



# Introdução às redes móveis

Daniel Corujo, [dcorujo@ua.pt](mailto:dcorujo@ua.pt)  
Francisco Fontes, [fontes@ua.pt](mailto:fontes@ua.pt)  
2023/2024



# Tendências em comunicações

- A actual indústria das telecomunicações tem sido o resultado de diferentes tendências nos últimos 40 anos:
  - A saturação do mercado telefónico, no final do séc.

anos 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, na década de 2000
- Dados em todos os lugares, na década de 10
- Mundo digital, começando no início da década de 10

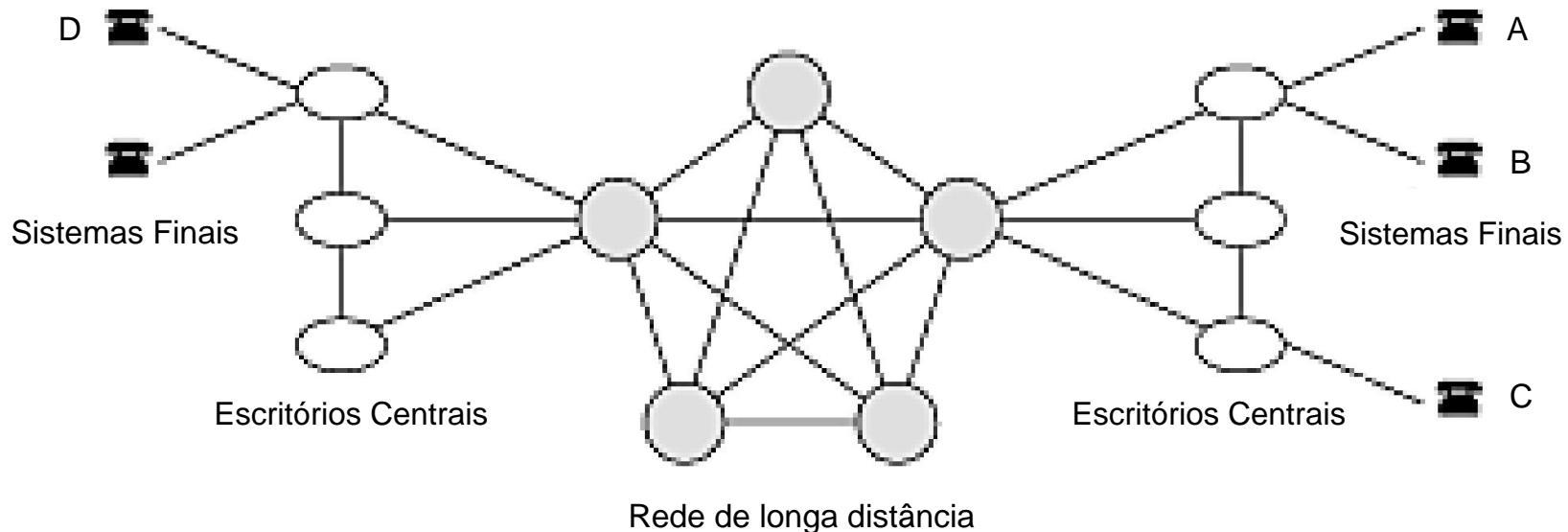


# A rede de comunicação

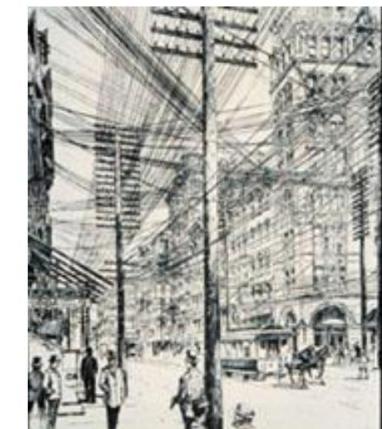
Antes das Comunicações Móveis, ali onde as Comunicações Fixas



# Sistema telefônico

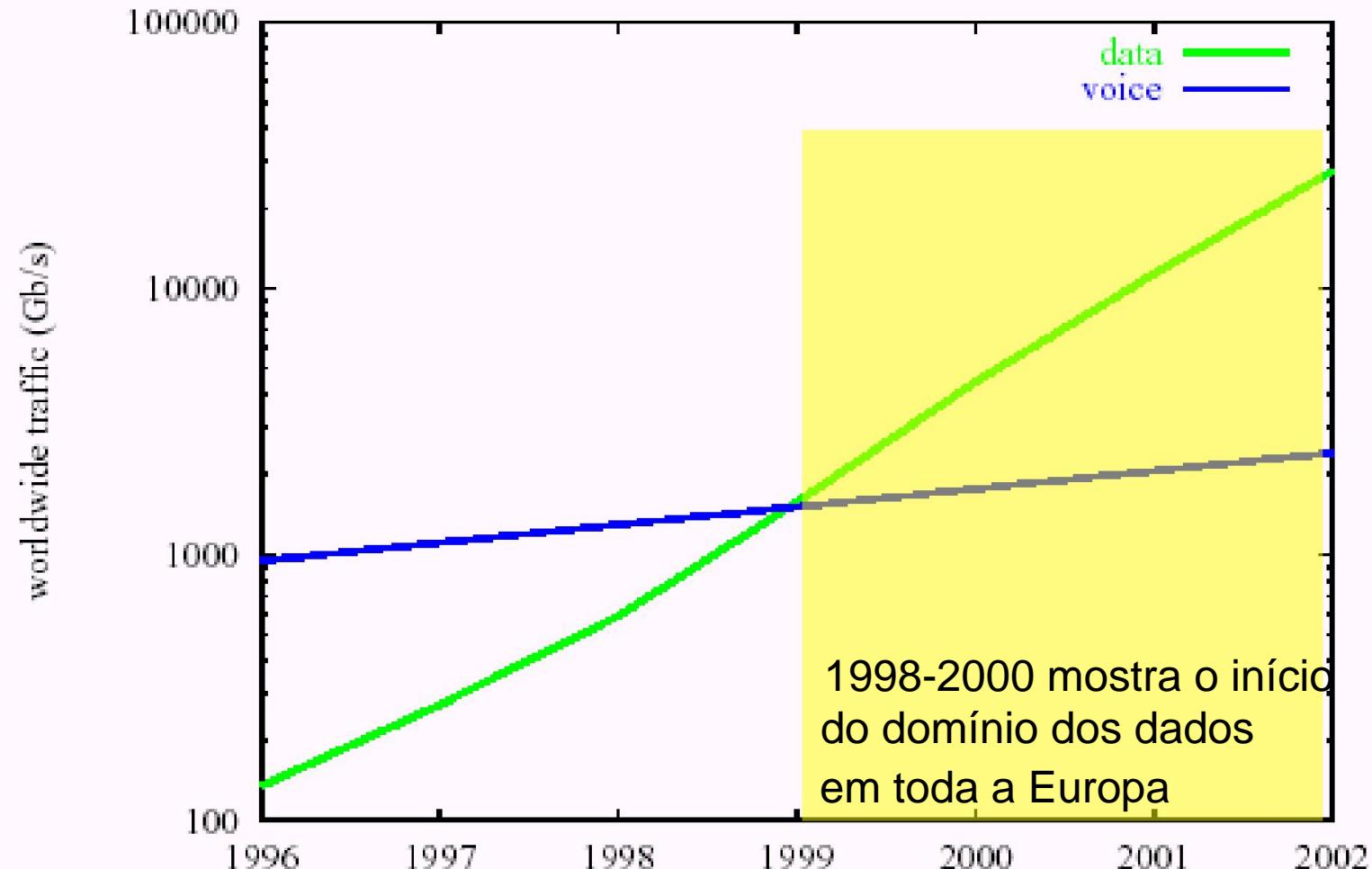


- Utiliza circuitos comutados (virtuais...) •  
Acesso através de circuitos de baixa largura de banda
- Estabelecimento de chamadas “fora de banda” utilizando sistema de sinalização baseado em pacotes  
(SS7)
- Canais entre centrais de comutação transportam múltiplas chamadas • Multiplexação (análogica ou digital)





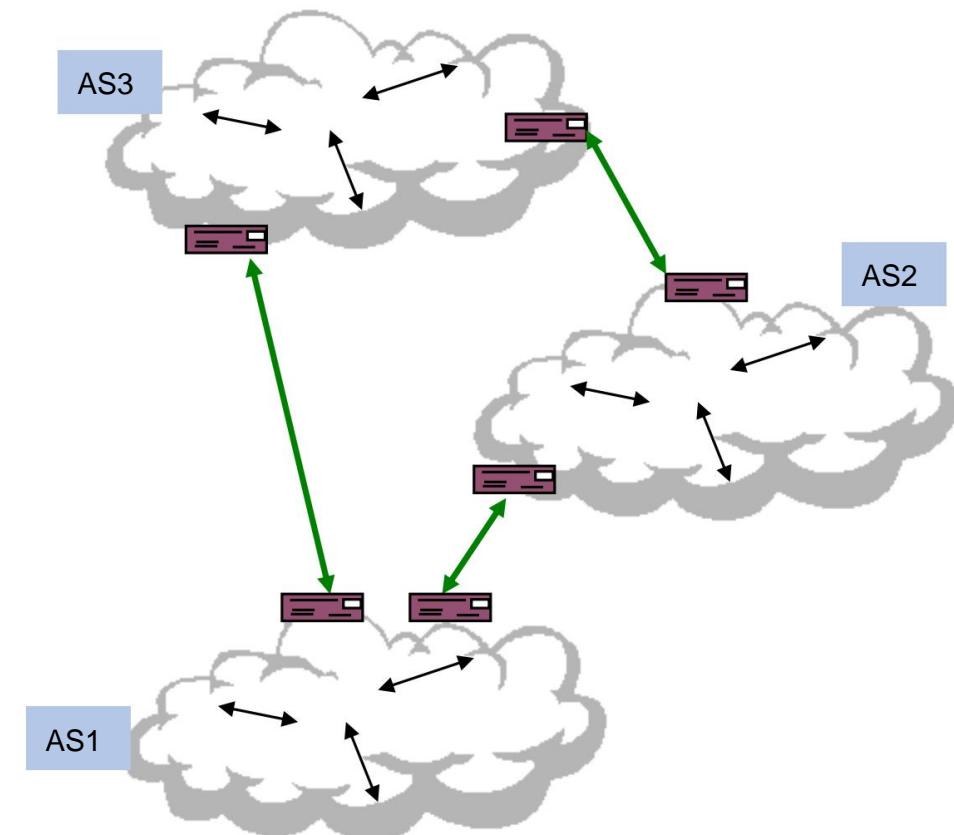
# Evolução: Voz vs Dados





# Estrutura da Internet

- Definição de fronteiras administrativas
  - 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



roteador de fronteira



trocas de roteamento intradomínio



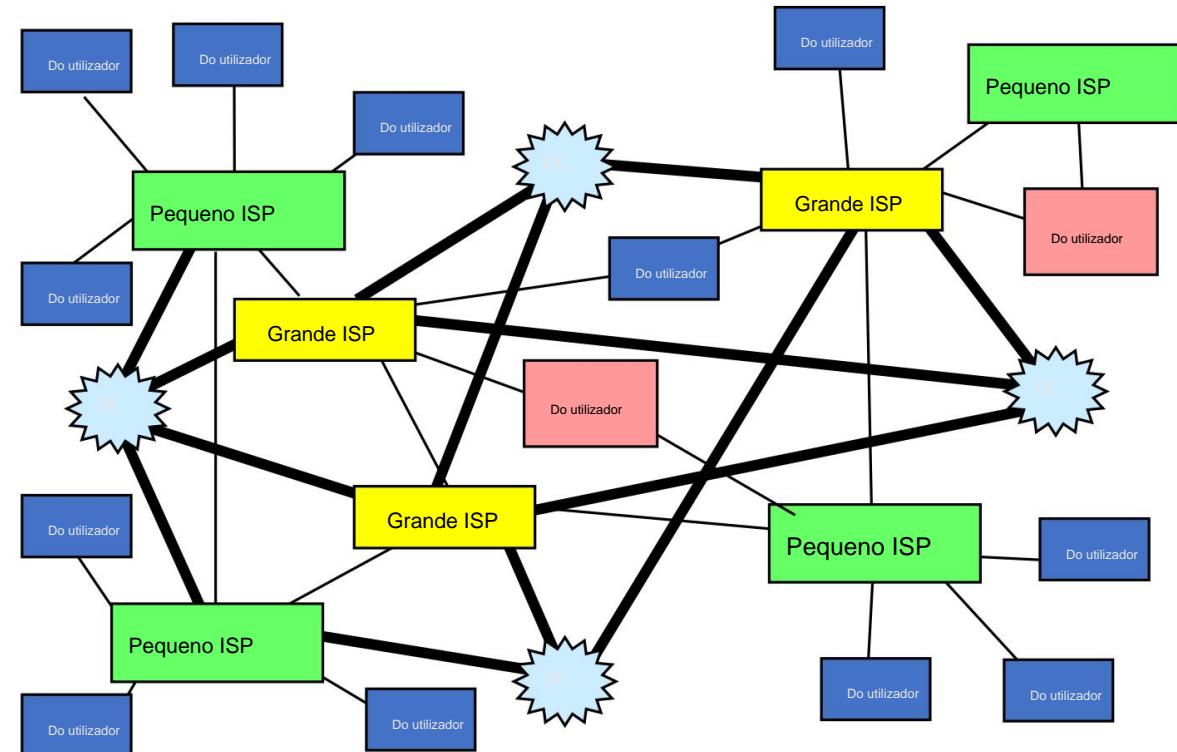
trocas de roteamento entre domínios



# Internet: atualmente

- Conjunto auto-organizado de componentes autônomos interconectados
  - Mais de 60.000 domínios autônomos (com mais de 100 mil números alocado)
    - Garantia única está executando 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, e-mail); um para muitos (multi-cast, por exemplo, eletrônico notícias)
- NB: As redes de Internet são operadas de forma AUTÔNOMA
  - Após conectar-se à Internet, a rede **se torna PARTE da Internet**

# Estrutura real



- Aparentemente hierárquico. • O ISP de base fornece serviços a ISPs cada vez mais pequenos.
  - Os ISPs mais pequenos eventualmente prestam serviços aos utilizadores finais.
- Mas a hierarquia não é respeitada
  - Acordos de conexão privada • Mecanismos para melhoria da rede
  - Todas as empresas prestam serviços a (alguns) usuários
  - Os 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 intermitentes
  - 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

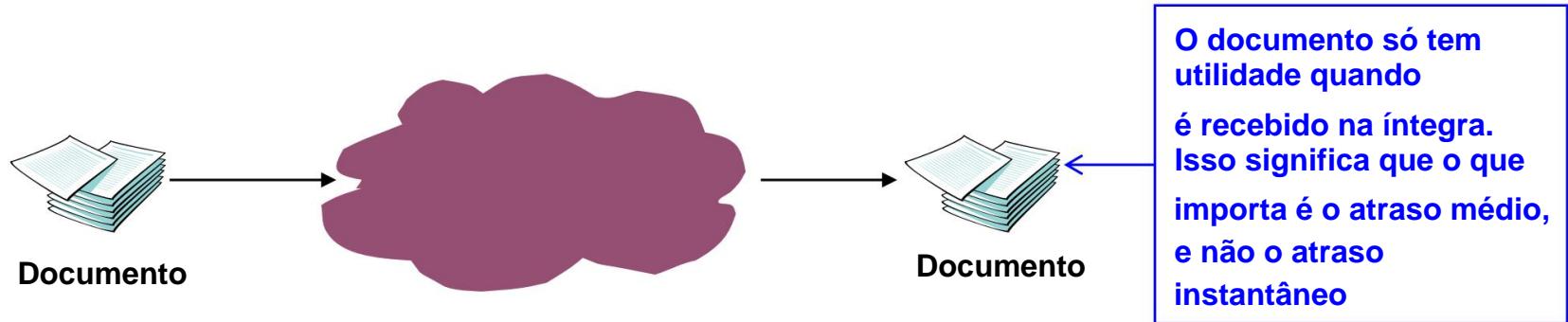


# Serviço de transporte (operador/ISP) vs aplicativos

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



# Operações elásticas (Desempenho): Todo o tráfego não tem os mesmos requisitos

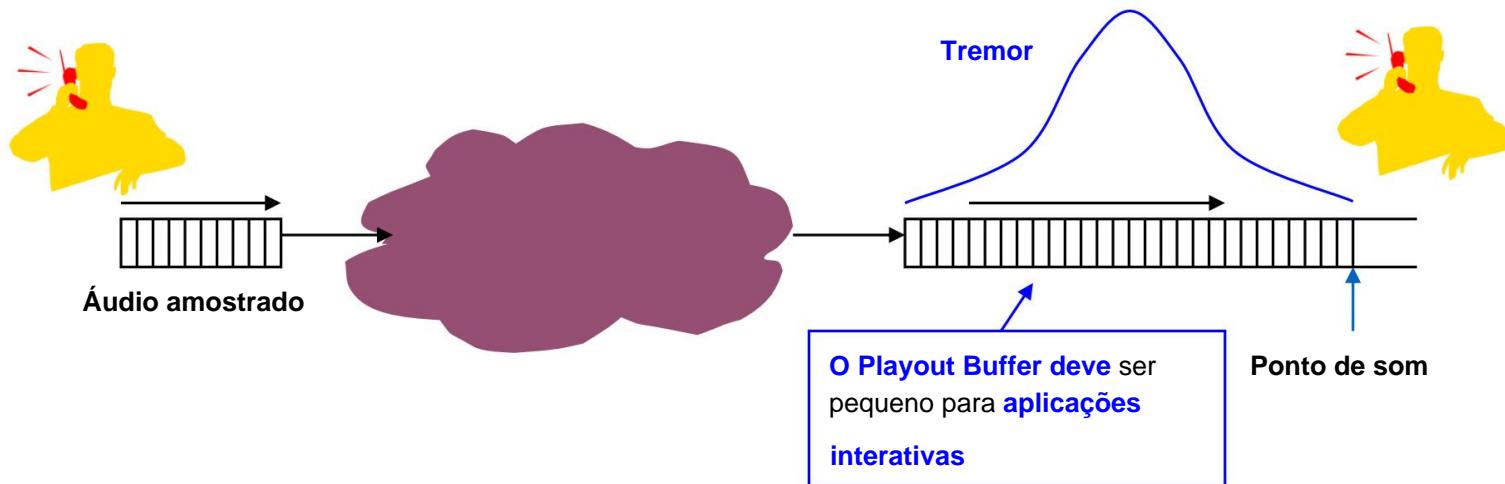


## • Aplicações elásticas

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



# Requisitos de aplicação

<b>Formulários</b>	<b>Perdas</b>	<b>PN</b>	<b>Tempo</b>
E-mail de transferência de arquivos	suportes sem perdas	elástico	não
<b>Documentos da web</b>	<b>sem perdas</b>	<b>elástico</b>	<b>não</b>
Áudio/vídeo em tempo real	sem perdas	vídeo: 10K-5Mbps sim, áudio: 5K-1Mbps alguns segundos	
Áudio/vídeo transmitido	suporta	Veja acima	
Jogos interativos	suporte sem perdas	Alguns Kbps sim, 100 ms elásticos	
Aplicações financeiras			sim e não

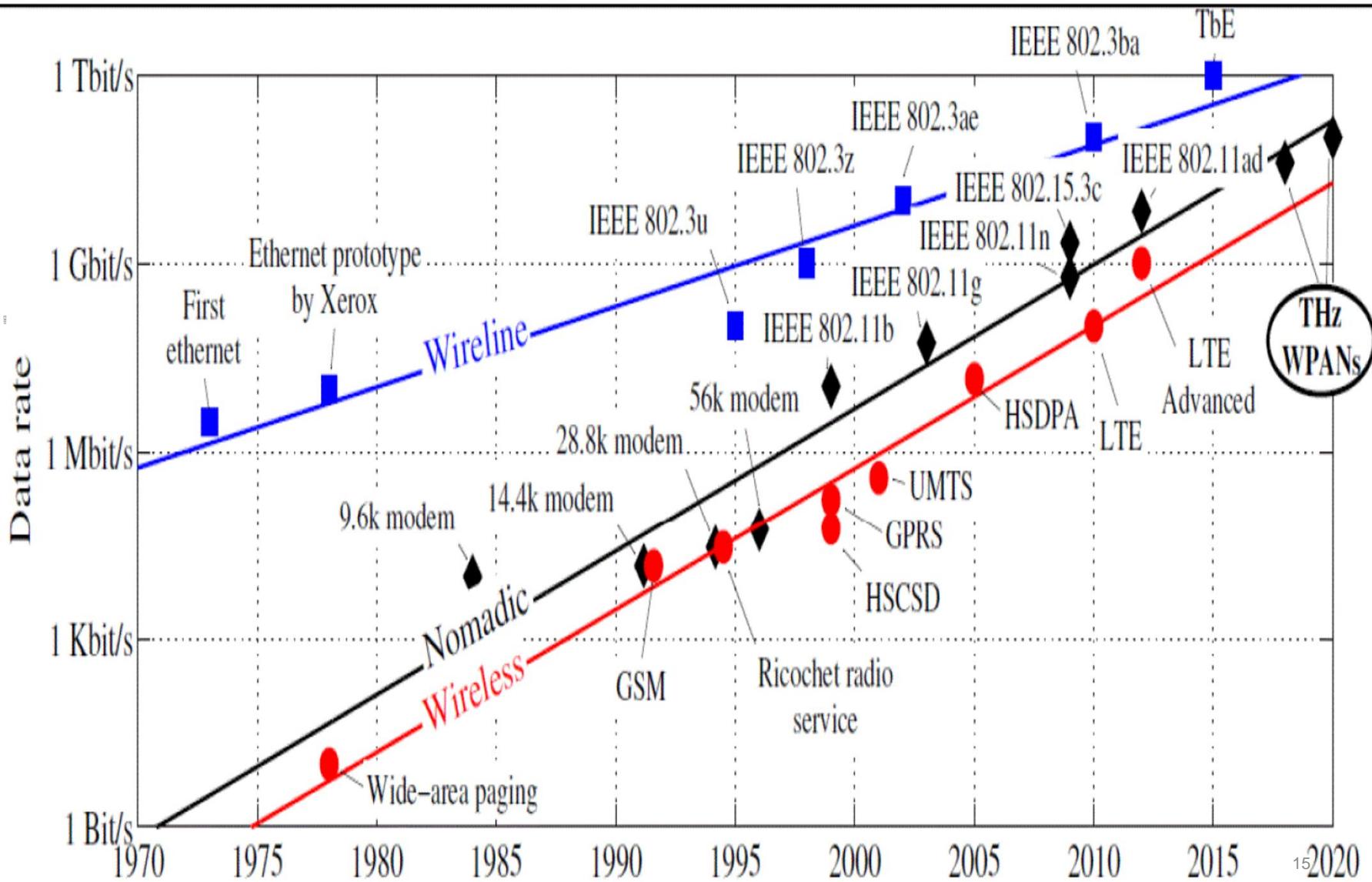


# A rede móvel

Motivações econômicas e sociais



# Lei de Edholm

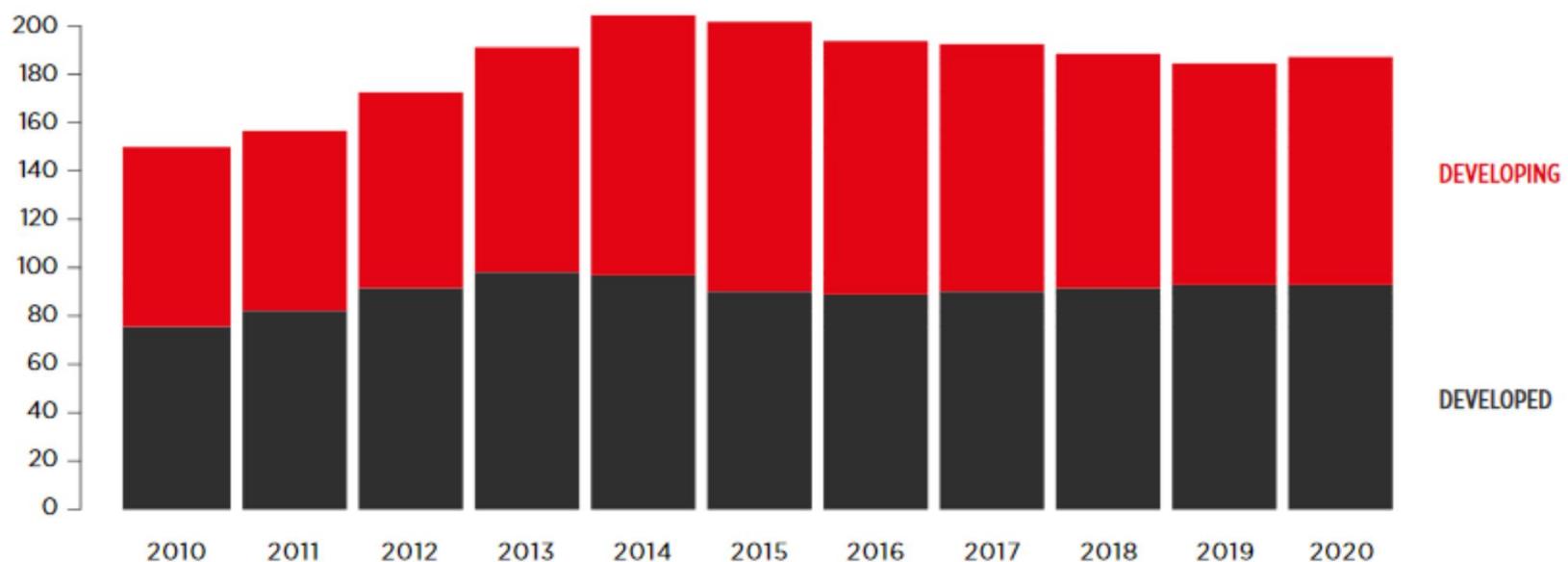




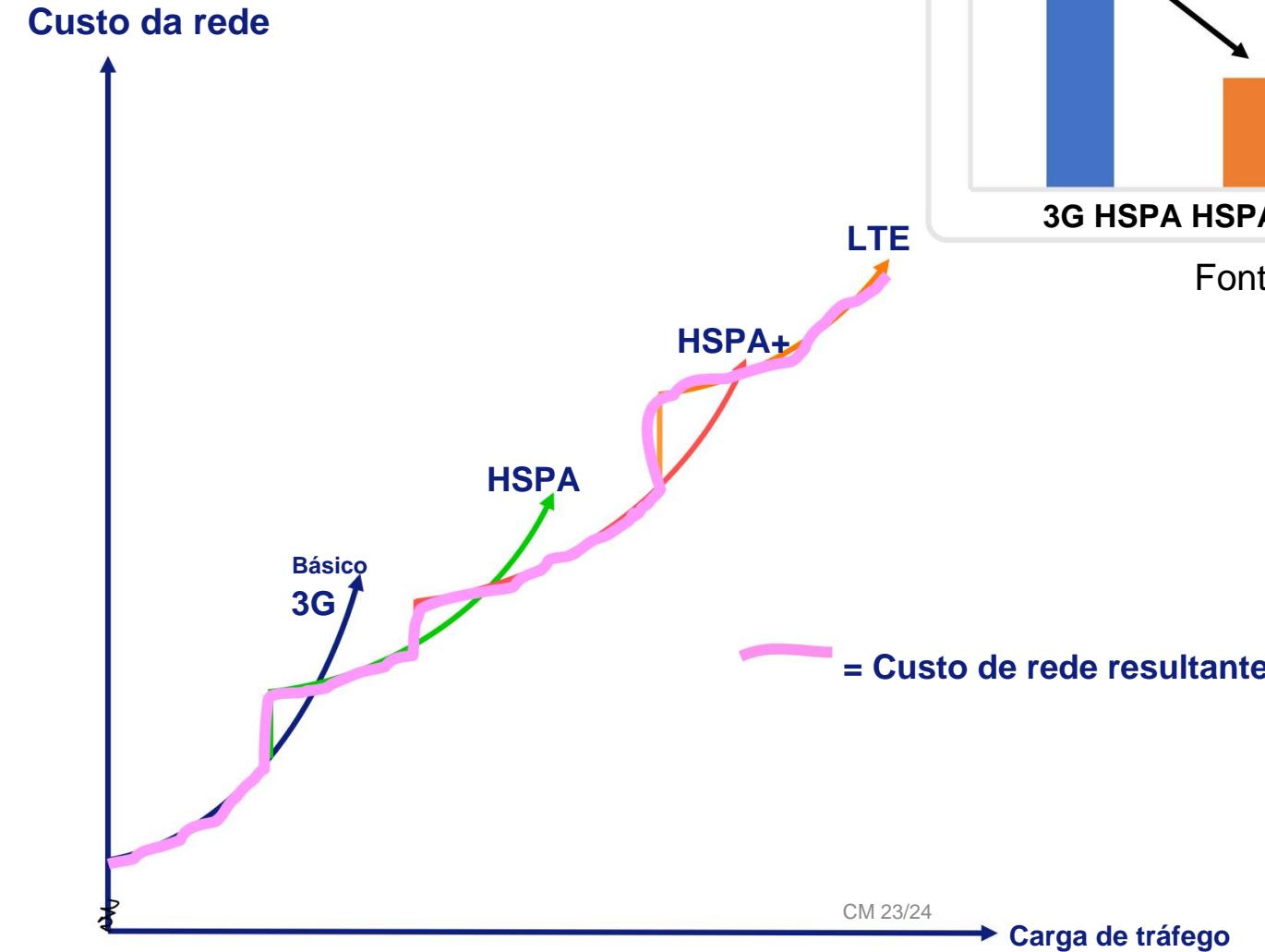
# Custo do investimento em telecomunicações

## Global mobile operator capex

(\$ billion)

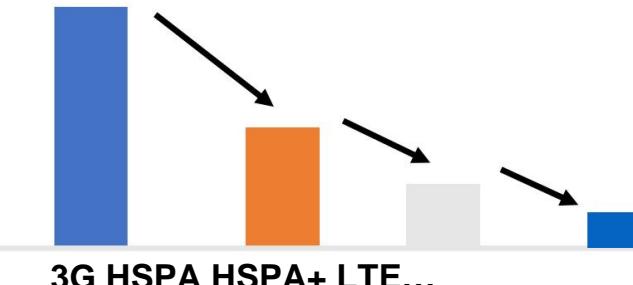


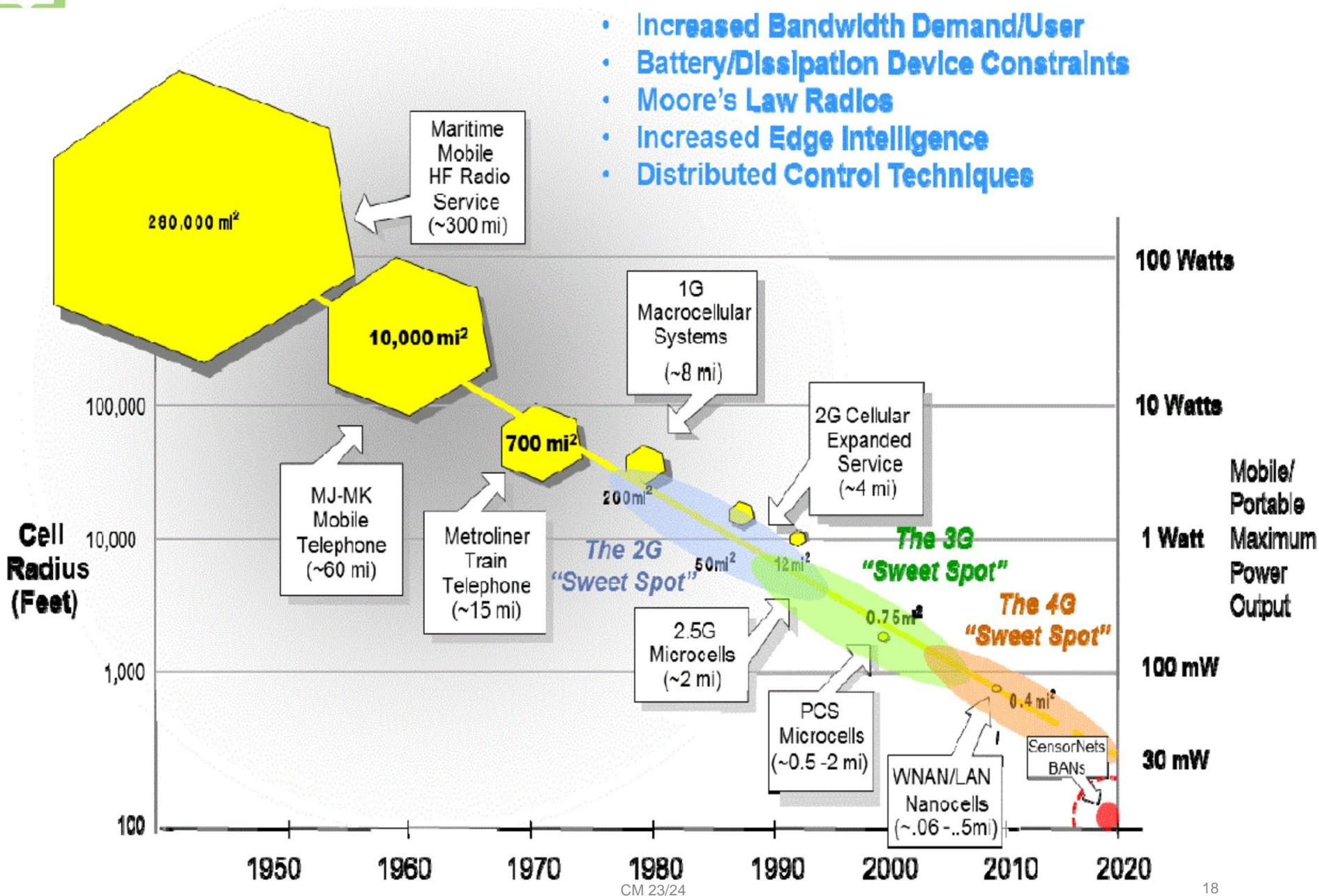
# Motivações para tecnologias



Menor custo de produção por bit

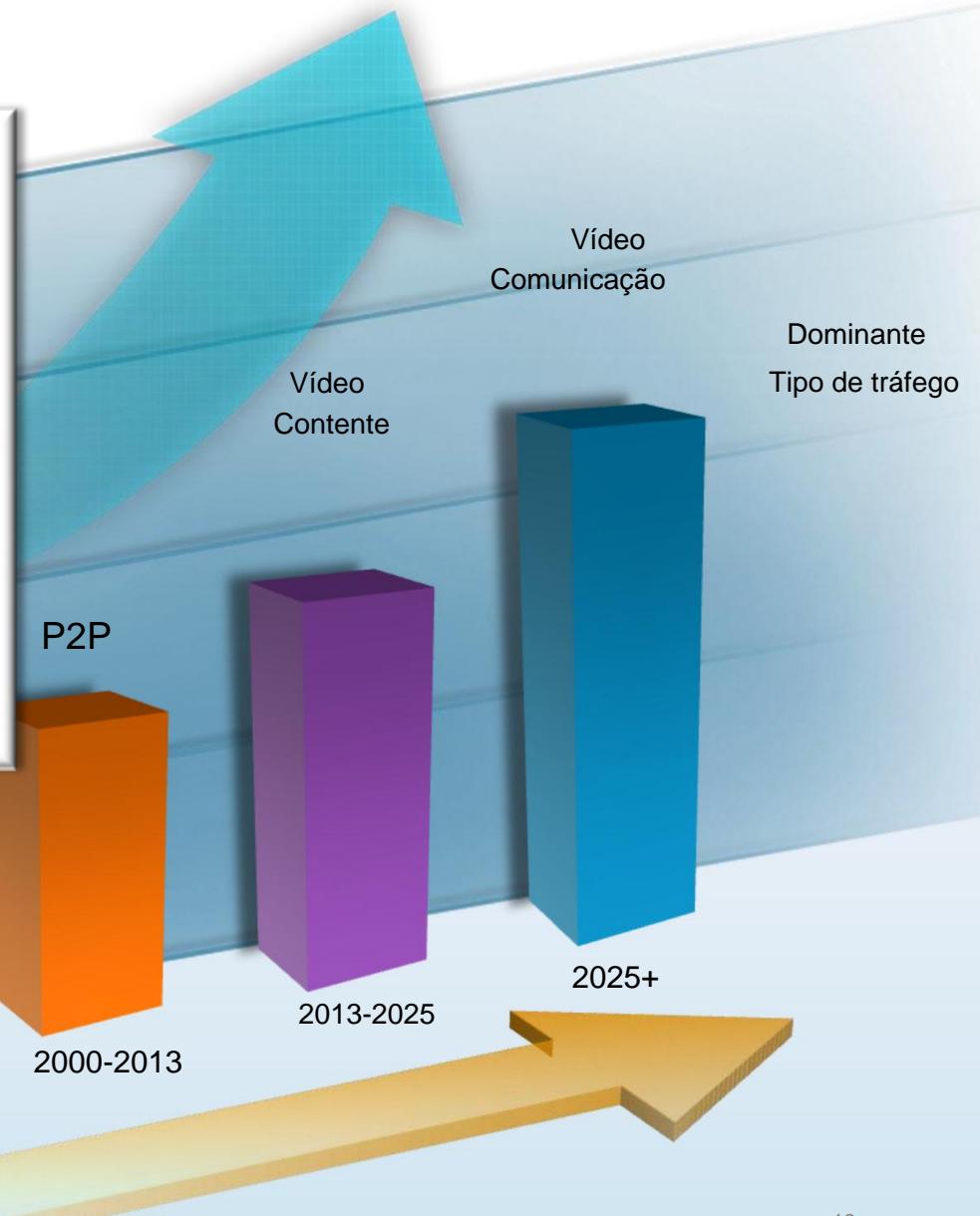
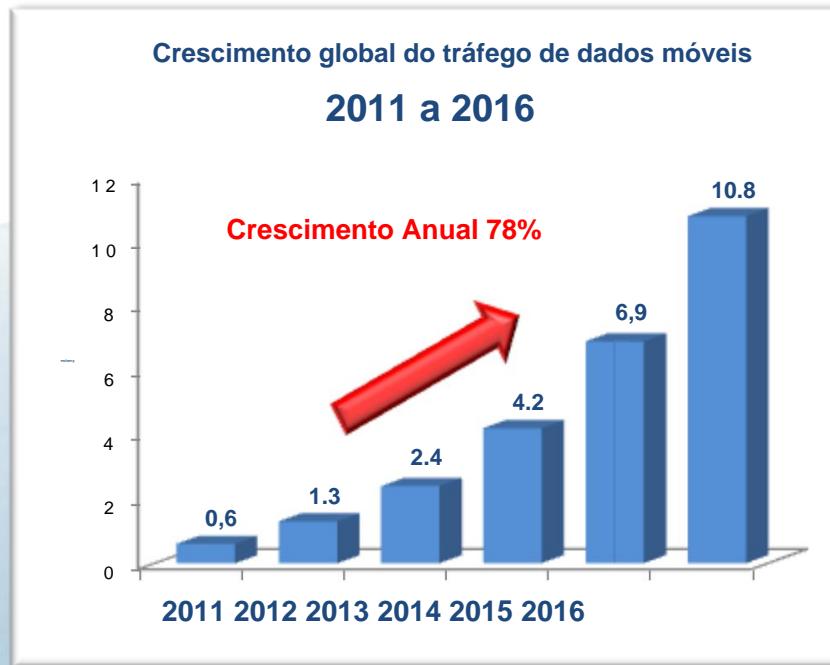
Custo por Mbyte





# Crescimento dramático do tráfego

## Alimentado por vídeo



# As coisas que nos cercam





# A rede agora é mais do que bits e bytes – ela se adapta aos usuários





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

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

Fonte: GigaOM

ONE QUARTER OF WHICH WERE PAID

TOP 50 PAID APP PRICES

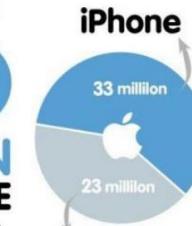
99¢	25
\$1.99	6
\$2.99	8
\$3.99	1
\$4.99	3
\$5.99	2
\$6.99	4
\$7.99	0
\$8.99	0
\$9.99	1

AT AN AVERAGE COST OF \$2.59

EACH iPhone USER SPENDS AN AVERAGE OF \$10 ON APPS EVERY MONTH.

WITH OVER

56 MILLION APP STORE USERS,



200 MILLION APPS ARE BEING DOWNLOADED

MONTHLY, GENERATING MORE THAN

\$500 MILLION IN REVENUES OF WHICH 30% GOES TO

APPLE & 70% TO DEVELOPERS EACH MONTH.

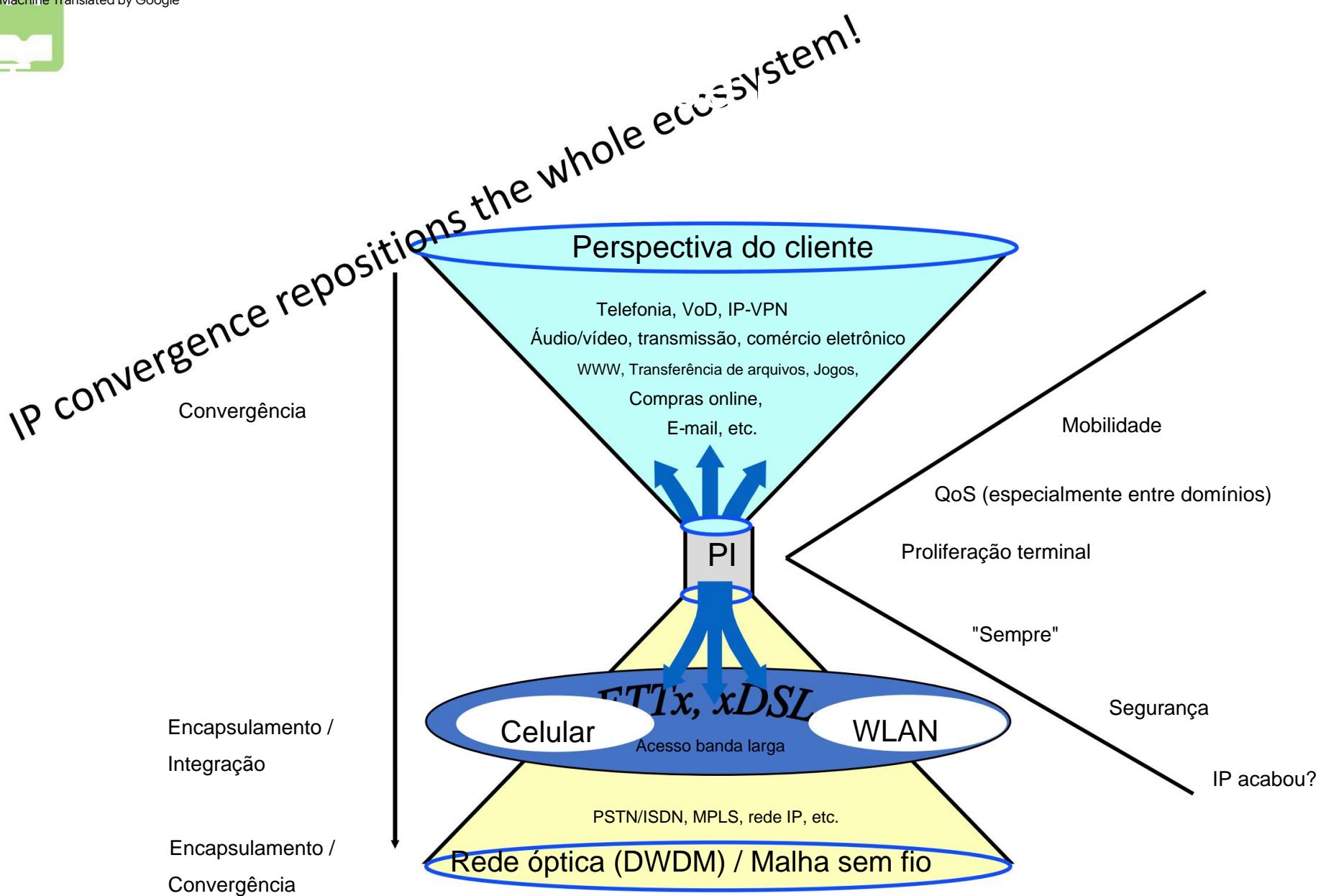
For more information, visit [GigaOM.com](http://www.gigaom.com), [Admob.com](http://www.admob.com), [Apple.com](http://apple.com).





## Comportamento e tendências do usuário

- Aumento dos serviços baseados na Internet
  - **O mercado telefônico está saturado** • “Tudo” chegou às “comunicações de dados”
- Aumento dos requisitos de banda larga • P2P sendo substituído por serviços baseados em serviços • Acesso à Internet 2x a cada 2 anos – acesso de fibra agora
- florescendo • 70% de penetração de banda larga • Maior mobilidade e roaming • Sempre ligado e continuidade de sessão • Maior conteúdo para o usuário final
  - WLAN e 4G •
- Maior informação de contexto • Maior personalização • Maior comunicação entre máquina/veículo/objeto





# Uma revolução no armazenamento móvel....



Flash incorporado

128 MB >> 64 GB



ÿTamanho pequeno para minimizar o custo do aparelho

ÿUsado para armazenar dados do sistema:  
aplicativos, mensagens, contatos, toques



Integrado

(SD/H)DD

2 GB >> 256 GB

ÿGrande armazenamento para conteúdo do usuário

ÿMas alto impacto no custo do terminal



SanDisk  
**Ultra**

400 GB A1

Cartão de memória

128 MB >> 1 TB

ÿArmazenamento grande e removível para fácil transferência de conteúdo  
do usuário

ÿInteroperável com outros dispositivos eletrônicos  
de consumo

ÿFornece 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 residencial e de escritório
- extensão sem fio de DSL em casa
- UWB
- USB sem fio
- TV/DVB



# A estrutura sem fio (resumo)

- Sistemas móveis são O principal negócio
- As operadoras estão cada vez mais focadas em 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



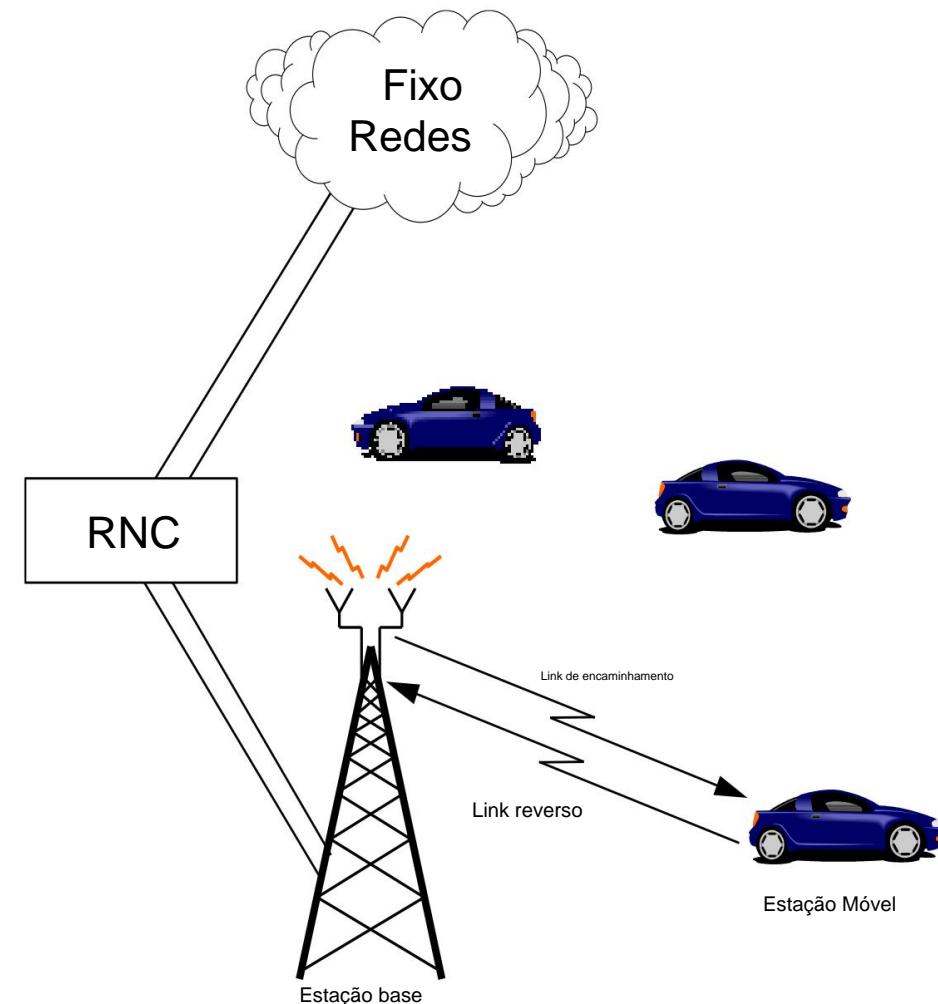
# A rede móvel

Aspectos técnicos genéricos e desafios



# Sistemas sem fio

- Os usuários de celulares se comunicam através de pontos fixos (Base Estações/pontos de acesso)
- Confie na transmissão de rádio - ligação final entre terminais e rede
  - Recursos finitos, o espectro disponível é estritamente limitado
  - Propagação, desvanecimento e interferência multipercurso
  - A mobilidade do terminal complica o sistema





# Problemas móveis

1. Limitações de conexões sem fio • Múltiplas redes e tecnologias de acesso independentes • Quedas de conexão (frequentes) • Largura de banda (mais) limitada • Falta de consciência de 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 de dimensionamento • Dispositivos móveis contados em 1.000 milhões • O(s) custo(s) precisa(m) ser baixo • A energia está se tornando um problema



## Problemas de dispositivo

- Pela sua própria natureza:

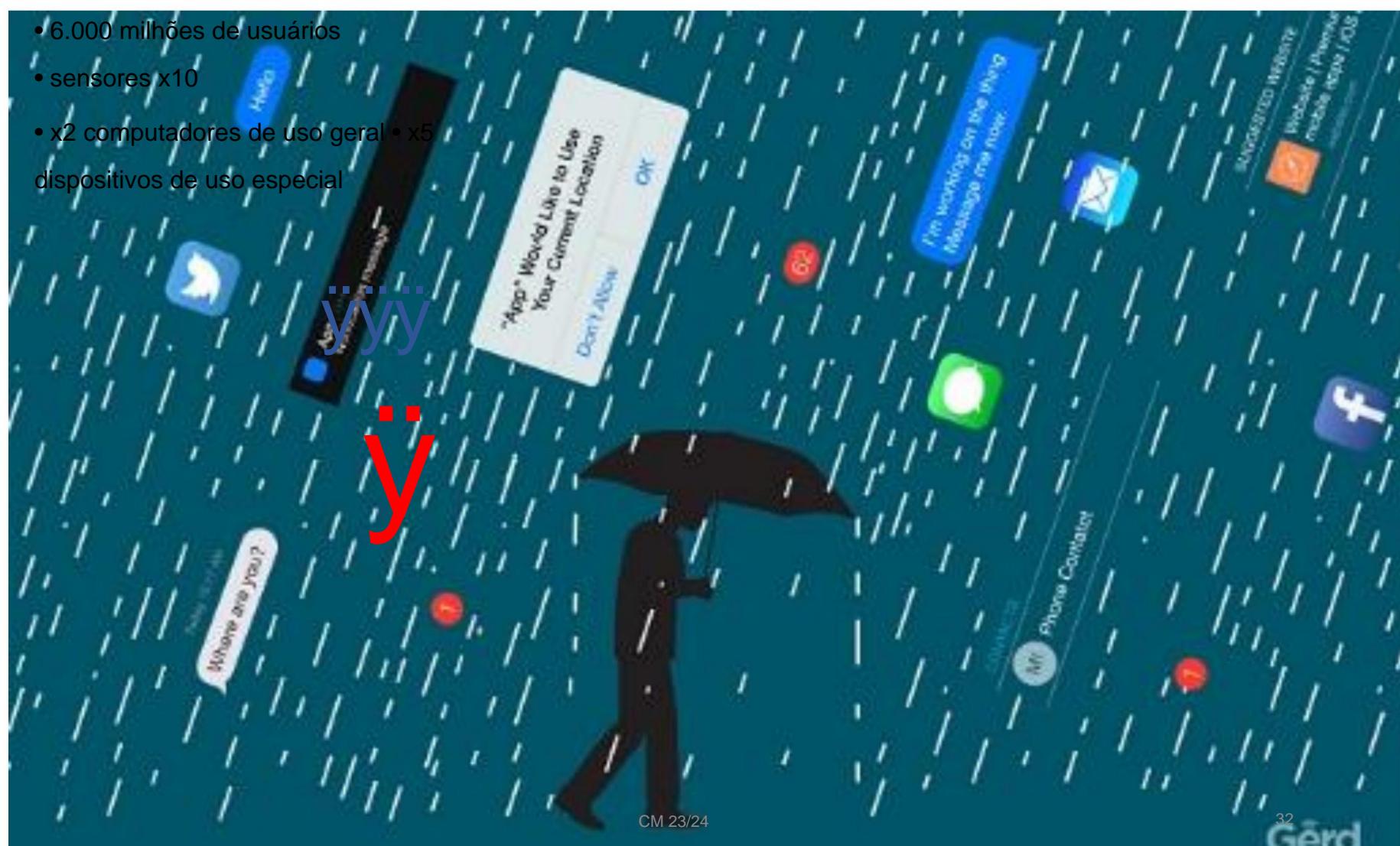
SMALL!  
PEQUENO!  
LOW POWER!  
BAIXA POTÊNCIA!

- Dispositivos potencialmente de baixa potência
  - **Desempenho de computação limitado**
  - **Telas de baixa qualidade**
  - **Potencial perda de dados**
  - **Facilmente perdidos**
  - **Deve ser concebido como sendo “integrado à rede”**
  - **Interface de usuário** potencialmente pequena e limitada
  - **Espaço limitado para teclados**
  - **Uso intensivo de ícones/caligrafia/fala**
  - **Potencialmente pequeno Armazenamento local**
  - **Memória flash em vez de unidade de disco**



Dimensionamento: Você quer dizer *em todos os lugares*?!?!?

- 6.000 milhões de usuários
  - sensores x10
  - x2 computadores de uso geral • x5 dispositivos de uso especial





Dimensionamento: Você quer dizer *em todos os lugares?!?!*

- 6.000 milhões de usuários
- sensores x10
- x2 computadores de uso geral • x5 dispositivos de uso especial

ÿÿÿ

ÿ



# 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 wireless?!?

- 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 de vista
- 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



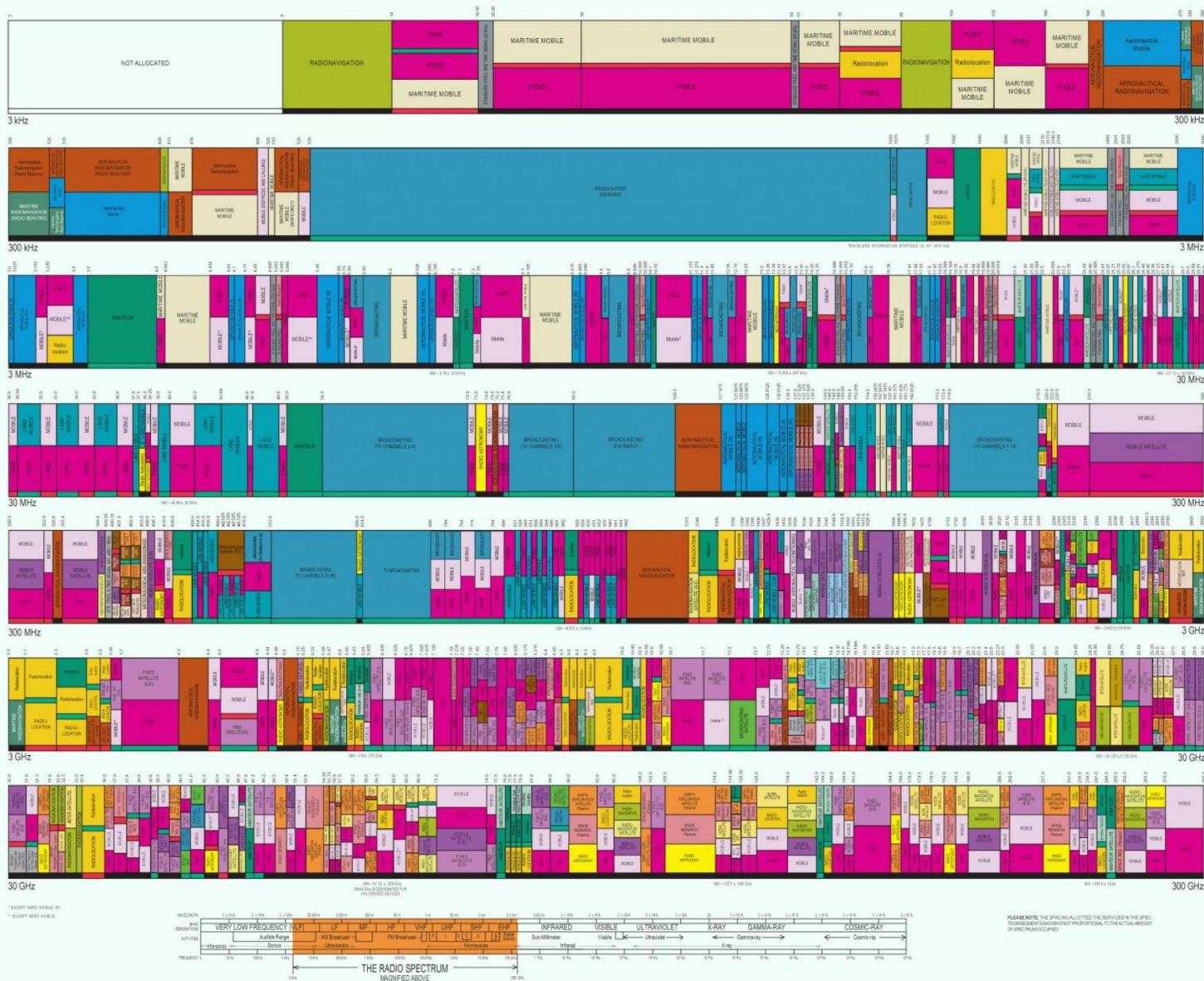
# Spectrum (apenas) parece muito!

- 300 GHz é uma enorme quantidade de espectro!
  - O Spectrum também pode ser reutilizado no espaço
  - Não tanto:
    - A maior parte dele é difícil ou cara de usar!
    - O ruído e a 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 usar o espectro e como ele pode ser usado.
      - (ITU-T WRC. Anacom, Oftel, FCC...)
      - Necessita de licença para a maior parte do espectro
      - Limites de potência, colocação de transmissores, codificação, ...
      - Necessita de regras para optimizar benefícios: garantir serviços de emergência, simplificar a comunicação, retorno sobre o investimento de capital,...

# UNITED STATES FREQUENCY ALLOCATIONS

---

## THE RADIO SPECTRUM



**U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE**  
National Telecommunications and Information Administration  
Office of Spectrum Management



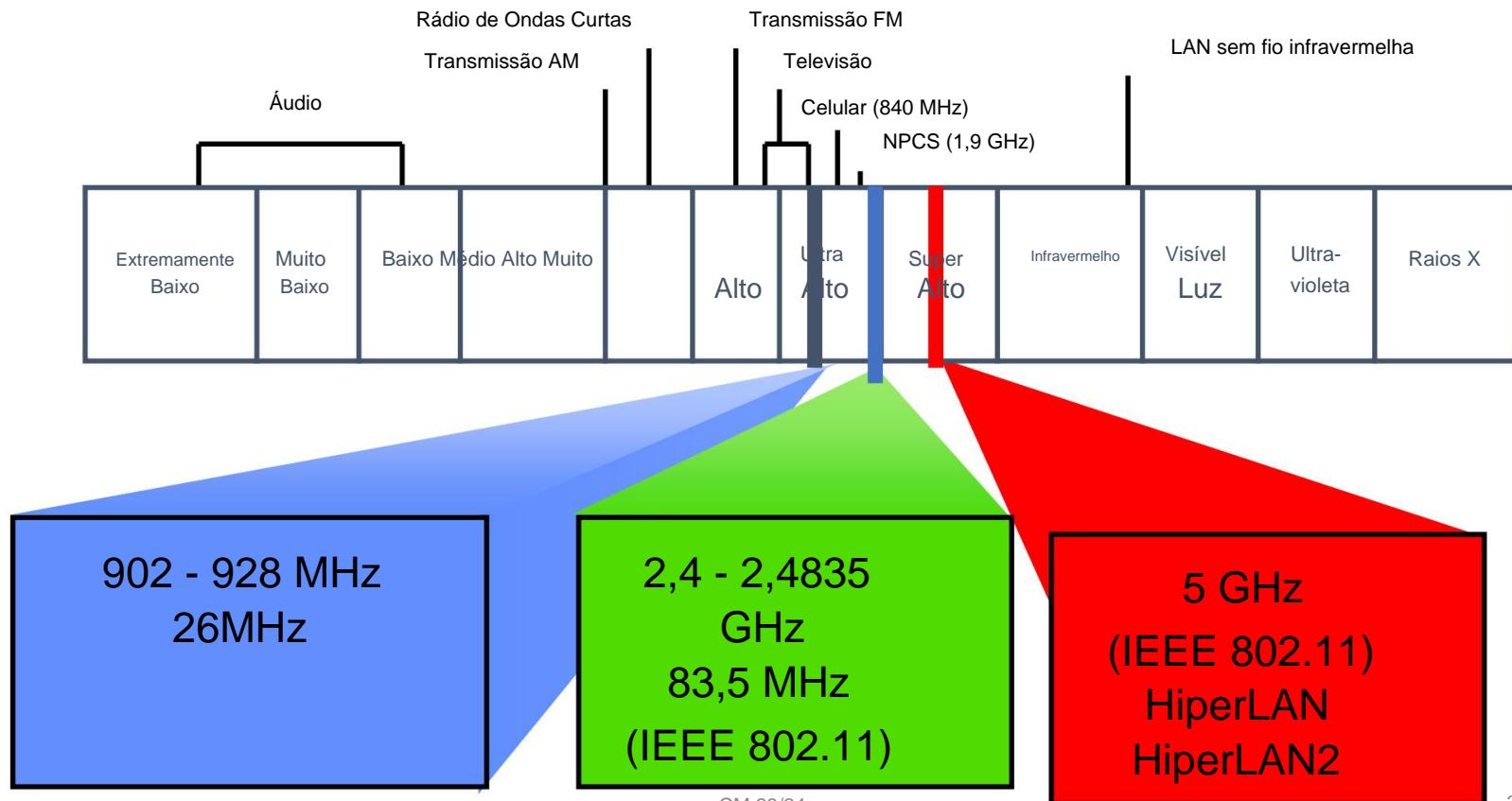
# Faixas de frequência gerais

- Faixa de frequência de micro-ondas
  - 1 GHz a 40 GHz e superior
  - Possibilidade de feixes direcionais
    - 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 3x10<sup>11</sup> a 2x10<sup>14</sup> Hz
  - Útil em aplicações locais ponto a ponto multiponto em áreas confinadas



# Bandas de frequênciā

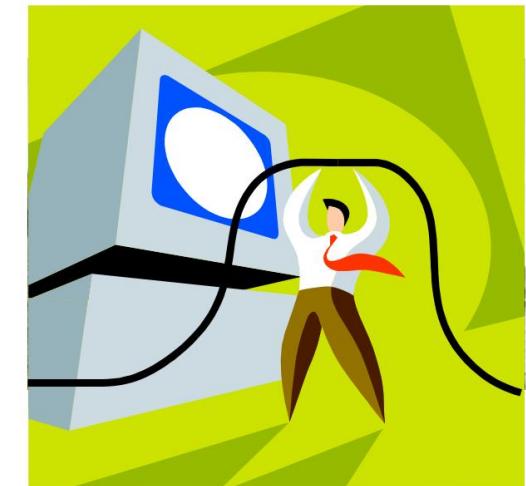
- Bandas Industriais, Científicas e Médicas (ISM)
- Largura de banda de canal de 22 MHz não licenciada





# Camada física

Problemas que enfrentamos





# Classificações de Meios de Transmissão

- Cobre: par trançado versus cabo coaxial •  
São utilizadas diversas técnicas de modulação
- Fibra: modula 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 diversas vantagens significativas:

- Não há necessidade de instalação e manutenção de 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, telefones celulares, ..



# O que há de difícil no wireless?

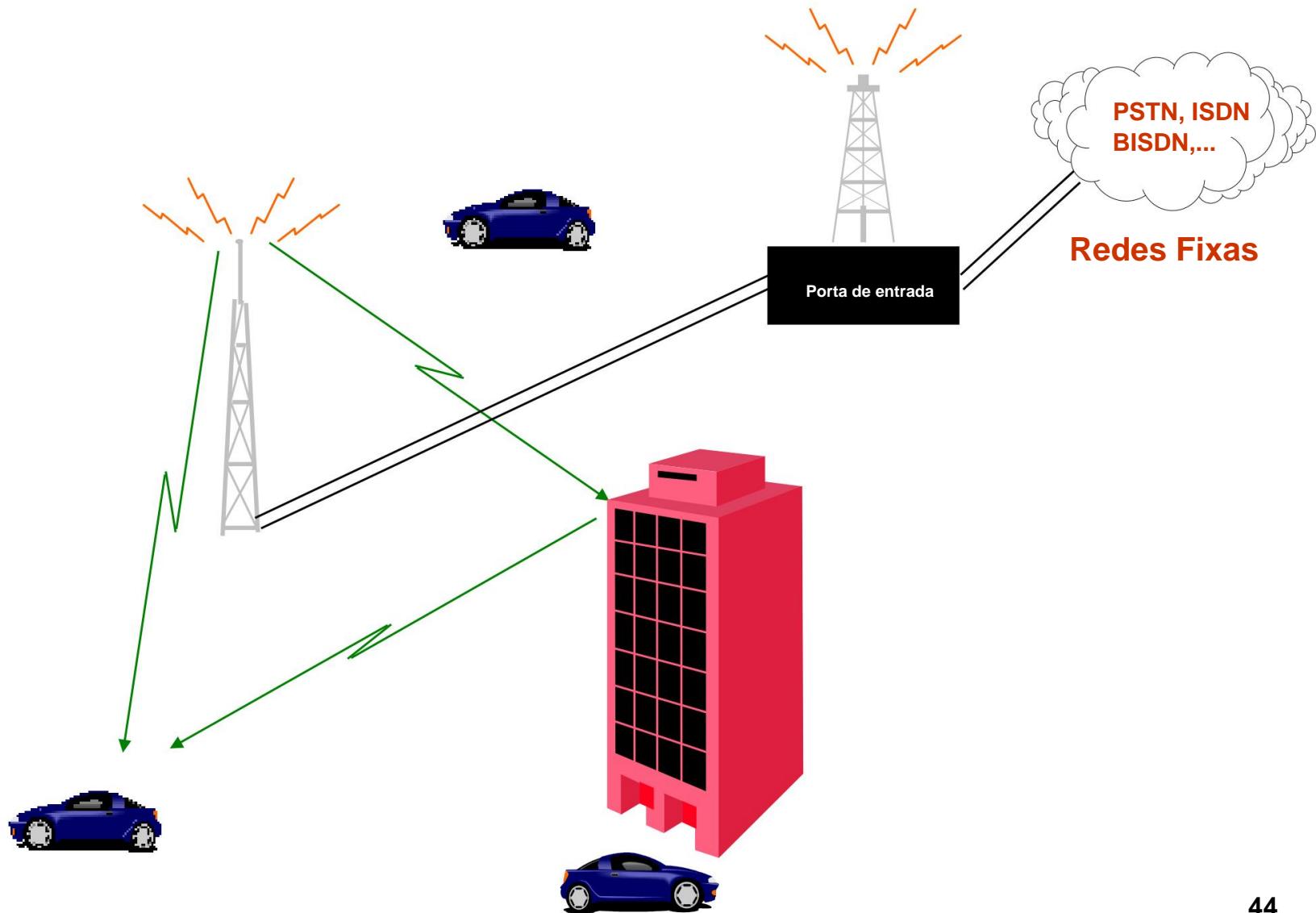
## Não há fios!

Causa problemas em muitas  
áreas:

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

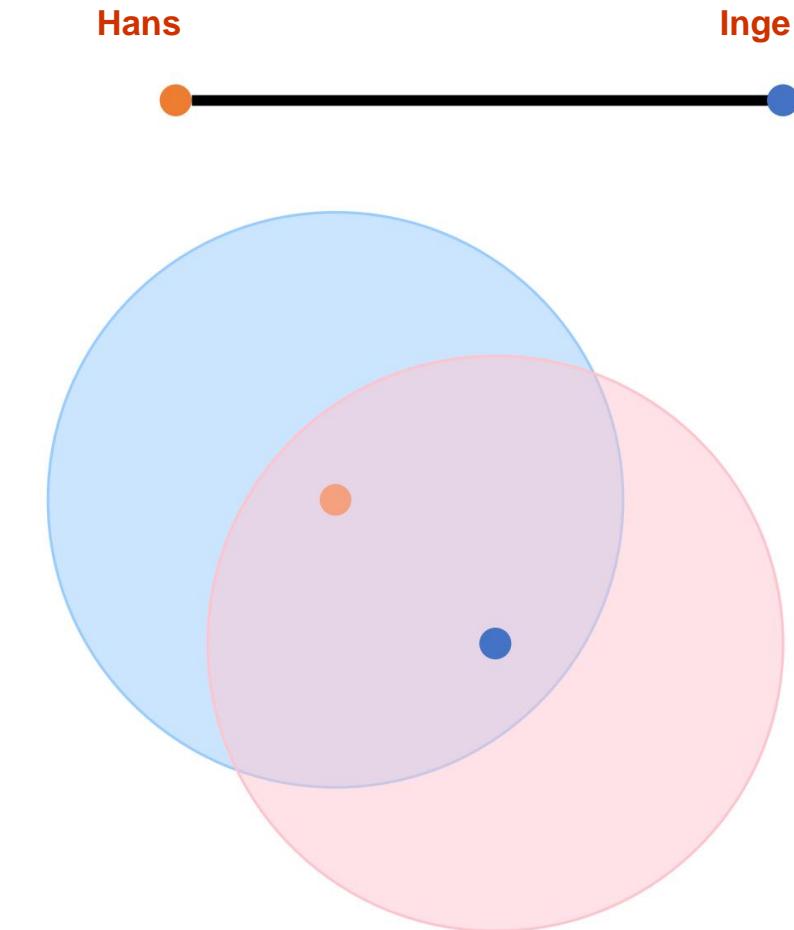


# Deficiências de transmissão de rádio



# Comunicação baseada em Radiodifusão

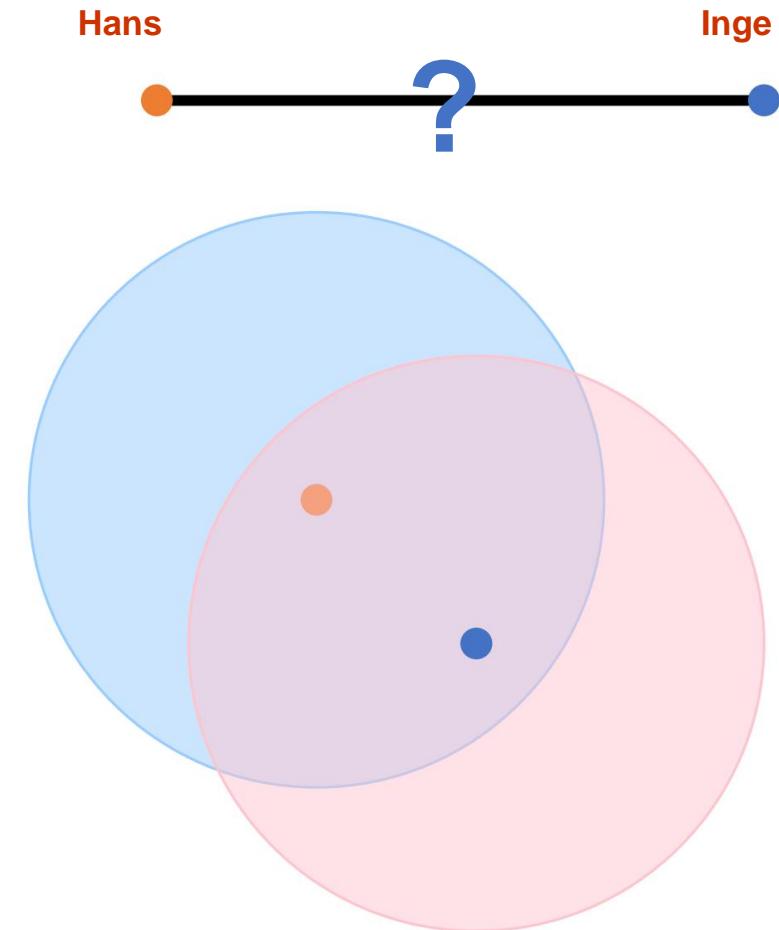
- A comunicação com fio geralmente é ponto a ponto.
  - A transmissão é difícil de escalar
- A comunicação sem fio é inherentemente transmitida.
  - Bem, normalmente
- Claro: permite nós mover





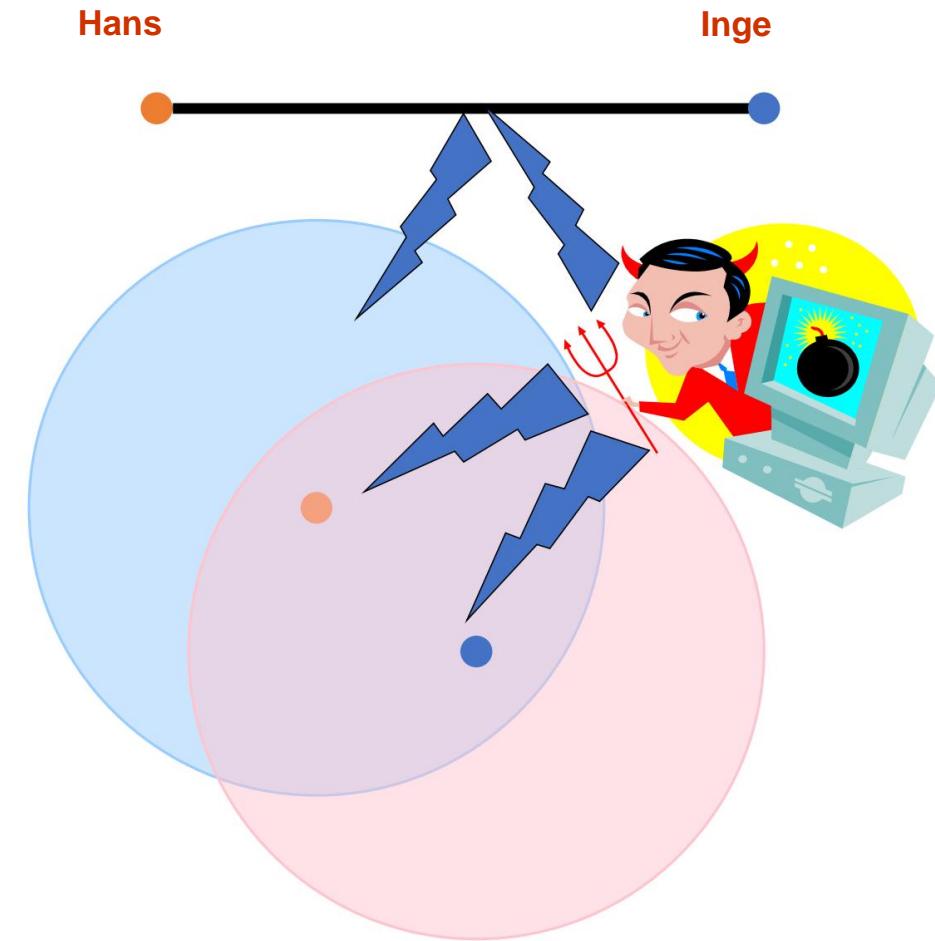
# Mobilidade

- A comunicação com fio geralmente é ponto a ponto.
  - A transmissão é difícil de escalar
- A comunicação sem fio é inherentemente transmitida.
  - Bem, normalmente
- Claro: permite nós mover



# Sem fio é muito sensível ao ruído ...

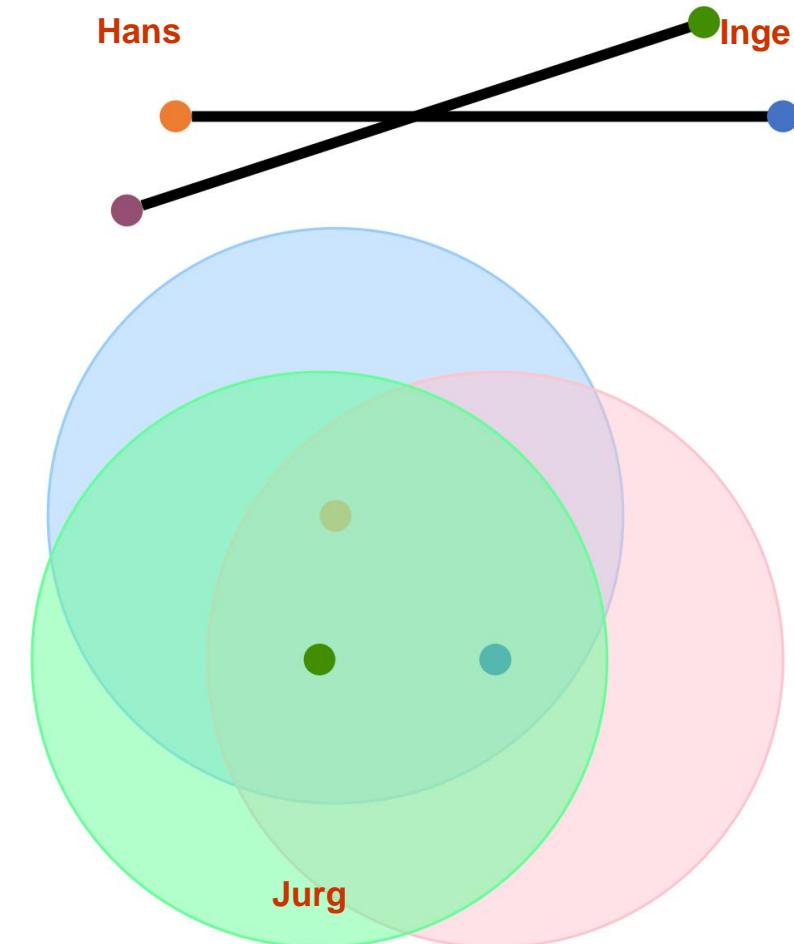
- O ruído está naturalmente presente no ambiente vindo de muitos fontes.
- A interferência pode ser de outros usuários ou de mal-intencionados fontes.
- Impactos que os usuários podem alcançar na produtividade.





# ... e interferência

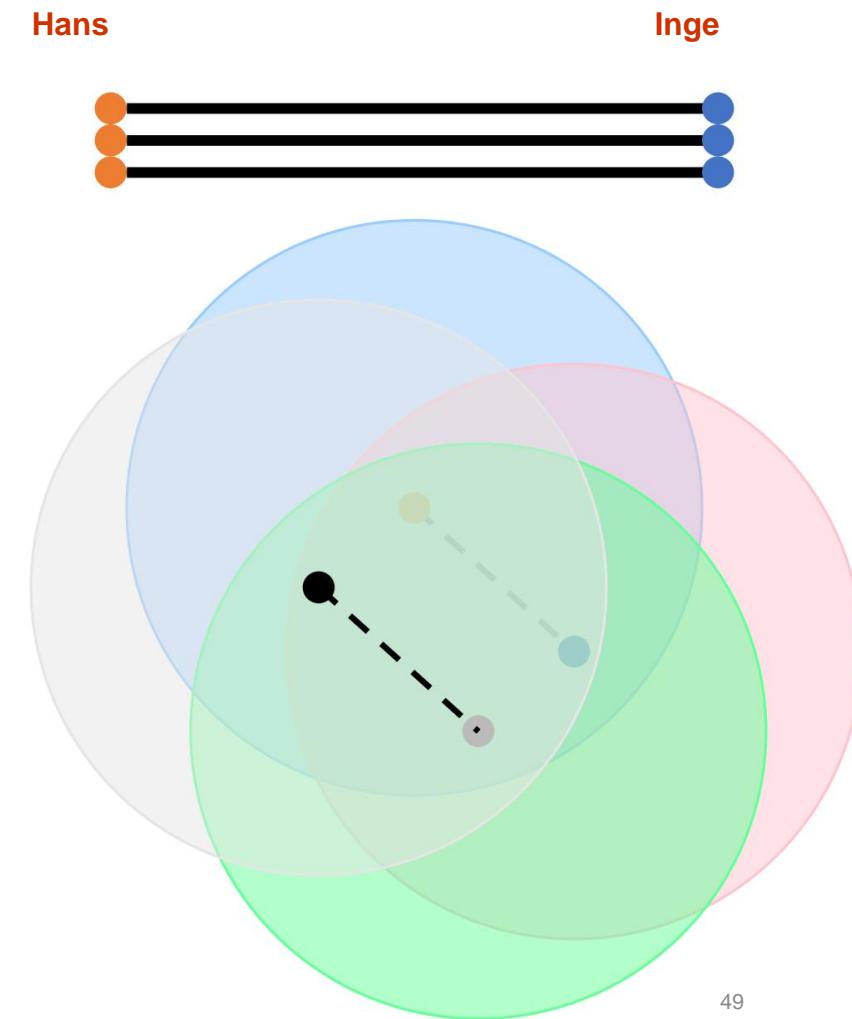
- O ruído está naturalmente presente no ambiente vindo de muitas fontes.
- A interferência pode ser de outros usuários ou de mal-intencionados fontes.
- Impactos que os usuários podem alcançar na produtividade.





# Como aumentamos a capacidade da rede?

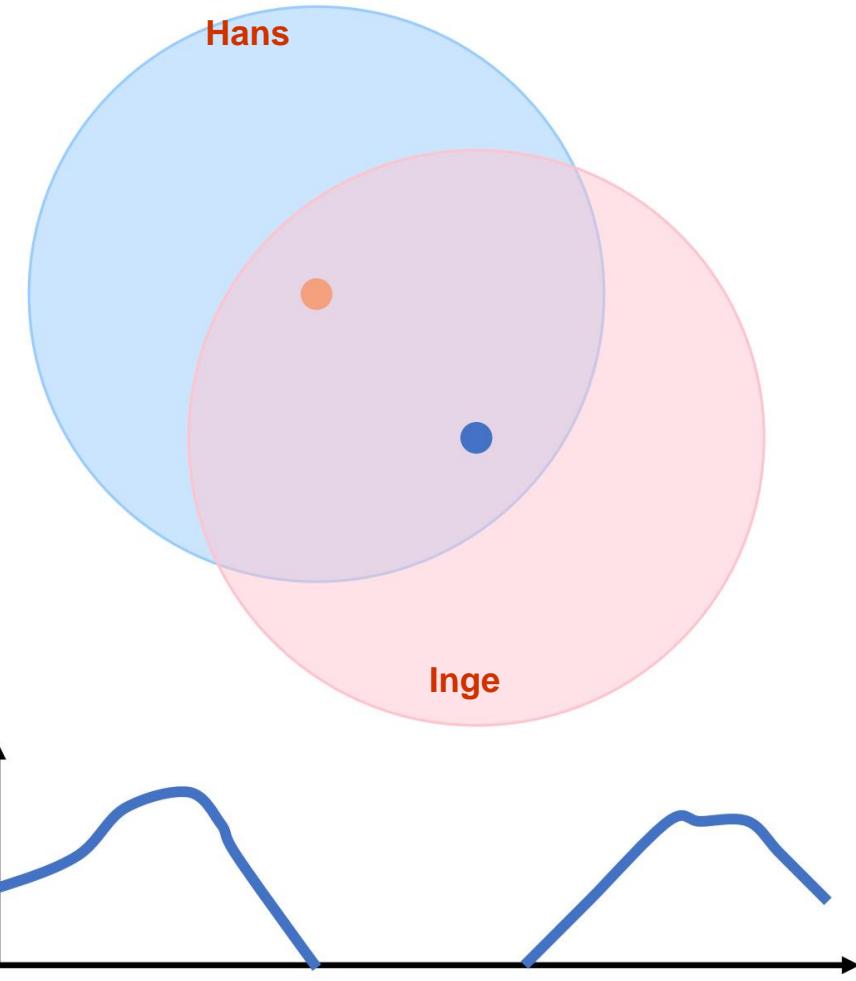
- Fácil de fazer em redes cabeadas:  
basta adicionar fios.
  - A fibra é especialmente atraente
- Adicionar “links” sem fio aumenta a interferência.
  - A reutilização de frequência pode ajudar... sujeita a limitações espaciais
  - Ou use espaços diferentes... sujeito a limitações de frequência
- A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





# A mobilidade afeta o Taxa de transferência do link

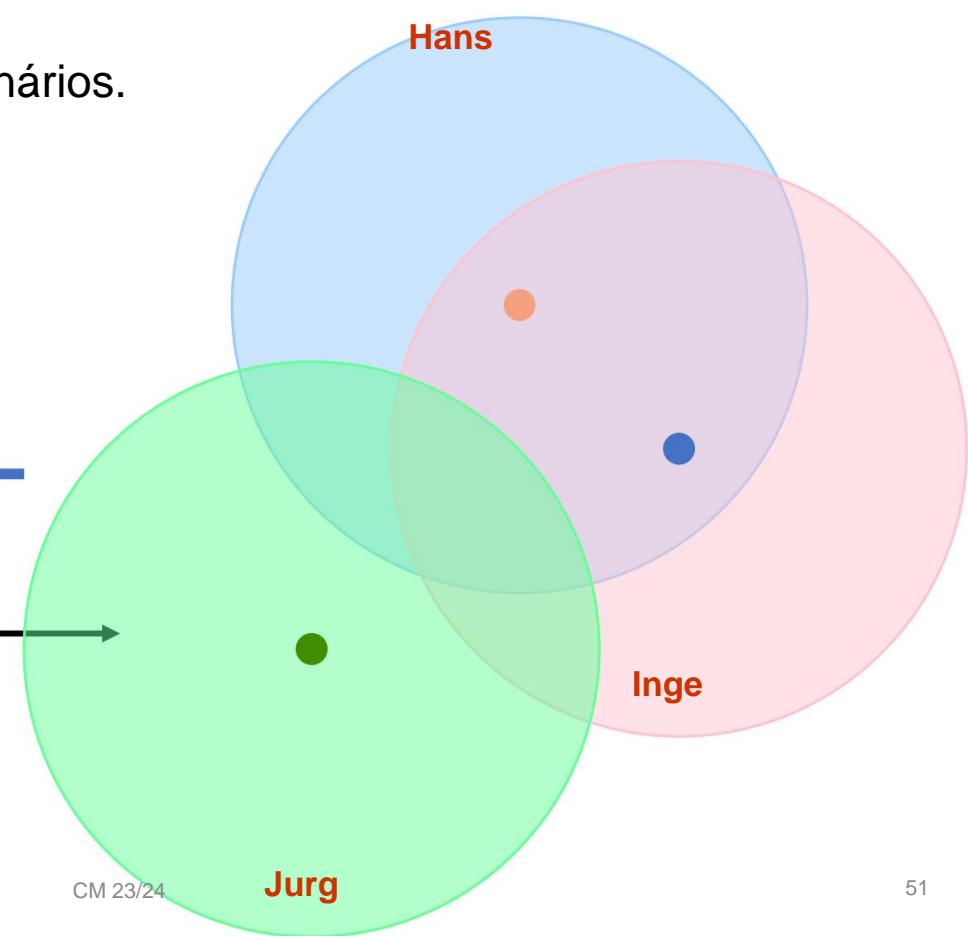
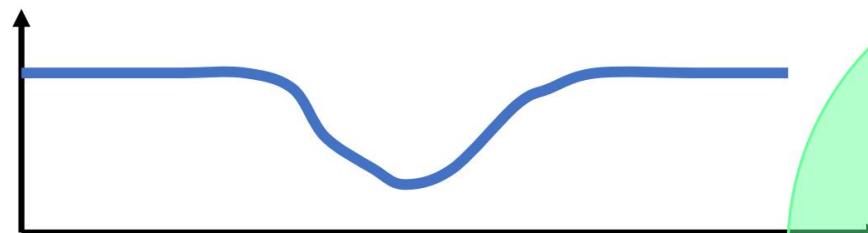
- A qualidade da transmissão depende da distância e de outros factores.
- Afeta o rendimento alcançado pelos usuários móveis.
- O pior caso são períodos sem conectividade!





# A mobilidade é um problema mesmo para usuários estacionários

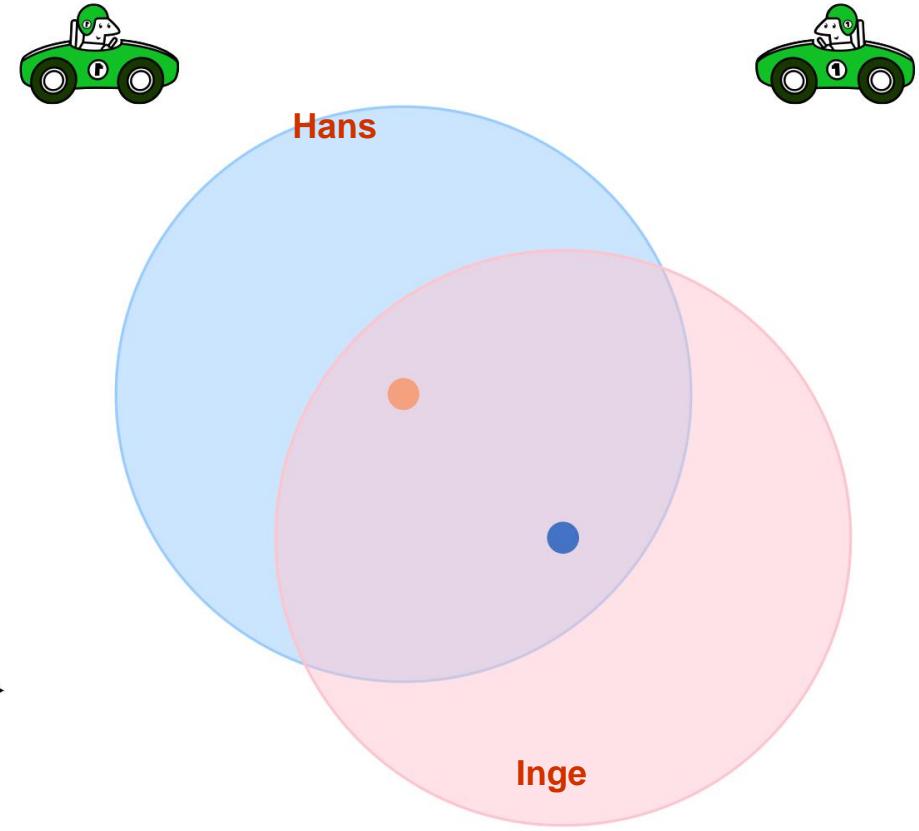
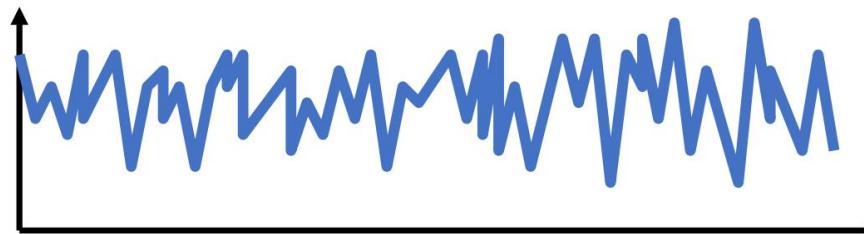
- Pessoas e dispositivos móveis afetam o canal de transmissão de nós estacionários.





# E fica pior...

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



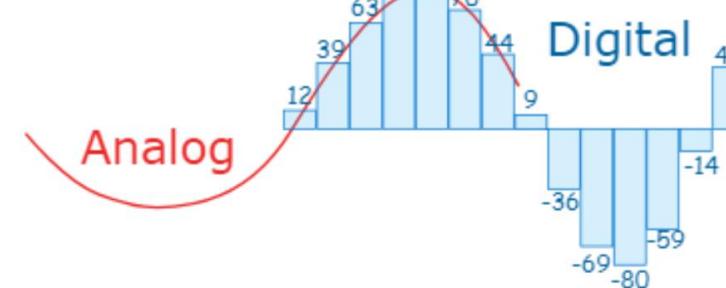


# A rede móvel

Princípios básicos das propriedades do sinal sem fio



Visualização no Domínio do Tempo

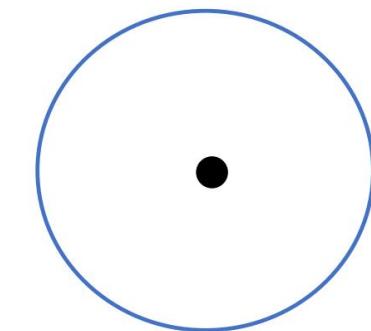
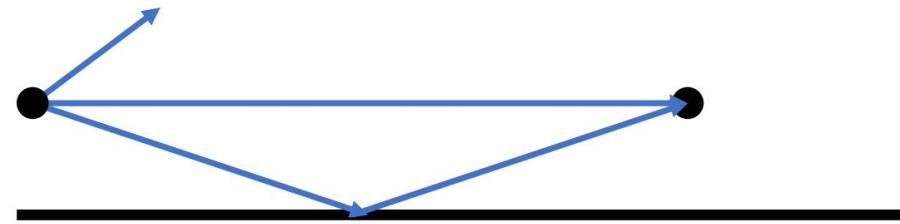


- Pode ser usado para representar um sinal analógico e digital.
- Sinal analógico - a intensidade do sinal varia suavemente ao longo do tempo
  - Sem quebras ou descontinuidades no sinal
  - Por exemplo, sinal de voz viajando pela linha telefônica tradicional
- Sinal digital - a intensidade do sinal 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 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 multipercorso

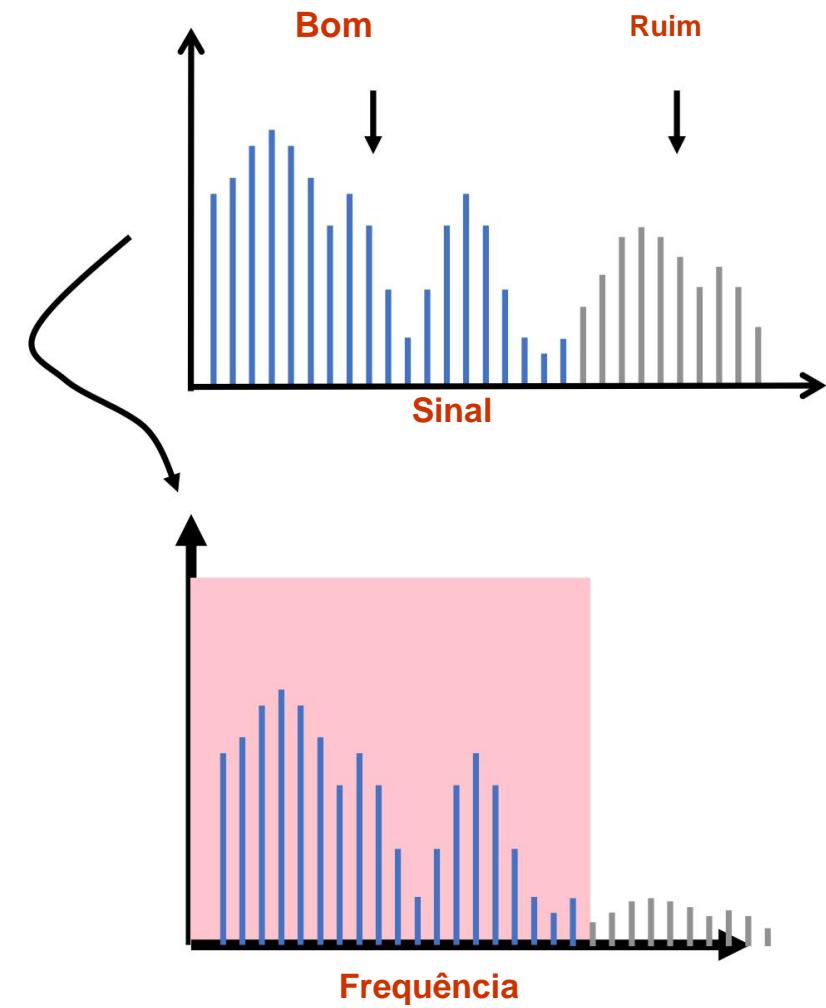




# Canal de Transmissão

## 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 os 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

- 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 erros - taxa na qual os erros ocorrem
  - Erro = transmite 1 e recebe 0; transmitir 0 e receber 1



# Modos de propagação

- Propagação em linha de visada (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 celestes. • O sinal “rebate” da ionosfera de volta à Terra – pode atingir múltiplas lúpulo
  - Usado para rádio amador e transmissões internacionais



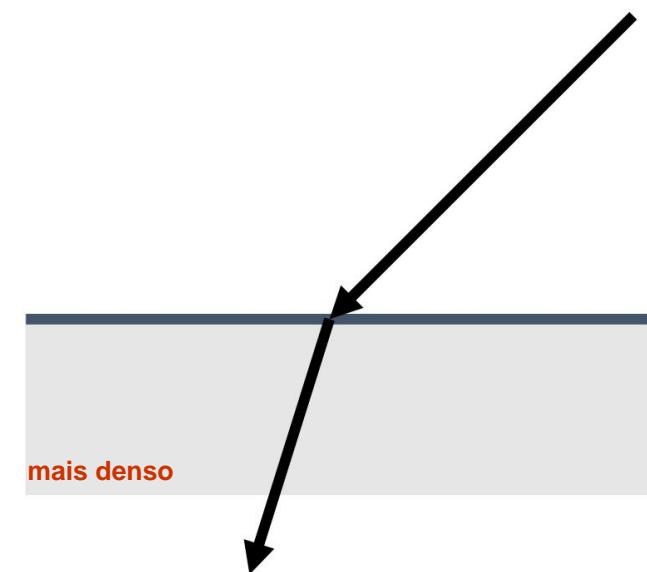
# Degradações de propagação Sinais RF

- 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 através de absorção ou reflexão.
  - Parte do sinal é redirecionada
- Efeitos de múltiplos caminhos: múltiplas cópias do sinal interferem umas nas outras.
- Mobilidade: o receptor em movimento causa outra forma de autointerferência.
  - Grande mudança na intensidade do sinal



# Refração

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





# Fontes de ruído

- Ruído térmico: causado pela agitação dos elétrons

- Função de temperatura
- Afeta dispositivos eletrônicos e transmissão

meios de comunicação

- 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  
yPode ser  
planejado para  
ou evitado





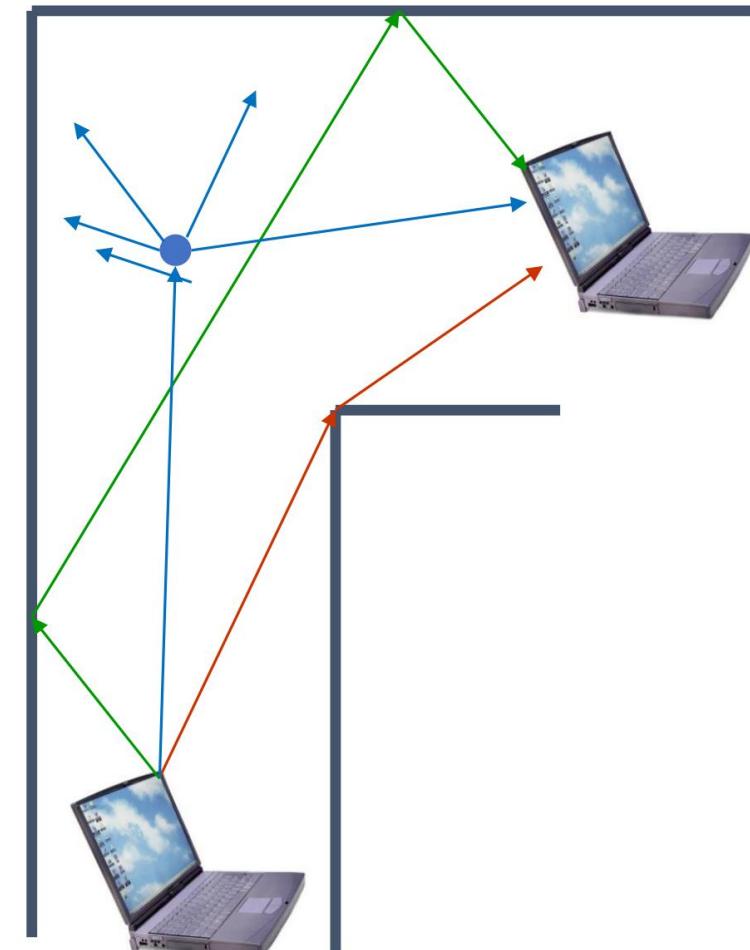
## Outros fatores de LOS

- 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

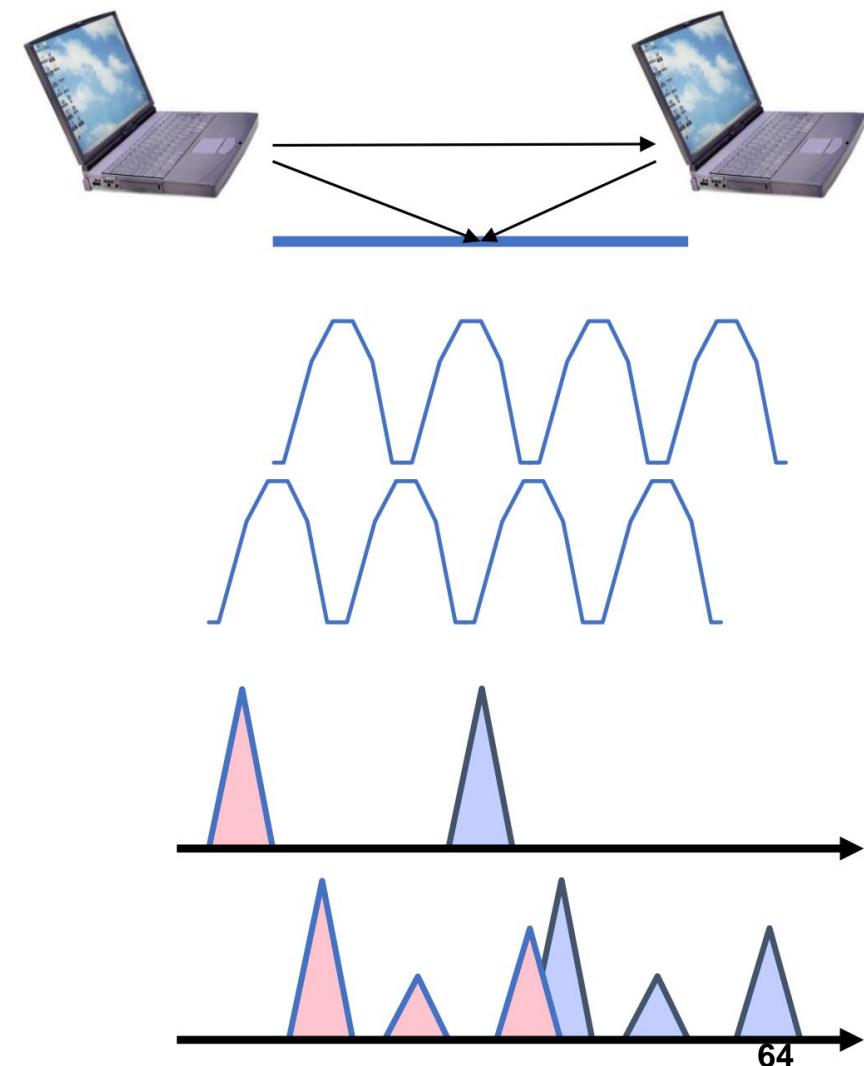
- Além da linha de visão, o sinal pode chegar ao receptor de três outras maneiras “indiretas”.
- **Reflexão:** o sinal é refletido por um objeto grande.
- **Difração:** o sinal é espalhado pela borda de um objeto grande – “curvas”.
- **Espalhamento:** o sinal é espalhado por um objeto que é pequeno em 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-se ou enfraquecer-se mutuamente.
- Pequenas alterações na localização podem resultar em grandes alterações na intensidade do sinal.
- A diferença no comprimento do caminho pode causar interferência intersímbólica (ISI).





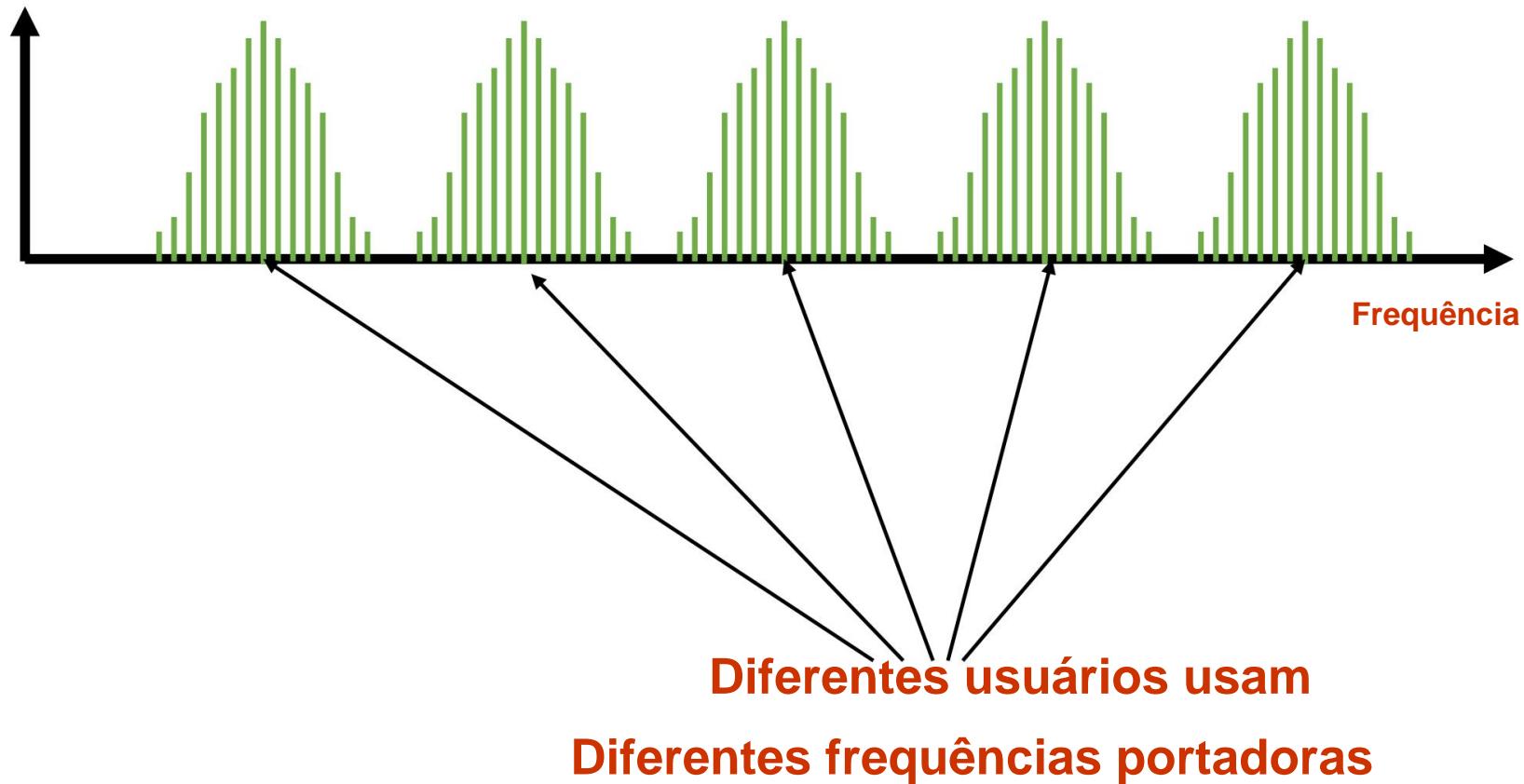
# Apresentando Redundância

- Protege dados digitais introduzindo redundância nos dados transmitidos.
  - Códigos de detecção de erros: podem identificar certos tipos de erros
  - Códigos de correção de erros: podem corrigir certos tipos de erros
- ~~Block codes~~ Os códigos de bloco fornecem correção direta de erros (FEC) para blocos de dados.
  - Código  $(n, k)$ :  $n$  bits são transmitidos para  $k$  bits de informação
  - Exemplo mais simples: códigos de paridade
  - Existem muitos códigos diferentes: Hamming, cílico, Reed-Solomon, ...
- ~~Convolutional codes~~ Códigos convolucionais fornecem 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

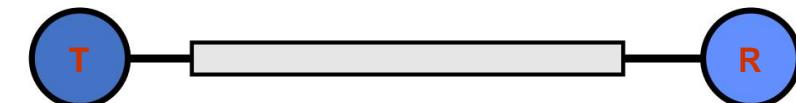
1.3.2





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

- Os canais têm um limite quanto ao tipo de sinais que podem transmitir
  - Boa transmissão de sinais apenas em determinada faixa de frequência
  - Sinais fora dessa faixa ficam distorcidos, por exemplo, atenuados
- A distorção pode dificultar a extração da informação pelo receptor
  - É benéfico combinar o sinal com o canal
  - Limita o rendimento do canal





## 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 de múltiplos caminhos • 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 mais alta 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
  - Espalhamento de código/sequência • Normalmente gerado por gerador de número pseudorúido/pseudo-aleatório
    - Na verdade não é aleatório
    - Se o algoritmo for bom, os resultados passam em testes razoáveis de aleatoriedade
    - Necessidade de 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



# Redes de satélite

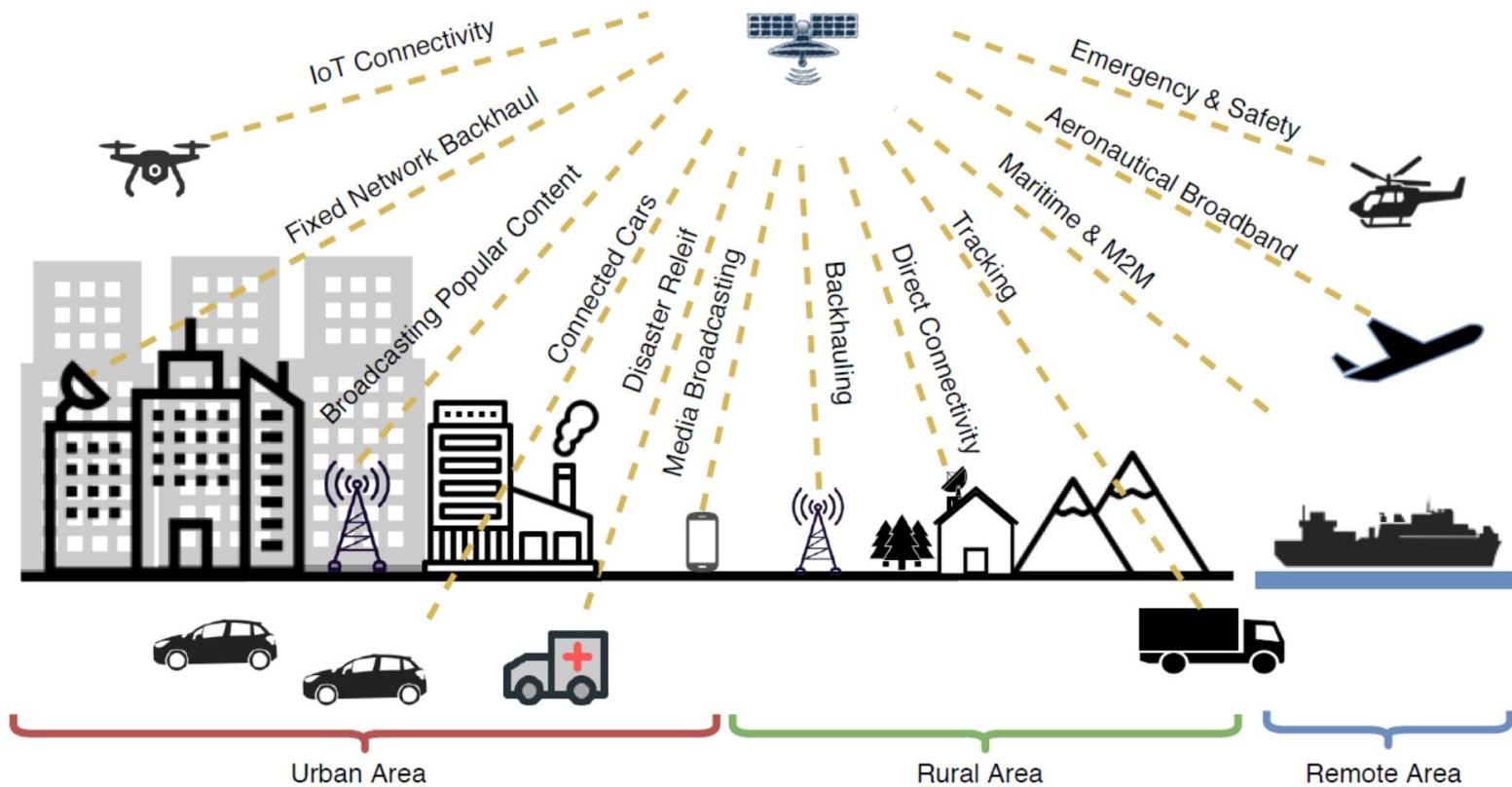


# SATÉLITES



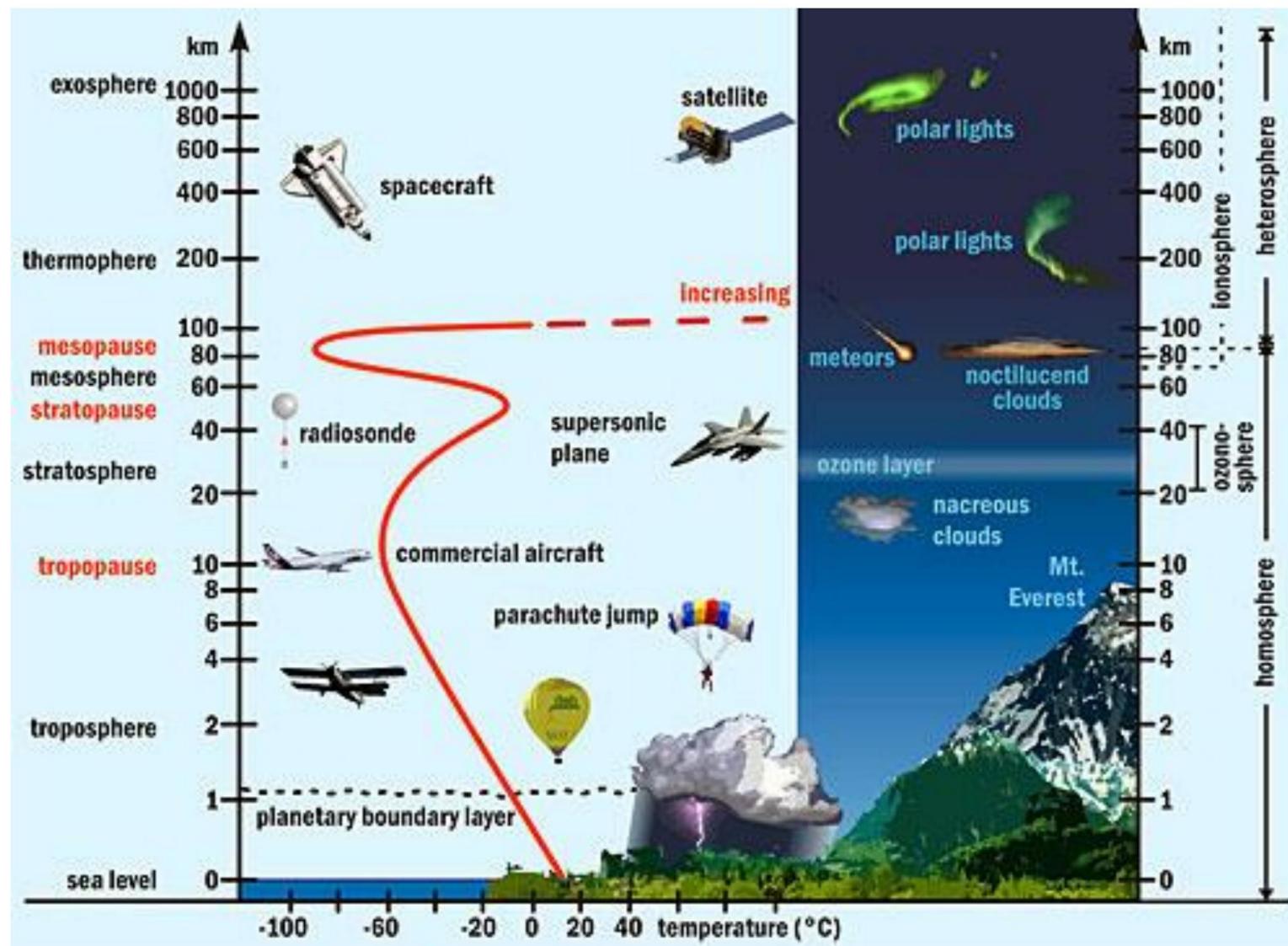
Distância: 378.000 km

Período: 27,3 dias





# atmosfera da Terra





## Fundamentos

• órbitas elípticas ou circulares

• o tempo de rotação completo depende da distância satélite-terra

• inclinação: ângulo entre a órbita e o equador

• elevação: ângulo entre o satélite e o horizonte

• LOS (Line of Sight) ao satélite necessário para conexão

• alta elevação necessária, menor absorção devido, por exemplo, a edifícios

• Uplink: conexão estação base - satélite

• Downlink: conexão satélite - estação base

• frequências normalmente separadas para uplink e downlink

- transponder usado para envio/recepção e mudança de frequências

transponder transparente: apenas mudança de

frequências • transponder regenerativo: adicionalmente regeneração de sinal



# Recursos de redes de satélite

- Efeitos da mobilidade por satélite

- A topologia é dinâmica.
- As alterações de topologia são previsíveis e periódicas.
- O tráfego é muito dinâmico e não homogéneo.
- As

transferências são necessárias.

- Limitações e capacidades dos satélites

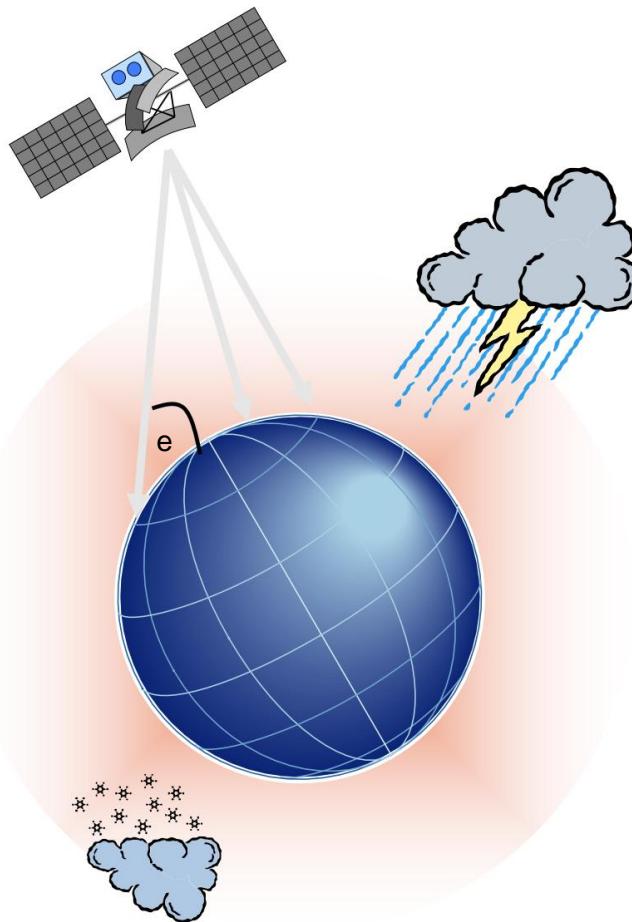
- A potência e a capacidade de processamento integrada são limitadas.
- A implementação da tecnologia de ponta é difícil.
- Os satélites têm uma natureza de radiodifusão.

- Natureza das constelações de satélites.

- Maiores atrasos de propagação.
- Número fixo de nós.
- Estrutura altamente simétrica e uniforme.

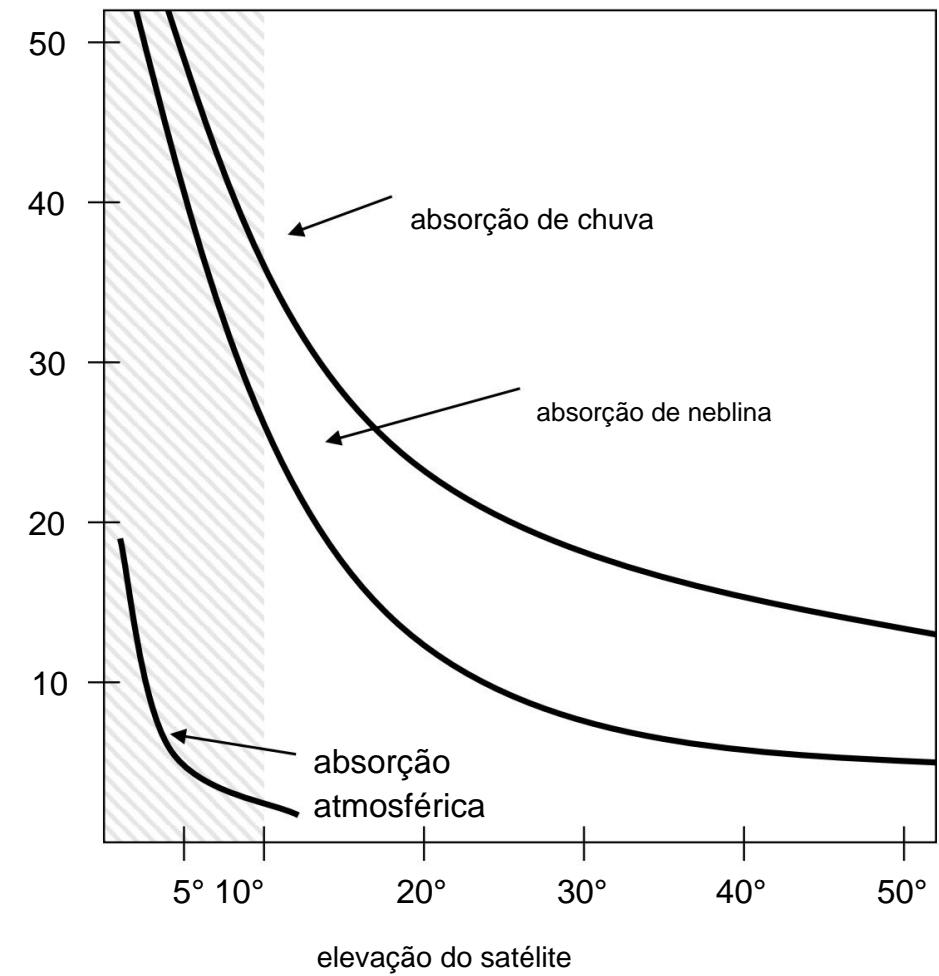


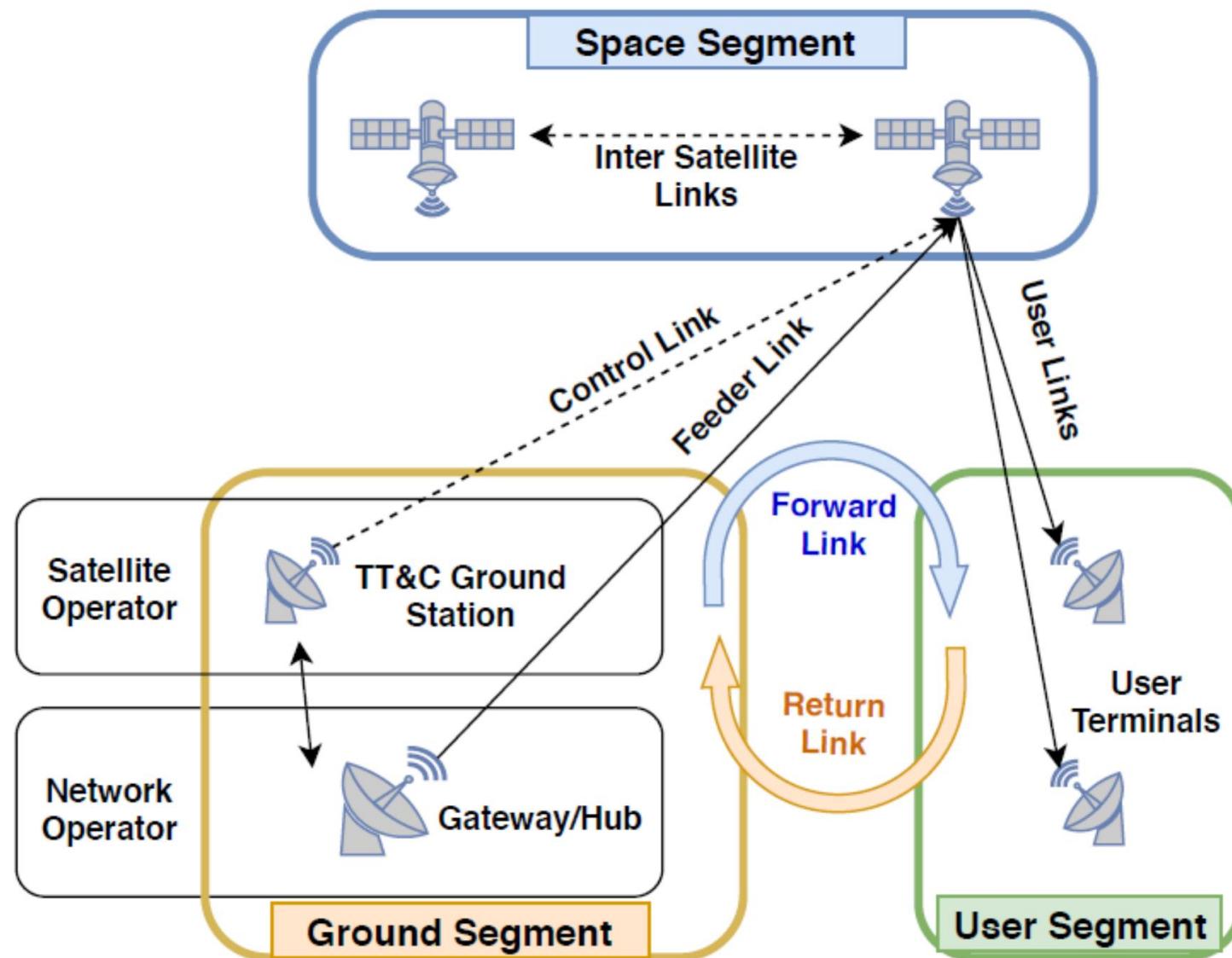
# Atenuação atmosférica



Atenuação do sinal em %

Exemplo: sistemas de satélite em 4-6 GHz







# Links de transmissão por satélite

- As estações terrenas se comunicam enviando sinais ao satélite em um uplink
- O satélite então repete esses sinais em um downlink
- A natureza de transmissão do downlink o torna atraente para serviços como a distribuição de programas de TV



- Links ascendentes e descendentes de satélite podem operar em diferentes bandas de frequência:

Banda	Link ascendente (GHz)	Link para baixo (GHz)	PROBLEMAS
<b>C</b>	3.700-4.200 MHz	5.925-6.425 MHz	Interferência com ligações terrestres.
<b>Ku</b>	11,7-12,2 GHz 14,0-14,5 GHz		Atenuação devido à chuva
<b>Ka</b>	17,7-21,2 GHz 27,5-31,0 GHz		Alto custo do equipamento

- O link ascendente é um link ponto a ponto altamente direcional. •

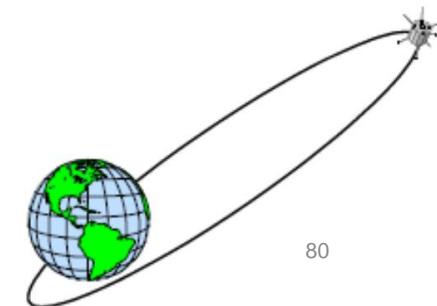
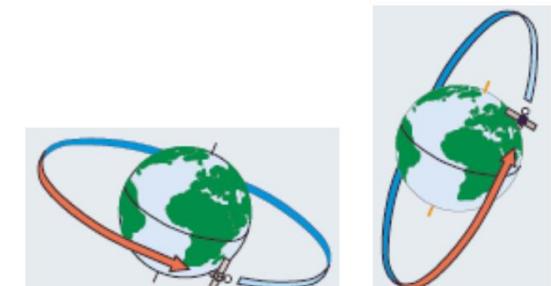
O link descendente pode ter uma área ocupada fornecendo cobertura para um “feixe pontual” de área substancial.



# Tipos de órbitas de satélite

- Com base na inclinação, “i”, sobre o plano equatorial:
  - Órbitas equatoriais acima do equador da Terra ( $i=0^\circ$ )
  - Órbitas polares passam sobre ambos os pólos ( $i=90^\circ$ )
  - Outras órbitas chamadas órbitas inclinadas ( $0^\circ < i < 90^\circ$ )

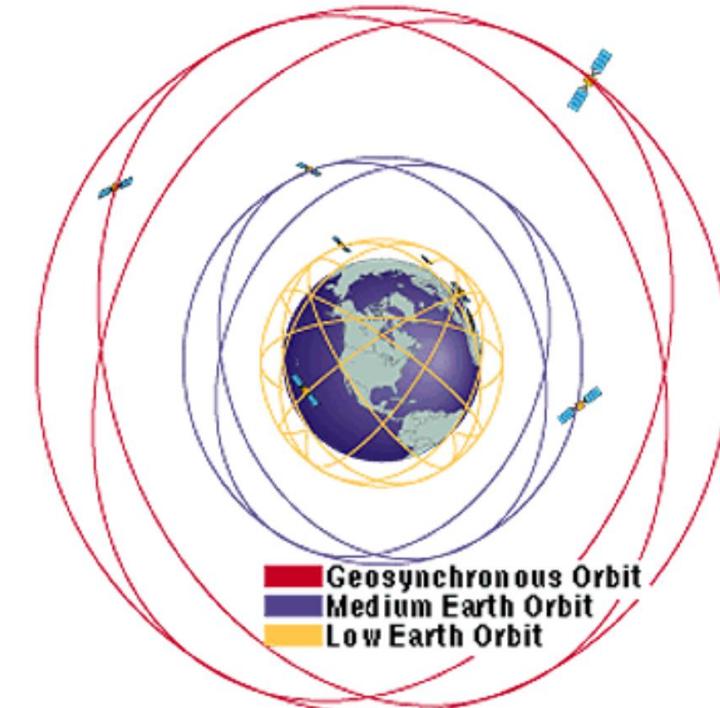
- Baseado na excentricidade
  - Circular com centro no centro da Terra
  - Elíptico com um foco no centro da Terra





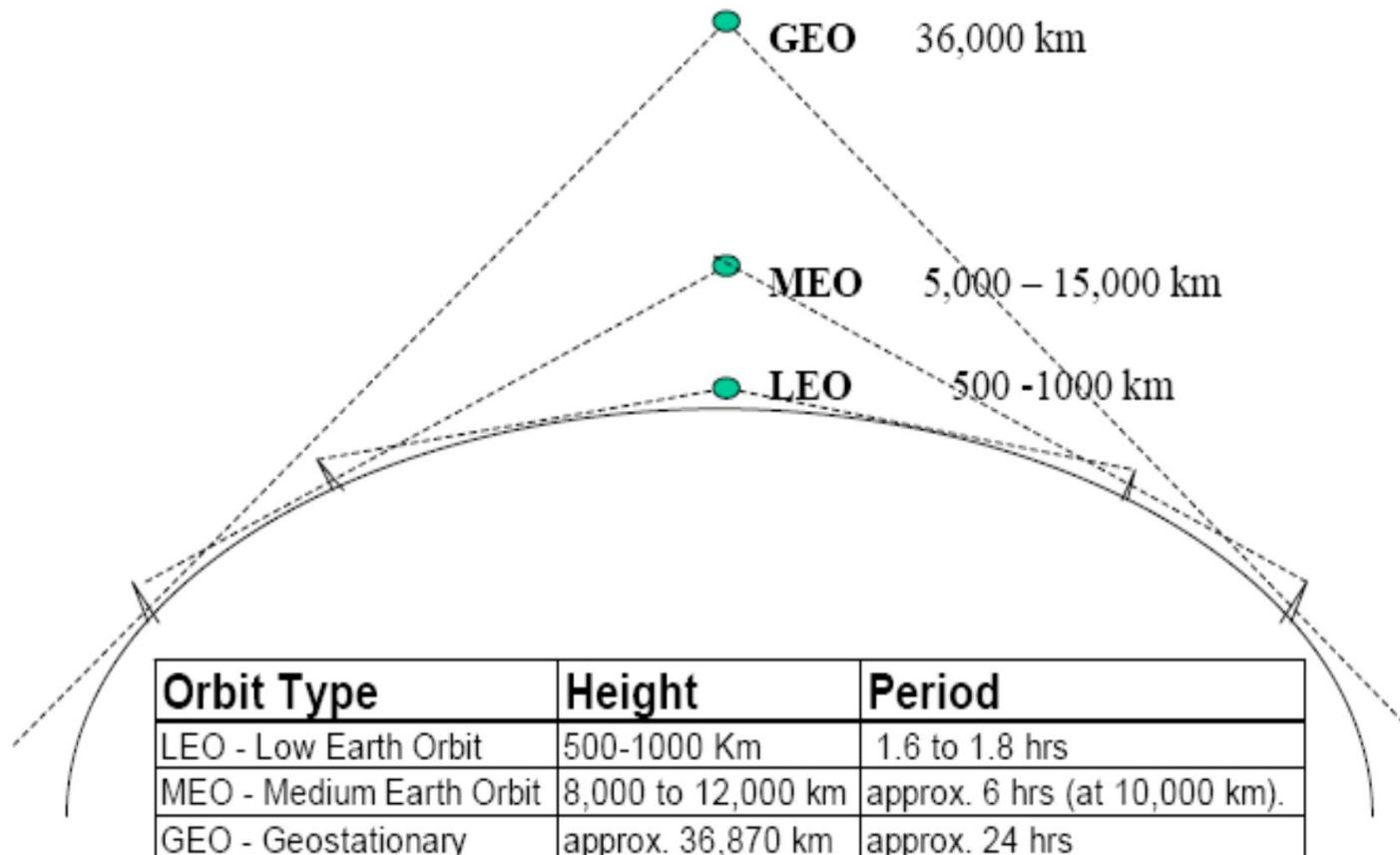
# Tipos de satélite baseados Redes

- Baseado no Satélite Altitude
  - GEO – Órbitas Geoestacionárias
    - 36.000 Km = 22.300 Milhas, equatorial, Alta latência •
  - MEO – Órbitas Terrestres Médias
    - Alta largura de banda, alta potência, Alta latência
  - LEO – Órbitas Terrestres Baixas
    - Baixo consumo de energia, baixa latência, mais Satélites, pegada pequena
  - VSAT
    - Satélites de abertura muito pequena
      - WANs privadas





# Órbitas de satélite – Outra perspectiva





# GEO - Órbita Geoestacionária

ÿ No plano equatorial

ÿ Período orbital = 23 h 56 m 4,091 s

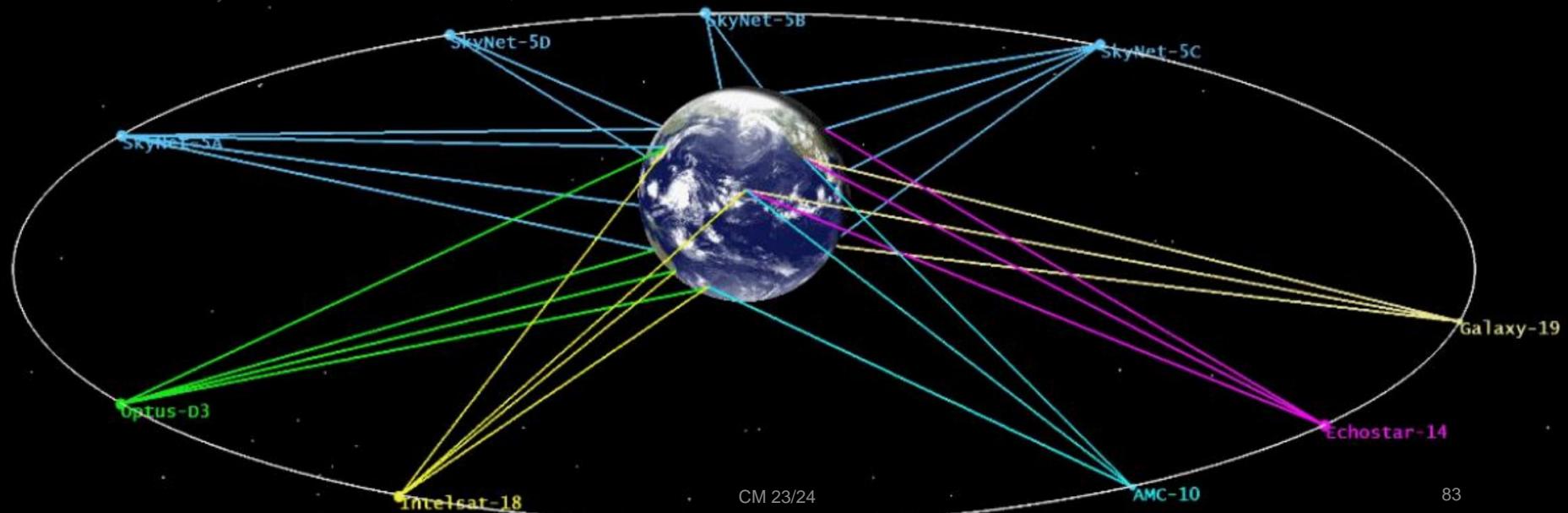
= 1 dia sideral\*

ÿ O satélite parece estar estacionário sobre qualquer ponto do equador:

ÿ A Terra gira na mesma velocidade que o

satélite ÿ Raio da órbita  $r = \text{Altura orbital} + \text{Raio da}$

Terra ÿ Média. Raio da Terra = 6378,14 Km





# Satélites GEO

- Sem transferência
  - Atraso de propagação unidirecional: 250-280 ms • 3 a 4 satélites para cobertura global
  - Usado principalmente em transmissão de vídeo • Outras aplicações:
  - Previsão do tempo, comunicações globais, aplicações militares
  - Vantagem: adequado para serviços de transmissão •
- Desvantagens: Longo atraso, alta atenuação de espaço livre



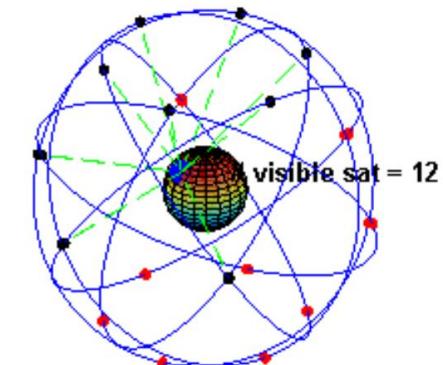
# Satélites MEO

- Atraso de propagação unidirecional: 100 – 130 ms •  
10 a 15 satélites para cobertura global •  
Transferência pouco  
frequente • Período de  
órbita: ~6 horas • Usado  
principalmente em navegação • GPS, Galileo, Glonass
- Comunicações: Inmarsat, ICO



# Exemplo MEO: GPS

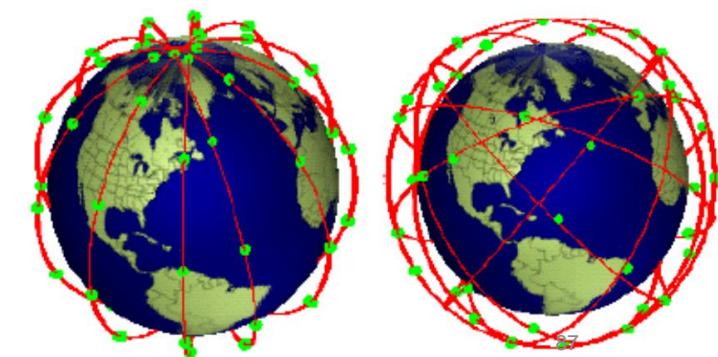
- Sistema de Posicionamento Global
  - Desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos EUA
  - Tornou-se totalmente operacional em 1993
  - Atualmente 31 satélites a 20.200 km.
    - Último almoço: março de 2008
- Funciona com base em um princípio geométrico
  - “A posição de um ponto pode ser calculada se as distâncias entre este ponto e três objetos com posições conhecidas podem ser medidos”
- São necessários quatro satélites para calcular a posição
  - É necessário um quarto satélite para corrigir o relógio do receptor.
- Disponibilidade Seletiva
- Glonass (russo): 24 satélites, 19.100 km
- Galileo (UE): 30 satélites, 23.222 km, em desenvolvimento (data prevista: 2013)
- Beidou (China): Atualmente experimental e limitado.





## LEO - Órbitas Terrestres Baixas

- Órbita circular ou inclinada com altitude < 1.400 km
  - O satélite viaja pelo céu de horizonte a horizonte em 5 a 15 minutos => precisa de transferência
  - As estações terrenas devem rastrear satélites ou ter omnidirecional antenas
  - É necessária uma grande constelação de satélites para comunicação contínua (66 satélites necessários para cobrir a Terra)
  - Requer arquitetura complexa
  - Requer rastreamento no solo





# Satélites LEO

- Atraso de propagação unidirecional: 5 – 20 ms •

Mais de 32 satélites para cobertura global • Transferência  
frequente • Período de  
órbita: ~2 horas •

Aplicações: •  
Observação da Terra •

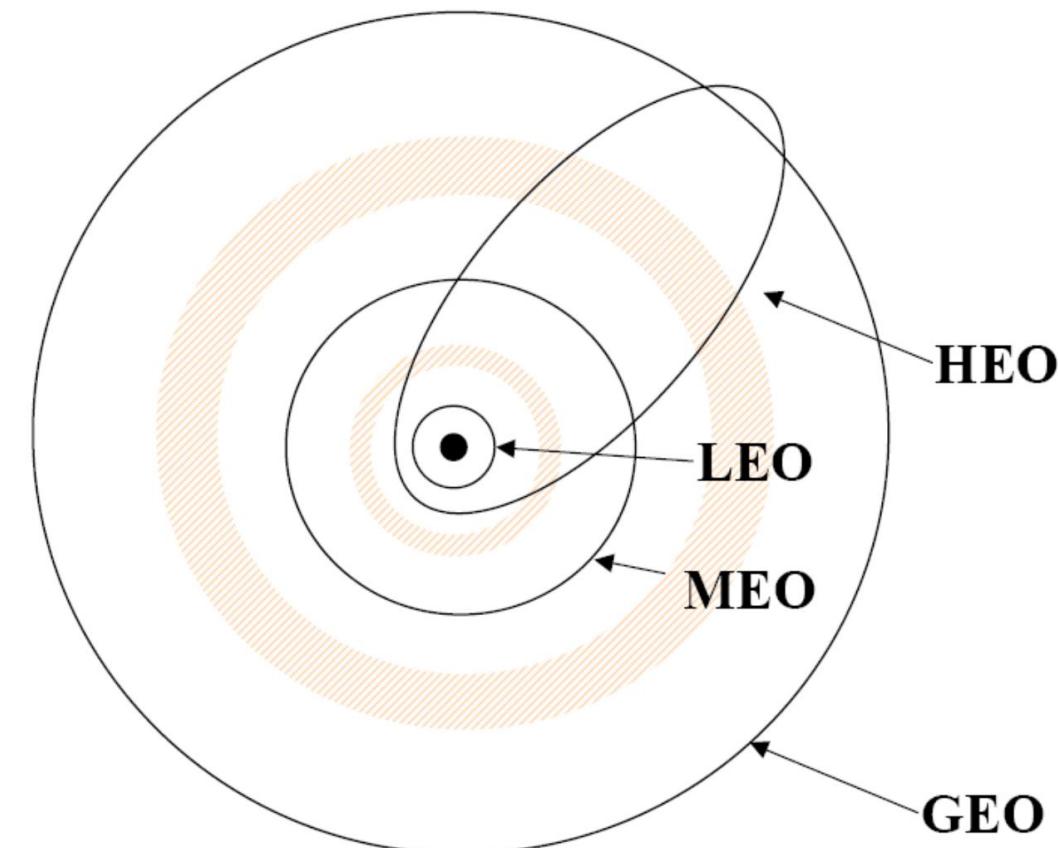
Provedores de imagens GoogleEarth (DigitalGlobe,  
etc.) • RASAT (Primeiro satélite a ser produzido exclusivamente na Turquia)

- Comunicações
  - Globalstar,
- Iridium • Busca e Resgate (SAR)
  - COSPAS-SARSAT



# NGSO - Não Geoestacionário Órbitas

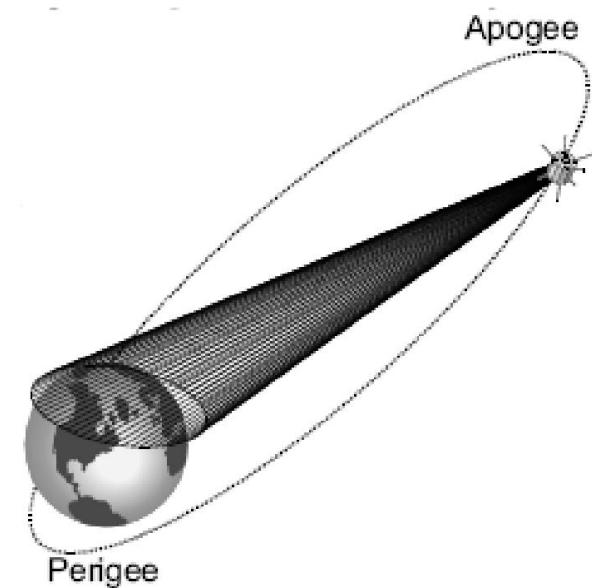
- A órbita deve evitar Van Cintos de radiação Allen:
  - Região de partículas carregadas que podem causar danos ao satélite
  - Ocorrer em
    - ~2.000-4.000 km e
    - ~13.000-25.000 km





# HEO - Órbitas Altamente Elípticas

- HEOs ( $i = 63,4^\circ$ ) são adequados para fornecer cobertura em altas latitudes (incluindo o Pólo Norte no hemisfério norte)
- Dependendo da órbita selecionada (por exemplo, Molniya, Tundra, etc.), dois ou três satélites são suficientes para uma cobertura contínua da área de serviço.
- Todo o tráfego deve ser transferido periodicamente do satélite “em posição” para o satélite “em ascensão” (Transferência de Satélite)





# Irídio

- 66 satélites (6 aviões, 11 satélites por avião) e 10 sobressalentes.

- Inclinação de 86,4°: cobertura total

- Altitude: 780 km

- Links intersatélites, processamento integrado •

Tempo de visibilidade do satélite: 11,1 min

- Satélites lançados em 1997-98.

- A empresa inicial entrou em falência. •

Tecnologicamente impecável, porém: •

Muito cara; Plano de negócios péssimo •

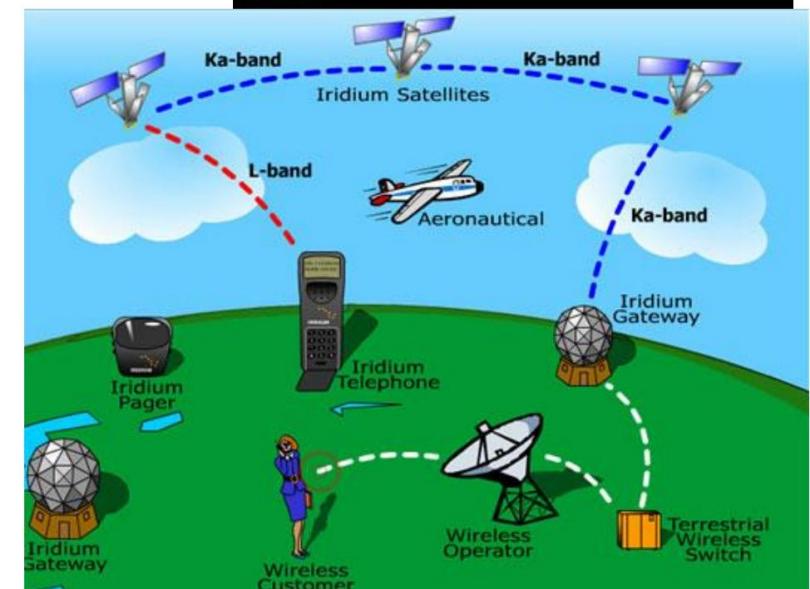
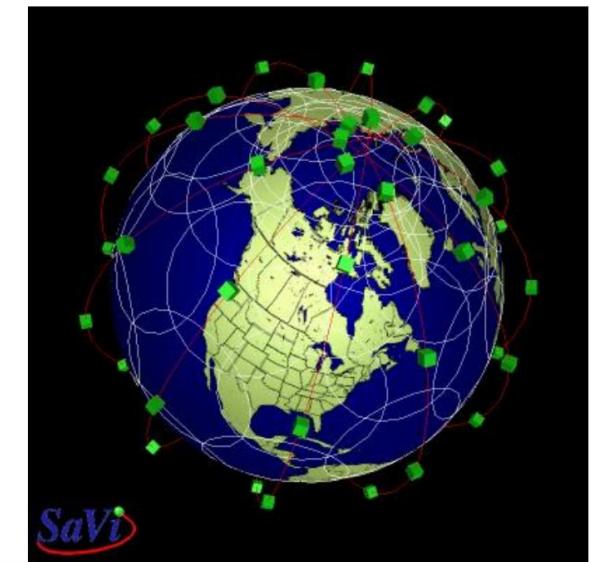
Não é possível competir com o GSM

- Agora, propriedade da Iridium Satellite LLC. •

- 280.000 assinantes (em agosto de 2008) • Contrato

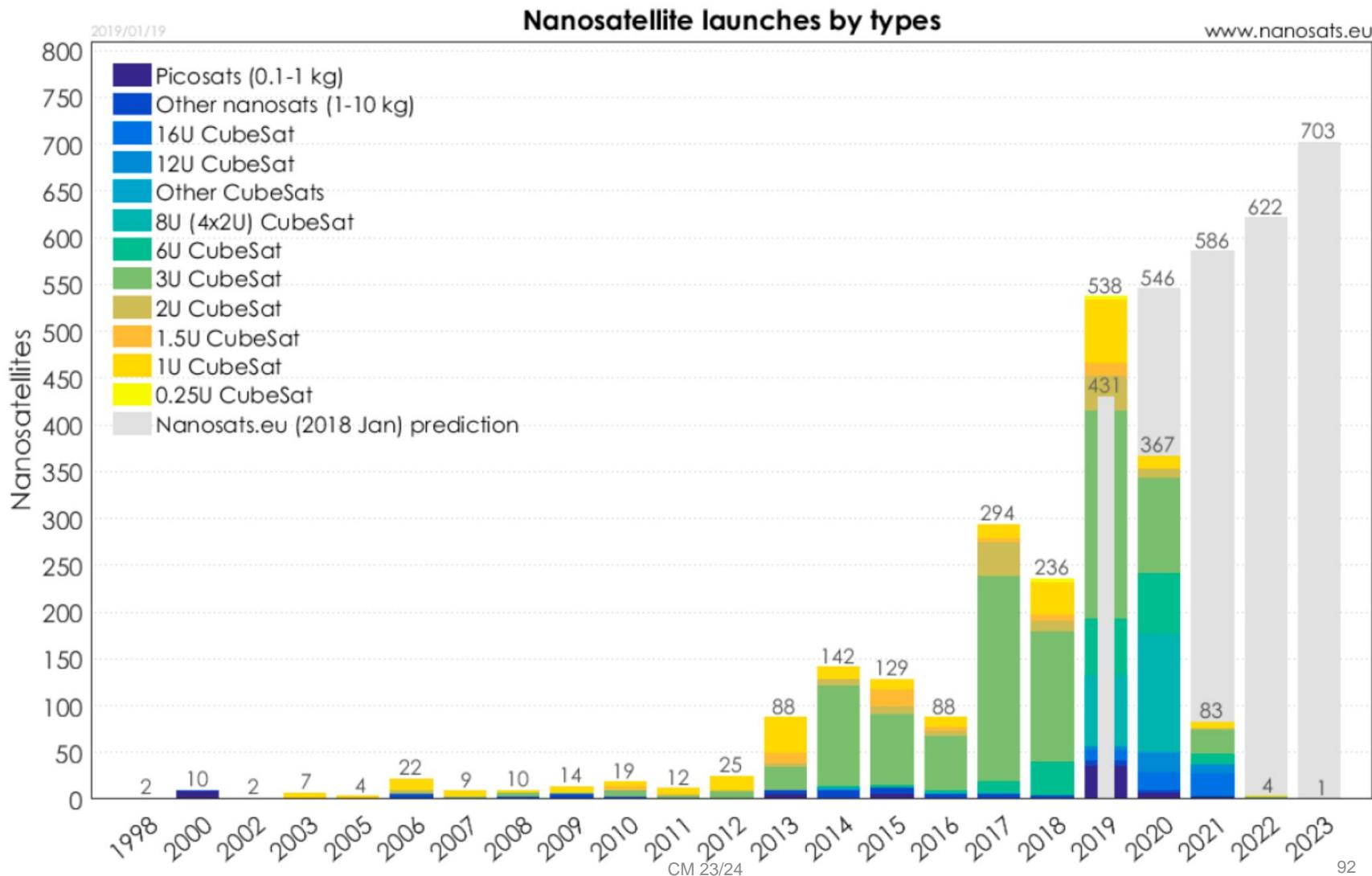
plurianual com o Departamento de Defesa

dos EUA. • Colisão de satélite (10 de fevereiro de 2009).



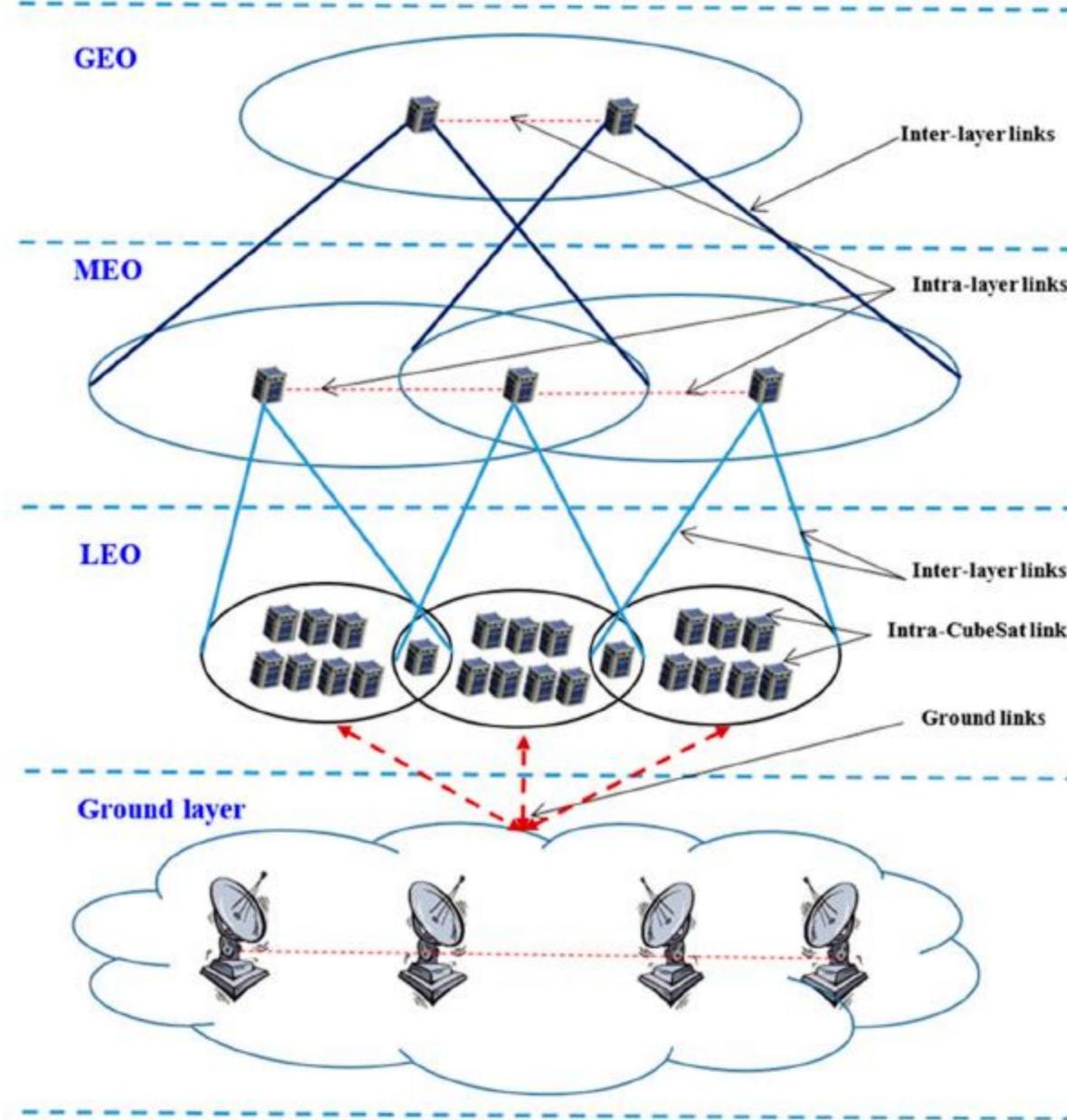


# A explosão do cubesat





Challenges	Implications
Intermittent connectivity	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Satellites on this orbit are characterized by scheduled predictable/semi-predictable intermittent connectivity, whether for a satellite to ground links or inter-satellite links.</li> <li>- There are no contemporary paths present for satellite and ground station communication or cross-link communication.</li> </ul>
Orbital period	<ul style="list-style-type: none"> <li>- LEO satellite orbital velocity <math>\approx 7800</math> m/s, based on the satellite altitude orbital period of about 90–110 min for 160–1200 km altitudes respectively.</li> <li>- Limited encounter time between satellites which in turns bounds data transfer rate.</li> </ul>
Inter-CubeSat links	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transmission range between two satellites, approximately 5–200 km.</li> <li>- The transmission range of inter-CubeSats is bound by cross-link antenna transmission power.</li> <li>- Limited antenna size and capability compared with the conventional satellites.</li> <li>- Limited antenna coverage compared with the conventional satellites.</li> </ul>
Up/Downlinks with the ground station	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transmission range between satellite and ground station, approximately 200–1200 km</li> <li>- The transmission range of CubeSats is bounded by the downlink antenna transmit power.</li> <li>- Satellite revisit time Limited antenna size and capability</li> </ul>
Altitude and inclination ranges	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Orbit altitude range is 200–1200 km above the Earth and orbit inclination ranges <math>0^\circ</math>–<math>180^\circ</math>.</li> </ul>
Natural drag	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Common de-orbiting behaviour leads to changes in orbital height and hence meeting time between CubeSats will also change over time.</li> <li>- Orbiting at lower altitudes increases the drag process.</li> <li>- The drag upsurges with increasing solar activity (sunspots).</li> </ul>
High failure rate	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Space radiation effects on electronic components, particularly Commercial-off-the Shelf (COTS) components.</li> <li>- Impossibility of recovery under failure.</li> </ul>
Energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Solar cells limited space available on the small size of the CubeSat body.</li> <li>- Small storage batteries.</li> <li>- High power consumption of up/downlinks and cross-links.</li> </ul>
Topology density	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Satellite dissemination and encounter times.</li> </ul>
CubeSat stability on orbit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- There is no space on the CubeSats for advanced stability control devices.</li> <li>- Antenna directionality and steering ability.</li> </ul>
Data rate	<p>CM 23/24</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A single CubeSat has limited data rate</li> <li>- CubeSat swarms and constellations can provide a higher overall system data rate, however, networking CubeSats in these systems is challenging and requires advanced routing protocols.</li> </ul>





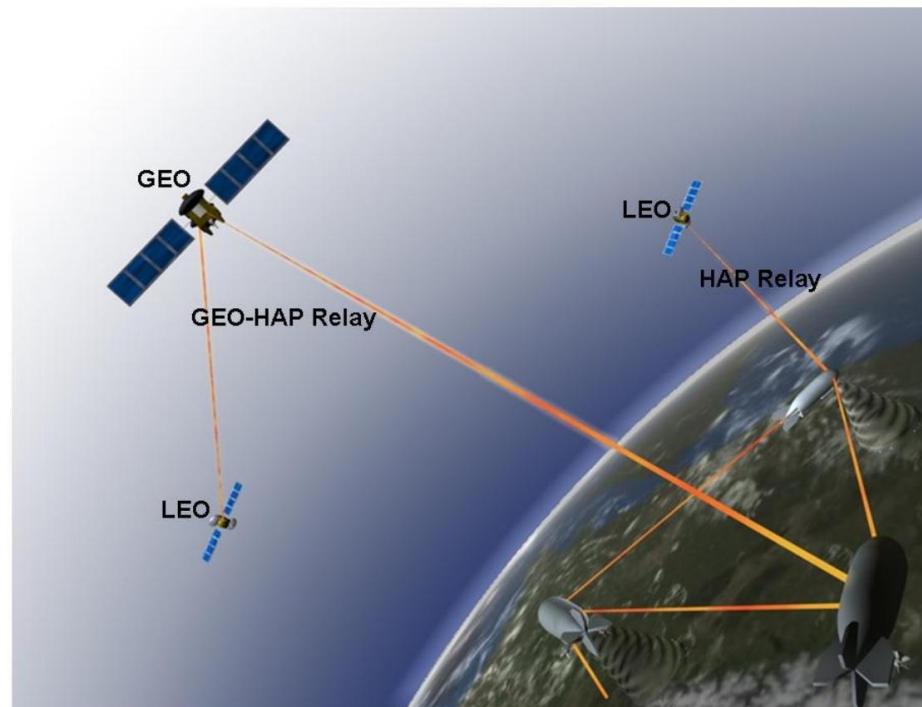
# Plataformas de alta altitude (HAPs)

- Plataformas aéreas não tripuladas • Posição quase estacionária (a 17 -22 km)
- Telecomunicações e vigilância
- Vantagens:
  - Cobre áreas maiores do que estações base terrestres
    - Sem problemas de mobilidade como LEOs
  - Baixo atraso de propagação
  - Terminais de usuário menores e mais baratos
  - Implantação fácil e incremental
- Desvantagens:
  - Tecnologia de dirigível imatura
  - Monitoramento do movimento da plataforma

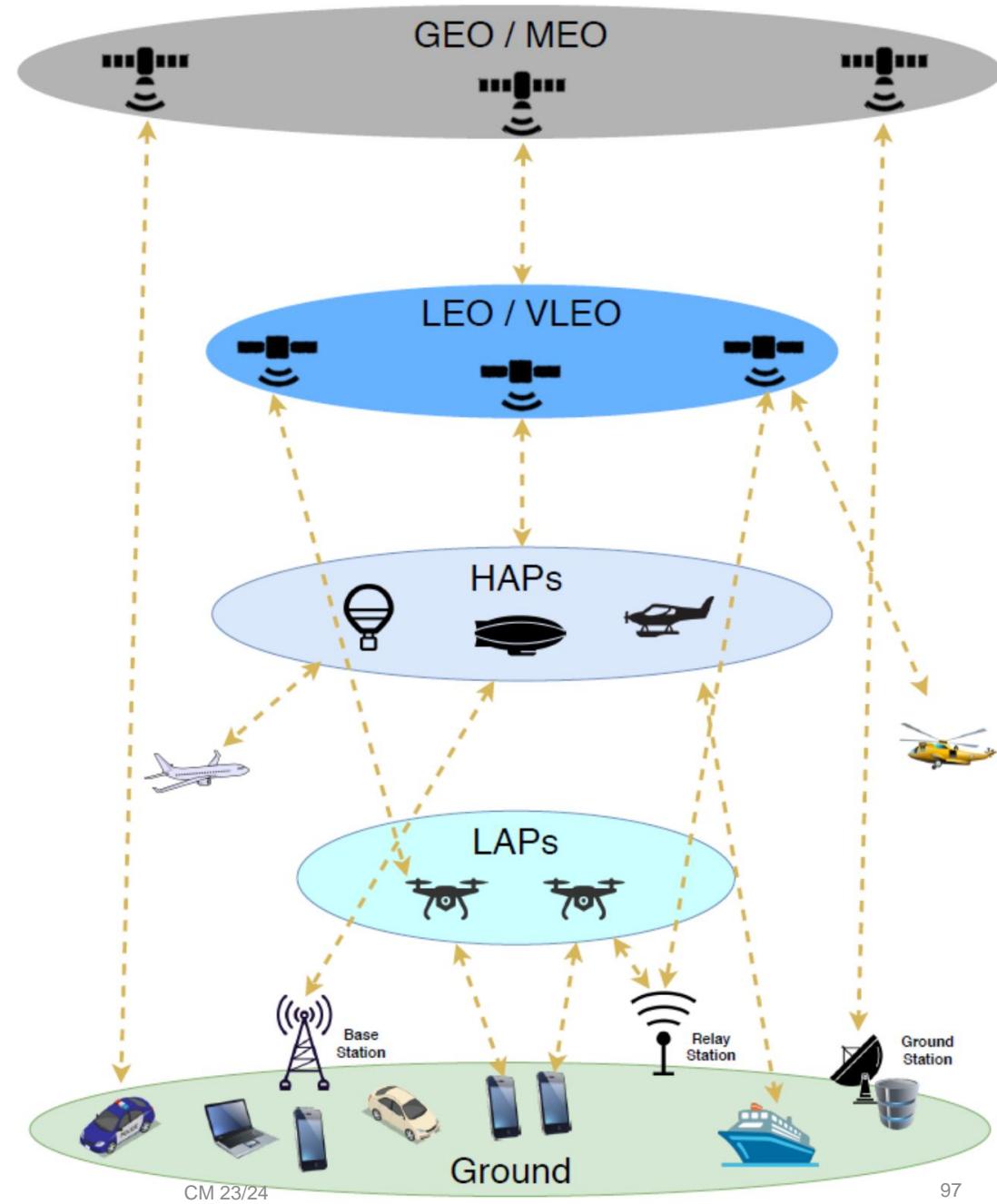




# Integração HAP-Satélite



- As PAH têm vantagens significativas.
- Os satélites ainda representam a solução mais atraente para transmissão e multicast Serviços
- Devem ser consideradas como tecnologias complementares.





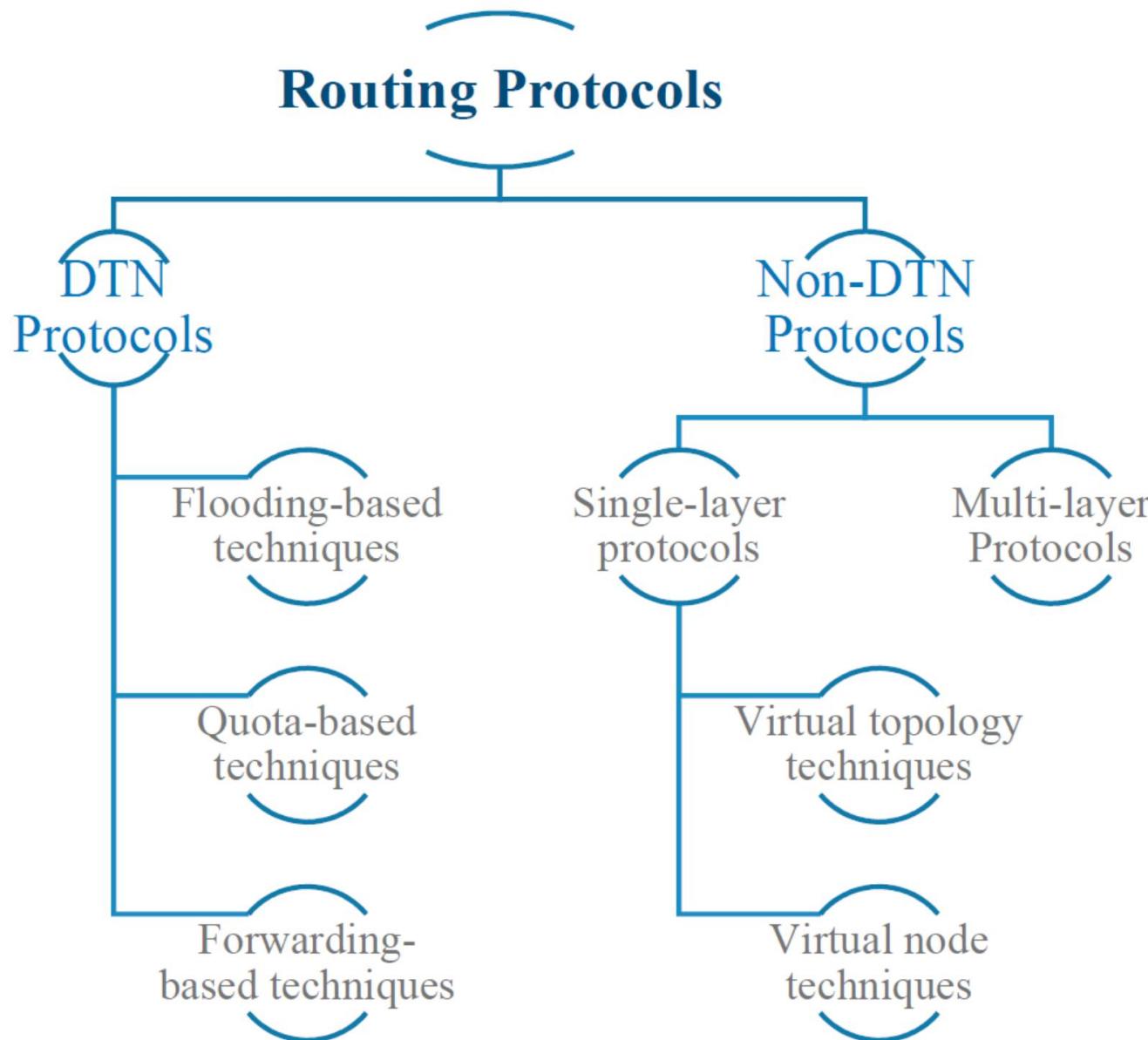
# Satélites - Visão Geral

- GEOs têm boa capacidade de transmissão, mas longo atraso de propagação.
- LEOs oferecem baixa latência e baixos requisitos de energia terminal.
- Links entre satélites e processamento integrado para maior desempenho e melhor utilização dos satélites
  - De espelhos voadores a roteadores inteligentes no céu.
- Grande problema com LEOs: Mobilidade dos satélites
  - Transferência frequente
- Outro problema importante com satélites:
  - Inviável atualizar a tecnologia, após o lançamento do satélite



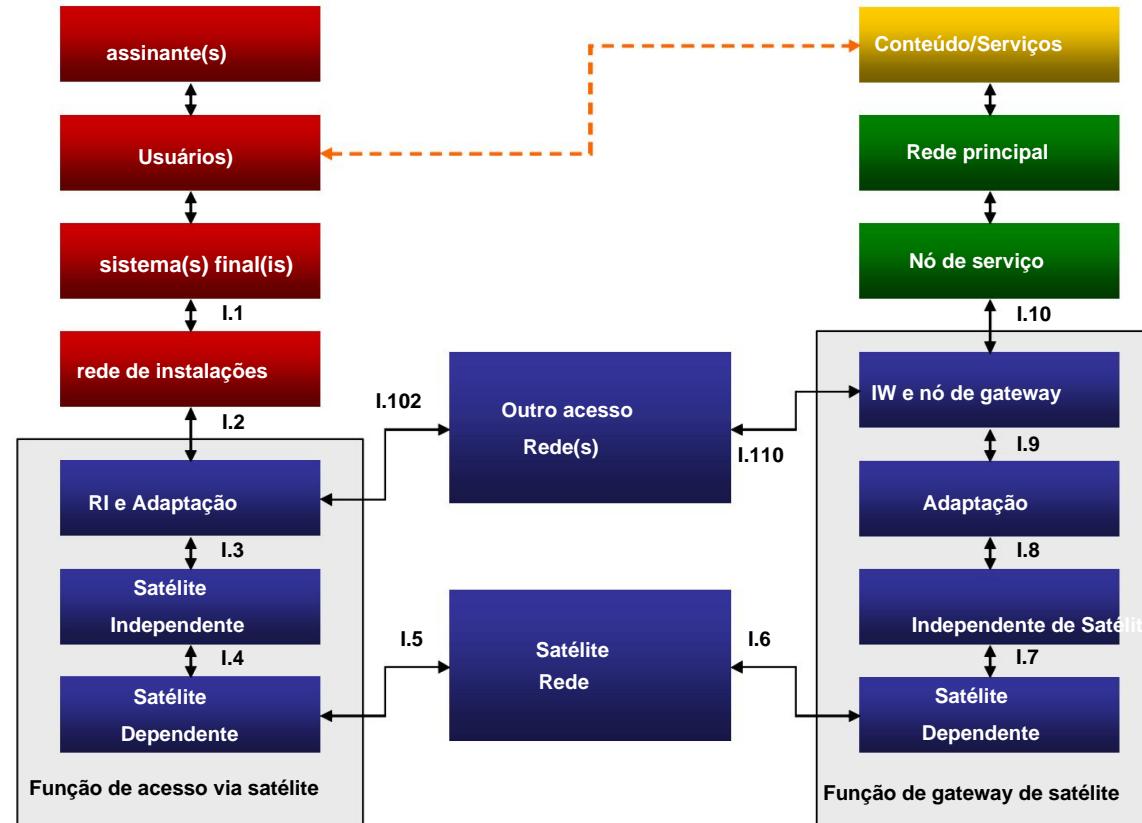
## Roteamento

- Uma solução: links entre satélites (ISL)
  - redução do número de gateways necessários
  - encaminhar conexões ou pacotes de dados dentro da rede de satélite pelo maior tempo possível
    - é necessário apenas um uplink e um downlink por direção para a conexão de dois telefones celulares
- Problemas:
  - foco mais complexo de antenas entre satélites ‣ alta complexidade do sistema devido à movimentação de roteadores
    - maior consumo de combustível
    - vida útil mais curta
- Iridium e Teledesic planejados com ISL
- Outros sistemas utilizam gateways e, adicionalmente, redes terrestres



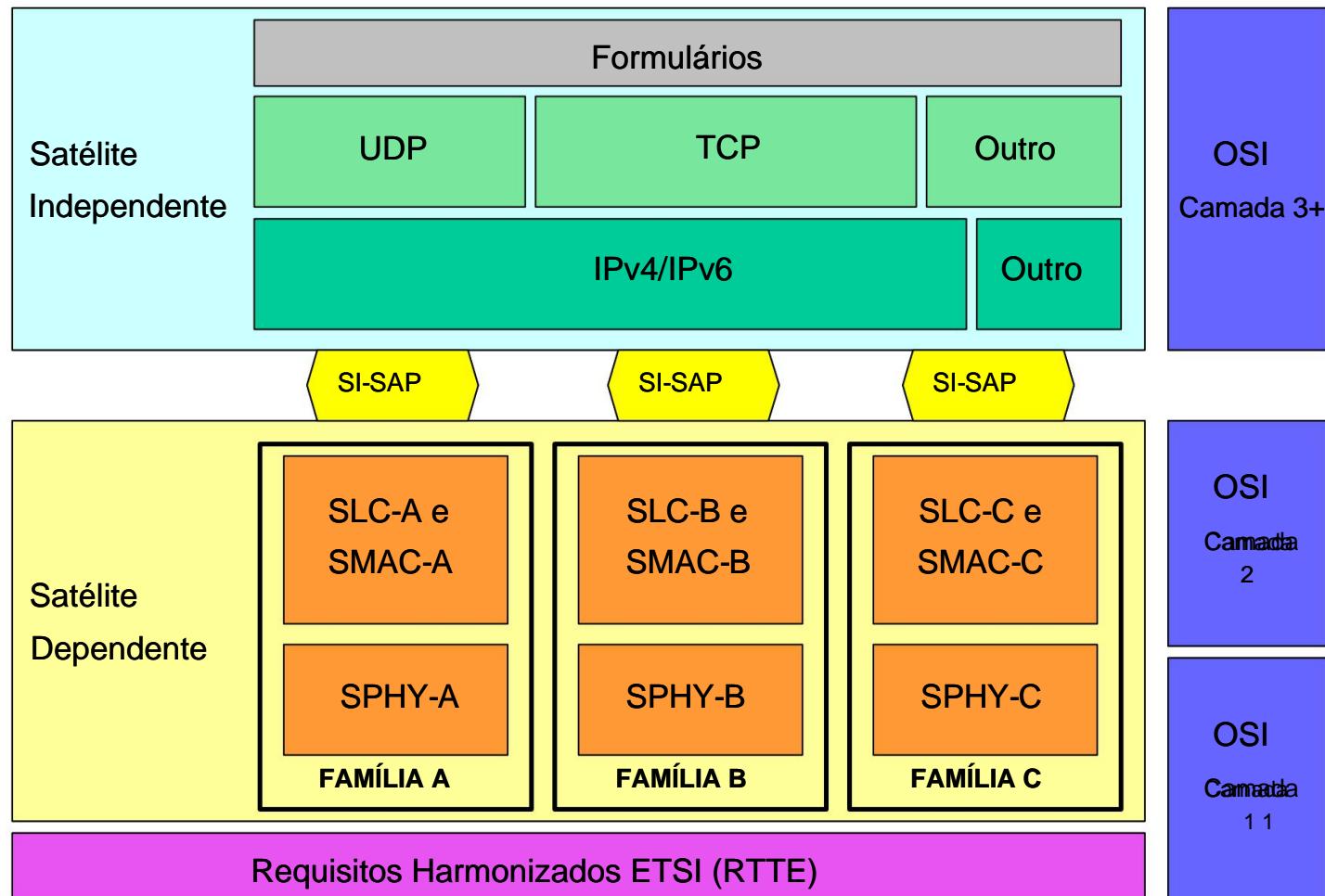


# Modelo de referência para acesso via satélite



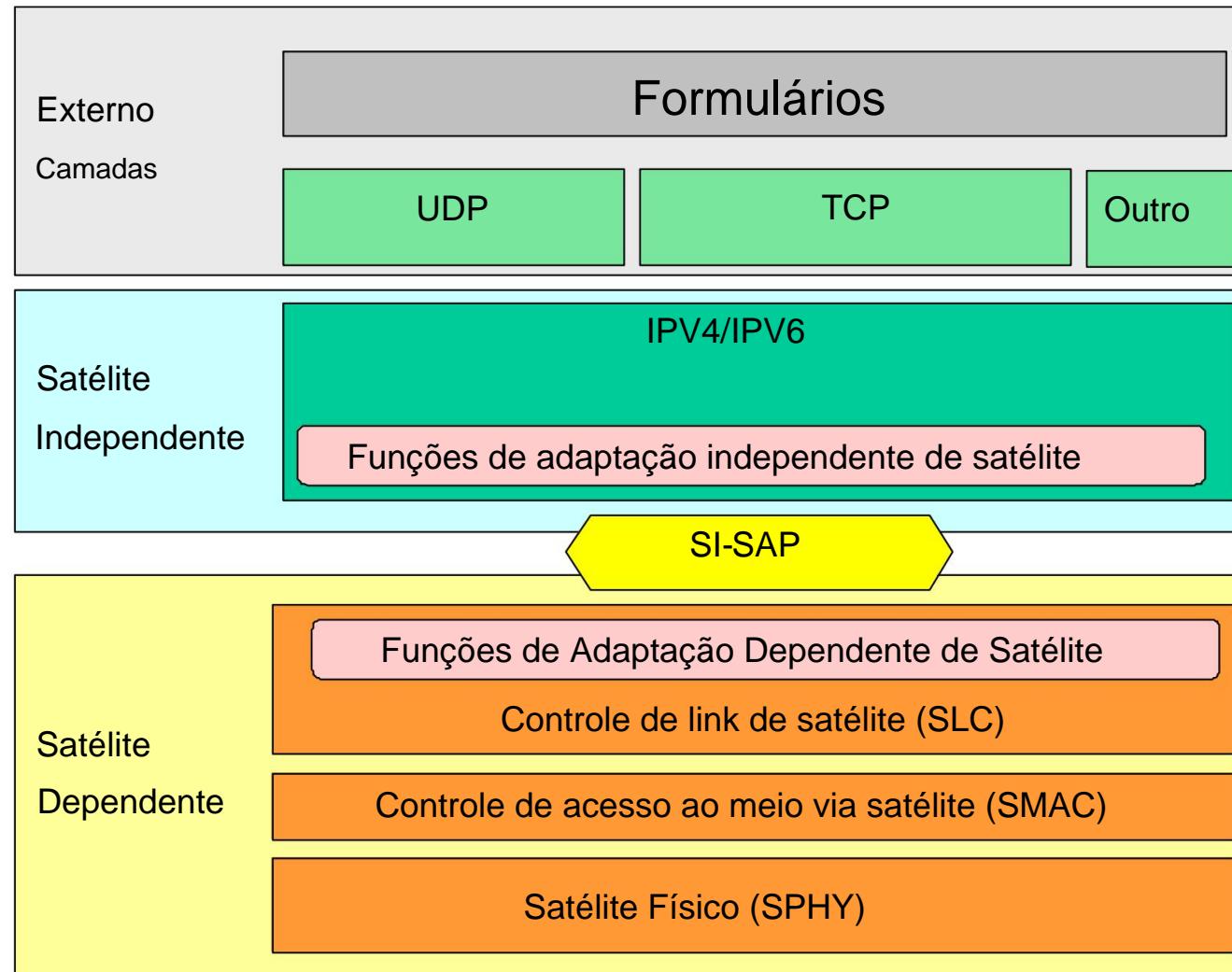


# Arquitetura de protocolo





# Arquitetura de protocolo





# Interoperabilidade IP

