

Aula 1

Internet do Futuro

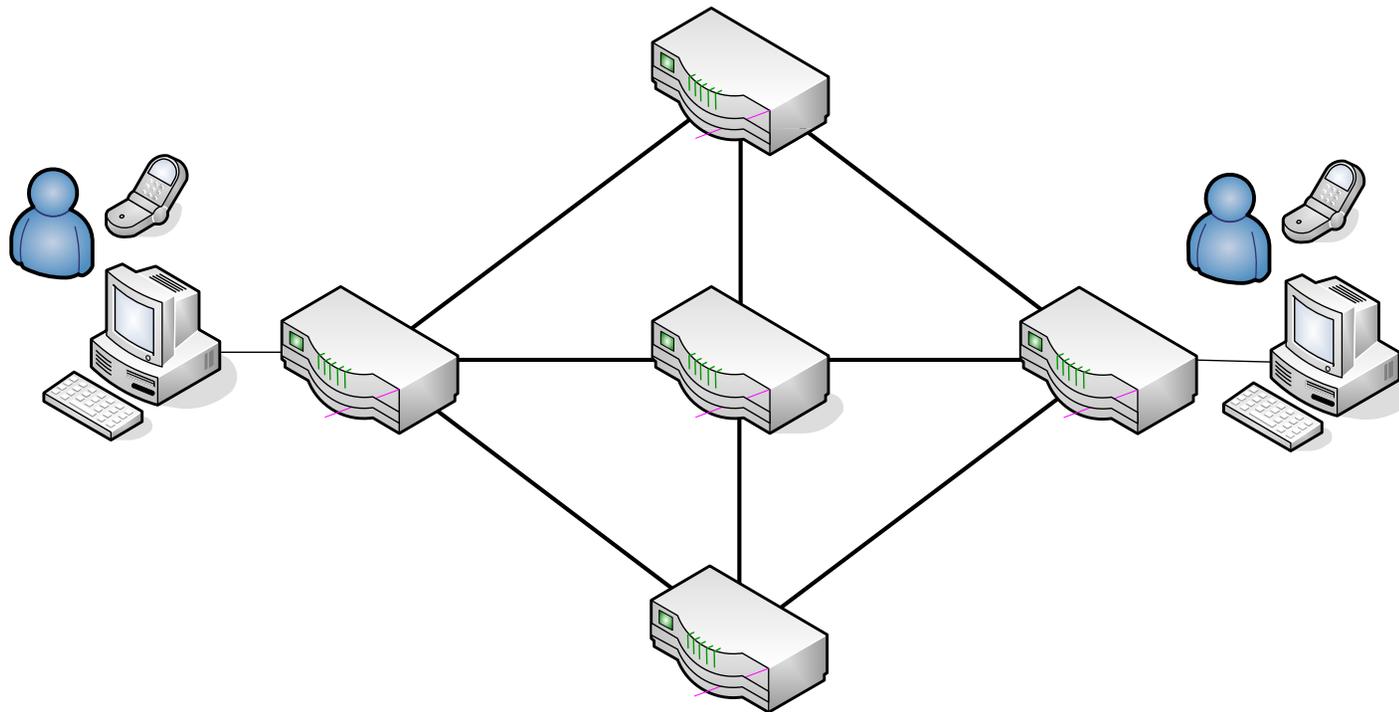
Igor Monteiro Moraes
Redes de Computadores

ATENÇÃO!

- Este apresentação é baseada nas seguintes apresentações:
 - Campista, M. E. M., Ferraz, L. H. G., Moraes, I. M., Lanza, M. L. D., Costa, L. H. M. K., and Duarte, O. C. M. B. - "Interconexão de Redes na Internet do Futuro: Desafios e Soluções", in Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2010, pp. 47-101, Gramado, RS, Brazil, May 2010.
 - Moreira, M. D. D., Fernandes, N. C., Costa, L. H. M. K., and Duarte, O. C. M. B. - "Internet do Futuro: Um Novo Horizonte", in Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2009, pp. 1-59, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, May 2009.
 - Nick McKeown, "Software-defined Networking", Infocom Keynote Talk, April 2009, Rio de Janeiro, Brazil

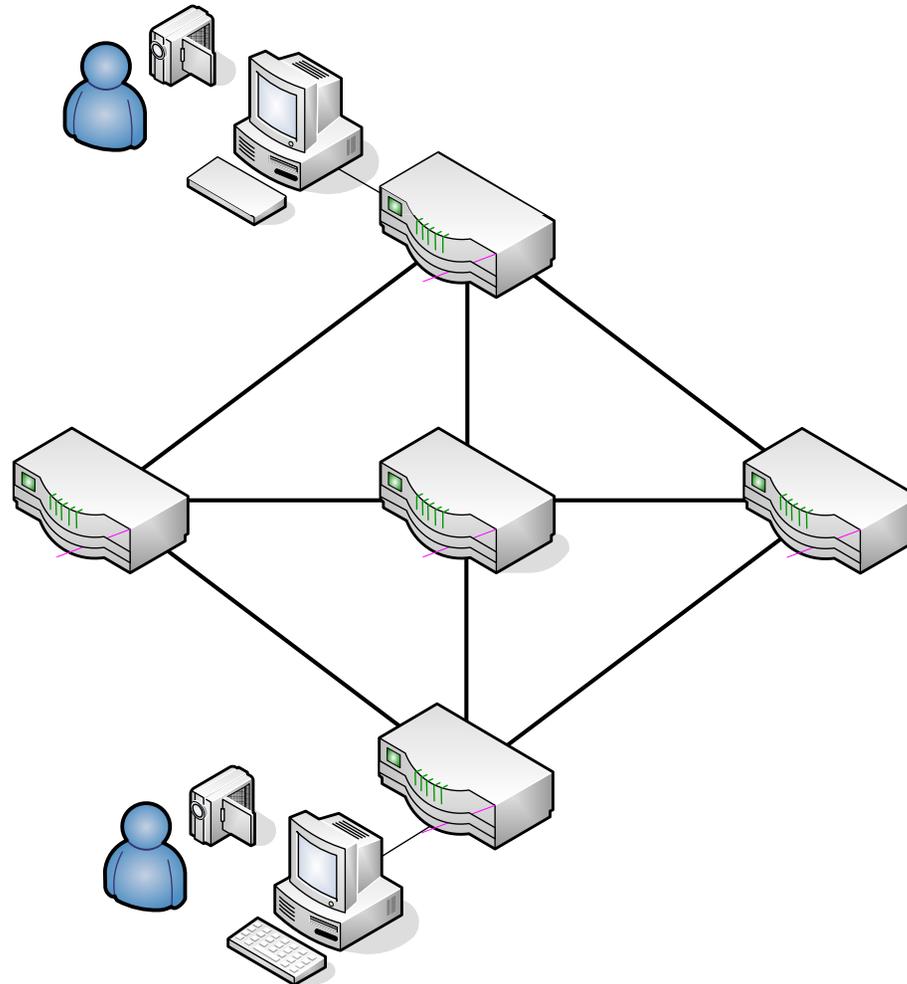
Problemas Tradicionais

- Como garantir qualidade de serviço?
 - Diferenciação de serviços



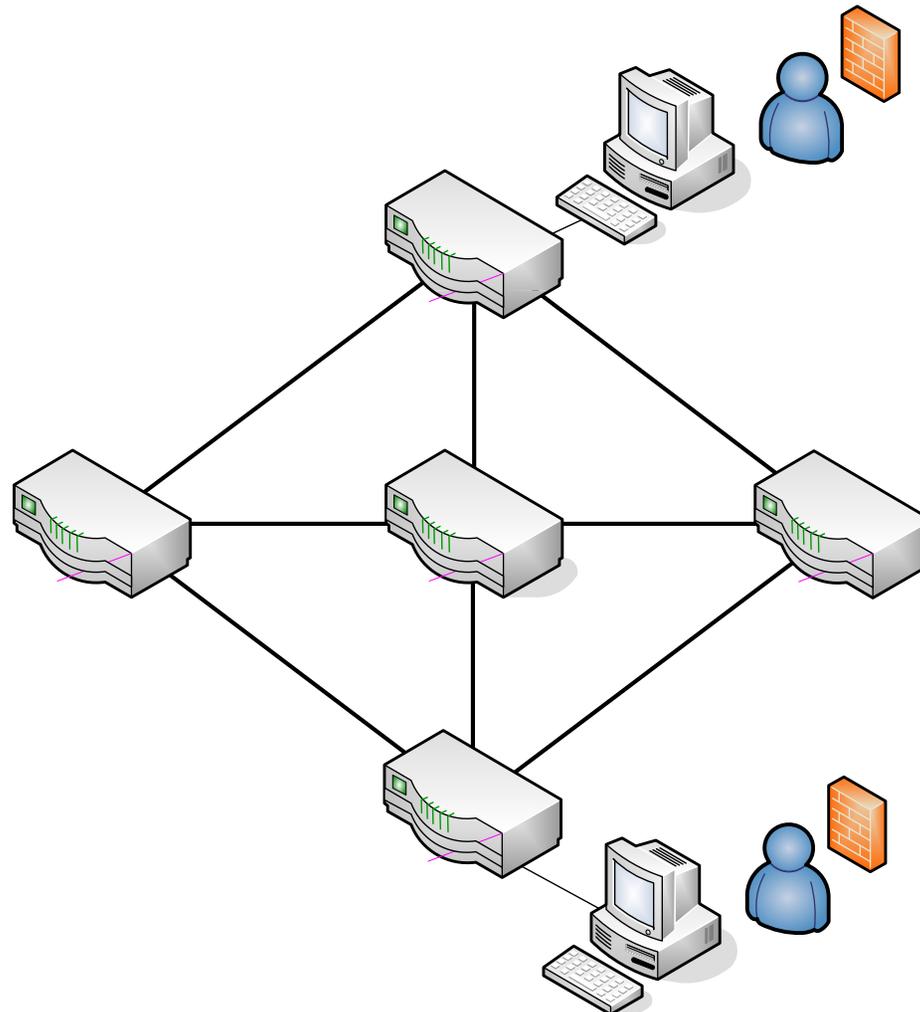
Problemas Tradicionais

- Como garantir qualidade de serviço?
 - Diferenciação de serviços



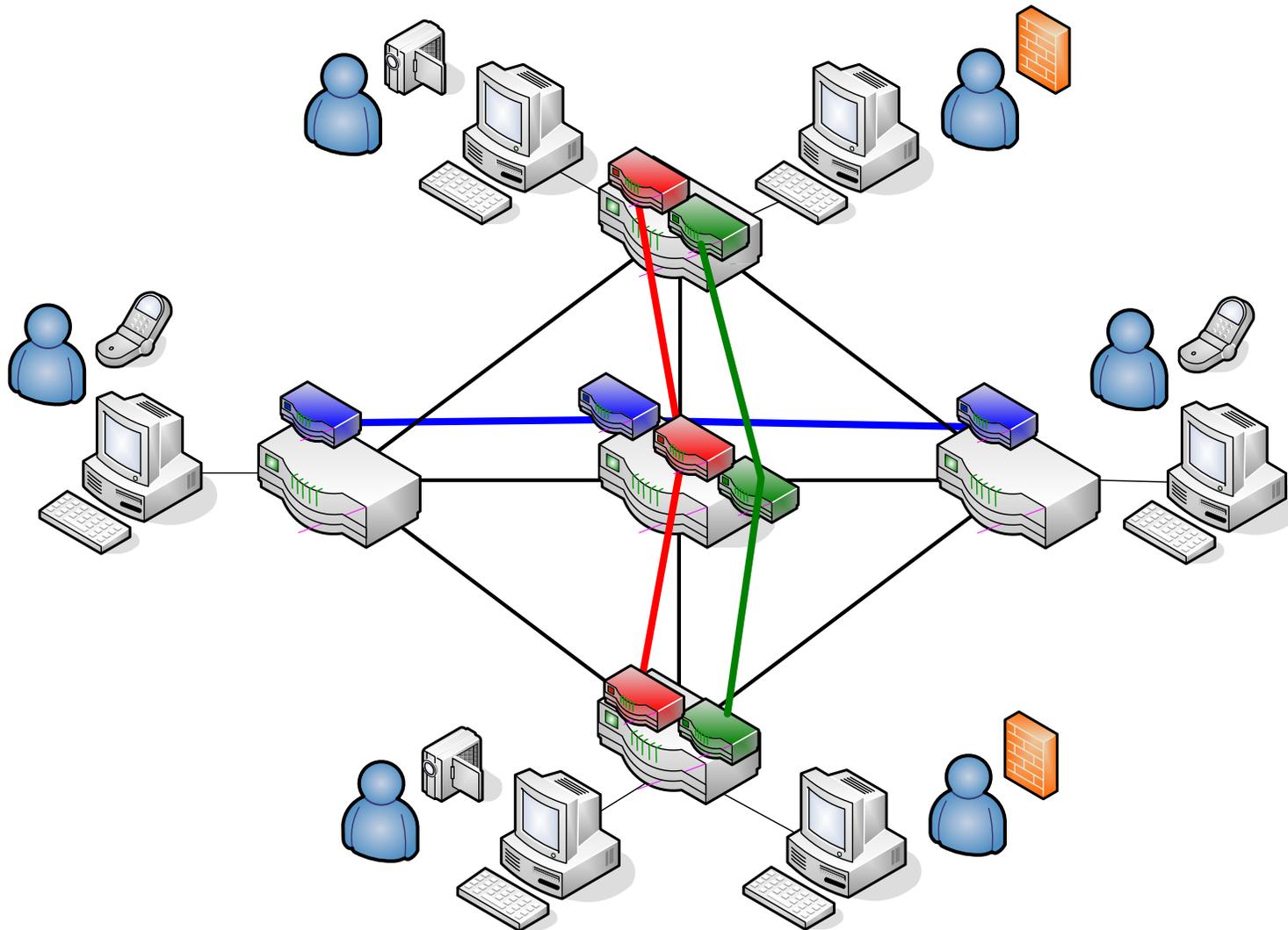
Problemas Tradicionais

- Como prover segurança?
 - IPSec



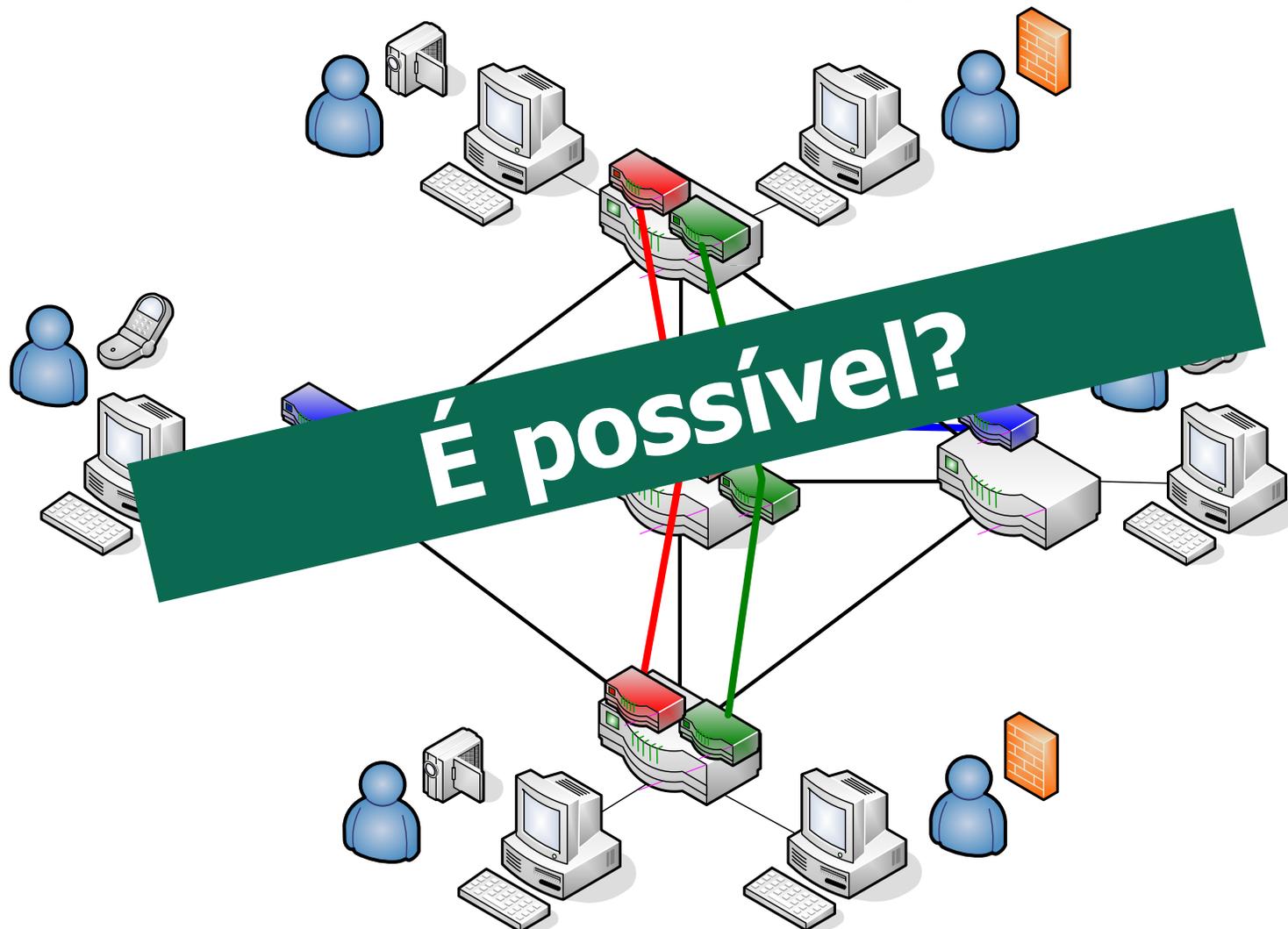
Internet do Futuro

- E se a rede puder ser “fatiada” e programável?



Internet do Futuro

- E se a rede puder ser “fatiada” e programável?



Por que é preciso uma nova Internet?

Nova Internet? Por quê?

- Para muitos usuários a rede atual funciona bem
- Para muitos pesquisadores não há nada melhor do que a Internet atual e seus dois pilares
 - Simplicidade no núcleo e inteligência nas extremidades
 - Protocolos TCP/IP



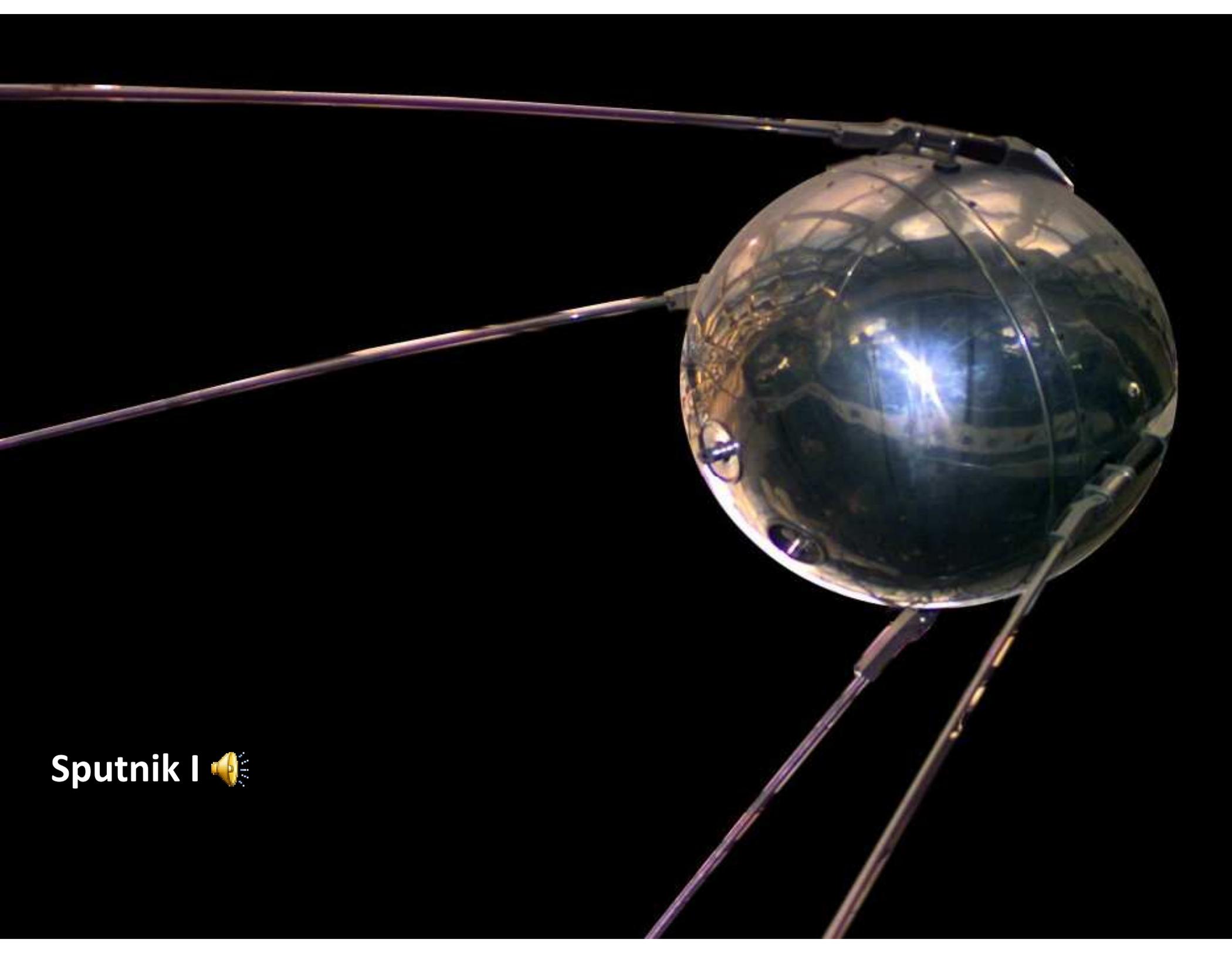
Razão do sucesso

- História e Princípios da Internet
- Mudanças na Internet
- Propostas para a Internet do Futuro e plataformas de teste
 - **Arquitetura pluralista e virtualização de redes**
- Projetos
 - EUA, Europa e Brasil
- Outros temas de pesquisa

Como tudo começou?

- **Outubro de 1957**

- Lançamento, pelos soviéticos, do primeiro satélite artificial da Terra, o **Sputnik I**



Sputnik I 📡

Lançador de Satélites



Lançador de Satélites



Semelhante a um míssil

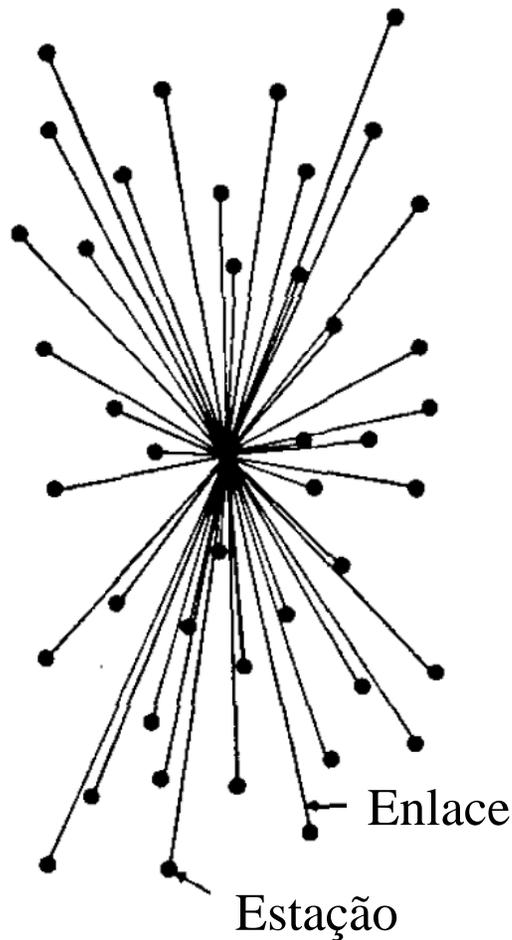
Reação Estadunidense

- 1958 - Presidente Dwight D. Eisenhower criou a Advanced Research Projects Agency (ARPA) para
 - Sistema de defesa antimísseis
 - Detecção de testes de bomba nuclear

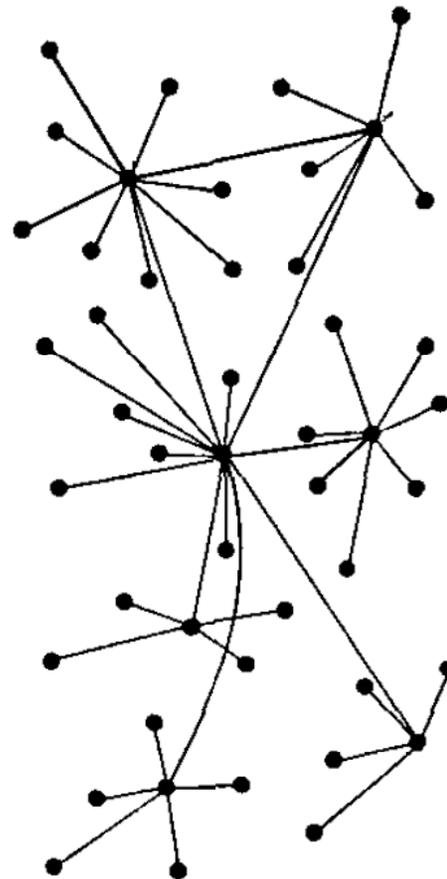
Reação Estadunidense

- 1964 - Licklider, Kleinrock, Baran e Roberts
 - Proposta: interconectar computadores para “acessar dados e programas de qualquer lugar e de maneira fácil e rápida”
 - Rede com topologia **distribuída** para redundância
 - Uma **bomba** não anularia a comunicação
 - Rede baseada na **comutação de pacotes**
 - Divisão da mensagem em pacotes, encaminhamento dos pacotes e remontagem da mensagem no destino
 - Encaminhamento fácil da mensagem por diferentes **caminhos redundantes**

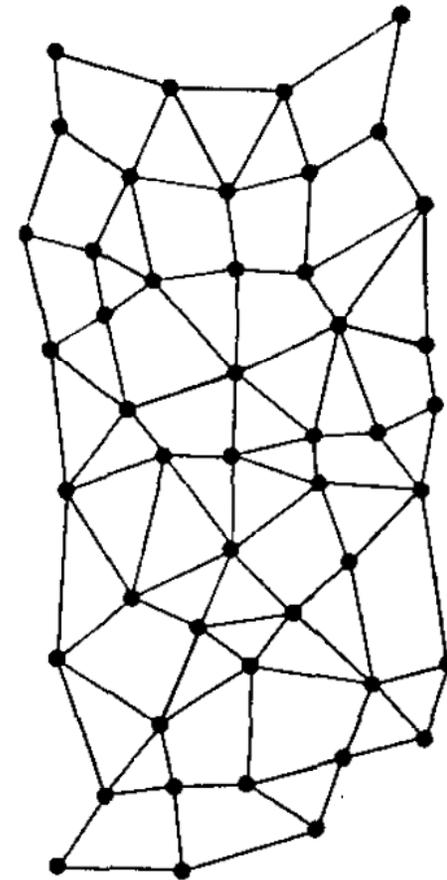
Topologia Distribuída



a) Centralizada



b) Descentralizada

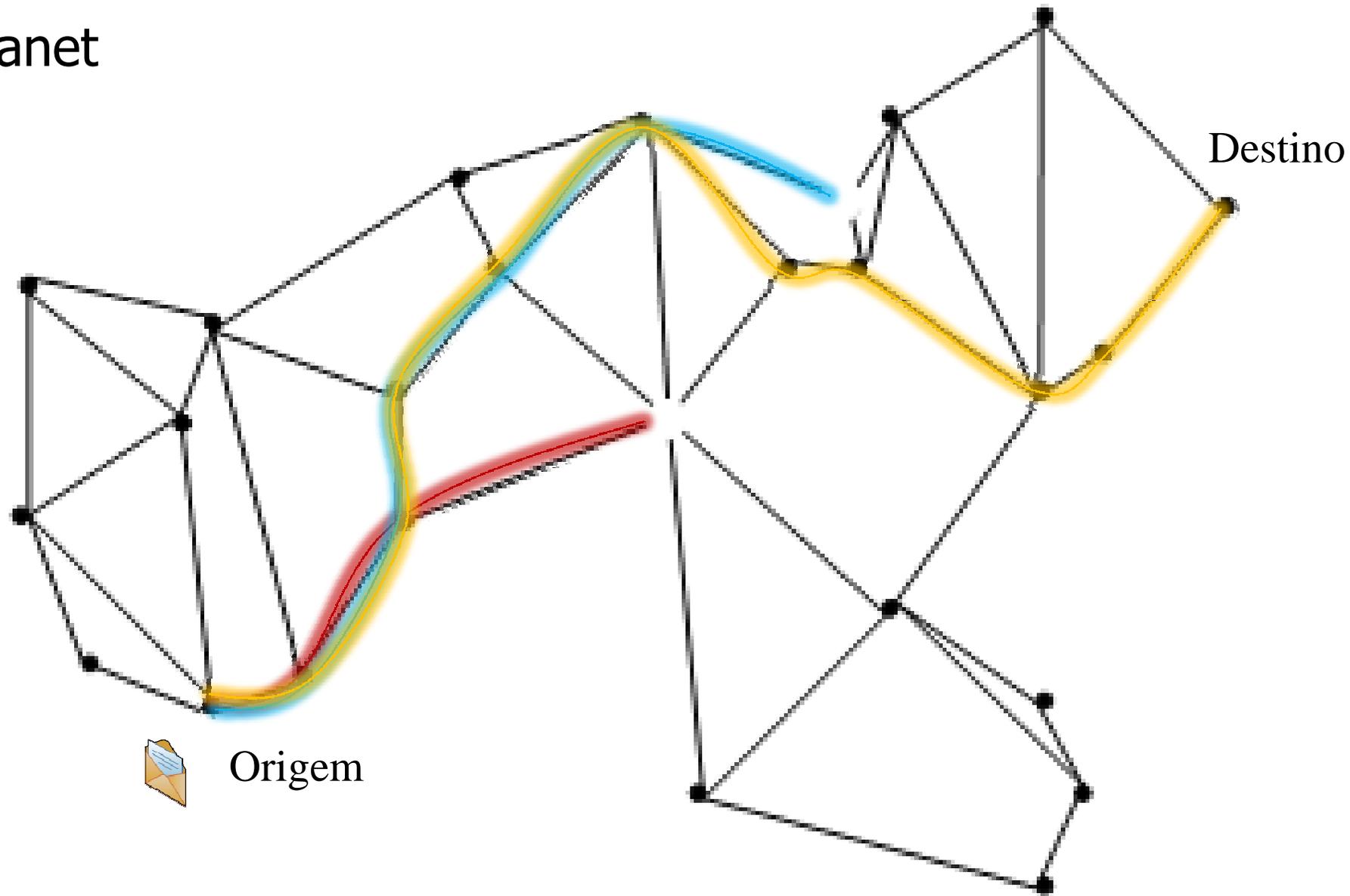


c) Distribuída



Disponibilidade

- Arpanet



Comutação

- Sistema telefônico
 - Comutação de Circuitos
- Internet
 - Comutação de Pacotes

Sistema Telefônico

- Objetivo
 - Conectar fios a outros fios
- Não se importa com a **conversação** telefônica
 - O importante é o estabelecimento de um **caminho entre a origem e o destino**

Centrais Telefônicas

Manualmente

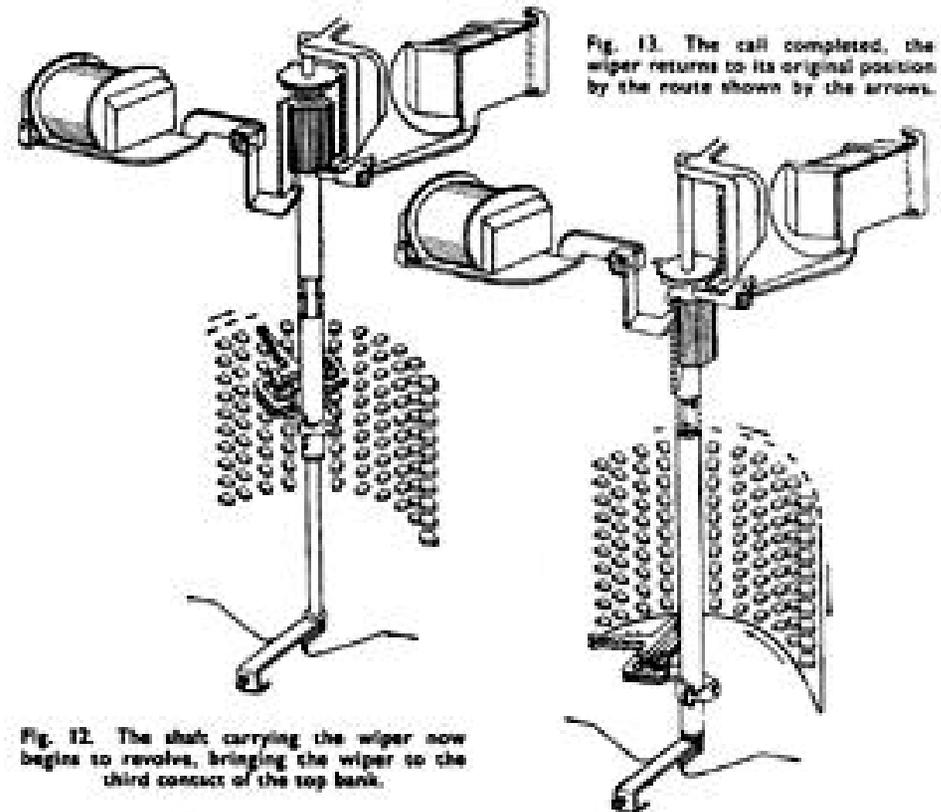


Centrais Telefônicas

Manualmente

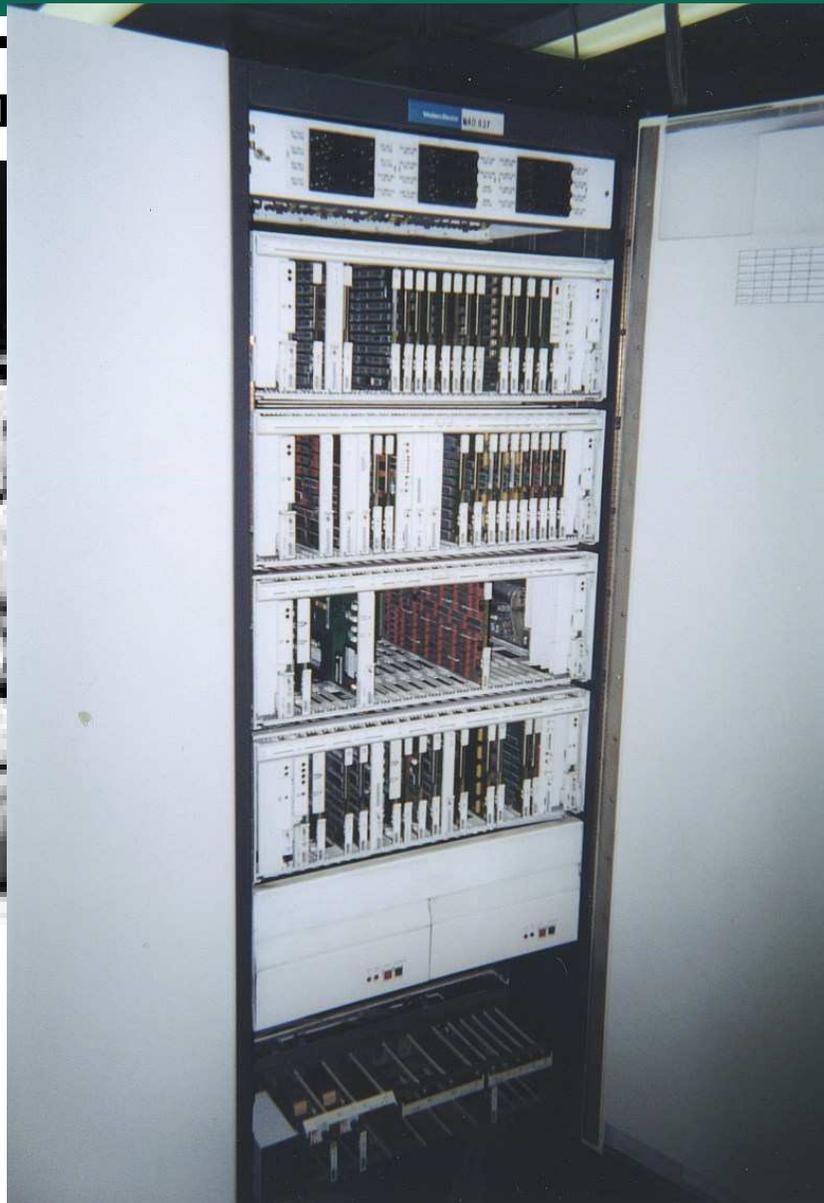


Mecanicamente

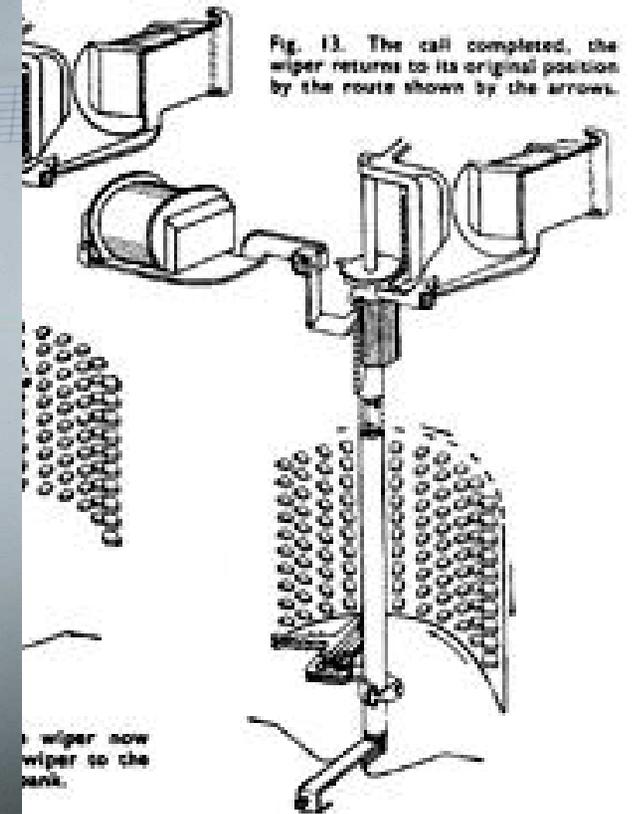


Centrais Telefônicas

Manualmente



Mecanicamente



Por Computador

- Nenhuma informação é transferida antes do estabelecimento da chamada
 - Eficiência **decrece** com
 - Aumento do tempo de estabelecimento da chamada
 - Aumento da banda passante do canal
 - Diminuição do tempo de duração da chamada
- Falha da chamada se um dos elementos do caminho falha
 - Confiabilidade decresce exponencialmente com a escala

Comutação de Pacotes

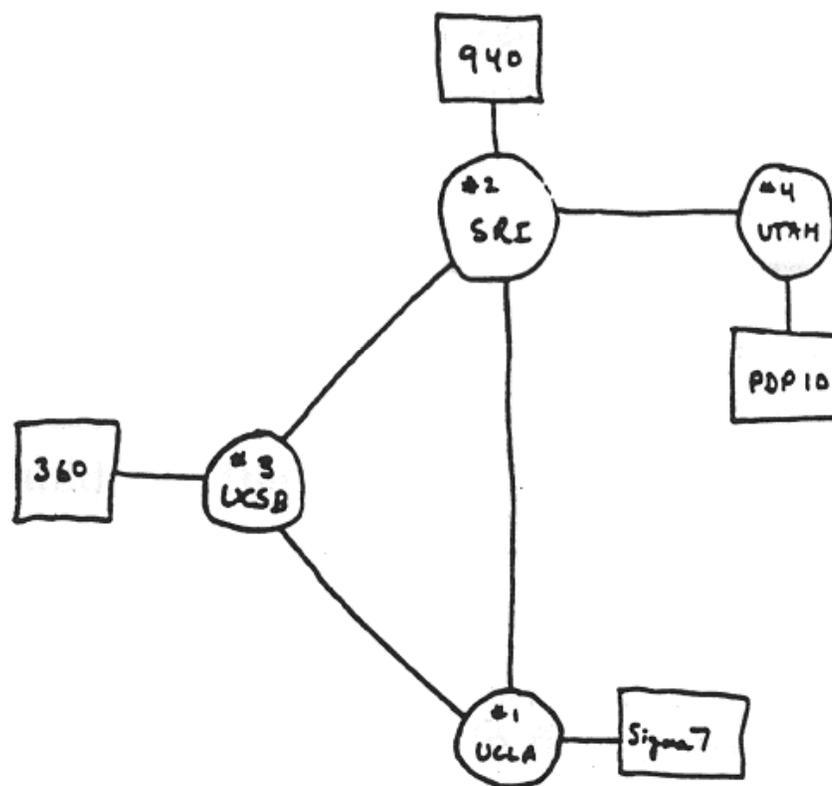
- Foco no sistema final e não mais no caminho
- **Mensagem dividida em pedaços** (os pacotes) encaminhados de forma independente uma das outras
- Pacotes com endereço final do destino
 - Semelhante a uma **carta enviada pelo correio**
- Pacotes encaminhados nó-a-nó
 - Podem percorrer caminhos diferentes até o destino



**Na época, todos que entendiam
um pouco de telecomunicações
achavam a idéia uma
“maluquice que nunca daria certo”**

ARPANET

Primeira rede de comutação de pacotes

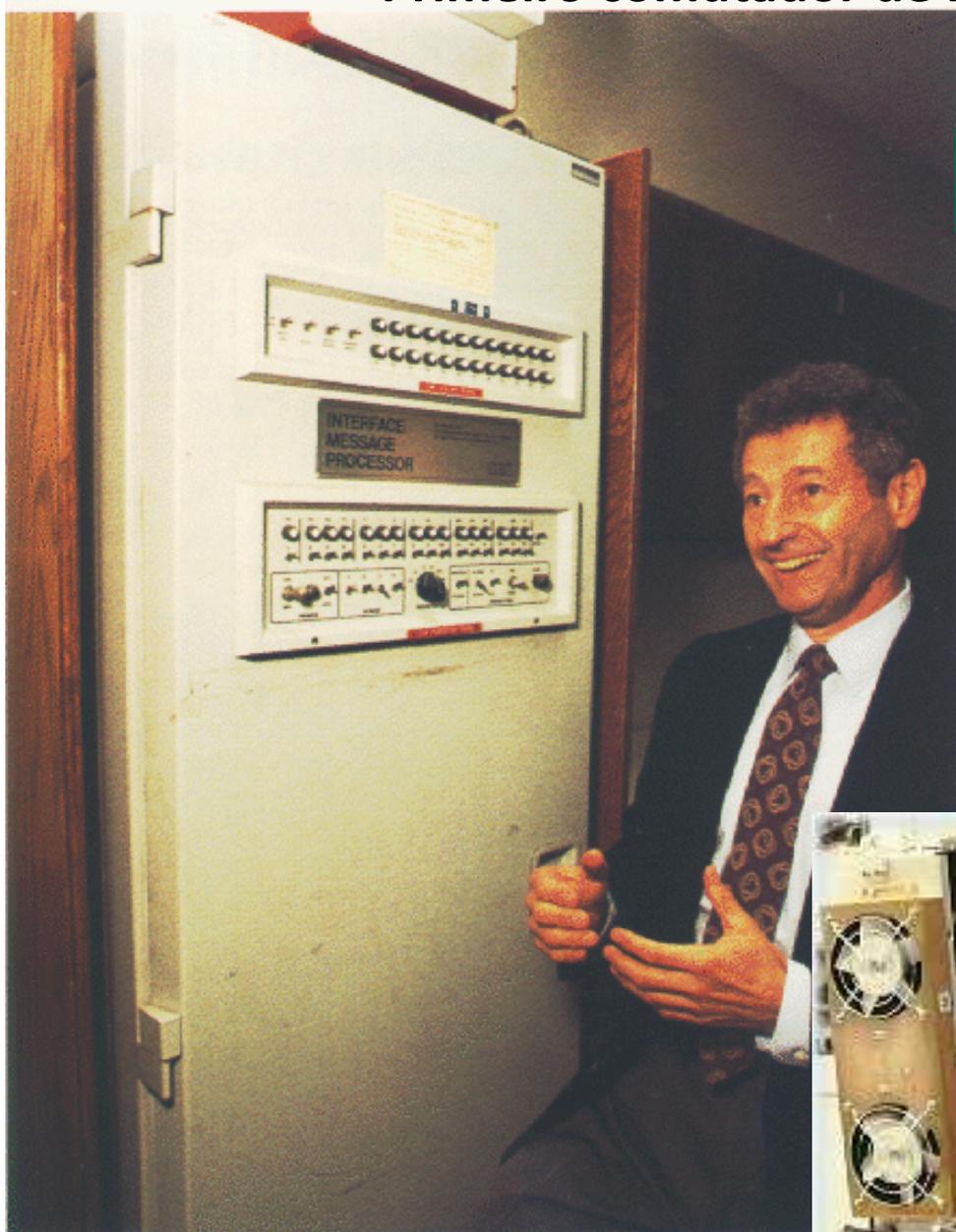


THE ARPA NETWORK

DEC 1969

Interface Message Processor (IMP)

Primeiro comutador de mensagens (roteador)



Leonard Kleinrock
Professor da UCLA

1969



Minicomputador
Honeywell
DDP516
24kB de memória
10 kHz de relógio



A Primeira Mensagem

Cenário – comunicação entre a UCLA e Stanford e acompanhamento do que se passava pelo telefone

Kleinrock tenta fazer o LOGIN remotamente

“Digitei o L e pelo telefone perguntei, você viu o L?”

A Primeira Mensagem

Cenário – comunicação entre a UCLA e Stanford e acompanhamento do que se passava pelo telefone

Kleinrock tenta fazer o LOGIN remotamente

“Digitei o L e pelo telefone perguntei, você viu o L?”

“Sim eu vi o L, mande o próximo”

A Primeira Mensagem

Cenário – comunicação entre a UCLA e Stanford e acompanhamento do que se passava pelo telefone

Kleinrock tenta fazer o LOGIN remotamente

“Digitei o L e pelo telefone perguntei, você viu o L?”

“Sim eu vi o L, mande o próximo.”

“Digitei o O e perguntei, você viu o O?”

A Primeira Mensagem

Cenário – comunicação entre a UCLA e Stanford e acompanhamento do que se passava pelo telefone

Kleinrock tenta fazer o LOGIN remotamente

“Digitei o L e pelo telefone perguntei, você viu o L?”

“Sim eu vi o L, mande o próximo.”

“Digitei o O e perguntei, você viu o O?”

“Sim, eu vi o O”

A Primeira Mensagem

Cenário – comunicação entre a UCLA e Stanford e acompanhamento do que se passava pelo telefone

Kleinrock tenta fazer o LOGIN remotamente

“Digitei o L e pelo telefone perguntei, você viu o L?”

“Sim eu vi o L, mande o próximo.”

“Digitei o O e perguntei, você viu o O?”

“Sim, eu vi o O”

“Em seguida, digitei o G e ...”

A Primeira Mensagem

Cenário – comunicação entre a UCLA e Stanford e acompanhamento do que se passava pelo telefone

Kleinrock tenta fazer o LOGIN remotamente

“Digitei o L e pelo telefone perguntei, você viu o L?”

“Sim eu vi o L, mande o próximo.”

“Digitei o O e perguntei, você viu o O?”

“Sim, eu vi o O”

“Em seguida, digitei o G e ...” o sistema travou!

A Primeira Mensagem

Cenário – comunicação entre a UCLA e Stanford e acompanhamento do que se passava pelo telefone

Kleinrock tenta fazer o LOGIN remotamente

“Digitei o L e pelo telefone perguntei, você viu o L?”

“Sim eu vi o L, mande o próximo.”

“Digitei o O e perguntei, você viu o O?”

“Sim, eu vi o O”

“Em seguida, digitei o G e ...” o sistema travou!

O teste foi um sucesso e a revolução começou!

Evolução da Internet

- 1970 – 12 IMPs interconectavam computadores nos EUA todo
- 1972 – RFC 354 File-Transfer Protocol (FTP)
- 1972 – Primeiro email
 - Ray Tomlinson – @ para endereço de email
- 1973 – $\frac{3}{4}$ do tráfego era de emails
- 1974 - Vinton Cerf (UCLA) e Robert Kahn (ARPA) propõem Transmission Control Protocol and Internet Protocol (TCP/IP)
 - Mais rápido e mais eficiente
 - Mais computadores com menor custo

**TCP/IP é considerado
o marco inicial da Internet**

Evolução da Internet

- 1986 – maioria dos departamentos norte americanos de ciência da computação estão conectados a Internet
- 1990 – NSFNET substitui a ARPANET
 - 25 vezes mais rápida
- 1990 – Tim Berners-Lee propõe "World-Wide Web"
- 1991 – acesso discado à Internet
- 1991 – Gopher – primeira interface amigável
- 1993 – Mosaic
 - Mark Andreessen propõe o primeiro navegador

Daí pra frente é só sucesso de crescimento de usuários e número de aplicações

Sucesso da Internet

- **Rádio** 38 anos para chegar a 50 milhões de usuários
- **Televisão** 13 anos para chegar a 50 milhões de usuários
- **Internet** pública 4 anos para chegar a 50 milhões de usuários

Princípios da Internet

- Modelo em camadas
- Comutação de pacotes e melhor esforço
- Transparência
- **Princípio fim-a-fim**
- Entrega imediata
- Heterogeneidade de sub-rede
- Endereçamento global
- Controle distribuído
- Cálculo global do roteamento
- Divisão em regiões
- Dependência mínima

Princípio Fim-a-Fim

- Princípio FUNDAMENTAL da Internet

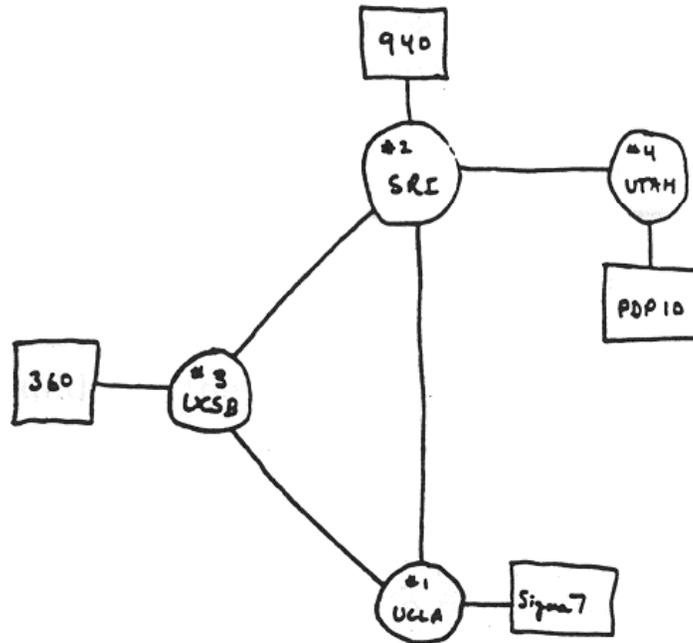
Funções específicas de nível de aplicação devem estar presentes apenas nas extremidades

- Motivação
 - **Só com o conhecimento da aplicação** (nas extremidades) as funções específicas pode ser implementadas de forma correta e completa

núcleo simples e inteligência nas extremidades

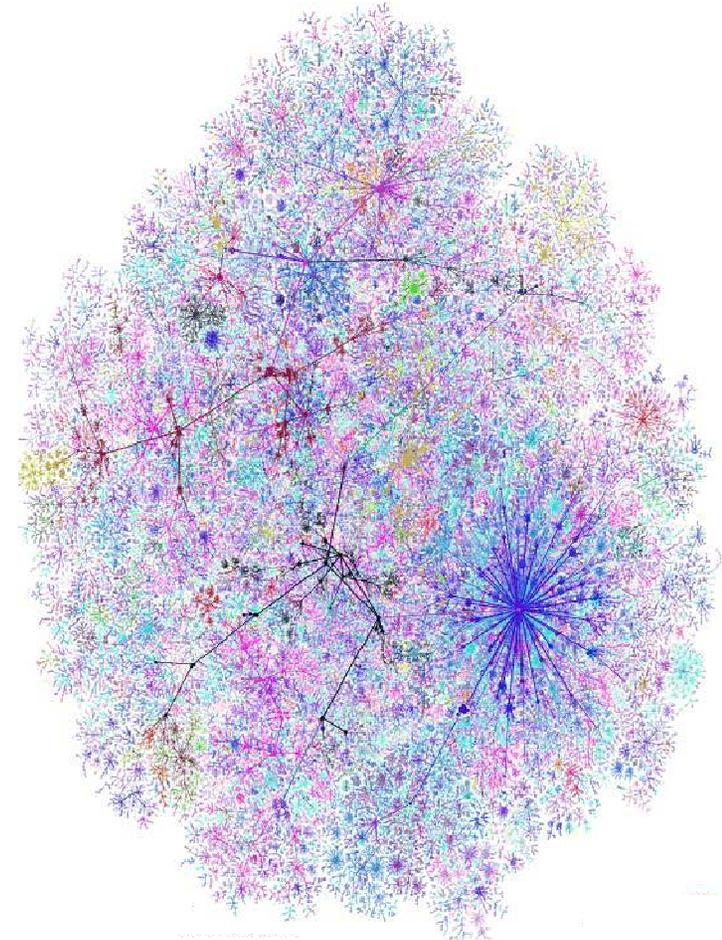
O Que Mudou?

- Número de nós e usuários: cerca de 1,5 bilhões hoje



THE ARPA NETWORK

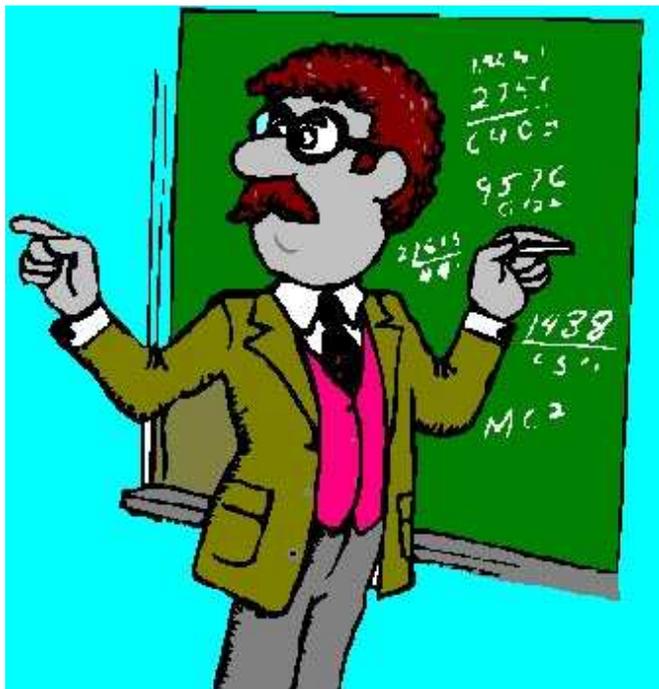
1969



1999

O Que Mudou?

- Perfil dos usuários
 - Especializados → maioria não especializada



Pesquisadores de universidades e centros de pesquisa



Original Artist
Reproduction rights obtainable from
www.CartoonStock.com

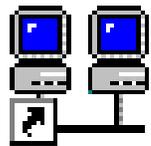


search ID: aton560

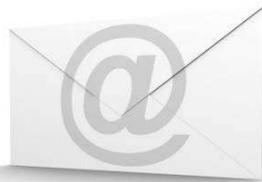
Usuários de diferentes idades e com diferentes habilidades técnicas

O Que Mudou?

- Número e características das aplicações
 - Poucas → muitas e com diferentes requisitos



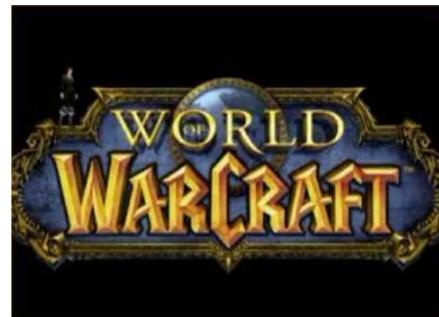
Telnet_SSH



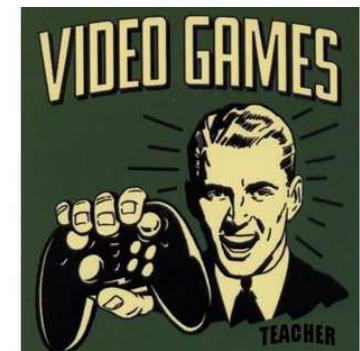
You Tube
Broadcast Yourself



Google



BitTorrent™



O Que Mudou?

Sem fins lucrativos → Lucro

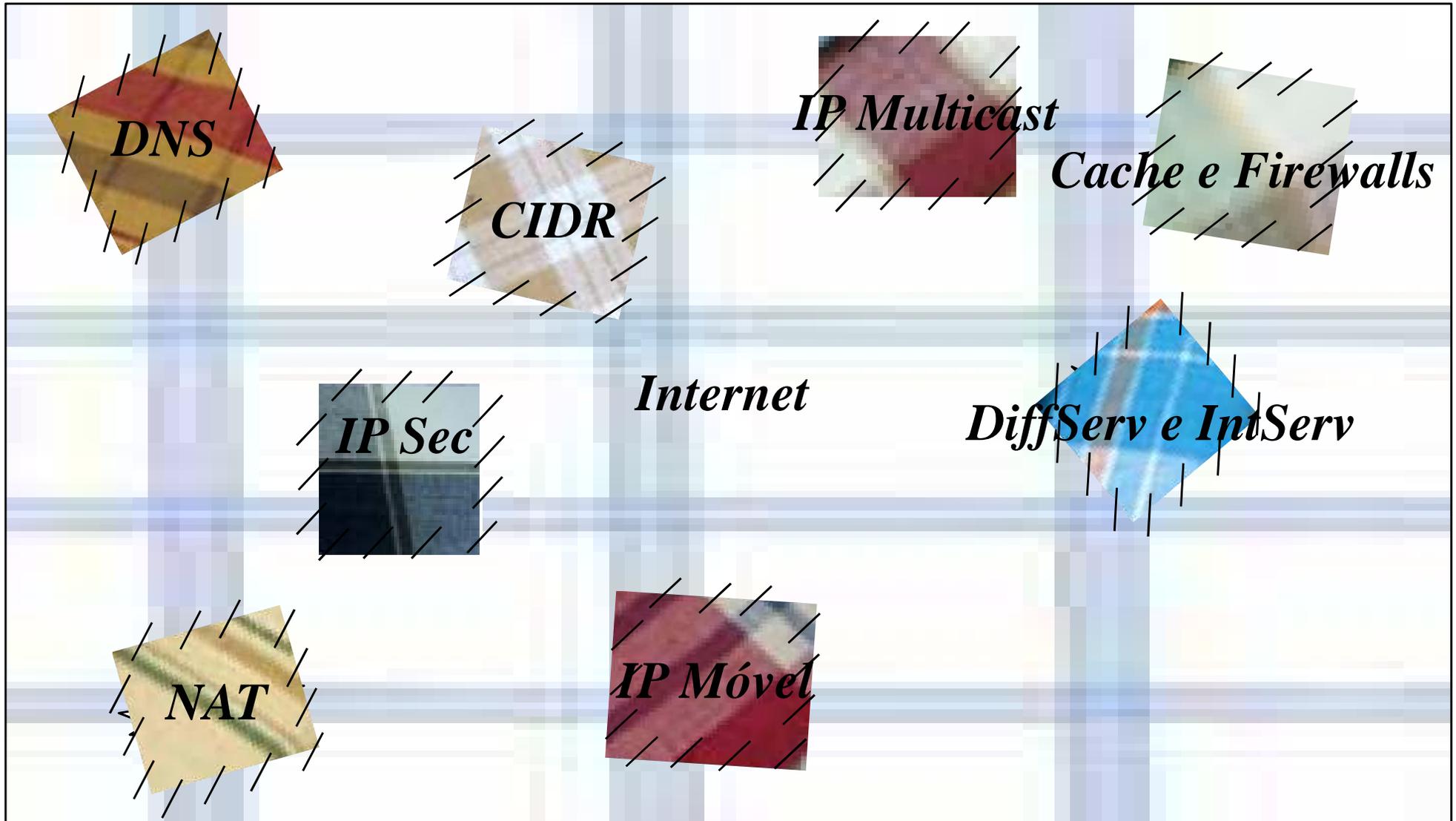
- Operadores e prestadores de serviço visam lucro
- Operadores devem ser capazes de “gerenciar”
 - Configurar
 - Resolver problemas
 - Implementar elementos intermediários (*Middleboxes*)
 - *Proxies, firewalls, NATs* etc.
 - Implementar políticas
 - roteamento, controle de acesso, prioridade etc.

Evolução da Internet

- Princípios básicos da Internet
 - Definidos nos anos 70
 - Responsáveis pelo grande sucesso
- No entanto, a Internet precisou se adaptar ao seu crescimento e às suas aplicações

**Evolução através de
“remendos”**

Internet: Colcha de Retalhos



Por que é preciso uma nova Internet?

Por que é preciso uma nova Internet?

Ok. Estou convencido 😊

E daí? Como seria esta Nova Internet?

**Sabemos fazer uma Nova Internet
melhor que a atual”?**

“Começando do Zero”

Internet Atual

- Modelo em camadas
- IPv4
- TCP
- RIP, OSPF, BGP
- Melhor Esforço
- DNS

“Começando do Zero”

Internet do Futuro começando do zero
?????

Considerando o conhecimento que existe hoje,
como projetar a nova Internet?

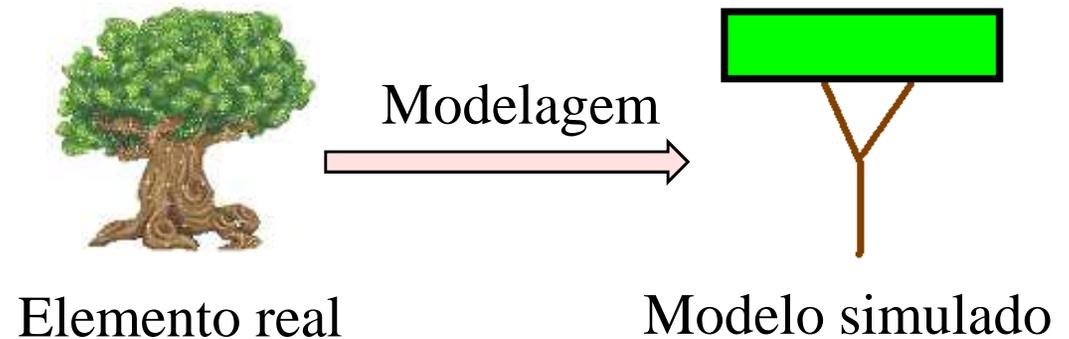
- Quais os requisitos?
- Como testar propostas radicais?
- Como migrar da Internet atual para a nova Internet?

Como testar as propostas para a nova Internet?

- Poderosa, mas complexa
- Exemplo de desafio
 - Modelo matemático
 - Representação dinâmica de competição de fluxos
 - Algoritmos de congestionamento
 - Estrutura estatística das aplicações
 - Mecanismos de filas e escalonamento
- Novas ferramentas matemáticas envolvendo
 - Teoria da probabilidade, estatística, sistemas dinâmicos de eventos discretos, redes complexas etc.

Simulação

- Modelos simplificados
 - de tráfego
 - de topologia
 - de cenário
 - etc.

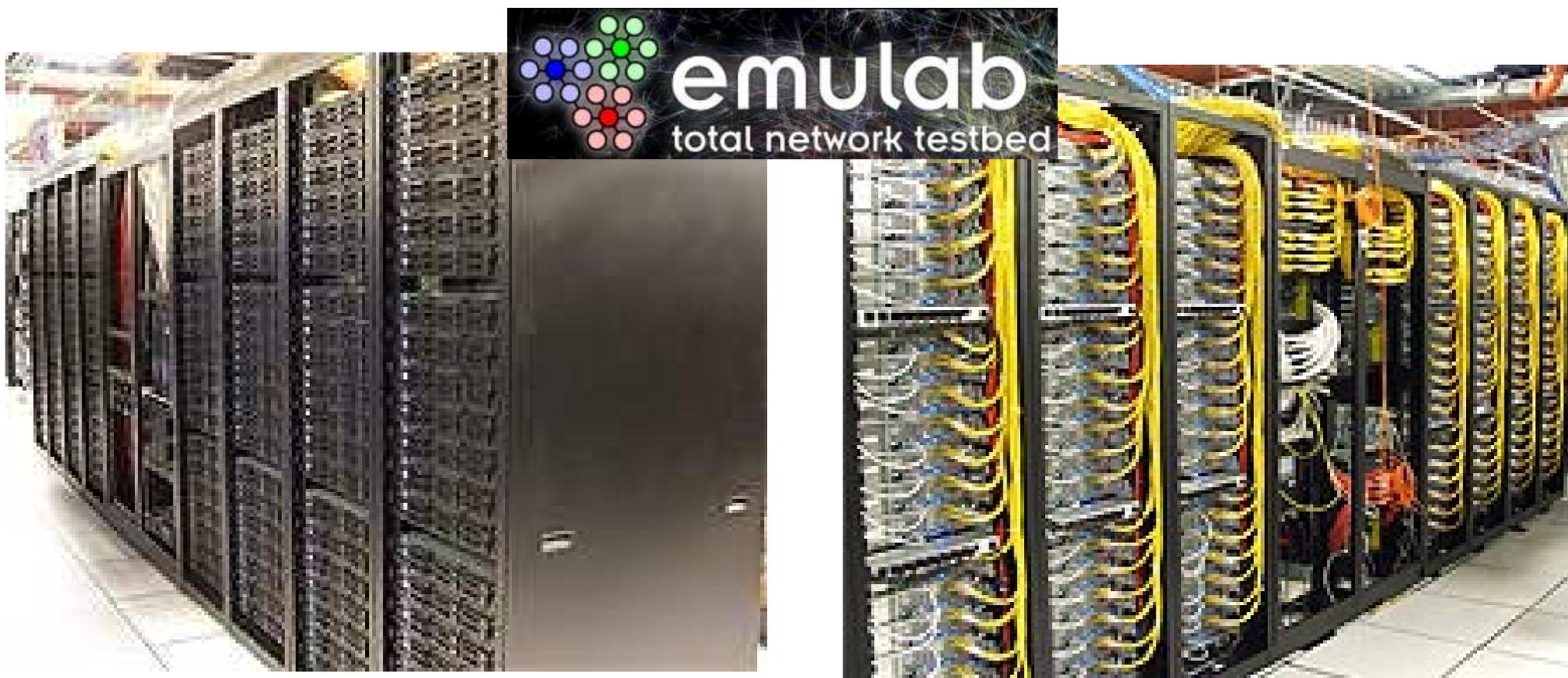


- Resultado
 - Resultados de simulação não correspondem aos obtidos em implementações reais

Avaliação Experimental

- Problema
 - Como reproduzir a escala da Internet?
- Propostas
 - Emulação
 - Criação de plataformas de teste (*testbeds*)
 - Atração de tráfego real

Emulab



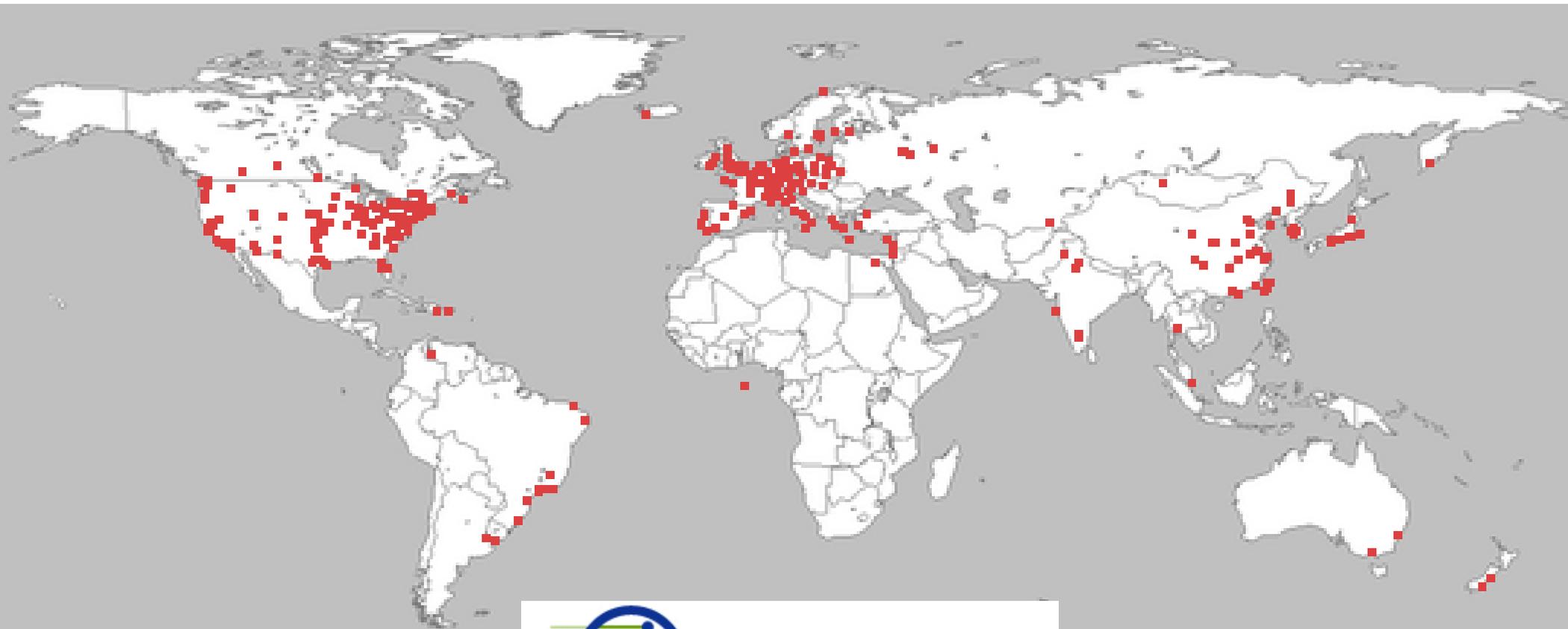
**376 nós (computadores pessoais), 7 roteadores e servidores
Universidade de Utah**

- Configuração dinâmica
 - Topologias arbitrárias
 - Modelos de canal sem fio específicos e geradores de ruído



PlanetLab

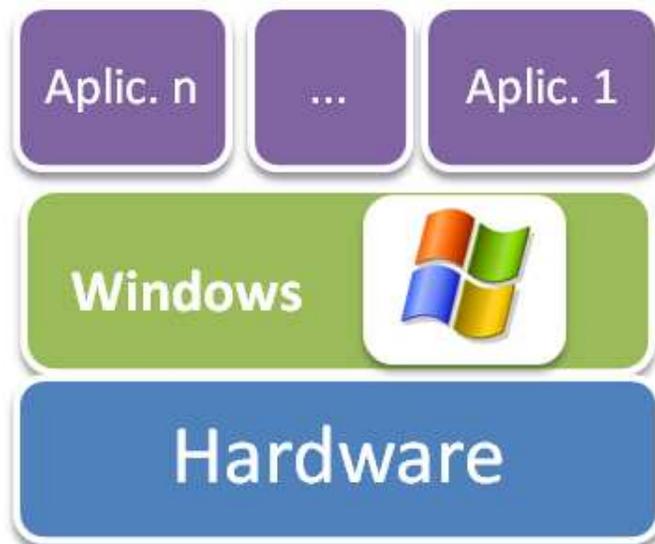
- 982 nós distribuídos em 484 sítios



- Alcance mundial
 - 982 nós distribuídos em 484 sítios
- Amplamente utilizado para testes de rede
- Baseado nos conceitos de
 - Redes sobrepostas
 - **Virtualização**

Virtualização

- Diversos sistemas operacionais
 - Mesma máquina física
 - Compartilham recursos
 - **Isolados**

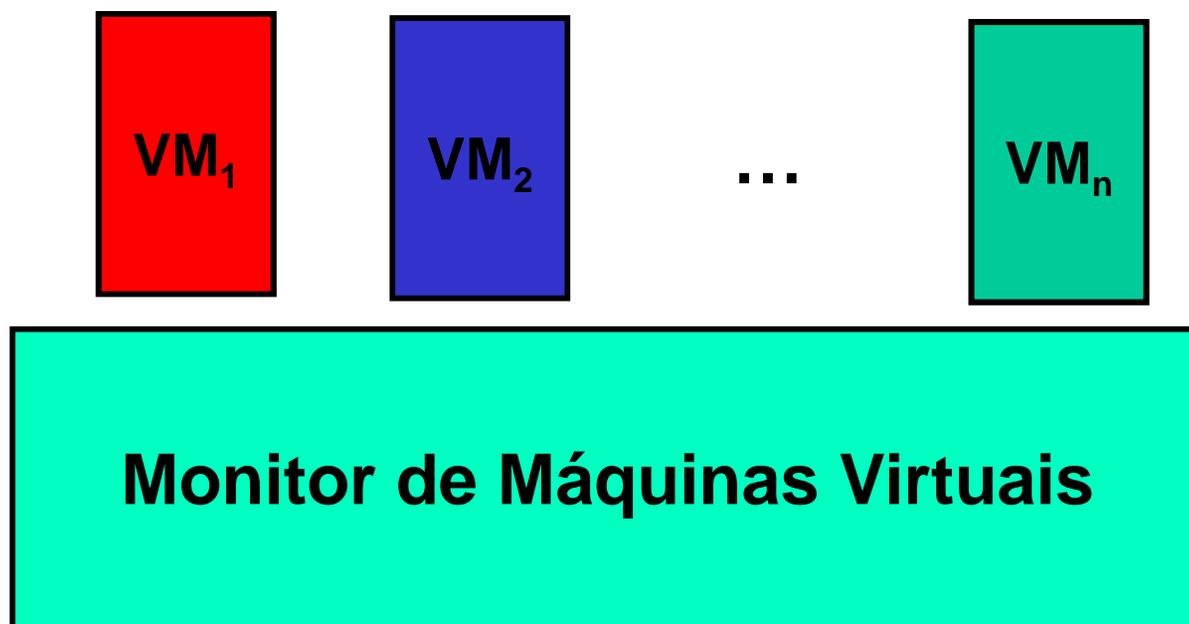


Sistema Tradicional

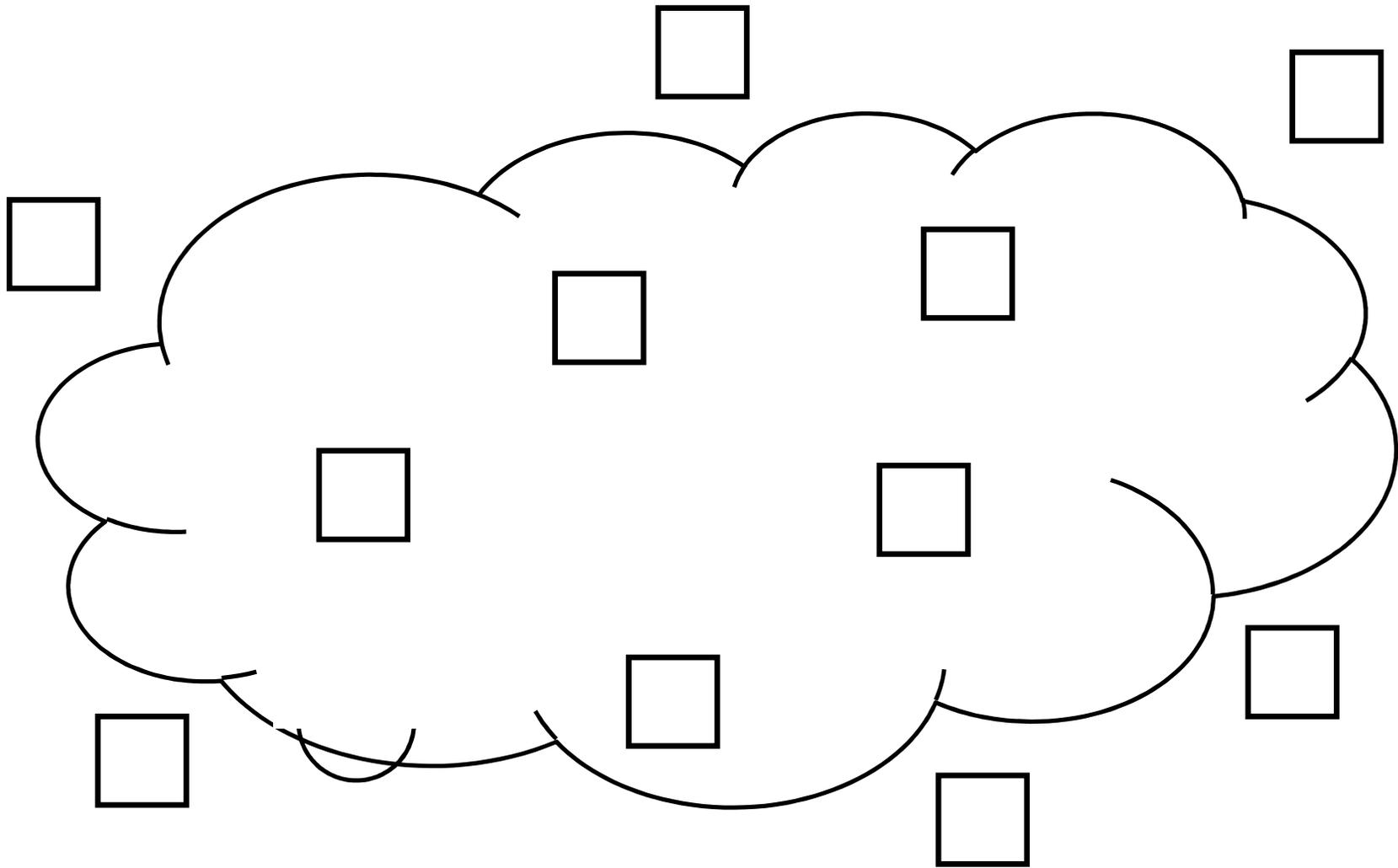


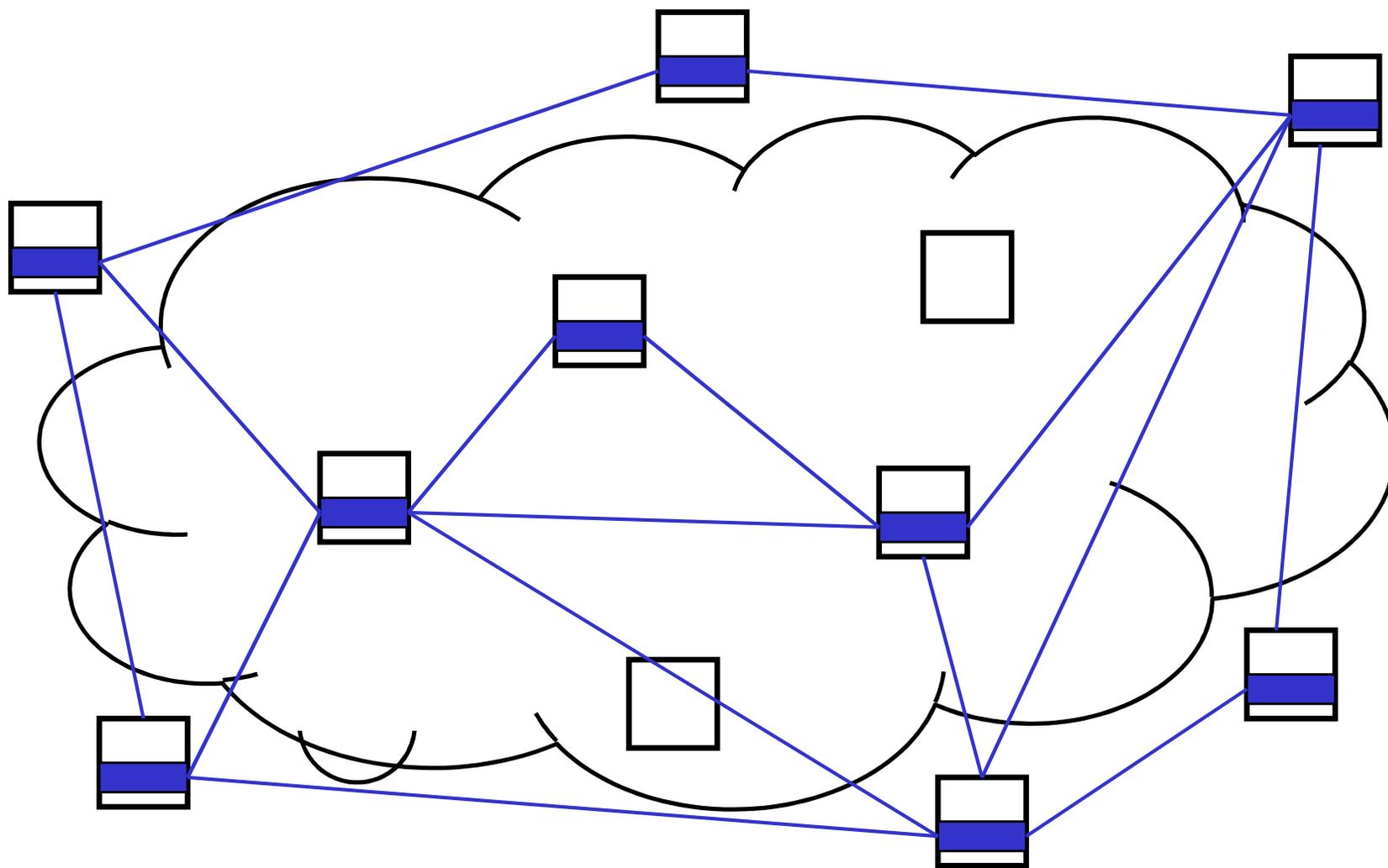
Sistema Virtualizado

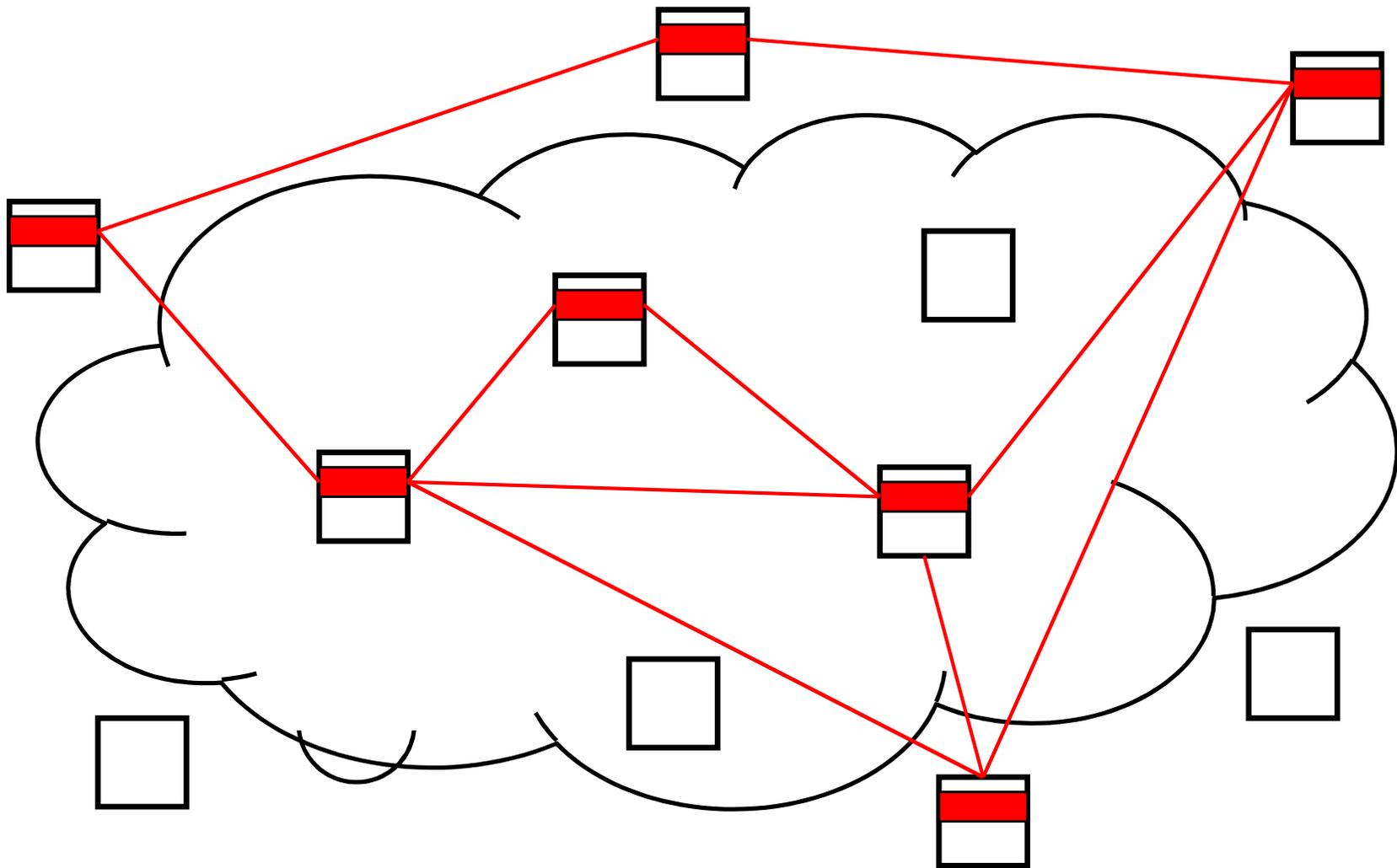
- Virtualização no PlanetLab
 - Divisão dos nós em fatias totalmente independentes
 - Diversos testes em paralelo
 - Um em cada fatia

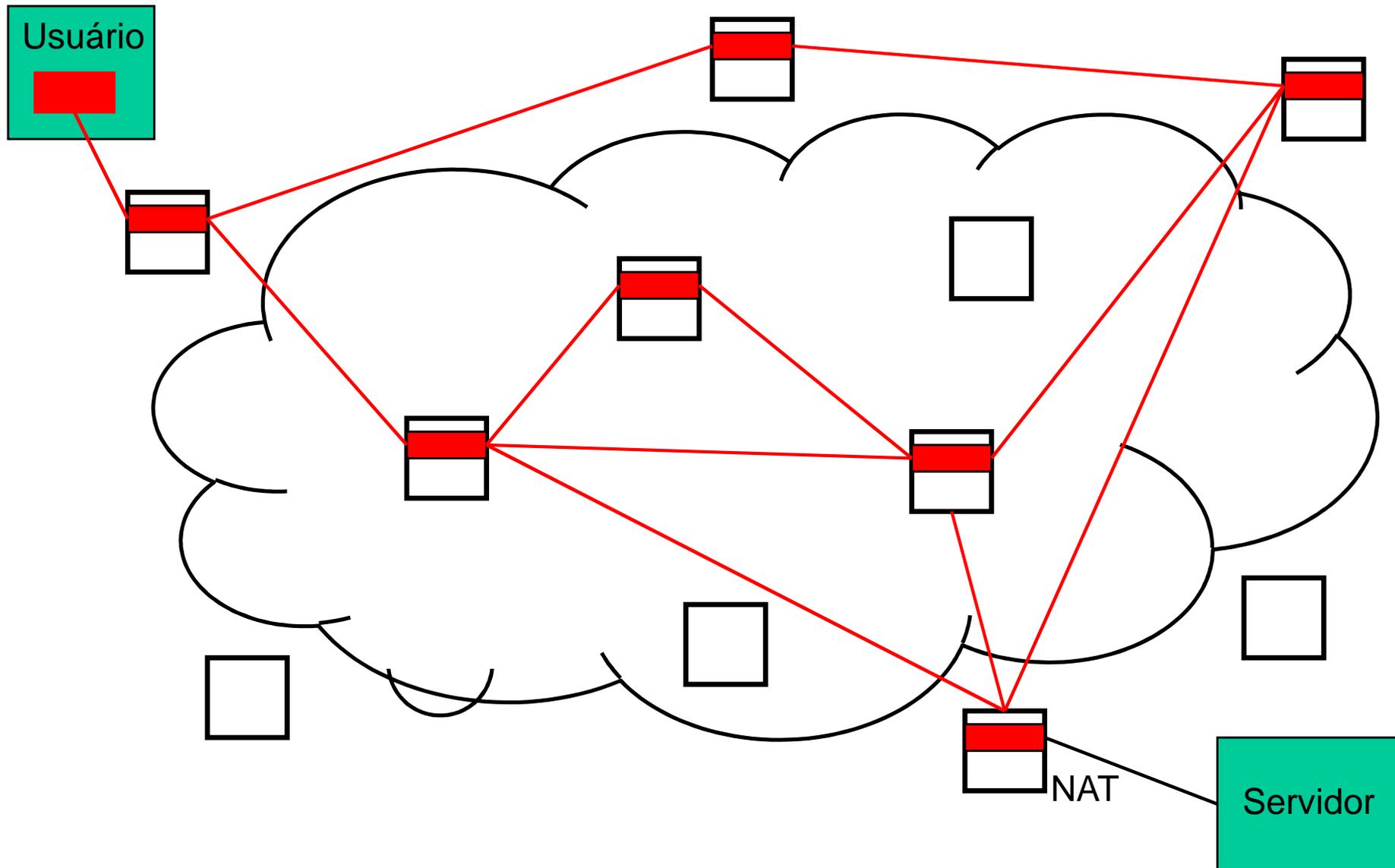


Arquitetura de um nó do PlanetLab









- Vantagem
 - Teste de aplicações em escala global
 - Qualquer estação da Internet (TCP/IP) pode ser um nó
- Desvantagem
 - Não é útil para testar idéias radicais para a Internet
 - Rede sobreposta rodando acima da rede TCP/IP
 - Herança de todos os problemas do TCP/IP

Como testar as propostas para a nova Internet?

Como testar as propostas para a nova Internet?

**Plataformas de teste em larga escala.
De preferência, usando a infraestrutura da Internet.**

- Uma única rede é capaz de atender a todos os requisitos?

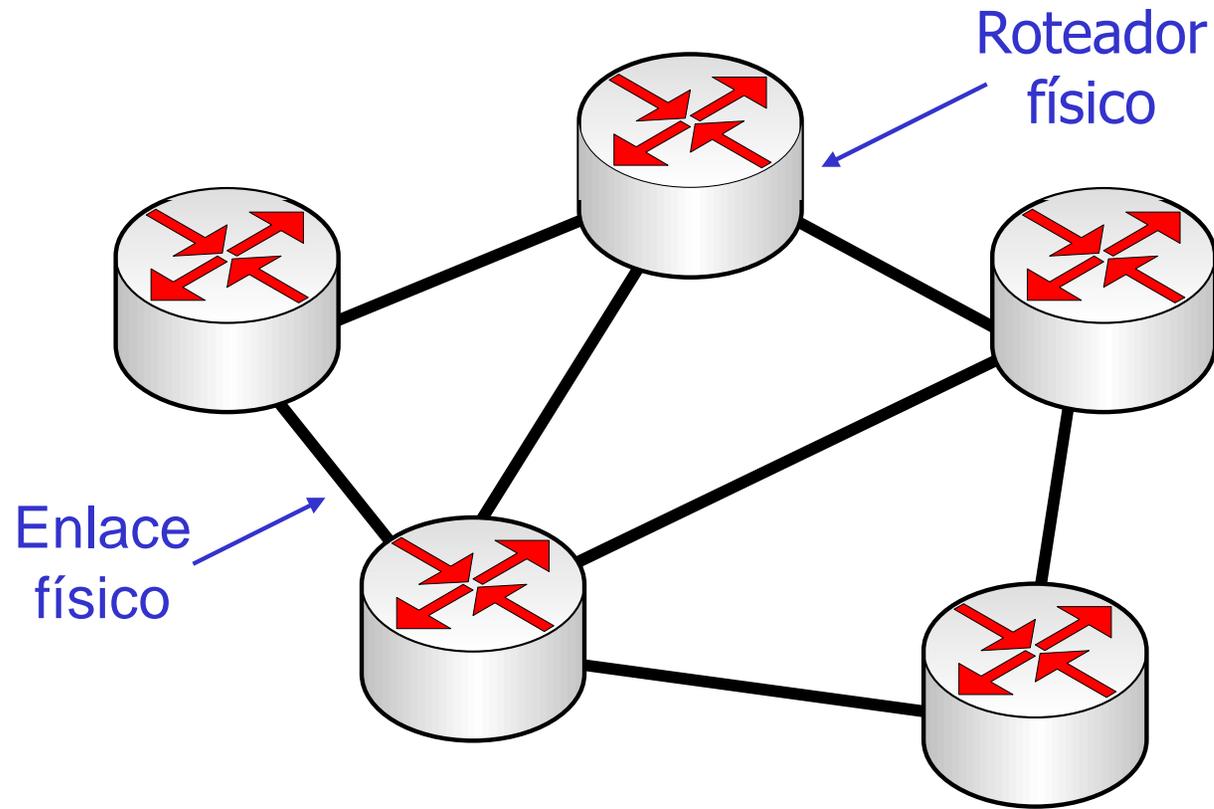


Não. É preciso uma arquitetura pluralista

- Múltiplas **redes virtuais** operando simultaneamente
 - Internet programável
 - Deixa de ser uma rede homogênea e genérica
 - Arquitetura mais fácil de ser implantada
 - A velha e a nova Internet podem coexistir

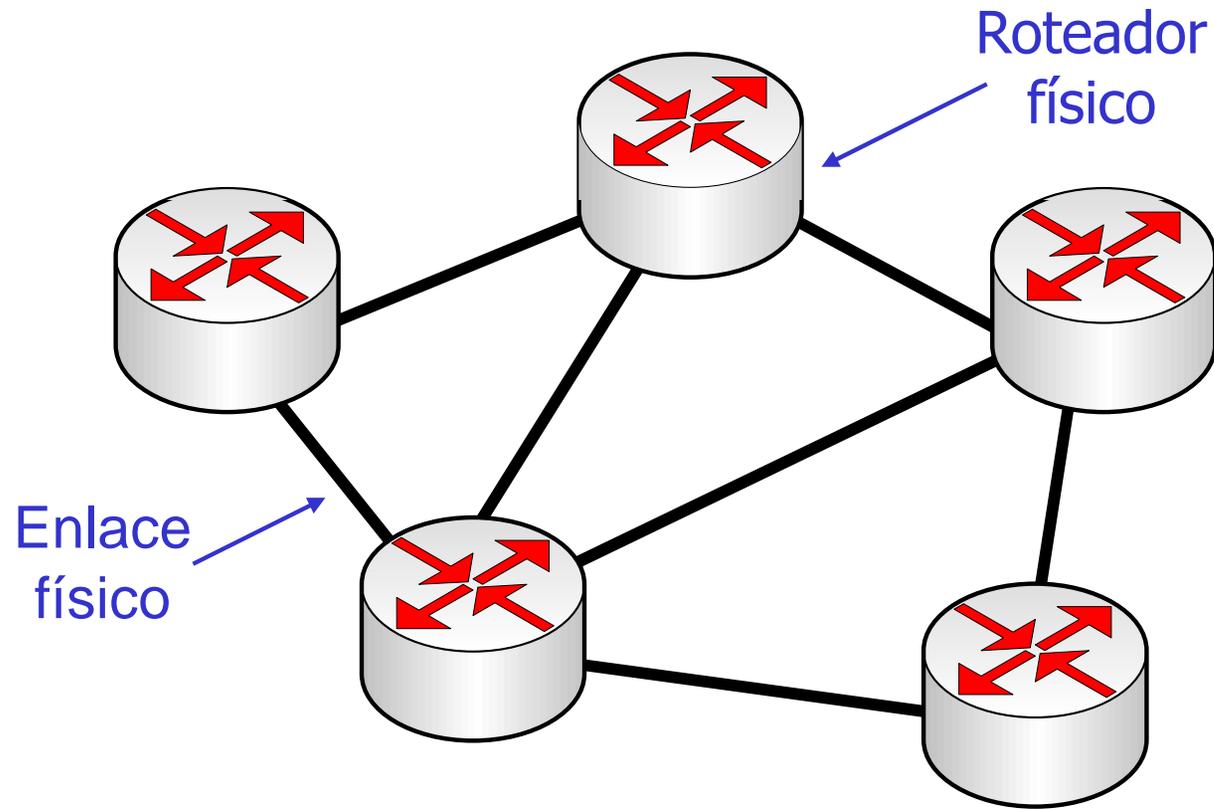
Arquitetura Atual

- Uma pilha de protocolos
- Menos flexível



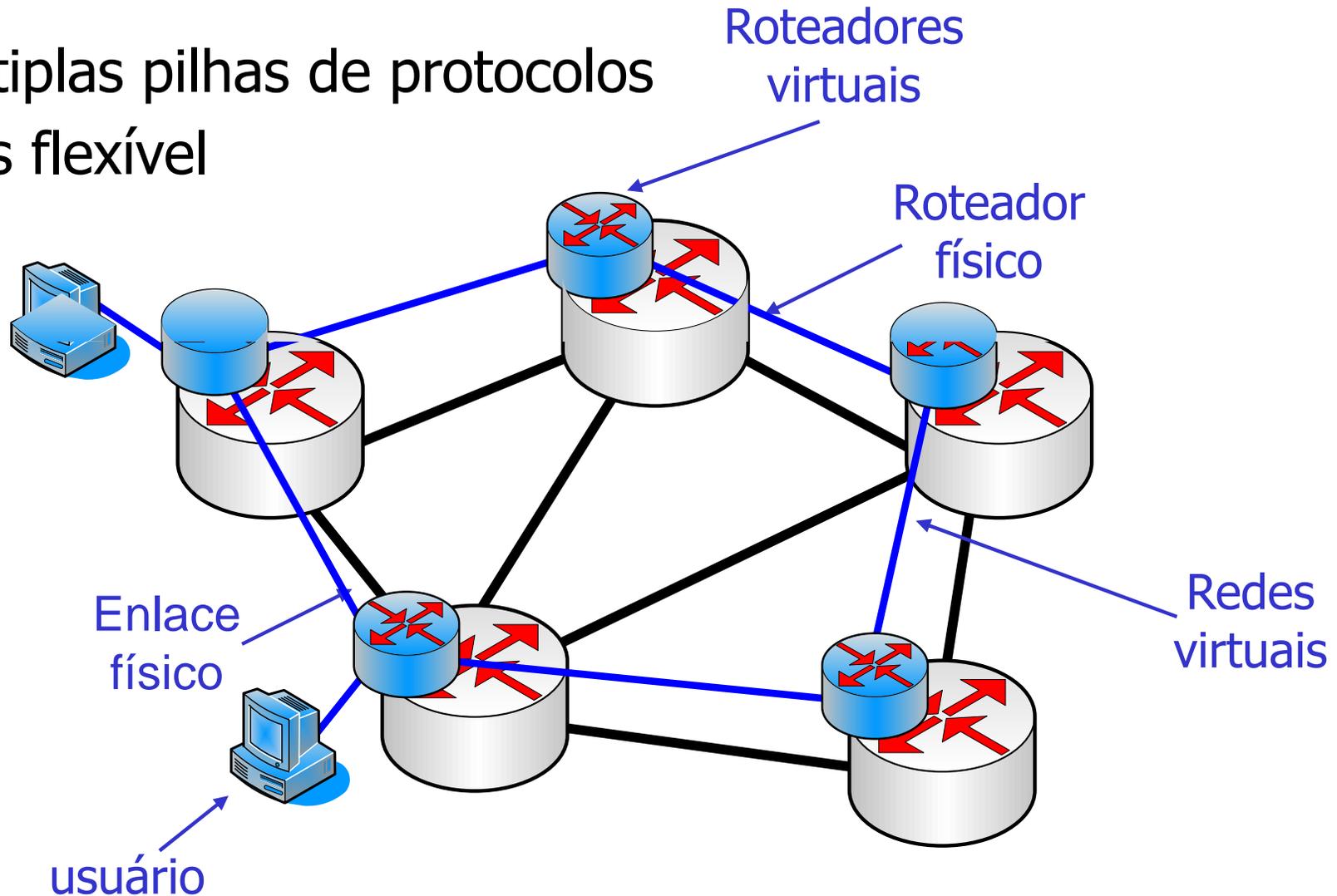
Arquitetura Pluralista

- Múltiplas pilhas de protocolos
- Mais flexível

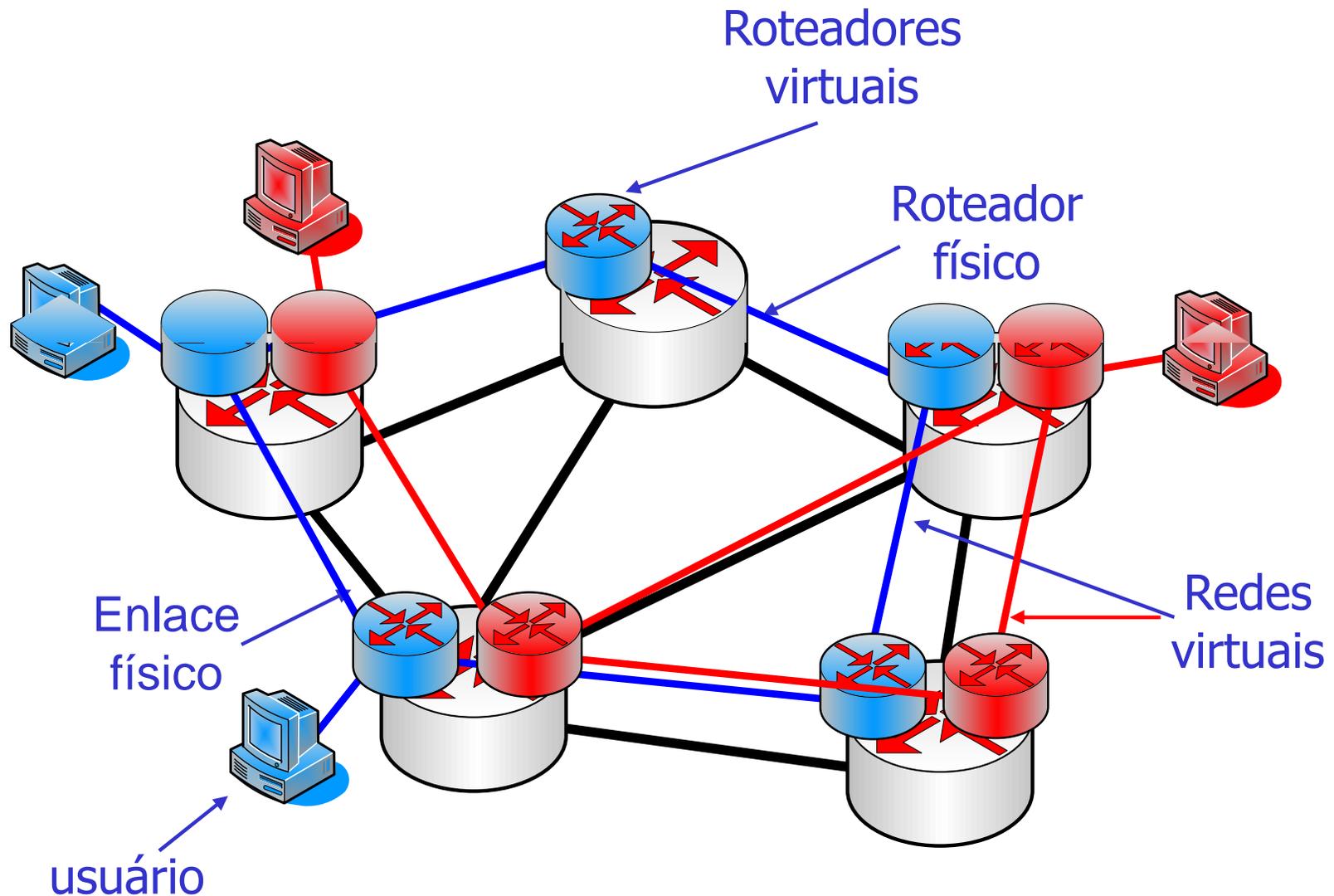


Arquitetura Pluralista

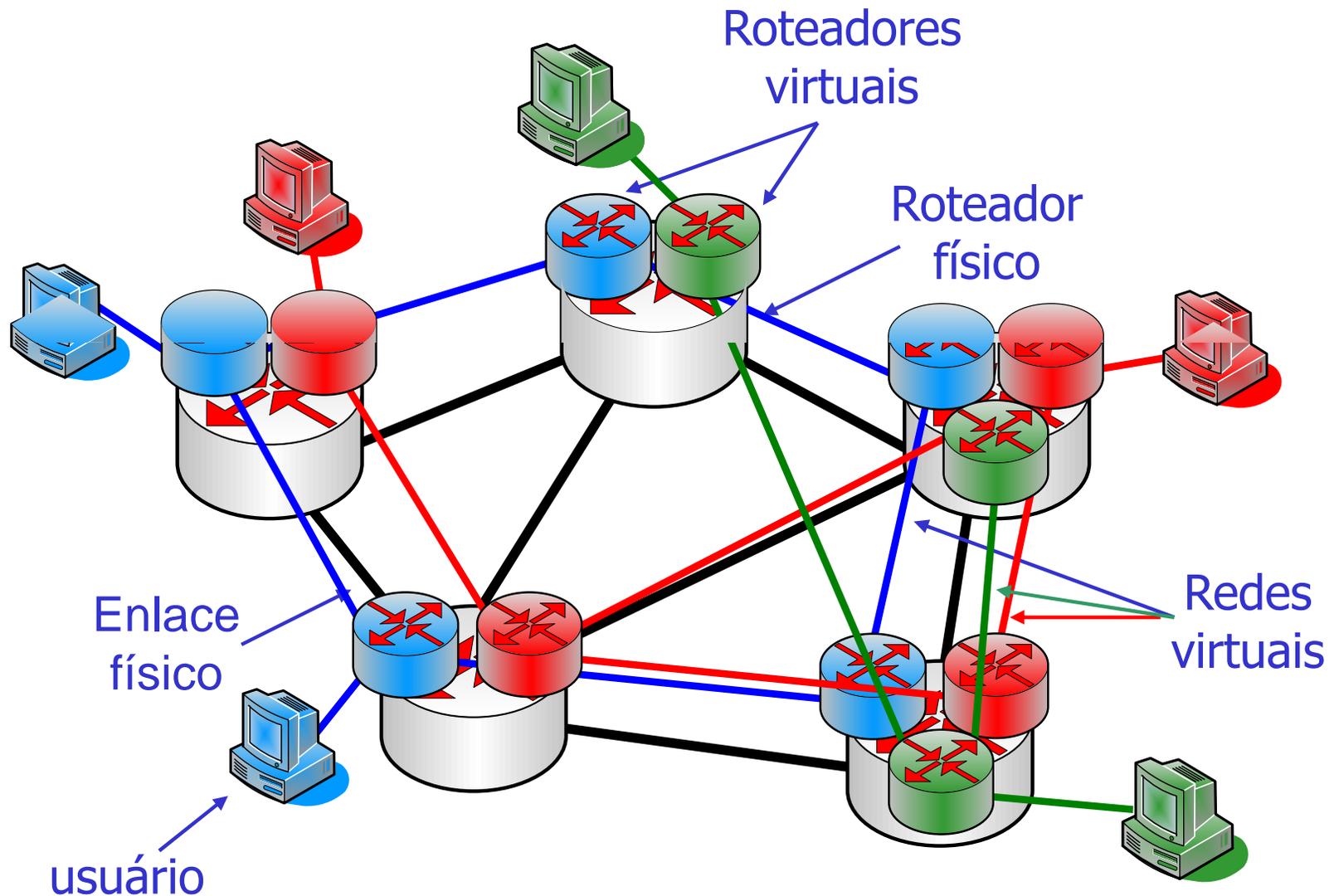
- Múltiplas pilhas de protocolos
- Mais flexível



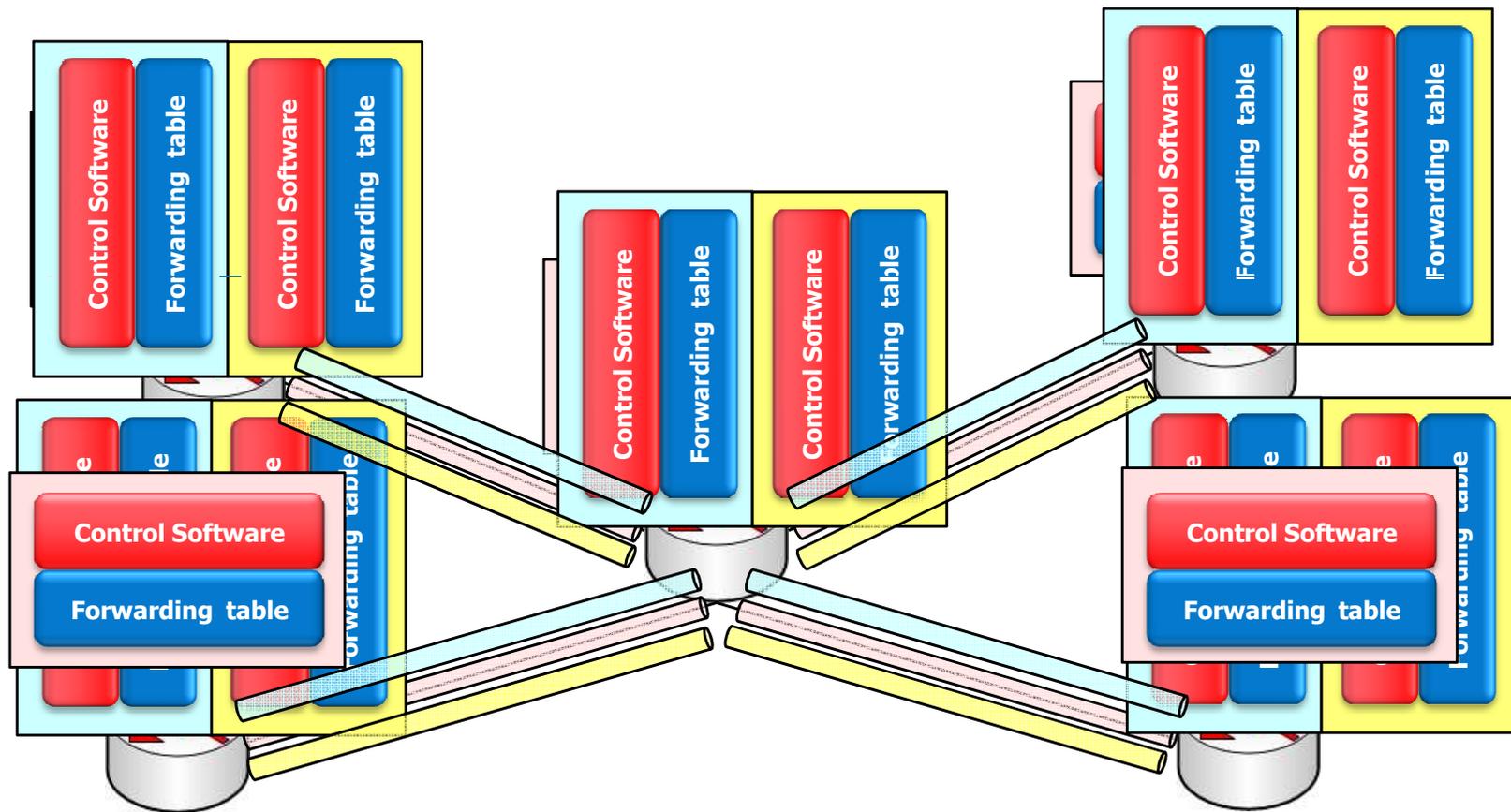
Arquitetura Pluralista



Arquitetura Pluralista



Modelo de Rede Pluralista

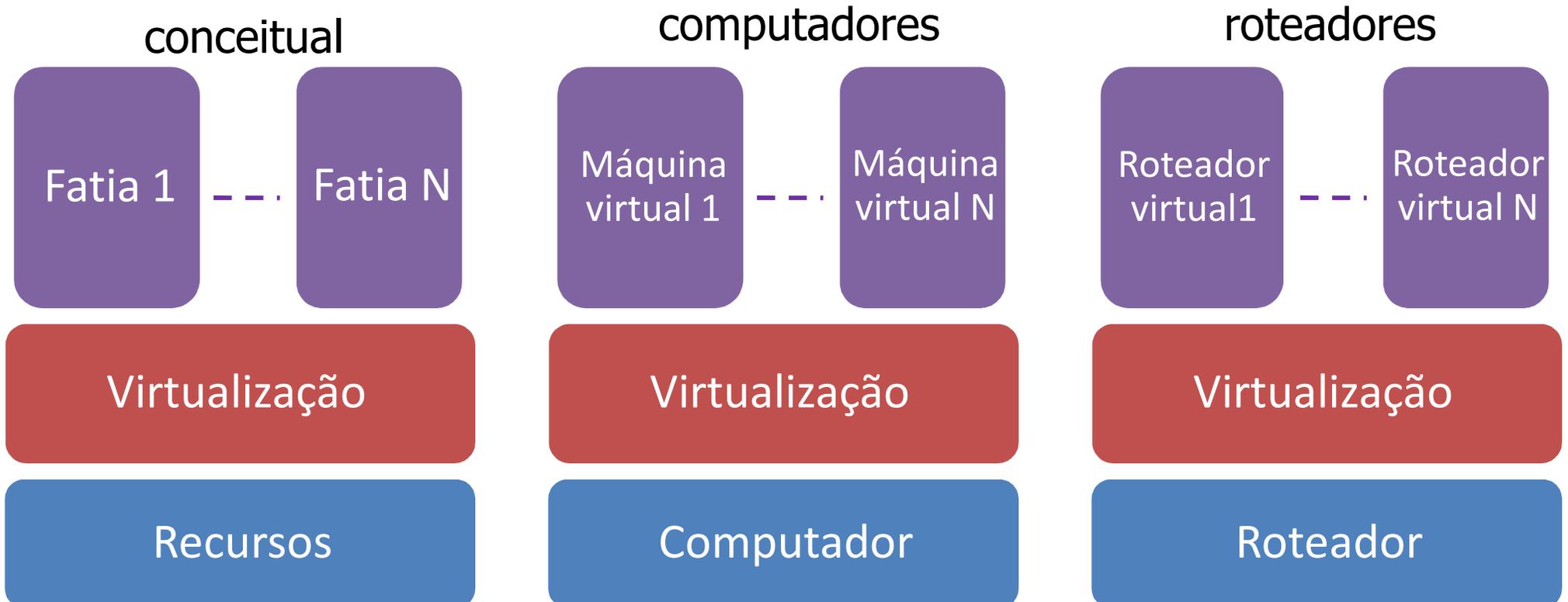


Modelo de Rede Pluralista

- Múltiplas pilhas de protocolos
 - Redes não devem interferir
 - Facilidade de evolução e testes de novas soluções
- Palavra-chave: **Virtualização**

Virtualização

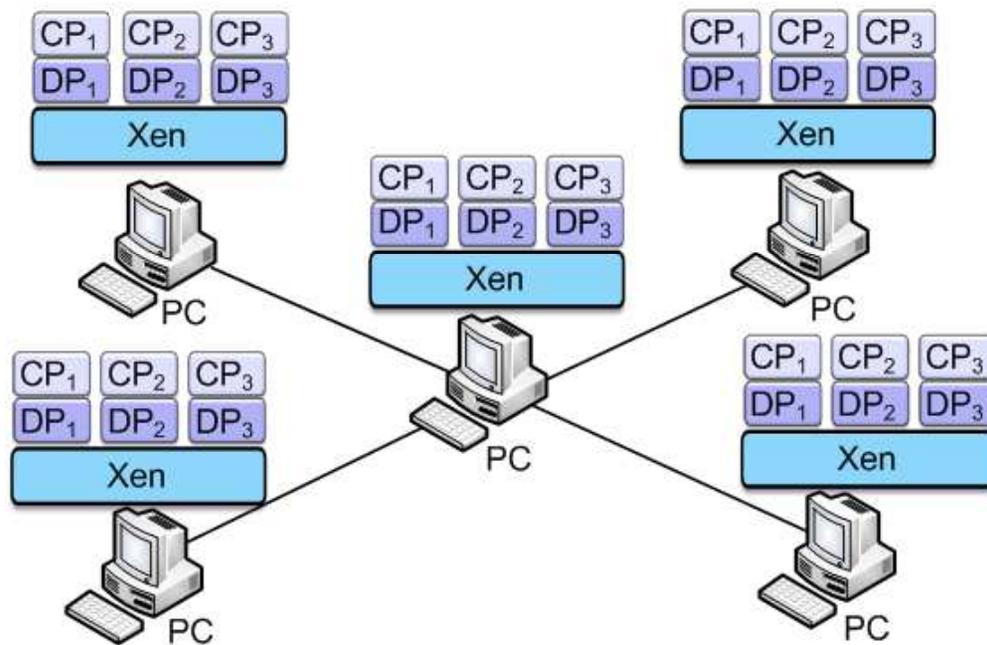
- Abstração de recursos computacionais
 - Fazer um único recurso físico funcionar como múltiplos recursos lógicos



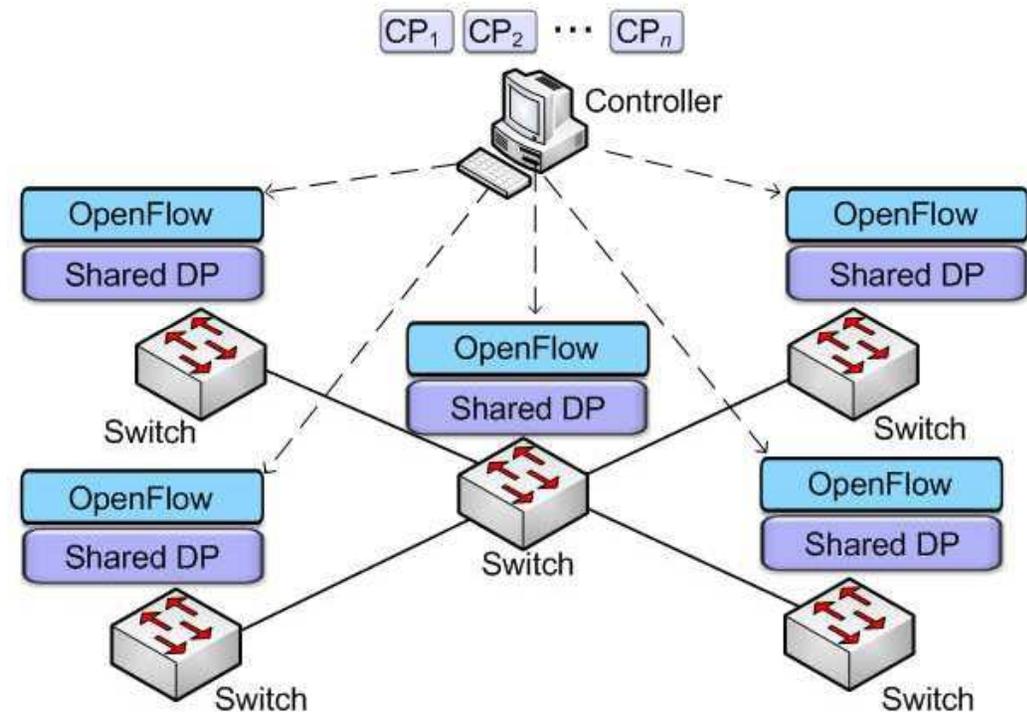
Virtualização: tecnologias

- Xen
 - Virtualização de hardware
 - Múltiplos sistemas operacionais
- OpenFlow
 - Virtualização do elemento de encaminhamento
 - Múltiplas redes virtuais

Xen vs. OpenFlow



- 1) Virtualização de máquina
- 2) Controle distribuído

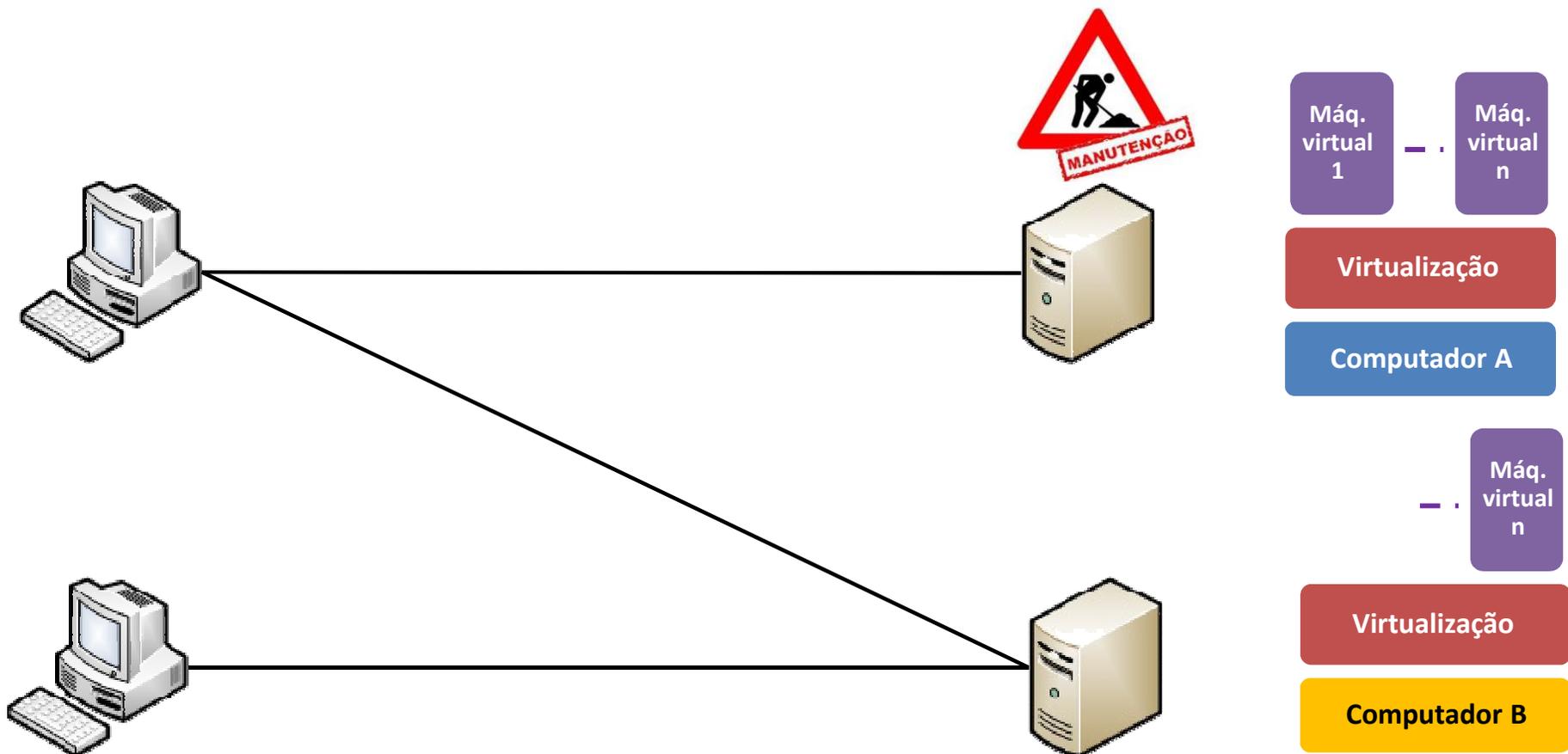


- 1) Virtualização de comutador
- 2) Controle centralizado

- Movimentação de roteadores virtuais entre os físicos
 - Estado de todas as aplicações é mantido
 - Conexões abertas
 - Estado da memória do roteador
- A rede lógica criada na camada de rede é conservada
- Novas correlações com a camada física
- Pode ser usada para reorganizar dinamicamente a rede

Migração

- Manutenção preventiva



Novos Desafios

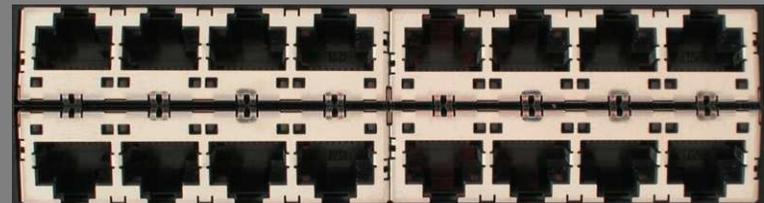
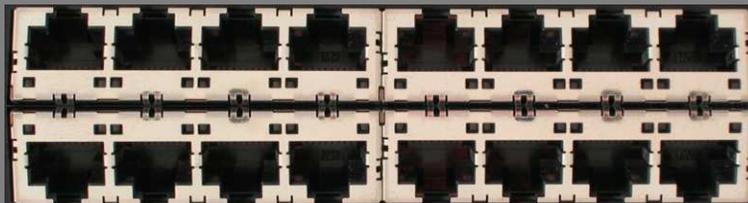
- Quais os recursos devem ser atribuídos para cada rede virtual?
- É possível instanciar novos roteadores virtuais em um dado roteador físico?
- Quais as variáveis associadas a cada rede virtual podem ser medidas?
- Quando um roteador virtual deve ser apagado e instanciado em um novo roteador físico?

- Projetos de longo prazo
 - Dimensão das propostas e avaliação em larga escala
 - Implantação em toda a Internet
- Exemplos
 - GENI - *Global Environment for Network Innovations*
 - EUA
 - Ofelia – *OpenFlow in Europe: Linking Infrastructure and Applications*
 - Europa
 - Horizon – Um Novo Horizonte para Internet
 - Brasil/França

- Financiado pela NSF
- Objetivos
 - Desenvolver um laboratório virtual para a experimentação de redes em larga escala
 - Laboratório altamente
 - Instrumentado
 - Programável
- Mais detalhes: <http://www.geni.net>

- Financiado pela comunidade europeia
- Objetivo
 - Criar uma plataforma de testes única que permita aos pesquisadores
 - Testar os experimentos
 - Controlar a rede de forma precisa e dinâmica
- Baseado no OpenFlow e no conceito de federação
- Mais detalhes: <http://www.fp7-ofelia.eu>

Comutador Ethernet



Plano de controle (Software)

Plano de dados (Hardware)

Contr. OpenFlow

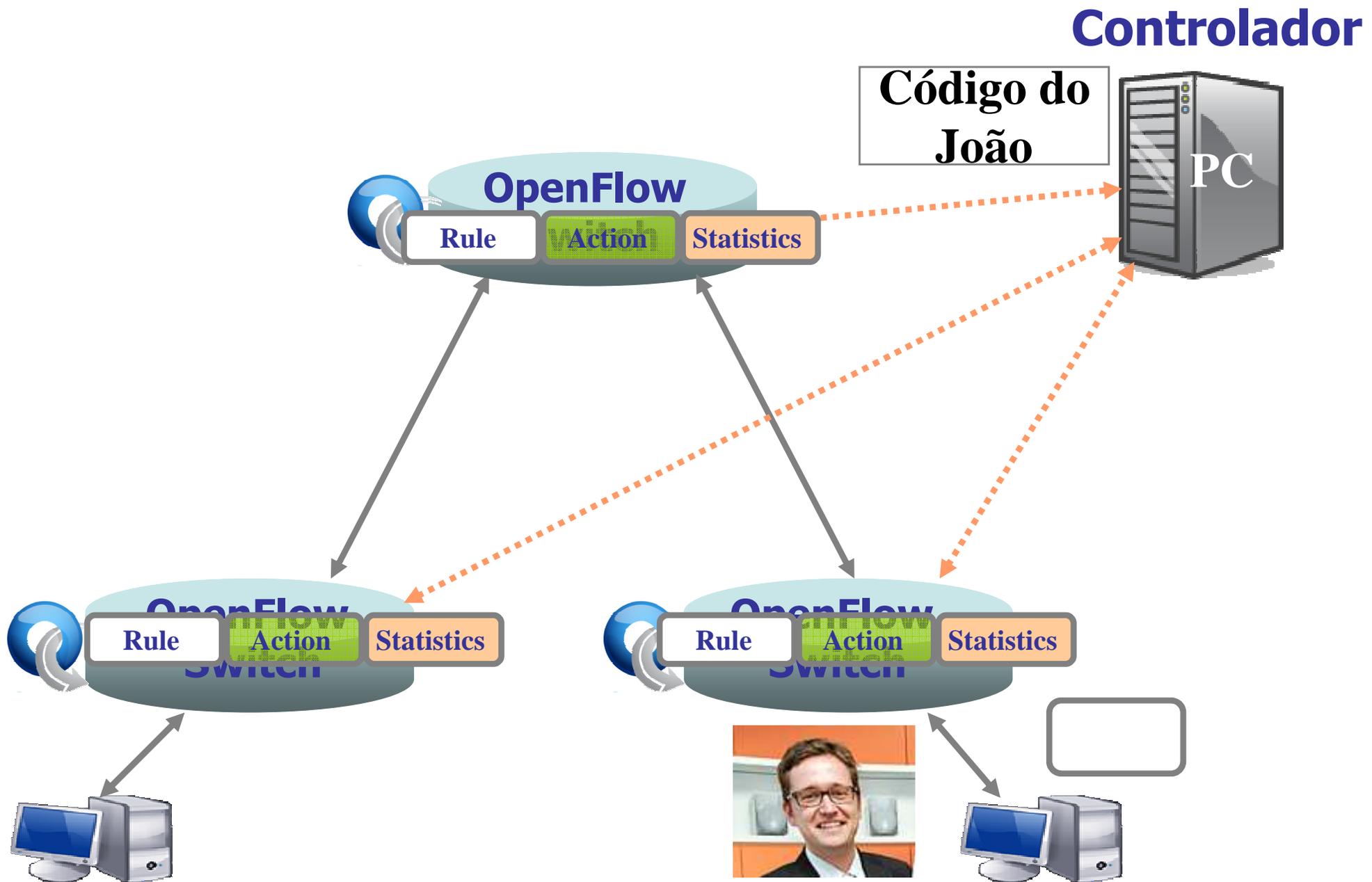


P. Controle

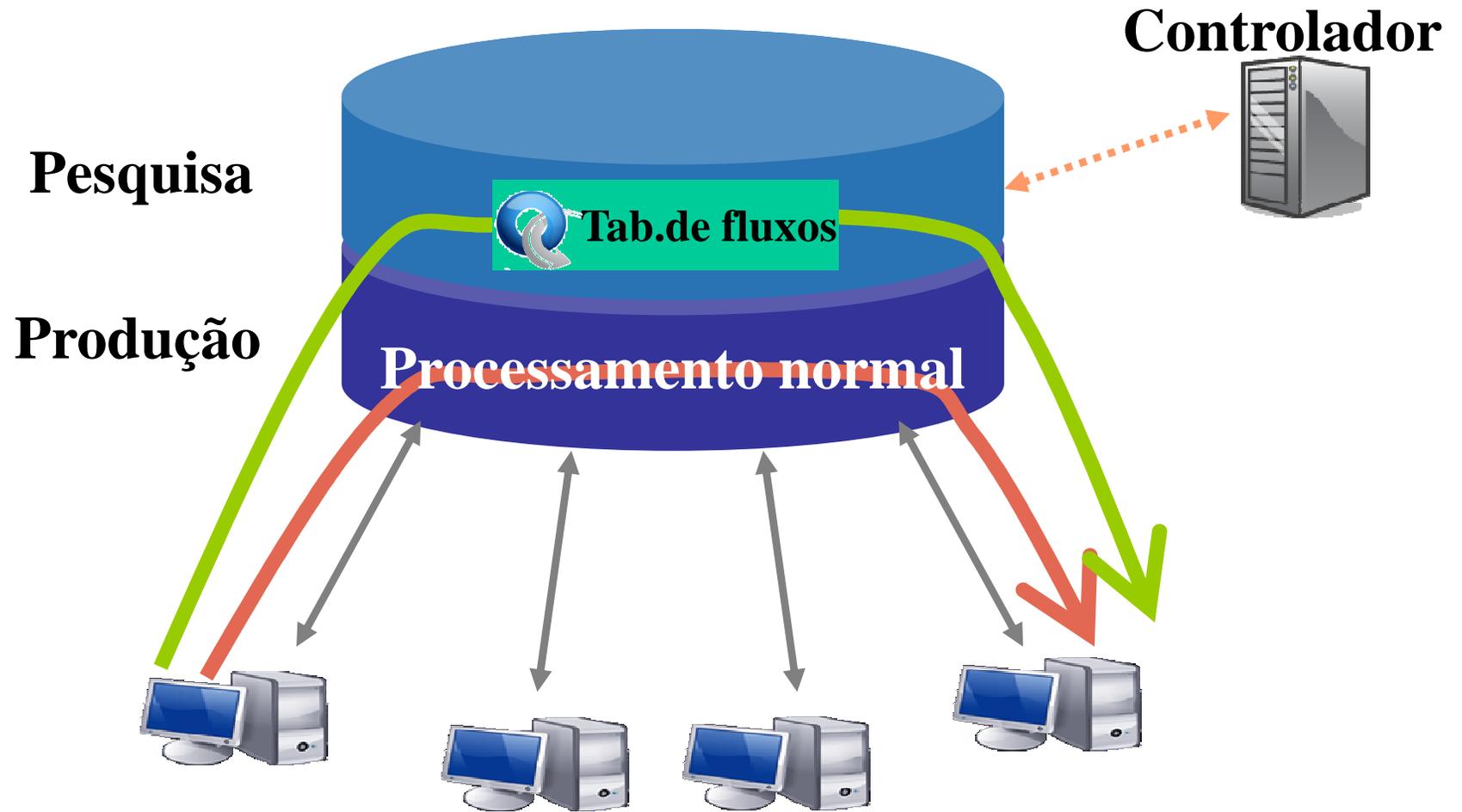
OpenFlow

Plano de dados (Hardware)

Exemplo de Uso



Separação do Tráfego



- Financiado pela ANR (França) e pela FINEP (Brasil)
 - UFRJ, Unicamp e PUC-Rio
- Objetivos
 - Sistema de pilotagem para controlar as múltiplas redes virtuais
- Três linhas
 - Protótipo de um roteador virtual
 - Computadores pessoais rodando Xen
 - Desenvolvimento de aplicação para o OpenFlow
 - Plano de pilotagem
 - Responsável por controlar e gerenciar as múltiplas redes

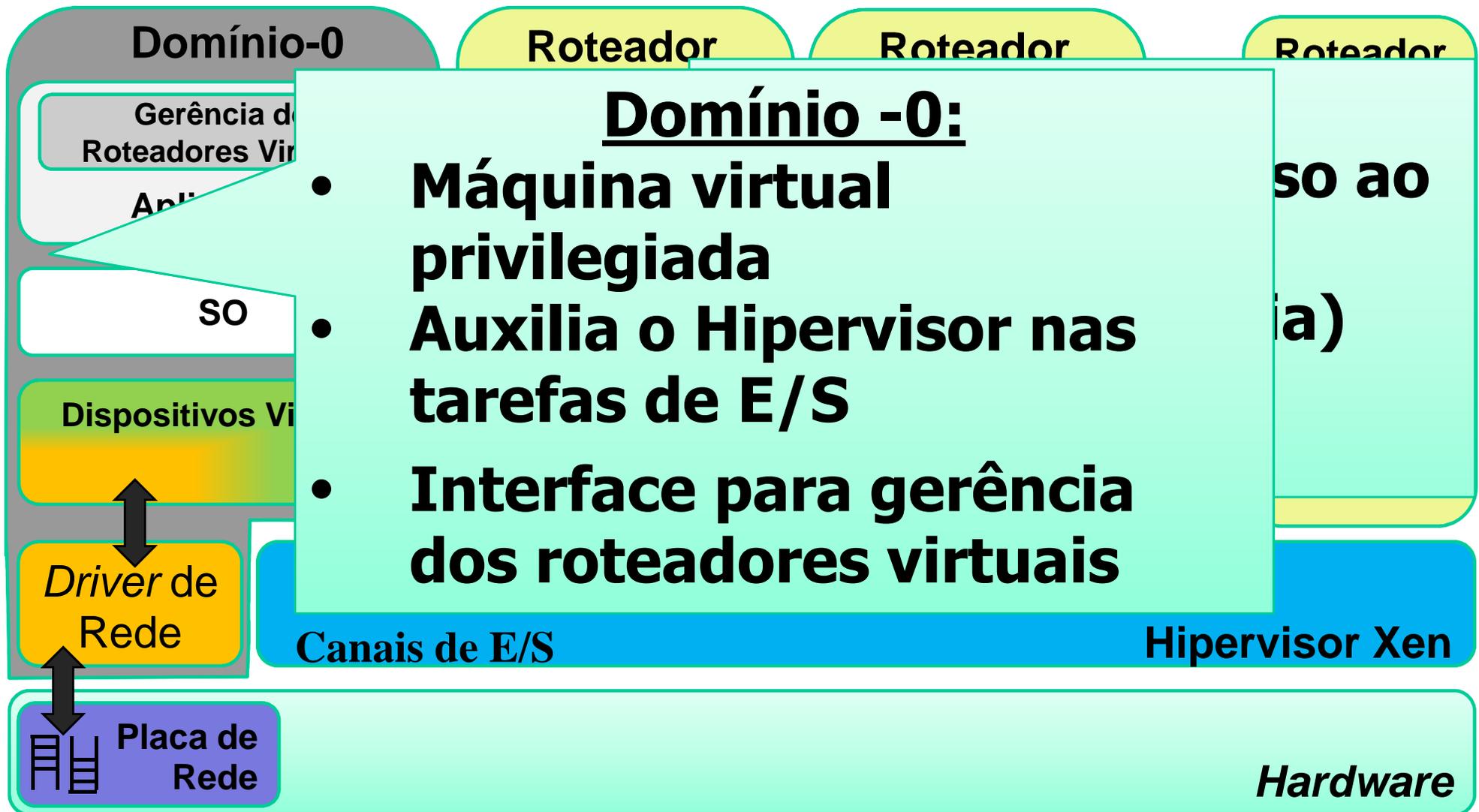
Horizon

- Mais detalhes: <http://www.gta.ufrj.br/horizon>

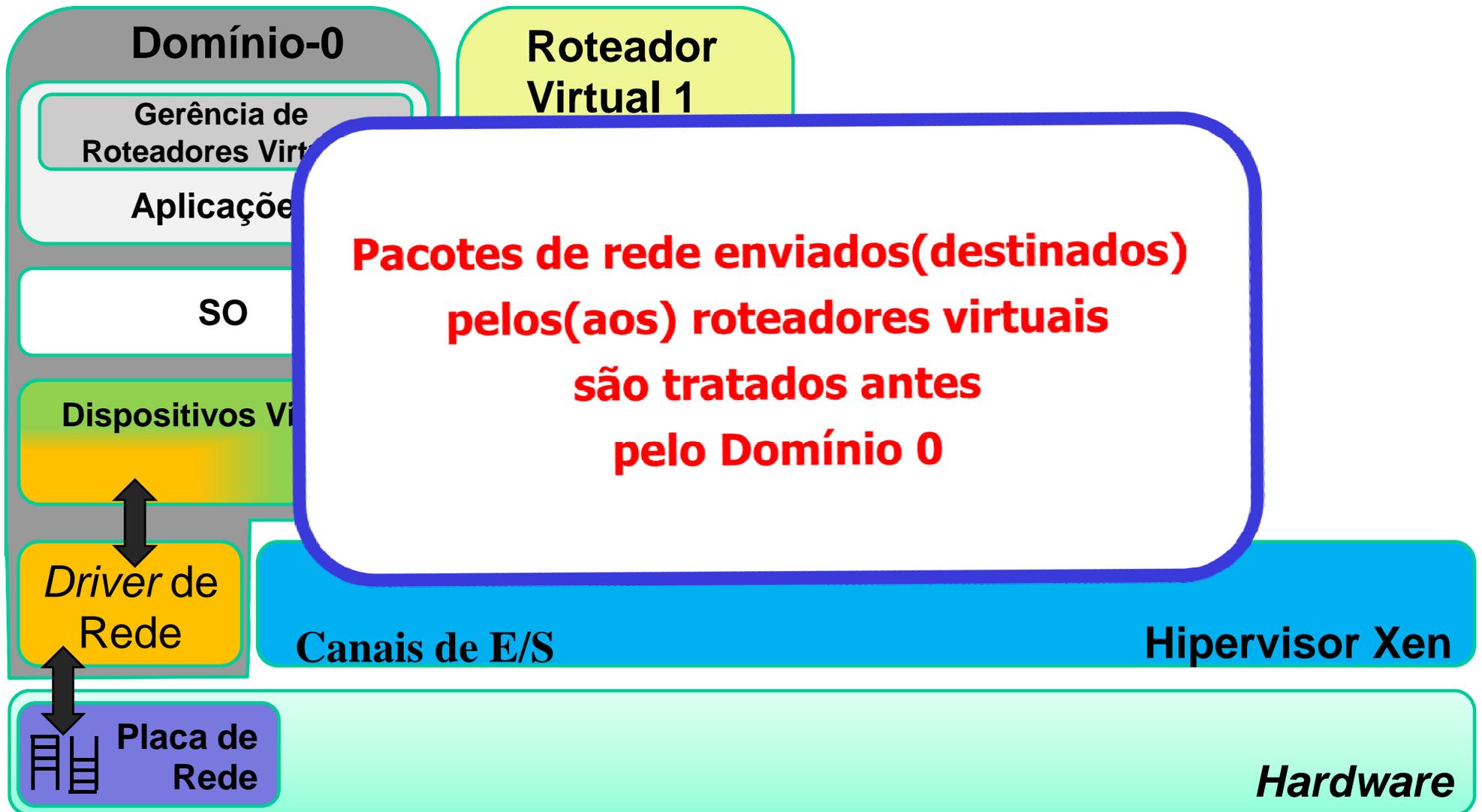
Roteador Virtual (RV)

- Implementação por virtualização de hardware
 - Xen
- Compartilhamento de recursos entre roteadores virtuais
 - Complexidade em tarefas como E/S
 - Disputa de recursos
- Características desejáveis
 - Isolamento entre RVs
 - Possibilidade de diferenciação de serviço entre RVs

Arquitetura do Xen



Operação de Rede no Xen



Problema: Rede no Xen

- Domínio 0: **gargalo** em operações de rede
 - Alto consumo de CPU
 - Tratamento de pacotes de cada roteador virtual
 - Quebra do isolamento
 - Interferência entre roteadores causada pelo gargalo



Necessidade de controlar o fluxo de pacotes de cada roteador em situações de gargalo

E daí? Como seria esta Nova Internet?

E daí? Como seria esta Nova Internet?
Seguirá a arquitetura pluralista

**Sabemos fazer uma Nova Internet
melhor que a atual”?**

**Sabemos fazer uma Nova Internet
melhor que a atual”?**

Depende de vocês

Aula 1

Internet do Futuro

Igor Monteiro Moraes
Redes de Computadores