

Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

`http://www.gta.ufrj.br/~miguel`

Parte I

Princípios Básicos da Internet

Como tudo começou?

- Outubro de 1957...
 - Lançamento, pelos soviéticos, do primeiro satélite artificial da Terra

Sputnik I



Sputnik I

Lançador de Satélites = Míssil



Reação dos Estados Unidos

- 1958 - Presidente Dwight D. Eisenhower criou a *Advanced Research Projects Agency (ARPA)*

Missão: Garantir que a tecnologia militar americana fosse mais sofisticada do que a de qualquer inimigo em potencial

- De maneira inesperada, os soviéticos tinham sinalizado um maior avanço que os EUA na corrida espacial com o lançamento do Sputnik I
- Além da corrida espacial, a ARPA focava em sistema de defesa antimísseis e detecção de testes de bomba nuclear

Reação dos Estados Unidos

- **1964** - Licklider, Leonard Kleinrock, Paul Baran e Lawrence Roberts propuseram interconectar computadores para *"acessar dados e programas de qualquer lugar e de maneira fácil e rápida"*
 - Topologia distribuída para redundância
 - Uma bomba não anularia a comunicação
 - 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

Reação dos Estados Unidos

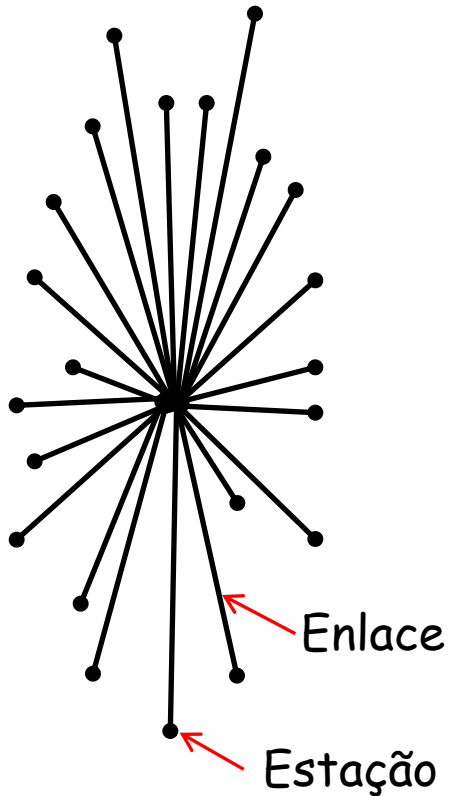
- 1964 - Licklider, Leonard Kleinrock, Paul Baran e Lawrence Roberts propuseram interconectar computadores para "acessar dados e programas de qualquer lugar e de maneira fácil e rápida"

- Topologia distribuída

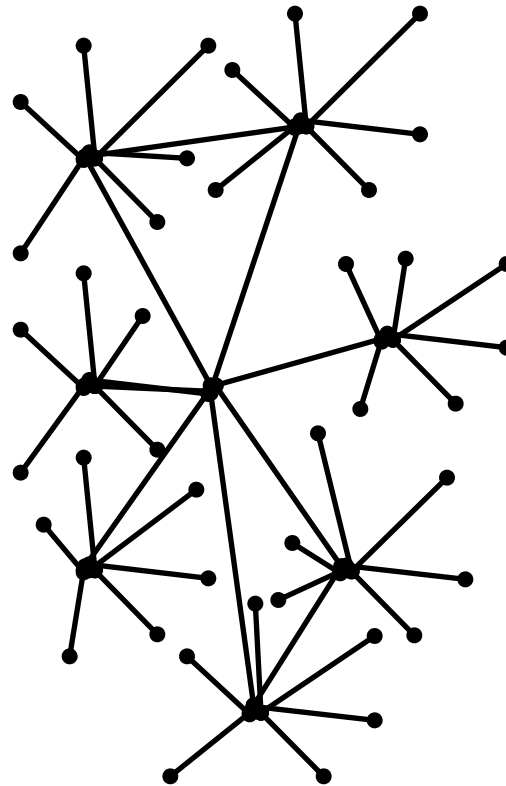
Nasce a ARPAnet, embrião da Internet pública de hoje!

- Divisão da mensagem em pacotes, encaminhamento dos pacotes e remontagem da mensagem no destino
- Encaminhamento fácil da mensagem por diferentes caminhos redundantes

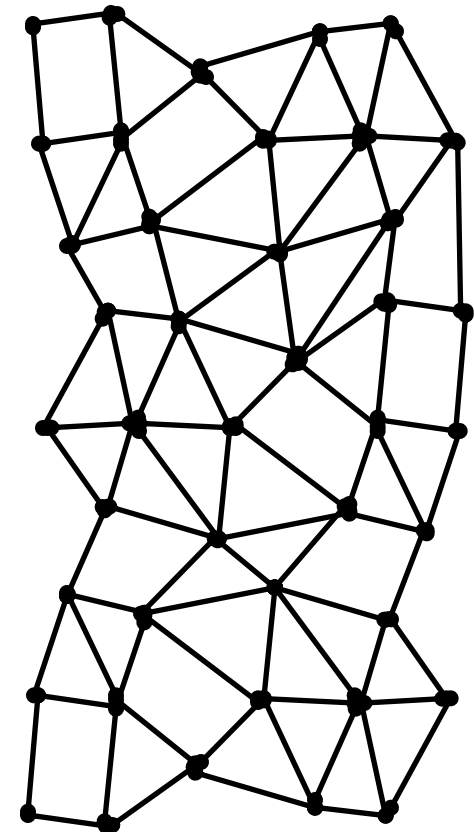
Topologia Distribuída



Centralizada

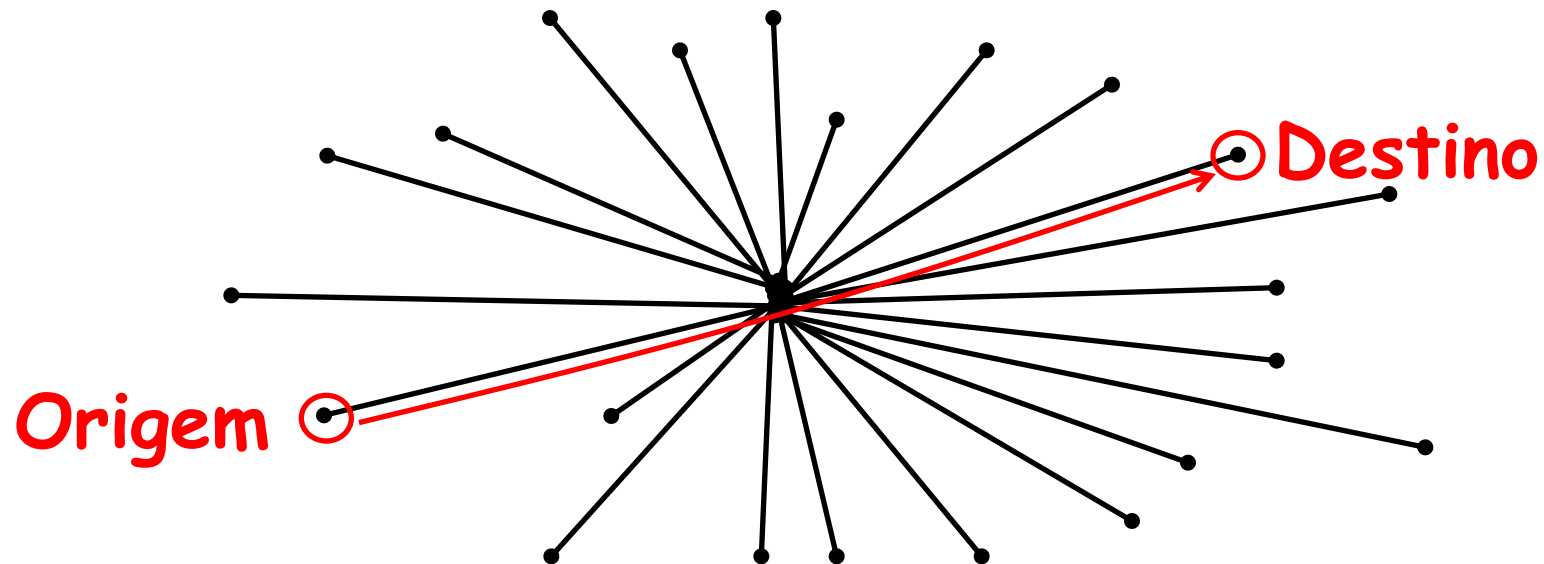


Descentralizada



Distribuída

Disponibilidade - Topologia Centralizada

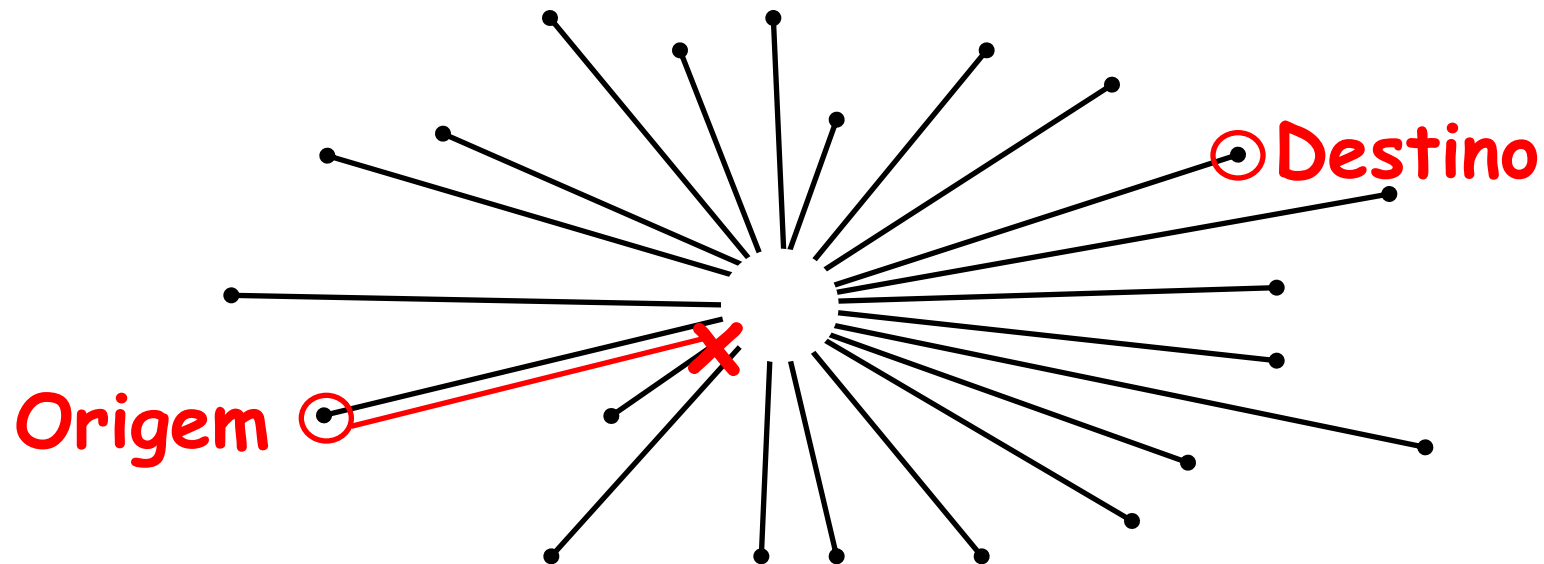


Há comunicação entre origem e destino

Disponibilidade - Topologia Centralizada

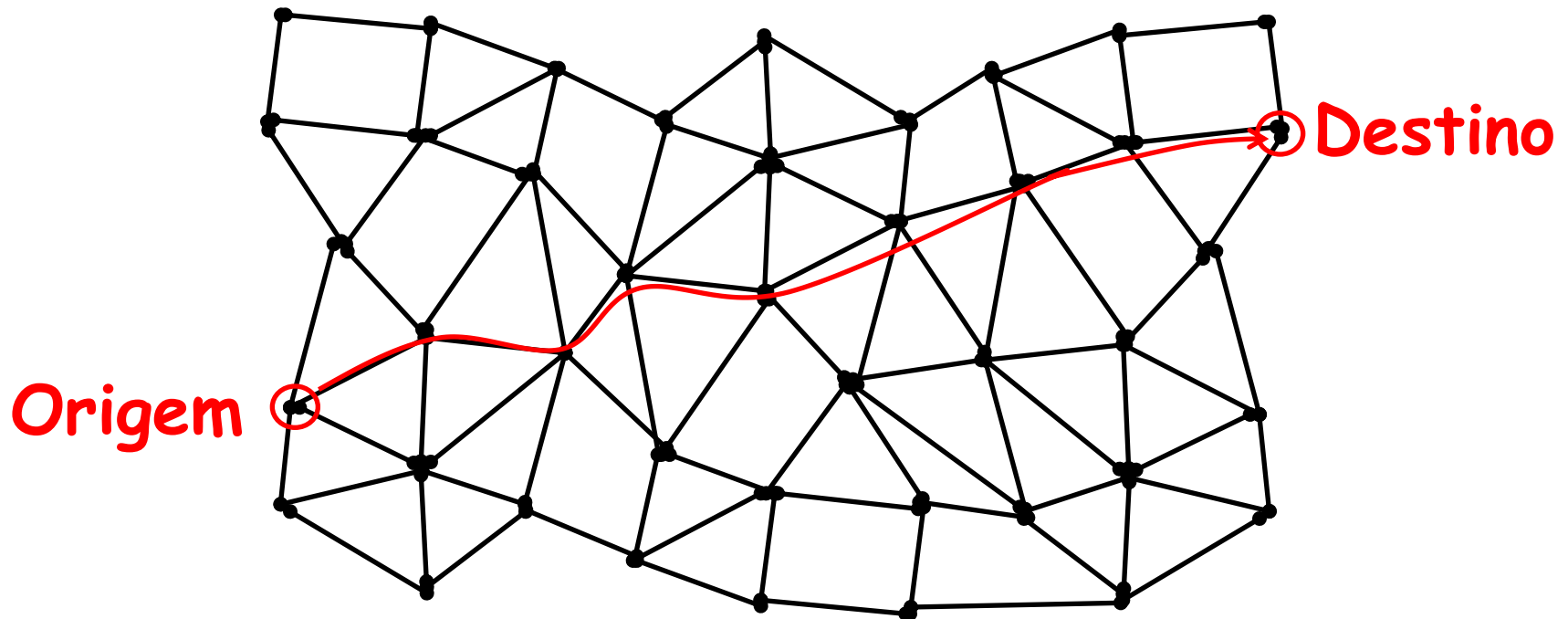


Disponibilidade - Topologia Centralizada



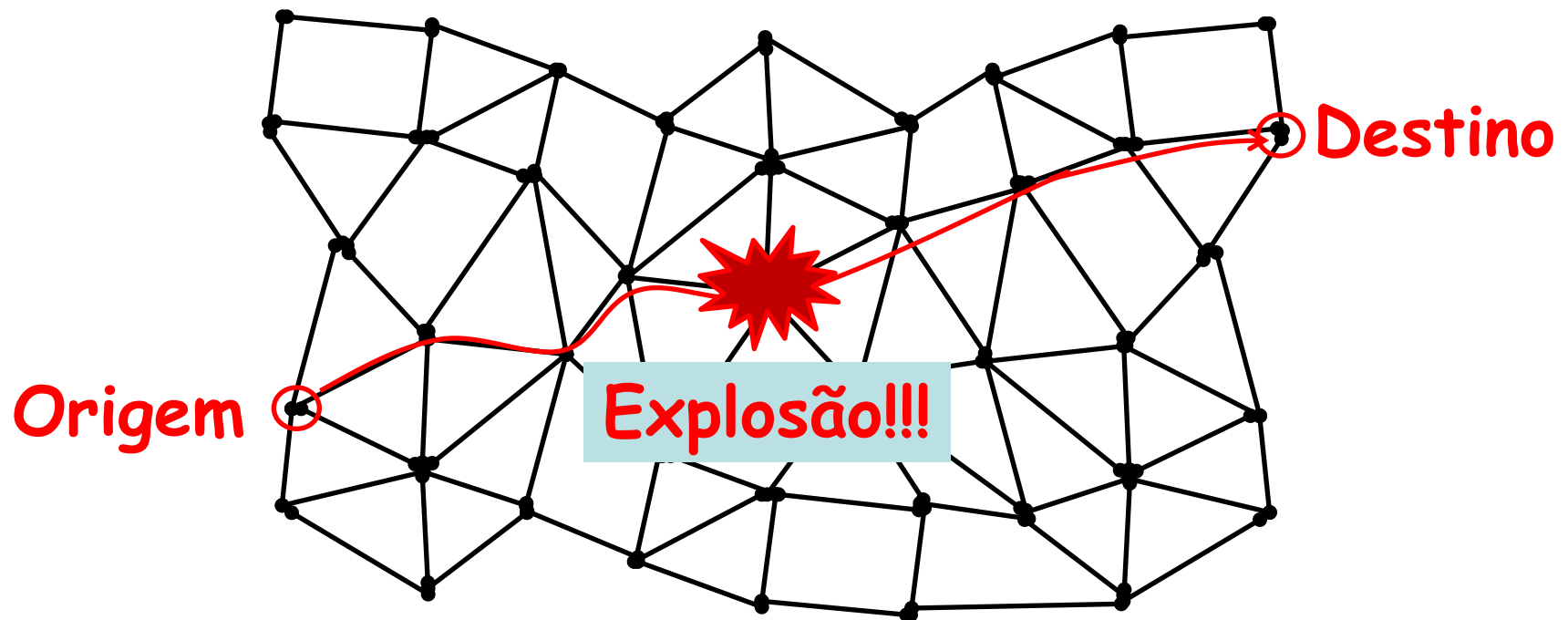
A topologia centralizada possui um ponto vulnerável que pode tornar a rede totalmente indisponível

Disponibilidade - Topologia Distribuída

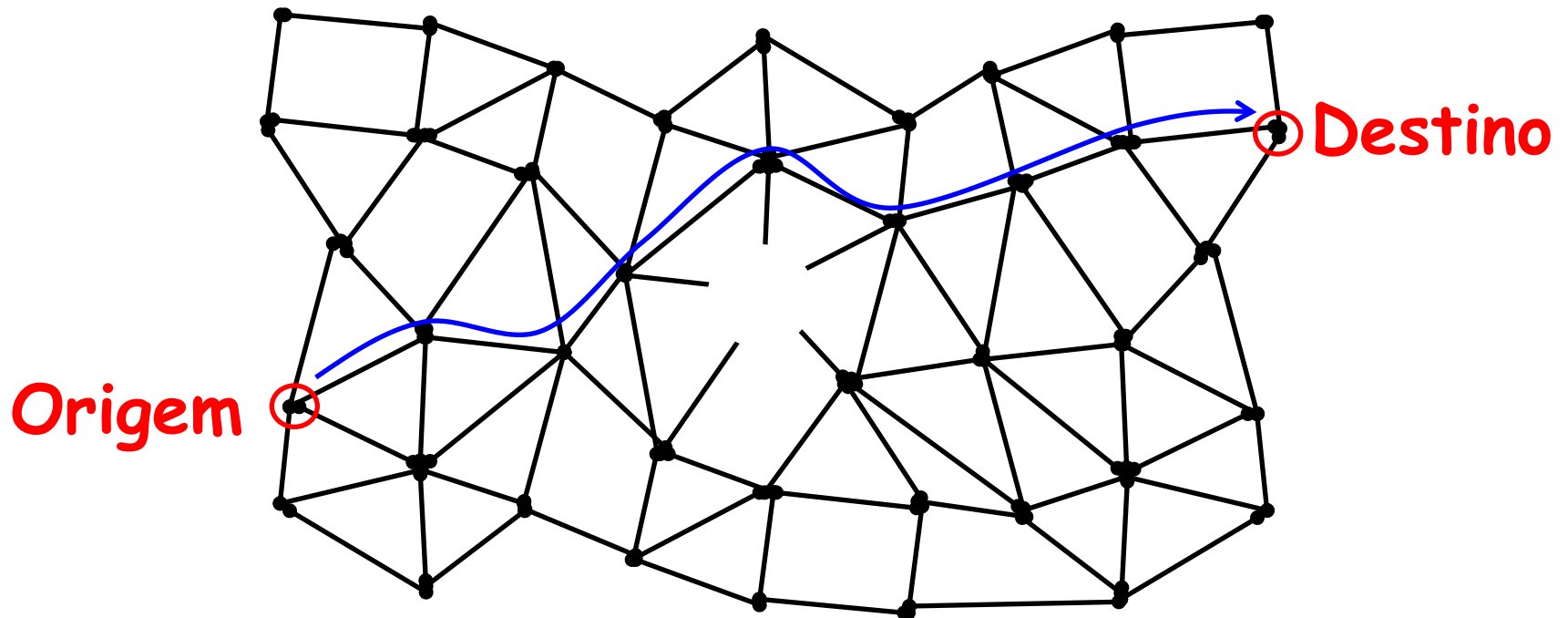


Há comunicação entre origem e destino

Disponibilidade - Topologia Distribuída

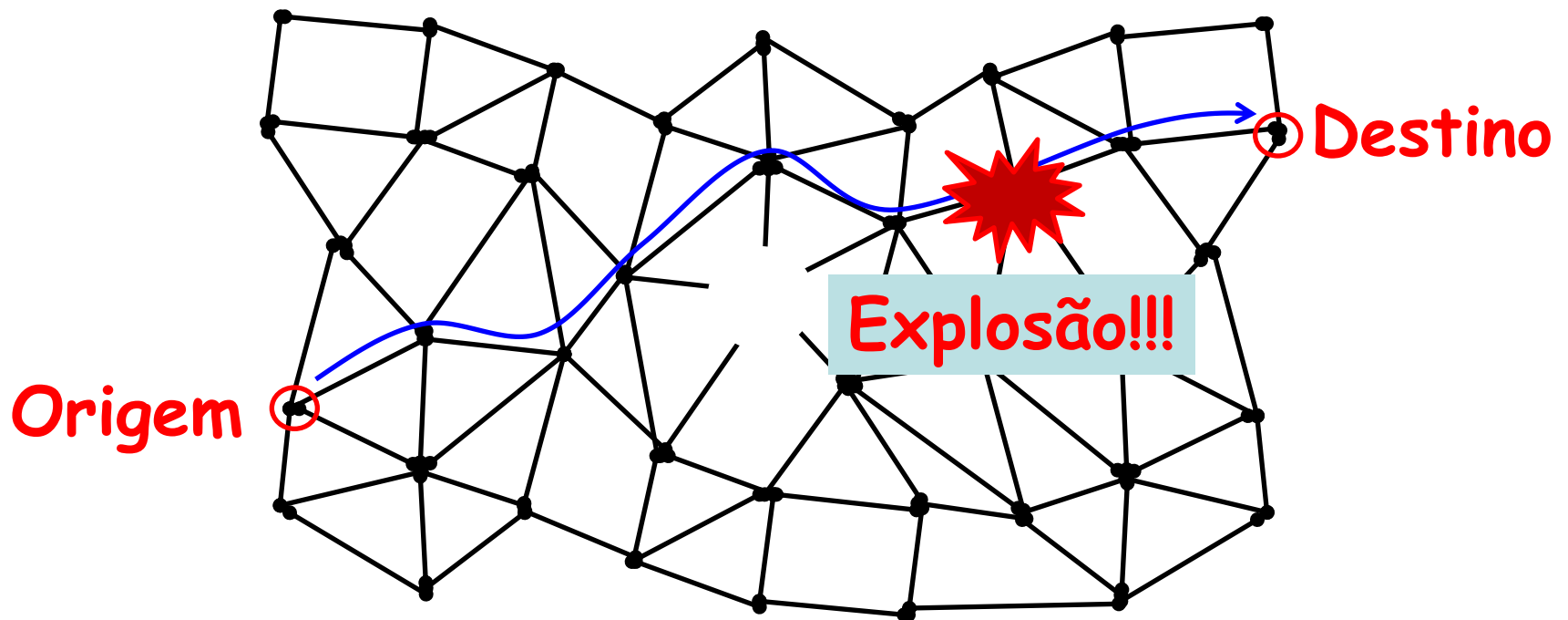


Disponibilidade - Topologia Distribuída

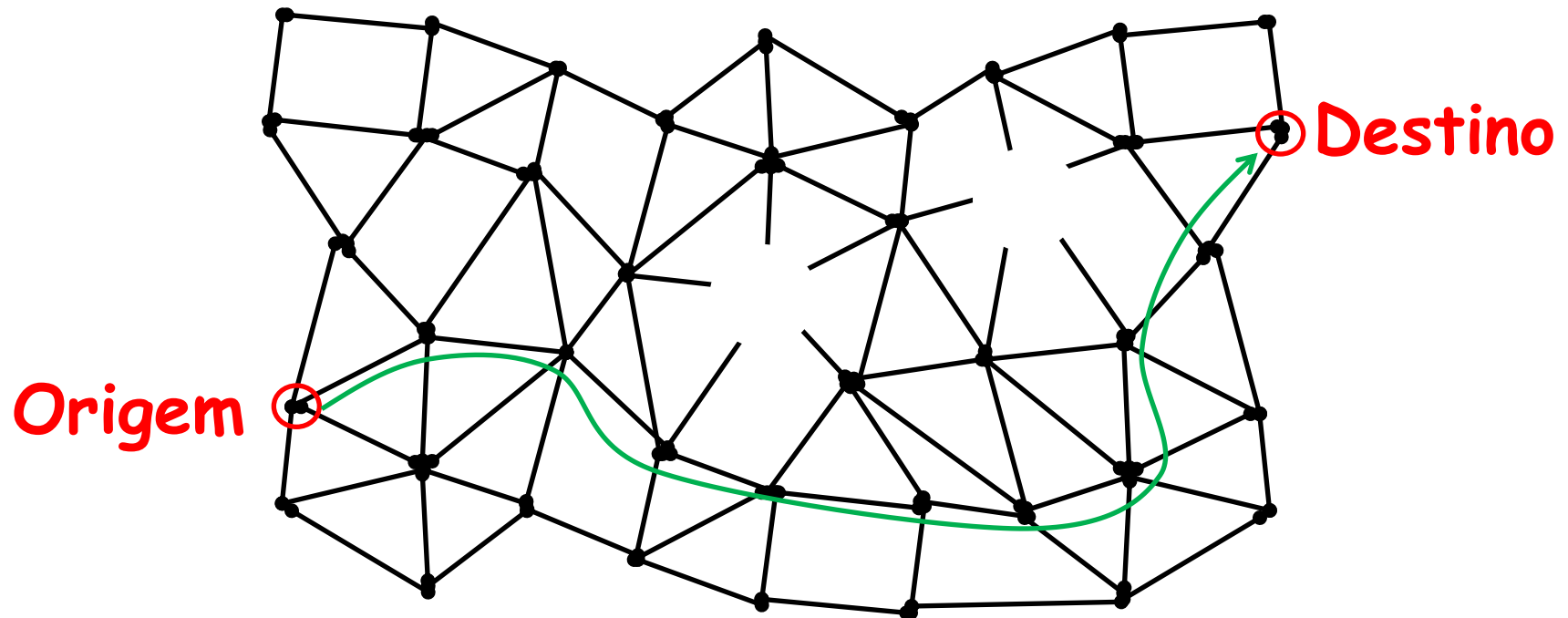


Comunicação entre origem e destino é restabelecida

Disponibilidade - Topologia Distribuída

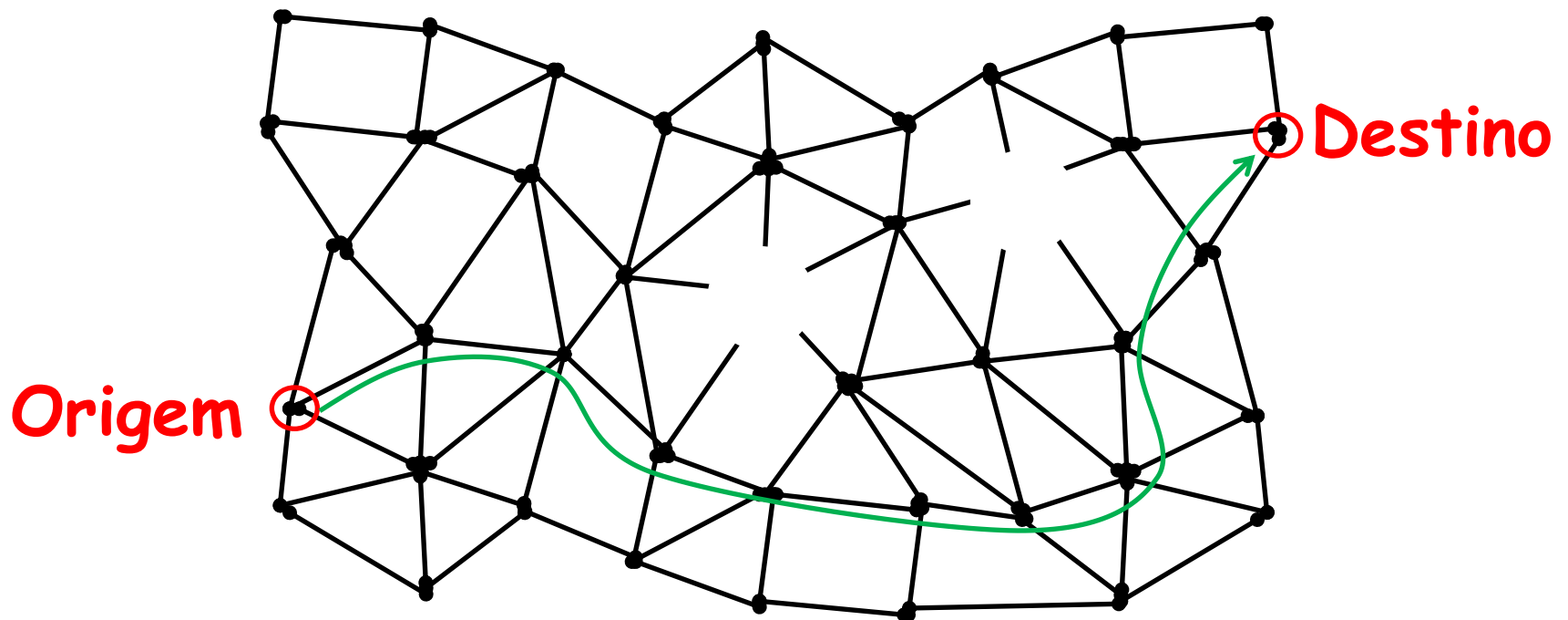


Disponibilidade - Topologia Distribuída



A topologia distribuída torna a rede mais disponível

Disponibilidade - Topologia Distribuída



ARPANet: rede com topologia distribuída para maior disponibilidade mediante a possíveis ataques

Topologia Distribuída Vs. Descentralizada

- Topologia distribuída
 - ARPANet e posteriormente a Internet
 - Mas será que a topologia da Internet é distribuída mesmo hoje em dia?
- Topologia descentralizada
 - Sistema telefônico
 - Mas por que a topologia descentralizada foi usada?

Sistema Telefônico

- Objetivo
 - Conectar fios a outros fios
- Custo
 - Essencialmente os fios
- Lucro
 - Construção dinâmica de um caminho de um usuário a outro

O sistema telefônico não se importa com a **conversação telefônica**. O importante é o **estabelecimento de um caminho entre a origem e o destino**.

Evolução das Centrais Telefônicas (conectando fios)

Manualmente

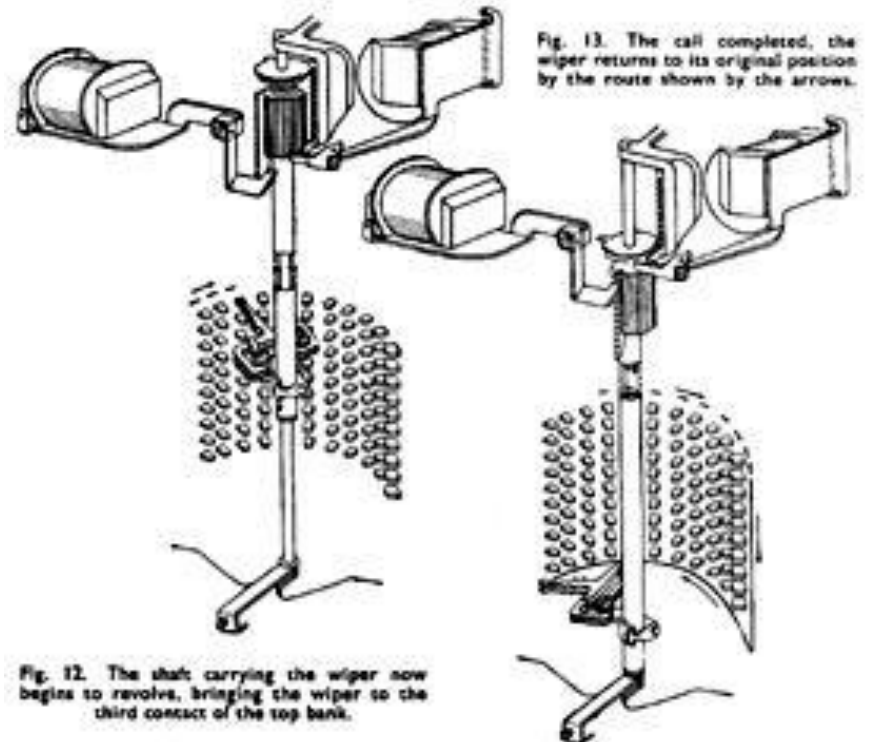


Evolução das Centrais Telefônicas (conectando fios)

Manualmente



Mecanicamente

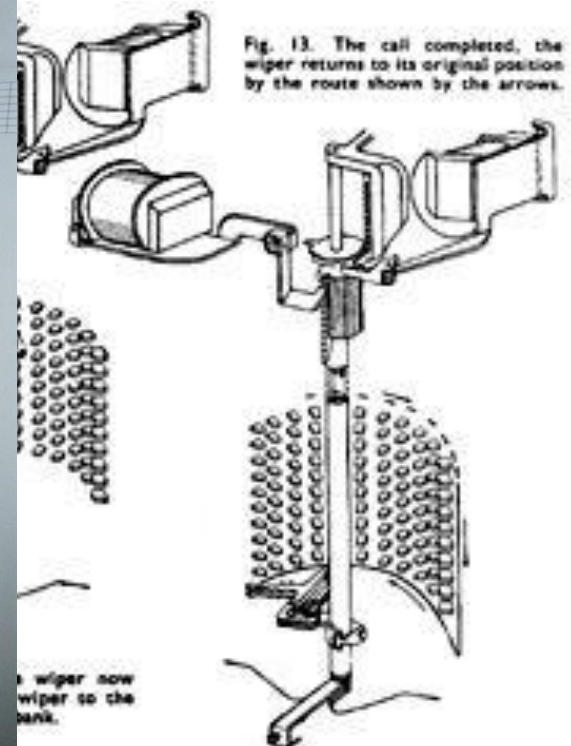
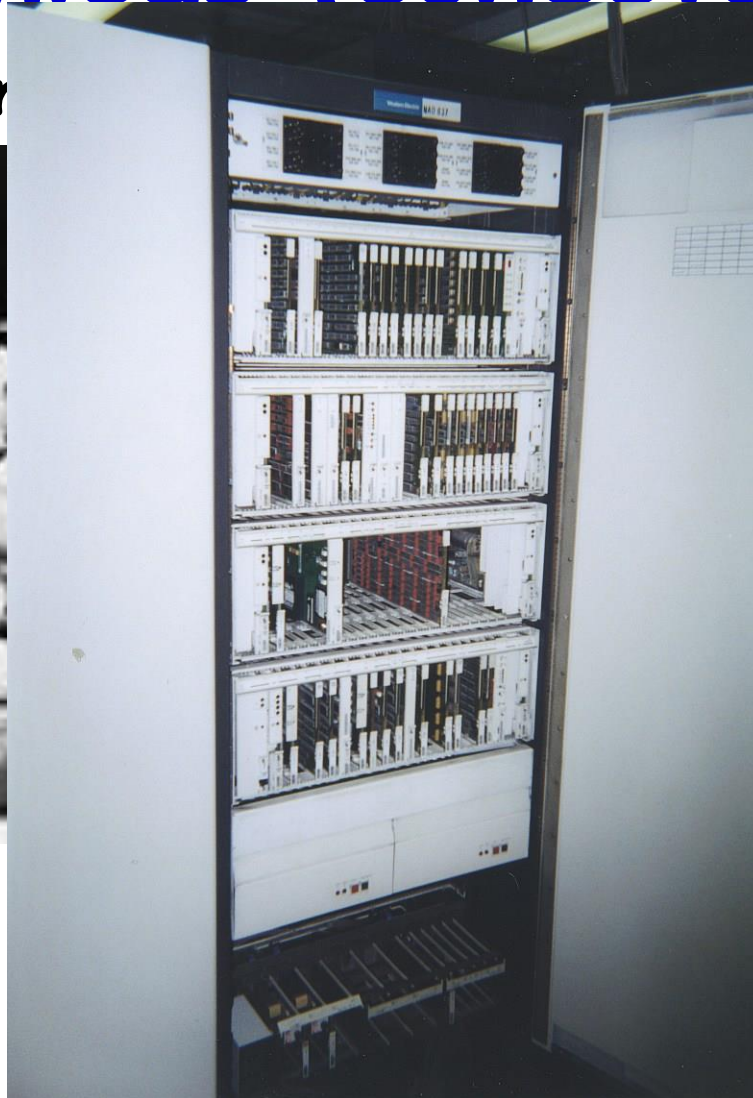


Evolução das Centrais Telefônicas (conectando fios)

Manualmente



Mecanicamente



Por Computador

Problemas do Sistema Telefônico

- Nenhuma informação é transferida antes do estabelecimento da chamada
 - Eficiência (*recursos usados sobre os recursos disponíveis*) **decrece** com:
 - Aumento do tempo de estabelecimento da chamada
 - Aumento da banda passante do canal
 - Pouca banda é usada
 - Diminuição do tempo de duração da chamada
 - Em proporção ao tempo de estabelecimento

Problemas do Sistema Telefônico

- A chamada falha se um dos elementos do caminho falha
 - Confiabilidade decresce exponencialmente com a escala
- Desperdício de recursos
 - Uso de recursos dedicados
 - Voz: Taxa constante
 - Dados: Taxa intermitente em rajadas

Comutação de Pacotes

- **Foco no sistema final** e não mais no caminho
- Mensagem dividida em pedaços (os pacotes) encaminhados de forma independente um dos outros
- Pacotes com endereço final do destino
- Pacotes encaminhados nó a nó



Na época, todos que entendiam um pouco de telecomunicações achavam que a ideia era “algo que nunca daria certo pois não havia dados para serem enviados”

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 e tentativa de LOGIN descrita pelo Kleinrock

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

Kleinrock tenta fazer o L O G I N

**"We typed the L and we asked on the phone,
"Do you see the L?"**

A primeira mensagem e tentativa de LOGIN descrita pelo Kleinrock

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

Kleinrock tenta fazer o L O G I N

"We typed the L and we asked on the phone,

"Do you see the L?"

"Yes, we see the L," came the response.

A primeira mensagem e tentativa de LOGIN descrita pelo Kleinrock

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

Kleinrock tenta fazer o L O G I N

"We typed the L and we asked on the phone,

"Do you see the L?"

"Yes, we see the L," came the response.

"We typed the O, and we asked, "Do you see the O."

A primeira mensagem e tentativa de LOGIN descrita pelo Kleinrock

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

Kleinrock tenta fazer o L O G I N

"We typed the L and we asked on the phone,

"Do you see the L?"

"Yes, we see the L," came the response.

"We typed the O, and we asked, "Do you see the O."

"Yes, we see the O."

A primeira mensagem e tentativa de LOGIN descrita pelo Kleinrock

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

Kleinrock tenta fazer o L O G I N

"We typed the L and we asked on the phone,

"Do you see the L?"

"Yes, we see the L," came the response.

"We typed the O, and we asked, "Do you see the O."

"Yes, we see the O."

"Then we typed the G, and ...

A primeira mensagem e tentativa de LOGIN descrita pelo Kleinrock

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

Kleinrock tenta fazer o L O G I N

"We typed the L and we asked on the phone,

"Do you see the L?"

"Yes, we see the L," came the response.

"We typed the O, and we asked, "Do you see the O."

"Yes, we see the O."

"Then we typed the G, and ... **the system crashed**"...

A primeira mensagem e tentativa de LOGIN descrita pelo Kleinrock

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

Kleinrock tenta fazer o L O G I N

"We typed the L and we asked on the phone,

"Do you see the L?"

"Yes, we see the L," came the response.

"We typed the O, and we asked, "Do you see the O."

"Yes, we see the O."

"Then we typed the G, and ... the system crashed"...

Yet a revolution had begun ...

Evolução da ARPAnet

- 1970 - 12 IMPs (Interface Message Processors) interconectavam computadores nos EUA todo
- 1972 - primeiro programa de e-mail
- 1973 - 75% do tráfego era de e-mails
- 1974 - Vinton Cerf (UCLA) e Robert Kahn (ARPA) propõem o *Transmission Control Protocol and Internet Protocol* (TCP/IP)
 - Mais rápido e mais eficiente
 - Mais computadores com menor custo

O 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 - primeiro navegador

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 - primeiro navegador



A partir de 1994, começa o BOOM da Internet!

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

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

Essa comparação chama atenção, mas será que ela é totalmente justa?

Sucesso da Internet

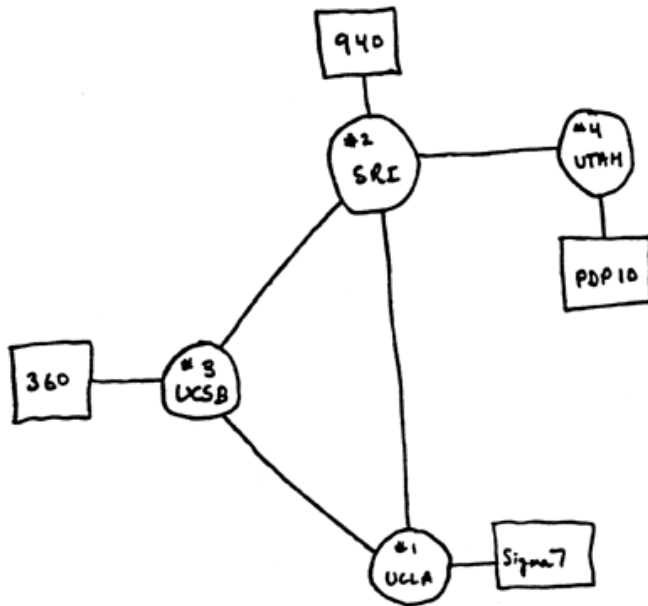
- **Rádio** 38 anos para chegar a 50 milhões de usuários
- **Televisão** 13 anos para chegar a 50 milhões de usuários
- **Internet** pública 4 anos para chegar a 50 milhões de usuários



Mas como planejar uma rede como a Internet?

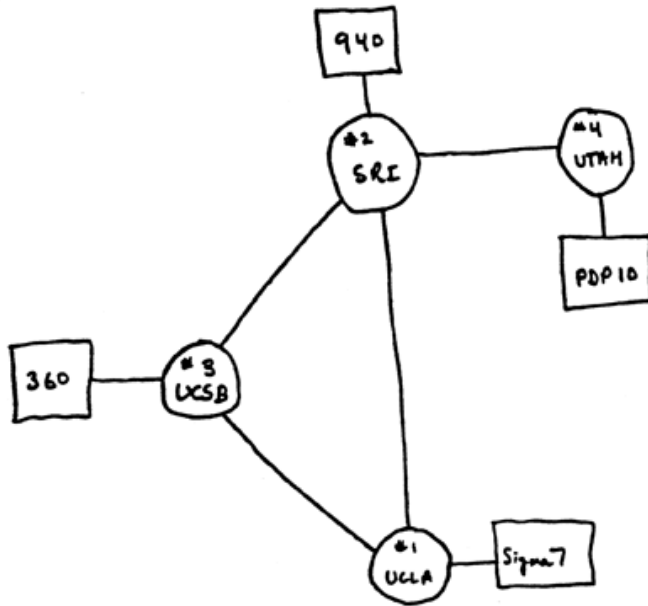
Como a Internet está organizada?

- Início da Internet → **ARPAnet**
 - Primeiras universidades que instalaram o IMP (1969)
 - Universidade da Califórnia em Los Angeles (UCLA)
 - Stanford Research Institute (SRI)
 - Universidade da Califórnia em Santa Bárbara (UCSB)
 - Universidade de Utah

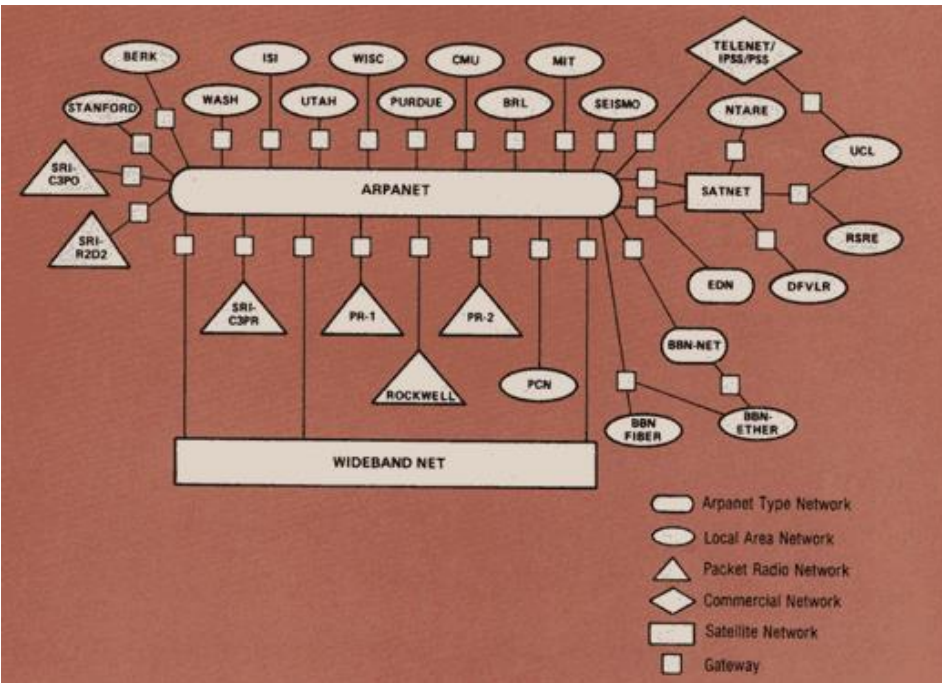


Como a Internet está organizada?

- Início da Internet → **ARPAnet**
 - Interface Message Processor (IMP)
 - **Nó de comutação de pacotes**
 - Objetivo era compartilhar os recursos computacionais

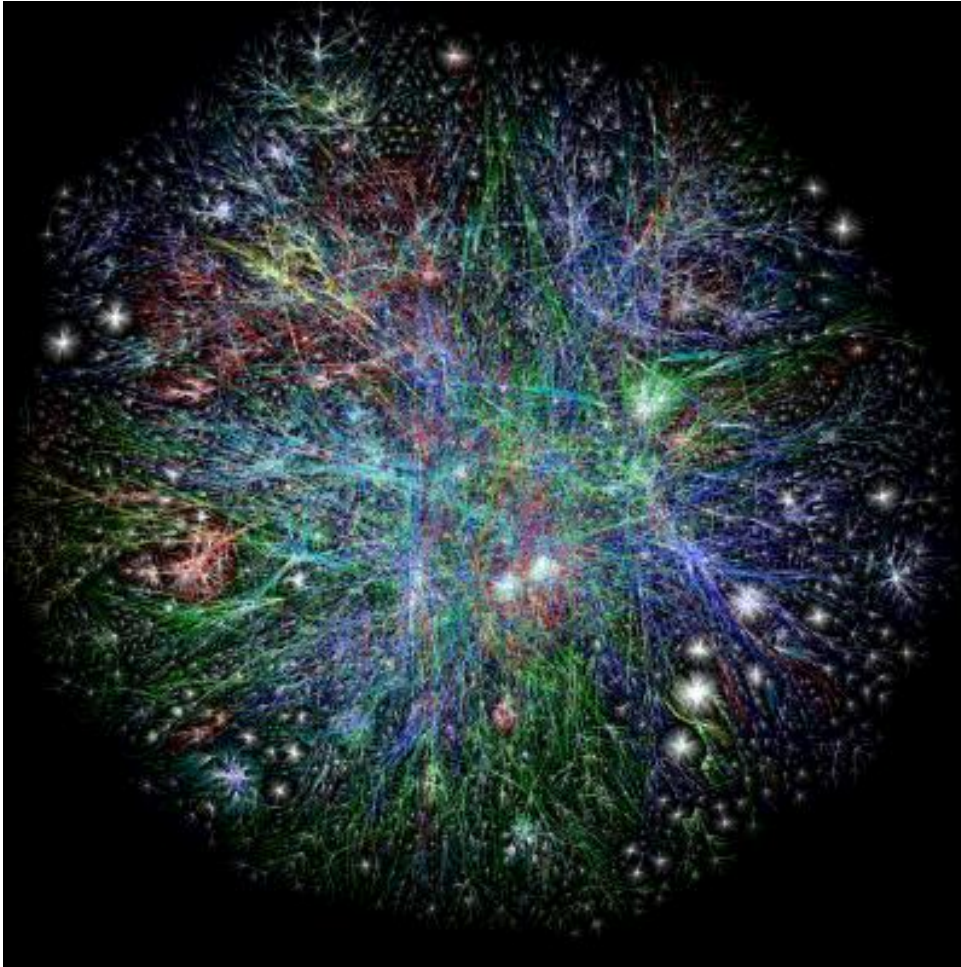


Como a Internet está organizada?



- ARPAnet e rede militar se separam em 1983
 - ARPAnet conta com 45 nós
 - Padronização do TCP/IP
 - Crescimento acelerado

Como a Internet está organizada?



- Internet em 2003
 - Rede altamente complexa
 - Milhões de enlaces

Como a Internet está organizada?



- Internet em 2003
 - Rede altamente complexa

A Internet não possui uma organização bem definida e está em constante evolução

e enlaces

Características da Internet

- A Internet...
 - Não possui uma arquitetura definida
 - Não possui dono
 - É descentralizada
 - Não pode ser desligada
- Além disso...
 - Sua evolução depende de consenso sobre propostas técnicas e código executável



Realimentação de implementações reais é mais importante que qualquer planejamento

Características da Internet

- Crescimento exponencialmente acelerado
- Surgimento de diferentes tecnologias de rede
- Surgimento de diferentes necessidades e requisitos



Ao invés de construir e reconstruir a Internet, procura-se tornar a Internet adaptável à sua própria evolução



Para isso, defini-se REQUISITOS para nortear o desenvolvimento da Internet e não para restringir a evolução dela

Requisitos da Internet

- **Conectividade**
 - Conectar redes existentes
 - Qualquer estação pode enviar dados para qualquer outra estação
- **Robustez**
 - Efetuar a comunicação desde que exista algum caminho origem/destino
- **Heterogeneidade**
 - Permitir a interconexão de diferentes tecnologias de rede
 - Suportar diferentes tipos de serviços e aplicações

Requisitos da Internet

- Gerenciamento
 - Gerenciar distribuidamente os recursos da rede;
- Custo
 - Apresentar uma boa relação custo-benefício;
- Acessibilidade
 - Facilitar a conexão de novas estações;
- Responsabilização
 - Permitir a identificação do responsável pelos recursos da Internet

Requisitos da Internet

- Gerenciamento
 - Gerenciar distribuidamente os recursos da rede;
 - Custo
 - Apresentar uma boa relação custo-benefício;
 - Acessibilidade
 - Permitir a identificação do responsável pelos recursos da Internet
- A primeira solução encontrada foi o modelo TCP/IP!**

Vantagens do Modelo TCP/IP

- Roteamento adaptativo permite reparar falhas de enlace
 - Confiabilidade aumenta com o tamanho da rede
 - Mais caminhos redundantes
- Não requer "chamada" e, portanto, mais eficiente
 - Para qualquer banda passante
 - Para qualquer tempo de comunicação
 - Para qualquer número de nós
- Roteamento Distribuído
 - Suporta qualquer topologia
 - Distribui a carga e evita pontos de congestionamento
 - Diferentemente de estruturas hierárquicas

Princípios da Internet - Modelo TCP/IP


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

Princípios da Internet - Modelo TCP/IP

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

Modelo em Camadas

- Objetivo é o mesmo do Modelo OSI
 - Entretanto, divide em 4 camadas
 - Aplicação e transporte
 - Rede e Enlace (Enlace + Física)
- Introduz maior flexibilidade que o modelo OSI
 - Protocolos podem apresentar características de camadas diferentes
 - Protocolos de camadas diferentes podem compartilhar informações
- Modelo OSI é apenas um modelo de referência
 - Modelo TCP/IP define protocolos para cada camada



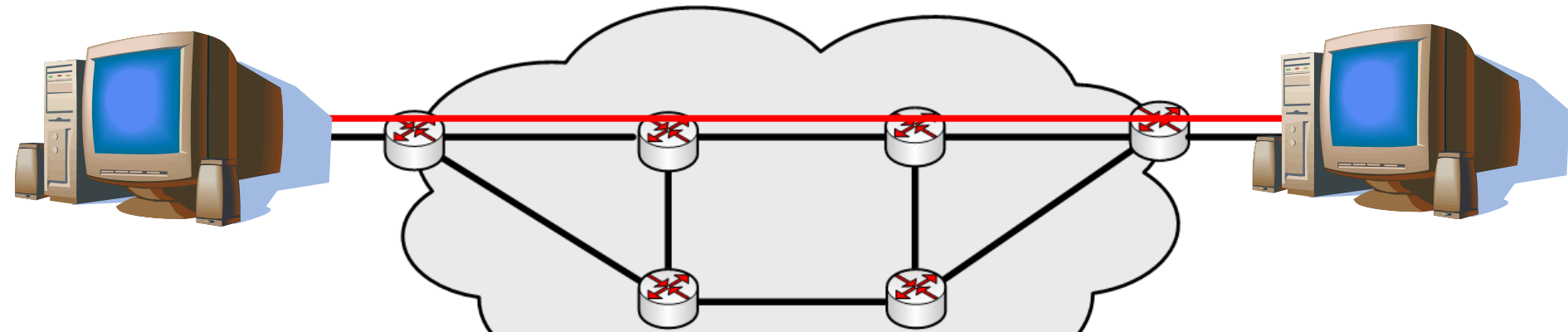
Reduz
problemas do
modelo OSI,
mas nem
tanto...

Princípios da Internet - Modelo TCP/IP

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

Comutação de Pacotes

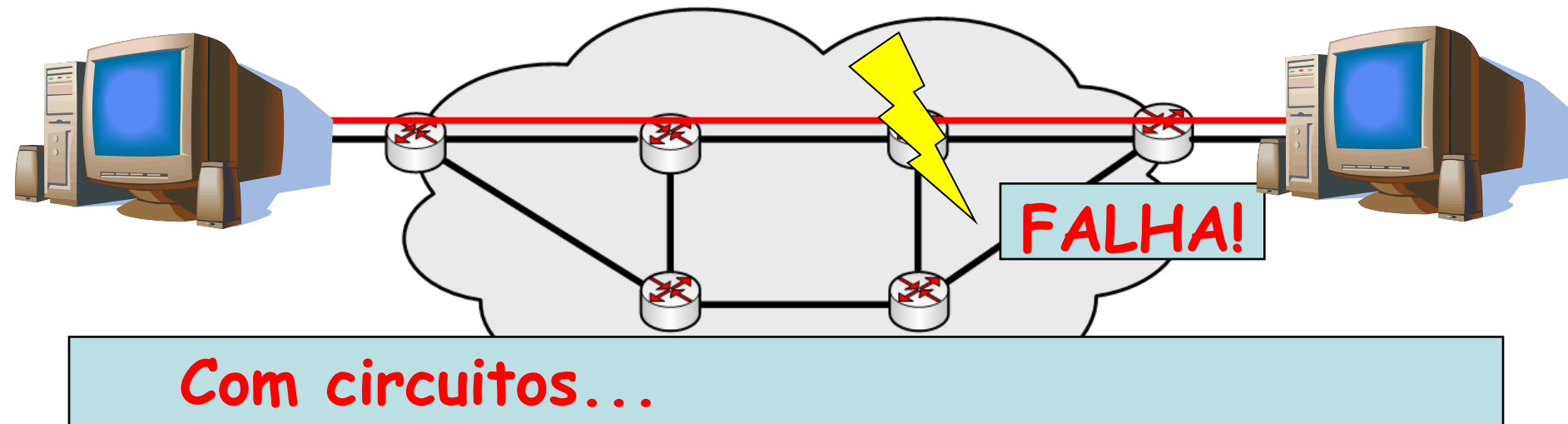
- Robustez para sobrevivência a desastres
 - Datagrama e topologia em malha
 - Caminhos alternativos na ocorrência de falhas
- Eficiência
 - Compartilhamento da banda



Com circuitos...

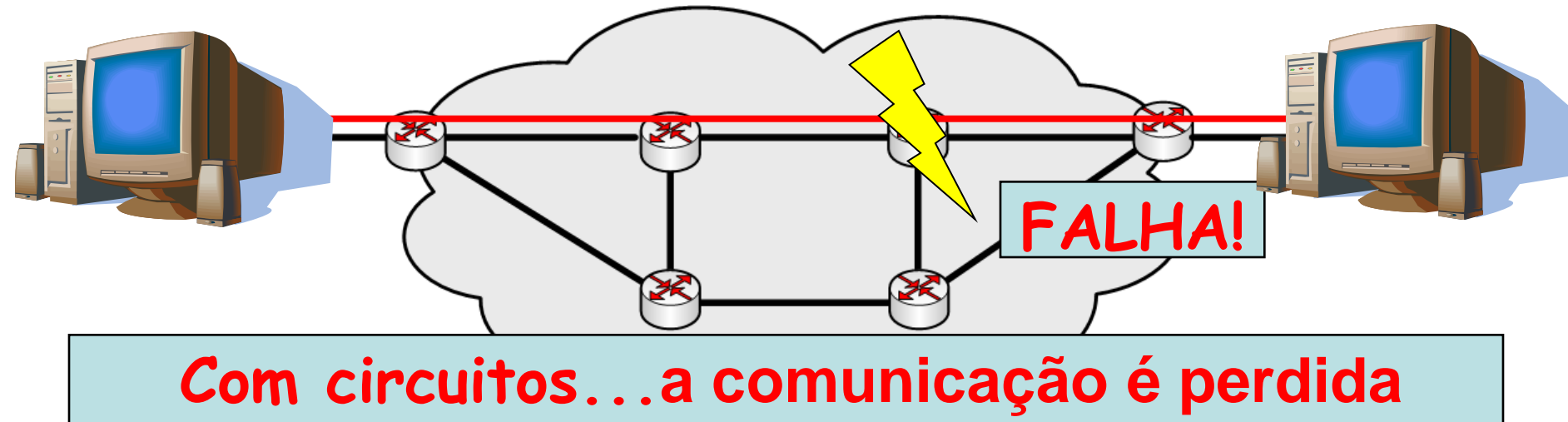
Comutação de Pacotes

- Robustez para sobrevivência a desastres
 - Datagrama e topologia em malha
 - Caminhos alternativos na ocorrência de falhas
- Eficiência
 - Compartilhamento da banda



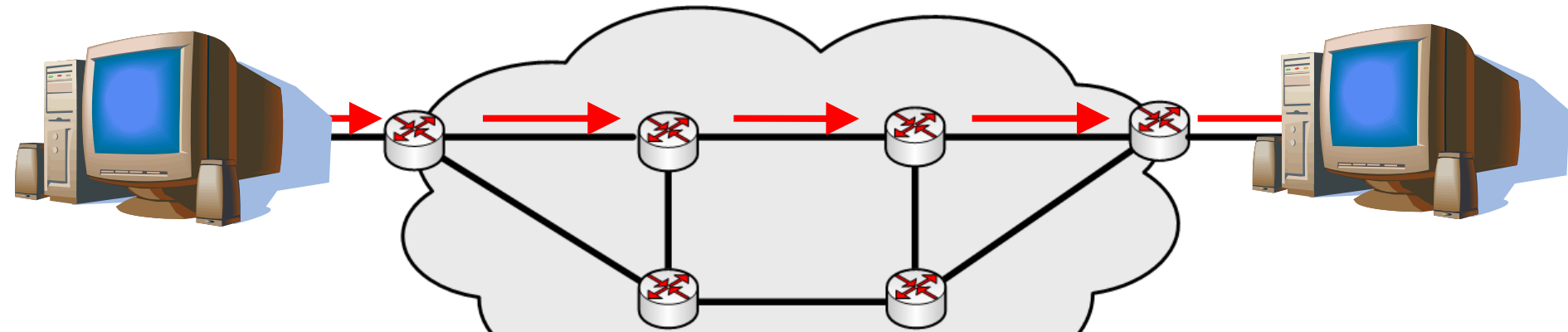
Comutação de Pacotes

- Robustez para sobrevivência a desastres
 - Datagrama e topologia em malha
 - Caminhos alternativos na ocorrência de falhas
- Eficiência
 - Compartilhamento da banda



Comutação de Pacotes

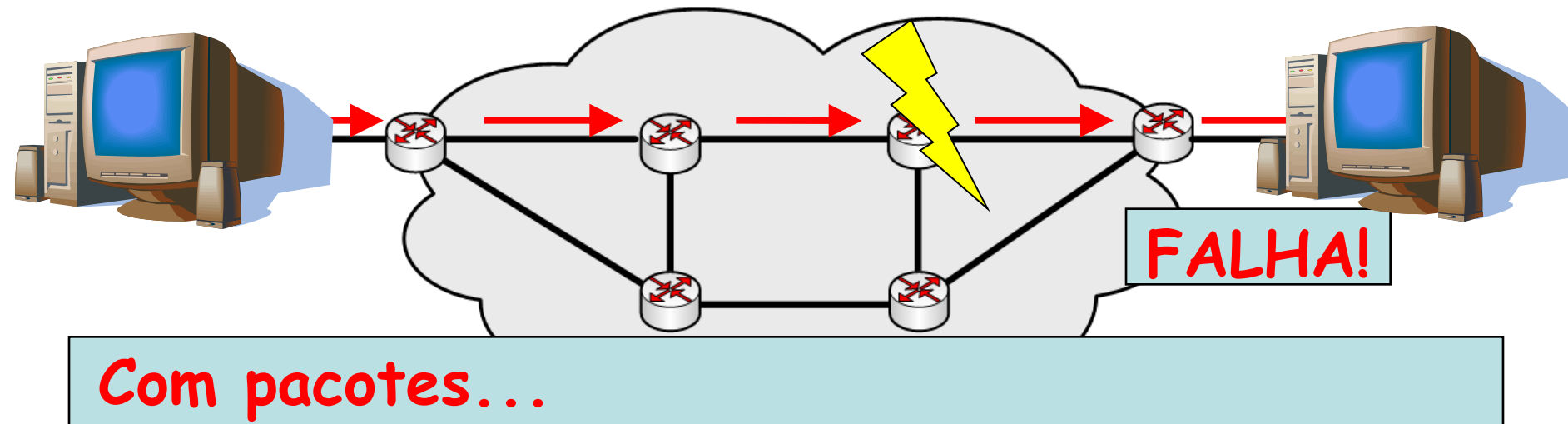
- Robustez para sobrevivência a desastres
 - Datagrama e topologia em malha
 - Caminhos alternativos na ocorrência de falhas
- Eficiência
 - Compartilhamento da banda



Com pacotes...

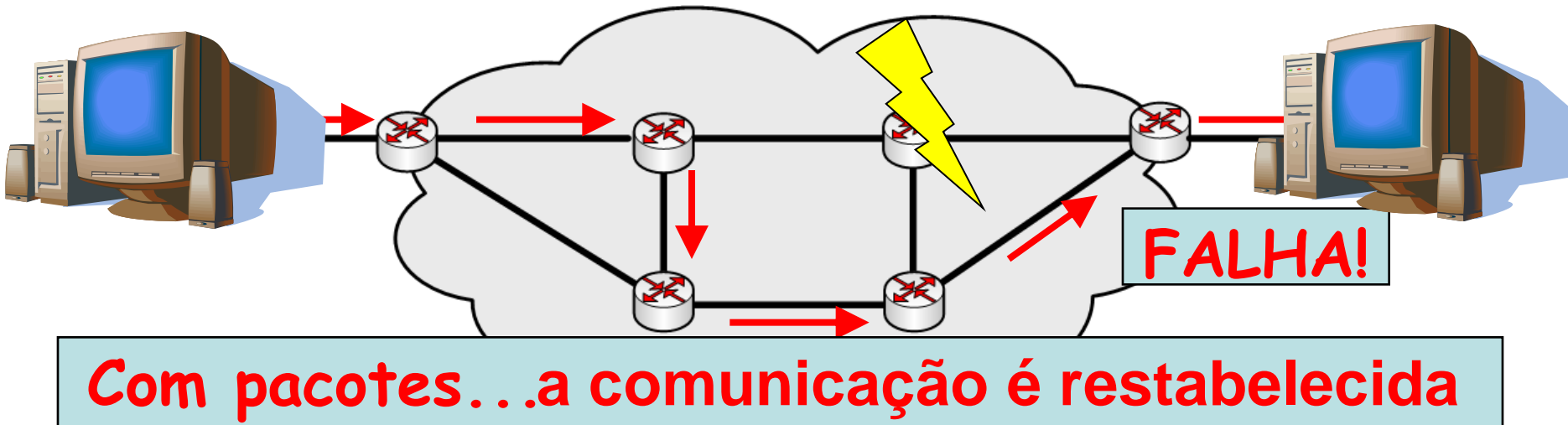
Comutação de Pacotes

- Robustez para sobrevivência a desastres
 - Datagrama e topologia em malha
 - Caminhos alternativos na ocorrência de falhas
- Eficiência
 - Compartilhamento da banda



Comutação de Pacotes

- Comutação de pacotes
 - Robustez para sobrevivência a desastres
 - Datagrama e topologia em malha
 - Caminhos alternativos na ocorrência de falhas
 - Eficiência
 - Compartilhamento da banda



Melhor Esforço

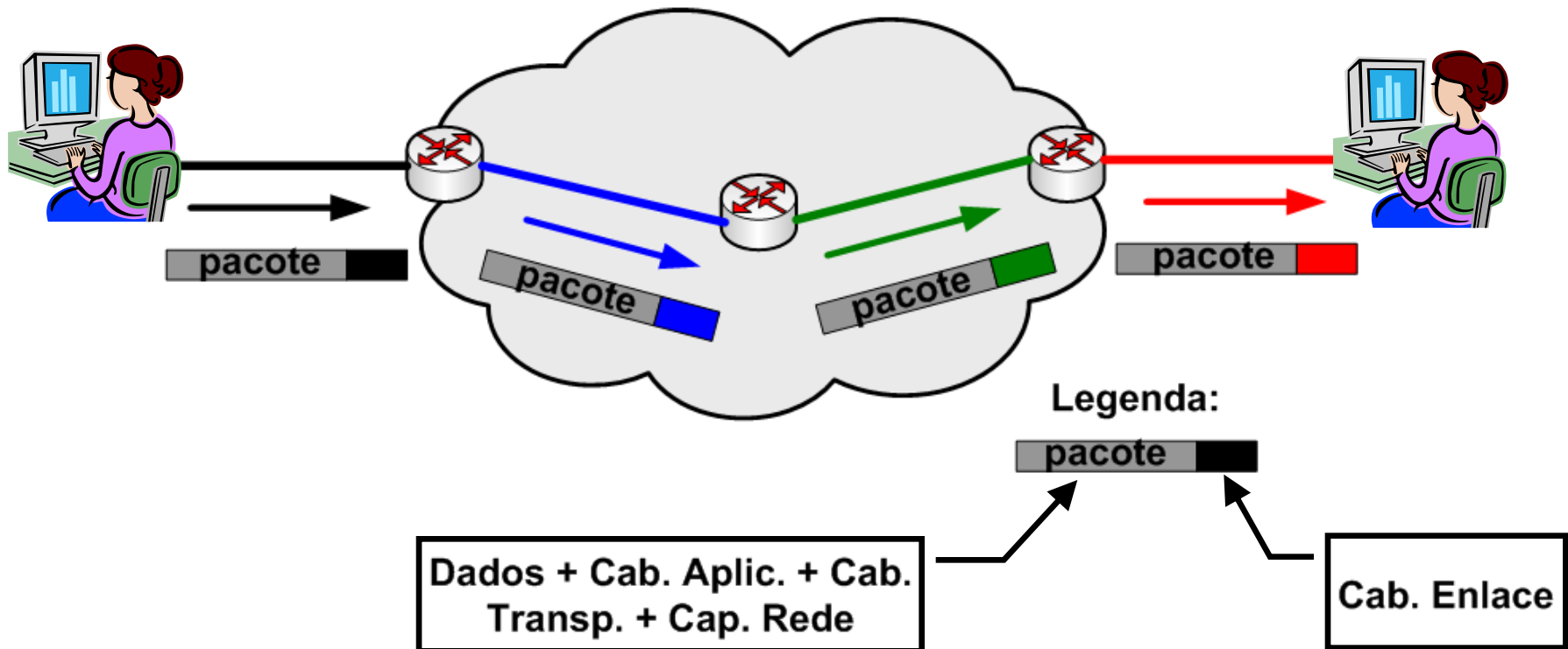
- Nós simples e de baixo custo: Sem estados na rede
 - Encaminhamento de pacote independente um dos outros
 - Sem reserva de recursos
 - Sem recuperação de erros
 - Sem garantia de acesso
 - Atraso dependente do tamanho da fila
 - Sem garantia de entrega do pacote ao destino
 - Pacote é descartado se alguma fila no meio do caminho estiver cheia

Princípios da Internet - Modelo TCP/IP

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

Transparência Sintática

- Pacotes são transferidos da origem ao destino sem que a rede modifique os dados
 - Apenas erros de transmissão modificam pacotes



Princípios da Internet - Modelo TCP/IP

- Modelo em camadas
- Comutação de pacotes e melhor esforço
- Transparência sintática
- 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**
 - Conhecimento da aplicação nas extremidades
 - Funções específicas podem ser implementadas de forma correta e completa
 - Robustez da rede
 - Ausência de estados na rede torna a rede mais robusta e adaptável



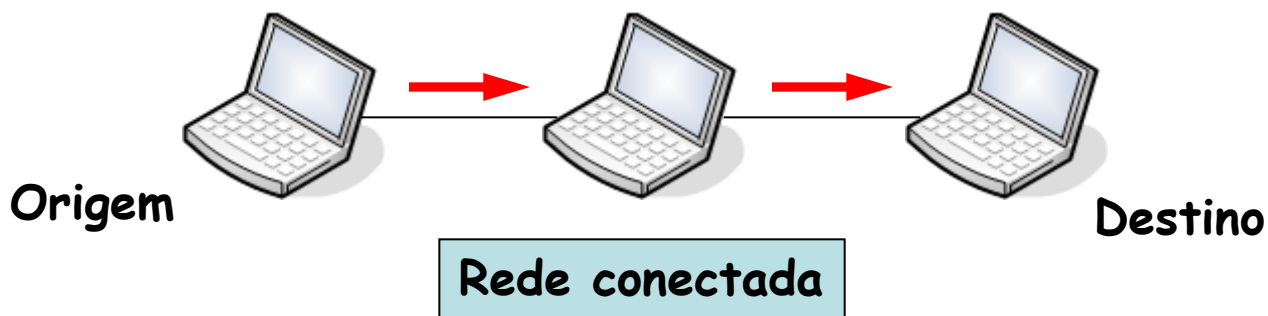
Núcleo simples e inteligência nas extremidades

Princípios da Internet - Modelo TCP/IP

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

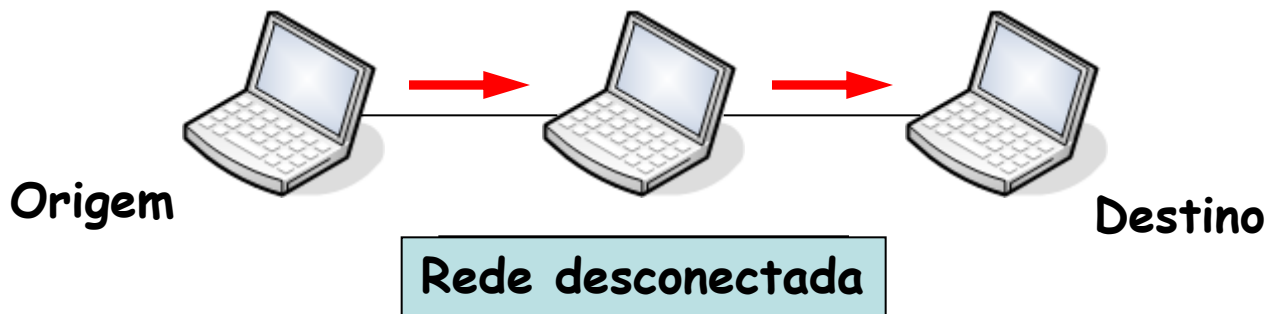
Entrega Imediata

- Pacotes são entregues imediatamente segundo a disciplina de melhor esforço
- Conectividade contínua no tempo
 - Não existem atrasos indefinidos de entrega de pacote
 - Não existem conexões intermitentes
- Não há armazenamento persistente no interior da rede
 - Ao contrário das Redes Tolerantes a atrasos e Desconexões (DTNs) que possuem persistência



Entrega Imediata

- Pacotes são entregues imediatamente segundo a disciplina de melhor esforço
- Conectividade contínua no tempo
 - Não existem atrasos indefinidos de entrega de pacote
 - Não existem conexões intermitentes
- Não há armazenamento persistente no interior da rede
 - Ao contrário das Redes Tolerantes a atrasos e Desconexões (DTNs) que possuem persistência



Entrega Imediata

- Pacotes são entregues imediatamente segundo a disciplina de melhor esforço
- Conectividade contínua no tempo
 - Não existem atrasos indefinidos de entrega de pacote
 - Não existem conexões intermitentes
- Não há armazenamento persistente no interior da rede
 - Ao contrário das Redes Tolerantes a atrasos e Desconexões (DTNs) que possuem persistência



Princípios da Internet - Modelo TCP/IP

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

Heterogeneidade da Sub-rede

- Premissas mínimas para a camada de enlace
 - Capacidade de transferir pacotes cuidando da sincronização
- Consequências
 - Acomoda diferentes tecnologias com diferentes
 - Atrasos e bandas
 - Padrões de erro e tamanho de unidade de dados



Princípios da Internet - Modelo TCP/IP

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

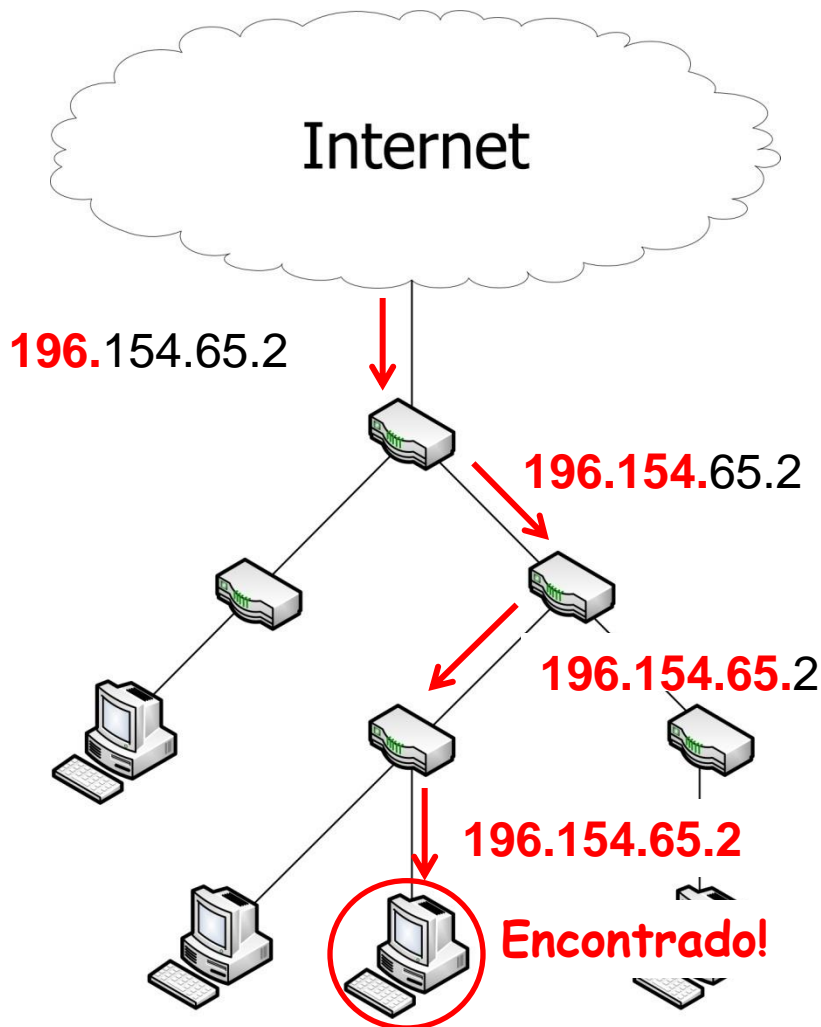
Endereçamento Global

- Características do endereçamento
 - Espaço de endereçamento global
 - Endereço único
- Endereçamento hierárquico
 - Aumenta a escalabilidade da busca
 - Permite a busca por prefixo
 - *Best-prefix match*



Se não houvesse endereçamento hierárquico, cada nó teria que saber para onde encaminhar pacotes de cada possível destino da rede

Endereçamento Global



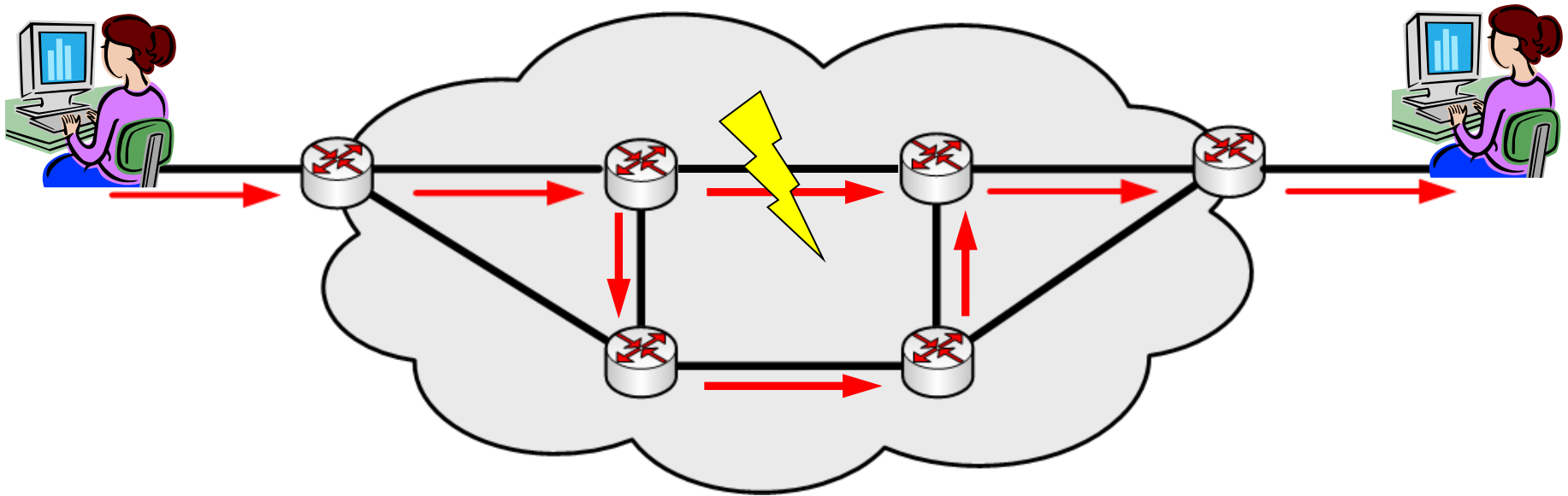
- Segue sequência lógica hierárquica até encontrar o destino
 - Encaminhamento realizado de acordo com a tabela de roteamento
- Endereço também indica localização da estação
 - Sobrecarga semântica
 - Problema nas redes sem-fio

Princípios da Internet - Modelo TCP/IP

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

Controle Distribuído

- Algoritmos totalmente distribuídos
 - Ausência de ponto único de falha
 - **Maior robustez**

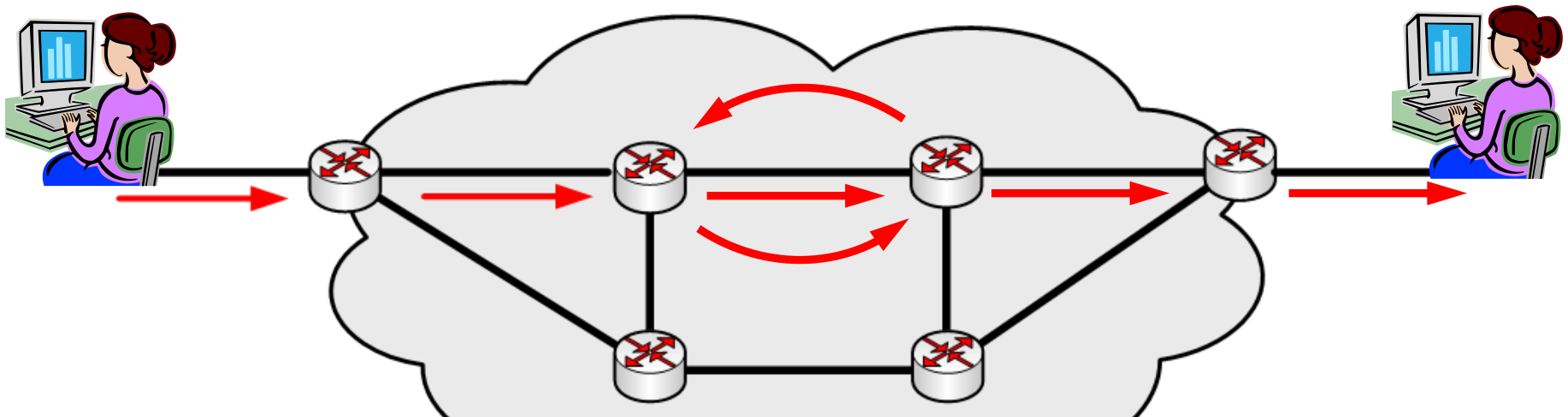


Princípios da Internet - Modelo TCP/IP

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

Cálculo Global do Roteamento

- Características do endereçamento
 - Global, único e organizado hierarquicamente
 - Possibilita rotas sem *loops* obtidas a partir “apenas” do endereço destino



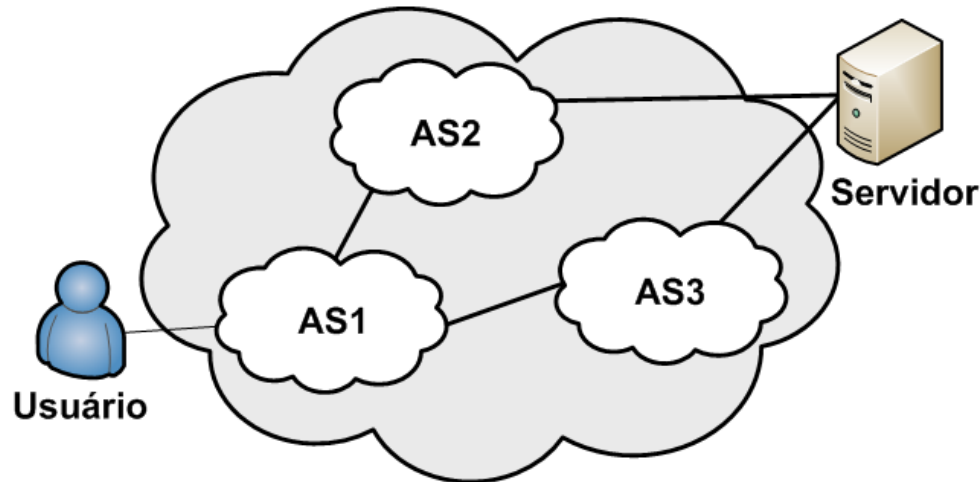
Possível formação de *loop* caso as informações disponíveis não forem globais!

Princípios da Internet - Modelo TCP/IP

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

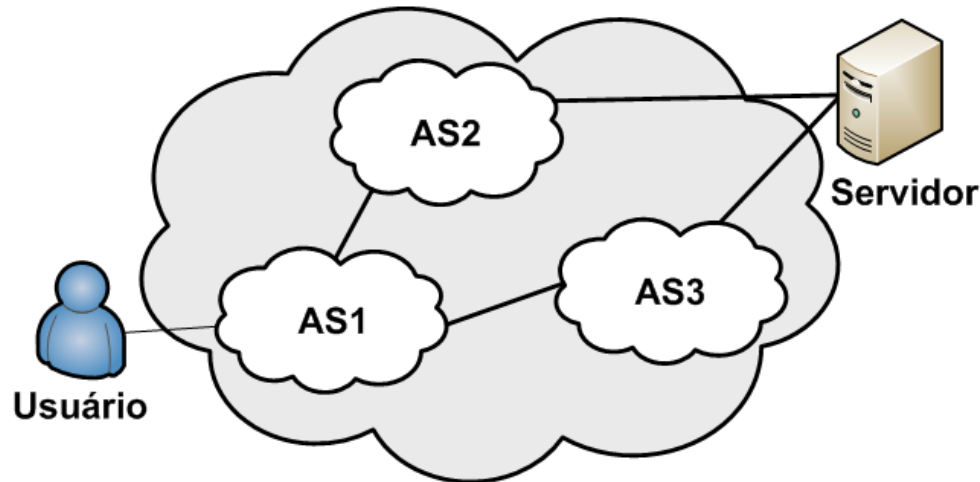
Divisão em Regiões

- Internet é uma "rede de redes"
 - Formada por uma coleção de Sistemas Autônomos independentes
 - Operação e gerenciamento independente
 - protocolo de roteamento, políticas, serviços prestados, robustez a falhas (diversos caminhos origem/destino por diferentes AS)



Divisão em Regiões

- Internet é uma "rede de redes"
 - Formada por uma coleção de Sistemas Autônomos independentes
 - Roteamento
 - Entre sistemas autônomos: *Border Gateway Protocol (BGP)*
 - Dentro do Sistema Autônomo: *Interior Gateway Protocol (IGP)*



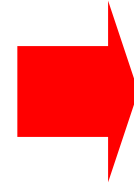
Princípios da Internet - Modelo TCP/IP

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

Dependência Mínima

- As comunicações entre estações que:

- Conhecem o endereço uma da outra
- Existe um caminho entre as duas



Devem ser efetuadas!

- Para isso...

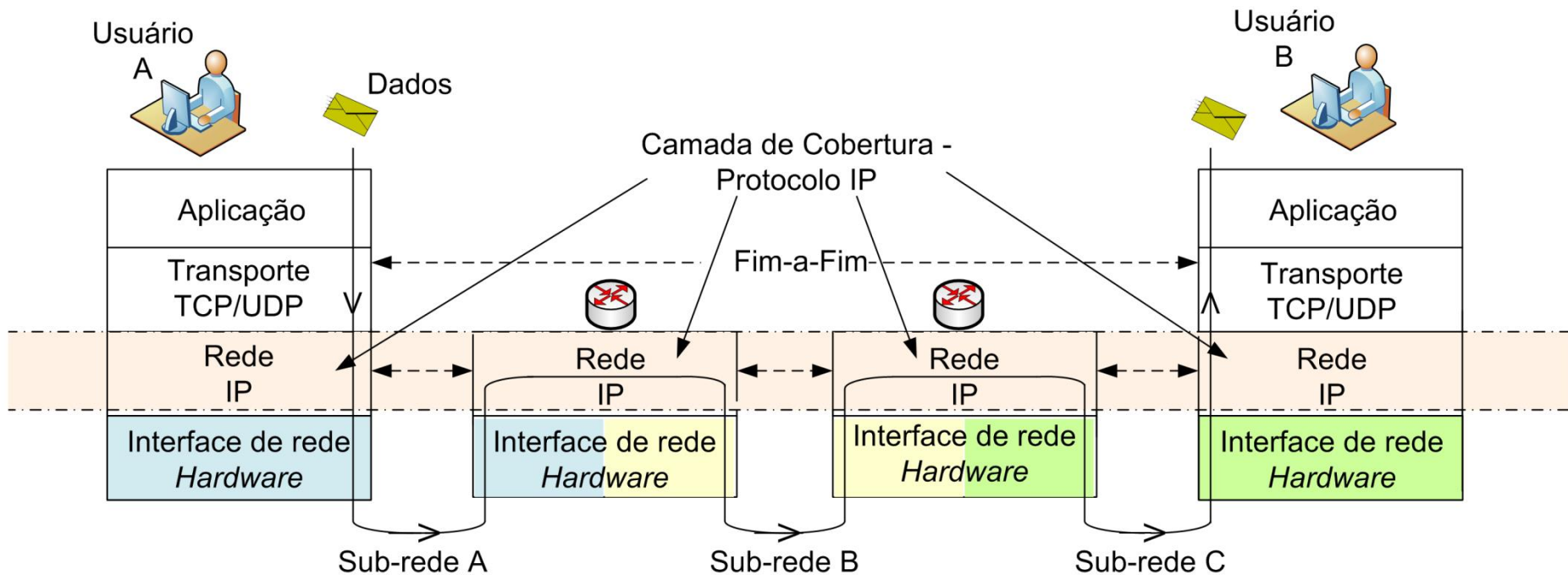
- Dependência de um conjunto mínimo de serviços
 - Ex.: Mesmo na ausência do DNS, a comunicação deve ser efetuada
- Ausência de protocolo (controle) de acesso
 - Estações diretamente conectadas
 - Podem se comunicar sem auxílio de roteador

Princípios da Internet - Modelo TCP/IP

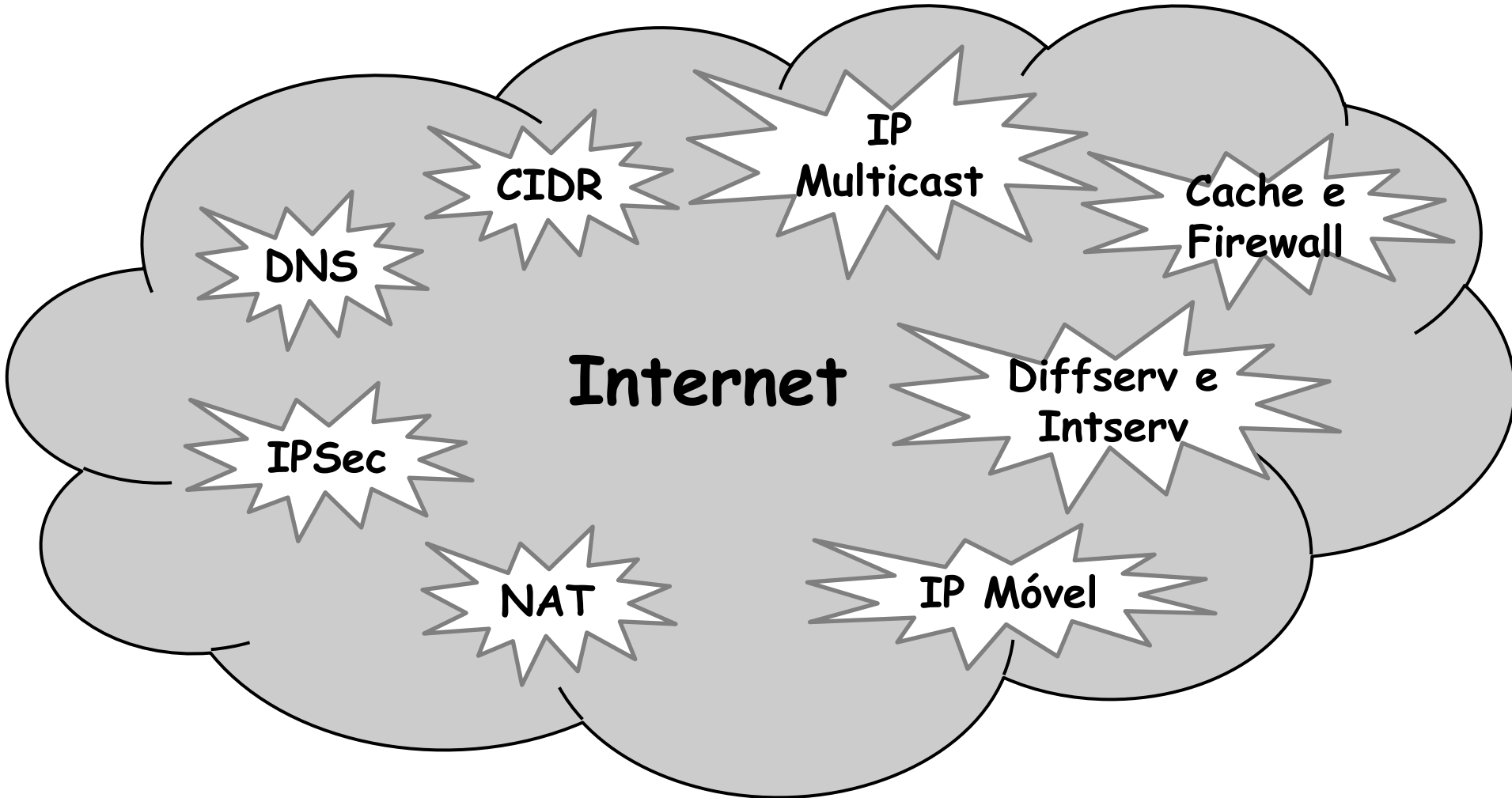
- Se **conectividade** é o requisito principal da Internet...
 - A ferramenta é o protocolo de rede
 - **Protocolo IP**
 - E a inteligência está nos terminais
- A conectividade deve ser garantida mesmo com:
 - Crescimento exponencial da Internet
 - Diferentes provedores de serviço
 - Múltiplas tecnologias de redes
 - Múltiplos protocolos de camadas superiores e inferiores
 - **Protocolo IP é chamado de "camada de cobertura"**

Princípios da Internet - Modelo TCP/IP

- Protocolo IP deve...
 - Ser independente da tecnologia de camada inferior
 - Oferecer uma plataforma única para diferentes aplicações e serviços

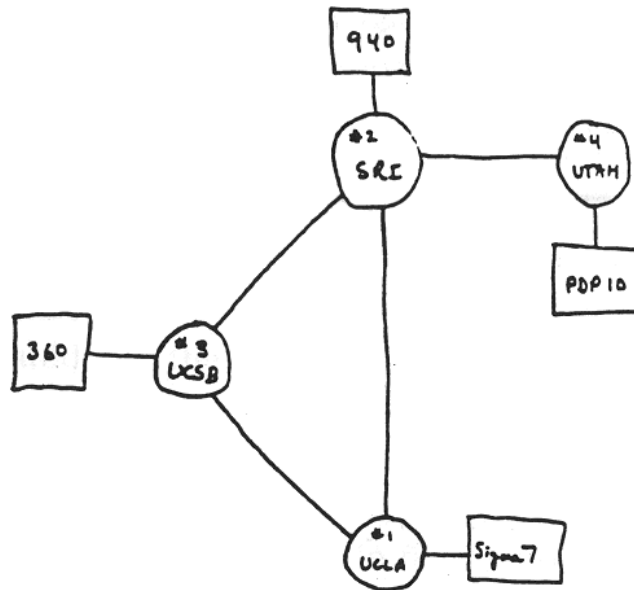


Evolução por Remendos



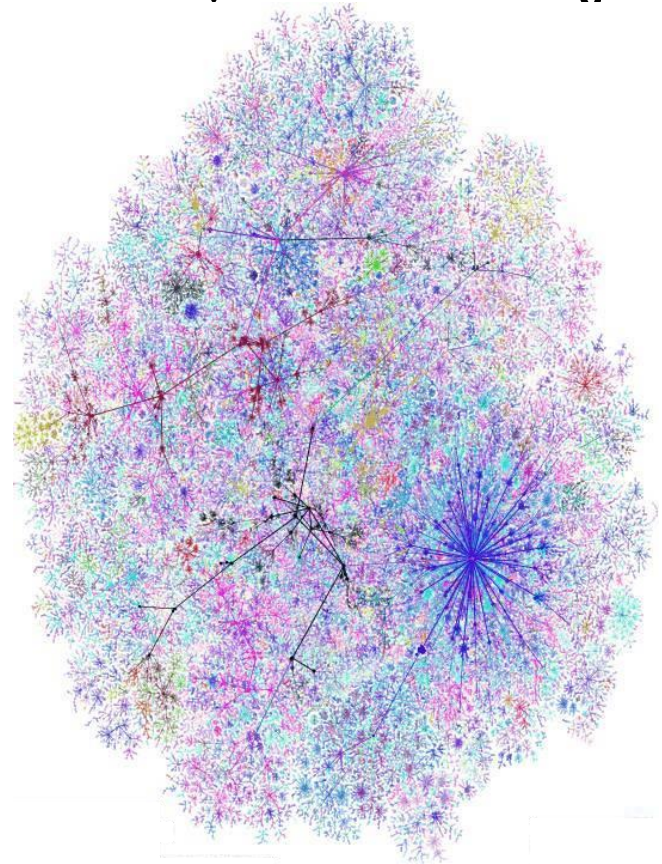
O que mudou?

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



THE ARPA NETWORK

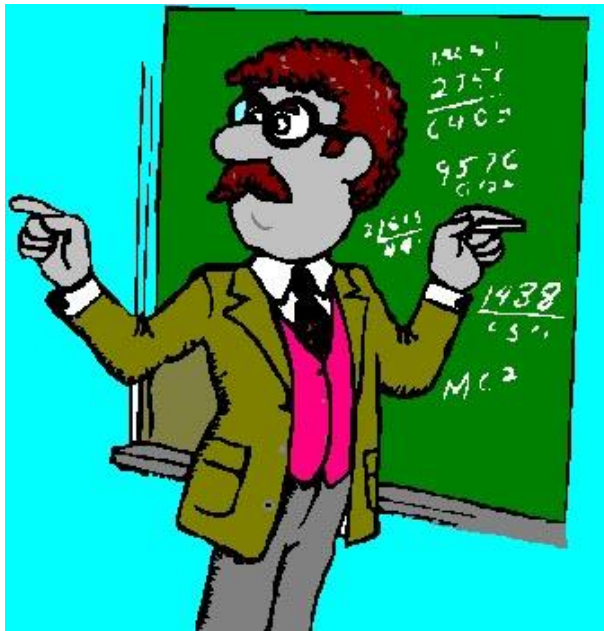
1969



1999

O que mudou?

- Perfil dos usuários
 - Especializados → maioria não especializada



Pesquisadores de universidades e centros de pesquisa



Usuários de diferentes idades e com diferentes habilidades técnicas



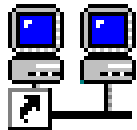
Original Artist
Reproduction rights obtainable from
www.CartoonStock.com



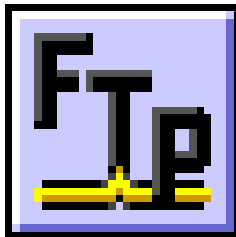
search ID: aton550

O que mudou?

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



Telnet_SSH



O que mudou?

- Modelo de negócios

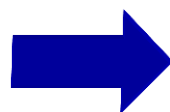
Sem fins lucrativos  **Lucro**

- 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.

O que mudou?

- Modelo de aplicações

orientada a usuário
user-centric



orientada a dados
Data-centric

um usuário/estação quer **contatar** outro usuário/estação. Ex. acesso a terminal remoto (telnet), transferência de arquivos (FTP) e correio eletrônico (SMTP)

um usuário quer **acessar** a um serviço ou dado específico não importa onde (em que estação) este serviço ou dado possa estar localizado. Ex.: P2P (bittorrent), Content Distribution Networks (Akamai)

O que mudou?

- Redes de acesso
 - Acesso por redes telefônicas

- Para...

- Redes em banda larga
- Redes ubíquas
 - Redes sem fio (WiFi)
 - Redes domiciliares
- Rede de telefonia móveis
- Etc....

Quais as consequências de todas essas mudanças?

Quais as consequências de todas essas mudanças?

- Aplicações com diferentes requisitos surgiram
 - Requisitos por largura de banda, atraso limitado, segurança
- Tecnologias de comunicação com diferentes características
 - Requisitos de desempenho, cenários de aplicação diferentes (acesso e longa distância) e lucratividade para operadoras

Quiz

- Qual foi a motivação principal para a criação da Internet?
- Qual a vantagem da topologia distribuída sobre a centralizada? E o contrário?
- Cite dois princípios da Internet

Quiz

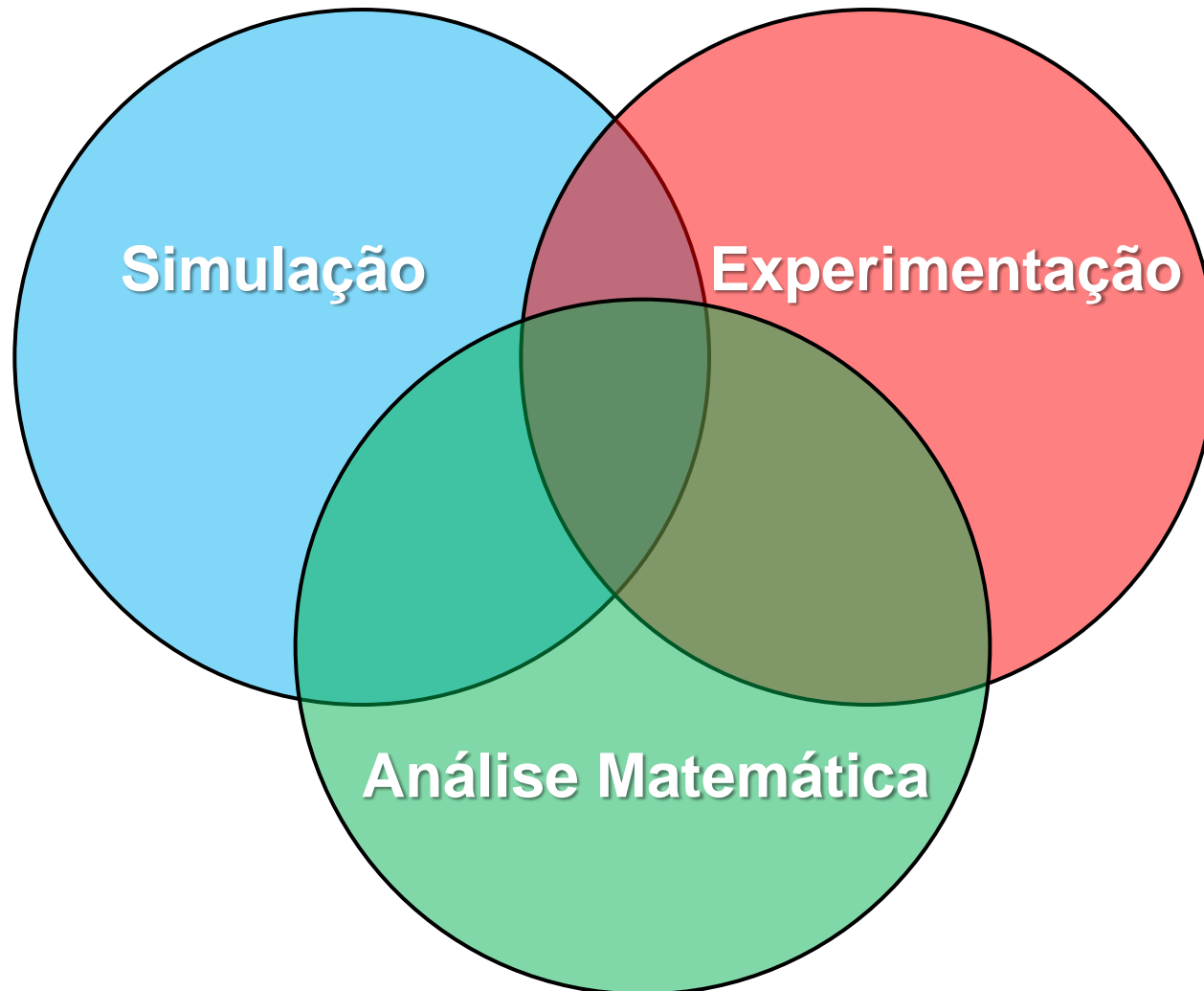
- Qual foi a motivação principal para a criação da Internet?
 - Garantir a hegemonia americana, especialmente em situações de guerra
- Qual a vantagem da topologia distribuída sobre a centralizada? E o contrário?
 - Maior robustez. Maior simplicidade de controle
- Cite dois princípios da Internet
 - Modelo em camadas e comutação de pacotes e melhor esforço

É possível mudar a Internet?

- É...mas para isso temos que...
 - Manter os requisitos iniciais
 - Torná-la evolutiva e escalável
 - Mantê-la economicamente viável

DESAFIO!

Análise de Desempenho



Análise Matemática

- Poderosa, mas muito complexa
 - Modelos podem se tornar muito simplificados
- Exemplo de desafio:
 - Modelo matemático
 - Representação dinâmica de competição de fluxos
 - Algoritmos de congestionamento
 - Estrutura estatística das aplicações
 - Mecanismos de filas e escalonamento

Análise Matemática

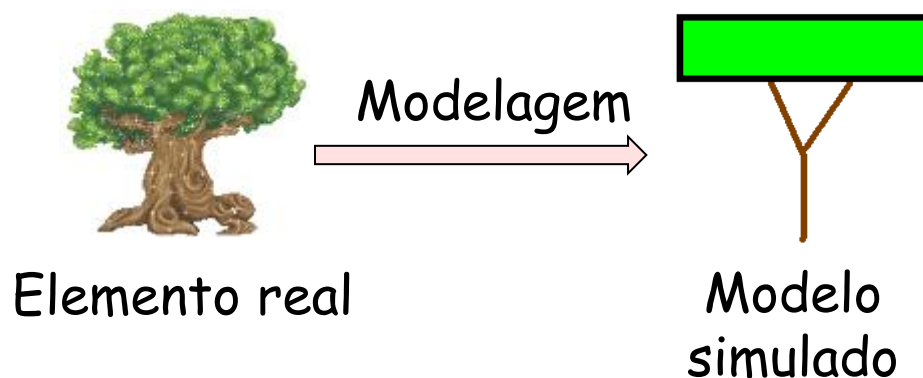
- Novas ferramentas matemáticas envolvendo:
 - Teoria da probabilidade
 - Estatística
 - Sistemas dinâmicos de eventos discretos
 - Redes complexas
 - etc.

Simulação

- Tentativa de modelar situações reais ou hipotéticas em um computador
 - Ex.: Programação em eventos discretos
- Modelos simplificados
 - de tráfego
 - de topologia
 - de cenário
 - etc.

Simulação

- Resultado
 - Resultados de simulação podem não corresponder aos obtidos em implementações reais



Experimentação

- Testes em ambiente real
 - Tanto o hardware quanto software são reais
 - Risco de problemas não previstos inicialmente
- Resultado
 - Normalmente, é limitado ao cenário
 - Custos de implementação em cenários reais em maior escala podem inviabilizar a avaliação

Análise de Desempenho

- Necessidade de ferramentas adequadas
 - Análise matemática ou simulação ou experimentação
 - São insuficientes se consideradas isoladamente
 - **Ideal:** *Realizar as três ou pelo menos uma combinação de duas técnicas de avaliação*



Análise de Desempenho

- Dificuldades
 - Ambientes de experimentação flexíveis
 - Quais serão as novas aplicações e protocolos?
 - Ambiente de teste controlado
 - Como considerar eventos desconhecidos ou inesperados?
 - Medições e análise
 - Como medir e analisar os dados?

Análise de Desempenho

- Propostas que procuram resolver parcialmente as dificuldades:
 - Emulação
 - Parte do sistema experimental é simulada
 - Criação de *testbeds*
 - Ambiente de experimentação é controlado
 - Emprego de tráfego real
 - Entradas da simulação são baseadas em dados reais de uso

Objetivos de Pesquisa

**Conhecer os grandes desafios
atuais em redes...**

Objetivos de Pesquisa

Conhecer os grandes desafios
atuais em redes...



**Mas antes de atacá-los,
precisamos conhecer a base!**

Leitura Recomendada

- Moreira, M. D. D., Fernandes, N. C., Costa, L. H. M. K., and Duarte, O. C. M. B. - **"Internet do Futuro: Um Novo Horizonte"**, em Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2009, pp. 1-59, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Maio 2009.
 - <http://www.gta.ufrj.br/publicacoes>
- Central telefônica mecânica
 - <http://www.youtube.com/watch?v=xZePwin92cI>
- Entrevista do Leonard Kleinrock sobre o início da Internet:
<https://www.youtube.com/watch?v=rHHpwcZiEW4>
- Página de estatísticas da Internet
 - <http://www.potaroo.net>
- Request For Comments 1958
 - <http://tools.ietf.org/html/rfc1958>