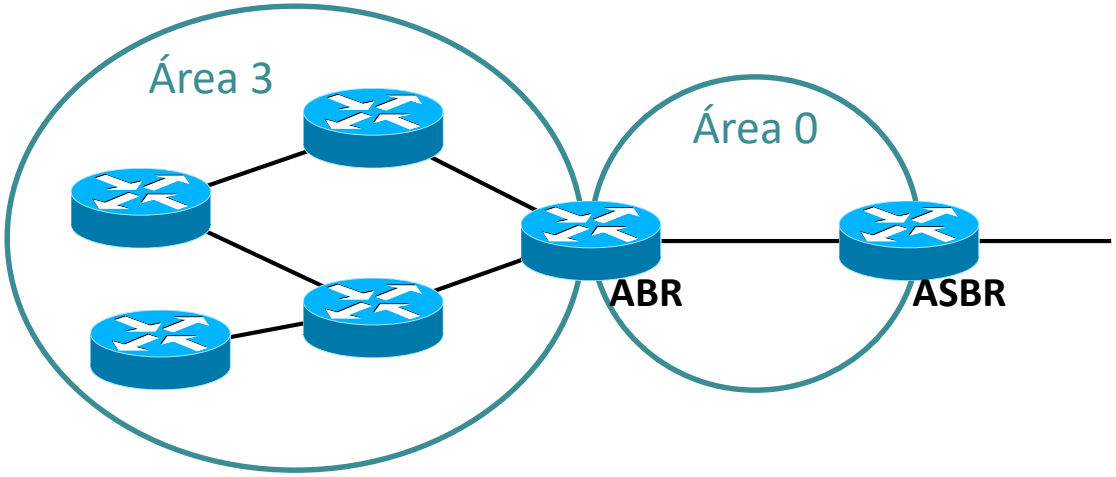
- No exemplo, cada ABR conhece 10.0.1.0/24 de duas formas
  - Ligação *stub* de R1 na área 1 (anúncio intra-área)
  - Sumário injectado pelo outro ABR na área 0 (anúncio inter-área)
- A rota intra-área é sempre preferida à inter-área
  - Mesmo que tenha um custo maior

Preferência de rotas

- Ordem de preferência para escolha de rotas no OSPF:
  1. Rotas intra-área
  2. Rotas inter-área (sumários)
  3. Rotas externas de tipo 1
  4. Rotas externas de tipo 2
- Ordem de preferência é independente do custo
  - Para um mesmo destino, é preferida uma rota intra-área com custo maior a uma inter-área com custo menor
- Preferência afecta apenas o plano de controlo
  - Instalação de rotas na tabela de encaminhamento
- No reenvio de pacotes (plano de dados) é usada a tabela de encaminhamento com encaixe de prefixo mais longo
  - Independentemente de como as entradas da tabela foram obtidas

Áreas stub

- Frequentemente os destinos externos ao sistema autónomo são muitos mais do que os internos
- Os ASBR geram um AS-External LSA para cada rota importada
- Estes LSA são propagados a todo sistema autónomo OSPF
- Nalguns casos, isto é completamente desnecessário



- Na área 3, o caminho para qualquer destino externo tem que passar pelo ABR ➔ uma rota padrão seria suficiente

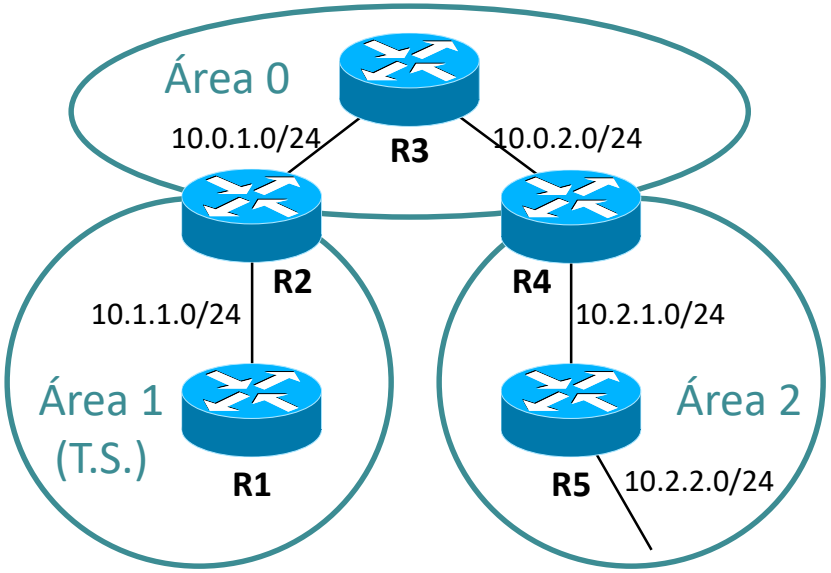
Áreas stub

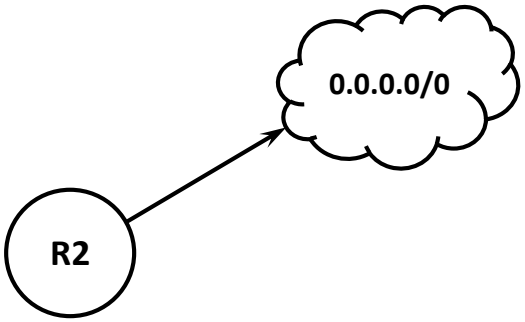
- O OSPF permite configurar áreas *stub*†, nas quais
  - Os AS-External LSA não são propagados
    - Consequentemente, os ASBR Summary LSA também não
  - É injectada uma rota padrão por um ou mais ABR
- Poupa-se
  - Espaço na base de dados topológica
  - Tempo de CPU (inundação, cálculo dos caminhos mais curtos)
  - Tráfego de encaminhamento (inundação dos LSA)
- Configuração como área *stub* tem que ser feita em todos os routers da área
  - Bit E (suporte para rotas externas) do campo de opções da mensagem Hello
  - Se não for igual, não é estabelecida adjacência

† Não confundir com ligações *stub*.

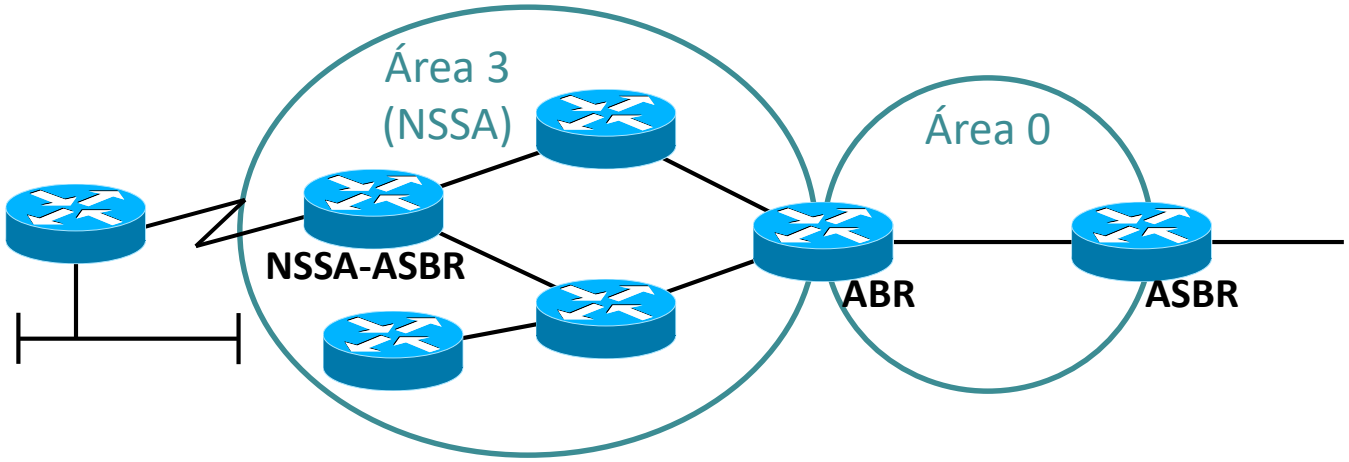
Áreas Totally Stubby

- Aplicação do mesmo conceito das áreas *stub* aos destinos OSPF de outras áreas
- ABR não injecta Network Summary LSA na área, apenas uma rota padrão
- Se houver mais de um ABR, não é possível escolher o melhor para cada destino inter-área





R2 envia a R1 um único Network Summary LSA anunciando o destino 0.0.0.0/0 (rota padrão)

Áreas Not So Stubby

- A necessidade de ter um ASBR numa área impede-a de ser configurada como área *stub*
- Uma área NSSA é semelhante a uma área *stub*, mas permite ter NSSA-ASBR a importar destinos externos
- Esses destinos são anunciados em NSSA External LSA
  - Semelhantes a AS-External LSA, mas de tipo 7 e vez de 5
- Opcionalmente, podem ser traduzidas para AS-External LSA pelo ABR e injectadas noutras áreas