

The background of the entire image is a dark grey circuit board pattern with white lines representing traces and components. In the top-left corner, there is a circular component resembling a dial or a connector. The central part of the image is a white horizontal band containing logos and text. The bottom part of the image returns to the circuit board pattern.

nic.br **egi.br**

Núcleo de Informação
e Coordenação do
Ponto BR

Comitê Gestor da
Internet no Brasil

registro.br **cert.br** **cetic.br** **ceptro.br** **ceweb.br** **ix.br**

IMPORTÂNCIA DO ROTEAMENTO PARA A ARQUITETURA DA INTERNET COM MIKROTIK

Eduardo Barasal Morales
Lucas Jorge da Silva
Tiago Jun Nakamura

ceptro.br nic.br cgi.br

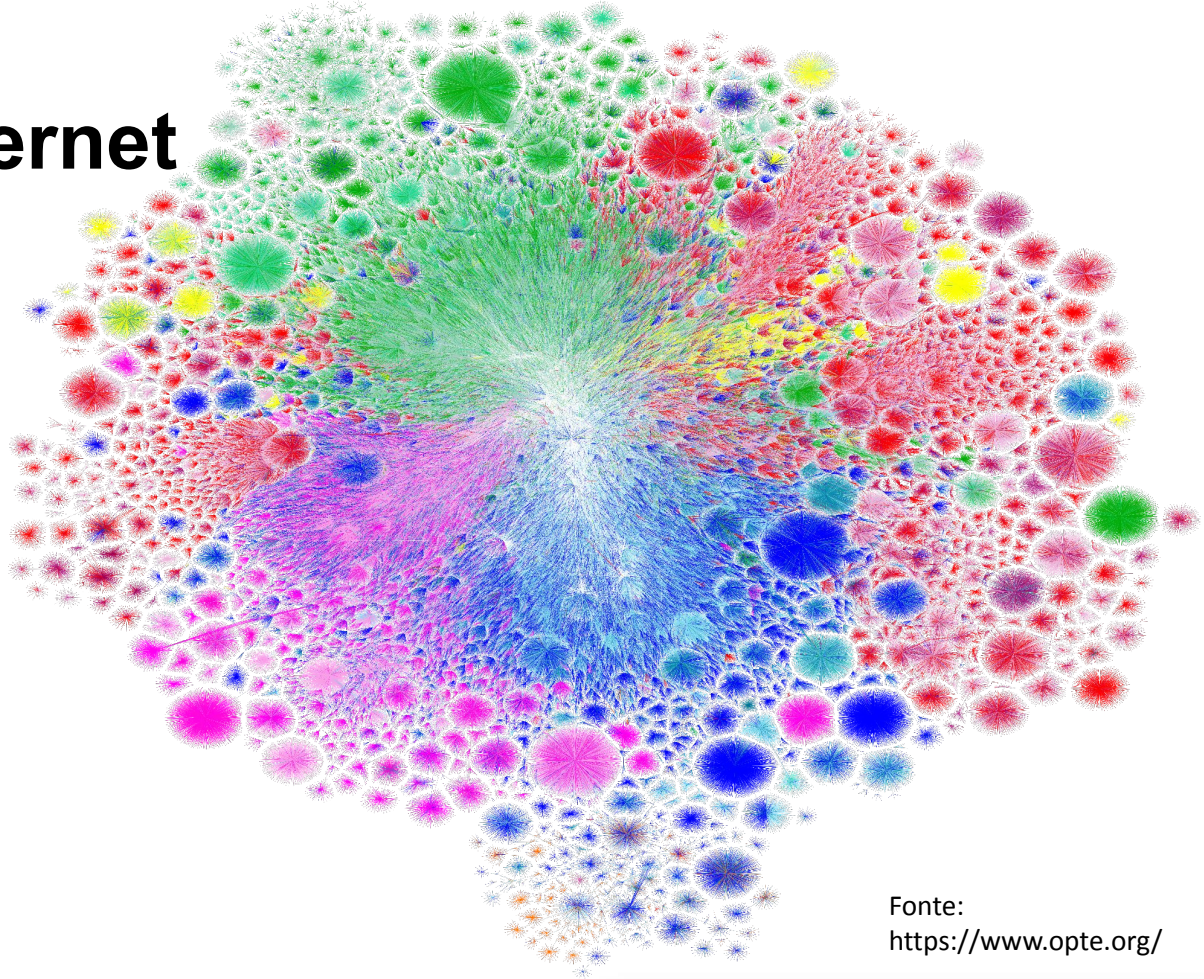
Agenda

- Estrutura da Internet
- Funcionamento Interno do Roteador
 - Estrutura Interna (hardware)
 - Distribuição Lógica (Control/Data Plane)
 - SDN (Software-Defined Networking)
- Tipos de Roteamento
 - Estático
 - Dinâmico
 - Algoritmos
- Experiências



Estrutura da Internet

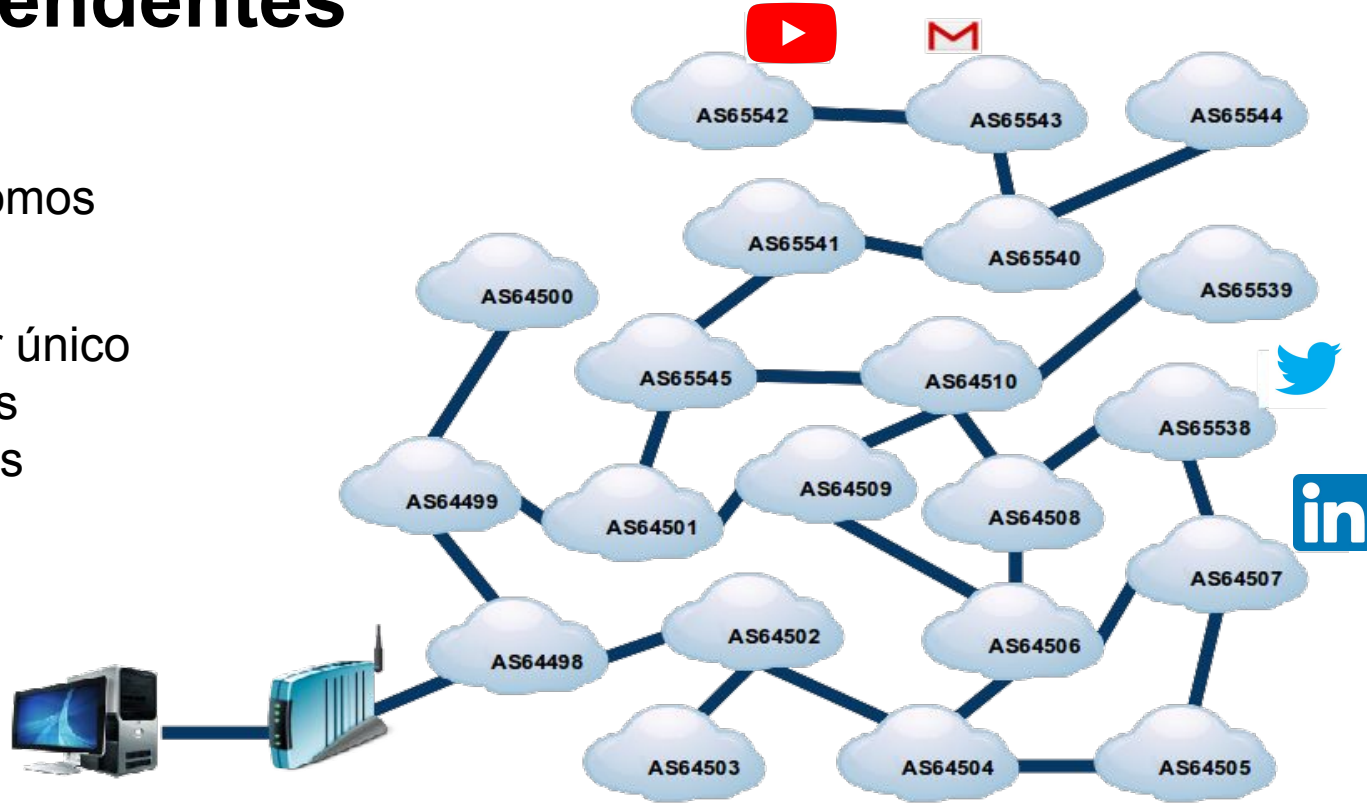
- É uma rede de redes
- Mais de 70 mil redes se comunicando
- Interligadas umas às outras em diferentes composições
- Trafega dados de uma origem a um determinado destino



Fonte:
<https://www.opte.org/>

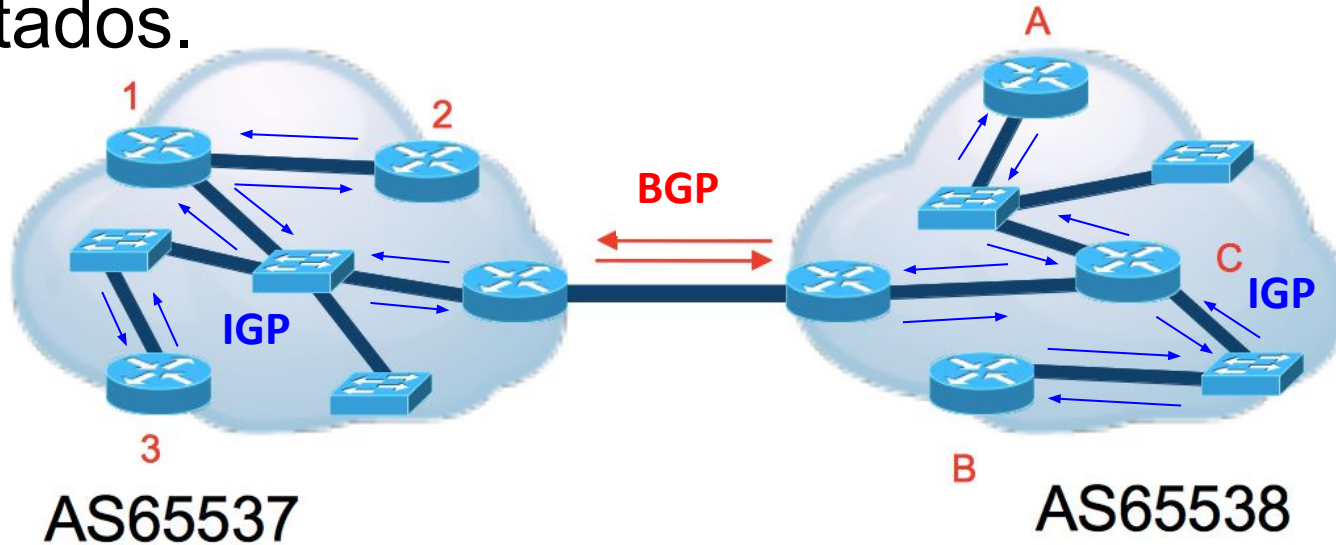
Redes Independentes

- Sistemas Autônomos
- ASN
 - Identificador único
 - Antes 16 bits
 - Agora 32 bits



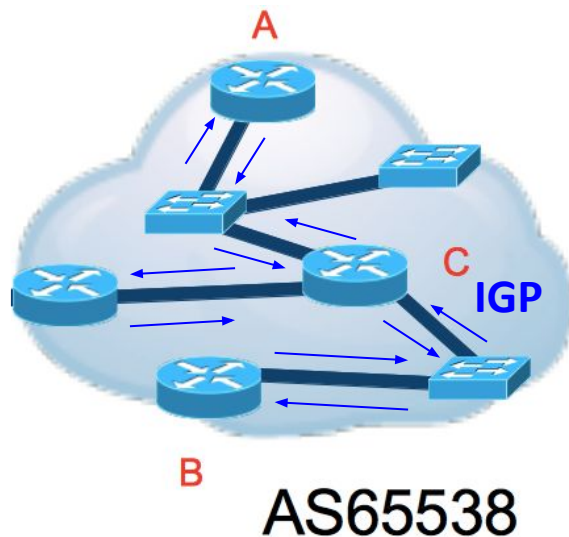
Caminhos na Internet

Os ASes usam **Protocolo de Roteamento Externo** para ensinar uns aos outros a quais redes estão conectados.



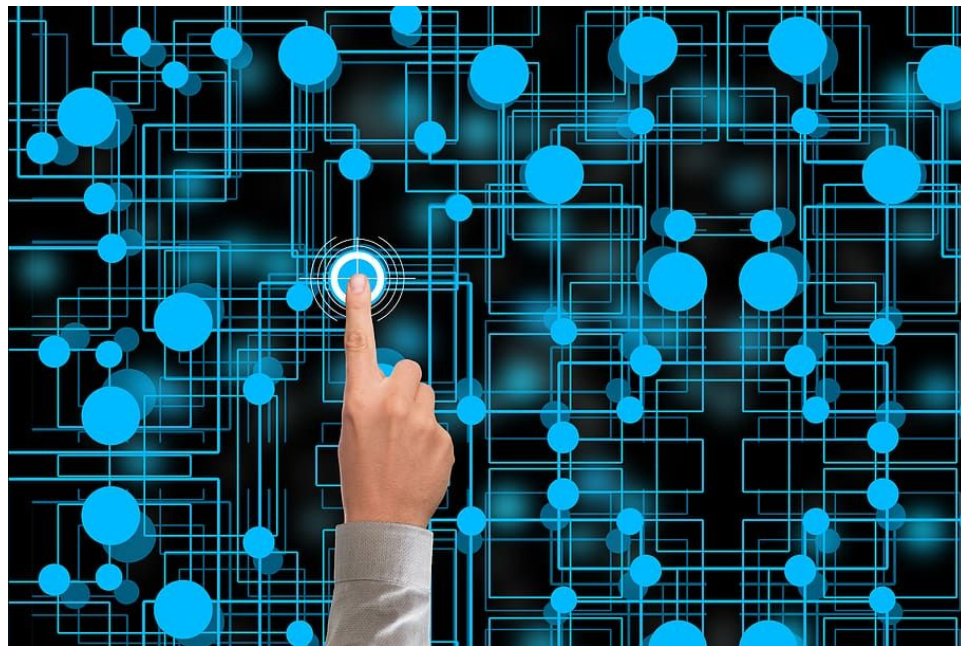
Caminhos na Internet

Dentro de um AS se usa **Protocolo de roteamento Interno** para ensinar aos roteadores as redes próprias.



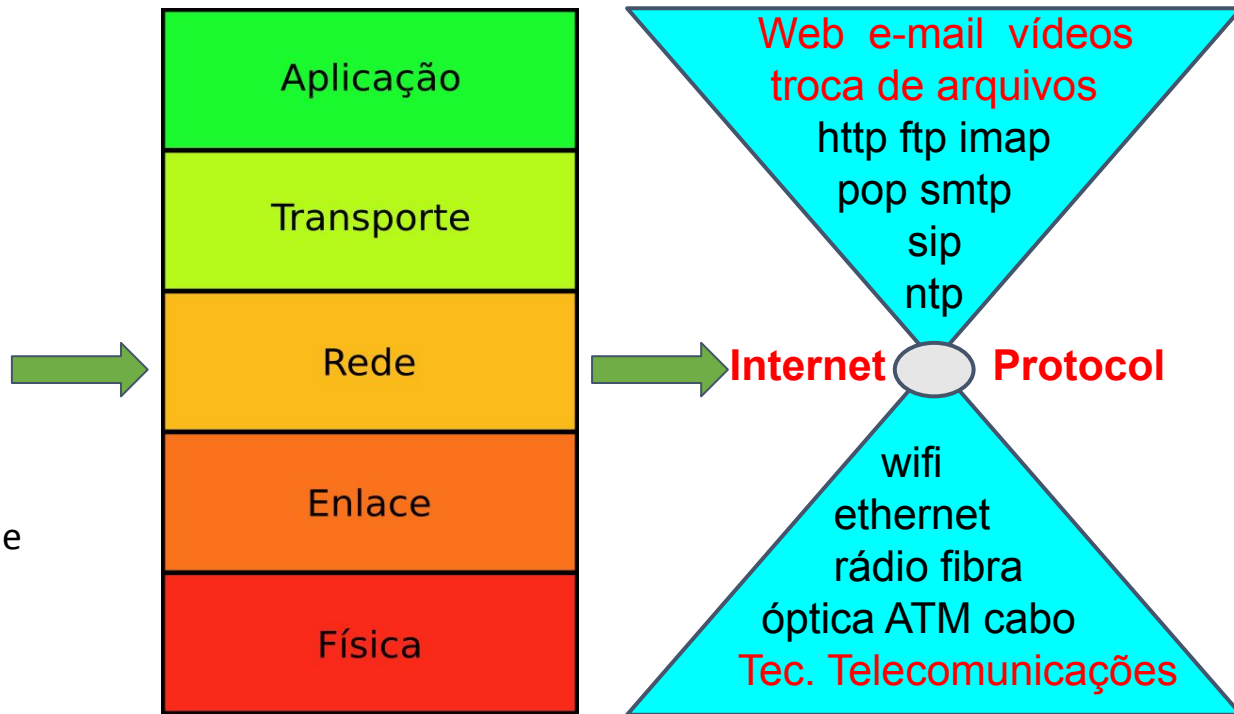
Caminhos na Internet

- Os caminhos são rotas
- Se não tiver um caminho, não tem como se comunicar
- Nem todas as rotas são
 - Aceitas
 - Ativadas
 - Enviadas
 - Existe uma seleção
- Depende do roteador, seu funcionamento e sua configuração.

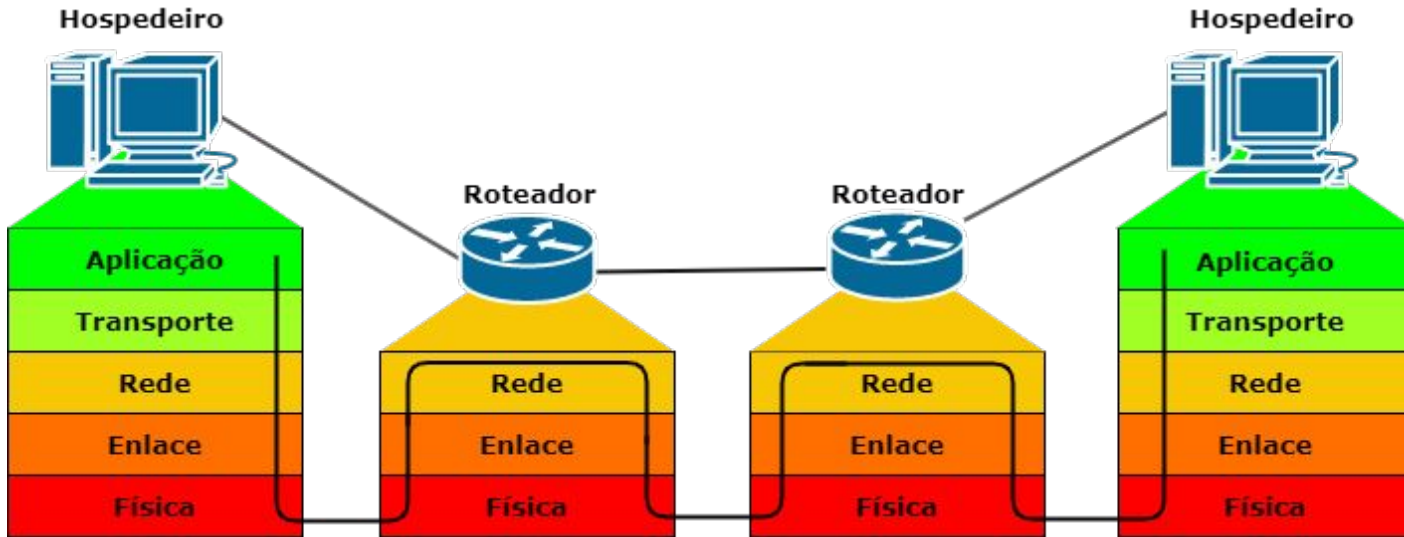


Como as rotas são feitas

- Modelo de camadas TCP/IP
- As rotas são feitas na camada de rede
- Utilizam os protocolos
 - IPv4
 - IPv6
- A camada de enlace possui um endereço que permite se comunicar no link e tem relação com a camada de rede



Como os pacotes seguem as rotas

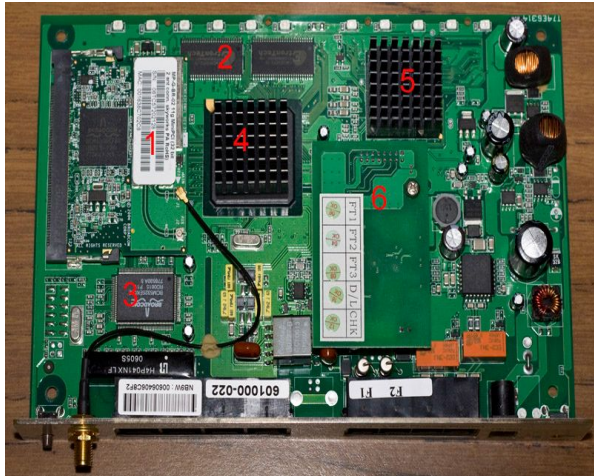


Fonte: Adaptado de Kurose Redes de computadores e a Internet

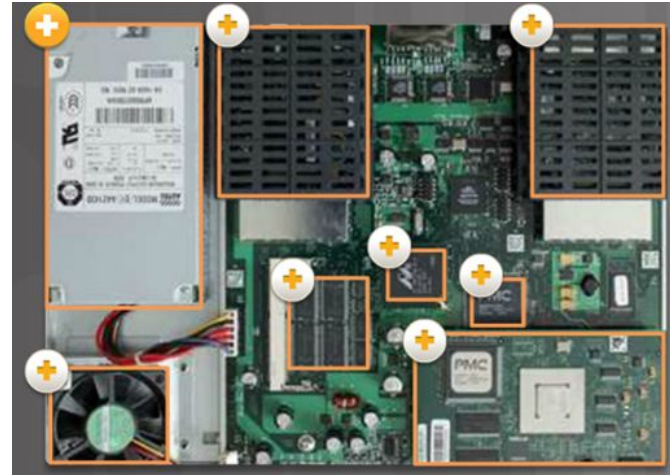
Funcionamento Interno do Roteador

ceptro.br nic.br cgi.br

Roteador - Estrutura Interna



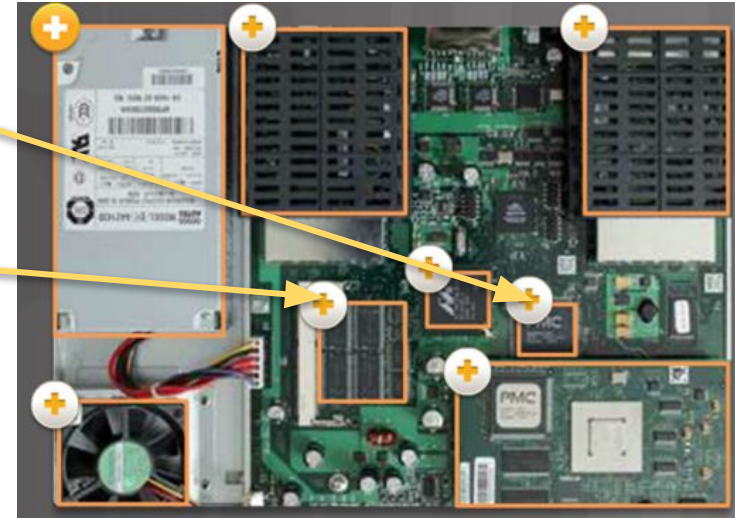
Doméstico



Corporativo

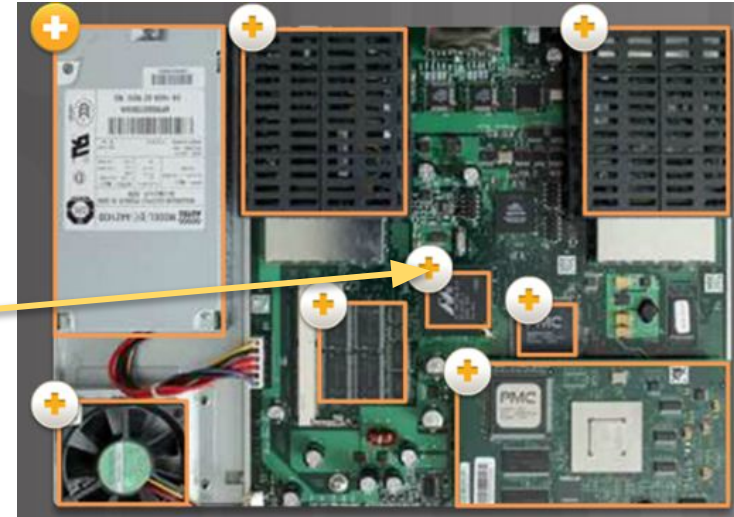
Roteador - Componentes Principais

- **CPU (Central Processing Unit)**
 - Executar as instruções e processos do roteador
- **RAM (Random Access Memory)**
 - Armazenar dados executados enquanto o equipamento está ligado.
 - Configurações Atuais
 - Tabela de Roteamento
 - Cache ARP
 - *Buffer*



Roteador - Componentes Principais

- **Armazenamento**
 - **ROM (*Read-Only Memory*)**
 - Armazena instruções de boot, versão de fábrica do sistema operacional.
 - **Memória *Flash* e NVRAM (*Nonvolatile RAM*)**
 - Sistema Operacional
 - *Logs*
 - Arquivos de Configuração



Roteador - Componentes Principais

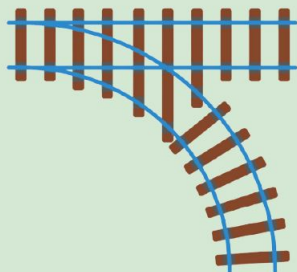
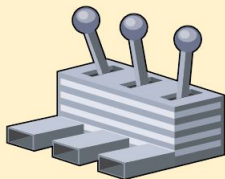
- Interfaces

- FastEthernet (100 Mbps)
- GigabitEthernet (**GbE** - 1000 Mbps)
- 10GigabitEthernet (**10GbE** - 10.000 Mbps)
- 40GigabitEthernet (**40 GbE** - 40.000 Mbps)



Roteador - Control e Data Plane

CONTROL PLANE



DATA PLANE

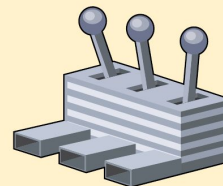
O que é um "plano" em rede?

Em redes, um *plano* é uma concepção abstrata de onde certos processos ocorrem. O termo é usado no sentido de "plano de existência".

Roteador - Control Plane

- Determina os caminhos que os pacotes devem seguir
- Mantém a tabela de roteamento (RIB - *Routing Information Base*) atualizada
- Envia para a FIB (*Forwarding Information Base*) os melhores caminhos encontrados na RIB.
- Responsável pelo processo de *Routing*

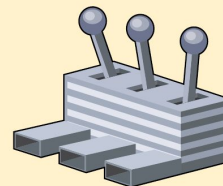
CONTROL PLANE



Roteador - Control Plane

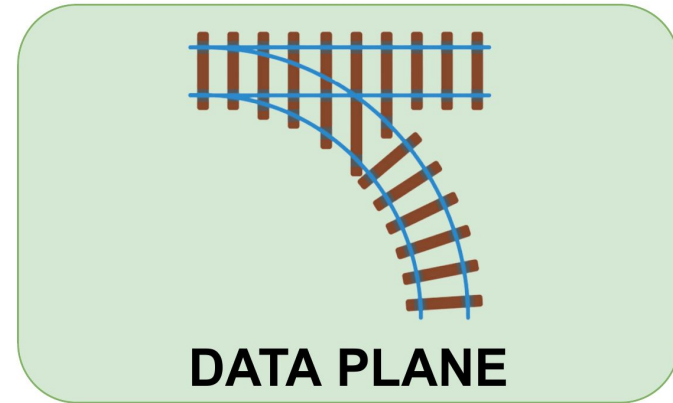
- Acesso para configuração (Ex: SSH e Telnet)
- Gerenciamento de Interfaces
- Processamento de pacotes que necessitam de processamento específico (Ex: pacotes IPs com opções ou que estouraram o TTL)
- Normalmente implementado com uma CPU

CONTROL PLANE

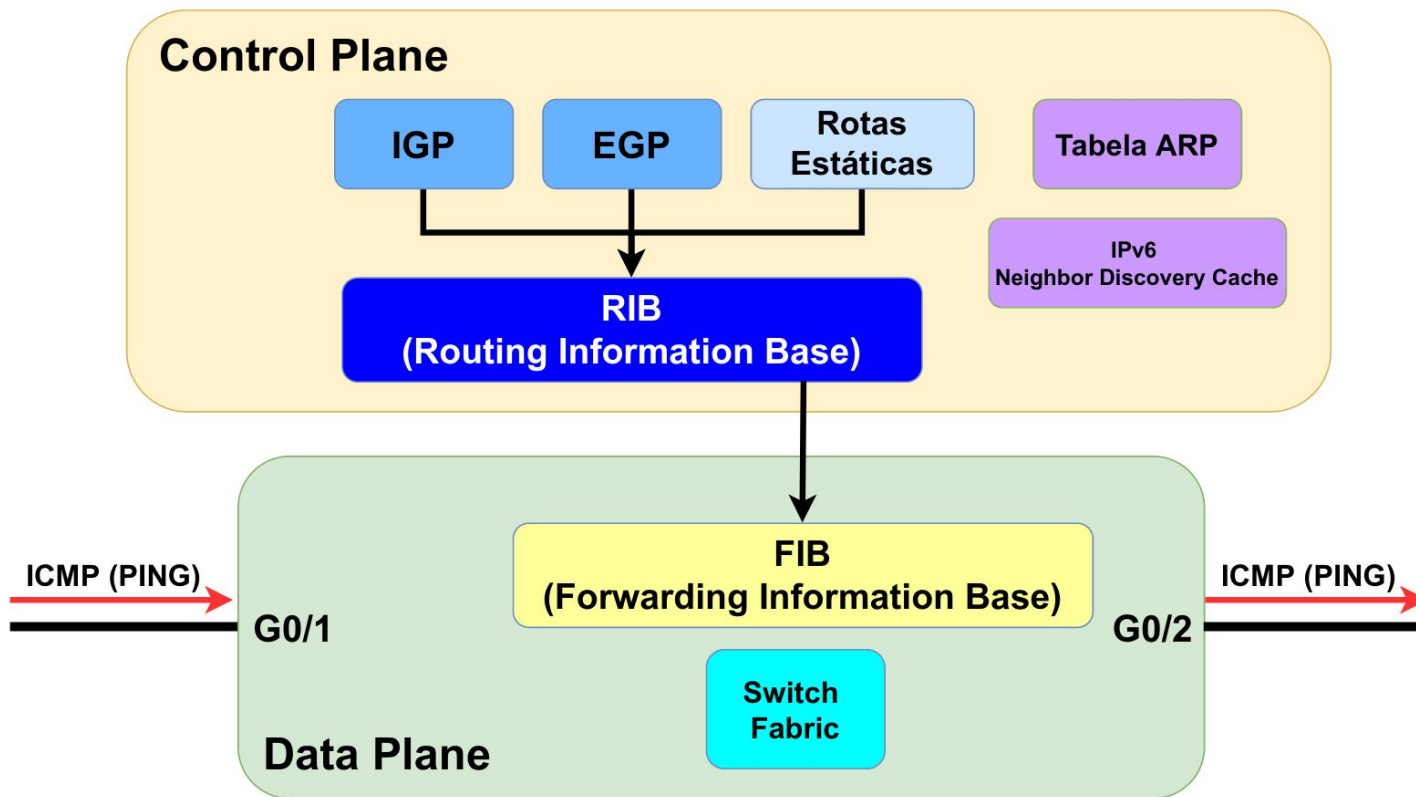


Roteador - Data/Forwarding Plane

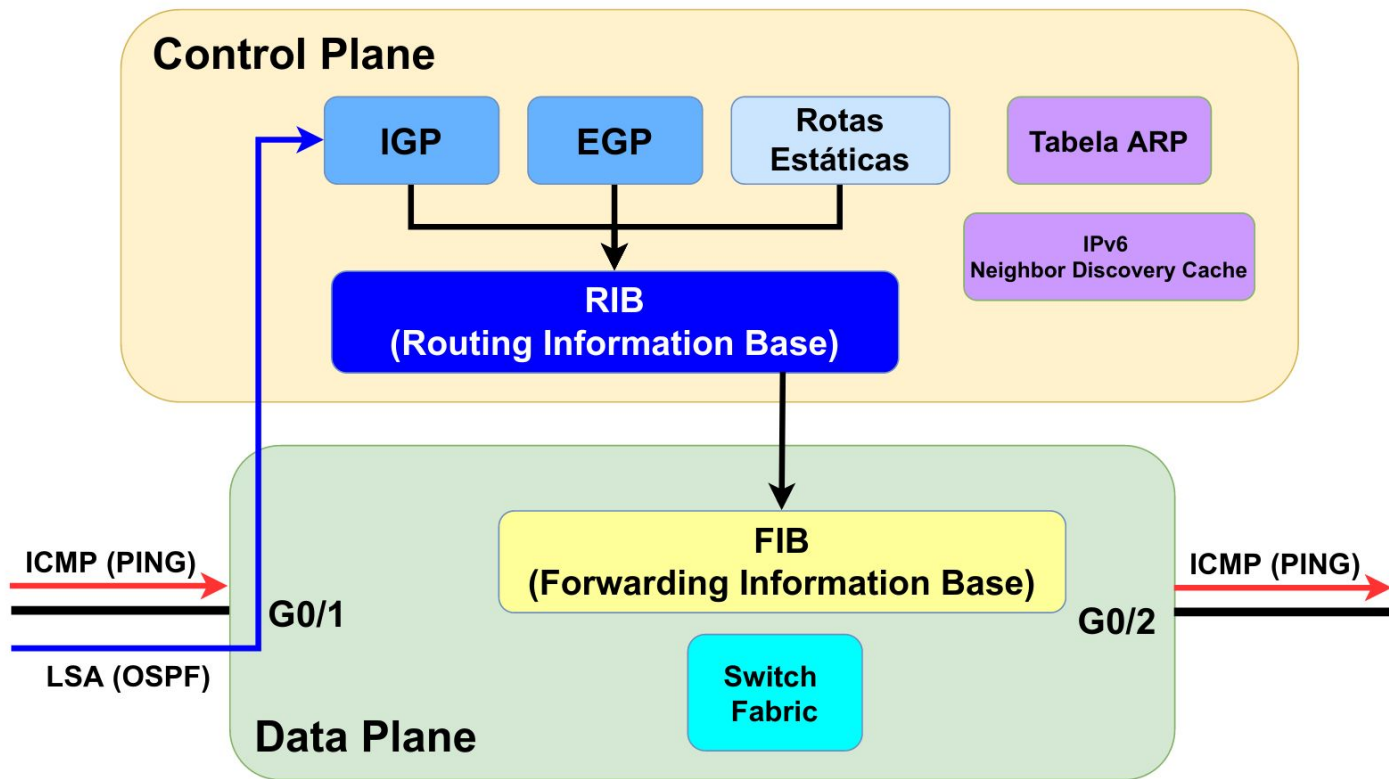
- Encaminha os pacotes recebidos para seus respectivos destinos seguindo as regras do Control Plane
- Utiliza as informações da FIB para encaminhar os pacotes
- Responsável pelo processo de *Forwarding*
- Implementado de várias formas: CPU do Control Plane, NPU (NPU - Network Processor Unit), ASIC (Application-Specific Integrated Circuit)



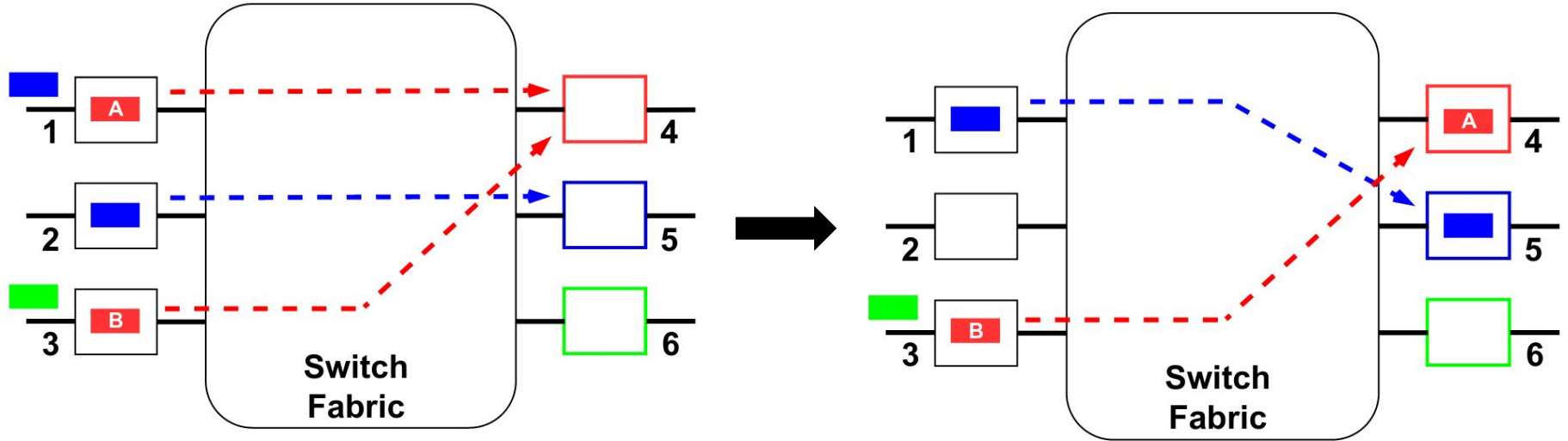
Interação Control e Data Plane



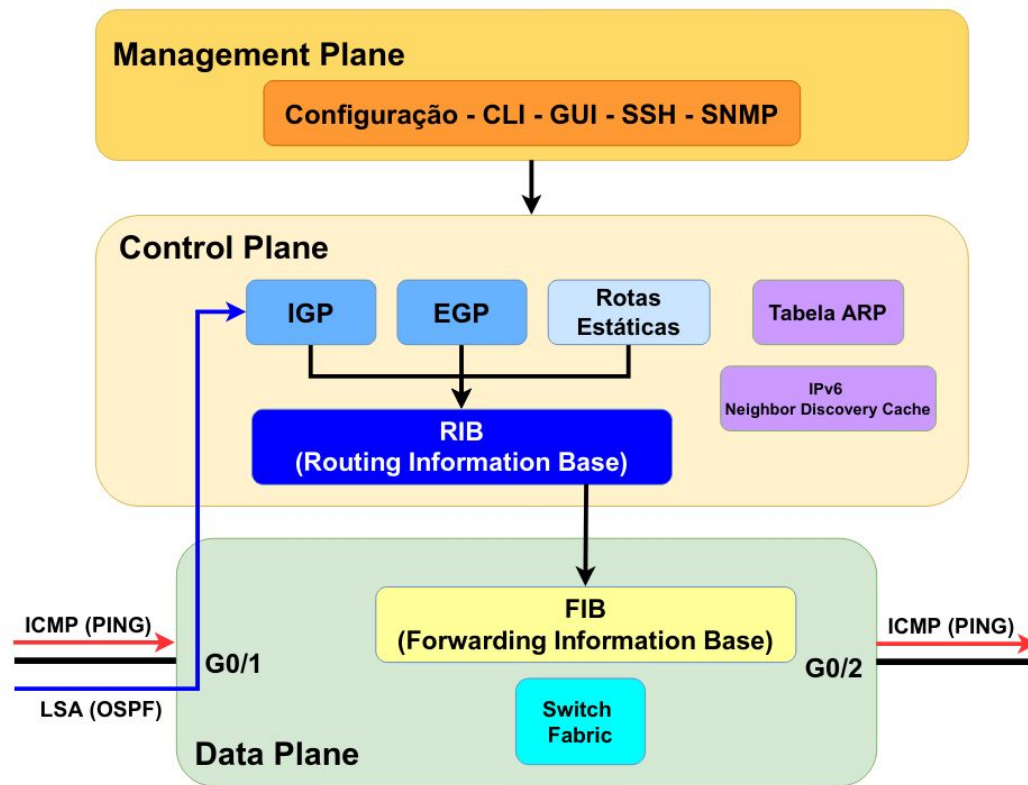
Interação Control e Data Plane



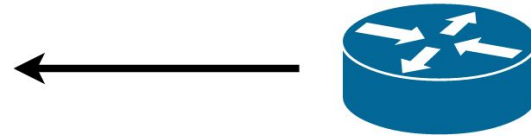
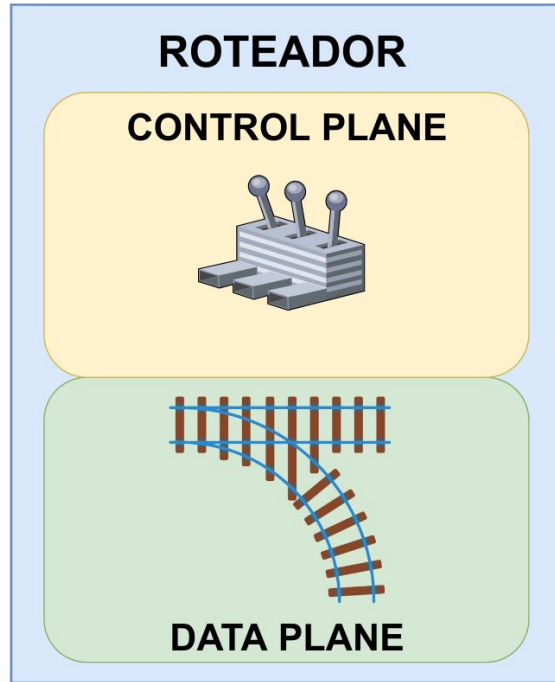
Filas - Control e Data Plane



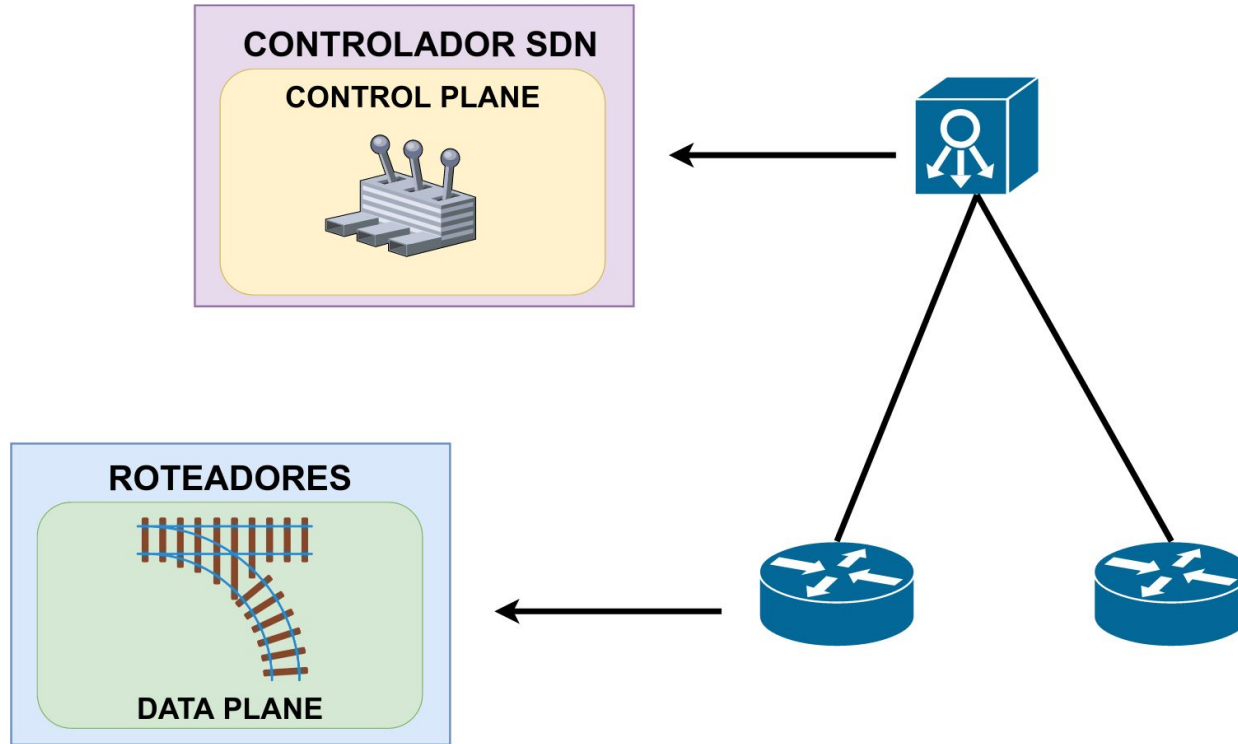
Management Plane



Arquitetura Tradicional

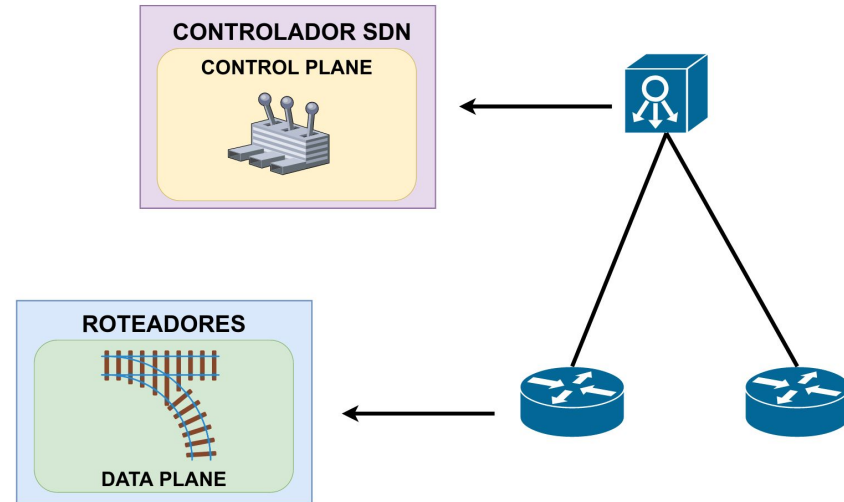


SDN (Software-Defined Networking)



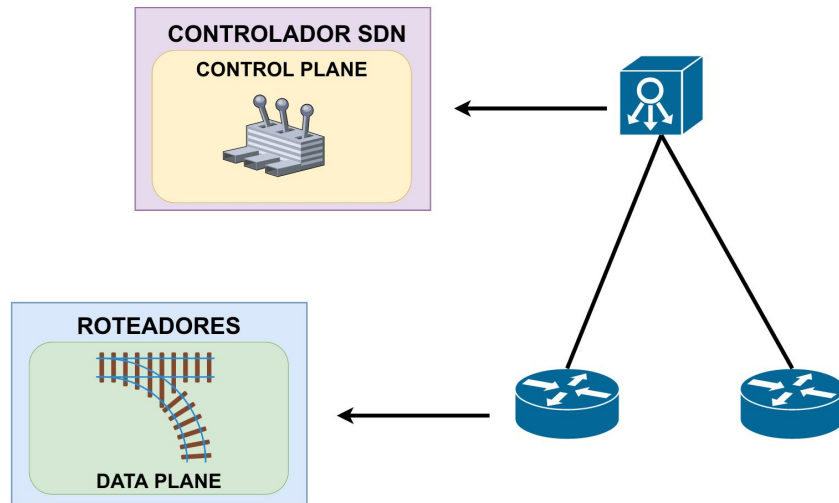
SDN - Vantagens

- Redução de Custos
- Otimização de Recursos
- Centralização
- Conexão com a Nuvem



SDN - Desvantagens

- Complexidade
- Capacitação
- SPOF (Single Point of Failure)
- Segurança

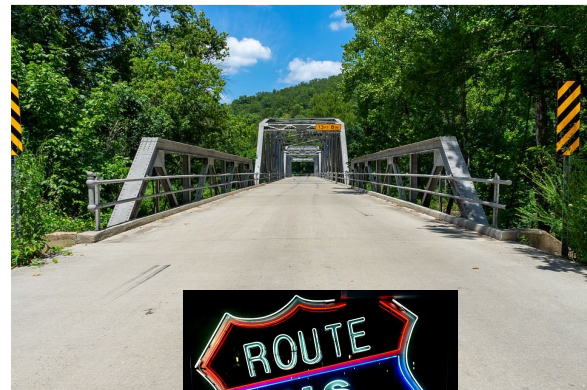


Roteamento

ceptro.br nic.br cgi.br

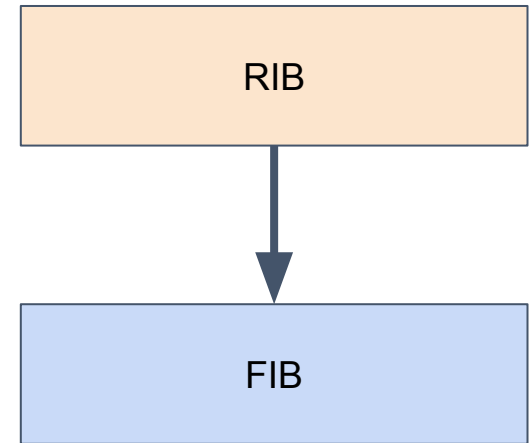
O que é uma rota?

- Um caminho para alcançar um determinado lugar
- Propriedades gerais
 - Destino
 - IP/Prefixo
 - Próximo salto
 - Indicação de um Gateway/saída/Próximo salto
 - IP ou Interface
 - Atributos
 - Algo que traga informações sobre a rota
 - Tipo, escopo, estado, entre outras
 - Algo que ajude a preferir uma rota a outra
 - Distância Administrativa, métricas, entre outras

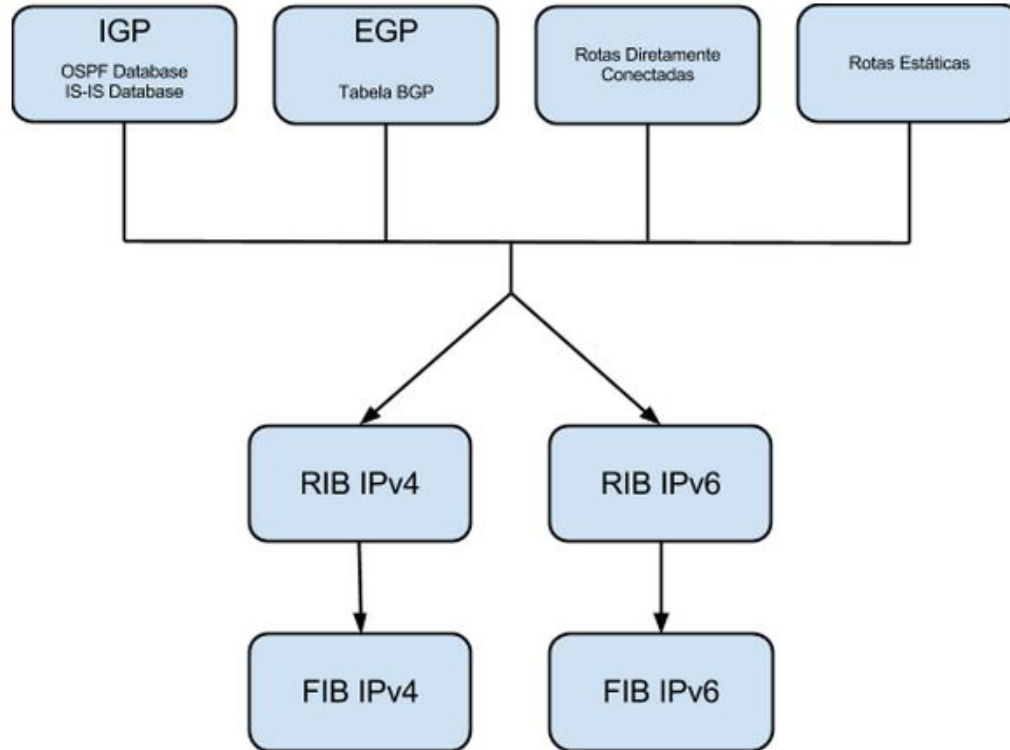


Como o Roteador escolhe uma rota

- A rota precisa ser
 - Ativa
 - Próximo salto alcançável
- Seleção das rotas pelo Roteador
 - Baseado no destino
 - 1) Rotas mais específicas são preferenciais
 - Longest Length Prefix Match
 - 2001:db8::/32
 - 2001:db8::/48 - Melhor
 - 2) Atributos diferenciais
 - Quanto menor a distância melhor
 - entre outros

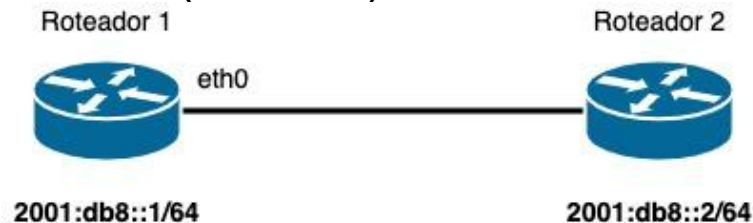


Tabelas de roteamento



Diretamente conectado

- Ao adicionar um IP e seu prefixo numa interface
- Rotas são adicionadas
 - Rotas locais
 - Quando o destino é a própria máquina
 - Rotas diretamente conectadas
 - De acordo com o prefixo é identificado a parte de rede da rota
 - Precisa realizar a descoberta de vizinhança
 - IPv4 - ARP
 - IPv6 - NDP (ICMPv6)



Rota do Roteador 1
2001:db8::/64 gateway
interface eth0

Laboratório Diretamente Conectado

Roteamento Estático

- Operação Manual
 - Administrador adiciona as rotas
- Não é adaptativo
 - Se muda algo nas conexões a rota estática contínua
- Independe da topologia ou do estado dos links
 - O administrador é quem toma a decisão
 - Nem sempre é fácil de decidir



Roteamento Estático

- **Vantagens**

- Não tem overhead
 - Sem problemas para a CPU
- Não utiliza banda
 - Não precisa enviar pacotes de controle

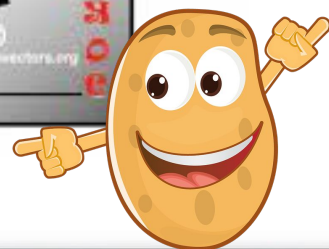
- **Desvantagens**

- Para redes complexas pode ser complicado de configurar
 - Tem que criar muitas rotas
- Precisa ter um conhecimento bom da rede
 - Como tudo é manual precisa saber para onde encaminhar os pacotes

Laboratório Roteamento Estático

Rota Default

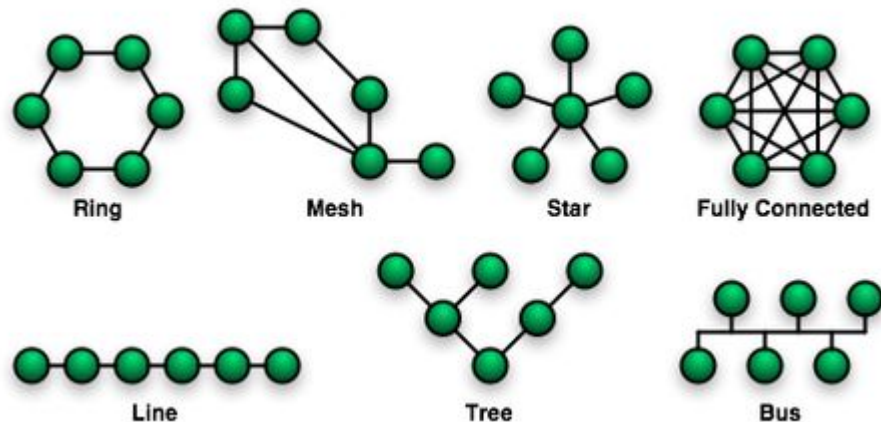
- Uma técnica para o roteador enviar todos os pacotes para o mesmo próximo salto
- Rota menos específica de todas
 - Longest Length Prefix Match
 - IPv4 - 0.0.0.0/0
 - IPv6 - ::/0
- Pode ser criada estaticamente
- Pode ser recebida via roteamento dinâmico



Laboratório Rota Default

Roteamento Dinâmico

- Ele é adaptativo
 - Modifica a tabela de roteamento devido a mudanças nas condições e na topologia
 - Se um roteador descobrir alguma mudança ele precisa avisar os demais roteadores
- Utiliza protocolos para trocar rotas
 - Todos os roteadores precisam implementar o mesmo protocolo



Roteamento Dinâmico

- **Vantagens**

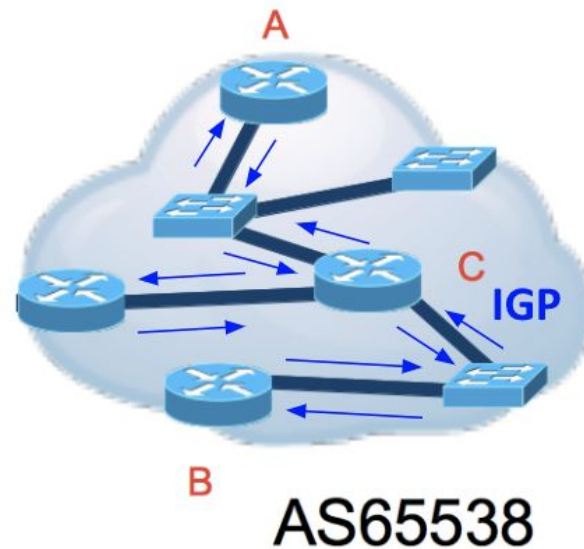
- Fácil de configurar
 - Em uma rede grande precisa de menos configuração
- Se adapta a mudanças e descobre a melhor rota
 - Caso haja queda no enlace ou interface, ele pode descobrir um novo caminho

- **Desvantagens**

- Maior utilização
 - CPU - precisa calcular a melhor rota
 - Banda - precisa trocar mensagens

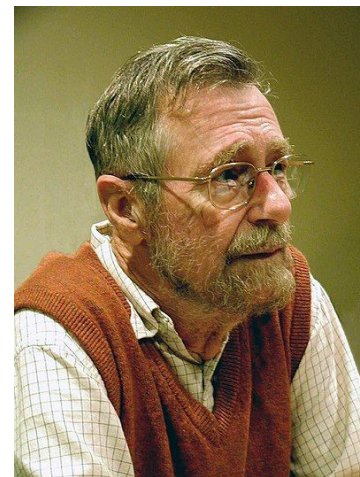
Dentro do Sistema Autônomo

- Protocolos do tipo Link State
 - OSPF
 - IS-IS
- Possuem tabelas de roteamento próprias
 - Escolhem seus melhores caminhos
- Existe também o protocolo RIP
 - Algoritmo vetor-distância
 - Antigo e usado somente em casos específicos



Algoritmo Dijkstra

- Utilizado por protocolos de roteamento Interno (Link State)
 - OSPF
 - IS-IS
- Escolhe o melhor caminho entre dois pontos numa topologia
- Cada enlace possui um custo
- Procura sempre o caminho com menor custo
- Elege-se uma raiz para iniciar o processo

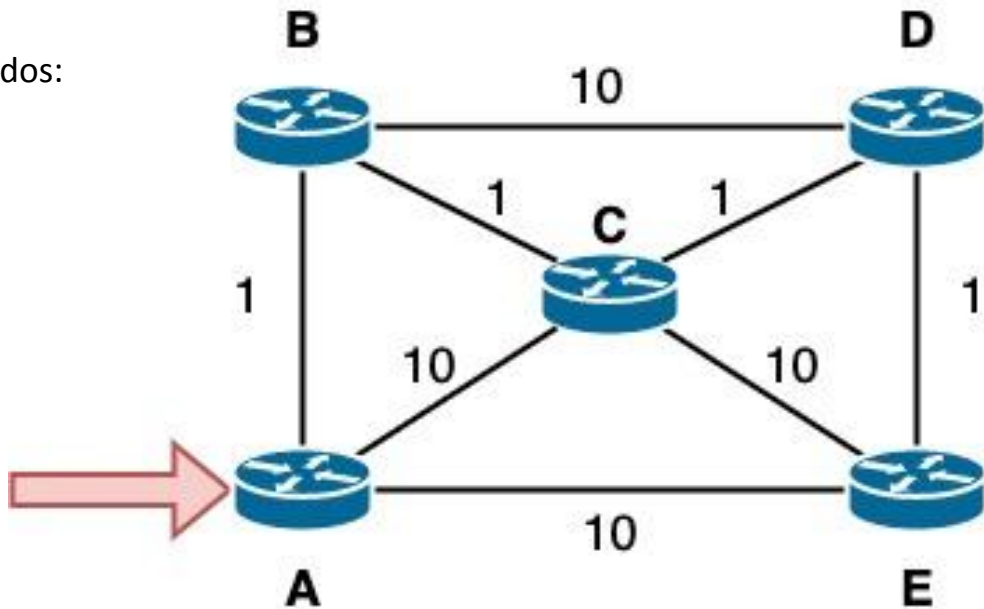


Algoritmo Dijkstra

Nós a serem visitados:
{A,B,C,D,E}

Nós visitados:
{}

Cálculos:
{}



Partindo de A

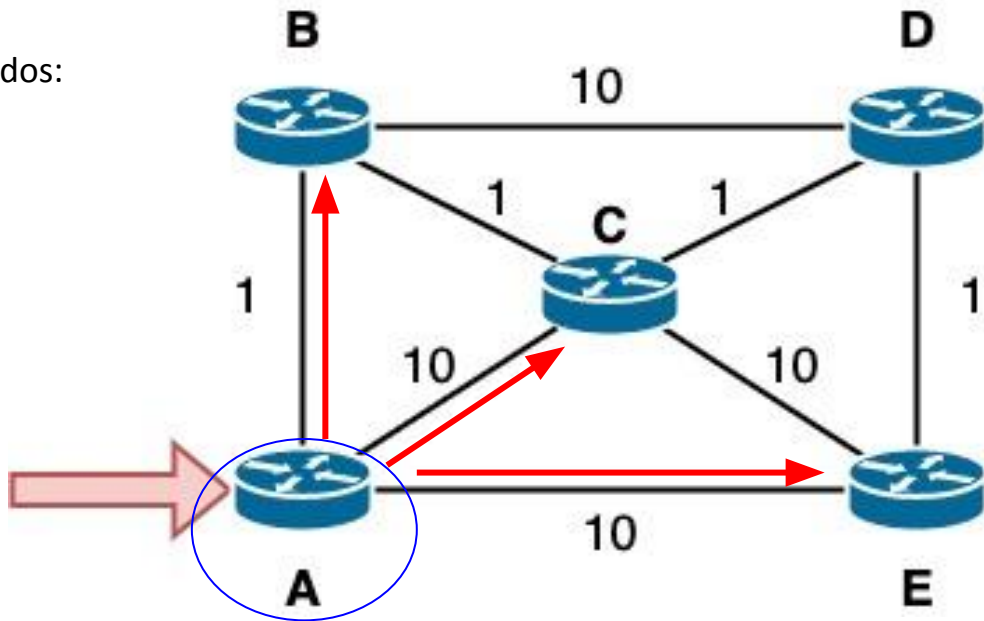
| Nó | Custo | Anterior |
|----|-------|----------|
| A | 0 | - |
| B | - | - |
| C | - | - |
| D | - | - |
| E | - | - |

Algoritmo Dijkstra

Nós a serem visitados:
{B,C,D,E}

Nós visitados:
{A}

Cálculos:
A -> A -> 0
A -> B -> 1
A -> C -> 10
A -> E -> 10



Partindo de A

| Nó | Custo | Anterior |
|----|-------|----------|
| A | 0 | - |
| B | 1 | A |
| C | 10 | A |
| D | - | - |
| E | 10 | A |

Algoritmo Dijkstra

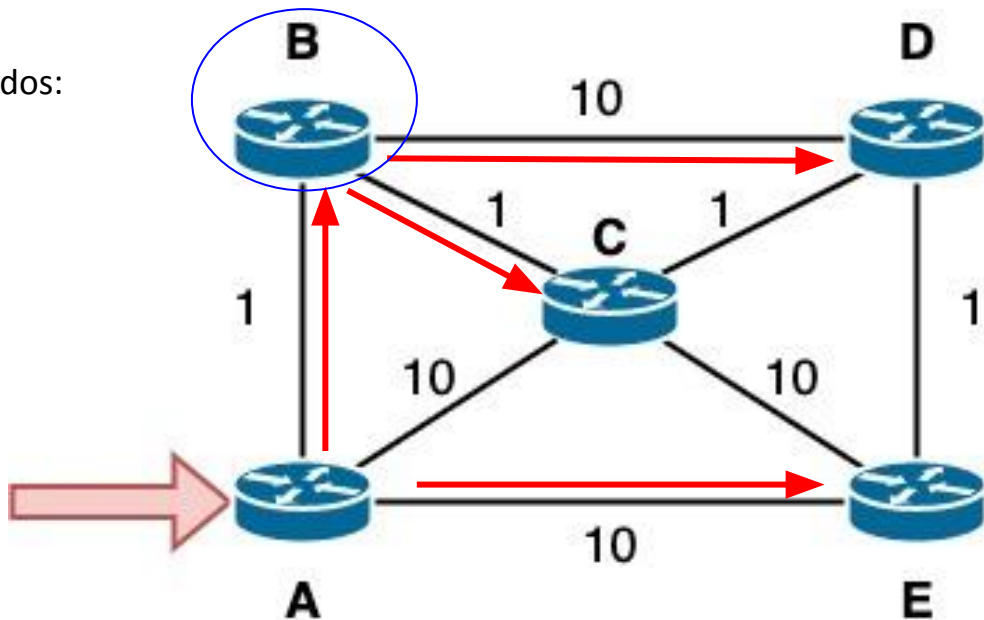
Nós a serem visitados:
{C,D,E}

Nós visitados:
{A, B}

Cálculos:

A -> C -> $1+1=2$

A -> D -> $10+1=11$



Partindo de A

| Nó | Custo | Anterior |
|----|-------|----------|
| A | 0 | - |
| B | 1 | A |
| C | 2 | B |
| D | 11 | B |
| E | 10 | A |

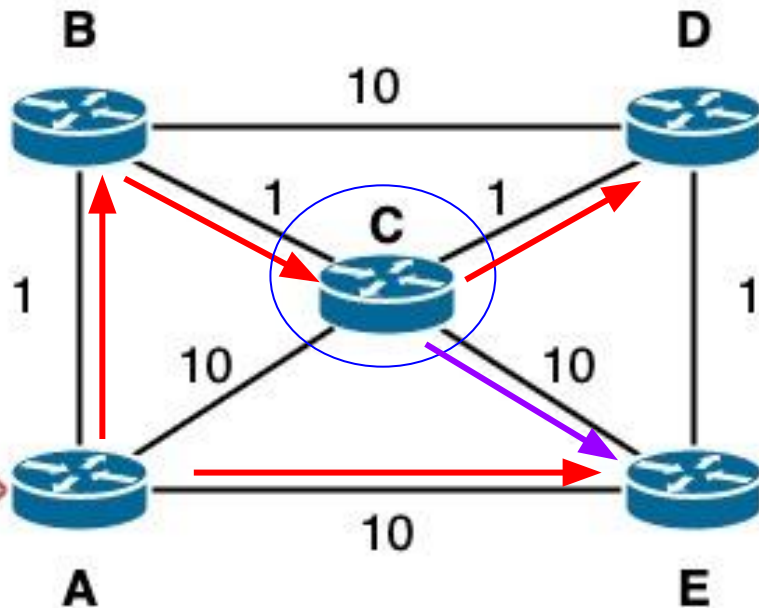
Algoritmo Dijkstra

Nós a serem visitados:
{D,E}

Nós visitados:
{A,B,C}

Cálculos:
A -> D -> 1+1+1=3

Custos maiores
A -> C -> E -> 1+1+10=12



Partindo de A

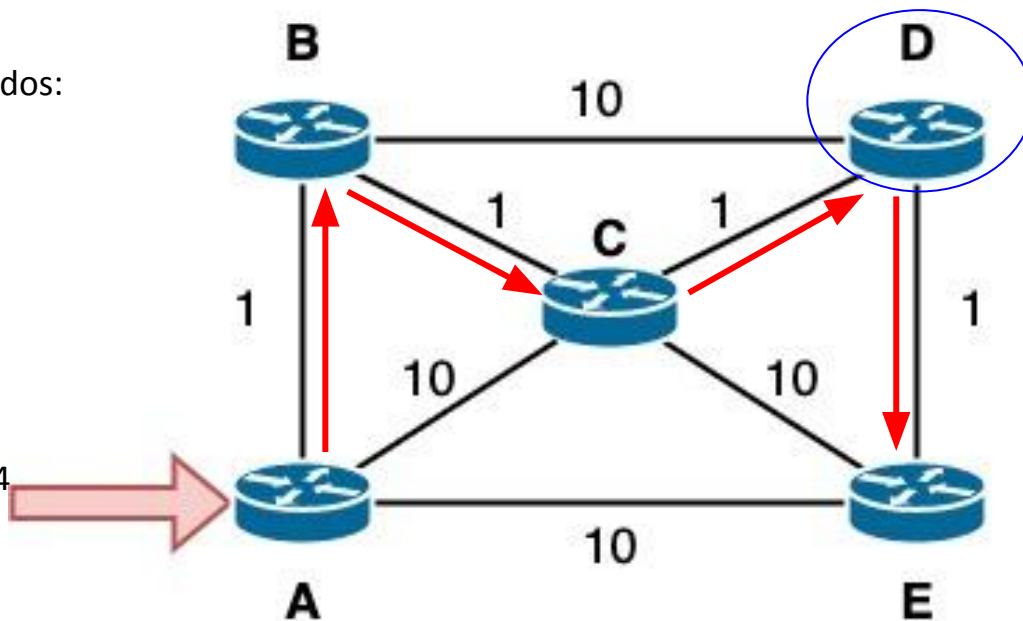
| Nó | Custo | Anterior |
|----|-------|----------|
| A | 0 | - |
| B | 1 | A |
| C | 2 | B |
| D | 3 | C |
| E | 10 | A |

Algoritmo Dijkstra

Nós a serem visitados:
{E}

Nós visitados:
{A,B,C,D}

Cálculos:
A -> E -> 1+1+1+1=4



Partindo de A

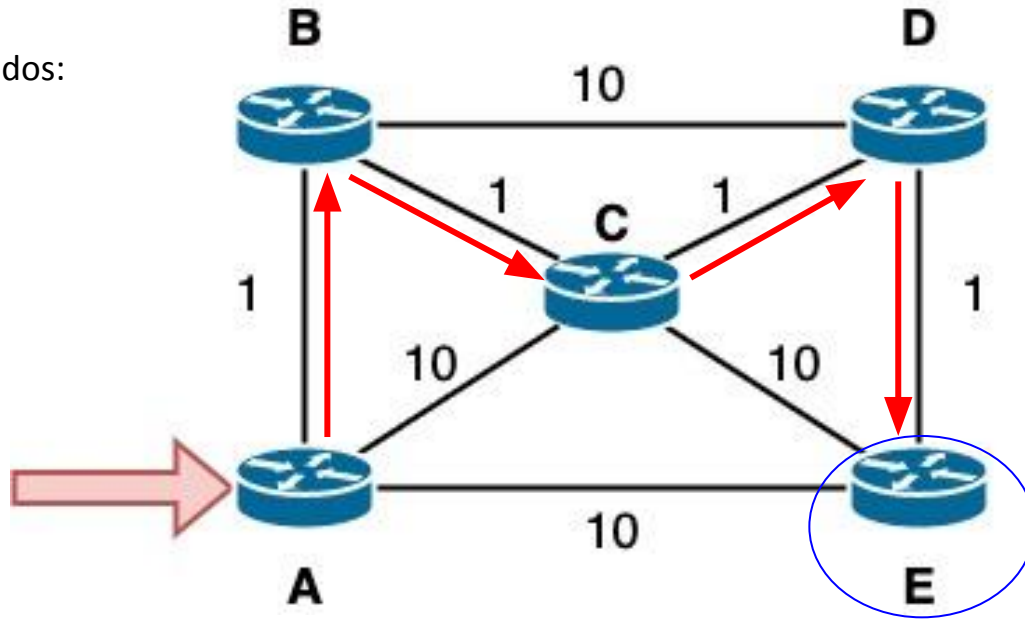
| Nó | Custo | Anterior |
|----|-------|----------|
| A | 0 | - |
| B | 1 | A |
| C | 2 | B |
| D | 3 | C |
| E | 4 | D |

Algoritmo Dijkstra

Nós a serem visitados:
{}

Nós visitados:
{A,B,C,D,E}

Cálculos:
{}



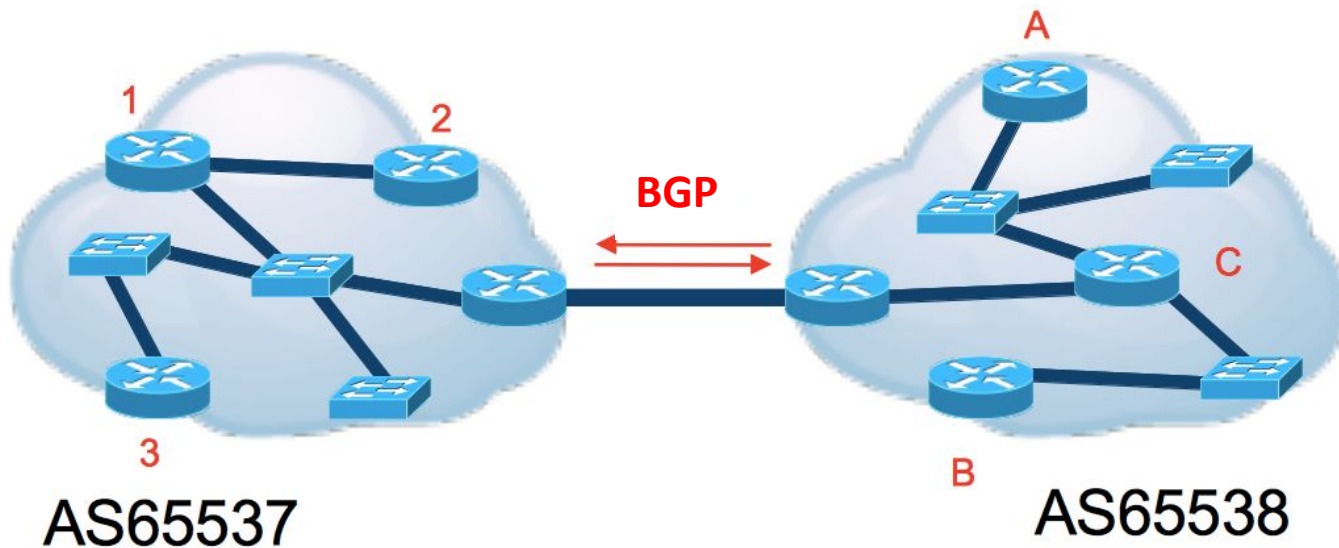
Partindo de A

| Nó | Custo | Anterior |
|----|-------|----------|
| A | 0 | - |
| B | 1 | A |
| C | 2 | B |
| D | 3 | C |
| E | 4 | D |

Laboratório Melhor Caminho Interno

Fora do Sistema Autônomo

Protocolo BGP do tipo Path vector (Carrega os AS por qual passou junto da rota). Cada sistema autônomo configura o seu roteador de borda.



Algoritmo Seleção do BGP

- Rota recebida precisa ser considerada válida
 - NEXT_HOP da rota é válida e alcançável
 - AS_PATH recebido dos vizinhos externos, não pode conter o AS local
 - A rota não foi filtrada(descartada)
- A primeira rota recebida é automaticamente considerada o melhor caminho.
- As próximas rotas recebidas serão comparadas com a primeira



Algoritmo Seleção do BGP

1. O maior WEIGHT é preferido(local). Valor padrão é 0.
2. O maior LOCAL_PREF é preferido(dentro do AS). Valor padrão é 100.
3. O menor AS_PATH (caminho) é preferido.
4. Prefere-se a rota originada localmente via aggregate ou BGP network.
5. Prefere-se a rota com o menor tipo ORIGIN. IGP < EGP < INCOMPLETE
6. O menor multi-exit discriminator (MED) é preferido. Valor padrão é 0
7. Prefere-se rotas eBGP as rotas iBGP.
8. Prefere-se rotas que vieram de roteadores com menor router ID (ou ORIGINATOR_ID).
9. Prefere-se rotas com a menor lista de route reflection cluster. Valor padrão 0.
10. Prefere-se rotas que vieram de vizinhos com menor endereço.

Fonte:

https://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:GP_Best_Path_Selection_Algorithm

Laboratório Melhor Caminho Externo

Tabela de roteamento global atual

- Todas as rotas do mundo via BGP
 - Tabela BGP Completa
 - Full Routing
- Tamanhos
 - IPv4
 - 916.065 rotas
 - IPv6
 - 152.255 rotas



Obrigado
semanacap.bcp.nic.br

@ cursosceptro@nic.br

28 de março de 2022

nic.br cgi.br

www.nic.br | www.cgi.br