



Conceitos básicos 11 de IPv6

- ✓ Esgotamento do endereço IPv4;
- ✓ Protocolo IPv6;
- ✓ Endereçamento IPv6;
- ✓ Cabeçalho do protocolo IPv6;
- ✓ Coexistência dos protocolos IPv4 e IPv6;
- ✓ Distribuição dos blocos IPv6.

1 1.1.Introdução

Para entender a importância do IPv6, é necessário conhecer um pouco a história da Internet e analisar informações sobre o desenvolvimento do protocolo IP. Ainda, é importante entender quais foram os impactos causados pela forma de distribuição dos endereços IP devido ao rápido crescimento da Internet.

1 1.2.Esgotamento do endereço IPv4

Quando a Internet foi projetada, não se previa que a rede de computadores mundial viria a ser como é hoje. Ela foi projetada, inicialmente, para interligar centros de pesquisas com foco em estudos militares, mas, pelo potencial que apresentava, seu uso foi rapidamente adotado por universidades americanas. A partir da década de 1990, quando a Internet passou a ser utilizada comercialmente, seu crescimento foi acelerado. Nos dias atuais, falamos sobre a “Internet das Coisas”, cuja finalidade é facilitar a vida, colaborando e conectando pessoas, dispositivos eletroeletrônicos, eletrodomésticos, carros, possibilitando o rastreamento de transportes, casas, animais, enfim, de tudo em que se pode colocar uma etiqueta eletrônica. Estima-se que, nos próximos anos, 50 bilhões de coisas estarão conectadas à Internet.

O IPv6 (IP versão 6) representa a nova versão do protocolo de Internet. A iminente exaustão do espaço de endereços da versão anterior, o IPv4 (IP versão 4), fez surgir a necessidade de adotar a conversão de endereços de rede por meio do NAT (Network Address Translation), alternativa desenvolvida pela RFC 1631 (que foi definida em 1994 e ficou obsoleta em 2001 pela RFC 3022), que tinha a finalidade de oferecer técnicas para mapear vários endereços particulares para um único endereço IP público. Acreditava-se que o NAT pudesse ser a solução para o esgotamento do endereço IPv4. Havia, entretanto, limitações significativas que não seriam eliminadas a partir dessa proposta, principalmente em relação à segurança, pois a adoção do NAT cria uma quebra da conexão fim a fim, gerando a necessidade de intermediários para fechar as conexões, o que cria vulnerabilidades; além disso, esse mecanismo não possui escalabilidade, e o gerenciamento da tabela exige grande poder de processamento, bem como impossibilita a adoção de técnicas de segurança como a oferecida pelo IPSec (Internet Protocol Security).

Além do crescimento exponencial da Internet, vimos anteriormente como ocorreu a distribuição dos endereços IPs através das classes de endereço. Se houvesse a necessidade de endereçar 270 computadores, por exemplo, seria necessário utilizar uma classe B, gerando um grande desperdício de endereços. Outro fator que contribuiu com o desperdício de endereços foi

o método inicial adotado de distribuição de faixas classe A, com 16.777.216 milhões de endereços, de forma integral a grandes instituições como Xerox, HP, IBM, AT&T, Apple, MIT, Departamento de Defesa Americano, entre muitas outras.

O esgotamento do endereço IPv4 foi percebido e tornou-se necessária, então, sua substituição. Portanto, a partir da década de 1990, o IETF (Internet Engineering Task Force) passou a elaborar projetos para a nova versão do protocolo de Internet.

Como vimos, torna-se indispensável a adoção de uma solução definitiva a fim de apoiar o crescimento da rede, atendendo novos projetos de aplicações de Internet, o crescente número de usuários e regiões que estão sendo atendidas através de projetos de inclusão digital, novas redes corporativas que ainda surgirão etc. O protocolo IPv6 foi projetado para oferecer uma solução definitiva para essas questões, além de prover os avanços que veremos a seguir.

1.3. Protocolo IPv6

A partir da década de 1990, o IETF iniciou o desenvolvimento do novo protocolo, formalizado pela RFC 1550, criando uma versão que foi chamada de IPv5 e que ficou conhecida como IP Next Generation (IPng). O projeto deveria prever as seguintes necessidades:

- Distribuição adequada do endereço IP;
- Redução do tamanho das tabelas de roteamento;
- Simplificação da estrutura do protocolo para permitir processamento mais ágil;
- Suporte ao recurso de QoS;
- Suporte à mobilidade;
- Suporte a maior número de hosts na Internet;
- Segurança no nível do protocolo, com privacidade e autenticação;
- Interoperabilidade entre protocolos em ambas as versões;
- Facilidade do multicasting.

No entanto, a partir dos avanços do projeto do novo protocolo, foram estabelecidas novas RFCs com definições específicas sobre esses avanços. Uma delas foi a RFC 1883 (que foi definida em 1995 e ficou obsoleta em 1998 pela RFC 2460), que definiu regras e especificações do IPv6.

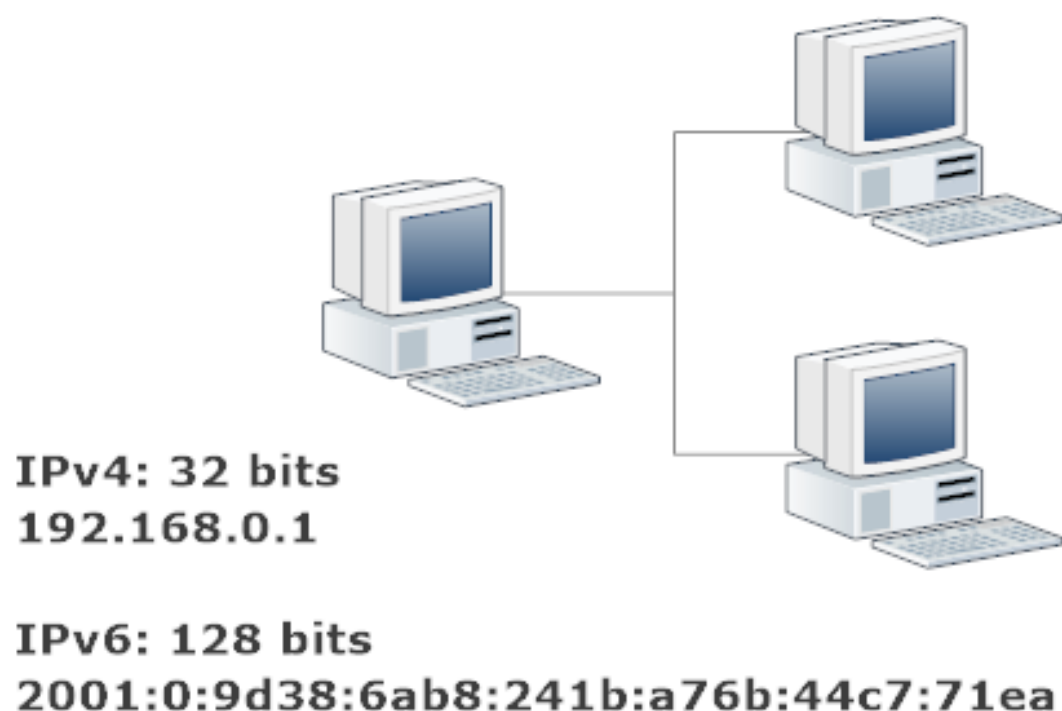
Com as alterações no protocolo IPv6, o espaço para endereços IPs foi elevado de forma significativa, garantindo-se, assim, alta disponibilidade com capacidade de crescimento e escalabilidade global. Veja duas implementações importantes:

- **Segurança:** O protocolo IPv6 oferece suporte obrigatório ao IPSec, sendo possível a ativação em todos os processos de comunicação, garantindo, assim, autenticidade, privacidade e integridade dos dados;
- **ICMP:** O protocolo ICMP foi alterado para oferecer mecanismos de autoconfiguração de endereços, com recurso de descoberta de vizinhança e gerenciamento de multicast.

11.3.1. Estrutura do Protocolo IPv6

Como vimos, o protocolo IPv6 (Internet Protocol version 6), substituto do IPv4, é uma evolução, e sua principal alteração é que nessa nova versão são utilizados endereços de 128 bits em vez de 32 bits. O IPv6 não é apenas uma atualização, é um novo protocolo.

O número de um endereço IPv6 é significativamente maior, com muito mais casas decimais do que o modelo anterior (IPv4), visando justamente evitar que uma nova substituição seja necessária no futuro.

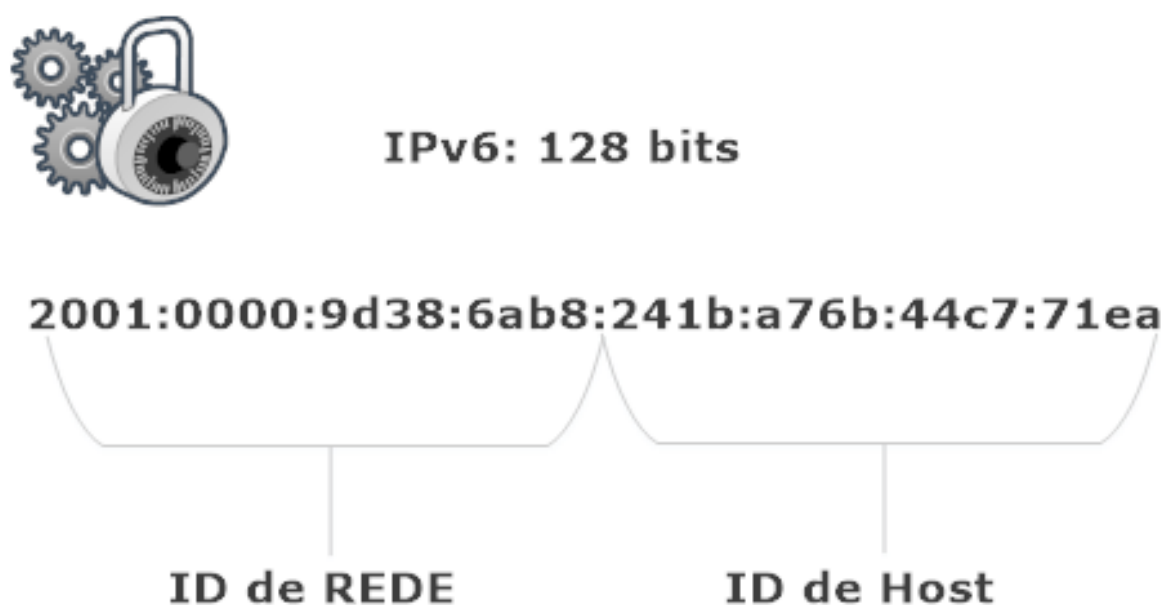


O endereçamento IPv4 é representado por um conjunto de quatro octetos separados por pontos (.), sendo w.x.y.z. Já a representação dos endereços IPv6 se dá por meio de 32 caracteres, que ficam ordenados em oito quartetos, cada um separado por dois pontos (:). Esses endereços, por serem mais extensos, são representados por meio de caracteres em conjunto hexadecimal. Em tal conjunto, cada caractere representa 4 bits, isto é, 16 combinações. Isso significa que, em um endereço IPv6, é possível utilizar os caracteres A, B, C, D, E e F, além de qualquer número de 0 a 9. Os caracteres A, B, C, D, E e F representam, respectivamente, os números 10, 11, 12, 13, 14 e 15.

A adoção da nova versão do protocolo IP elimina qualquer chance de esgotamento de endereços, pois ela possibilitará a disponibilidade de endereços IPs conforme a seguir: 340.282.366.92 0.938.463.463.374.607.431.768.211.456. Isso representa 79 trilhões de trilhões de vezes a quantidade que há disponível na versão IPv4.

11.4. Endereçamento IPv6

Os endereços IPv6 são divididos em dois blocos, tal qual o IPv4. Já vimos que, no total, há oito quartetos. Os quatro primeiros quartetos – que consistem na primeira parte de 64 bits – são responsáveis pela identificação da rede, ao passo que os quatro últimos quartetos – aqueles que representam a outra parte de 64 bits, totalizando os 128 bits do IPv6 – são aqueles que identificam o host, como mostra a figura a seguir.



| IPv4 | IPv6 |
|---|---|
| O protocolo IPv4, com um cabeçalho de 32 bits, possibilita a criação de 4 bilhões de endereços IP diferentes para dispositivos na Internet. | O protocolo IPv6, com um cabeçalho de 128 bits, possibilita a criação de $3,4 \times 10^{38}$ endereços diferentes. Isso é equivalente a 56 octilhões de endereços por ser humano na Terra. |
| O endereço IPv4 é dividido em 4 grupos de 8 bits separados por pontos (.) e escritos com dígitos decimais. | O endereço IPv6 é dividido em 8 grupos de 16 bits, separados por dois pontos (:) e escritos com dígitos hexadecimais. |

É importante ressaltar que os endereços IPv6 permitem que as letras no endereço sejam maiúsculas ou minúsculas, e podemos abreviá-los de várias formas, deixando-os extremamente compactos. Em cada quarteto, é possível omitir quaisquer zeros que estiverem à esquerda de um número. Assim, em vez de escrever o número 0675, por exemplo, pode-se simplesmente digitar 675. Se o número for 0000, basta deixar apenas 0 (omitindo os outros três à esquerda). Tudo isso não altera em nada o significado; os zeros à esquerda são apenas omitidos. Portanto, é comum se deparar com endereços IPv6 que tenham, em seus quartetos, apenas três, dois ou um dígito só.

Até mesmo sequências do número 0 podem ser omitidas em um endereço IPv6. Para isso, são utilizados dois pontos seguidos (::). Ao utilizar o endereço, o sistema sabe disso e, sem ter problemas, faz a conversão internamente.

Zeros contíguos podem ser abreviados apenas uma vez no mesmo endereço, para evitar que haja ambiguidades na representação dos endereços. Veja o exemplo a seguir:

Endereço IPv6: 2001:0000:0000:0058:0000:0000:0000:0320

Formatos de abreviação corretos:

Formato 1: 2001::58:0:0:0:320

Formato 2: 2001:0:0:58::320

Formato de abreviação errado:

2001::58::320

Existem duas possibilidades para configurarmos endereços em uma mesma rede. Podemos utilizar endereços sequenciais ou utilizar a atribuição automática de endereços no IPv6, que consiste em utilizar os endereços MAC das placas de rede para atribuir os endereços dos hosts.

Os endereços MAC, porém, contêm apenas 12 dígitos hexa, ao passo que, no IPv6, o trecho em que está identificado o host (a segunda metade, conforme vimos) contém 16 dígitos. Atualmente, uma extensão dos endereços MAC das placas de rede é estudada, contudo, enquanto não há algo definitivo, é possível converter endereços de 12 dígitos em endereços de 16 dígitos por meio de um método simples: acrescentar, entre o sexto e o sétimo dígito do endereço (no meio), os dígitos ffff, como no exemplo: **0018e7ffff4929cf**.

O endereço IPv6 ficará ainda mais extenso se adicionarmos o endereço da rede, pois, desta vez, há o acréscimo dos dígitos ffff.

Vale lembrar que os zeros sequenciais do endereço sempre podem ser omitidos por dois pontos seguidos (::). Assim, **2002:0:0:0:0:0:176.16.10.1** ficaria **2002::176.16.10.1**.

Nessa nova versão de protocolo IPv6, há três tipos de endereçamento em razão do novo espaço de endereços, que são o unicast, o multicast e o anycast. Vamos ver como é a estrutura de cada um desses tipos de endereços.

11.4.1. Unicast

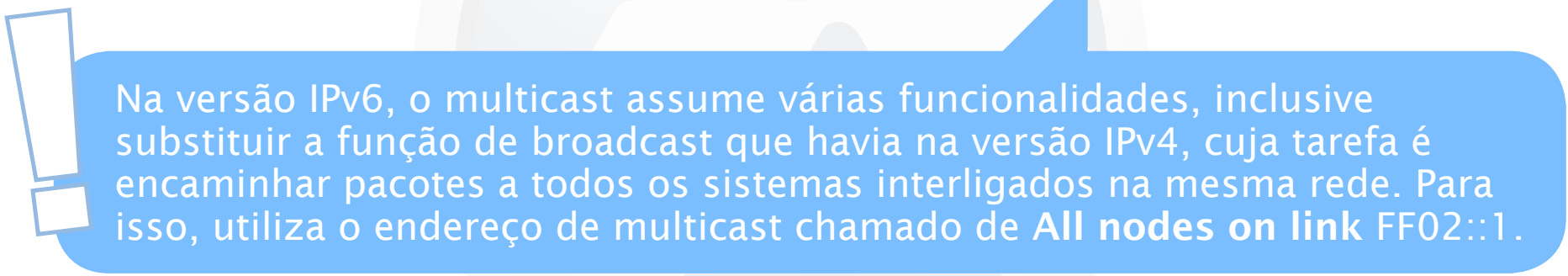
O tipo de endereço unicast identifica somente uma interface, logo, um pacote enviado a um endereço unicast é entregue a uma interface apenas. No entanto, há tipos de endereços unicast, como veremos a seguir:

- **Global unicast:** Representa um endereço IP equivalente aos endereços IP públicos IPv4. É um endereço roteável e acessível na Internet IPv6;
- **Link-local:** Endereço atribuído de forma automática e válido apenas dentro do mesmo espaço de endereço; utiliza-se prefixo FE80::/64, e, com esse espaço de endereço, 64 bits são reservados para a identificação da interface de rede;
- **Unique-local:** Endereço globalmente único e utilizado apenas para comunicações locais; implantado dentro do mesmo enlace e não roteável para Internet. Endereço identificado pelo prefixo FC00::/7, sempre seguido de um ID global único de 40 bits, gerado de forma aleatória;
- **IPv4 mapeado em IPv6:** O endereço do tipo IPv4 mapeado em IPv6 possui um formato de implementação específico e é considerado um endereço especial, pois, geralmente, é utilizado para mapear um endereço IPv4 em um endereço IPv6 de 128 bits;

- **Loopback:** É representado pelo unicast 0:0:0:0:0:0:0:1 ou ::1. Esse endereço equivale ao endereço da versão IPv4 loopback 127.0.0.1. Bastante utilizado em testes internos, o endereço é usado para referenciar a própria máquina. Também é um endereço especial;
- **Unspecified:** É considerado um endereço especial e é representado pelo endereço 0:0:0:0:0:0:0:0 ou ::0. No endereço IPv4, equivale ao unspecified 0.0.0.0. Ele nunca deve ser atribuído, pois indica somente ausência de endereço, seja de forma automática ou dinâmica.

11.4.2. Multicast

Os endereços multicast são derivados do bloco FF00::/8. O octeto que segue o prefixo FF contém flags que determinam o tempo de vida do pacote, e um valor de 4 bits define o escopo do grupo multicast. Endereços multicast são utilizados para identificar grupos de interfaces, sendo que cada interface pode pertencer a mais de um grupo, e os pacotes são encaminhados para o grupo, logo, quem participa do grupo recebe os dados encaminhados.



Na versão IPv6, o multicast assume várias funcionalidades, inclusive substituir a função de broadcast que havia na versão IPv4, cuja tarefa é encaminhar pacotes a todos os sistemas interligados na mesma rede. Para isso, utiliza o endereço de multicast chamado de **All nodes on link** FF02::1.

11.4.3. Anycast

Endereços IPv6 do tipo anycast são utilizados para identificar um grupo de interfaces, e são atribuídos a partir da faixa de endereços unicast. Geralmente, não há diferenças sintáticas entre eles, portanto, quando atribuído a mais de uma interface, um endereço unicast transforma-se em um endereço anycast, devendo-se, nesse caso, configurar explicitamente os sistemas a fim de que saibam que um endereço anycast foi atribuído a eles. Além disso, esse endereço deve ser configurado nos roteadores como uma entrada separada (prefixo/128 – host route).

Devemos ressaltar que podemos atribuir múltiplos tipos de endereços em uma interface de rede. Vejamos:

- Tipo Global: 2001:...
- Tipo Unique Local: FC07:...
- Tipo Link Local: F800:...
- Tipo Loopback: ::1

1 1.5.Cabeçalho do protocolo IPv6

Uma das mudanças mais importantes em relação ao protocolo IPv6 está no cabeçalho. Nessa versão, o IETF conseguiu um grande avanço em relação à versão anterior. Embora o endereço IPv6 seja de 128 bits, quatro vezes maior que o IPv4, que é de 32 bits, seu cabeçalho é apenas duas vezes maior. Nessa versão, o cabeçalho ficou mais simplificado, o que trouxe mais velocidade e resultou em menor tempo para o processamento, sendo fundamental para redes de alta velocidade.



Cabeçalho IPv6

| | | | |
|---------------------|----------------|-------------------|-----------------|
| Versão | Classe Tráfego | Etiqueta de Fluxo | |
| Tamanho do Payload | | Proximo Cabeçalho | Limite de Salto |
| Endereço de Origem | | | |
| Endereço de Destino | | | |

Cada um dos campos no cabeçalho IPv6 possui características específicas. Vamos apresentar cada um deles a seguir:

| Nome do campo | Tamanho do campo | Descrição do campo |
|-----------------------------|------------------|--|
| Versão | 4 bits | Esse campo informa qual a versão do protocolo, que pode ser v4 ou v6. No caso, apresentamos apenas a versão 6. |
| Classe de tráfego | 8 bits | Utilizado para identificar um pacote por classe de serviço ou por prioridade. Esse campo serve de base para o serviço de QoS, por exemplo. |
| Etiqueta de fluxo | 20 bits | Adiciona tags de identificação aos pacotes. Esses dados são utilizados em conjunto com a Classe de tráfego para tratamento do pacote. |
| Tamanho dos dados (payload) | 16 bits | Representa o tamanho em bytes dos dados encaminhados pelo protocolo IPv6 junto com o cabeçalho. Entretanto, o tamanho do cabeçalho de extensão também é somado nesse novo campo. |
| Próximo cabeçalho | 8 bits | É responsável por identificar o tipo de cabeçalho que está sendo encaminhado, considerando o processo de transição ou de coexistência de versões. |
| Limite de salto | 8 bits | Esse campo define a quantidade de roteadores pelos quais o pacote pode passar até que seja descartado. A cada nó que o pacote é encaminhado, é reduzido o número de saltos, o que reduz o tempo de vida de um pacote. Se o número de saltos chegar a zero, o pacote será descartado. |
| Endereço de origem | 128 bits | Representa o endereço de origem do pacote. |
| Endereço de destino | 128 bits | Representa o endereço de destino do pacote, no entanto, pode não ser o endereço final, em razão do processo de roteamento. |

1 1.6.Coexistência dos protocolos IPv4 e IPv6

Embora a migração do protocolo IPv4 para o IPv6 seja muito importante, em razão do esgotamento do espaço de endereços, ainda é necessário que, por um tempo, ambas as versões de protocolos coexistam. Dessa forma, será necessário manter a interoperabilidade das versões para que o processo de transição ocorra com sucesso. Existem alguns mecanismos para manter a compatibilidade, como os recursos chamados de Pilha Dupla, Tradução e Tunelamento.

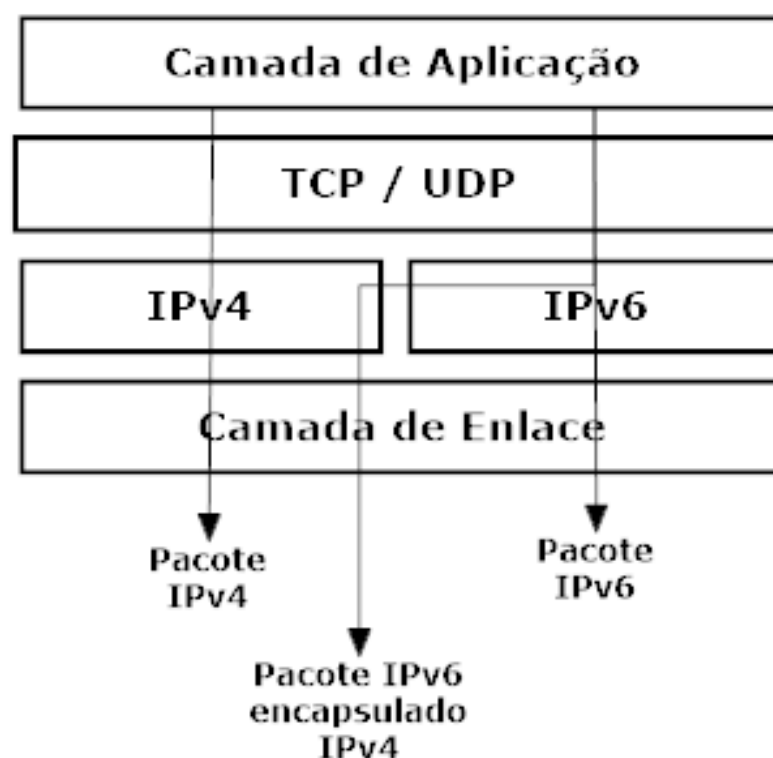
Uma das metas do IPv6 é estar compatível com ambientes que ainda utilizem o IPv4, uma vez que, em tais ambientes, existem sistemas que não são mais atualizados. Mas há computadores que possuem o IPv4 já configurado e vão migrar para o IPv6. Nesses, é possível adicionar um endereço IPv6 sem que haja queda na rede, de forma que o computador continue respondendo normalmente ao endereço IPv4 e, agora, também ao endereço IPv6.

Uma forma de manter a compatibilidade entre ambos os protocolos é um recurso oferecido pelo IPv6. Basta acrescentar **ffff::** antes do endereço IPv4 que atualmente estiver em utilização. Com isso, poderemos continuar utilizando os mesmos endereços ao migrar para o IPv6.

Vamos conhecer esses recursos disponíveis para a transição.

11.6.1. Pilha Dupla (Dual-Stack)

Esse mecanismo de coexistência chamado Dual-Stack oferece ao IPv6 suporte de interoperabilidade. Internamente, ele possui suporte das duas pilhas TCP/IP (IPv4 e IPv6). Com isso, durante o processo de roteamento e transferência de dados, o nodos TCP, com base na versão do protocolo, decide qual pilha processará o quadro de dados, ou seja, provê suporte a ambos os protocolos no mesmo dispositivo.



Com o mecanismo Dual-Stack, o pacote de dados utiliza o mesmo endereço para encaminhamento em ambas as versões de protocolos, assim, mesmo que tenha sistemas já atualizados com IPv6, ele garantirá que se comuniquem com sistemas que tenham a versão do IPv4. Com esse mecanismo, sistemas que possuem apenas o protocolo IPv4 podem encaminhar pacotes para dual-stack que possuam IPv4; o mesmo caso para sistemas IPv6.

11.6.2. Tradução

Os mecanismos e técnicas de tradução tornam possível que o processo de roteamento seja transparente na comunicação entre dois sistemas que apresentem suporte apenas a uma versão do protocolo IP, ou até mesmo que utilizem pilha dupla. A grande vantagem desses mecanismos é que eles podem atuar em múltiplas camadas, realizando a tradução de cabeçalhos de protocolo na versão 4 para cabeçalhos na versão 6, e realizar o processo de tradução reverso. Também realiza o processo de tradução endereços de APIs de linguagens de programação, ou atuando na troca de tráfego dos protocolos TCP ou UDP.

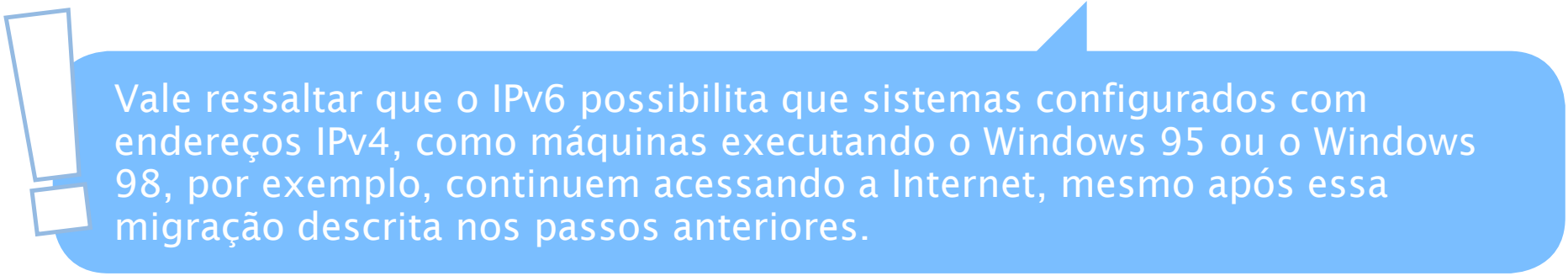
11.6.3. Tunelamento

O mecanismo de tunelamento tem a finalidade de permitir a transmissão de pacotes IPv6 com parte de dados de um pacote IPv4, a fim de que dois sistemas possam comunicar-se por meio de uma rede que só suporte IPv4. Essa técnica tem sido amplamente utilizada a fim de facilitar o processo de transição e implantação do protocolo IPv6. Esse formato de utilização está definido pela RFC 4213, em razão da facilidade de adoção da nova versão. O tunelamento permite o tráfego de pacotes IPv6 em uma estrutura de rede existente IPv4, sem realizar nenhuma alteração no mecanismo de roteamento, pois ele realizará o encapsulamento de pacotes IPv6 em pacotes IPv4.

Isso vem a ser uma vantagem em situações nas quais, por exemplo, houver um grande êxodo do IPv4 para o IPv6, e o provedor de acesso oferecer suporte somente ao IPv4. Esse tipo de situação já é prevista pelo IPv6, o qual, por meio de redes IPv4, oferece suporte ao tunelamento de pacotes IPv6. Isso funciona da seguinte forma:

1. O roteador, antecipadamente, percebe a necessidade dos pacotes IPv6 passarem por uma rede IPv4;

2. Os pacotes IPv6, então, serão empacotados pelo roteador, que os coloca dentro de pacotes IPv4 para que possam ser roteados normalmente através da rede IPv4;



Vale ressaltar que o IPv6 possibilita que sistemas configurados com endereços IPv4, como máquinas executando o Windows 95 ou o Windows 98, por exemplo, continuem acessando a Internet, mesmo após essa migração descrita nos passos anteriores.

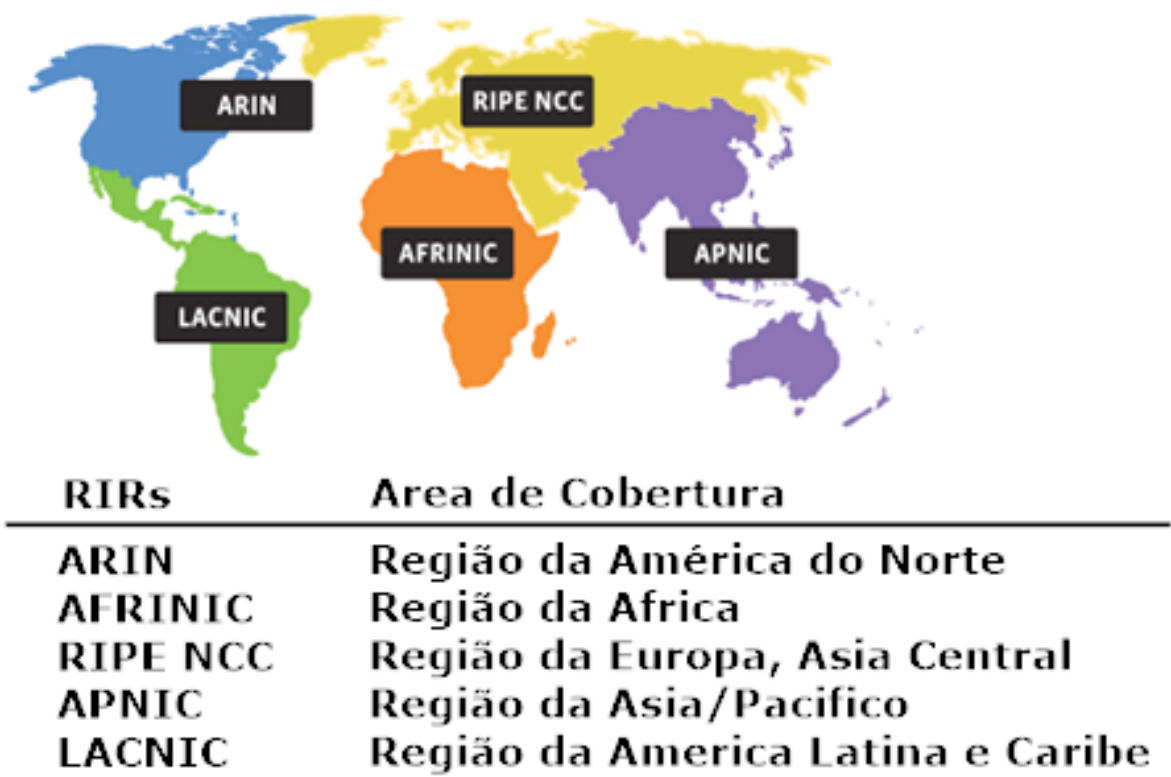
3. Um roteador IPv6 estaria do outro lado da conexão, com a função de remover o cabeçalho IPv4 dos pacotes, obtendo, assim, os pacotes IPv6 originais.

No processo de tunelamento, existem algumas técnicas para a criação do túnel de compatibilidade para o roteamento dos pacotes e, comumente, pode ser adotado um dos seguintes: 6to4, TunnelBroker, Teredo e ISATAP. Isso exigirá do administrador, no entanto, uma análise das diferenças entre os modelos.

11.7. Distribuição dos blocos IPv6

A distribuição dos blocos de endereços IPv6 é realizada de forma hierárquica e é coordenada da seguinte forma:

1. O instituto conhecido como IANA (Internet Assigned Numbers Authority) é uma organização sem fins lucrativos responsável pela coordenação global dos endereços IP, bem como pelos endereços liberados para roteamento na Internet. Ela define os critérios de como os endereços serão utilizados e distribuídos pelo Regional Internet Registry, conhecido apenas como RIR, responsável pelos Registros Regionais de Internet de cada parte do globo, como mostra a figura a seguir. Assim, o IANA entrega a cada RIR um bloco de endereços /12;



11.5. RIR – Regional Internet Registry

O formato de apresentação do endereçamento IP continua utilizando a Notação CIDR para identificação da Rede e Host.

2. Os RIRs são responsáveis por distribuir os blocos de endereços recebidos pelo IANA aos provedores de acesso à Internet de suas regiões. Embora o IANA tenha uma política global de distribuição e organização de endereços IPs, os RIRs têm certa autonomia para criar estratégias de distribuição de forma que seja mais eficiente em sua região de atuação. Os RIRs entregam aos provedores de acesso blocos de endereços IPs /32;
3. Os provedores de acesso à Internet também são conhecidos como ISPs. Eles são contratados para fornecer acesso à Internet aos usuários finais e devem entregar aos seus clientes blocos de endereços IPs /48 ou /56. Com esses blocos, os clientes podem ter respectivamente 65.536 ou 256 redes diferentes, cada uma delas com 18.446.744.073.709.551.616 endereços IPs diferentes. Já os usuários domésticos poderão receber um bloco /64.

Todas as distribuições de Linux atuais, bem como o Windows XP com SP2 e o Windows Vista, já dão suporte ao endereçamento IPv6.