Camada de Rede

Redes de Computadores

Profa. Kalinka Castelo Branco

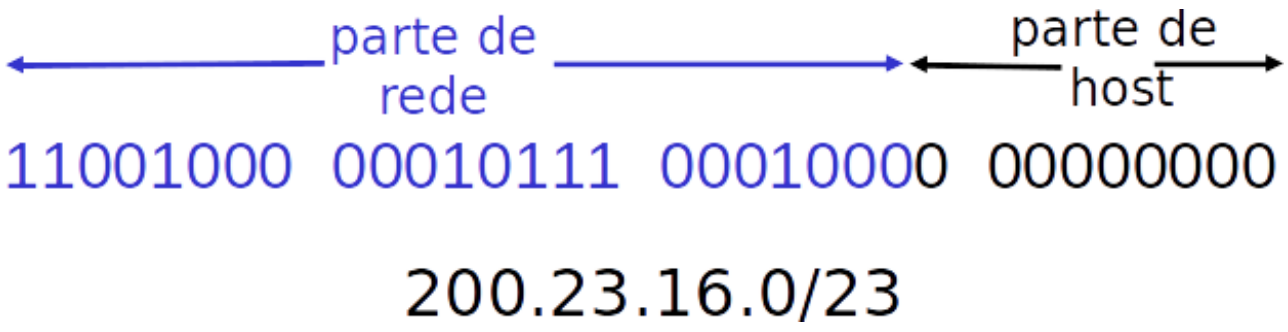
Universidade de São Paulo

Abril de 2019

Roteiro

Endereços IP

- Formados por 32 bits, representados por notação decimal com pontos;
- Exemplo: 192.168.0.1;
- Possuem uma parte que representa a rede e outra que representa o *host*:



Máscara de rede

- É formada por 32 bits no mesmo formato que o endereço IP;
- Utilizada para definir a rede à qual pertence o computador;
- A rede do computador é obtida a partir de um AND entre o endereço do computador e a máscara.

Máscara de rede

- Se a rede do computador destino for a mesma do computador origem, o dado é enviado diretamente para o computador destino através da sub-rede;
- Se a rede for diferente os pacotes são enviados para o roteador.

Máscara de rede

- Bit 1: representa a parte do endereço que é usada para a rede;
- Bit 0: representa a parte do endereço que é usada para as máquinas.
- Máscaras mais comuns:
  - Classe A: 255.0.0.0
  - Classe B: 255.255.0.0
  - Classe C: 255.255.255.0

Máscara de rede

Exemplo 1

Qual é o endereço de rede, dados o IP e a máscara abaixo?

Endereço IP:	200	237	190	21	AND
Máscara de rede:	255	255	255	0	
Endereço de rede:	**?**	**?**	**?**	**?**	

Máscara de rede

- Transformamos em binário:

Endereço IP:	11001000	11101101	10111110	10101	AND
Máscara da rede:	11111111	11111111	11111111	0	
Endereço de rede:	**?**	**?**	**?**	**?**	

Máscara de rede

- Aplicamos o AND:

Endereço IP:	11001000	11101101	10111110	10101	AND
Máscara da rede:	11111111	11111111	11111111	0	
Endereço de rede:	**11001000**	**11101101**	**10111110**	**0**	

Máscara de rede

- Convertemos para decimal novamente:

Endereço IP:	200	237	190	21	AND
Máscara da rede:	255	255	255	0	
Endereço de rede:	**200**	**237**	**190**	**0**	

Máscara de rede

Exemplo 2

Como saber se um computador A está na mesma rede de um computador B?

Host A	$\rightarrow$	*Host* B
200.145.31.34		200.145.31.3

Exemplo 2

Como saber se um computador A está na mesma rede de um computador B?

Host A	$\rightarrow$	*Host* B
200.145.31.34		200.145.31.3
255.255.255.0		255.255.255.0
200.145.31.0	$=$	**200.145.31.0**

Mesma rede!

Sub-redes

- A estrutura de endereçamento IP pode ser mudada localmente (a critério do administrador de rede), usando-se bits de endereçamento de máquina como um adicional para endereçamento de rede;
- O **número do host** é dividido em número da sub-rede e número do *host*. O número IP é agora interpretado como:

<**network number**>	<**subnet number**>	<**host number**>

- A divisão é feita usando uma máscara de rede "não padrão" que permita extrair os endereços de rede e de máquina corretamente.

Sub-redes

- Por exemplo: uma rede classe B

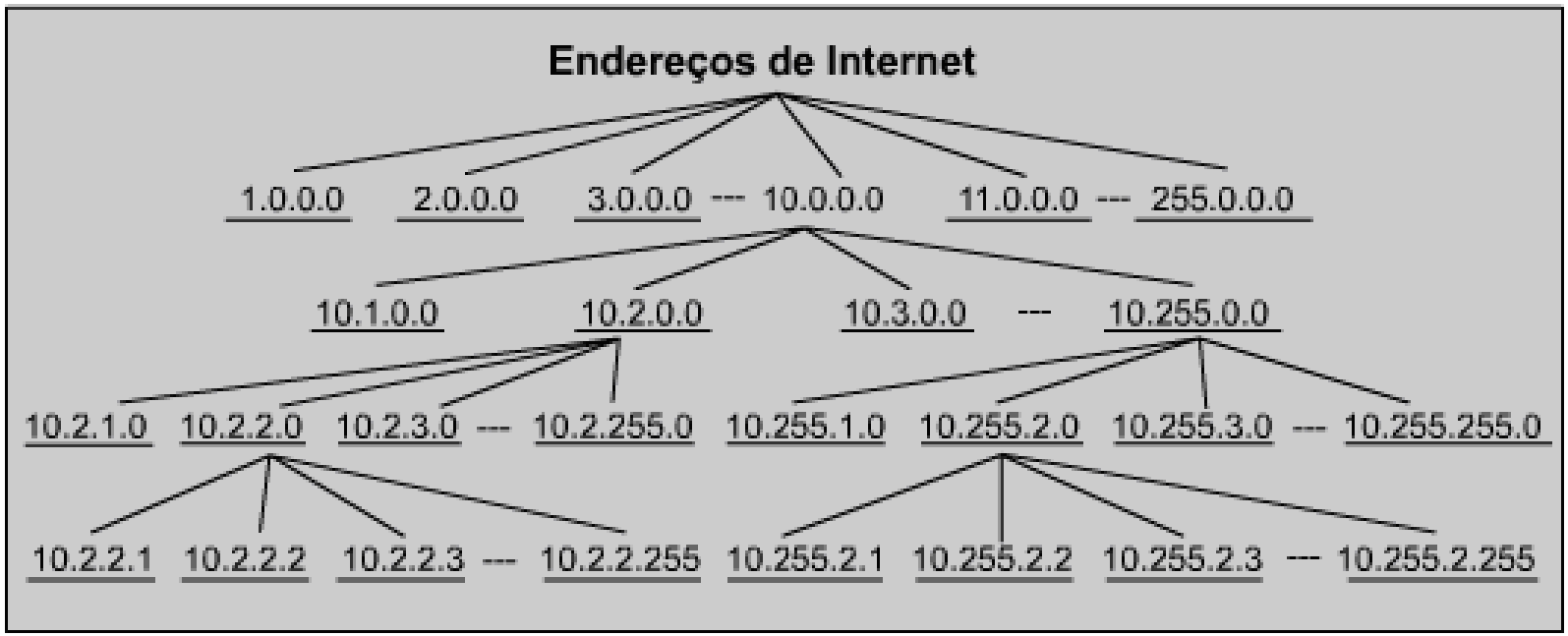
16 bits	16 bits
<network number>	<host number>

- Os 16 bits do número do *host* podem ser usados da seguinte forma:
  - O primeiro byte é o número da sub-rede e o segundo byte é o número do *host*;
  - $2^8 = 256$ sub-redes possíveis;
  - $2^8 - 2 = 254$ *hosts* em cada sub-rede (pois os valores 0 e 255 são reservados);
  - Máscara = 255.255.255.0

Camada de Rede

- Endereçamento possui um **significado global**, é utilizado e compreendido por toda a rede.
- **Roteadores**:
  - Dispositivos ativos da camada de rede;
  - Usam o endereçamento com significado global para aprender as regras de encaminhamento dos pacotes;
- A Camada de Rede também realiza a fragmentação de um pacote em tamanhos menores tendo em vista a MTU (*Maximum Transmision Unit* – Unidade de Transferência Máxima) da tecnologia utilizada.

- O endereçamento é hierárquico:



Sub-redes

- Seja o IP 10.0.0.0/8. Se usarmos essa rede para endereçar uma rede local, haverá "infinitos" endereços de *hosts*, mas somente um endereço de rede!
- Se precisarmos de uma rede voltada apenas para servidores, teremos que usar uma outra rede, o que esse endereçamento não contempla;
- Sendo assim, a solução é o uso de **sub-redes**.

Sub-redes

- Dividir uma rede em sub-redes significa usar a máscara de sub-rede para dividir a rede em segmentos menores, ou sub-redes, mais eficientes e mais fáceis de gerenciar, gerando assim números maiores de redes pequenas;

Como fazer uma sub-rede?

- Antes de "reduzir" a rede 10.0.0.0/8, vamos analisá-la;
- Esse endereço provê uma rede (10.0.0.0) e muitos *hosts* (de 10.0.0.1 a 10.255.255.254).
- Como não precisamos de todos esses *hosts*, vamos reduzi-la da seguinte forma: criamos a máscara 10.0.0.0/16. Pronto, simples assim! Só mudamos a máscara! Dessa forma temos 256 sub-redes.
- Vamos provar?

Como fazer uma sub-rede?

- Primeiro, coloca-se o IP sobre a máscara:

	Octeto 1	**Octeto 2**	**Octeto 3**	**Octeto 4**
Endereço IP:	10	0	0	0
Máscara de rede:	255	255	0	0

	Octeto 1	**Octeto 2**	**Octeto 3**	**Octeto 4**
Endereço IP:	0000 1010	0000 0000	0000 0000	0000 0000
Máscara de rede:	1111 1111	1111 1111	0000 0000	0000 0000

Como fazer uma sub-rede?

- Podemos ver que os 2 primeiros octetos se referem a rede e os dois últimos ao *host*. Dessa forma temos as seguintes características:
  - Um endereçamento que provê 256 sub-redes (de 10.0.0.0 até 10.255.0.0) e 65534 *hosts* por sub-rede (de 10.0.0.1 a 10.0.255.254 ou de 10.1.0.1 até 10.1.255.254);
- Porque não variar o primeiro octeto?
  - Porque a ideia é criar sub-redes dentro da rede, e qual é a nossa rede?
    - 10.0.0.0/8
  - A máscara de 8 bits fixa o primeiro octeto. Simplesmente pegaremos "emprestado" alguns bits do endereço de *host* original e usaremos para endereçar a sub-rede.

Como fazer uma sub-rede?

- Agora, vamos analisar um IP da sub-rede, por exemplo o 10.12.0.20:

	Octeto 1	Octeto 2	Octeto 3	Octeto 4
Endereço IP:	0000 1010	0000 1100	0000 0000	0001 0100
Máscara de rede:	1111 1111	1111 1111	0000 0000	0000 0000

- A porção de rede original está em verde, a porção de rede "emprestada" da antiga parte de *host* está em vermelho, e a parte de *host* restante está em preto.

Como fazer uma sub-rede?

- Agora, vamos supor que queremos implementar algumas sub-redes para servidores:
  - Precisamos montar 4 redes para servidores. Cada rede tem que suportar até 10 servidores. Só temos disponível para isso a rede 192.168.1.0/24.
  - Como implementar 4 redes utilizando a rede 192.168.1.0/24?
    - Com sub-redes!
  - Pensando em numeração binária, quantos bits livres ainda temos?
    - 8 bits, que é o octeto 4. Vamos utilizar esses 8 bits pra criar as sub-redes.

Como fazer uma sub-rede?

- A sub-rede tem que suportar até 10 servidores;
- Como só trabalhamos em potências de 2, não vamos conseguir prover exatamente 10 endereços de *hosts*. Qual o próximo múltiplo de 2 mais próximo de 10?
- A próxima potência de 2 é 16;
- Mas, como sabemos, as redes têm 2 endereços reservados, os endereços de rede (com a porção do *host* preenchida com 0s) e o endereço de *broadcast* (com a porção de *hosts* preenchida com 1s). Dessa forma, temos apenas 14 $(16 - 2)$ endereços de *hosts* úteis.

Como fazer uma sub-rede?

- Quantos bits são necessários para identificar os hosts? $16 = 2^4$, logo, são necessários 4 bits para endereçar os *hosts*.
- De um total 8 bits "livres", nos sobram 4 bits para a rede $(8 - 4 = 4)$.
- Vamos ver na tabela:

	Octeto 1	**Octeto 2**	**Octeto 3**	**Octeto 4**
Endereço IP:	1100 0000	1010 1000	0000 0001	0000 0000
Máscara de rede:	1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 0000

Como fazer uma sub-rede?

- Agora começa a parte complicada. Qual é a máscara dessa "nova rede"?
  - 255.255.255.240/28
- Então vamos ver todas as possíveis sub-redes que teremos utilizando a máscara /28;
- Como já vimos anteriormente, os 1s da máscara definem a porção de rede. Variando os bits da porção de sub-rede do endereço IP (bits em vermelho), teremos as possíveis sub-redes.

Como fazer uma sub-rede?

Octeto 1	Octeto 2	Octeto 3	Octeto 4	Notação decimal pontuada
1100 0000	1010 1000	0000 0001	0000 0000	192.168.1.0
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0001 0000	192.168.1.16
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0010 0000	192.168.1.32
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0011 0000	192.168.1.48
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0100 0000	192.168.1.64
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 0000	192.168.1.80
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0110 0000	192.168.1.96
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0111 0000	192.168.1.112
1100 0000	1111 1111	0000 0001	1000 0000	192.168.1.128
1100 0000	1111 1111	0000 0001	1001 0000	192.168.1.144
1100 0000	1111 1111	0000 0001	1010 0000	192.168.1.160
1100 0000	1111 1111	0000 0001	1011 0000	192.168.1.176
1100 0000	1111 1111	0000 0001	1100 0000	192.168.1.192
1100 0000	1111 1111	0000 0001	1101 0000	192.168.1.208
1100 0000	1111 1111	0000 0001	1110 0000	192.168.1.224
1100 0000	1111 1111	0000 0001	1111 0000	192.168.1.240

Como fazer uma sub-rede?

- Agora vamos pegar um endereço de rede e calcular os endereços de *hosts*. Por exemplo, a rede 192.168.1.80/28.

Como fazer uma sub-rede?

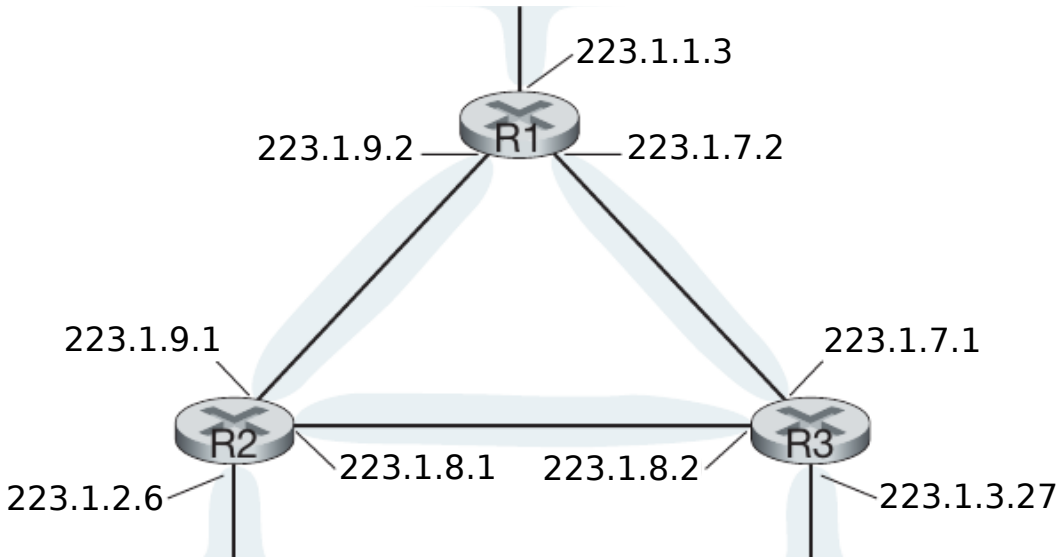
Octeto 1	Octeto 2	Octeto 3	Octeto 4	Notação decimal pontuada
1100 0000	1010 1000	0000 0001	0101 0000	192.168.1.80
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 0001	192.168.1.81
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 0010	192.168.1.82
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 0011	192.168.1.83
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 0100	192.168.1.84
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 0101	192.168.1.85
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 0110	192.168.1.86
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 0111	192.168.1.87
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 1000	192.168.1.88
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 1001	192.168.1.89
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 1010	192.168.1.90
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 1011	192.168.1.91
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 1100	192.168.1.92
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 1101	192.168.1.93
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 1110	192.168.1.94
1100 0000	1111 1111	0000 0001	0101 1111	192.168.1.95

Como fazer uma sub-rede?

- Vale relembrar que o primeiro endereço de *host* (com todos os bits da porção de *hosts* como 0) é o endereço de rede (192.168.1.80) e o último endereço (com todos os bits da porção de *hosts* como 1) é o endereço de *broadcast* (192.168.1.95);
- O endereço de *broadcast* é exatamente o endereço da próxima sub-rede menos 1 ($192.168.1.96 - 0.0.0.1 = 192.168.1.95$):
  - Essa informação é útil para descobrir rapidamente o endereço de *broadcast* de uma rede.
- Observe também que o endereço de rede sempre é par e o endereço de *broadcast* sempre é ímpar. No caso do cálculo dos endereços de *hosts*, é mais simples pois só precisamos incrementar 1.

Utilização das sub-redes

- As sub-redes são muito úteis também para reduzir o desperdício de redes. Em uma rede grande é normal ter enlaces não populados entre roteadores.
- Exemplo:



- Se não utilizássemos sub-redes, designaríamos uma rede de 254 *hosts* para conectar 2 roteadores, o que é um desperdício extremo pois precisamos de apenas 2 endereços de *hosts*. Nesse caso utiliza-se sub-rede.

Utilização das sub-redes

- Se utilizarmos um IP com máscara /30 ou 255.255.255.252 teremos uma rede de apenas 2 *hosts*. Vamos ver um exemplo prático. Vamos pegar o IP 172.16.32.0/30.

Utilização das sub-redes

	Octeto 1	Octeto 2	Octeto 3	Octeto 4
Endereço IP:	1010 1100	0001 0000	0010 0000	0000 0000
Máscara de rede:	1111 1111	1111 1111	1111 1111	1111 1100

Octeto 1	Octeto 2	Octeto 3	Octeto 4	Notação decimal pontuada
1010 1100	0001 0000	0010 0000	0000 0000	172.16.32.0
1010 1100	0001 0000	0010 0000	0000 0001	172.16.32.1
1010 1100	0001 0000	0010 0000	0000 0010	172.16.32.2
1010 1100	0001 0000	0010 0000	0000 0011	172.16.32.3

- O endereço de rede é 172.16.32.0, o de *broadcast* é 172.16.32.3 e os únicos IPs de *hosts* válidos são 172.16.32.1 e 172.16.32.2.

Sub-redes

Exercício

- Dado o endereço IP **10.10.1.193/26**, calcule:
  (a) O endereço de rede da sub-rede;
  (b) O primeiro IP de *host* válido;
  (c) O último IP de *host* válido;
  (d) O endereço de *broadcast*.

Dicas

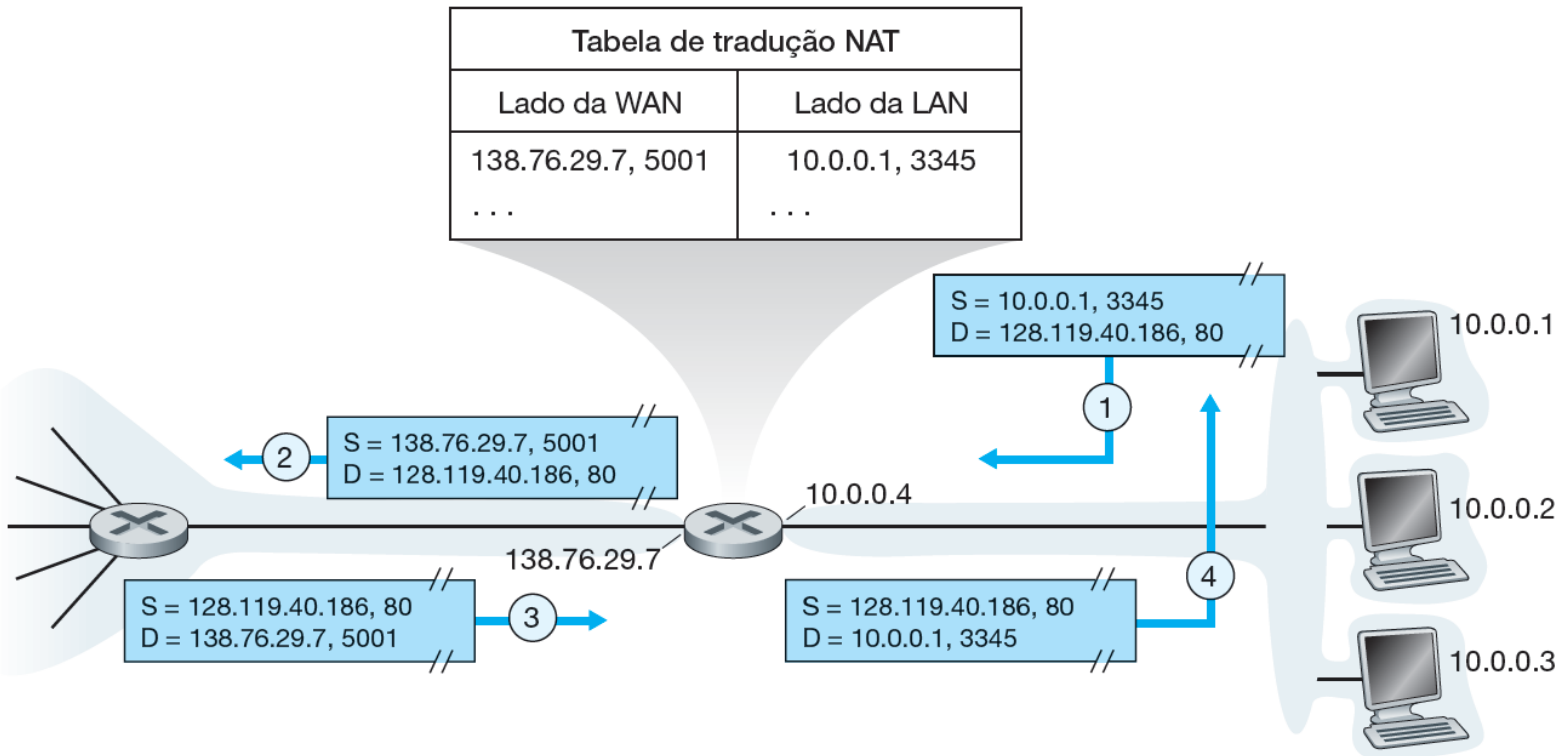
- Na prática, ficar fazendo cálculos de endereçamento na mão pode ser trabalhoso (ou chato);
- Existe uma calculadora IP para facilitar os cálculos, a **IP Calc**: `http://jodies.de/ipcalc`;
- Mesmo assim, é importante saber como os endereços são calculados (principalmente para a prova). =)
- Para quem quiser treinar o cálculo de endereçamento, o site **Subnetting Questions** pode ser útil: `http://www.subnettingquestions.com`

NAT: Tradução de Endereço de Rede

- NAT (*Network Address Translation*) é a Tradução de Endereço de Rede, definida na RFC-1631;
- Foi criada para reduzir o número de endereços públicos na Internet permitindo que uma rede com endereço privado tenha acesso à Internet. Para isto é feita a conversão dos endereços privados em endereços públicos.
- Ao realizar uma NAT, alguns endereços são mantidos e outros são alterados dependendo da direção do pacote em uma conexão;
- Um dispositivo habilitado para NAT geralmente opera na borda de uma rede *stub*. Uma rede *stub* é uma rede que tem uma única conexão para a rede externa.

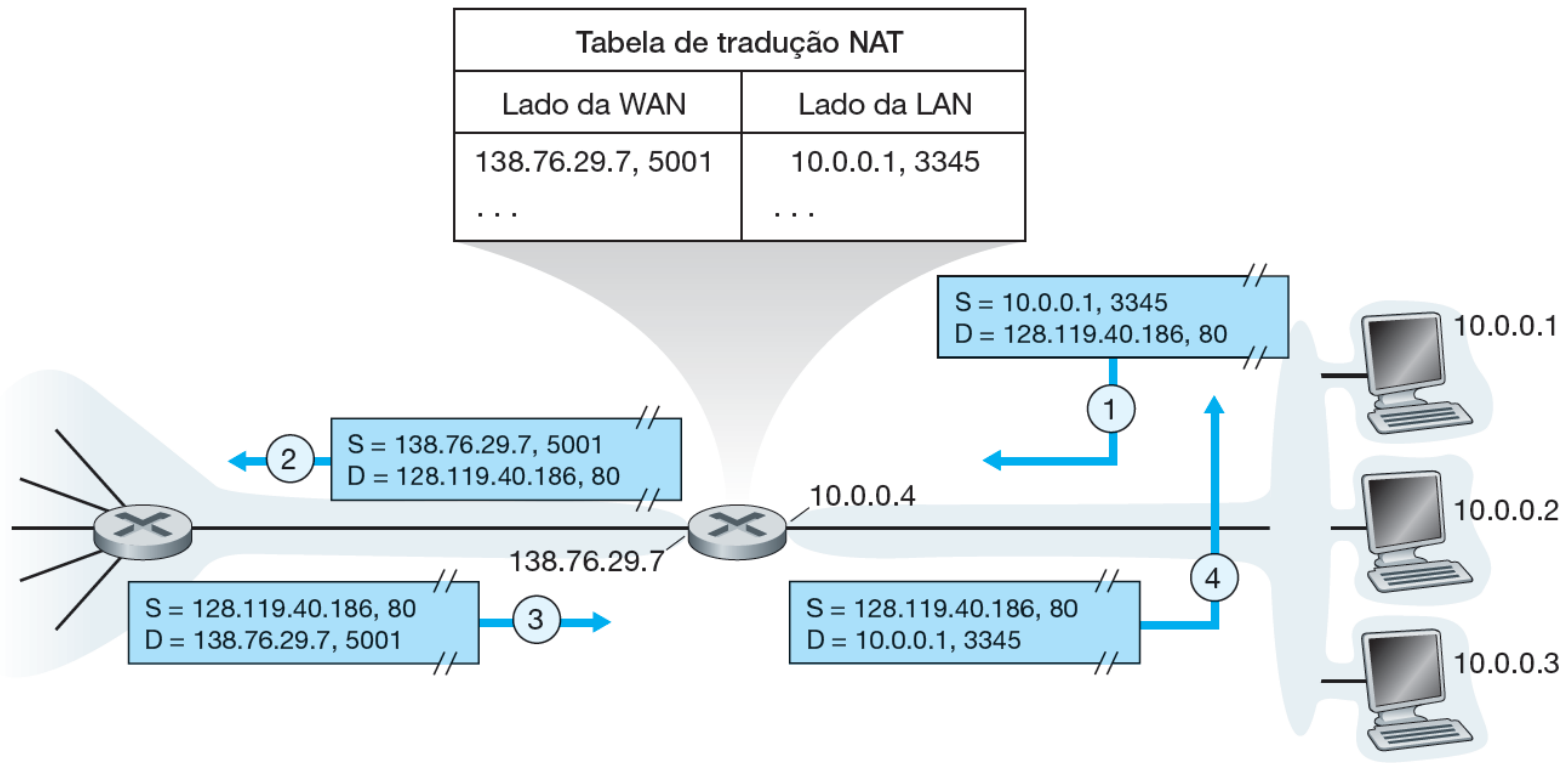
NAT: Tradução de Endereço de Rede

- Ao realizar uma NAT para os endereços de uma rede local é necessário possuir ao menos um endereço público que estará localizado no roteador que provê acesso à internet.
- Nesse exemplo, o endereço público é o 138.76.29.7 e o endereço local do roteador é o 10.0.0.4.



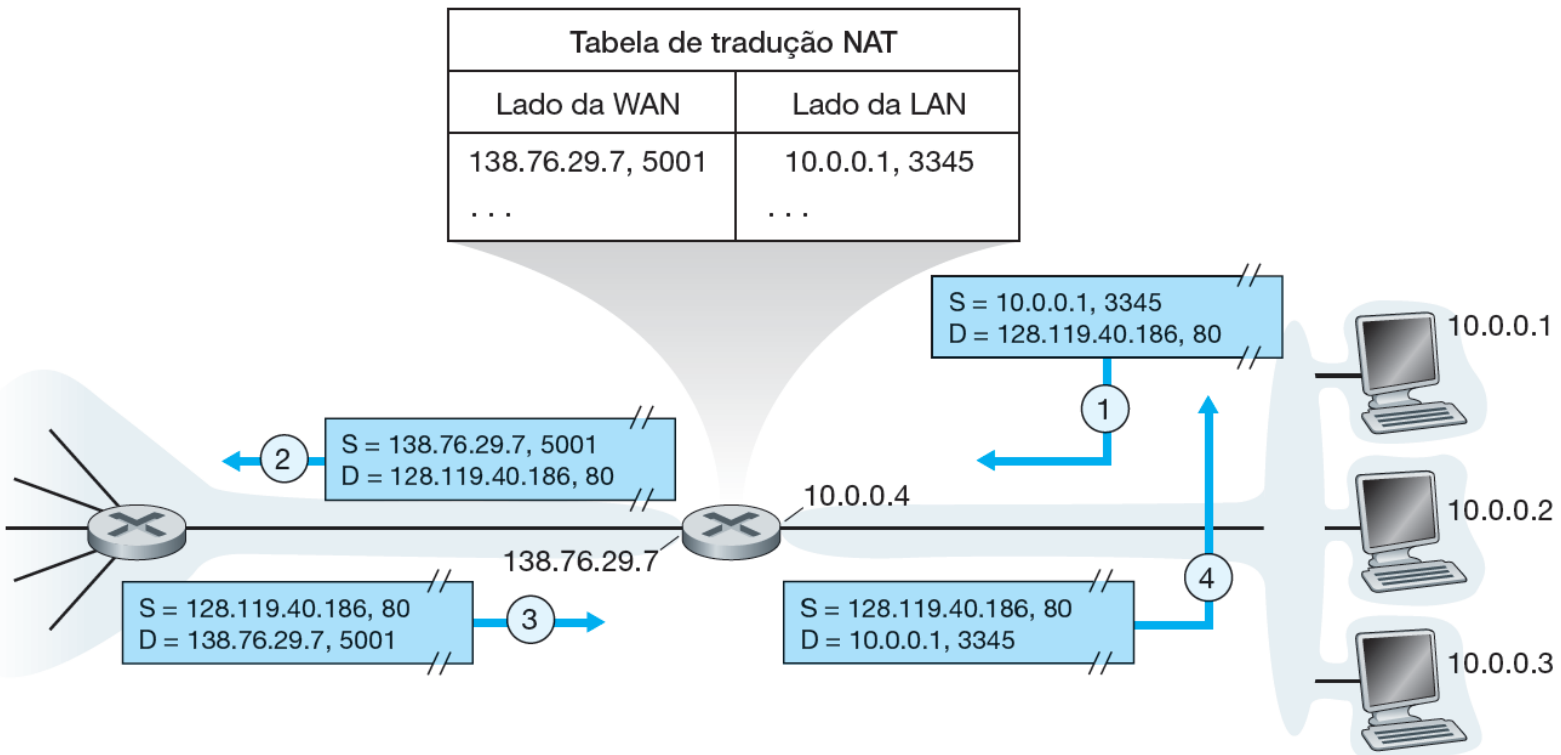
NAT: Tradução de Endereço de Rede

- Ao receber um pacote pela rede local, o roteador altera o conteúdo do cabeçalho do pacote trocando o endereço privado de origem pelo seu endereço público. Este mapeamento é armazenado na tabela NAT e o pacote é encaminhado.



NAT: Tradução de Endereço de Rede

- Ao responder, o *host* da internet irá endereçar o pacote ao endereço interno global, pois foi este quem o enviou.
- Ao receber a resposta, o roteador saberá que esta é uma resposta para o *host* interno por meio do mapeamento existente na tabela NAT criada por ele.



NAT: Tradução de Endereço de Rede

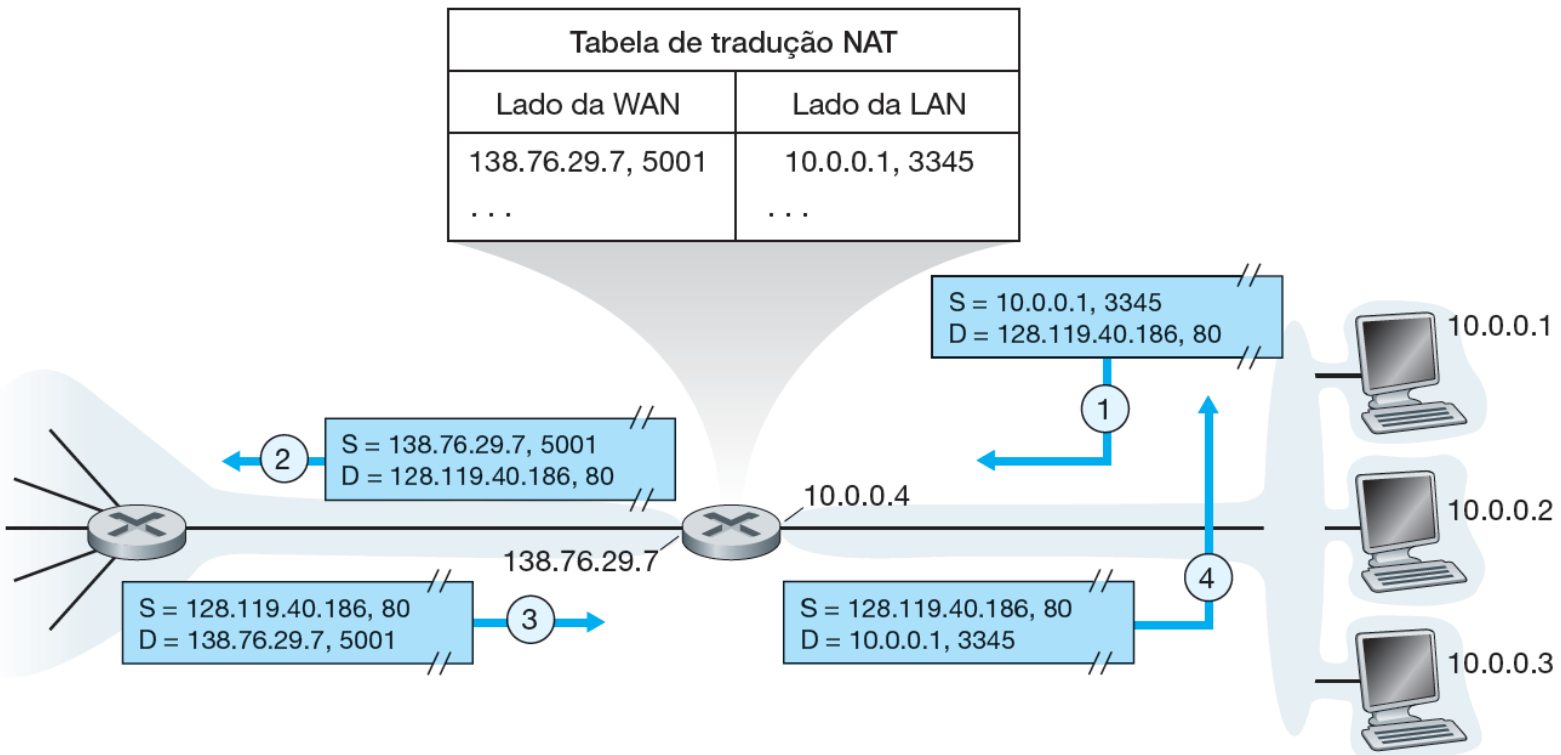
- A NAT não só torna desnecessária a utilização de endereços públicos para todos os sistemas que necessitam de acesso à Internet, mas também provê **segurança**.
- Caso um *host* da Internet tente se comunicar com um *host* da rede local esta comunicação será bloqueada, pois não existe na tabela NAT um registro dessa comunicação. Desta forma a NAT permite que somente sejam abertas conexões no sentido "rede local para Internet", impedindo ataques de hackers.

NAT: Tradução de Endereço de Rede

- Como a NAT faz um mapeamento IP a IP (IP de origem a IP de destino), para que haja múltiplos acessos a um mesmo destino são necessários vários endereços.
- Para prover este serviço sem que haja mapeamentos duplicados, a NAT utiliza uma multiplexação no nível das portas. Isto é feito por meio da PAT (*Port Address Translation*).
- Com o uso da PAT, os *hosts* internos podem compartilhar um único endereço IP público para toda comunicação externa.

NAT: Tradução de Endereço de Rede

- A PAT faz um mapeamento mais detalhado na tabela NAT utilizando IP de origem, IP de destino e porta de origem e destino. Caso a porta de origem já esteja mapeada para outra origem, o roteador irá incrementar o número da porta do datagrama e realizar a tradução.



NAT: Tradução de Endereço de Rede

- Apesar de todas as vantagens apresentadas pela NAT, ela também possui desvantagens:
  - Aumenta o atraso devido à tradução de cada endereço IP dentro dos cabeçalhos dos pacotes;
  - Leva à perda da rastreabilidade de IP ponta-a-ponta, pois é muito mais difícil rastrear pacotes que passam por diversas alterações de endereço;
  - Força alguns aplicativos que usam endereçamento IP a pararem de funcionar, pois oculta os endereços IP ponta-a-ponta.

Controle de Congestionamento

- Excesso de pacotes em uma sub-rede $\rightarrow$ congestionamento que pode levar a um "*deadlock*" da rede;
- Métodos de controle de congestionamento:
  - Descarte de pacotes;
  - Pré-alocação de *buffers* (por conexão, as quais podem ser rejeitadas);
  - Controle isorrítmico (limitação do número de pacotes em trânsito);
  - Controle de tráfego na camada de enlace.

Controle de Congestionamento

- Com base em princípios de controle:
  - *Open loop*: tentam resolver o problema com um bom projeto, não cabendo alterações durante a execução;
  - *Closed loop*: são baseadas no conceito de *feedback*. Operam em 3 etapas, de modo geral:
    - Monitoram o sistema para detectar quando e onde o congestionamento ocorre;
    - Passam a informação para onde ações podem ser tomadas; e
    - Ajustam a operação do sistema de modo a corrigir o problema.

Monitoramento do sistema

- Métricas de monitoramento:
  - % de pacotes descartados;
  - Tamanho médio das filas;
  - Número de pacotes retransmitidos;
  - Atraso no envio.
- O aumento desses números indica congestionamento.

Repasse de informações

- Enviar mensagem para a fonte comunicando o problema;
- Esta ação gera mais pacotes;
- Uma saída é enviar pacotes periodicamente com essas informações.

Ajuste do sistema

- A presença de congestionamento significa que a carga é maior que os recursos;
- Soluções:
  - Aumentar os recursos: depende muito de como é implementado e pode até piorar o desempenho (o aumento de roteadores em uma rota pode causar mais atraso no envio);
  - Diminuir a carga: pode significar ausência de serviços para os usuários.