

Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

<http://www.gta.ufrj.br/~miguel>

Parte II

Princípios Básicos de Comunicação em Redes

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?
 - Um canal de comunicação entre elas



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?
 - Um canal de comunicação entre elas



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se **entenderem**?
 - Uma **linguagem comum** entre as duas partes



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se **entenderem**?
 - Uma **linguagem comum** entre as duas partes



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se **entenderem**?
 - Uma **linguagem comum** entre as duas partes



protocolo de comunicação



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Protocolos de Comunicação

- Conjunto de regras e procedimentos que definem a comunicação entre duas ou mais entidades
- Definem
 - As ações tomadas durante a recepção e/ou transmissão de mensagens
 - As ações tomadas caso outros eventos ocorram
 - Ex.: Desaparecimento de um vizinho
 - O formato e a ordem das mensagens trocadas entre duas ou mais entidades

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Protocolos de Comunicação

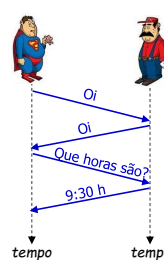
- Na Internet...
 - Todas as atividades que envolvem duas ou mais entidades comunicantes são governadas por um protocolo

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

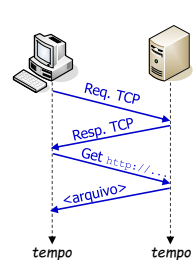
Professor Miguel Campista

Protocolos de Comunicação

Protocolo humano



Protocolo de rede



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura,



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
 - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.

Ao aumentar os requisitos...



Maior é a complexidade do protocolo de comunicação usado nas redes de computadores

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

O que são as Rede de Computadores?

- Definições
 - Conjunto de computadores autônomos interconectados por uma única tecnologia
 - A Internet é uma "rede de redes"!
 - Sistema de comunicação que visa a interconexão entre computadores, terminais e periféricos
- Usos das redes de computadores
 - Aplicações comerciais
 - Compartilhamento de recursos físicos e informações
 - Comunicação entre usuários
 - Comércio eletrônico

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

O que são as Redes de Computadores?

- Usos das redes de computadores (continuação)
 - Aplicações domésticas
 - Compartilhamento de recursos físicos e informações
 - Comunicação entre usuários
 - Comércio eletrônico
 - Entretenimento
 - Usuários móveis
 - Escritório portátil
 - Aplicações militares

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

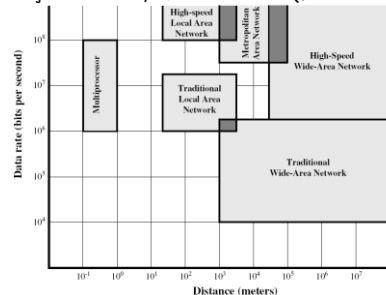
- Segundo a extensão geográfica...
 - Redes "do corpo" (Body Area Networks - BANs)
 - Redes pessoais (Personal Area Networks - PANs)
 - Redes de controladores (Controller Area Networks - CANs)
 - Redes locais (Local Area Networks - LANs)
 - Redes metropolitanas (Metropolitan Area Networks - MANs)
 - Redes regionais (Regional Area Networks - RANs)
 - Redes de longa distância (Wide Area Networks - WANs)
 - Redes de nuvens (Internet Area Networks - IANs)
 - Etc...

EEL878: Redes de Computadores 1 – Del-Poli/UFRJ

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

Comparação de LANs, MANs e WANs (fonte: Stallings)



Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes Pessoais (PAN)
 - Cobrem distâncias muito pequenas
 - Destinadas a uma única pessoa
 - Ex.: Bluetooth, ZigBee etc.

Por serem
comumente sem-fio
são chamadas
também de WPAN
(Wireless PAN)



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes Locais (LAN)
 - Cobrem pequenas distâncias
 - Um prédio ou um conjunto de prédios
 - Geralmente pertencentes a uma mesma organização
 - Taxa de transmissão da ordem de Mb/s
 - Pequenos atrasos de propagação
- Ex.: Ethernet, WiFi, etc.

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes Metropolitanas (MAN)
 - Cobrem grandes distâncias
 - Uma cidade
 - Ex.: rede baseada na TV a cabo

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

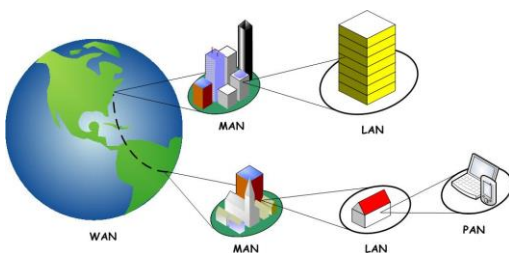
Como as Redes podem ser Classificadas?

- Redes de Longa Distância (WAN)
 - Cobrem distâncias muito grandes
 - Um país, um continente
 - Transmissão através de comutadores de pacotes interligados por enlaces dedicados
 - De um modo geral possuem taxas de transmissão menores que as das LANs
 - Atraso de propagação maiores do que das LANs
 - Ex.: ATM

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

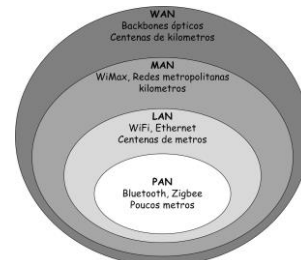
Como as Redes podem ser Classificadas?



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Segundo a topologia...
 - Estruturas físicas de interligação dos equipamentos da rede
 - Cada uma apresenta características próprias, com diferentes implicações quanto a...
 - Custo, Confiabilidade, Alcance
 - Tipos mais comuns
 - Malha, Estrela, Anel, Barramento, Híbridas

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha
 - Usada principalmente em redes de longa distância
 - Em geral as redes locais não usam a topologia em malha
 - Custo associado aos meios físicos é pequeno em redes locais
 - Complexidade da decisão de por onde enviar a mensagem aumenta o custo
 - Armazenamento e processamento de cada mensagem a cada nó intermediário aumenta o atraso e diminui a vazão

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

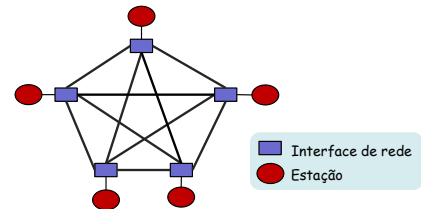
- Malha
 - Pode ser completa ou irregular

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha completa
 - Cada estação é conectada a todas as outras estações



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

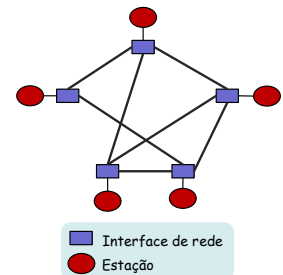
- Malha completa
 - Vantagens
 - Não há compartilhamento do meio físico
 - Não há necessidade de decisões de por onde encaminhar a mensagem (roteamento)
 - Desvantagem
 - Grande quantidade de ligações
 - Custo

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular
 - Topologia mais geral possível
 - Cada estação pode ser conectada diretamente a um número variável de estações



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular
 - Vantagem
 - Arranjo de interconexões pode ser feito de acordo com o tráfego
 - Pode escolher por onde enviar a mensagem
 - Para evitar congestionamento
 - Desvantagem
 - Necessita de decisão de encaminhamento

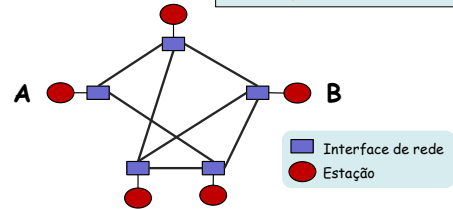
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular

Como A fala com B se não há um enlace direto?



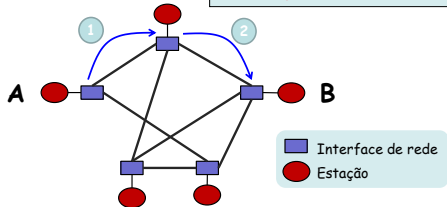
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Malha Irregular

Como A fala com B se não há um enlace direto?



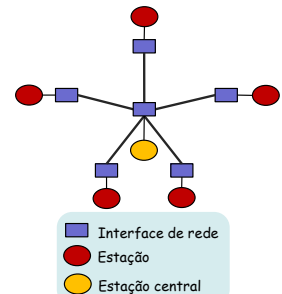
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Estrela

- Decisões de encaminhamento centralizadas em um nó
- Cada estação é conectada a esse nó central



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

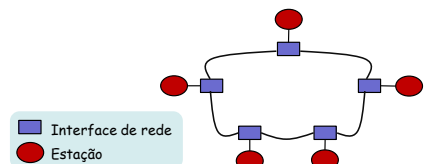
- Estrela
 - Vantagem
 - Boa para situações onde o fluxo de informações é centralizado
 - Desvantagens
 - Dependência de um nó centralizado pode ser uma desvantagem quando o fluxo não é centralizado
 - Problema de confiabilidade no nó central
 - Usada principalmente em redes locais

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Anel
 - Mensagens circulam nó-a-nó até o destino
 - Tem de reconhecer o próprio nome (endereço) nas mensagens e copiar as que lhe são destinadas



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Anel
 - Vantagens
 - Boa para situações onde o fluxo de informações não é centralizado
 - Não há necessidade de decisões de encaminhamento
 - Como não há armazenamento intermediário, pode-se obter um melhor desempenho de atraso e vazão

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

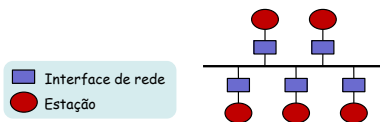
- Anel
 - Desvantagens
 - Necessita de mecanismos de acesso ao meio compartilhado
 - Confiabilidade da rede depende da confiabilidade individual dos nós intermediários
 - Usada principalmente em redes locais

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Barramento
 - Mensagens transferidas sem a participação dos nós intermediários
 - Todas as estações "escutam" as mensagens
 - Necessidade de reconhecer o próprio nome (endereço)



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Barramento
 - Vantagens
 - Não há necessidade de decisões de encaminhamento
 - Como não há armazenamento intermediário, pode-se obter um melhor desempenho em termos de atraso e vazão

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Barramento
 - Desvantagem
 - Necessita de mecanismos de acesso ao meio compartilhado
 - Usada principalmente em redes locais

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes podem ser Classificadas?

- Topologias híbridas
 - Existem ainda as configurações híbridas
 - Anel-estrela
 - Barramento-estrela
 - Estrela-anel
 - Árvore de barramentos



E a Internet, como poderia ser classificada?

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

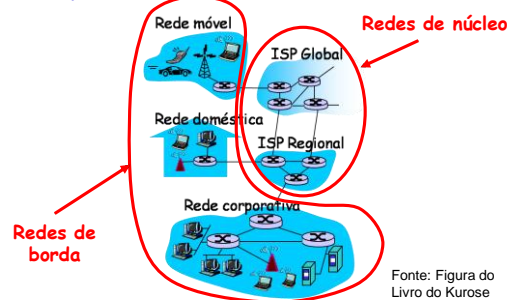
Como as Redes na Internet podem ser Classificadas?

- Rede complexa que combina outras redes:
 - Com diferentes extensões geográficas
 - Com diferentes topologias
- Muitas vezes, as redes são classificadas conforme o seu papel funcional
 - Redes de borda (ou redes periféricas)
 - Sistemas finais e redes de acesso
 - Redes de núcleo (ou redes de provedores de serviço)
 - Roteadores e redes dorsais (backbones)

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

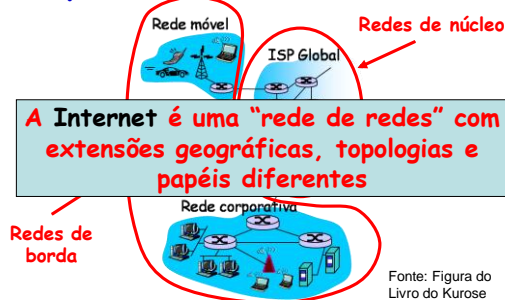
Como as Redes na Internet podem ser Classificadas?



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como as Redes na Internet podem ser Classificadas?



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Complexidade da Internet

- A Internet possui:
 - Muitos nós
 - Muitas aplicações com diferentes requisitos
 - Muitas tecnologias de rede
 - Muitos meios físicos
 - Etc.

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Serviços da Internet

- A Internet é uma infraestrutura de comunicação que provê serviços para aplicações
 - Basta que a aplicação siga um conjunto de regras
- Aplicações distribuídas
 - Web, e-mail, jogos, mensagens instantâneas, voz sobre IP (VoIP), compartilhamento de arquivos, etc.
- Serviços de comunicação de dados disponibilizados
 - Transferência confiável da origem até o destino
 - Transferência "melhor esforço" (não confiável)

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Redes de Borda

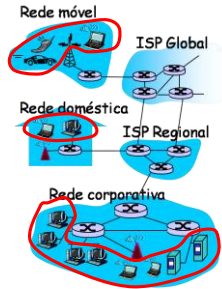
Estações finais e redes de acesso

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Redes de Borda

- Estações hospedeiras (*hosts*) ou sistemas finais
 - Sistemas finais: Encontram-se na borda da rede
 - Podem ser tanto clientes quanto servidores
 - Hospedeiros: Executam os programas de aplicação
 - ex., WWW, email



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Redes de Borda

- Modelo de comunicação entre estações finais:

- Modelo cliente/servidor
 - Cliente faz pedidos que são atendidos pelos servidores
 - Ex.: cliente Web (browser)/servidor e cliente/servidor de e-mail
- Modelo par-a-par (P2P)
 - Uso mínimo (ou nenhum) de servidores dedicados
 - Ex.: Skype, BitTorrent

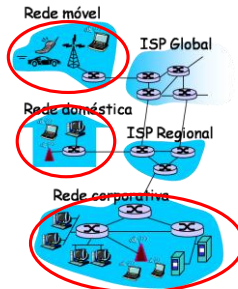


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Redes de Borda

- Redes de acesso
 - Conectam um sistema final ao primeiro roteador (roteador de borda)
 - Redes domiciliares
 - Redes de acesso corporativo
 - Redes de ensino e pesquisa
 - Redes de universidades
 - Etc.



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Acesso Ponto-a-Ponto

- Acesso discado via modem (*dialup*)
 - Acesso ao roteador do provedor de serviço em até 56 kb/s
 - Não é possível acessar a Internet e telefonar ao mesmo tempo
- DSL (*Digital Subscriber Line*)
 - Banda de até algumas dezenas de MHz
 - Algumas tecnologias possibilitam o uso da linha telefônica em paralelo
 - Taxas de até dezenas de Mb/s

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Redes Sem-Fio

- Tecnologia muito popular
 - Facilidade de instalação
 - Baixo custo
- Mobilidade
- Problema de segurança

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Redes Sem-Fio

- Propagação do sinal pelo ar
 - Atenuação significativa
 - Características do canal podem variar
 - Condições do tempo
 - Número de obstáculos entre o emissor e o receptor
 - Múltiplos caminhos
 - Ambiente hostil
 - Taxa de erro binária bem maior do que em uma rede Ethernet

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Redes Sem-Fio

- Ethernet
 - Colisões detectadas
- Redes sem-fio
 - Não usam detecção de colisão como no CSMA/CD
 - Grande diferença da potência entre o sinal transmitido e o sinal recebido
 - Difícil separação de sinal e ruído
 - Difícil separação do que é transmissão e o que é recepção no transmissor
 - Nem todas as estações escutam as outras
 - Atenuação grande e variável
 - Terminal escondido

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Redes Domiciliares

- Definição
 - "Sistema de comunicação que visa a interconexão de dispositivos encontrados em residências e que tem como objetivo a comunicação, o conforto, a economia de energia, a segurança, a assistência e o lazer"
- Duas correntes representadas por
 - Nova revolução através da automação residencial
 - Ex.: Casa inteligente (Jetsons)
 - Robôs, dispositivos ativados por comandos de voz etc.
 - Benefícios mais imediatos e práticos
 - Ex.: Compartilhamento de arquivos, recursos etc.

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Dispositivos Conectados

- Atualmente...
 - Computadores pessoais e seus periféricos
 - Televisores, vídeo-cassetes, aparelhos de DVD, telefones e outros eletrodomésticos
 - Sensores e câmeras
- No futuro
 - Inteligência embarcada para compartilhamento de dados a alta velocidade
 - Cidades Inteligentes e Internet das Coisas

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Aplicações de Redes Domiciliares

- Monitoramento, automação e controle
- Compartilhamento de equipamentos, recursos e **acesso à Internet**
- Comunicação
- Entretenimento

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Tecnologias de Redes Domiciliares

- Diversos produtos e tecnologias ofertados para oferecer recursos de rede e acesso à Internet
 - Diferentes requisitos de aplicações de redes domiciliares
 - Difícil prever qual solução melhor se adapta às redes domiciliares
- Três tipos de redes
 - Com fio
 - Sem fio
 - Sem novos fios

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Tecnologias de Redes Domiciliares

- Com fio
 - Ethernet é a solução convencional
 - Maioria das casas não possui o cabeamento necessário
 - Custo de instalação do cabeamento é alto
- Sem fio
 - Enorme sucesso comercial
 - Problemas de desempenho, cobertura, garantia de qualidade de serviço e segurança

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Tecnologias de Redes Domiciliares

- Sem novos fios
 - Uso de uma infraestrutura já existente
 - TV a cabo
 - Home Cable Network Alliance criada em 2001
 - Falta de previsão para a criação de um padrão para redes domiciliares
 - Telefônica
 - Home Phoneline Alliance criada em 1998
 - Padrão HomePNA
 - Elétrica
 - HomePlug Powerline Alliance criada em 2000
 - Padrão HomePlug

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Redes de Núcleo

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Sistema Autônomos (ASes)

- Conjunto de redes e roteadores administrados por um grupo ou uma instituição comum
 - Cada instituição escolhe o seu próprio protocolo de roteamento interno
 - Protocolo intradomínio
 - Todas as instituições executam o mesmo protocolo de roteamento externo
 - Protocolo interdomínio



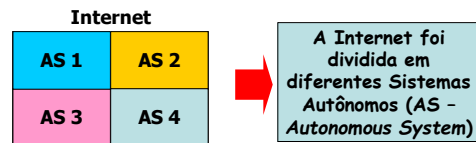
O uso de um protocolo interdomínio comum é um requisito para que todos os Sistemas Autônomos mantenham conectividade

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Crescimento da Internet

- A Internet cresceu aceleradamente
 - Maior complexidade de gerenciamento e administração
 - Atualizações de topologia se tornaram mais frequentes



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Internet: "Rede de Redes"

- Composta por diferentes redes interconectadas
 - Protocolo de interconexão: IP



Classificação dos ASes

- Feita a partir da posição na topologia da Internet



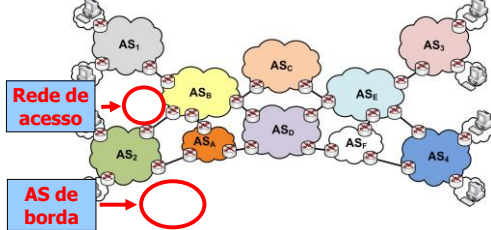
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Classificação dos ASes

- ASes de borda ou provedores de acesso
 - Tarifam os usuários pelo acesso à Internet

• Os usuários se localizam nas redes de acesso (redes stub)



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Classificação dos ASes

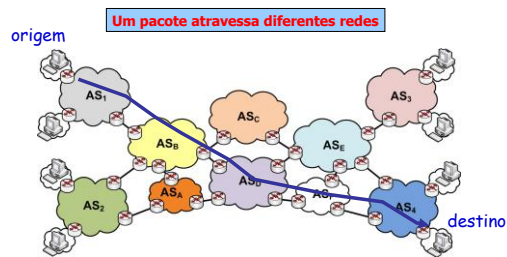
- ASes de trânsito
 - Não estão diretamente conectados a usuários
 - Encaminham dados entre ASes
 - Os ASes estabelecem acordos comerciais com os seus vizinhos
 - Responsáveis pelos ASes → ISP (Internet Service Provider)



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

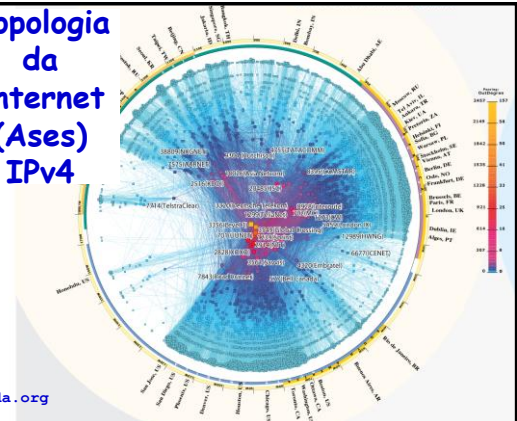
"Rede de Redes"



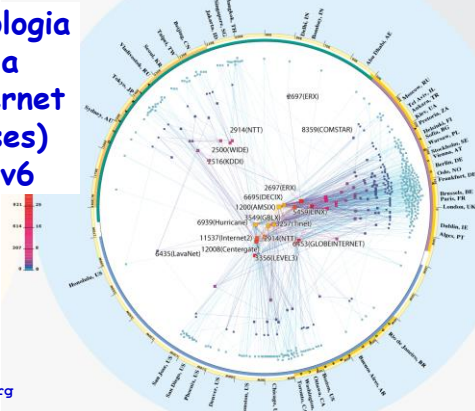
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Topologia da Internet (Ases) IPv4

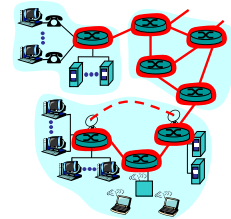


Topologia da Internet (Ases) IPv6



Transferência de Dados

- Núcleo da rede
 - Malha de roteadores interconectados
- Como os dados são transferidos através da rede?
 - Comutação de circuitos
 - Circuito dedicado por chamada: rede telefônica
 - Comutação de pacotes
 - Dados são enviados através da rede em pedaços discretos



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Transferência de Dados

- Núcleo da rede
 - Malha de roteadores interconectados
- Como os dados são transferidos através da rede?



A Internet é uma rede de comutação de pacotes

- Comutação de circuitos
 - Circuito dedicado
- Comutação de pacotes
 - Dados são enviados através da rede em pedaços discretos

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Métricas

Avaliação do desempenho de uma rede

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

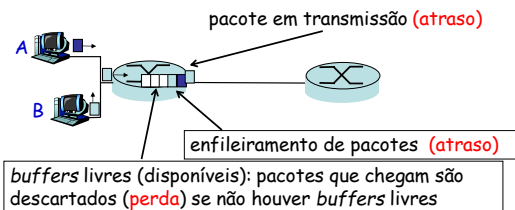
Como Ocorrem Perdas e Atrasos?

- Pacotes são enfileirados nos *buffers* de um elemento encaminhador (ex. roteador)
 - Taxa de chegada ao elemento encaminhador é maior do que a capacidade de encaminhamento
 - Enlace de saída tem largura de banda menor que a necessária
 - Congestionamento na rede do enlace de saída
 - Problemas no hardware do encaminhador
- Caso os pacotes sejam enfileirados:
 - Eles devem esperar a vez

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Como Ocorrem Perdas e Atrasos?

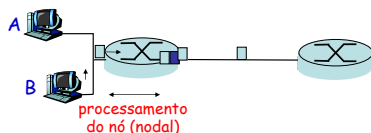


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

1. Processamento do nó
 - Verificação de bits errados
 - Identificação do enlace de saída

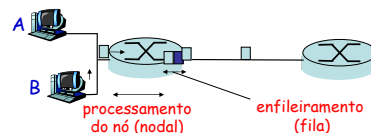


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

2. Enfileiramento
 - Tempo de espera no enlace de saída até a transmissão
 - Depende do nível de congestionamento do roteador

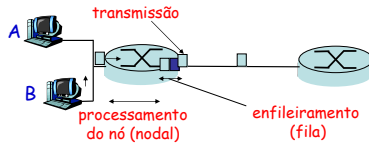


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 3. Atraso de transmissão
 - R =largura de banda do enlace (bits/s)
 - L =comp. do pacote (bits)
 - tempo para enviar os bits no enlace = L/R

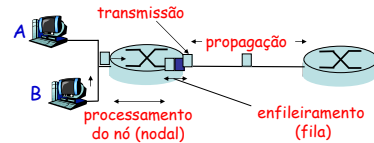


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 4. Atraso de propagação
 - d =comprimento do enlace
 - s =vel. de propagação no meio ($\sim 2 \times 10^8$ m/s)
 - atraso de propagação= d/s



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Atraso por Nó

$$d_{\text{nó}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{fila}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

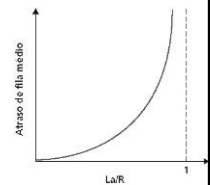
- d_{proc} = atraso de processamento
 - Tipicamente de poucos microsecs ou menos
- d_{fila} = atraso de enfileiramento
 - Depende do congestionamento
- d_{trans} = atraso de transmissão
 - L/R , significativo para canais de baixa velocidade
- d_{prop} = atraso de propagação
 - Poucos microsecs a centenas de msecs

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Atraso de Enfileiramento

- Considerando que:
 - R =larg. de banda do enlace (bits/s)
 - L =compr. do pacote (bits)
 - a =tx. média de chegada de pacotes



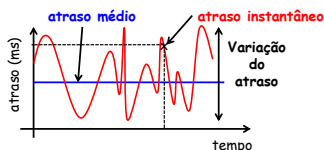
- Intensidade de tráfego = La/R
 - $La/R \sim 0$: Pequeno atraso de enfileiramento
 - $La/R \rightarrow 1$: Grande atraso
 - $La/R > 1$: Chega mais "trabalho" do que a capacidade de atendimento, atraso médio infinito!

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Jitter

- Variação do atraso dos pacotes de um mesmo fluxo de dados
 - Prejudicial principalmente para aplicações multimídia, ex. streaming de vídeo
 - **Players: Removem jitter com armazenamento em buffer**



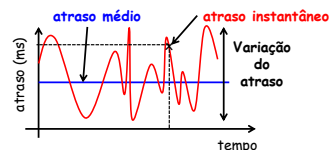
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Jitter

- Variação do atraso dos pacotes de um mesmo fluxo de dados
 - Pode ser calculado como desvio padrão do atraso: jitter

$$= \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

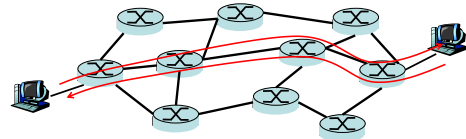
Tempo de Ida e Volta

- Calcular atraso fim-a-fim é complexo
 - Requer sincronismo de relógios entre origem e destino
- Tempo de ida e volta (RTT - Round Trip Time)
 - Tempo que um pacote leva para chegar no destino e voltar até a origem
 - Calculado somente pelo nó de origem
 - Problema de sincronismo é evitado

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Tempo de Ida e Volta



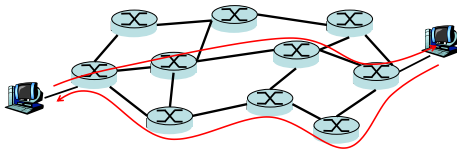
$$RTT = \text{ } + \text{ }$$

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Tempo de Ida e Volta

- Atraso fim-a-fim $\cong RTT/2$
 - Ida e volta podem passar por caminhos diferentes



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Tempo de Ida e Volta

- Ferramenta ping:
 - Apresenta o RTT para um dado destino

```
Linux-> ping -c 10 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.143) 56(84) bytes of data:
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=1 ttl=51 time=2.05 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=2 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=3 ttl=51 time=1.71 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=4 ttl=51 time=2.85 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=5 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=6 ttl=51 time=1.67 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=7 ttl=51 time=1.73 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=8 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=9 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from rio01s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=10 ttl=51 time=1.85 ms
...
... www.google.com.br ping statistics ...
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9015ms
rtt min/avg/max/ndev = 1.679/1.883/2.859/0.345 ms
```

RTT médio foi calculado baseado em 10 amostras

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Traceroute/Tracert

- Fornece medições de RTT da fonte até cada um dos roteadores ao longo do caminho até o destino
 - Envia três pacotes que alcançarão o roteador i no caminho até o destino
 - O roteador i devolverá um pacote de erro até o transmissor
 - O transmissor calcula o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão e a chegada da resposta

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Traceroute/Tracert



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Traceroute/Tracert

```

Linux ~# traceroute www.google.com.br
traceroute to www.google.com.br (172.16.42.152), 30 hops max, 60 byte packets
 0  192.168.1.1 (192.168.1.1)  0.362 ms  0.363 ms  0.417 ms
 1  100.64.6.130 (100.64.6.130)  0.034 ms  0.034 ms  0.032 ms
 2  100.64.6.130 (100.64.6.130)  1.809 ms  1.974 ms  1.979 ms
 3  172.16.42.152 (172.16.42.152)  2.028 ms  2.028 ms  2.096 ms
 4  100.64.6.130 (100.64.6.130)  0.034 ms  0.034 ms  0.032 ms
 5  100.64.6.130 (100.64.6.130)  0.034 ms  0.034 ms  0.032 ms
 6  100.64.6.130 (100.64.6.130)  0.034 ms  0.034 ms  0.032 ms
 7  100.64.6.130 (100.64.6.130)  0.034 ms  0.034 ms  0.032 ms
 8  100.64.6.130 (100.64.6.130)  0.034 ms  0.034 ms  0.032 ms
 9  100.64.6.130 (100.64.6.130)  0.034 ms  0.034 ms  0.032 ms
10  100.64.6.130 (100.64.6.130)  0.034 ms  0.034 ms  0.032 ms
11  100.64.6.130 (100.64.6.130)  0.034 ms  0.034 ms  0.032 ms
12  100.64.6.130 (100.64.6.130)  0.034 ms  0.034 ms  0.032 ms

```

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

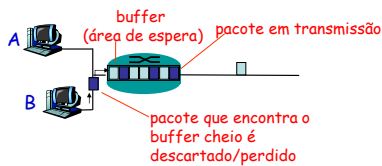
Perda de Pacotes

- Fila (*buffer*) anterior a um enlace possui capacidade finita
- Quando um pacote chega numa fila cheia, o pacote é descartado (*perdido*)
- O pacote perdido pode ser retransmitido pelo nó anterior, pelo sistema origem, ou não ser retransmitido

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Perda de Pacotes



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Perda de Pacotes

- Ferramenta *ping*:
 - Apresenta descontinuidade nos números de sequência quando pacotes são perdidos

```

Linux ~# ping -c 20 www.google.com.br
ping: www.google.com.br: (172.16.42.152): 56(84) bytes of data:
0: 0.000 ms: 100% 1: 0.000 ms: 100% 2: 0.000 ms: 100% 3: 0.000 ms: 100% 4: 0.000 ms: 100% 5: 0.000 ms: 100% 6: 0.000 ms: 100% 7: 0.000 ms: 100% 8: 0.000 ms: 100% 9: 0.000 ms: 100% 10: 0.000 ms: 100% 11: 0.000 ms: 100% 12: 0.000 ms: 100% 13: 0.000 ms: 100% 14: 0.000 ms: 100% 15: 0.000 ms: 100% 16: 0.000 ms: 100% 17: 0.000 ms: 100% 18: 0.000 ms: 100% 19: 0.000 ms: 100% 20: 0.000 ms: 100%
--- www.google.com.br ping statistics ---
20 packets transmitted: 10 received: 0% packet loss, time 1001 ms
rtt min/avg/max = 0.000/0.000/0.000 ms

```

Taxa de perda (T_p) foi calculada baseado em 20 amostras. Para encontrar a taxa de entrega (T_e) basta subtrair a taxa de perda de 1, sendo assim:
 $T_e = 1 - T_p = 55\%$

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

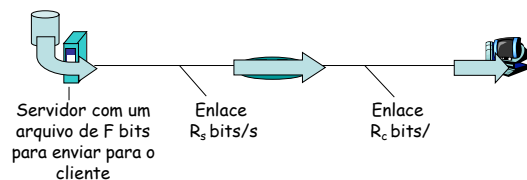
Vazão (Throughput)

- Taxa na qual os bits são transferidos entre o transmissor e o receptor
 - Dada em bits/unidade de tempo
 - Instantânea: taxa num certo instante de tempo
 - Média: taxa num intervalo de tempo

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

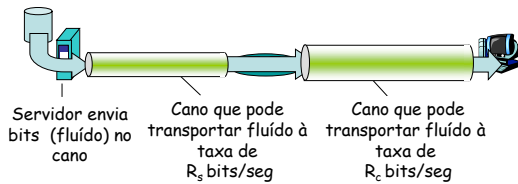
Vazão (Throughput)



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Vazão (Throughput)



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

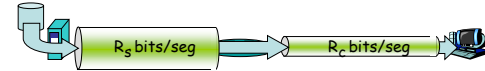
Professor Miguel Campista

Vazão (Throughput)

- $R_s < R_c$: Qual é a vazão média fim-a-fim?



- $R_s > R_c$: Qual é a vazão média fim-a-fim?

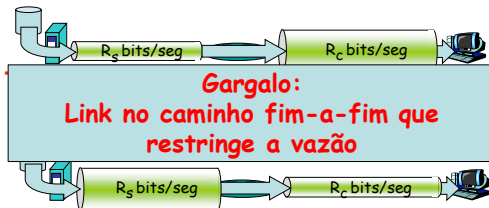


CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Vazão (Throughput)

- $R_s < R_c$: Qual é a vazão média fim-a-fim?



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Vazão (Throughput)

- Ferramenta ping:
 - Como calcular a vazão no exemplo abaixo?

```
linhas-> ping -c 10 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.143) 56(84) bytes of data:
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=1 ttl=51 time=2.05 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=2 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=3 ttl=51 time=1.71 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=4 ttl=51 time=2.05 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=5 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=6 ttl=51 time=1.67 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=7 ttl=51 time=1.73 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=8 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=9 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=10 ttl=51 time=1.85 ms

... www.google.com.br ping statistics ...
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9015ms
rtt min/avg/max/ndev = 1.679/1.883/2.050/0.345 ms
```

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Vazão (Throughput)

- Ferramenta ping:
 - Como calcular a vazão no exemplo abaixo?

```
linhas-> ping -c 10 www.google.com.br
PING www.google.com.br (173.194.42.143) 56(84) bytes of data:
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=1 ttl=51 time=2.05 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=2 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=3 ttl=51 time=1.71 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=4 ttl=51 time=2.05 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=5 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=6 ttl=51 time=1.67 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=7 ttl=51 time=1.73 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=8 ttl=51 time=1.72 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=9 ttl=51 time=1.77 ms
64 bytes from r1001s05-in-f15.1e100.net (173.194.42.143): icmp_req=10 ttl=51 time=1.85 ms

... www.google.com.br ping statistics ...
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9015ms
rtt min/avg/max/ndev = 1.679/1.883/2.050/0.345 ms
```

Vazão = $10 \times 64 \times 8 / 9,015 = 567,9 \text{ bits/s}$

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Exercícios

- Execute o comando `iperf` para o endereço `127.0.0.1` e calcule a vazão
 - Comando no servidor:
 - `iperf -s`
 - Comando no cliente
 - `iperf -c 127.0.0.1`

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Exercícios

- Execute o comando `iperf` para o endereço `127.0.0.1` e calcule a vazão, *usando agora uma rajada UDP*
 - Comando no servidor:
 - `iperf -s -u`
 - Comando no cliente
 - `iperf -c 127.0.0.1 -u`

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Exercícios

- Execute o comando `iperf` para o endereço `127.0.0.1` e calcule a vazão, *usando agora uma rajada UDP e intervalo de 2 segundos entre relatórios*
 - Comando no servidor:
 - `iperf -s -u`
 - Comando no cliente
 - `iperf -c 127.0.0.1 -u -i 2`

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Camadas de Protocolos e Modelos de Serviços

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Arquitetura em Camadas

- Reduzir a complexidade do projeto de uma rede de comunicação
 - Cada camada
 - Provê um **serviço** para as camadas superiores
 - "Esconde" das camadas superiores como o serviço é implementado
 - Criar um pilha de camadas
 - Número de camadas
 - Nome de cada camada
 - Função de cada camada
- Podem ser diferentes para cada rede

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

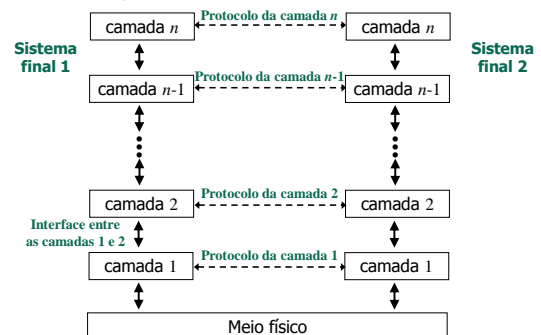
Por Que Dividir em Camadas?

- Lidar com sistemas complexos
 - Estrutura explícita permite a identificação e relacionamento entre as partes do sistema complexo
 - Modularização facilita a manutenção e atualização do sistema
 - Mudança na implementação do serviço da camada é transparente para o resto do sistema

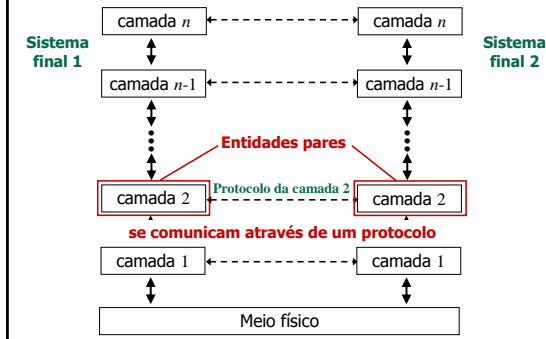
CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

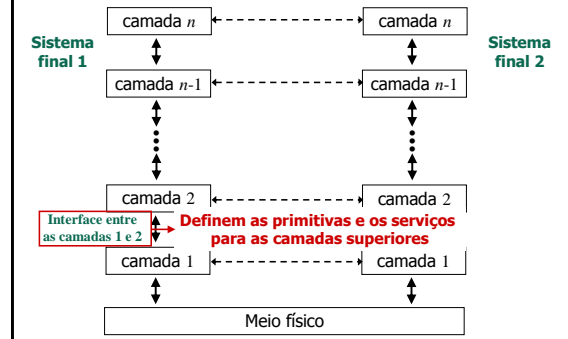
Arquitetura em Camadas



Arquitetura em Camadas



Arquitetura em Camadas



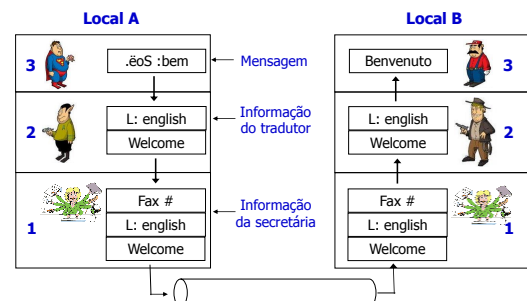
Mais Conceitos

- Arquitetura de rede
 - Conjunto de protocolos e camadas
- Pilha de protocolos
 - Lista de protocolos usados por um sistema

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

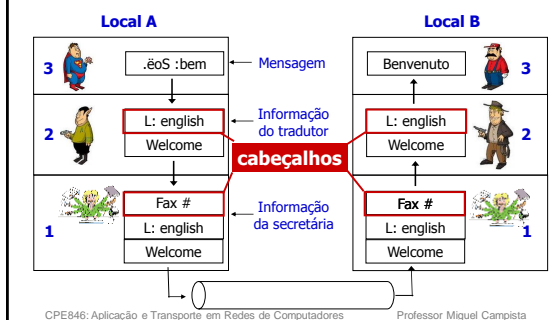
Comunicação Multicamadas



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Comunicação Multicamadas



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Arquiteturas de Rede

- Duas mais importantes
 - Modelo de referência OSI
 - Modelo TCP/IP

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

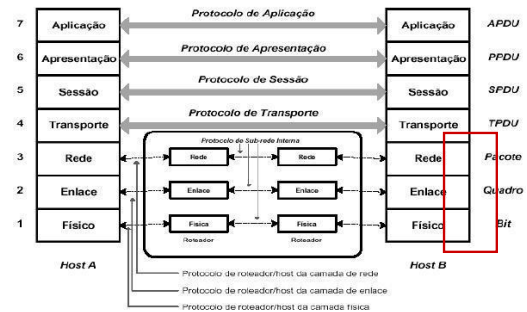
Modelo OSI

- OSI: *Open Systems Interconnection*
- Proposto pela ISO (*International Standards Organization*)
 - Década de 70
- **Sete camadas**
 1. Física
 2. Enlace
 3. Rede
 4. Transporte
 5. Sessão
 6. Apresentação
 7. Aplicação

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Modelo OSI



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Modelo OSI

- **Prós:** bastante geral e continua válido até hoje
- **Contras:** protocolos associados ao modelo OSI são raramente usados
- **Críticas**
 - Complexidade
 - Cada camada deve desempenhar a sua função antes de encaminhar os dados para a camada seguinte
 - Rigidez de modelagem
 - Camadas diferentes não devem compartilhar informações
 - Mesmos serviços implementados por diferentes camadas
 - Ex.: correção de erros

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

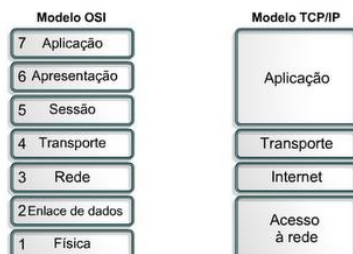
Modelo TCP/IP

- Década de 80
- **Cinco/Quatro camadas**
 1. Física
 2. Enlace
 3. Rede
 4. Transporte
 5. Aplicação

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Modelo TCP/IP



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Modelo TCP/IP

- **Prós:** protocolos associados ao modelo TCP/IP são amplamente usados
- **Contras:** camadas mais "restritas" do que no OSI
- O modelo OSI é apenas um modelo de referência
- O modelo TCP/IP define os protocolos para cada camada

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Camadas do Modelo TCP/IP

- **Aplicação**
 - Suporte para aplicações de rede
 - **Mensagens**
 - Exs.: HTTP, SMTP, FTP, etc.
- **Transporte**
 - Comunicação **fim-a-fim**
 - **Transferência de dados entre sistemas finais**
 - **Segmentos**
 - Exs.: TCP, UDP

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Camadas do Modelo TCP/IP

- **Rede**
 - Encaminhamento e roteamento*
 - **Datagramas**
 - Ex.: IP
- **Enlace**
 - Comunicação **salto-a-salto**
 - **Transferência de dados entre elementos de rede vizinhos**
 - **Quadros**
 - Exs.: Ethernet, PPP, WiFi, etc.

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

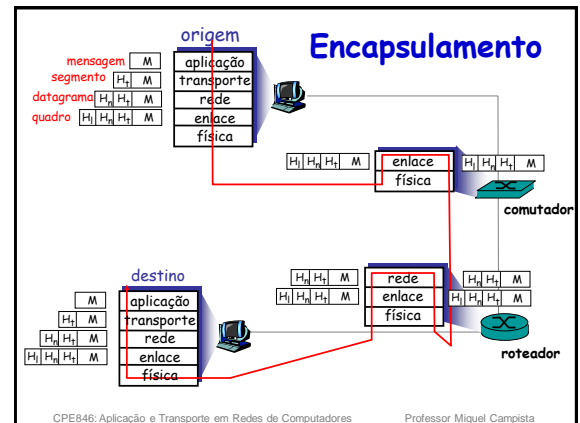
Professor Miguel Campista

Camadas do Modelo TCP/IP

- **Física**
 - Transmissão dos bits "no fio"
 - Modulação e codificação

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista



CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Material Utilizado

- Notas de aula do Prof. Igor Monteiro Moraes, disponíveis em <http://www2.ic.uff.br/~igor/cursos/redespg>

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista

Leitura Recomendada

- Capítulo 1 do Livro "Computer Networking: A Top Down Approach", 5a. Ed., Jim Kurose and Keith Ross, Editora Pearson, 2010
- Capítulo 1 e 2 do Livro "Computer Networks", Andrew S. Tanenbaum e David J. Wetherall, 5a. Edição, Editora Pearson, 2011
- 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", em Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC' 2010, pp. 47-101, Gramado, RS, Brazil, Maio de 2010.

CPE846: Aplicação e Transporte em Redes de Computadores

Professor Miguel Campista