



Introdução às redes móveis

Daniel Corujo, dcorujo@ua.pt
Francisco Fontes, fontes@ua.pt
2023/2024



Tendências em comunicações

- A atual indústria de telecomunicações tem sido o resultado de diferentes tendências nos últimos 40 anos:
 - A saturação do mercado telefônico, no final da década de 80
 - A maioria do mundo dos dados, no início dos anos 90
 - A difusão da mobilidade, em meados dos anos 90.
 - IP (Internet) é obrigatório, nos anos 2000
 - Dados em todos os lugares, em 10 segundos
 - Mundo digital, começando no início dos anos 10

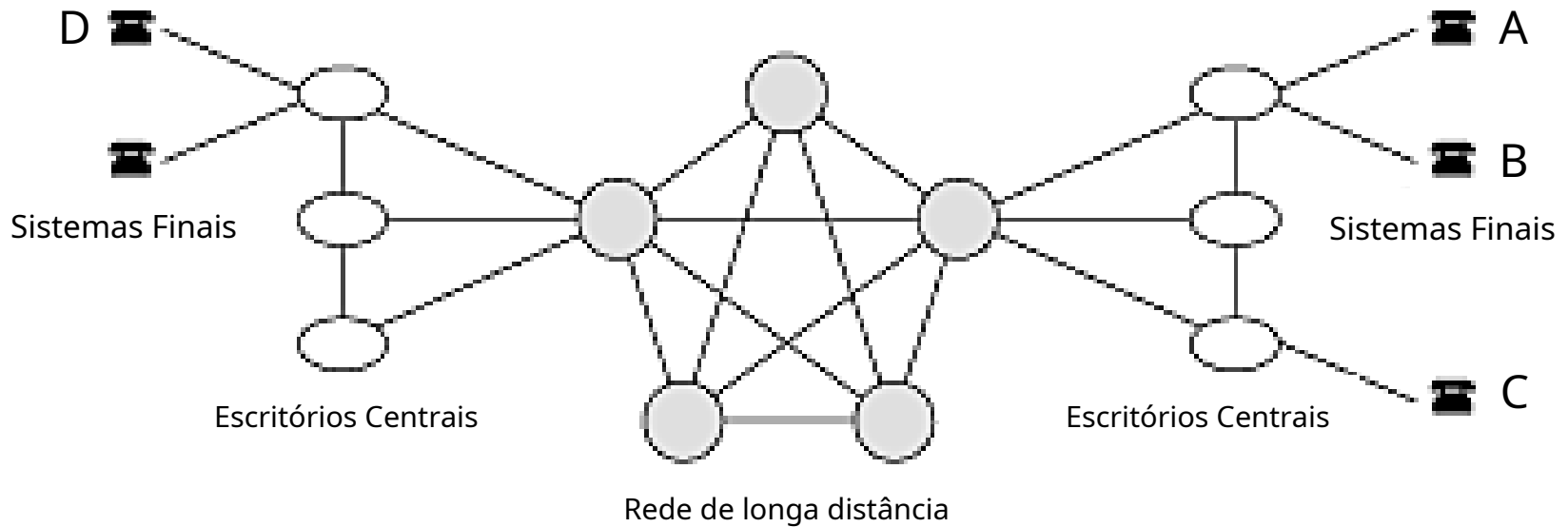


A rede de comunicação

Antes das Comunicações Móveis, ali onde as Comunicações Fixas



Sistema telefônico

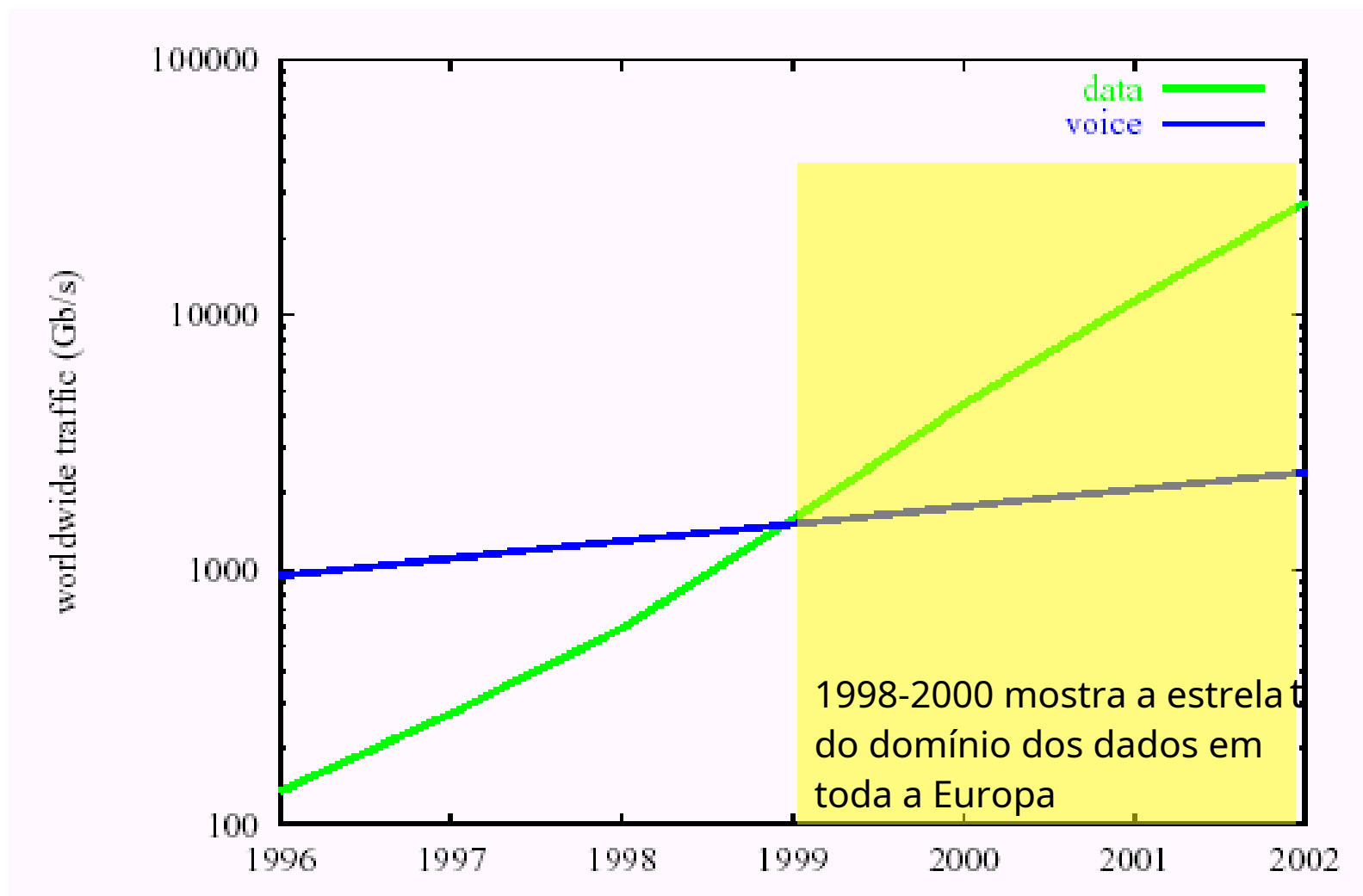


- Utiliza circuitos comutados (virtuais...)
- Acesso através de circuitos de baixa largura de banda
- “estabelecimento de chamadas “out-of-band” utilizando sistema de sinalização baseado em pacotes (SS7)
- Canais entre centrais de comutação transportam múltiplas chamadas
 - Multiplexação (analógica ou digital)





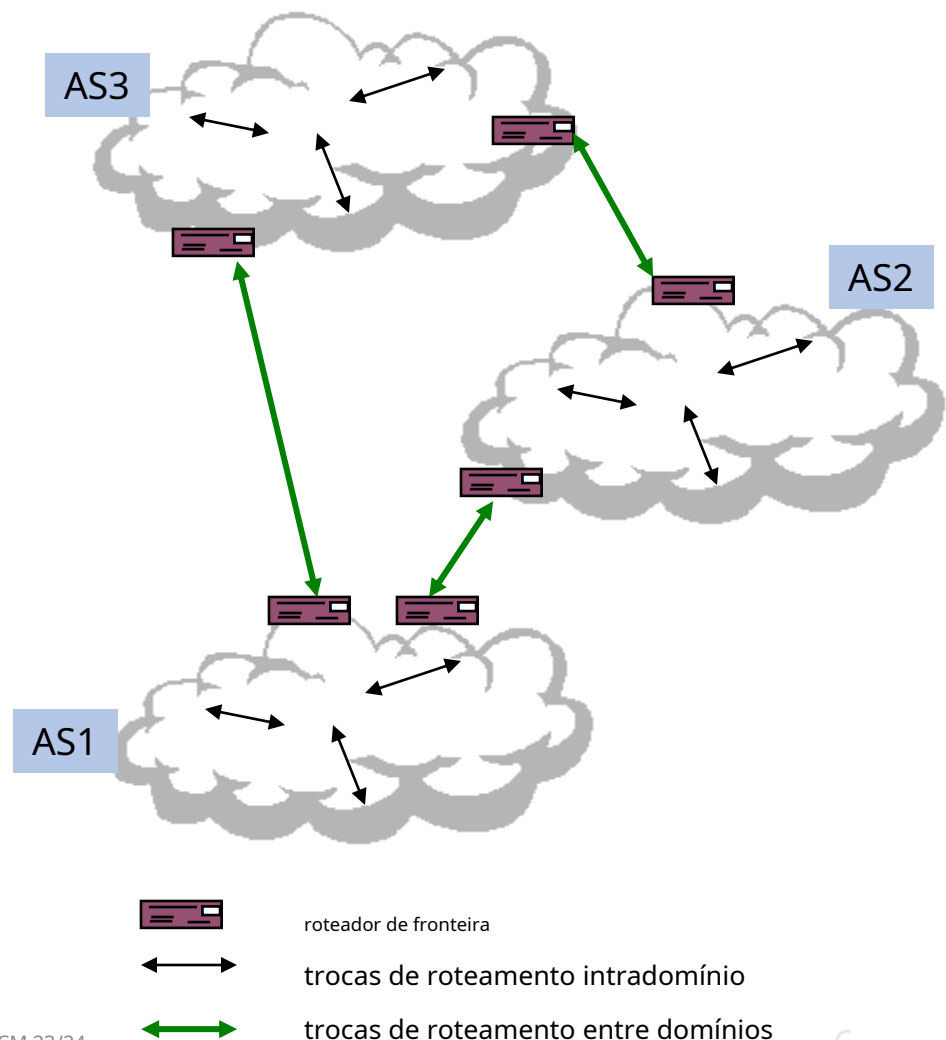
Evolução: Voz vs Dados





Estrutura da Internet

- As fronteiras administrativas definem
 - **Sistemas Autônomos (AS)**
 - **Roteamento intradomínio**
 - Políticas internas individuais
 - Pode usar métricas diferentes entre domínios
 - protocolos: RIPv2, OSPFv2
 - **Interconexões AS**
 - **Roteamento entre domínios**
 - Informações de conectividade
 - Protocolos: BGP



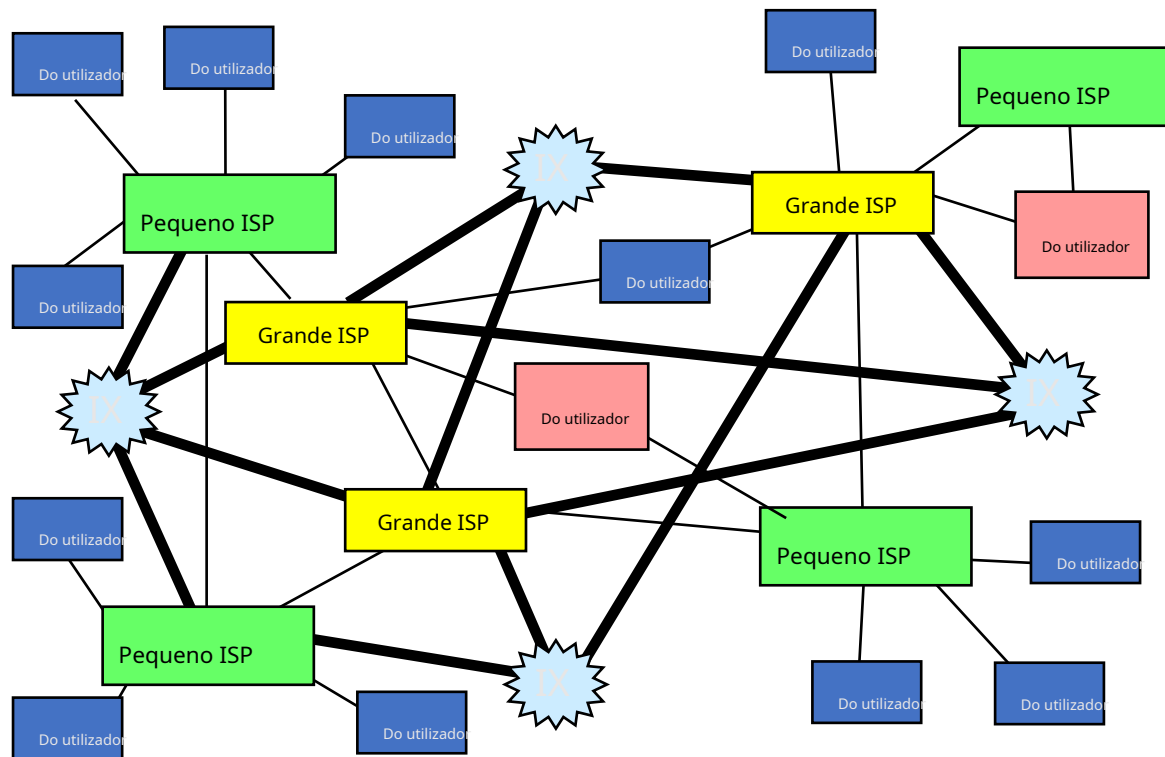


Internet: atualmente

- Conjunto auto-organizado de componentes autônomos interconectados
 - Mais de 60.000 domínios autônomos (com mais de 100 mil números atribuídos)
 - A garantia única está executando o TCP-IP
 - Funciona por comutação de pacotes
 - Mais de 340 milhões de domínios registrados (URL)!
- Tráfego comercial maior que o não comercial
 - Crescimento exponencial em todos os números (número de usuários, tráfego)
- Diferentes máquinas (redes) podem oferecer diferentes serviços
 - Cada usuário pode selecionar o que usa
- Somente mídia bidirecional que suporta comunicações
 - Um para um (unicast, por exemplo, email); um para muitos (multi-cast, por exemplo, notícias eletrônicas)
- NB: As redes de Internet são operadas de forma AUTÔNOMA
 - Depois de se conectar à Internet, a rede **torna-se PARTE da Internet**



Estrutura real



- Aparentemente hierárquico
 - ISP principal presta serviços cada vez mais ISPs menores
 - ISPs menores eventualmente fornecendo serviços aos usuários finais.
- Mas a hierarquia não é respeitada
 - Contratos de conexão privada
 - Mecanismos de melhoria da rede
 - Todas as empresas prestam serviços a (alguns) usuários
 - Provedores de serviços se conectam a vários provedores de conexão
 - Os usuários se conectam a vários ISPs



“Dados vs voz”: comutação de pacotes vs comutação de circuitos

A comutação de pacotes resolve tudo?

- Ótimo para informações de explosão
 - Compartilhamento de recursos
 - Sem tempo de configuração de chamada
- Quando congestionamento excessivo: atrasos e perdas
 - Precisa de protocolos de transferência de dados confiáveis
- Fornecendo serviços de comutação de circuitos?
 - Para aplicações multimídia precisamos de largura de banda e atraso
 - Problema ainda não completamente resolvido



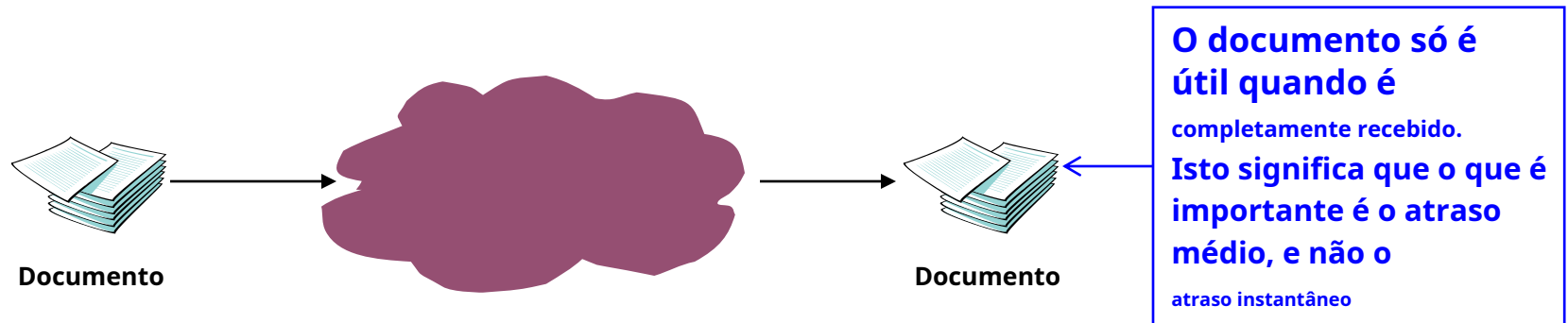
Serviço de transporte (operador/ISP) vs aplicativos

- Perda de pacotes
 - Alguns aplicativos (áudio/vídeo em tempo real) lidam com perdas
 - Outras aplicações (transferência de arquivos, telnet) exigem 100% de sucesso na transmissão
- Largura de banda
 - Algumas aplicações (multimídia) precisam de uma largura de banda mínima para serem eficazes
 - Outros aplicativos (“aplicativos elásticos”, ex. e-mail, transferência de arquivos) usam a largura de banda disponível
- Tempo
 - Algumas aplicações (voz na Internet, jogos multiusuário) exigem atrasos baixos para serem eficazes
 - Outras aplicações (sem requisitos de tempo real) não possuem atrasos rigorosos de ponta a ponta.



Operações elásticas (desempenho):

Todo o tráfego não tem os mesmos requisitos

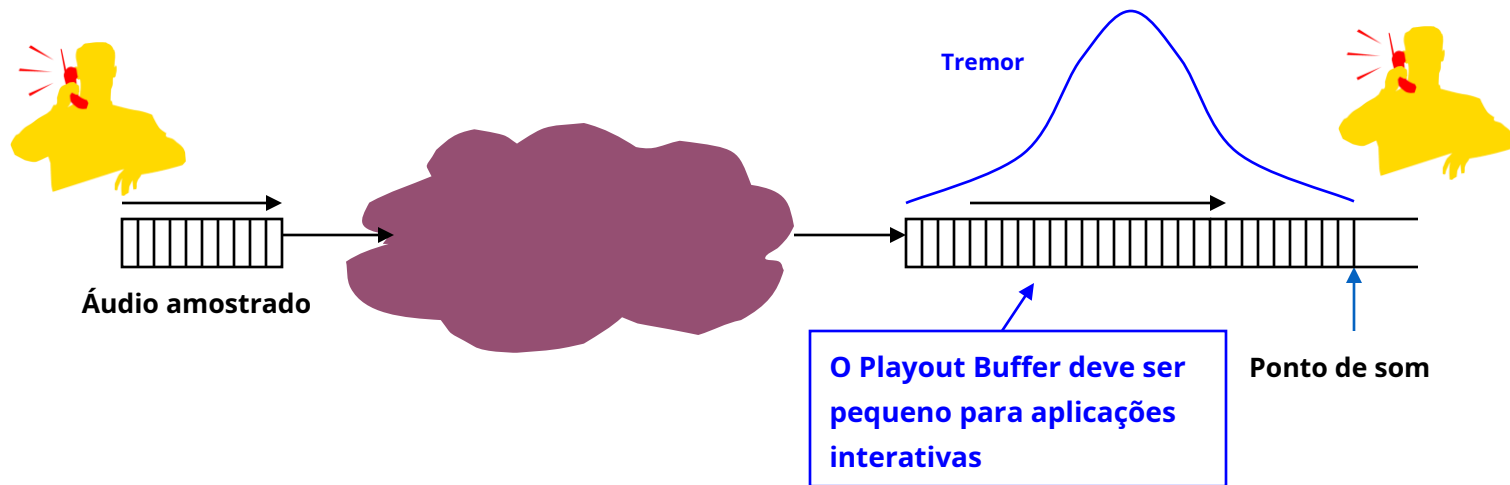


• Aplicações elásticas

- Transferência interativa de dados (por exemplo, HTTP, FTP)
 - Sensível ao atraso médio, não a ocorrências raras
- Transferência de dados em massa (por exemplo, correio, notícias)
 - Não é sensível a atrasos
 - O melhor esforço funciona...



Aplicações inelásticas



- Aplicativos interativos

- Sensível ao atraso de pacotes (telefonia, jogos)
- O atraso máximo pode ser limitado

- Aplicativos não interativos

- Adapte-se a intervalos maiores de atrasos (streaming de áudio, vídeo)



Requisitos de aplicação

Perdas de aplicações		PN	Tempo
Transferência de arquivo	sem perdas	elástico	não
e-mail	sem perdas	elástico	não
Documentos da web	sem perdas	elástico	não
Áudio/vídeo em tempo real	apoia	áudio: 5K-1Mbps de 100:10K-5Mbps	sim, vídeo ms
Áudio/vídeo transmitido	apoia	Veja acima	sim, alguns segundos
Jogos interativos	apoia	Alguns Kbps	sim, 100 ms
Aplicações financeiras	sem perdas	elástico	sim e não

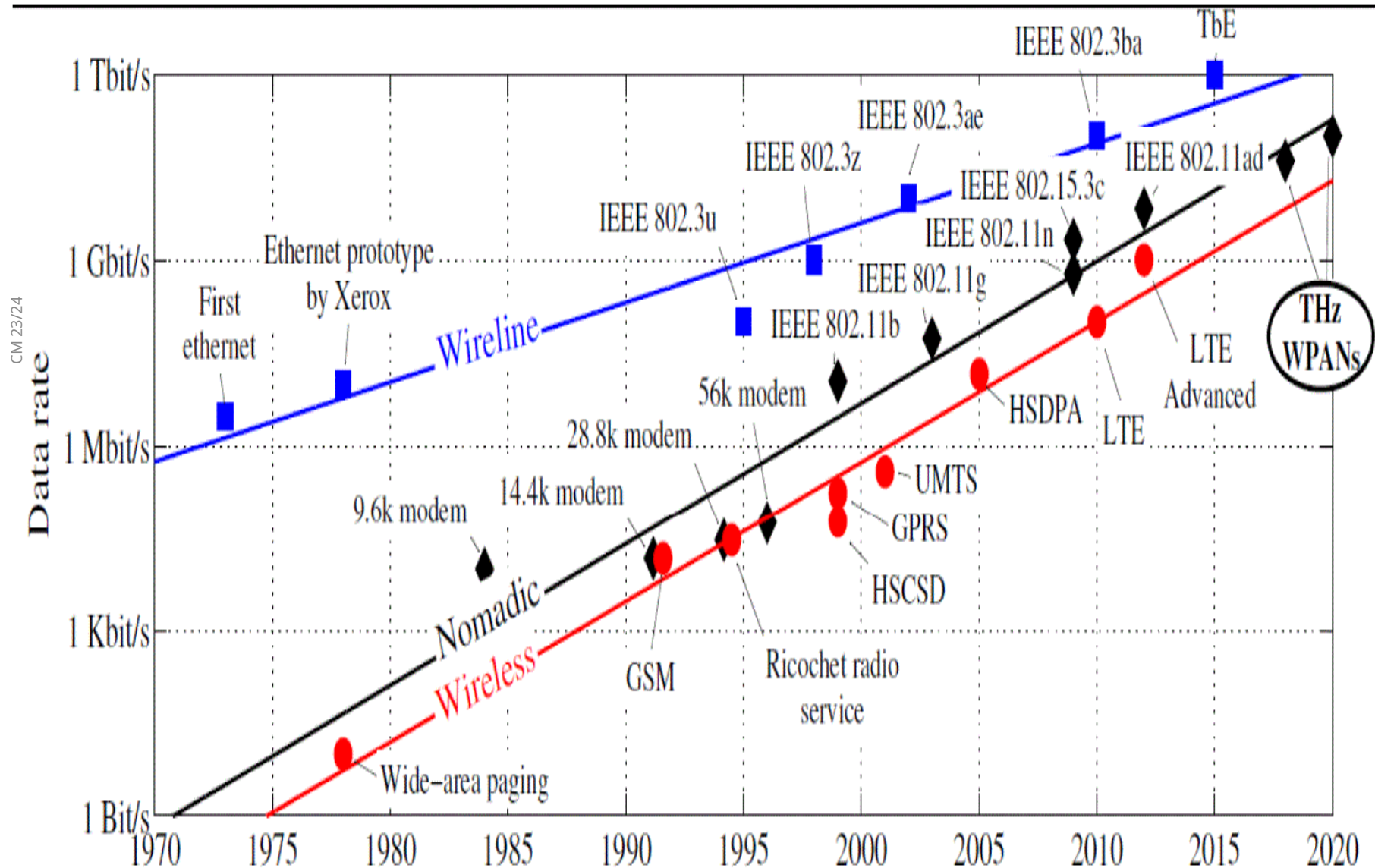


A rede móvel

Motivações econômicas e sociais



Lei de Edholm

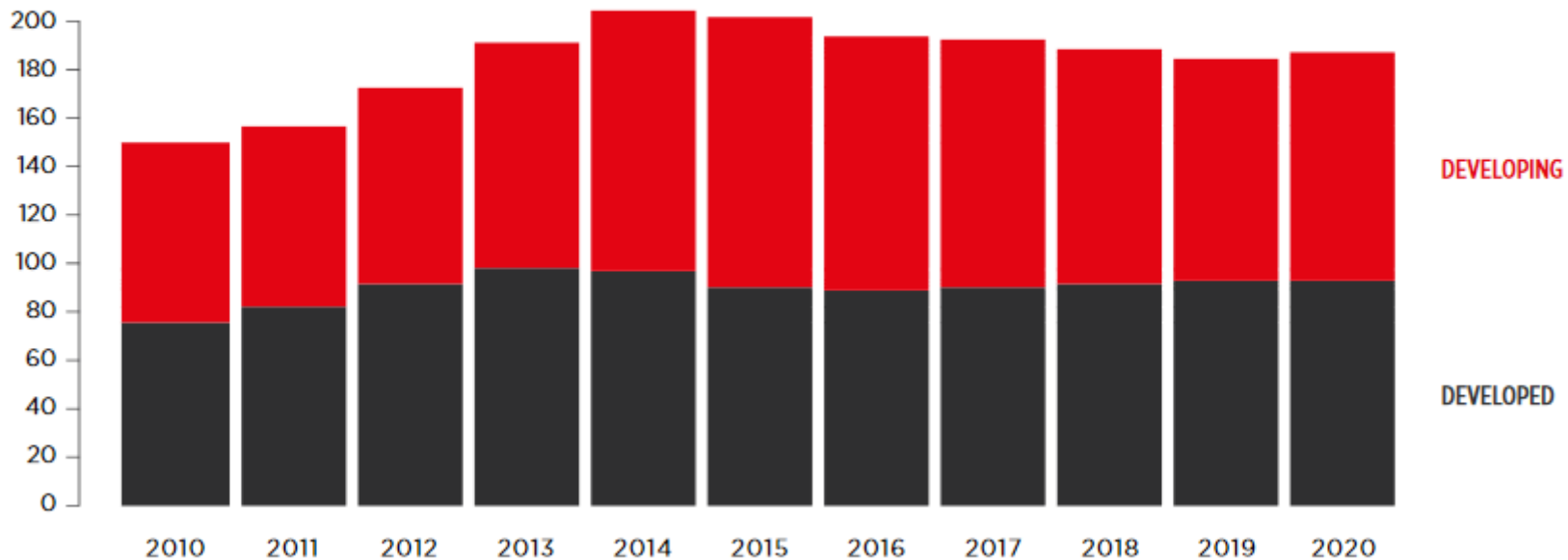




Custo do investimento em telecomunicações

Global mobile operator capex

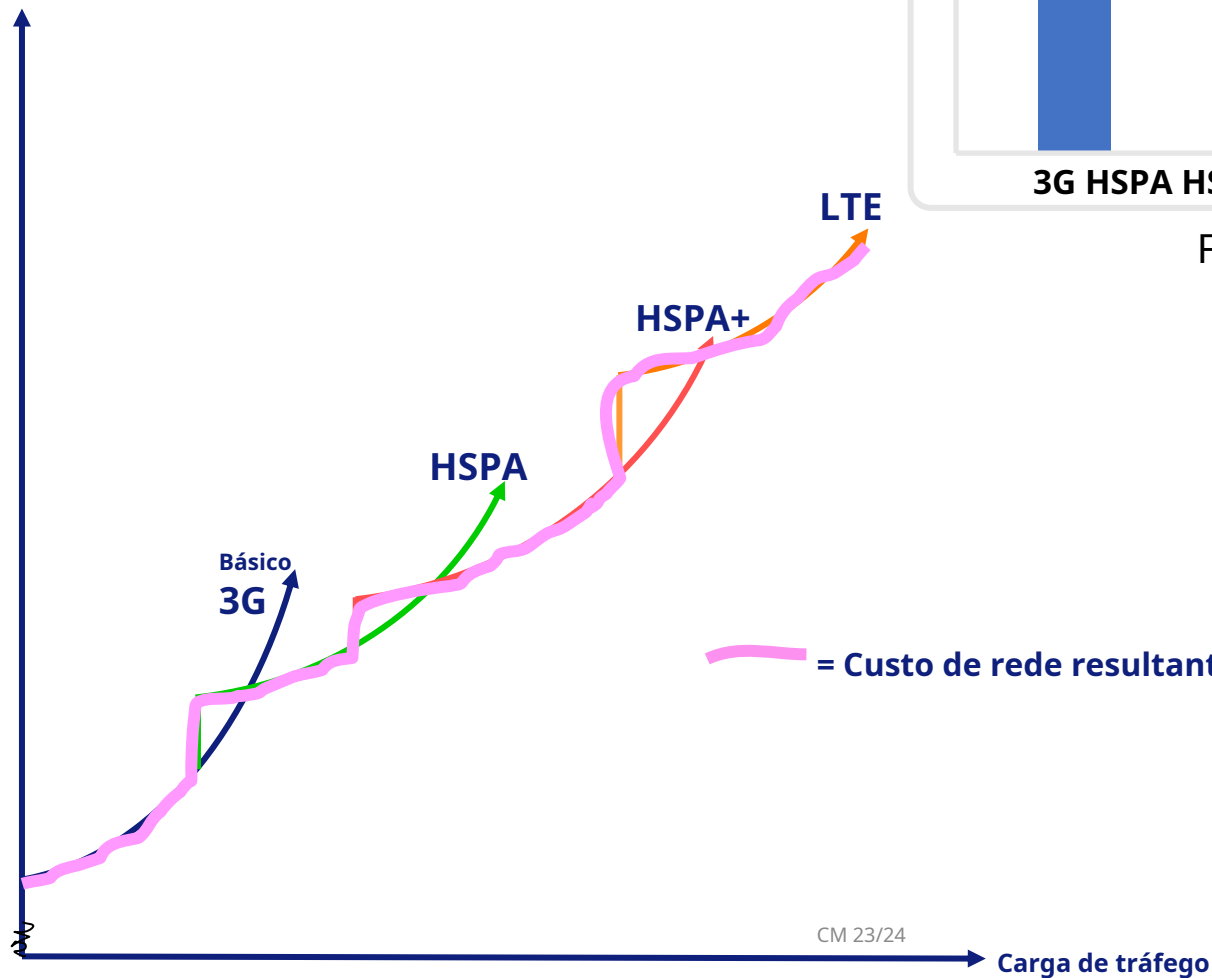
(\$ billion)





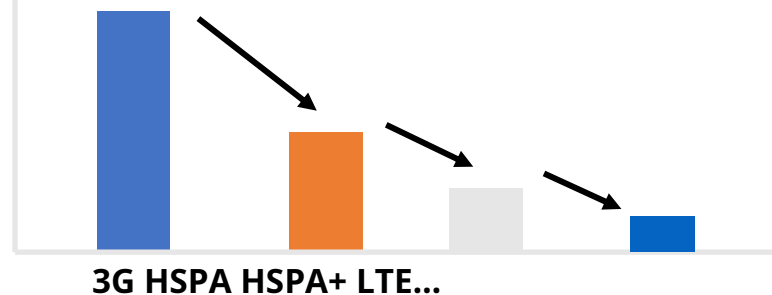
Motivações para tecnologias

Custo da rede



Menor custo de produção por bit

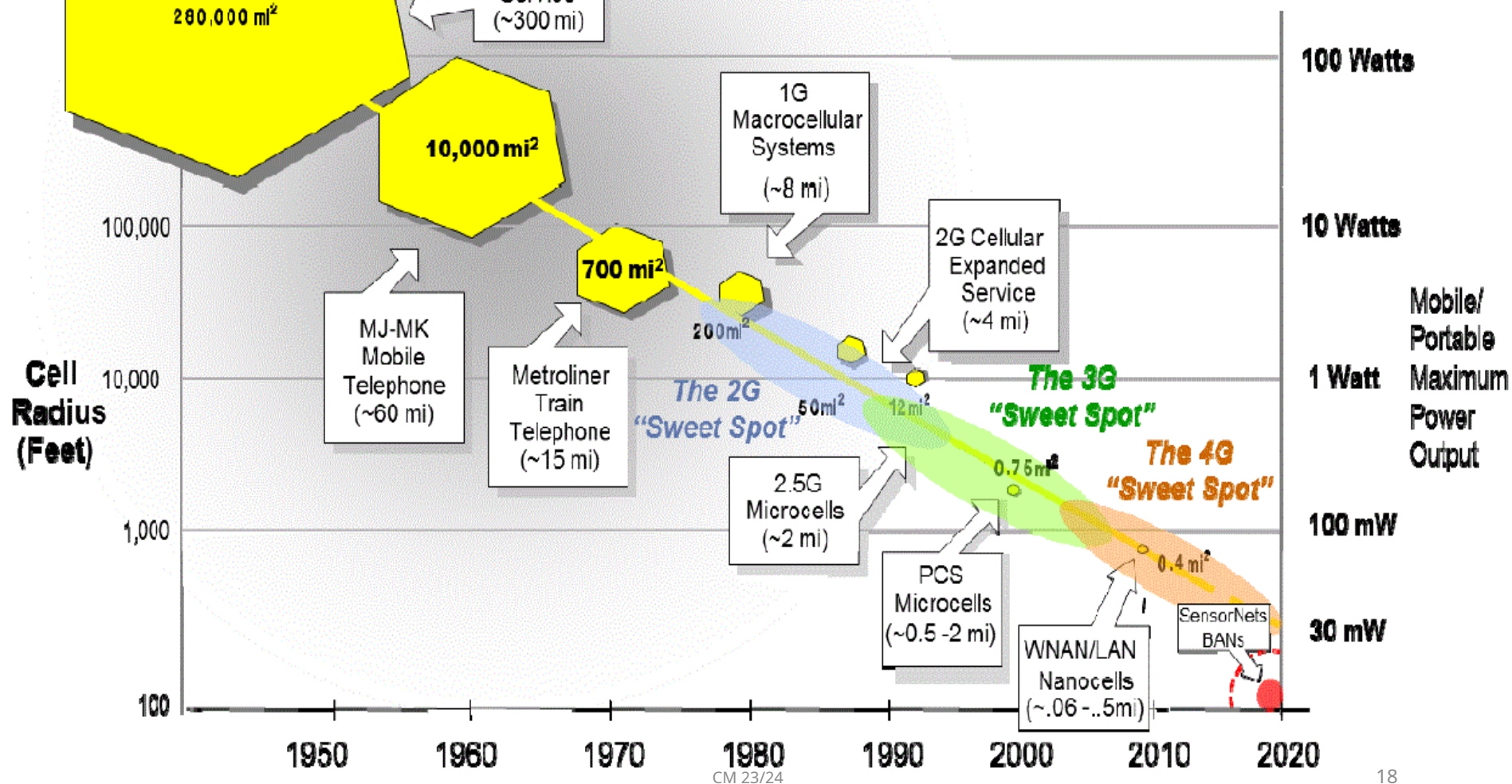
Custo por Mbyte



Fonte: NSN

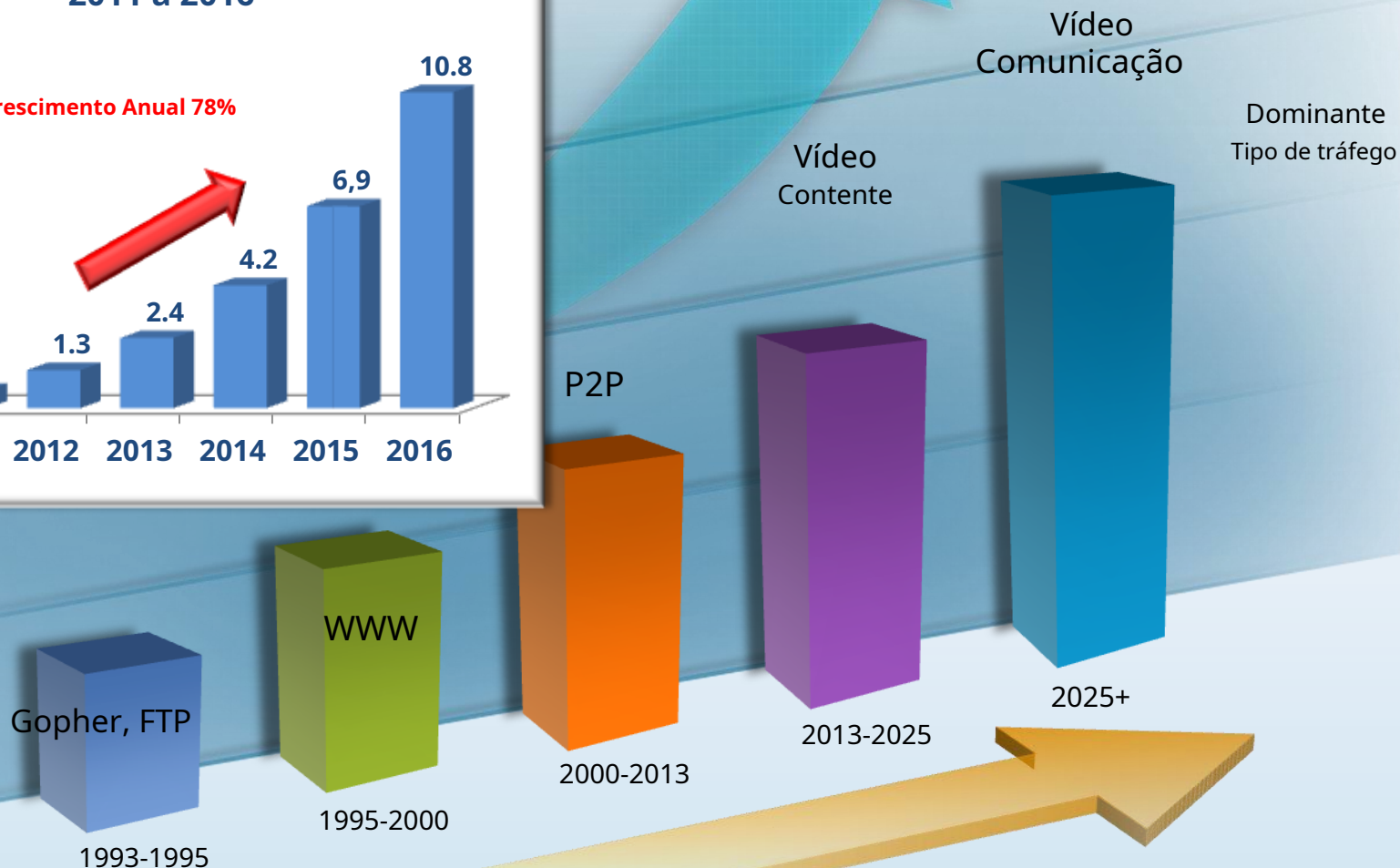
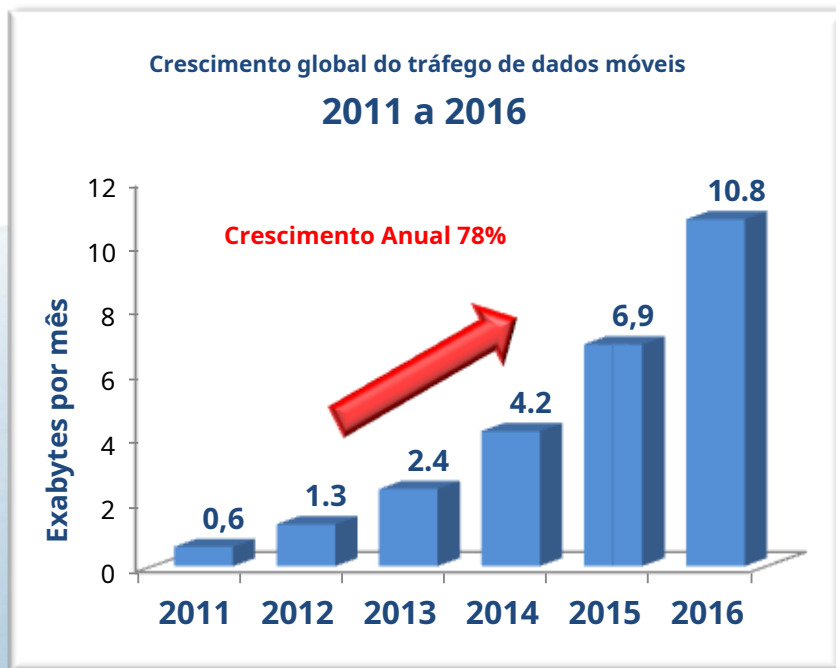


- Increased Bandwidth Demand/User
- Battery/Dissipation Device Constraints
- Moore's Law Radios
- Increased Edge Intelligence
- Distributed Control Techniques





Crescimento dramático do tráfego alimentado por vídeo





As coisas que nos cercam





A rede agora é mais do que bits e bytes

– adapta-se aos usuários

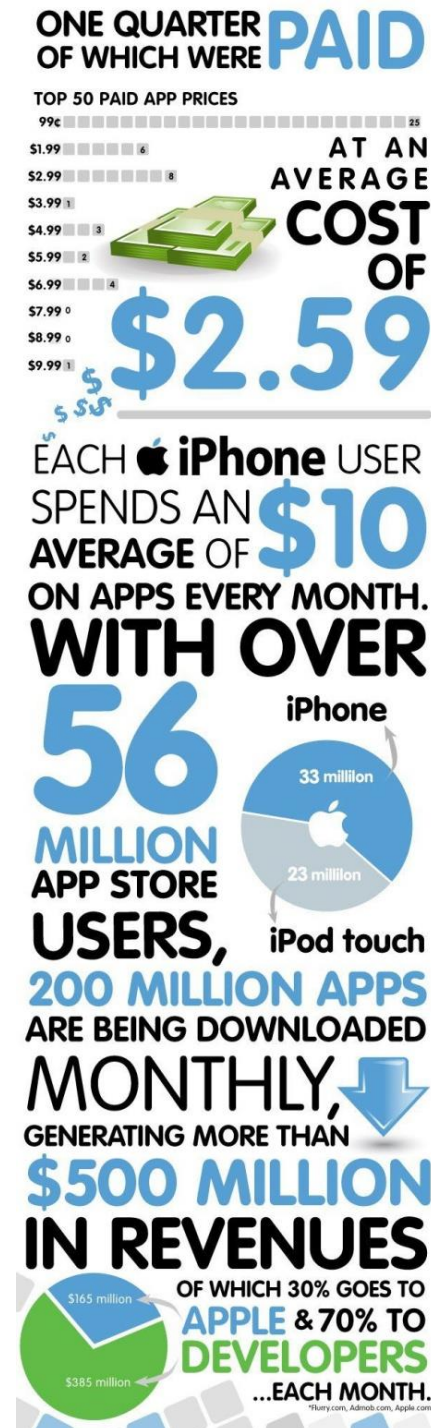




O mercado
virou-se para
SERVIÇOS (+/-
2016)

Serviços móveis
são agora um grande
contenção
entre operadores
e fabricantes
(AppleStore,
OviStore, Android
Mercado, aplicativo Palm
Catálogo)

Fonte: GCM e uM



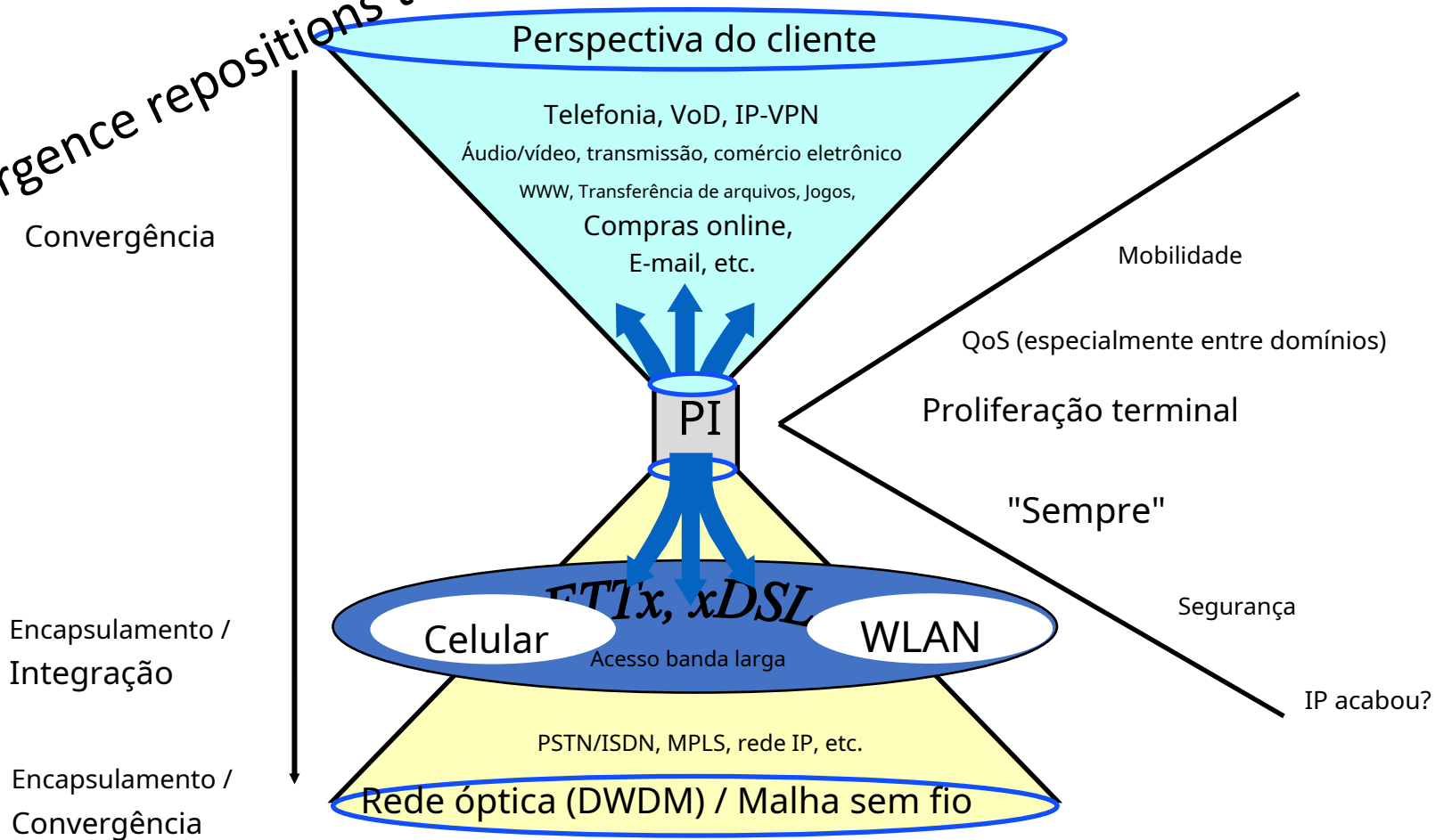


Comportamento e tendências do usuário

- Aumento dos serviços baseados na Internet
 - O mercado de telefonia agora está saturado
 - **“Tudo” veio para “comunicações de dados”**
- Aumento dos requisitos de banda larga
 - P2P sendo substituído por baseado em serviço
 - Acesso à Internet 2 vezes a cada 2 anos – o acesso por fibra floresce agora
 - 70% de penetração de banda larga
- Maior mobilidade e roaming
 - Sempre ligado e continuidade da sessão
 - Maior conteúdo para o usuário final
 - **WLAN e 4G**
 - Maior informação de contexto
 - **Maior personalização**
 - Aumento das comunicações máquina/veículo/objeto



IP convergence repositions the whole ecosystem!





e Revolução do Armazenamento.....



Flash incorporado
128 MB >>> 64 GB



- Tamanho pequeno para minimizar o custo do aparelho
- Usado para armazenar dados do sistema: aplicativos, mensagens, contatos, toques



Integrado
(SD/H)DD
2 GB >>>> 256 GB

- Grande armazenamento para conteúdo do usuário
- Mas alto impacto no custo do terminal



Cartão de memória
128MB >>>> 1 TB

- Armazenamento grande e removível para fácil transferência de conteúdo do usuário
- Interoperável com outros dispositivos eletrônicos de consumo
- Fornece um canal de distribuição para venda de conteúdo



... e uma multiplicidade de conectividade local...



Hoje

- Bluetooth
- Wi-fi
- Cartões de memória
- USB
- Comunicações de campo próximo
 - emparelhamento de dispositivos e configuração de rede local
 - descoberta/iniciação de serviço

Amanhã

Todos os itens acima com a adição de:

- WLAN+ (802.11g++)
 - conectividade em casa e no escritório
 - extensão sem fio de DSL em casa
- UWB
 - USB sem fio
- TV/DVB



A estrutura sem fio (resumo)

- Os sistemas móveis são o principal negócio
- As operadoras estão cada vez mais focadas nos clientes móveis
 - A maior parte do mercado será sem fio de qualquer maneira no acesso
- Os serviços são agora um aspecto dominante nesta área
 - Grandes lutas económicas em curso
- A mobilidade trouxe uma nova importância aos Serviços Baseados em Localização (LBS)
 - Agora a proximidade é uma variável dinâmica para o usuário



A rede móvel

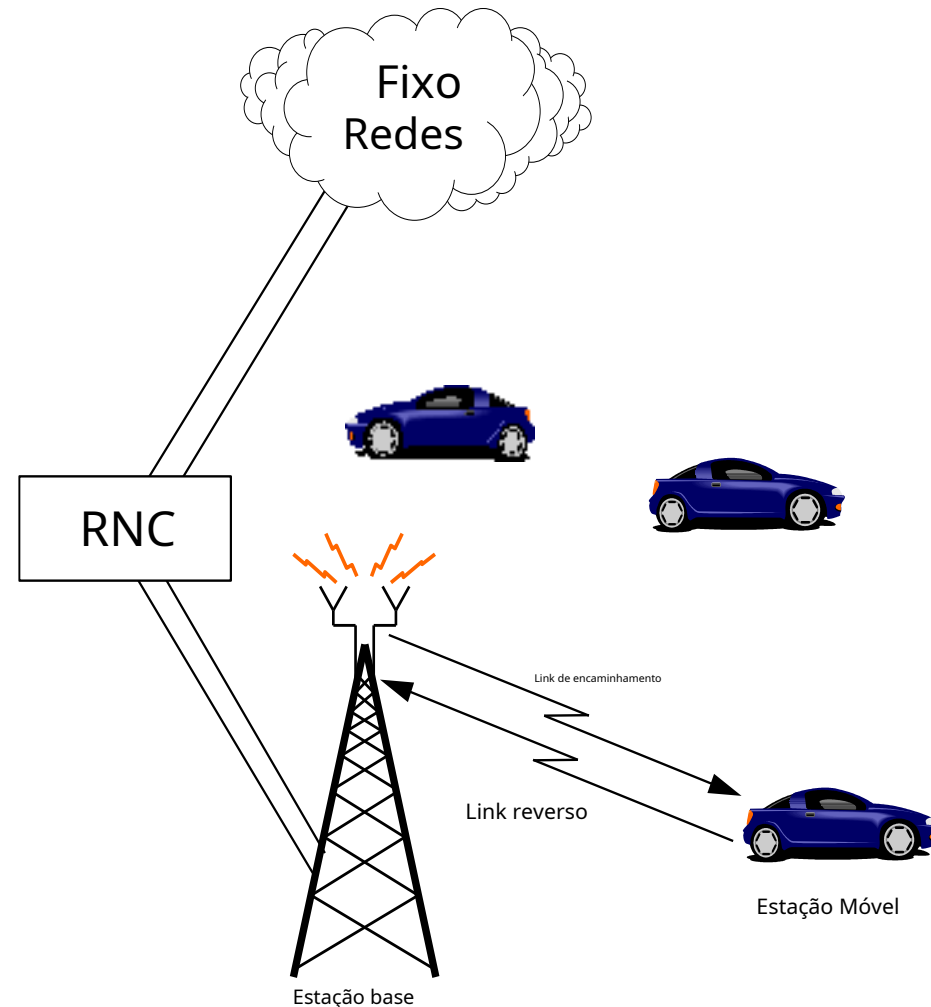
Aspectos técnicos genéricos e desafios



Sistemas sem fio

- Usuários de celulares **comunicar através pontos fixos** (Base Estações/pontos de acesso)
- Confie na transmissão de rádio – link final entre terminais e rede
 - Recursos finitos, o espectro disponível é estritamente limitado
 - Propagação multipercurso, desvanecimento e interferência
 - Mobilidade terminal **complica o sistema**

CM 23/24





Problemas móveis

1. Limitações de conexões sem fio

- Múltiplas redes e tecnologias de acesso independentes
- (frequentes) quedas de conexão
- (Mais) largura de banda limitada
- Falta de conscientização sobre mobilidade por sistema/aplicativos

2. Limitações do espectro

- A largura de banda não pode ser melhorada apenas adicionando conexões paralelas
- O espectro é altamente regulamentado

3. Limitações dos dispositivos móveis

- Vida útil da bateria
- Capacidades limitadas

4. Considerações sobre dimensionamento

- Dispositivos móveis contados por 1.000 milhões
- Custo(s) precisa ser baixo
- A energia está se tornando um problema



Problemas de dispositivo

- Por sua própria natureza:

SMALL!
LOW POWER!
BAIXA POTÊNCIA!

- Dispositivos potencialmente de baixo consumo
 - **Desempenho de computação limitado**
 - **Telas de baixa qualidade**
- Potencial**Perda de dados**
 - Facilmente perdido
 - **Deve ser concebido como sendo “integrado à rede”**
- Potencialmente pequeno e limitado**Interface de usuário**
 - **Espaço limitado para teclados**
 - **Ícone intensivo/caligrafia/fala**
- Armazenamento local potencialmente pequeno
 - **Memória flash em vez de unidade de disco**



Dimensionamento:

Você quer dizer *Em todos os lugares?!?!*





Dimensionamento:

Você quer dizer *Em todos os lugares?!?!*

- 6.000 milhões de usuários
- sensores x10
- x2 computadores de uso geral
- dispositivos para fins especiais x5





Lembrar!

- Endereçamento
 - O número total de endereços IPv4 é de aproximadamente 4.200 milhões
- Roteamento
 - As tabelas de roteamento já são bastante grandes
- Segurança
 - Protegendo tudo? Com certificados?
- Largura de banda multimídia
 - Em sem fio?!?
- Sensores e atuadores
 - Rede elétrica na rede?!?!?



Por que o celular é difícil?

- As comunicações móveis são difíceis de gerir, especialmente porque o espectro é um bem escasso
 - Uma questão económica crítica do ponto de vista do governo
- Além disso, toda a natureza dos sistemas móveis é problemática – incluindo as questões específicas do dispositivo
 - Embora esteja melhorando, a energia ainda é um problema
- À medida que os sistemas móveis se tornaram dominantes (até mesmo na banda larga!), o dimensionamento é um problema
 - Nunca sonhamos com um sucesso tão grande



Spectrum (apenas) parece muito!

- 300 GHz é uma enorme quantidade de espectro!
 - Spectrum também pode ser reaproveitado no espaço
- Não tanto:
 - A maior parte é difícil ou cara de usar!
 - Ruído e interferência limitam a eficiência
 - A maior parte do espectro é alocada pelos reguladores
 - Bandas ISM não licenciadas – mas sujeitas a múltiplas restrições
- Os governos controlam quem pode utilizar o espectro e como ele pode ser utilizado.
 - (UIT-T WRC.Anacom , Oftel, FCC...)
 - Precisa de uma licença para a maior parte do espectro
 - Limites de potência, colocação de transmissores, codificação, ..
 - Precisa de regras para otimizar o benefício: garantir serviços de emergência, simplificar a comunicação, retorno do investimento de capital, ...

UNITED STATES FREQUENCY ALLOCATIONS

THE RADIO SPECTRUM

RADIO SERVICES COLOR LEGEND



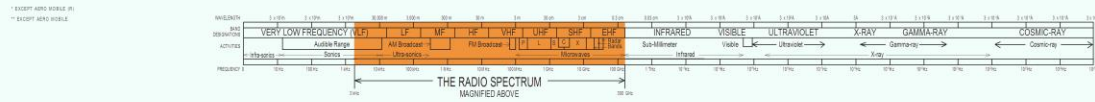
ACTIVITY CODE



ALLOCATION USAGE DESIGNATION

SERVICE	EXAMPLE	DESCRIPTION
Primary	FIXED	Capital Letters
Secondary	MOBILE	1st Capital with lower case letters

This is a simplified version of the Table of Frequency Allocations used by the International Telecommunication Union (ITU) and is not intended to be a substitute for the full Table of Frequency Allocations. Therefore, for complete information, users should consult the Table to determine the current status of U.S. allocations.



PLEASE NOTE: THE SPACING OF THE SERVICES IN THE SPECTRUM IS NOT PROPORTIONAL TO THE ACTUAL AMOUNT OF SPECTRUM OCCUPIED.



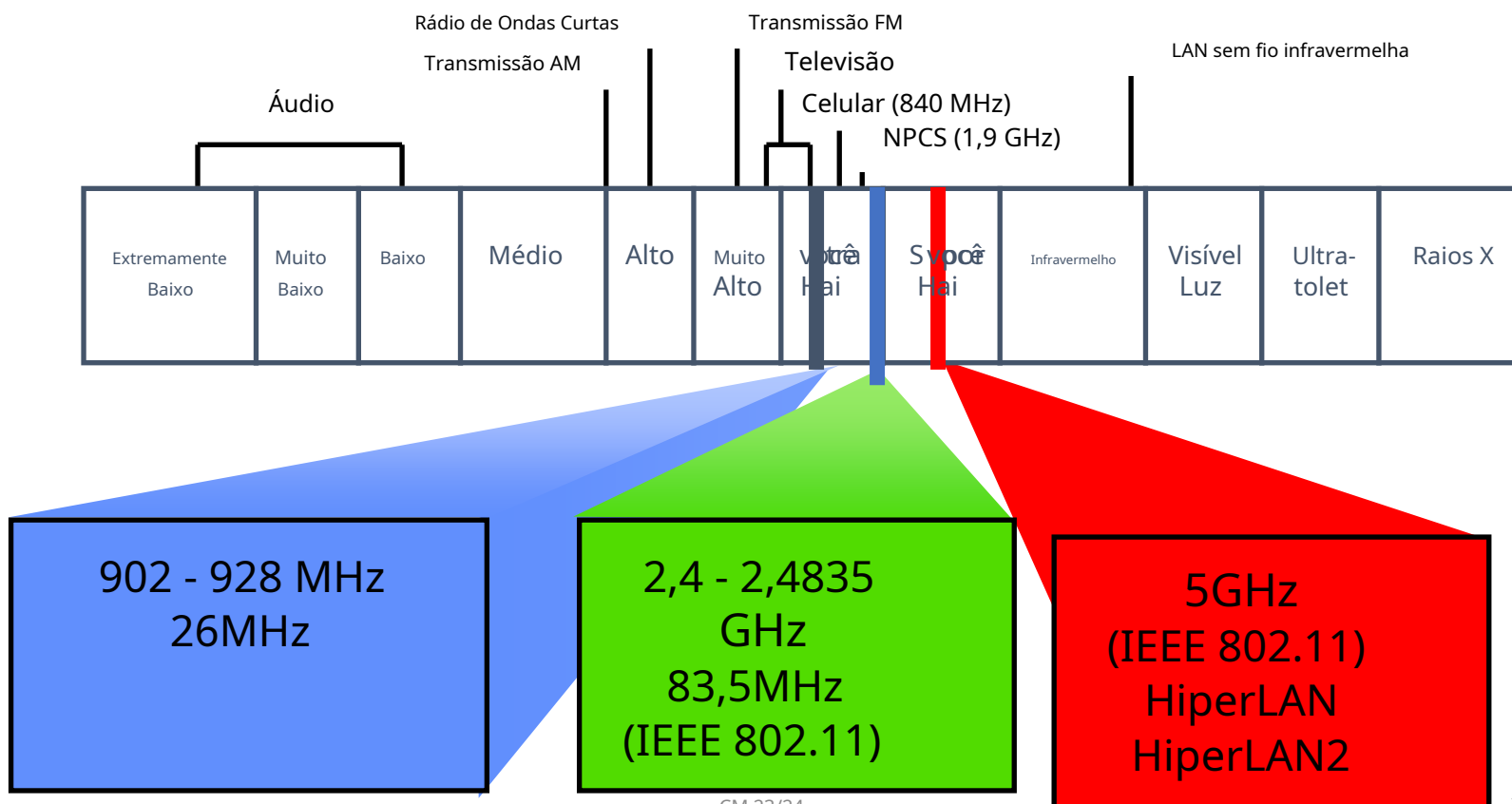
Faixas de frequência gerais

- Faixa de frequência de microondas
 - 1 GHz a 40 GHz e superior
 - Feixes direcionais possíveis
 - Adequado para transmissão ponto a ponto
 - Usado para comunicações via satélite
- Faixa de radiofrequência
 - 30 MHz a 1 GHz
 - Adequado para aplicações omnidirecionais
- Faixa de frequência infravermelha
 - Aproximadamente, 3×10^{11} para 2×10^{14} Hz
 - Útil em aplicações locais ponto a ponto multiponto em áreas confinadas



Bandas de frequência

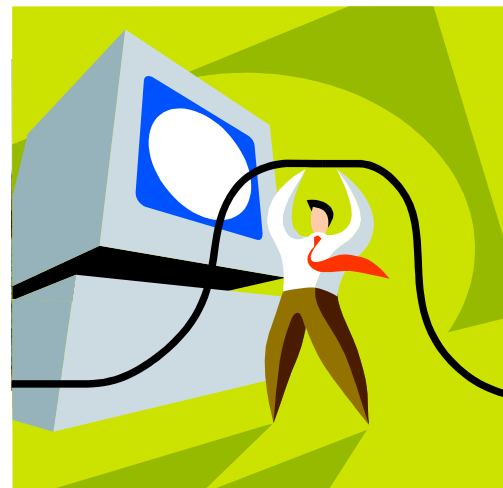
- Bandas Industriais, Científicas e Médicas (ISM)
- Largura de banda de canal de 22 MHz não licenciada





Camada física

Problemas que enfrentamos





Classificações de Meios de Transmissão

- Cobre: par trançado versus cabo coaxial
 - Variedade de técnicas de modulação são usadas
- Fibra: modular um sinal óptico
 - Muita capacidade disponível!
 - Normalmente usa esquemas de modulação simples
- Sem fio: nenhum meio sólido para sinal guiado
 - Grande variedade de distâncias: frequências, distâncias, ...
 - Frequentemente usa técnicas de modulação muito agressivas (mais tarde)



Por que usar sem fio?

Não há fios!

Tem várias vantagens significativas:

- Não há necessidade de instalar e manter fios
 - Reduz custos – importante em escritórios, hotéis,...
 - Simplifica a implantação – importante em residências, hotspots,...
- Suporta usuários móveis
 - Mova-se pelo escritório, campus, cidade,... - os usuários ficam viciados
 - Dispositivos de controle remoto (TV, portão de garagem, ..)
 - Telefones sem fio, celulares, ..



O que há de difícil no wireless?

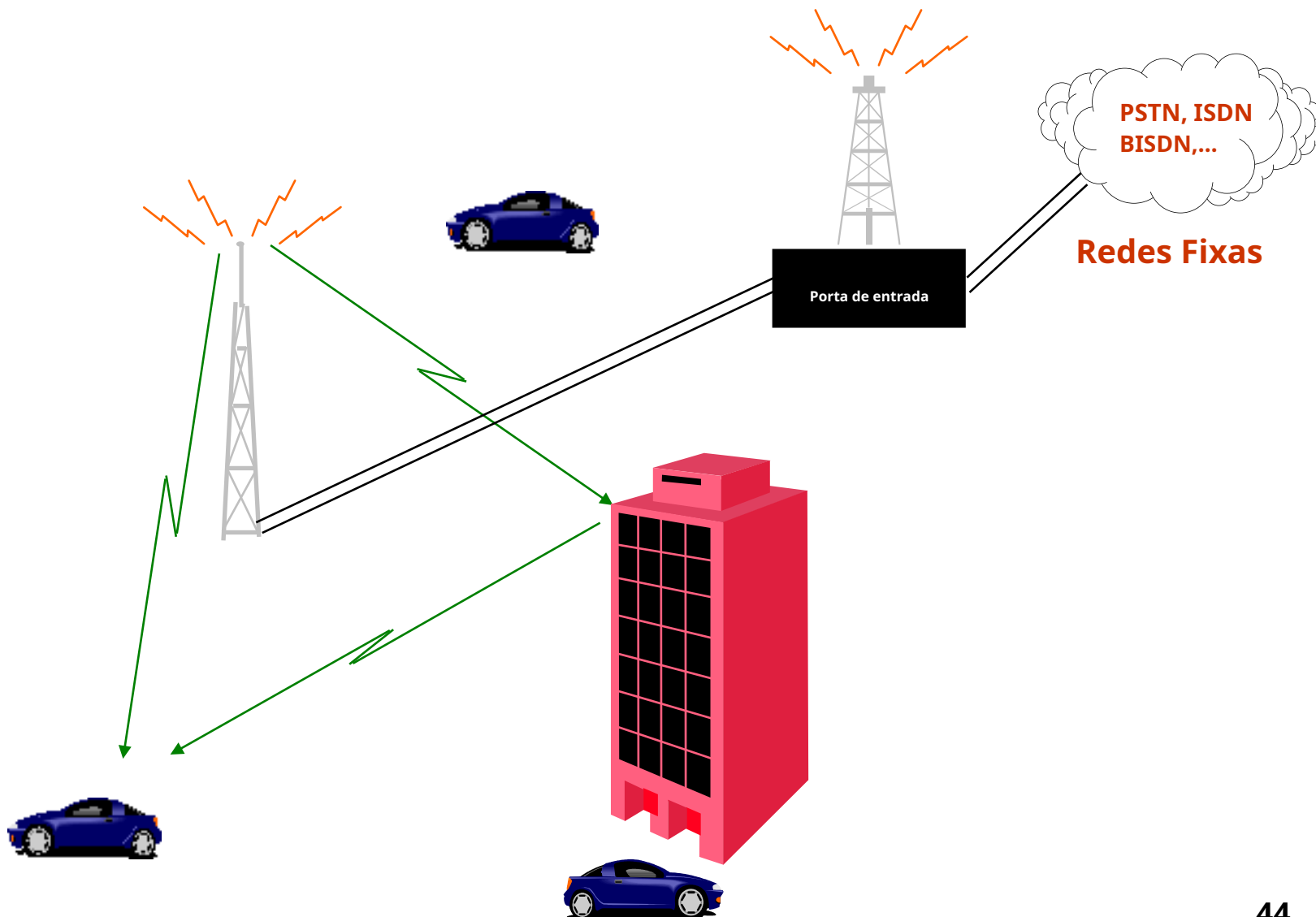
Não há fios!

Causa problemas em muitas áreas:

- Qualidade de transmissão
- Interferência e ruído
- Capacidade da rede
- Efeitos da mobilidade



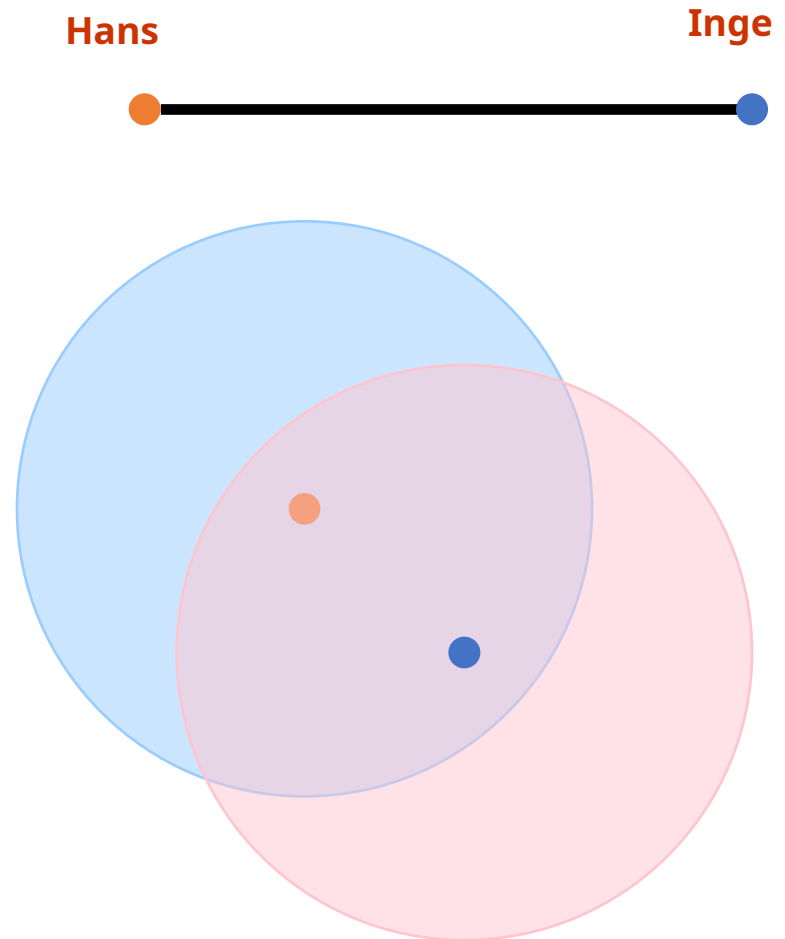
Deficiências de transmissão de rádio





Comunicação baseada em Radiodifusão

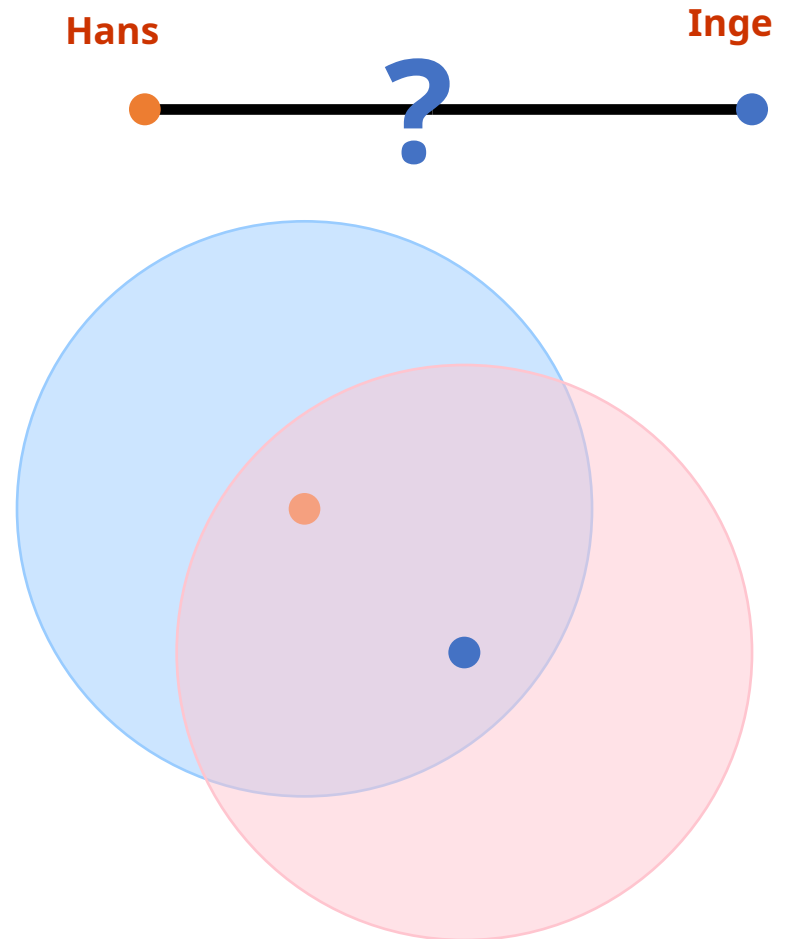
- A comunicação com fio geralmente é ponto a ponto.
 - A transmissão é difícil de escalar
- A comunicação sem fio é inerentemente transmitida.
 - Bem, geralmente
- Claro: permite que os nós se movam





Mobilidade

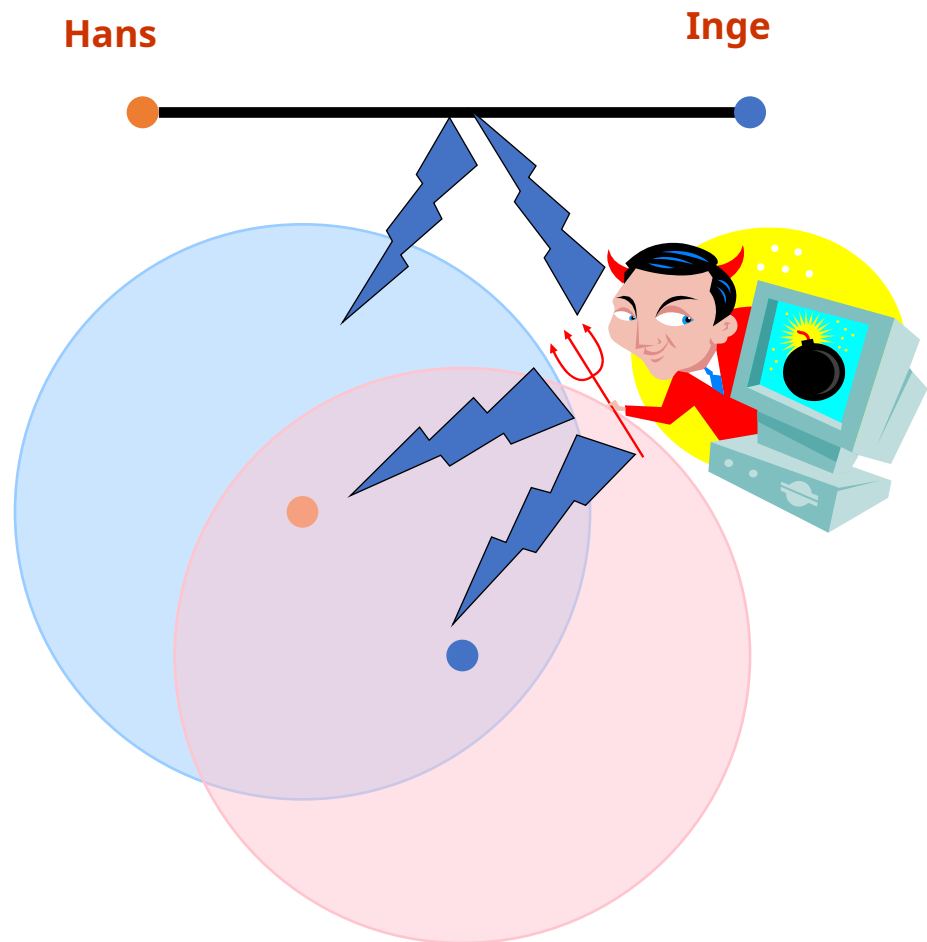
- A comunicação com fio geralmente é ponto a ponto.
 - A transmissão é difícil de escalar
- A comunicação sem fio é inerentemente transmitida.
 - Bem, geralmente
- Claro: permite que os nós se movam





Sem fio é muito sensível ao ruído ...

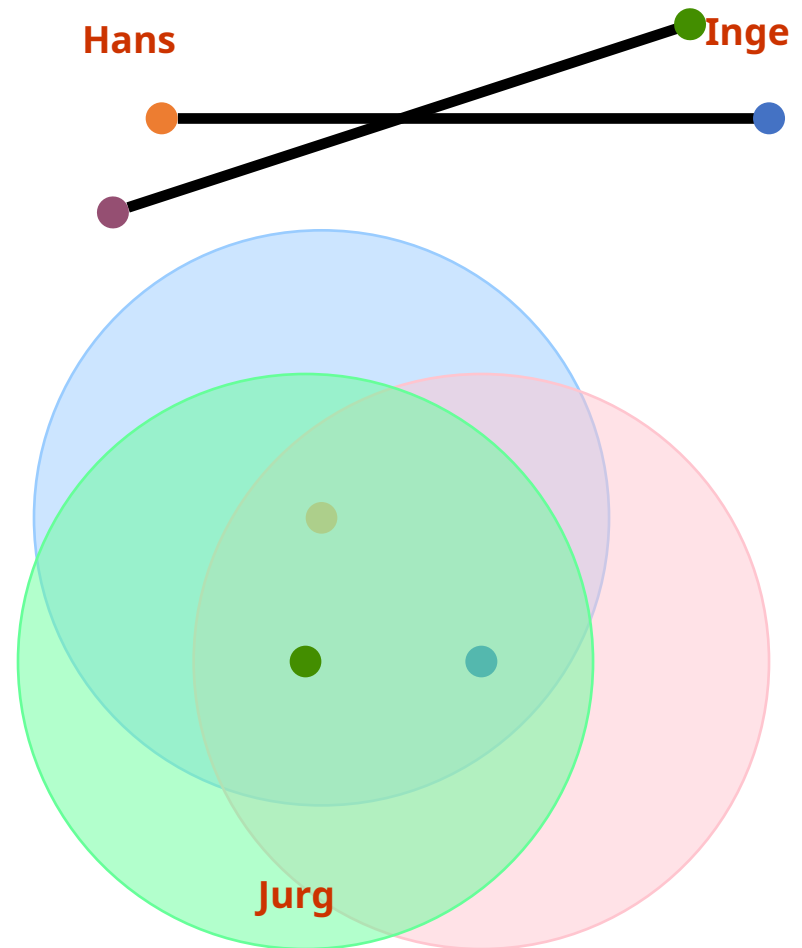
- O ruído está naturalmente presente no ambiente a partir de muitas fontes.
- A interferência pode vir de outros usuários ou de fontes maliciosas.
- Impactos que os usuários podem alcançar na taxa de transferência.





... e interferência

- O ruído está naturalmente presente no ambiente a partir de muitas fontes.
- A interferência pode vir de outros usuários ou de fontes maliciosas.
- Impactos que os usuários podem alcançar na taxa de transferência.



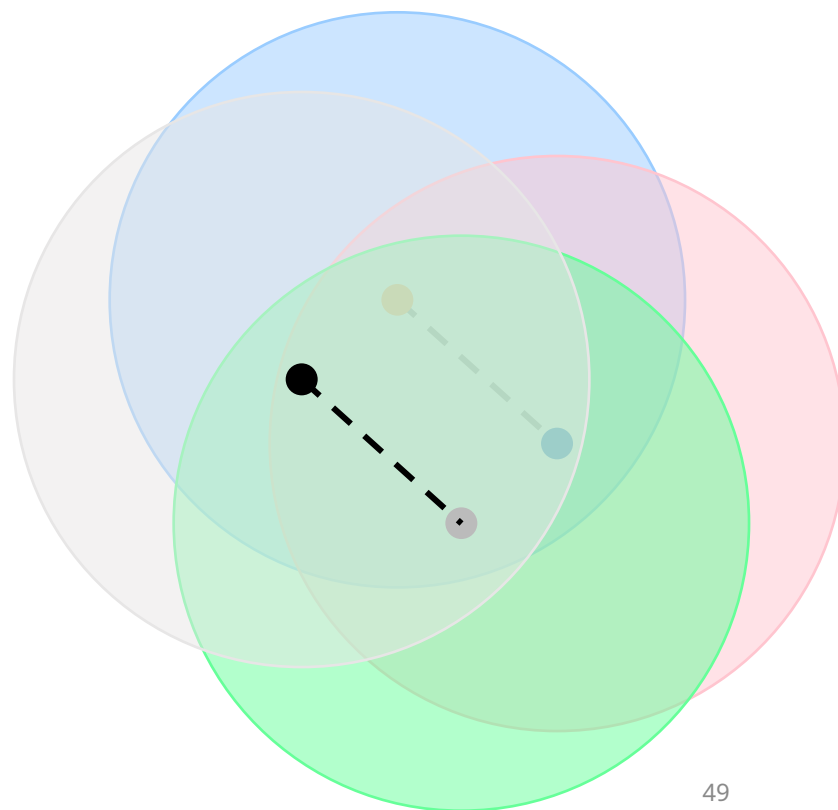
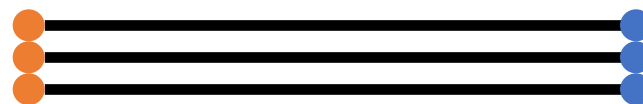


Como aumentamos a capacidade da rede?

- Fácil de fazer em redes cabeadas: basta adicionar fios.
 - A fibra é especialmente atraente
- Adicionar “links” sem fio aumenta a interferência.
 - A reutilização de frequência pode ajudar... sujeita a limitações espaciais
 - Ou use espaços diferentes... sujeito a limitações de frequência
- A capacidade da rede sem fio é fundamentalmente limitada.

Hans

Inge

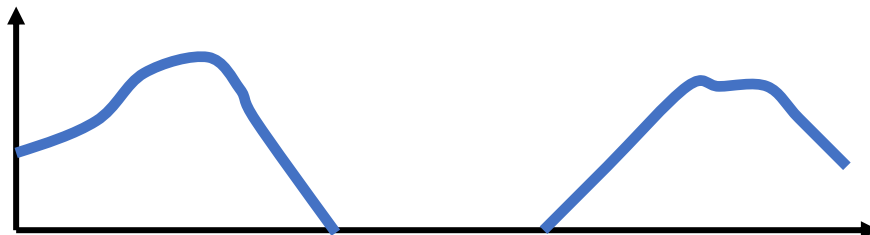
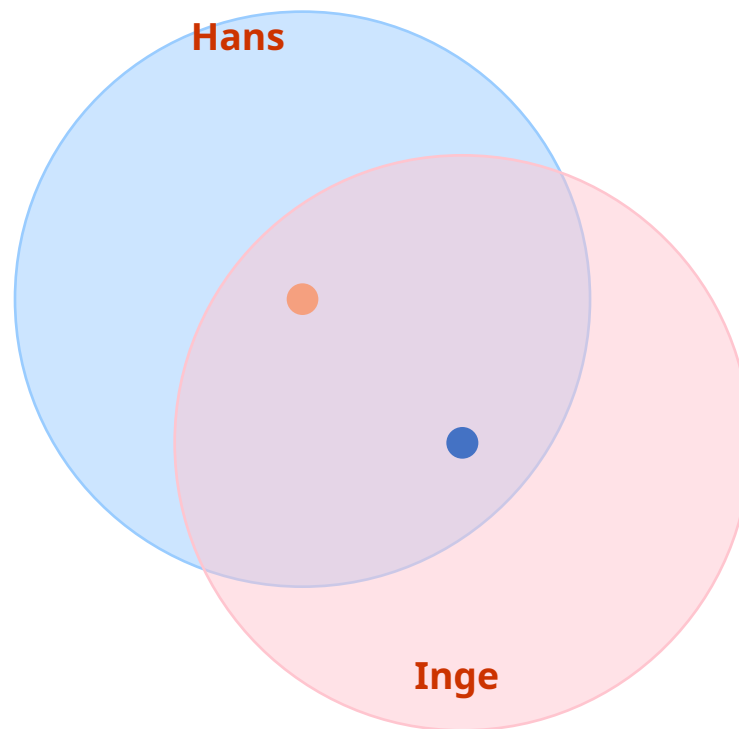




A mobilidade afeta o

Taxa de transferência do link

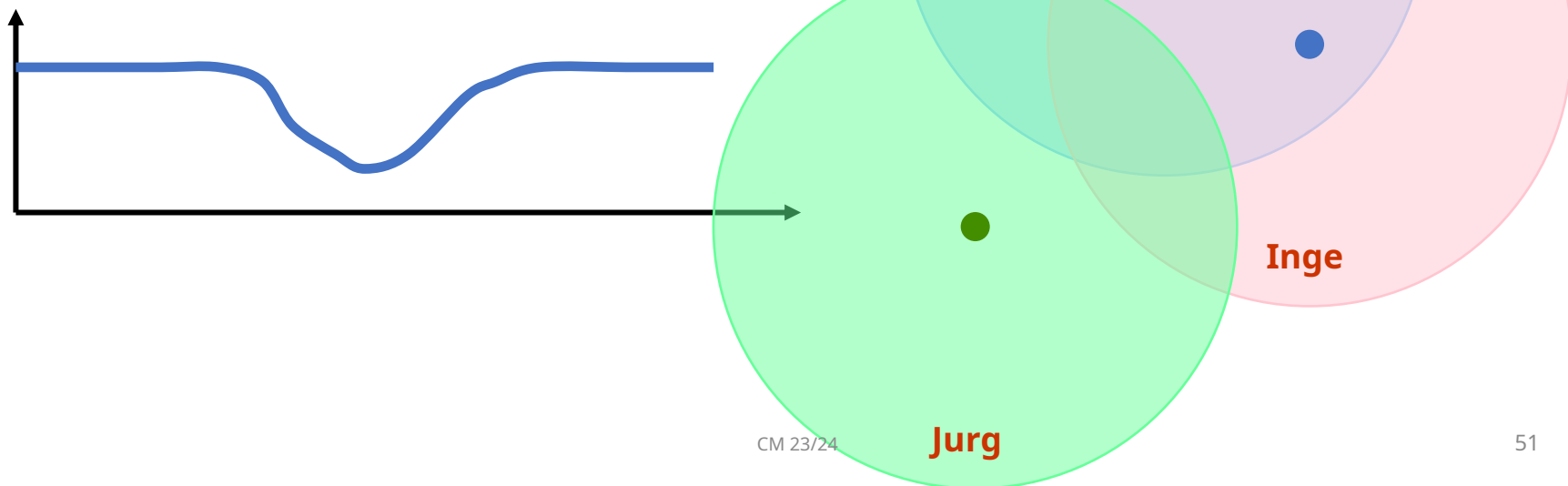
- A qualidade da transmissão depende da distância e de outros fatores.
- Afeta o rendimento alcançado pelos usuários móveis.
- O pior caso são períodos sem conectividade!





A mobilidade é um problema mesmo para usuários estacionários

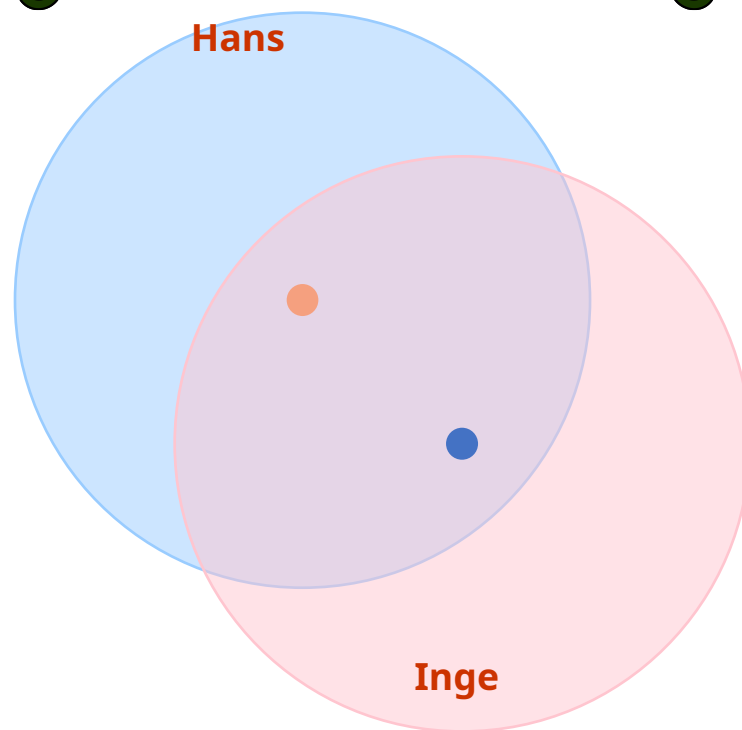
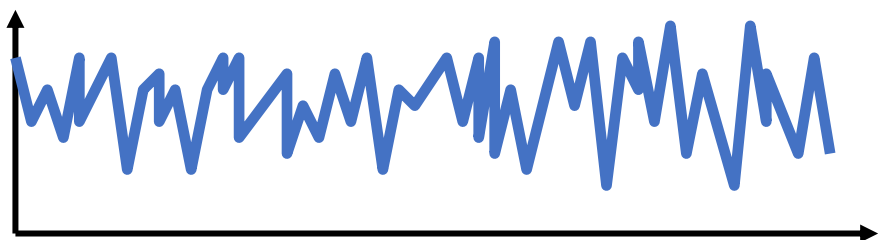
- Pessoas e dispositivos móveis afetam o canal de transmissão de nós estacionários.





E fica pior...

- O impacto da mobilidade na transmissão pode ser complexo.
- A mobilidade também afeta o endereçamento e o roteamento.



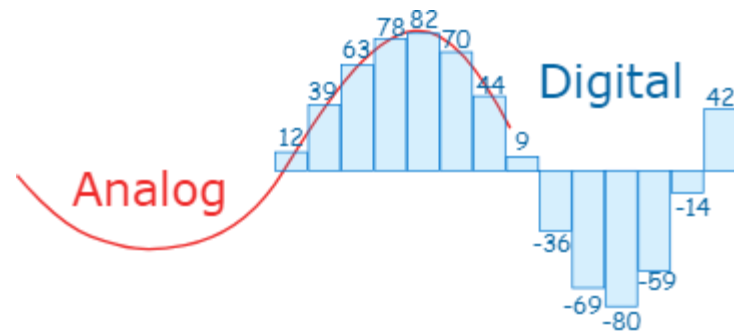


A rede móvel

Princípios básicos das propriedades do sinal sem fio



Visualização no Domínio do Tempo

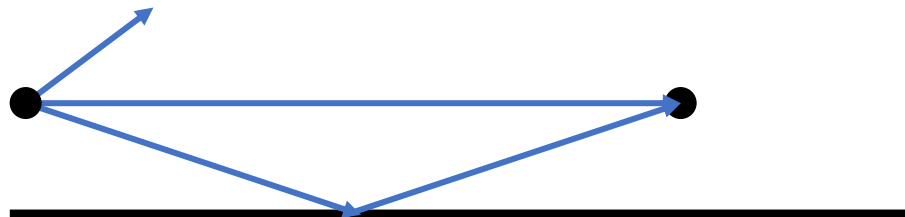
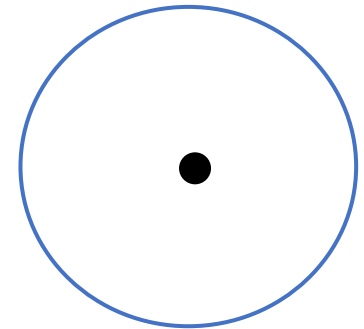


- Pode ser usado para representar um sinal analógico e digital.
- Sinal analógico - a intensidade do sinal varia suavemente ao longo do tempo
 - Sem quebras ou descontinuidades no sinal
 - Por exemplo, sinal de voz viajando pela linha telefônica tradicional
- Sinal digital - a intensidade do sinal mantém um nível constante por algum período de tempo e depois muda para outro nível constante.
 - Por exemplo, fluxo de valores 1 e 0 representados como sinal "baixo" e "alto"



Duas visualizações gráficas de um sinal eletromagnético

- Ambos são reais de alguma forma
- Pense nisso como a energia que irradia de uma antena e é captada por outra antena.
 - Ajuda a explicar propriedades como atenuação
- Também pode ser visto como um “raio” que se propaga entre dois pontos.
 - Ajuda a explicar propriedades como reflexão e multicaminho

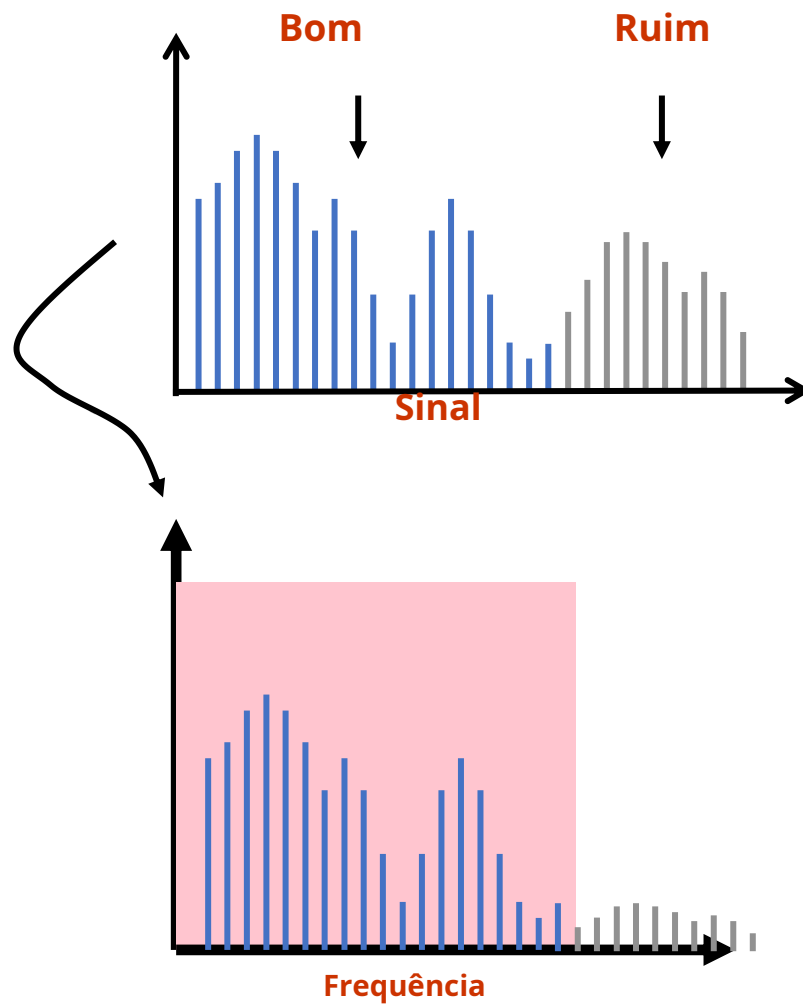




Canal de Transmissão

Considerações

- Para redes com fio, os limites de canal são uma propriedade inerente do canal
 - Diferentes tipos de fibra e cobre têm propriedades diferentes
- À medida que a tecnologia melhora, estes parâmetros mudam, mesmo para o mesmo fio
 - Regra eletrônica
- Para redes sem fio, os limites são frequentemente impostos por políticas
 - Só pode usar determinada parte do espectro
 - Considerações regulatórias/comerciais





Capacidade do canal

CM 23/24

- Taxa de dados - taxa na qual os dados podem ser comunicados (bps)
 - Capacidade do Canal – a taxa máxima na qual os dados podem ser transmitidos através de um determinado canal, sob determinadas condições
- Largura de banda (teoria do sinal)- a largura de banda do sinal transmitido conforme limitada pelo transmissor e pela natureza do meio de transmissão (Hertz)
- Ruído - nível médio de ruído no caminho de comunicação
- Taxa de erro - taxa na qual os erros ocorrem
 - Erro = transmite 1 e recebe 0; transmitir 0 e receber 1



Modos de propagação

- Propagação de linha de visão (LOS).
 - Forma mais comum de propagação
 - Acontece acima de ~ 30 MHz
 - Sujeito a muitas formas de degradação (próximo conjunto de slides)
- Propagação de ondas terrestres.
 - Segue mais ou menos o contorno da terra
 - Para frequências até cerca de 2 MHz, por exemplo, rádio AM
- Propagação das ondas do céu.
 - O sinal “rebate” da ionosfera de volta à Terra – pode dar vários saltos
 - Usado para rádio amador e transmissões internacionais



Degradações de propagação

Sinais RF

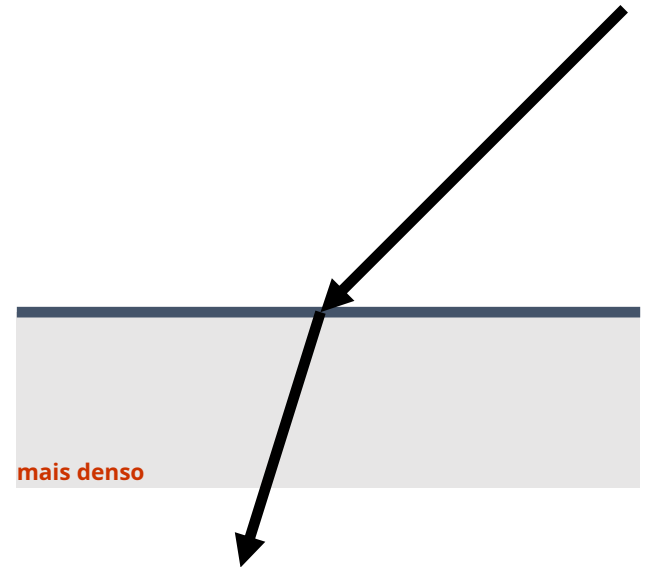
- Atenuação no espaço livre: o sinal fica mais fraco à medida que percorre distâncias maiores
 - O sinal de rádio se espalha – perda de espaço livre
 - Refração e absorção na atmosfera
 - Dependente da frequência!
- Obstáculos podem enfraquecer o sinal por absorção ou reflexão.
 - Parte do sinal é redirecionado
- Efeitos de múltiplos caminhos: múltiplas cópias do sinal interferem umas nas outras.
- Mobilidade: mover o receptor causa outra forma de autointerferência.
 - Grande mudança na intensidade do sinal

CM 23/24



Refração

- A velocidade dos sinais EM depende da densidade do material
 - Vácuo: $3 \times 10^8 \text{ m/s}$
 - Mais denso: mais lento
- A densidade é capturada pelo índice de refração
- Explica a “flexão” de sinais em alguns ambientes
 - Por exemplo, propagação das ondas do céu
 - Mas também diferenças locais e de pequena escala no ar





Fontes de ruído

- Ruído térmico: causado pela agitação dos elétrons
 - Função de temperatura
 - Afeta dispositivos eletrônicos e meios de transmissão
- Ruído de intermodulação: resultado da mistura de sinais
- Conversa cruzada: captando outros sinais
 - Por exemplo, de outros pares origem-destino)
- Ruído de impulso: pulsos irregulares de alta amplitude e curta duração
 - Mais difícil de lidar

Com justiça

Previsível

➤ **Pode ser planejado para ou evitado**



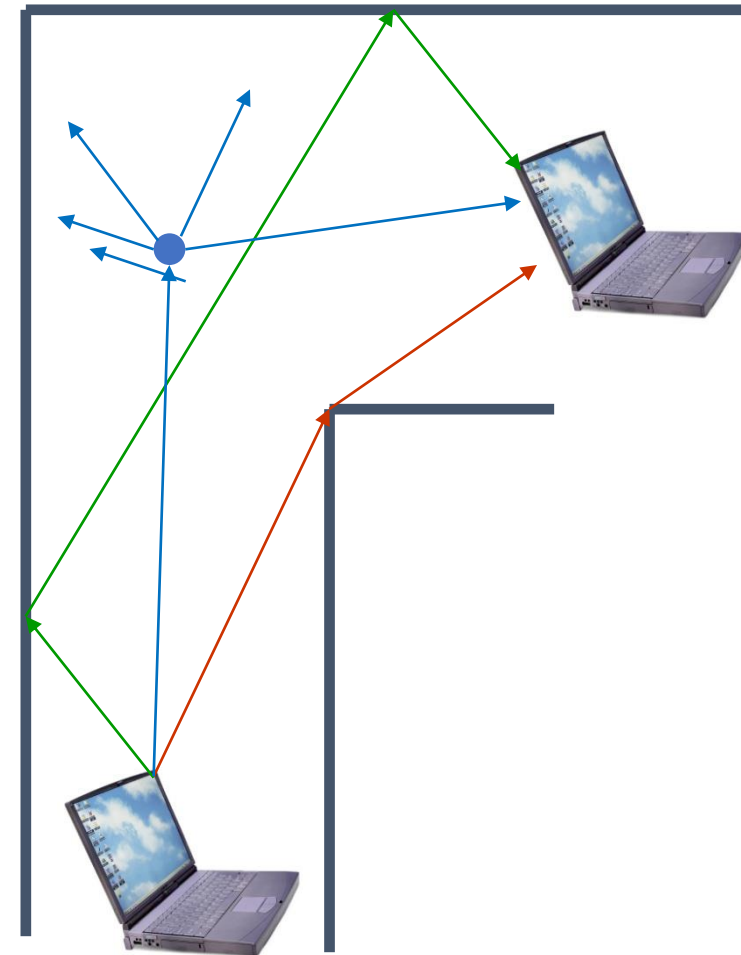
Outros fatores de LOS

- Absorção de energia na atmosfera.
 - Muito grave em frequências específicas, por exemplo, vapor de água (22 GHz) e oxigênio (60 GHz)
 - Obviamente os objetos também absorvem energia



Mecanismos de propagação

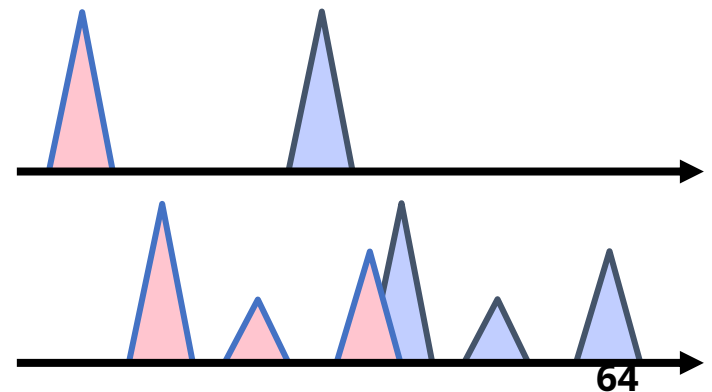
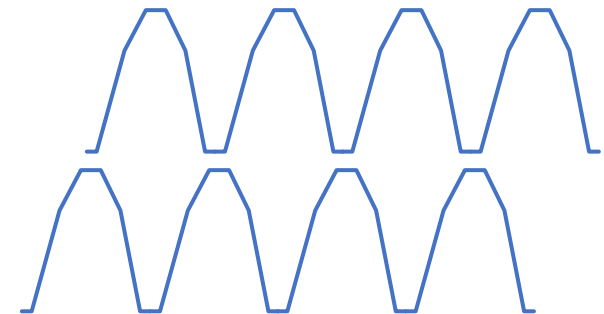
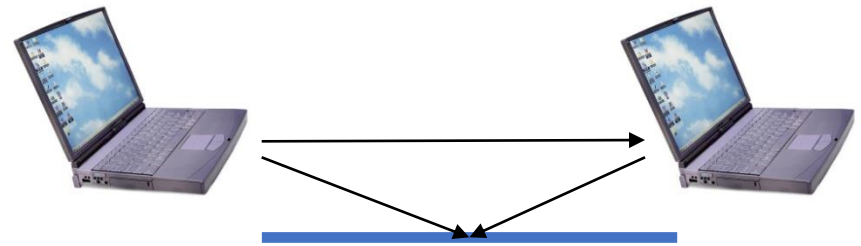
- Além da linha de visão, o sinal pode chegar ao receptor de três outras maneiras “indiretas”.
- **Reflexão**: o sinal é refletido de um objeto grande.
- **Difração**: o sinal é espalhado pela borda de um objeto grande – “curvas”.
- **Espalhamento**: o sinal é espalhado por um objeto que é pequeno em relação ao comprimento de onda.





Efeitos de múltiplos caminhos

- O receptor recebe múltiplas cópias do sinal, cada uma seguindo um caminho diferente.
- As cópias podem fortalecer ou enfraquecer umas às outras.
- Pequenas mudanças na localização podem resultar em grandes mudanças na intensidade do sinal.
- A diferença no comprimento do caminho pode causar interferência intersimbólica (ISI).





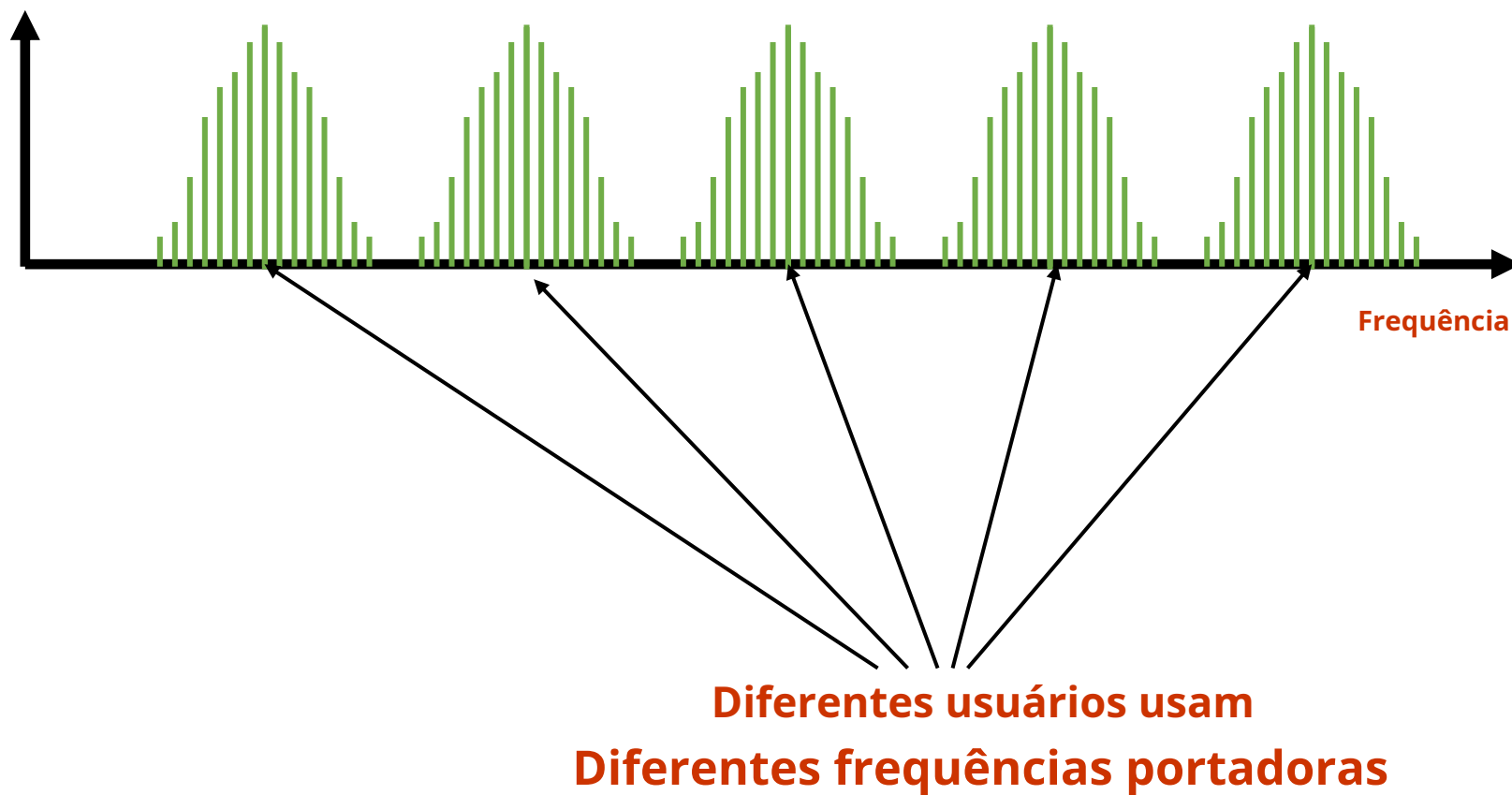
Apresentando Redundância

- Protege os dados digitais introduzindo redundância nos dados transmitidos.
 - Códigos de detecção de erros: podem identificar certos tipos de erros
 - Códigos de correção de erros: pode corrigir certos tipos de erros
- **Códigos de bloco** fornecer correção de erro de encaminhamento (FEC) para blocos de dados.
 - (n, k) código: n bits são transmitidos para k bits de informação
 - Exemplo mais simples: códigos de paridade
 - existem: Hamming, cíclico, Reed-Solomon, ...
- **Códigos de convolução** fornecer proteção para um fluxo contínuo de bits.
 - O ganho de codificação é n/k
 - Códigos Turbo: código convolucional com estimativa de canal



Vários usuários podem Compartilhe o espectro

CM 23/24

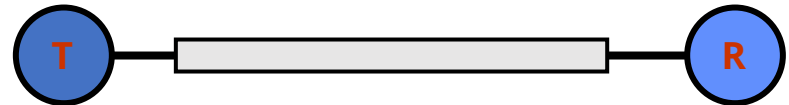
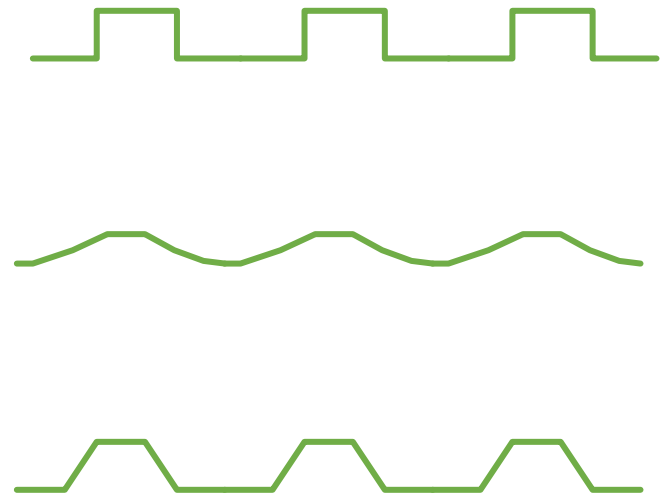




Então, por que nem sempre enviamos um sinal de alta largura de banda?

- Os canais têm um limite no tipo de sinais que podem transmitir
 - Boa transmissão de sinais apenas em determinada faixa de frequência
 - Os sinais fora dessa faixa ficam distorcidos, por exemplo, atenuados
 - A distorção pode dificultar a extração do receptor
- Informação
- É benéfico combinar o sinal com o canal
 - Limita a taxa de transferência do canal

CM 23/24





Espectro de propagação

- Distribua a transmissão por uma largura de banda mais ampla
 - Não coloque todos os ovos na mesma cesta!
- Bom para militares: interferência e interceptação tornam-se mais difíceis
- Também é útil para minimizar o impacto de uma frequência “ruim” em ambientes regulares
- O que se pode ganhar com este aparente desperdício de espectro?
 - Imunidade contra vários tipos de ruído e distorção multipercurso
 - Incluindo interferência
 - Pode ser usado para ocultar/criptografar sinais
 - Somente o receptor que conhece o código SS pode recuperar o sinal
 - Vários usuários podem compartilhar independentemente a mesma largura de banda maior com muito pouca interferência (mais tarde)
 - Acesso múltiplo por divisão de código (CDMA)



Conceito de espectro de propagação

- Entrada alimentada no codificador de canal
 - Produz sinal analógico de largura de banda estreita em torno da frequência central
- Sinal modulado usando sequência de dígitos
 - Espalhando código/sequência
 - Normalmente gerado por gerador de número pseudoruído/pseudo-aleatório
 - Na verdade não é aleatório
 - Se o algoritmo for bom, os resultados passam em testes razoáveis de aleatoriedade
 - Precisa conhecer o algoritmo e a semente para prever a sequência
- Aumenta significativamente a largura de banda
 - Espalha espectro
- O receptor usa a mesma sequência para demodular o sinal
- Sinal demodulado alimentado no decodificador de canal

CM 23/24



Redes de satélite