

Redes de Computadores 2

EEL 879

Parte VI

IPv6

Luís Henrique M. K. Costa

`luish@gta.ufrj.br`

Universidade Federal do Rio de Janeiro -PEE/COPPE
P.O. Box 68504 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ
Brasil - <http://www.gta.ufrj.br>

Porque do IPv6?

- **Esgotamento dos endereços IPv4**

- IPv4: apenas 4,3 bilhões de endereços

- **Cabeçalho simplificado**

- Processamento mais eficiente nos roteadores

- **Melhor suporte a opções**

- **Segurança**

Requisitos do IPv6 (RFC 1752)

- Serviço de datagrama não confiável (~IPv4)
- Suporte unicast e multicast
- Endereçamento adequado para além de um futuro imediato
- Compatibilidade com o IPv4 (não renumerar redes)
- Suporte para autenticação e criptografia
- Não fazer suposições sobre a topologia física
- Não fazer nada que afete o desempenho dos roteadores
- Protocolo extensível e capaz de evoluir
- Suporte para estações móveis, redes e interconexão de redes
- Permitir interconexões de redes privadas em cima da infra da Internet

Esgotamento dos Endereços IPv4

- **Fatores de pressão**

- Número de redes
- Dispositivos móveis
- Internet das coisas

- **Fatores de alívio**

- CIDR, melhor gerenciamento de endereços Classe A
- *Network Address Translation* (NAT)

- **Outro aspecto: tamanho das tabelas**

- IPv6 em si, não reduz
- Alocação mais cuidadosa >> maior agregação

IPv4 x IPv6: Endereços

○ IPv4 (1981)

- Tamanho: 32 bits
- Notação: 192.168.27.134
(4 decimais separados por .)
- Baseado em classes

○ IPv6 (1999)

- Tamanho: 128 bits
- Notação: 3FFE:F200:234:AB00:123:4567:8901:FEFE
(8 grupos de 4 hexadecimais, separados por :)
- Sem classes

Quantidade de Endereços

○ IPv4

➤ 2^{32} endereços = 4.294.967.296 (~4,2 bilhões)

○ IPv6

➤ 2^{128} endereços = 3.40282×10^{38}

➤ = 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456

Tipos de Comunicação no IPv6

- IPv4

- Unicast
- Multicast
- Broadcast

- IPv6

- Unicast
- Multicast
- Anycast

Tamanho da Unidade de Transmissão

- MTU – Maximum Transfer Unit
 - Máxima quantidade de dados transportados em um quadro da camada 2
 - Exemplos
 - Ethernet (IEEE 802.3): MTU = 1500 Bytes (tamanho da carga útil)
- No IPv6, há uma MTU mínima que deve ser suportada pela camada 2
 - 1280 Bytes

Tempo de Vida do Endereço IPv6

- Endereços IPv6 não são “dados, mas emprestados”
- Tempo de vida associado a cada endereço
 - Quando termina, o endereço torna-se inválido e pode ser reutilizado por outra interface
 - Tempo de vida padrão: 30 dias
 - Endereços local-ao-enlace possuem tempo de vida ilimitado
- Permite a renumeração dos endereços
 - Desejável que se faça de forma suave, para não quebrar conexões em andamento

Tempo de Vida do Endereço IPv6

- Mecanismo de obsolescência
 - Vários endereços IPv6 podem ser associados a uma interface...
 - Escolha do endereço a utilizar: baseada no **estado** do endereço
- **Estados** do endereço com respeito ao tempo de vida
 - Preferível
 - Endereço pode ser utilizado sem restrições
 - Depreciado
 - Não deve ser usado como endereço fonte para novas comunicações
 - Mas pode ser endereço fonte em comunicações em andamento
 - Inválido
- Na atribuição de um endereço, são definidos o tempo de vida (validade) e o tempo de duração preferencial

Endereços IPv6: Representação

2033:0000:0123:00FD:000A:0000:0000:0C67



Retirada de zeros no início de palavras



2033:0:123:FD:A:0:0:C67



Retirada de blocos “todos-zeros” (compressão)



2033:0:123:FD:A::C67

- Compressão pela omissão de zeros
 - Uma única vez: seria impossível saber quantas palavras em zero, senão

Estrutura do Endereço IPv6

8145:010C:0000:0000	:	1100:1A06:8800:0001
parte de rede		parte de estação

- Parte de Rede
 - 64 bits MSB
 - Configurável (sub-campos)
- Parte de Estação
 - 64 bits LSB
 - Fixa
 - Calculada pela própria estação

Estrutura do Endereço IPv6

8 MSB do
endereço IPv6:
Format Prefix
(FP)

- Definem o tipo de endereço

Bits FP	Uso	Número de endereços	Faixa
0000 0000	Reservados	2^{120}	0000::/8
0000 0001	Não atribuídos	2^{120}	0100::/8
0000 001	NSAPs	2^{121}	0200::/7
0000 01	Não atribuídos	2^{122}	0400::/6
0000 1	Não atribuídos	2^{123}	0800::/5
0001	Não atribuídos	2^{124}	1000::/4
001	Endereços Unicast Globais	2^{125}	2000::/3
01	Não atribuídos	2^{126}	4000::/2
10	Não atribuídos	2^{126}	8000::/2
110	Não atribuídos	2^{125}	C000::/3
1110	Não atribuídos	2^{124}	E0000::/4
1111 0	Não atribuídos	2^{123}	F0000::/5
1111 10	Não atribuídos	2^{122}	F800::/6
1111 110	Não atribuídos	2^{121}	FC00::/7
1111 1110 0	Não atribuídos	2^{119}	FE00::/9
1111 1110 10	Endereços unicast locais ao enlace	2^{118}	FE80::/10
1111 1110 11	Endereços unicast locais ao site	2^{118}	FEC0::/10
1111 1111	Endereços multicast	2^{120}	FF00::/8

Tipos de Endereços IPv6

- Unicast Global
- Unicast Local ao Enlace
- Unicast Local ao Site
- Multicast
- NSAP (Network Service Access Point) (ISO)
 - (em desuso)
- IPX (Novell)
 - (em desuso)

Endereço IPv6 Unicast Global

0										1										2										3	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
FP=001			Top Level Aggregation ID												Reserved						Next Level Aggregation ID										
Next Level Aggregation ID (cont.)												Site Level Aggregation ID																			
Interface ID																															
Interface ID (cont.)																															

- Top Level Aggregation ID (13 bits)
- Reserved (8bits)
- Next Level Aggregation ID (24 bits)
- Site Level Aggregation ID (16 bits)
- Interface ID (64 LSB)

Endereço IPv6 Unicast Global (cont.)

○ Topologia Pública

- Top Level Aggregation ID (13 bits)
 - Identificadores para grandes operadores de rede, tipicamente, provedores da DFZ (*default-free zone*)
- Reserved (8bits)
 - Reserva, permite aumentar o número de TLAs ou de NLAs
- Next Level Aggregation ID (24 bits)
 - Identificador do site (ou domínio)

○ Topologia do Site

- Site Level Aggregation ID (16 bits)
 - Endereço de sub-rede
 - Permite a hierarquização do site
- Interface ID (64 bits)
 - Endereço da Interface

Endereço IPv6 Unicast Local ao Enlace

0										1										2										3												
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1											
FP=1111 1110 10										Reserved																																
Reserved															Reserved																											
Interface ID																																										
Interface ID (cont.)																																										

- Não-roteável
 - Comunicação entre máquinas no mesmo enlace apenas
- Faixa
 - FE80::/10
- Equivalente IPv4
 - 169.254.0.0/16

Endereço IPv6 Unicast Local ao Enlace (cont.)

- Utilização do endereço *local-ao-enlace*
 - Protocolo de configuração de endereço global (subst. do ARP)
 - Protocolo de descoberta de vizinhos (*neighbor discovery*)
 - Protocolo de descoberta de roteadores (*router discovery*)
- Devem ser únicos no enlace
 - Garantia: Protocolo de detecção de endereço duplicado
- Podem repetir em enlace ou redes diferentes
- Normalmente não são usados em aplicações clássicas
 - Alcance limitado ao enlace

Endereço IPv6 Unicast Local ao Site

0										1										2										3									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1								
FP=1111 1110 11										Reserved																													
Reserved										ID da sub-rede																													
Interface ID																																							
Interface ID (cont.)																																							

- Escopo

- Rede de um site, roteadores de borda devem filtrá-los

- Faixa

- FEC0::/10

- Equivalente IPv4

- 10.0.0.0/8

Endereço IPv6 Unicast Local ao Site (cont.)

○ Utilização

- Rede de um site que ainda não está conectado à Internet

○ Dificuldades de utilização

- Definição exata de um site
- Plano de endereçamento SLA ID é o mesmo para os endereços globais?
- Como definir se um parceiro está no mesmo site
- Que endereço o servidor DNS deve informar

○ Vantagem

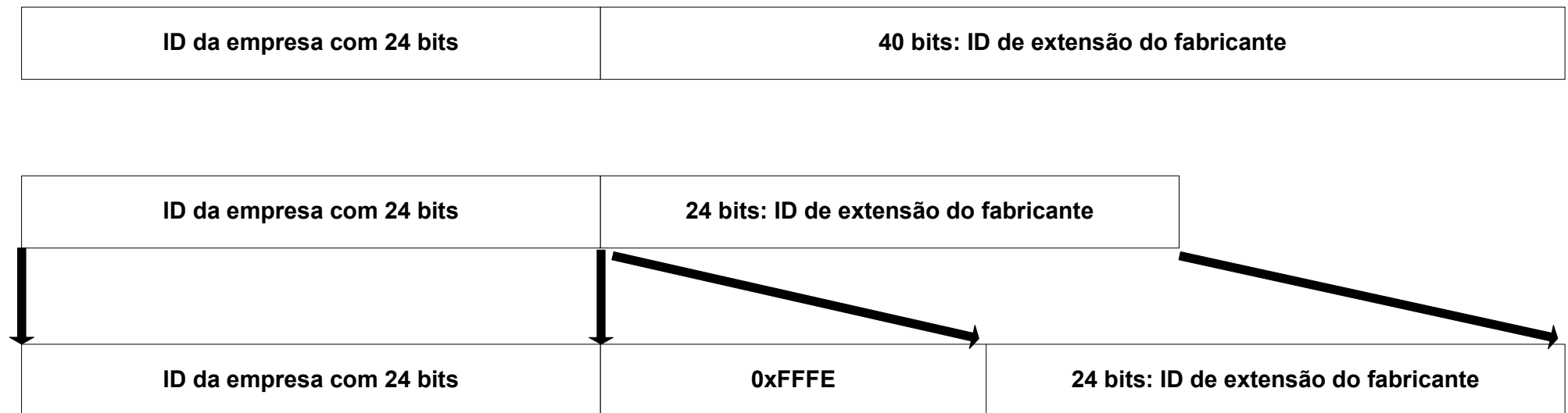
- Não há a necessidade de renumeração quando se troca o provedor de acesso à Internet

Endereços IPv6 Unicast: Interface ID

- Endereços MAC

- 48 bits (IEEE 802) ou 64 bits (IEEE EUI-64)

- Interface ID no IPv6: 64 bits



Endereços Unicast IPv6 Especiais

- Endereço indeterminado

- 0:0:0:0:0:0:0:0 (ou ::)

- Utilizado unicamente durante inicialização da máquina

- Endereço de loopback

- 0:0:0:0: 0:0:0:1 (ou ::1)

Endereços Unicast IPv6 Especiais

○ Endereços “IPv4-mapped IPv6”

➤ 80 ‘0’s + FFFF + endereço IPv4 (32 bits)

▪ Exemplos

- ::FFFF:129.144.52.38 (forma IPv6-IPv4 decimal)
- ::FFFF:8190:3426 (forma IPv6-comprimida)

○ Utilização

➤ Dupla pilha:

- Máquina IPv6 pode conversar com máquinas IPv6 ou IPv4
- Na transmissão:
 - Se endereço de destino IPv4 mapeado em IPv6, pacote emitido na pilha IPv4
- Na recepção:
 - Um pacote IPv4 recebido na pilha IPv4 é apresentado à aplicação na forma de um pacote IPv6 com endereço de destino IPv4 mapeado em IPv6

Endereços Unicast IPv6 Especiais

○ Endereços “Compatíveis IPv4”

- 96 ‘0’s + endereço IPv4 (32 bits)
 - Exemplos
 - ::129.144.52.38 (forma IPv6-IPv4 decimal)
 - ::8190:3426 (forma IPv6-comprimida)

○ Utilização

- Túnel IPv6/IPv4 automático
 - Pacote transmitido a ::a.b.c.d é encapsulado em um pacote IPv4
 - No destino, o pacote IPv6 é desencapsulado e entregue à aplicação
- Uso generalizado é desaconselhável
 - Equivale a gerenciar uma rede IPv4, com endereços acrescidos de 96 ‘0’s...
- Melhor opção: tunelamento na Entrada/Saída do Site

Endereço IPv6 Multicast

0	1										2										3														
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1				
FP=1111 1111										Res.		T	Escopo					ID do Grupo																	
ID do Grupo (cont.)																																			
ID do Grupo (cont.)																																			
ID do Grupo (cont.)																																			

- Flags: Reserved (3 bits) + T (1 bit)
 - T = 0: endereço permanente
 - T = 1: endereço temporário
- Escopo (4 bits)
 - Alcance do tráfego
- ID do Grupo (112 bits)

Endereço IPv6 Multicast

- Faixa

- FF00::/8

- Exemplos

- FF02::1
 - “All-nodes”: equivalente ao broadcast IPv4
- FF02::2
 - “All-routers”: equivalente ao grupo IPv4 224.0.0.2

Endereço IPv6 Multicast: Escopo

- Interface-local (0x1)
 - Link-local (0x2)
 - Subnet-local (0x3)
 - Admin-local (0x4)
 - Site-local (0x5)
 - Organization-local (0x8)
 - Global (0xE)
 - Reservado (0xF)
-
- Substitui a limitação do escopo através do campo TTL no IPv4

Endereço IPv6 Multicast: Escopo

Observações

○ Configuração física/não relacionada com multicast

- Interface-local (**0x1**)
 - (local ao nó)
- Link-local (**0x2**)
 - (local a um enlace)
- Subnet-local (**0x3**)
 - (local a uma sub-rede)

○ Configuração administrativa

- Admin-local (**0x4**)
 - (menor conf. admin.)
- Site-local (**0x5**)
 - (local a um site, conf. admin.)
- Organization-local (**0x8**)
 - (~múltiplos sites da mesma organização)
- Global (**0xE**)
 - (não tem limites)
- Reservado (**0xF**)

Endereço IPv6 Multicast: Escopo

○ Exemplos

- FF02::101 : todos os servidores NTP (*Network Time Protocol*) no mesmo enlace que o emissor
- FF05::101 : todos os servidores NTP no mesmo site que o emissor
- FF0E::101 : todos os servidores NTP na Internet

Endereços Multicast Especiais IPv6

- **All-nodes multicast groups**

- Interface-local all-nodes group (FF01::1)
- Link-local all-nodes group (FF02::1)

- **All-routers multicast groups**

- Interface-local all-routers group (FF01::2)
- Link-local all-routers group (FF02::2)
- Site-local all-routers group (FF05::2)

- **Solicited-node multicast group**

Endereços Multicast Nó-Solicitado

○ Formação

- Prefixo FF02::1:FF00/104 + 24 LSB do endereço unicast ou anycast do nó

○ Utilização

- A máquina constrói endereços multicast nó solicitado a partir de seus endereços unicast e/ou anycast
- Outra máquina que conheça o endereço IPv6 da máquina, mas não seu endereço MAC, pode utilizar o endereço nó solicitado para se comunicar (~ARP do IPv4)

○ Utilidade

- Protocolo de detecção de endereços duplicados e de descoberta de vizinhos
- Mais eficiente que 255.255.255.255 no IPv4

Exemplo de Formação do Endereço Multicast Nó-Solicitado

Endereço alvo (notação comprimida):

fe80::3ab:ff:fe54:5a9f

Endereço alvo (últimos 24 bits)

fe80:0000:0000:0000:03ab:00ff:fe**54:5a9f**

Prefixo Solicited-node Multicast Address (notação comprimida)

ff02::1:ff00:0/104

Prefixo Solicited-node Multicast Address (primeiros 104 bits)

ff02:0000:0000:0000:0000:0001:ff00:0000/104

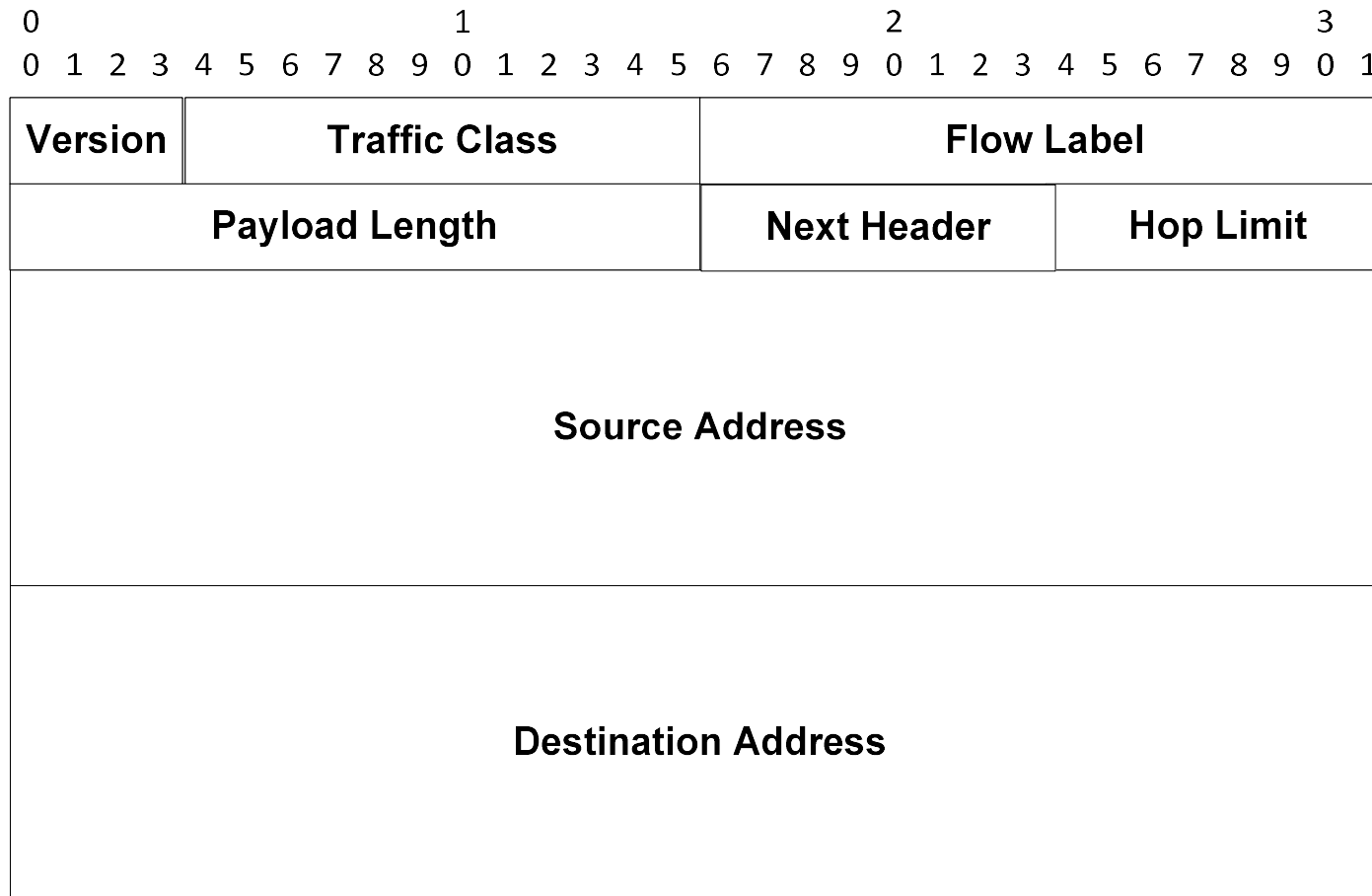
Resultado:

ff02:0000:0000:0000:0000:0001:ff54:5a9f

Resultado (notação comprimida):

ff02::1:ff54:5a9f

IPv6 - O Cabeçalho



- Todos os campos são fixos

Cabeçalho IPv4 x IPv6

○ Campos **eliminados** em relação ao IPv4

- IHL (4bits)
 - Cabeçalho IPv6 tem tamanho fixo
- Identification, Flags e Fragment Offset (16, 8 e 8 bits)
 - No IPv6, o roteador não faz fragmentação
- Header Checksum (4bits)
 - O IPv6 não faz controle de erros, deixado para outras camadas

○ Campos **acrescidos** em relação ao IPv4

- Flow Label (16 bits)
 - Identificação de fluxo

Cabeçalho IPv4 x IPv6

- Campos **modificados** em relação ao IPv4
 - ToS >> Traffic Class
 - Total Length >> Payload Length
 - Tamanho da carga útil, sem o cabeçalho do IPv6 (40 bytes)
 - TTL >> Hop Limit
 - Protocol >> Next Header
 - Indica o tipo de protocolo transportado, **ou**
 - Campo opcional (substitui as Opções do IP)

Campos do Cabeçalho IP

- Versão (4bits)
 - Versão atual = 6
- Traffic Class (8 bits)
 - Differentiated Services, como no IPv4 (RFC 2474)

Campos do Cabeçalho IP

- Flow Label (16 bits)
 - Número único escolhido pela fonte
 - Utilidade
 - Qualidade de Serviço (QoS): uso pelo RSVP (*ReSource reserVation Protocol*)
 - Tratamento específico do fluxo: escolha de uma rota
- Identificação de fluxo no IPv4
 - Fluxo geralmente identificado por uma tupla
 - (@-orig; @-dest; #porta orig; #porta dest; protocolo)
- No IPv6: maior eficiência
 - Um campo específico
 - Se utilizada confidencialidade, até o número de porta de pode estar escondido

Campos do Cabeçalho IP

○ Payload Length (16 bits)

- Tamanho da carga útil, sem considerar o tamanho do cabeçalho
- Se houver cabeçalhos de extensão, são contados no Payload Length
- Para pacotes de tamanho maior que 65.535 bytes
 - Payload Length = 0
 - Opção “jumbograma” é utilizada

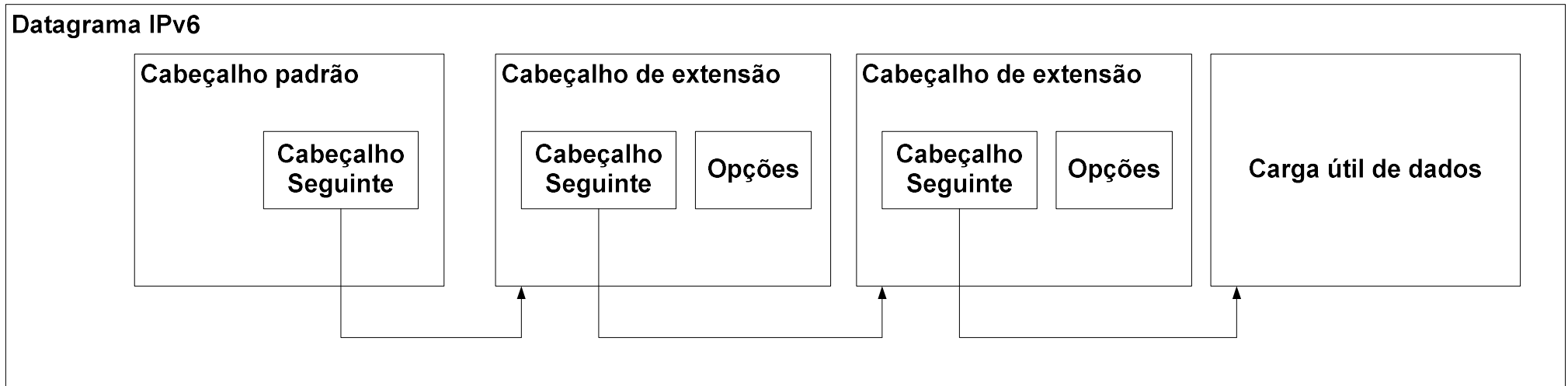
○ Next Header (8 bits)

- Protocolo de nível superior (ICMP, UDP, TCP, ...)
- **Ou** identificação do próximo cabeçalho de extensão

Campos do Cabeçalho IP

- Hop Limit (8 bits)
 - Número de saltos
 - Deixa de significar tempo em segundos, como inicialmente proposto no IPv4
- Source Address e Destination Address (128 bits cada)
 - Endereços IP de Origem e de Destino do pacote

Cabeçalhos de Extensão



○ Tratamento de opções no IPv6

- Apenas as extensões “hop-by-hop” são tratadas por todos os roteadores
- Todas as outras são tratadas apenas no destino em questão
- Maior eficiência que no IPv4, onde pacotes com opções sempre seguem pelo *slow-path* dos roteadores

Cabeçalho de Extensão: Considerações

- Comprimento: múltiplo de 8 bytes
- Início: campo Next Header (1 byte)
 - (“Cabeçalho Seguinte”)
- Se extensão de tamanho variável
 - Próximo byte: comprimento da extensão, em palavras de 8 bytes, sem contar a primeira palavra
 - (Uma extensão de 16 bytes possui comprimento “1”)

Cabeçalho de Extensão: Considerações

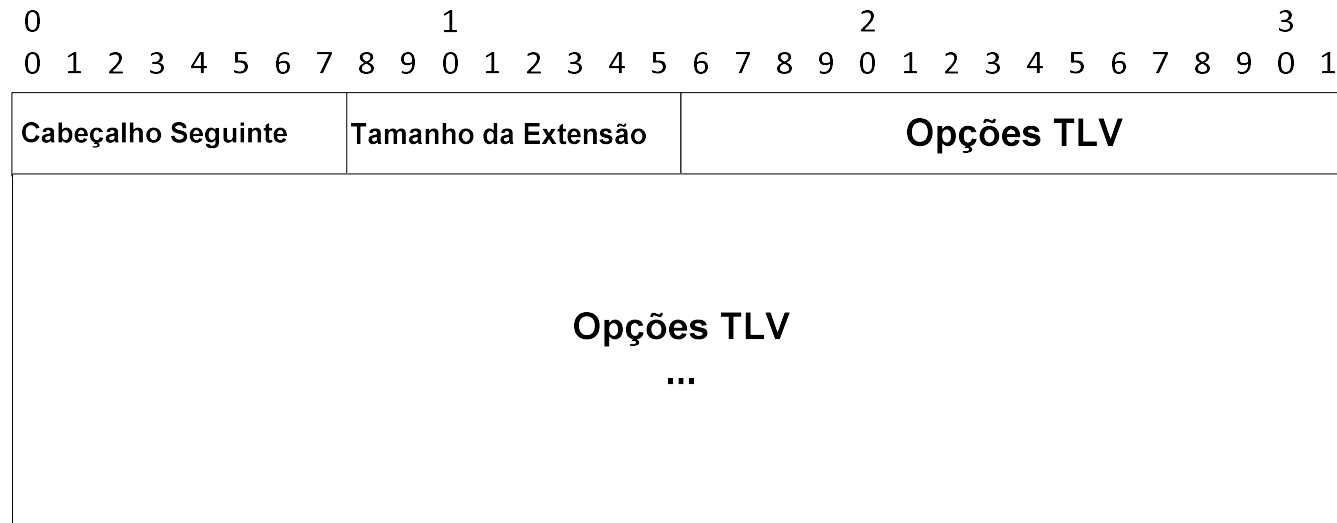
- Ordem recomendada (RFC 2460)
 - Salto-a-salto (sempre deve ser a primeira extensão)
 - Destino (será também tratada pelos roteadores impostos pelo roteamento pela fonte)
 - Roteamento pela fonte
 - Fragmentação
 - Autenticação
 - Destino (será tratada apenas pelo equipamento destino final)

Valores de “Cabeçalho Seguinte”

Valor	Extensão
0	Opções salto-a-salto
43	Roteamento pela fonte
44	Fragmentação
50	Encapsulamento seguro de payload
51	Autenticação
59	Fim de cabeçalho sem payload
60	Opções de destino

Valor	Protocolo
6	TCP
17	UDP
41	IPv6
58	ICMPv6

Opções no Cabeçalho de Extensão



- Cabeçalho seguinte: indica o próximo cabeçalho de extensão
- Tamanho da extensão: inteiro em unidades de 8 bytes
- Opções TLV
 - Extensão salto-a-salto (Tipo 0)
 - Opções que são aplicadas a cada salto do caminho
 - Extensão de destino (Tipo 60)
 - Opções que são aplicadas apenas no destino, ou no próximo salto, no caso de roteamento pela origem

Opções Salto-a-salto: Considerações

- São Opções TLV
- Codificação do Tipo da Opção
 - 2 MSB: tratamento de uma opção desconhecida pelo roteador
 - 00: o roteador ignora a opção
 - 01: o roteador descarta o pacote
 - 10: o roteador descarta o pacote e retorna uma mensagem ICMPv6 de “inalcançabilidade”
 - 11: o roteador descarta o pacote e retorna uma mensagem ICMPv6 de “inalcançabilidade” se o destino não for multicast
 - Próximo bit
 - =1: o roteador pode modificar o conteúdo do campo de opções
 - =0: o roteador não pode modificar o conteúdo do campo de opções

Tipos de Opções Salto-a-salto

- Pad1 (tipo 0): introduz um byte de enchimento
- PadN (tipo 1): introduz dois ou mais bytes de enchimento (de acordo com campo tamanho da extensão)
- Jumbograma (tipo 194 ou 0xC2):
 - Permite pacotes maiores que 65535 bytes
 - Usada geralmente em conexões da alta velocidade entre duas máquinas
 - Neste caso, o tamanho da carga útil no cabeçalho principal vale zero
 - Obs: inicia com “11”: o roteador informa à fonte se não suportar o jumbograma
- Router Alert (tipo 5)
 - Solicitação ao roteador de examinar o pacote
 - Normalmente, a tarefa do roteador é encaminhar o pacote o mais rápido possível
 - Utilização
 - Protocolo de reserva de recursos RSVP
 - Protocolo de gerenciamento de grupo MLD

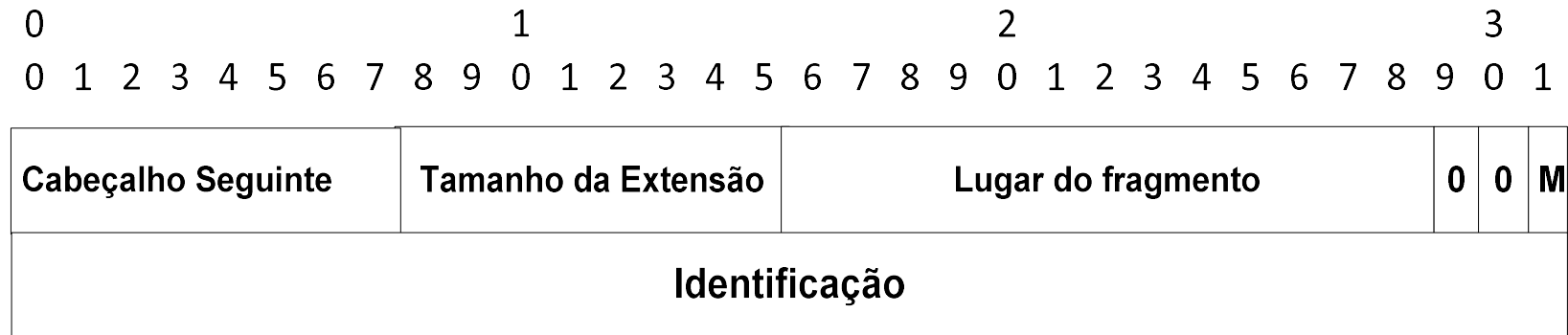
Extensão de Roteamento pela Fonte

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1
Cabeçalho Seguinte	Tamanho da Extensão	Tipo de roteamento	Segmentos Restantes
reservados			
Endereço de Roteador 1 (128 bits)			
...			
Endereço de Roteador N (128 bits)			

○ Cabeçalho de Extensão tipo 43

- Tipo = 0: roteamento pela fonte, semelhante ao *loose source routing* do IPv4
 - (A utilização do *strict source routing* tornou-se rara)
- Conteúdo
 - Número de segmentos (saltos) restantes até o destino
 - Lista dos próximos roteadores até o destino

Extensão de Fragmentação



- Fragmentação: ineficiente no IPv4
 - Mecanismos de descoberta de MTU servem para evitá-la
 - Porém, algumas aplicações supõem que a rede realiza a fragmentação, eliminá-la no IPv6 significaria reescrever as aplicações
- IPv6: fragmentação realizada no emissor
- Cabeçalho de Extensão tipo 44
 - Algoritmo semelhante ao IPv4
 - Conteúdo:
 - Lugar do fragmento (13 bits) – posição em número de palavras de 8 bytes
 - Bit M – “More fragments”, como no IPv4

Cabeçalhos de Extensão de Segurança

- Authentication Header (AH)
 - Autenticação da Fonte
- Encapsulation Security Payload (ESP)
 - Criptografia dos Dados

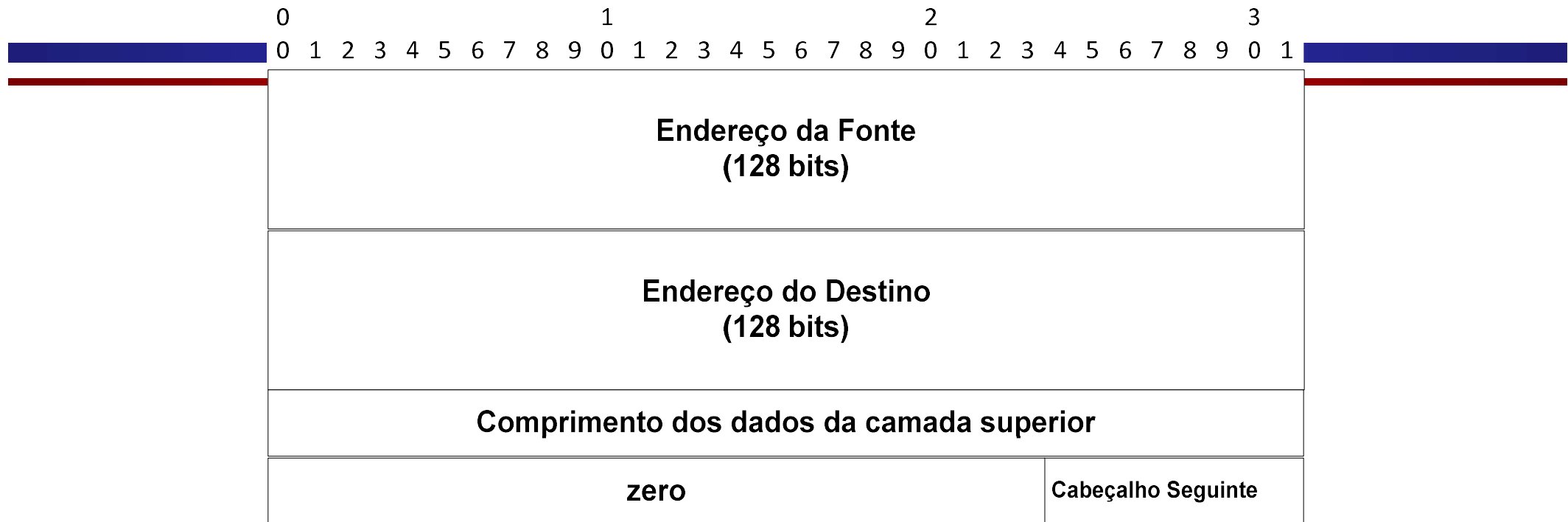
Checksum no Nível de Transporte

- IPv4: checksum protege o cabeçalho IP
 - IPv6: checksum eliminado do cabeçalho

- IPv6
 - Todos os protocolos acima do IPv6 devem considerar no checksum os dados do cabeçalho IPv6
 - TCP: modificação do cálculo, que era obrigatório
 - UDP: modificação do cálculo e torná-lo obrigatório
 - Criação de um pseudo-cabeçalho, que não é transmitido

 - Checksum: mesmo cálculo do IPv4
 - Soma em complemento a 1 das palavras de 16 bits

Checksum no Nível de Transporte



○ Campos do pseudo-cabeçalho

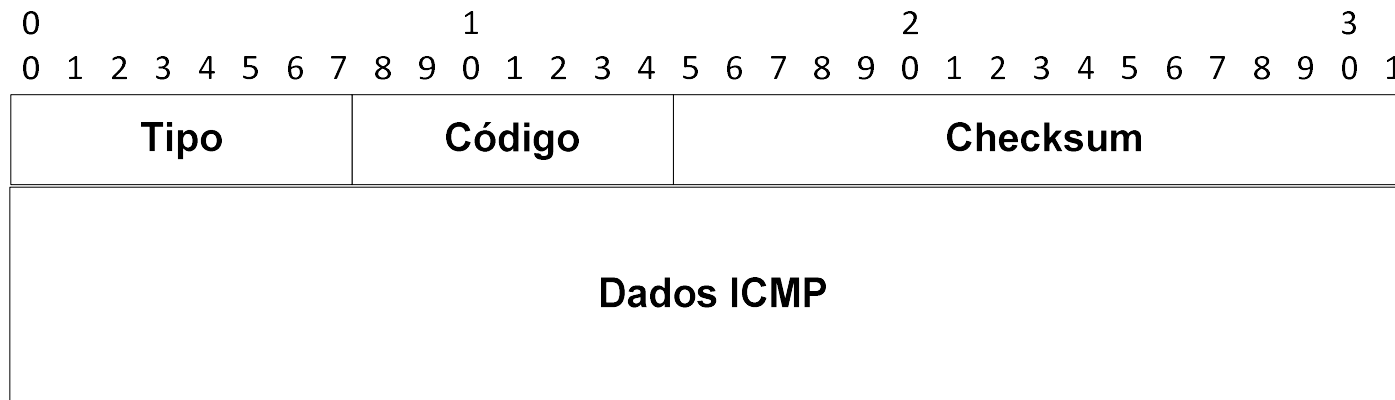
- Endereço da Fonte (128 bits) e Endereço do Destino (128 bits)
- Comprimento dos dados da camada superior (32 bits)
 - Ex. Cabeçalho TCP + Dados
 - Comporta o valor do comprimento da opção jumbograma, se utilizada
- Campo Cabeçalho Seguinte
 - Não contém necessariamente o mesmo valor do campo do pacote que será transmitido, e já que extensões não são consideradas no cálculo do checksum

ICMPv6

- *Internet Control Message Protocol (ICMP)*
- Funções semelhantes ao ICMP do IPv4
 - Detecção de erros
 - Ex.: destino inalcançável, tempo expirado
 - Teste e diagnóstico
 - Ex.: ping
 - Configuração automática de equipamentos
 - Ex.: redirecionamento ICMP, descoberta de roteador
- Novas funções
 - Gerenciamento de grupos multicast
 - Integra o MLD (*Multicast Listener Discovery*) (IGMP no IPv4)
 - Função do ARP no IPv4

ICMPv6

○ Formato Geral de uma Mensagem ICMPv6



○ Campo Tipo (8 bits)

- Tipos < 127: mensagens de erro
- Outros: mensagens de informação
 - Ex. Mensagens do protocolo de descoberta de vizinhos

○ Campo Código (8 bits)

- Causa da mensagem ICMP

○ Campo Checksum (16 bits)

- Calculado com o pseudo-cabeçalho IPv6

ICMPv6

○ Conteúdo do Campo Dados ICMP

➤ Nas mensagens de erro

- Contém (**parte da**) Carga útil do datagrama que gerou o erro
- Comprimento da mensagem ICMPv6 é limitado a 1280 bytes para evitar ter que realizar a descoberta de MTU
 - (como consequência, o conteúdo do pacote pode ser truncado)

➤ Nas outras mensagens

- Campos dependentes do protocolo

Tipos de Mensagens ICMPv6:

Gerenciamento de Erros

Tipo	Código	Significado
1		Destino inalcançável:
	0	- não há rota para o destino
	1	- comunicação com o destino impedida administrativamente
	2	- destino fora do alcance do endereço fonte
	3	- endereço inacessível
	4	- número de porta inacessível
2		Pacote grande demais
3		Tempo expirado:
	0	- atingido limite do número de saltos
	1	- tempo de remontagem expirado
4		Erro de parâmetro:
	0	- algum campo de cabeçalho incorreto
	1	- campo de próximo cabeçalho (next header) desconhecido
	2	- opção não reconhecida

Tipos de Mensagens ICMPv6: Informação e Multicast

○ Informação

Tipo	Código	Significado
128		Echo Request
129		Echo Response

○ Gerenciamento de grupos multicast (MLD)

Tipo	Código	Significado
130		Consulta sobre grupos multicast (Query)
131		Relatório de grupos multicast (Report)
132		Fim de interesse no grupo

Tipos de Mensagens ICMPv6:

Descoberta de Vizinhos

Tipo	Código	Significado
133		Solicitação de roteador
134		Anúncio de roteador
135		Solicitação de vizinho
136		Anúncio de vizinho
137		Redirecionamento (<i>redirect</i>)

ICMPv6: Destino Inalcançável

0								1								2								3							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Tipo = 1								Código								Checksum															
Não usado																															
Parte do pacote que provocou o erro até o limite de 1280 bytes																															

- Mensagem Tipo 1 emitida quando
 - o roteador não possui rota para o destino (Código 0)
 - a mensagem foi filtrada por um firewall (Código 1)
 - endereço inacessível, p. ex. a tentativa de rotear um endereço de tipo local ao enlace (*link-local*) (Código 3)
 - não há aplicação associada à porta de destino (Código 4)

ICMPv6: Pacote Grande Demais

0								1								2								3							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Tipo = 2								Código = 0								Checksum															
MTU																															
Parte do pacote que provocou o erro até o limite de 1280 bytes																															

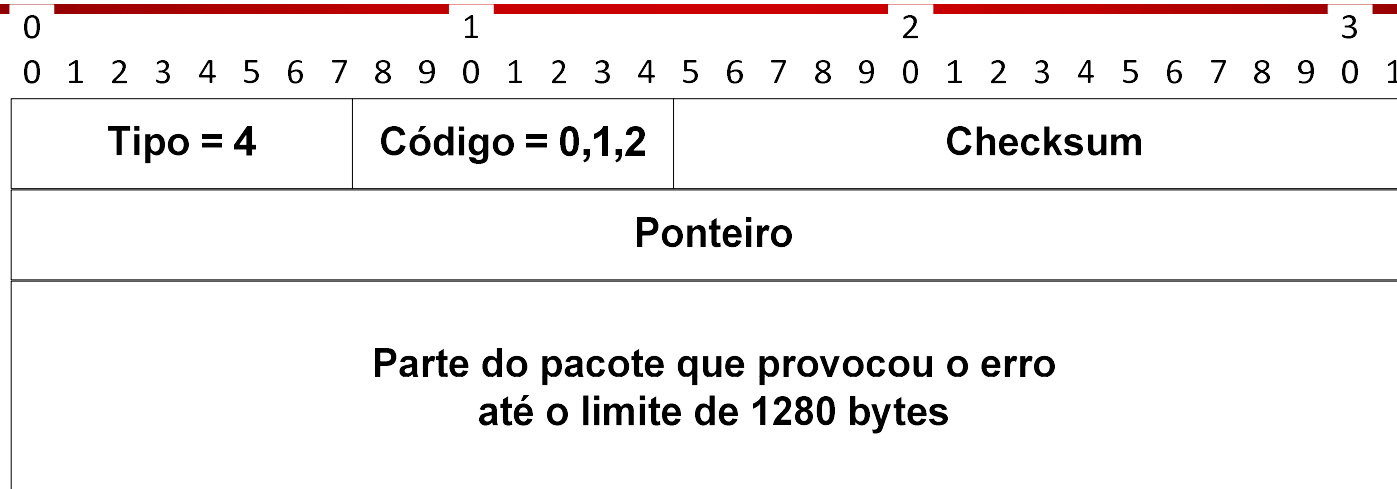
- Mensagem emitida quando o pacote é maior que a MTU do próximo enlace
 - utilizada no procedimento de descoberta de MTU
- Campo MTU: unidade de transferência máxima que o roteador pode aceitar
 - Este campo não existia no IPv4, facilita a descoberta de MTU
- Campo Dados
 - Parte do pacote que provocou o erro, limitando a msg. ICMPv6 a 1280 B

ICMPv6: Tempo Estourado

0								1								2								3							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Tipo = 3								Código = 0 ou 1								Checksum															
Não usado																															
Parte do pacote que provocou o erro até o limite de 1280 bytes																															

- A mensagem indica que o datagrama foi descartado pelo roteador
 - porque o campo número de saltos (*hop limit*) chegou a zero (Código = 0)
 - ou porque um fragmento se perdeu e o tempo máximo de remontagem foi ultrapassado (Código = 1)
- Mensagem utilizada pelo programa *traceroute*, como no IPv4

ICMPv6: Erro de Parâmetro



- A mensagem indica erro no cabeçalho ou nos cabeçalhos de extensão do datagrama
- Causa do erro (campo Código)
 - erro de sintaxe no cabeçalho (Código 0)
 - número de próximo cabeçalho (next header) desconhecido (Código 1)
 - uma opção do cabeçalho de extensão desconhecida (e os 2 primeiros bits da opção definem o envio de uma mensagem ICMPv6) (Código 2)
- Ponteiro
 - Indica o byte do datagrama onde ocorreu o erro

ICMPv6: Echo Request e Response

0										1										2										3									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1								
Tipo = 128/129										Código = 0										Checksum																			
Identificador															Número de sequência																								
Dados																																							

- Utilizadas no programa ping, funcionamento semelhante ao do IPv4
- Campo Identificador
 - Serve para distinguir diversas instâncias do ping sobre a mesma máquina
- Campo Número de Sequência
 - associa uma resposta a um pedido
 - permite medir o tempo de ida e volta e detectar perdas
- Campo Dados
 - permite estatísticas com diferentes tamanhos de datagrama

Gestão de Grupos Multicast

- MLDv1

- Operação idêntica ao IGMPv2 do IPv4

- MLDv2

- Operação idêntica ao IGMPv3 do IPv4

ICMPv6: Configuração Automática e Controle

- Protocolo de Descoberta de Vizinhos (ND - *Neighbor Discovery*)
 - Permite a uma estação se comunicar com outros equipamentos na mesma rede física
 - Utiliza 5 tipos de mensagem ICMPv6
 - Campo número de saltos deve ser 255
 - As mensagens não devem ser roteadas: se o valor recebido < 255, datagrama rejeitado
- Funções do *Neighbor Discovery*
 - Resolução de endereços: substitui o ARP do IPv4
 - Detecção de inalcançabilidade de vizinhos
 - Configuração
 - Redirecionamento

ND: Funções de Configuração

○ **Descoberta de Roteadores**

- Permite aos equipamentos descobrir os roteadores no enlace físico

○ **Descoberta de prefixos**

- Permite conhecer o(s) prefixo(s) utilizados na rede
- Prefixos podem ser utilizados para construir o(s) endereço(s) dos equipamentos (auto-configuração)

○ **Detecção de endereços duplicados**

- Há riscos de erros, dada a configuração automática

○ **Descoberta de parâmetros**

- Permite conhecer parâmetros do enlace físico, ex.:
 - Tamanho da MTU
 - Número máximo de saltos (valor inicial recomendado do Hop Limit)
 - Se a configuração automática com estado (DHCP) está disponível

Dados das Mensagens de Descoberta de Vizinhos

- Maior parte das mensagens da Descoberta de Vizinhos utiliza opções comuns
 - Endereço físico da fonte
 - Endereço físico do alvo
 - Informação de prefixo
 - Cabeçalho redirecionado
 - MTU
- Formato
 - Tipo
 - Comprimento (em palavras de 64 bits)
 - Dados

Dados das Mensagens ND:

Endereço Físico da Fonte/do Alvo

0	1								2								3														
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Tipo = 1/2								Comprimento								Endereço físico															
Endereço físico (cont.)																															

○ Campo Comprimento

➤ Tamanho da opção em palavras de 64 bits

- Ex. Endereço MAC de 48 bits (6 bytes) – Comprimento = 1
- Há desperdício de espaço, mas força-se alinhamento em 64 bits

○ Tipo 1: endereço físico da fonte

○ Tipo 2: endereço físico do alvo

Dados das Mensagens ND:

Informação de Prefixo

0										1										2										3											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1										
Tipo = 3										Compr. = 4										Compr. do prefixo										L	A	Reservado1									
Tempo de Vida Válido																																									
Tempo de Vida Preferível																																									
Reservado																																									
Prefixo (128 bits)																																									

○ Campo Comprimento do Prefixo

- Número de bits significativos do prefixo anunciado

Dados das Mensagens ND: Informação de Prefixo

- Bit L = 1
 - Indica que todos os equipamentos que compartilham o prefixo estão no mesmo enlace físico
 - (O IPv6 permite que eles não estejam; neste caso os datagramas devem ser enviados por padrão ao roteador)
- Bit A = 1
 - Indica que o prefixo anunciado pode ser utilizado para construir o endereço do equipamento (auto-configuração)
- Campo Duração de Validade
 - Tempo durante o qual o prefixo é válido
- Campo Duração Preferível
 - Tempo durante o qual um endereço construído a partir deste prefixo estará *preferível*

Dados das Mensagens ND:

Informação de Prefixo

- Obs.

- Para os dois campos de Duração, o valor `0xffffffff` representa “duração infinita”

- Campo Reservado2

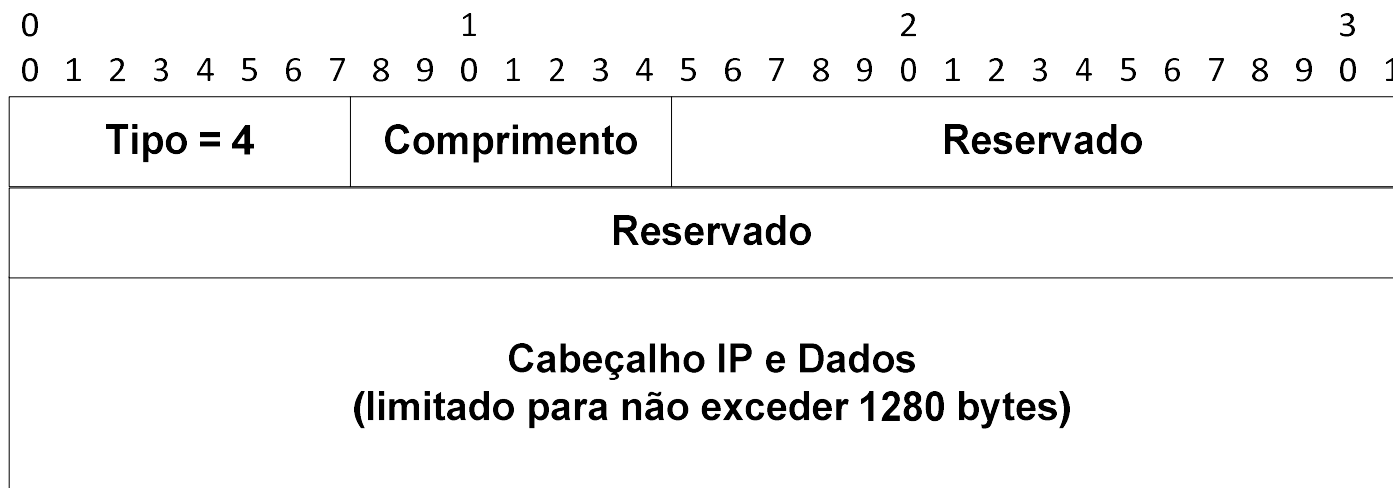
- Permite o alinhamento em palavras de 64 bits

- Campo Prefixo

- O prefixo anunciado
- Tamanho fixo de 128 bits para manter o alinhamento

Dados das Mensagens ND:

Cabeçalho Redirecionado



- **Opção utilizada na Mensagem de Redirecionamento**
 - **Campo Cabeçalho IP e Dados**
 - Parte do Pacote que provocou a mensagem de redirecionamento (limitada de forma à mensagem < 1280 bytes)
 - **Campos Reservado**
 - Alinhamento em palavras de 64 bits

Dados das Mensagens ND:

MTU

0								1								2								3							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1
Tipo = 5								Comprimento								Reservado															
MTU																															

- Campo MTU
 - Tamanho máximo dos dados que podem ser transmitidos sobre o enlace físico
- Campo Reservado
 - Alinhamento em palavras de 64 bits
- Comprimento = 1

Funções do Protocolo de Descoberta de Vizinhos (ND)

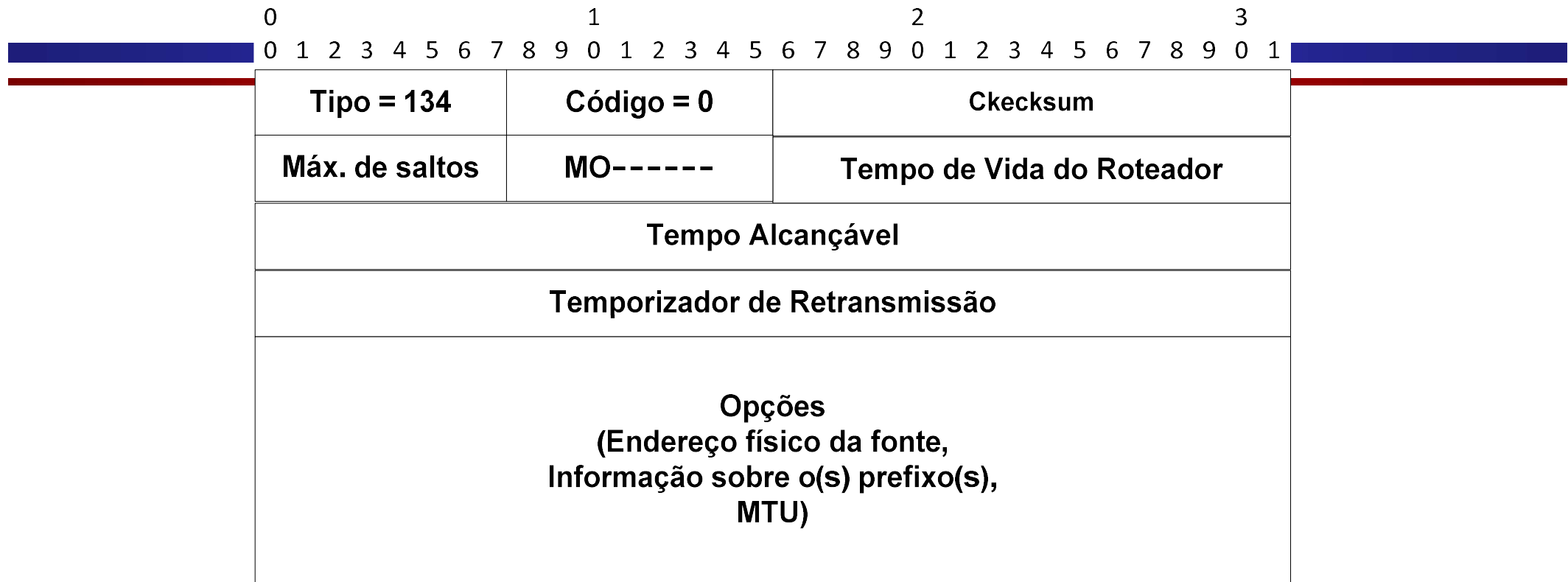
- Descoberta de Roteadores
 - Mensagens *Router Solicitation* e *Router Announcement*
- Descoberta de Vizinhos
 - Mensagens *Neighbor Solicitation* e *Neighbor Announcement*
- Redirecionamento

Mensagem de Solicitação de Roteador

0	1	2	3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1			
Tipo = 133	Código = 0	Checksum	
Reservado			
Opções (Endereço físico da fonte)			

- Emitida por um equipamento durante inicialização
 - Obtenção rápida de informações sobre o roteador
- Enviada a **ff02::2** (multicast “todos os roteadores no enlace”)
- Campo Opções contém o endereço físico do equipamento fonte

Mensagem de Anúncio de Roteador



- Enviada pelo roteador, periodicamente, ou em resposta a uma mensagem de solicitação de roteador
 - Endereço fonte: endereço link-local do roteador
 - Endereço destino: do equipamento que solicitou, ou **ff02::01**
- Campo Máx. de Saltos (*Current Hop Limit*)
 - Valor padrão sugerido para o campo Hop Limit dos datagramas enviados narede

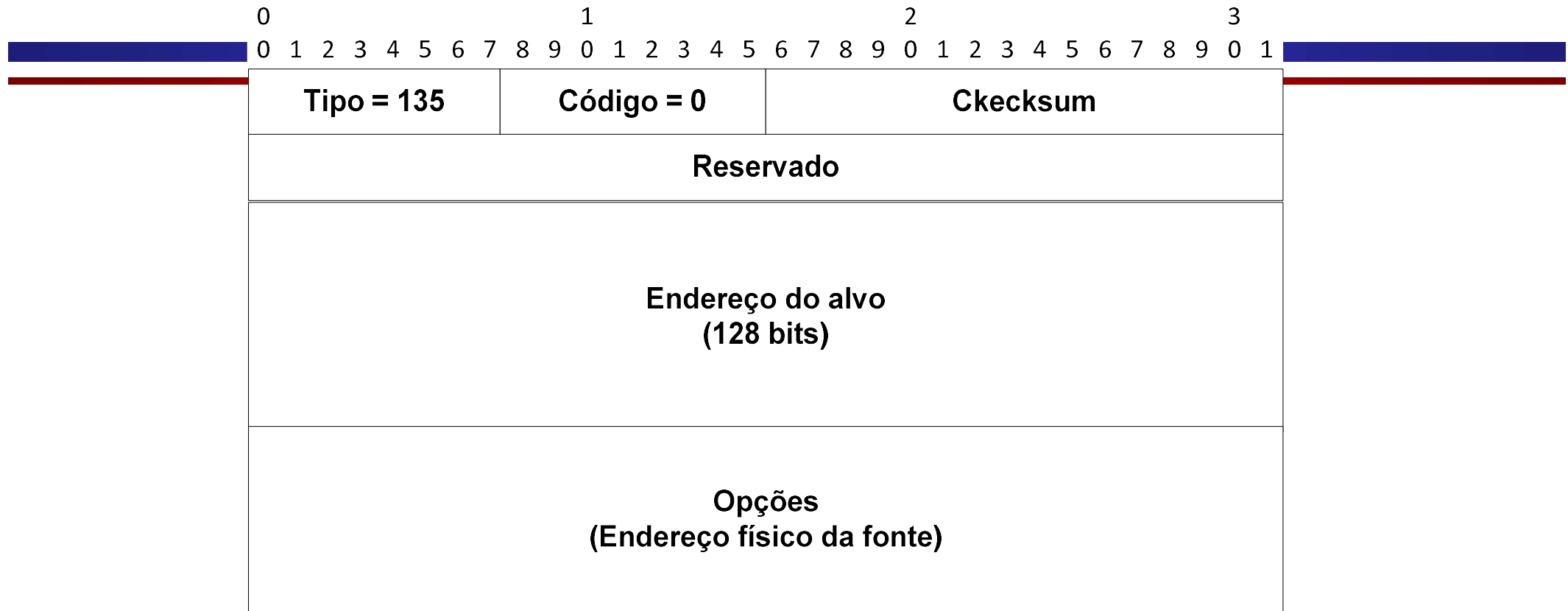
Mensagem de Anúncio de Roteador

- Bit M (“Managed address configuration”)=1: o endereço do equipamento deve ser obtido através do protocolo de configuração DHCP
- Bit O (“Other configuration”) = 1: o protocolo de configuração DHCP fornece outras informações além do endereço (ex. DNS)
- Bit H (“Home agent”)=1: o roteador pode ser utilizado como home agent por um nó móvel
- Tempo de vida do roteador
 - Tempo (em segundos) durante o qual o roteador serve como roteador default
 - Máximo: 18h12m, mas não é limite estrito, já que a mensagem é periódica
- Campo Tempo Alcançável (*Reachable Time*)
 - Tempo em ms de validade de informações guardadas no cache
 - Ex.: tabela de endereços IPv6 x endereços físicos
 - ao final do tempo, procedimento de detecção de inacessibilidade inicia

Mensagem de Anúncio de Roteador

- Campo Temporizador de Retransmissão (*Retransmission Timer*)
 - Período (em ms) entre transmissões não solicitadas de anúncios
 - Permite detectar se o roteador ficou inacessível
- Campo Opções pode conter
 - endereço físico da fonte
 - MTU
 - informação sobre um ou mais prefixos

Mensagem de Solicitação de Vizinho



- Obtenção de informações sobre um equipamento vizinho
 - enviada explicitamente ao vizinho
 - ou a um endereço de difusão (corresponde ao ARP Request no IPv4)
- Endereço de Origem
 - Endereço link-local, global, ou não especificado

Mensagem de Solicitação de Vizinho

- Endereço de Destino

- Endereço Multicast Nó-Solicitado correspondente ao endereço procurado
- ou endereço do equipamento (caso de detecção de inacessibilidade – NUD (*neighbor unreachable detection*))

- Campo Reservado

- Alinhamento em palavras de 64 bits

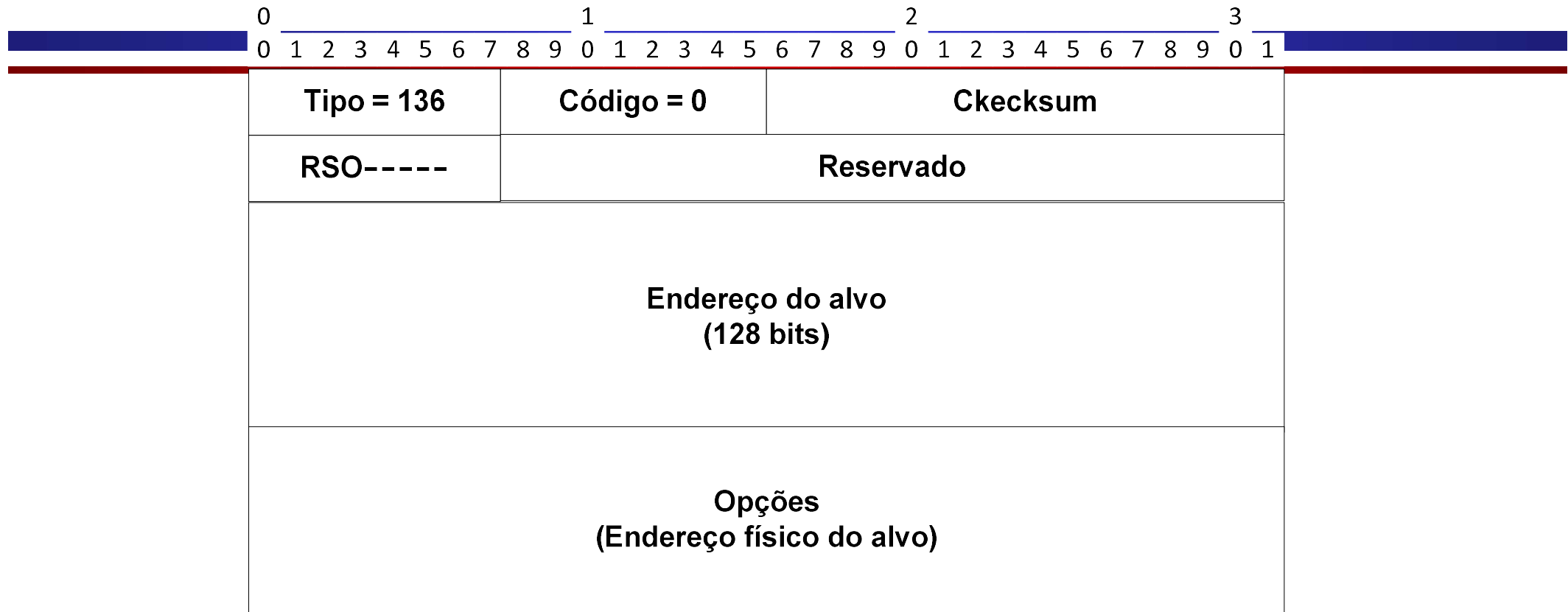
- Campo Endereço do Alvo

- Endereço IPv6 do equipamento procurado

- Campo Opções

- Endereço físico da fonte
 - deve ser incluído em solicitações multicast
 - pode ser incluído em solicitações unicast
 - não deve ser incluído em solicitações com endereço de origem não especificado

Mensagem de Anúncio de Vizinho



- Enviada em resposta a uma solicitação
 - ou enviada espontaneamente em caso de mudança de endereço físico
 - ou de “status de roteador”
- Corresponde ao ARP Response do IPv4 no caso de determinação do endereço físico

Mensagem de Anúncio de Vizinho

- Bit R (Router flag) = 1: o emissor é um roteador
 - O bit R permite detectar um roteador que se torna um equipamento “normal”
- Bit S (Solicited flag) =1: o anúncio foi enviado em resposta a uma solicitação
- Bit O (Override) =1: o anúncio deve apagar informações anteriores dos caches dos equipamentos, em especial a tabela de endereços físicos
- Campo Endereço do Alvo
 - Se S=1, contém o Endereço do Alvo da mensagem de solicitação à qual este anúncio corresponde
 - Se S=0, contém o endereço IPv6 link-local do equipamento emissor
- Campo Opção
 - Contém o endereço físico do emissor da mensagem

Configuração Automática

- Objetivo: Conexão à rede local sem intervenção humana
 - Instalação automática de rotas
 - ICMPv6 Router Solicitation/Announcement
 - Auto-configuração de endereços
- Obtenção de um endereço quando
 - A máquina se conecta à rede pela primeira vez
 - Renumeração da rede, após uma mudança de provedor de rede
- **Processo**
 - Criação de um endereço link-local
 - Verificação da unicidade do endereço link-local
 - Determinação do endereço unicast global

Configuração Automática

- 2 formas de **determinação do endereço unicast global**:
 - **Autoconfiguração sem estado** (*stateless autoconfiguration*)
 - Útil quando não é necessária gestão administrativa dos endereços atribuídos
 - **Autoconfiguração com estado** (*stateful autoconfiguration*)
 - Útil quando é necessário controle estrito dos endereços atribuídos
 - Realizada pelo protocolo DHCPv6
- Anúncios de Roteador **indicam o método utilizado**
 - Bit M=0: autoconfiguração sem estado do endereço
 - Bit M=1: o endereço deve ser solicitado a um servidor DHCPv6
 - Bit O=1: além do endereço, informações adicionais disponibilizadas pelo servidor DHCPv6

Etapas do Procedimento de Autoconfiguração do Endereço

1. Criação do endereço link-local
 - (Comunicação com outras máquinas no enlace é possível)
 2. Recebimento de uma mensagem de anúncio de roteador
 - Determinação do método de obtenção do endereço unicast global
 3. Autoconfiguração sem estado
- ou**
3. Autoconfiguração com estado (DHCPv6)

(Obs.: Se não houver roteador, autoconfiguração com estado)

Duplicate Address Detection (DAD)

- Endereço em estado *provisório* enquanto DAD em execução
- Passos do Algoritmo de Detecção de Endereço Duplicado
 - Entrada no grupo multicast nó-solicitado correspondente
 - Envio de uma mensagem de Solicitação de Vizinho
 - Campo Endereço Alvo: endereço provisório
 - Endereço fonte: endereço IPv6 não especificado (::/128)
 - Espera por resposta durante 1 segundo (tempo padrão sugerido)
 - Casos possíveis de acordo com a resposta:
 - Mensagem de anúncio de vizinho é recebida:
 - o endereço provisório já era considerado válido por outra máquina e não pode ser utilizado
 - Mensagem de solicitação de vizinho/DAD é recebida:
 - outro nó pretendia usar o mesmo endereço; ele não será utilizado por nenhum dos dois
 - Nenhuma resposta recebida:
 - o endereço passa de *provisório* a *válido*

Criação do Endereço Link-local

- Endereço link-local = prefixo + identificador da interface
- Prefixo link-local
 - **FE80::/64**
- Identificador
 - EUI-64
- Endereço provisório > DAD > Endereço válido

Autoconfiguração Sem Estado

- Geração do endereço de uma estação feita a partir de informações locais e de informações fornecidas por um roteador
 - Autoconfiguração funciona para estações, não para roteadores
- Endereço global = prefixo + identificador da interface
- Prefixo
 - Opção “Informação sobre Prefixo” das mensagens de Anúncio de Roteador
- DAD não é necessária, já que foi realizada para a escolha do endereço link-local

Propriedades de Segurança

- Confidencialidade dos dados
- Confidencialidade do fluxo de dados
- Autenticação da origem dos dados
- Autenticação mútua de duas entidades
- Integridade dos dados
- Prevenção contra ataques de repetição
- Não repúdio

Principais Formas de Ataque no IP

- IP sniffing

- “Escuta” do tráfego em trânsito em uma rede

- IP spoofing

- Falsificação do endereço IP da origem ou do destino
 - “Usurpação” da identidade de outra pessoa

- IP flooding

- Envio de uma grande quantidade de pacotes, de forma que o tratamento destes pacotes exaure os recursos da máquina sob ataque

Principais Formas de Defesa no IP

- IP sniffing
 - Confidencialidade

- IP spoofing
 - Autenticação/integridade
 - Confidencialidade
 - Detecção de repetição

- IP flooding
 - Limitação das comunicações com/a determinadas estações

Extensões de Segurança no IPv6

○ *Authentication Header (AH)*

- Autenticação
- Integridade
- Detecção de ataques de repetição (opcional)
- Não repúdio (a depender do método de autenticação)

○ *Encapsulation Security Payload (ESP)*

- Confidencialidade
- Integridade
- Autenticação
- Detecção de ataques de repetição
- Confidencialidade (parcial) do fluxo

Modos de Proteção do IPSec

- Modo Transporte

- Protege a carga útil do pacote, e alguns campos do seu cabeçalho

- Modo Túnel

- Protege a comunicação dentro de um túnel IP
- Ou seja, protege todos os campos do pacote IP original e alguns campos do novo pacote IP que encapsula o pacote original

A Associação de Segurança

○ Definição

- Tipo de extensão de segurança do IPv6
- Serviços e parâmetros de segurança
 - Algoritmo de autenticação e chaves
 - Algoritmo de criptografia e chaves, método de criptografia, ...
 - Tempo de vida da associação de segurança
 - Modo do protocolo IPSec (túnel ou transporte)

○ Identificada por um índice de parâmetros de segurança

- *Security Parameters Index (SPI)*

Autenticação

- Extensão AH (*Authentication Header*)
- Modo Transporte
 - Integridade
 - Dados do transporte e campos (cabeçalho e extensões) imutáveis do pacote IP
 - Posicionamento da extensão no pacote:

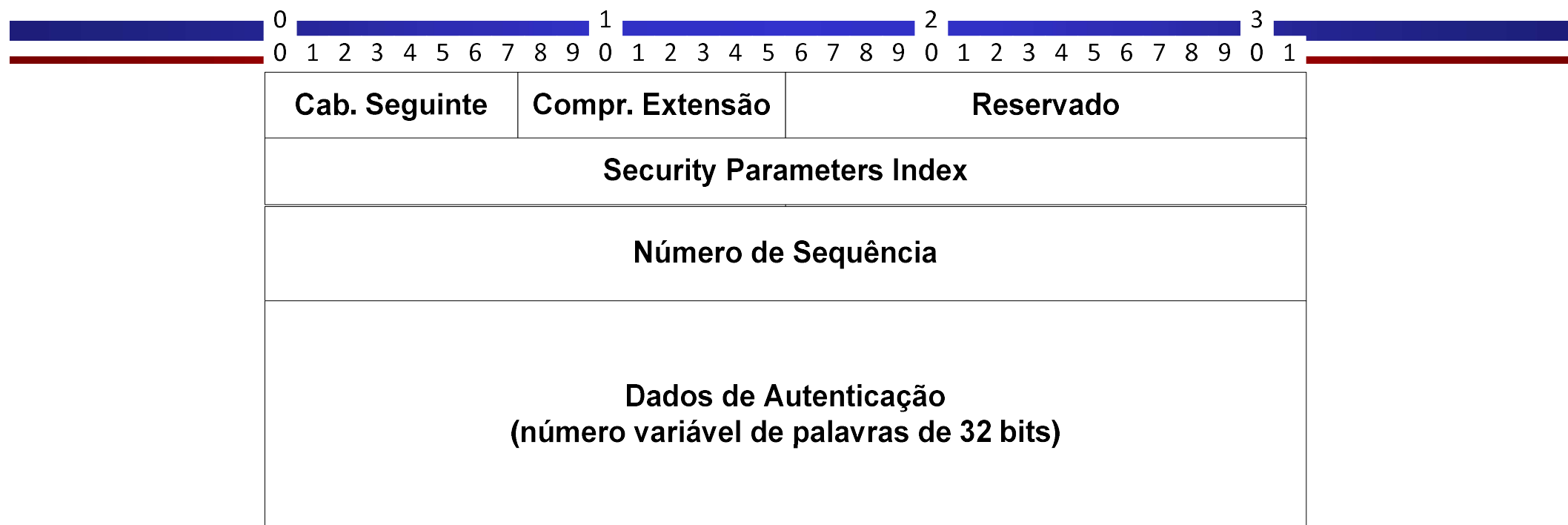
Cabeçalho IPv6	Ext. Hop-by-hop	Ext. Roteamento	Ext. Destino (*)	AH	Ext. Destino (*)	Dados
----------------	-----------------	--------------------	------------------	----	------------------	-------

Autenticação

- Extensão AH (*Authentication Header*)
- Modo Túnel
 - Integridade
 - Todo o pacote IP original
 - Campos imutáveis do novo pacote IP que encapsula o original
 - Posicionamento da extensão no pacote:

Cabeçalho IPv6 + novas extensões	AH	Cabeçalho IPv6 + extensões originais	Dados
----------------------------------	----	--------------------------------------	-------

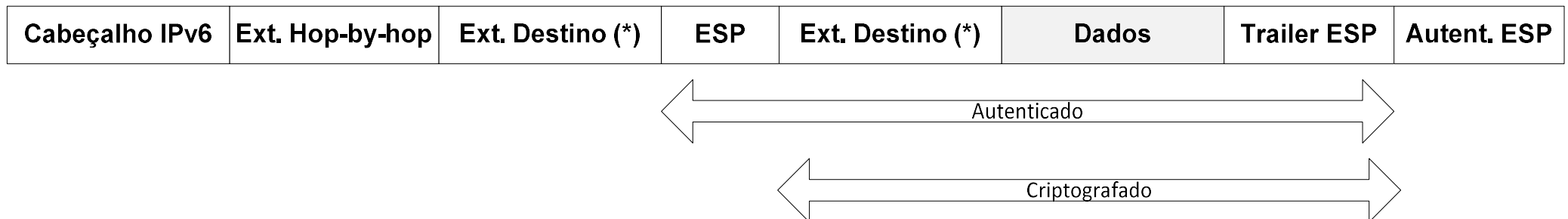
Conteúdo da Extensão AH



- Comprimento da Extensão em palavras de 32 bits
- SPI identifica a associação de segurança
- Número de sequência
 - Opcional: deve ser preenchido pela origem, mas o destinatário não é obrigado a verificar
- Dados de autenticação
 - Número variável de palavras de 32 bits

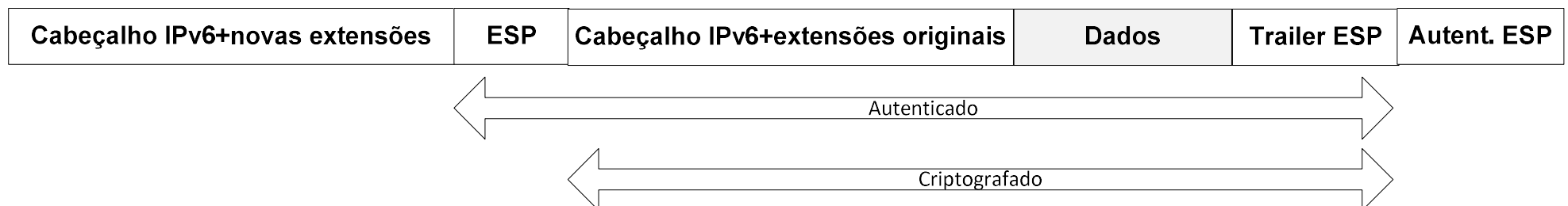
Confidencialidade

- Extensão ESP (*Encapsulating Security Payload*)
- Modo Transporte
 - Proteção criptográfica
 - Dados, do trailer ESP, e extensão destino (dependendo da sua posição no pacote)
 - Autenticação/integridade
 - Garante toda o conteúdo da extensão ESP, exceto o campo de dados de autenticação ESP
- Posicionamento da extensão no pacote:

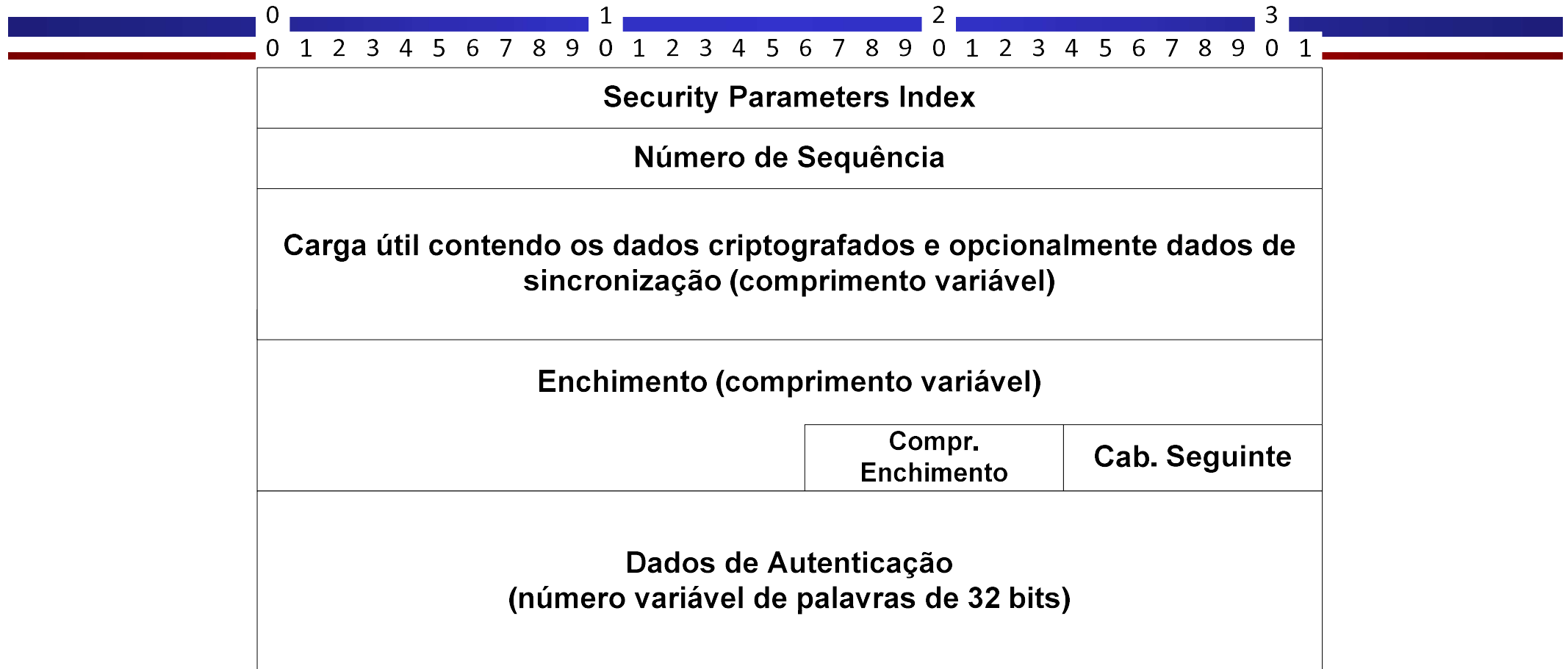


Confidencialidade

- Extensão ESP (*Encapsulating Security Payload*)
- Modo Túnel
 - Proteção criptográfica
 - Sobre todo o pacote IP original
 - Autenticação/integridade
 - Garante toda o conteúdo da extensão ESP, exceto o campo de dados de autenticação ESP
- Posicionamento da extensão no pacote:



Conteúdo da Extensão ESP



- SPI identifica a associação de segurança
- Número de sequência

Conteúdo da Extensão ESP

- Carga útil (dados criptografados) pode conter:
 - Cabeçalho IP + Extensões + Dados do transporte
 - (pacote IP completo)
 - Extensão de destino + Dados do transporte
 - Dados do transporte
 - Dados de sincronização dependendo do algoritmo criptográfico
- Enchimento, Comprimento do Enchimento
 - Bits de enchimento se devido ao alinhamento dos dados de criptografia
- Cabeçalho seguinte
 - Indica tipo de dados contidos no primeiro campo da carga útil
- Dados de autenticação
 - Opcional, depende da associação de segurança