

CPE710: Redes Móveis

Prof. Miguel Elias Mitre Campista

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

CPE710: Redes Móveis

CAMADA FÍSICA

Transmissão do Sinal pelo Ar

- Métodos de transmissão no ar
 - Rádio frequência
 - Infravermelho
 - Luz

Desafios da Transmissão

- Atenuação significativa
 - Alcance limitado
- Características do canal podem variar
 - Condições do tempo
 - Número de obstáculos entre o emissor e o receptor
- Ambiente hostil
 - Taxa de erro binária bem maior do que em uma rede cabeada
 - Interferência e ruído

Desafios da Transmissão

- Espectro de frequências disponível limitado
 - Dificuldade de se atingir altas taxas de transmissão
- Múltiplos caminhos
 - Reflexões do sinal no interior de uma casa
- Segurança
 - Compromisso da difusão natural do meio

Princípios Básicos

- Relação entre taxa de dados e banda passante
 - Quanto maior a banda passante, maior a capacidade de carregar informação
 - Sistemas de transmissão limitam a banda passante
- Além da banda passante, alguns problemas podem distorcer ou corromper o sinal
 - P.ex.: ruído
- Capacidade ou taxa máxima de dados de um canal
 - Nyquist: Não leva em consideração o ruído
 - Shannon: Leva em conta o ruído

Nyquist

- **Taxa máxima = $2B \log_2 V$ bps**
 - B é a frequência de corte
 - V é o número de níveis discretos do sinal
 - P.ex. telefone
 - $B = 3000$ Hz, $V = 32$
 - **Taxa máxima é de 30000 bps**
 - Aumento de V ...
 - **Torna mais difícil a identificação dos níveis discretos**
 - Ruído etc.

Shannon

- Considera a relação potência sinal/potência ruído (S/N)
 - $S/N_{dB} = 10 \log_{10} S/N$
- **Taxa máxima = $B \log_2 (1 + S/N)$ bps**
 - Relação S/N é dada em dB
 - P.ex.: telefone
 - $B = 3000$ Hz
 - $S/N_{dB} = 30$ ($10 \log_{10} S/N = 30 \Rightarrow S/N = 10^3 \sim 2^{10}$)
 - **Taxa máxima é de 30000 bps**
 - Somente o ruído térmico é considerado
 - **Na prática, as taxas são menores que a máxima**

Quiz

- Escreva programas para calcular a taxa máxima do canal segundo Nyquist e Shannon

Quiz

- Escreva programas para calcular a taxa máxima do canal segundo Nyquist e Shannon
 - Usando Python... 😊

```
# Programa para calcular Nyquist
import math

v = int (input ("Entre com o numero de niveis do sinal: "))
bandwidth = int (input ("Entre com a largura de banda do canal: "))

print ("Taxa maxima = ", 2*bandwidth*math.log(v,2), "bps")
```

```
# Programa para calcular Shannon
import math

db = int (input ("Entre com a relacao sinal ruido do canal em db: "))
bandwidth = int (input ("Entre com a largura de banda do canal: "))

sn = math.pow(10, db/10)
print ("Taxa maxima = ", bandwidth*math.log(1 + sn,2), "bps")
```

Características do Meio Físico Sem Fio

- Cada meio físico possui características próprias
 - Banda passante
 - Atenuação
 - Sensibilidade a ruídos
 - Custo
 - Outros

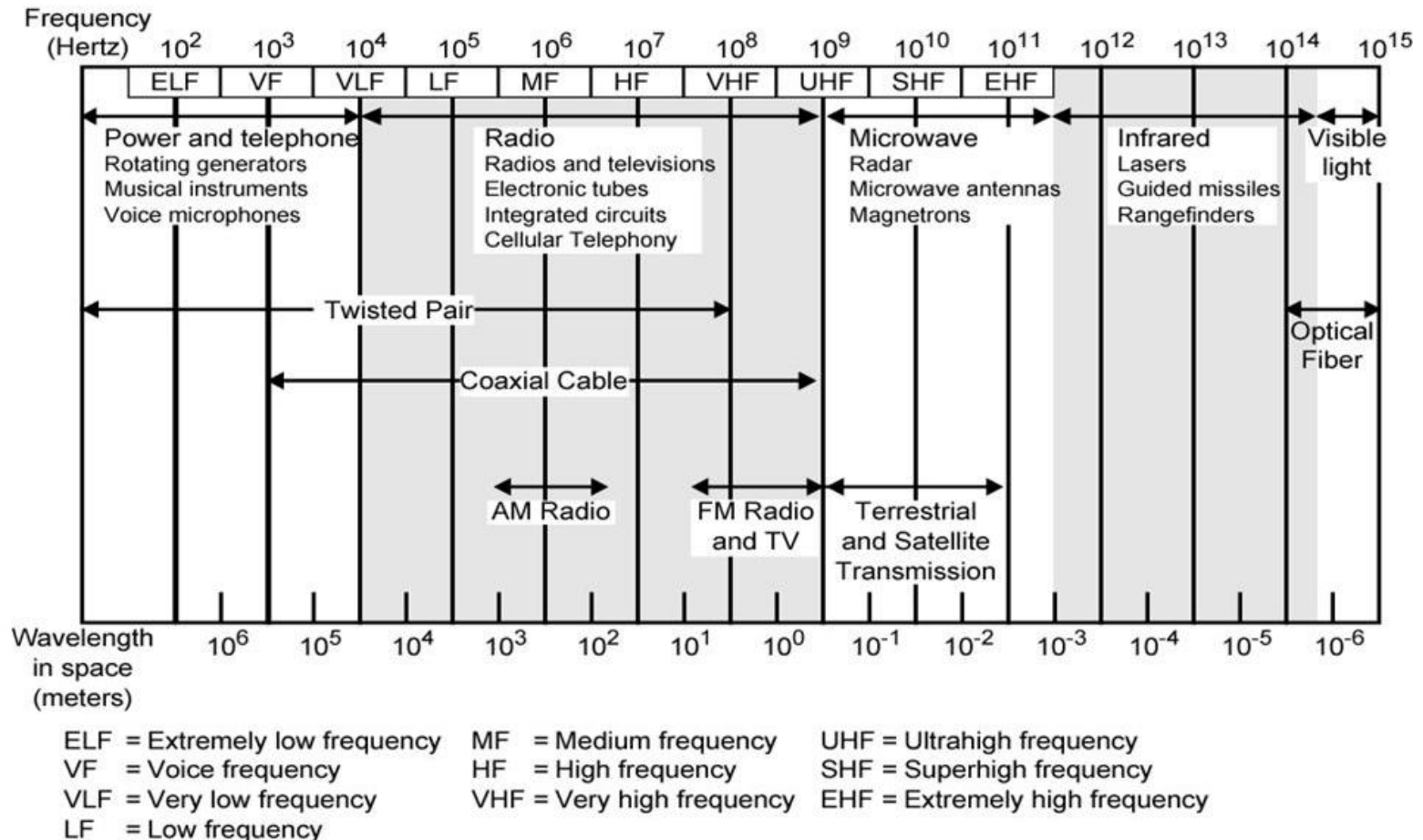
Características do Meio Físico Sem Fio

- Reflexão
 - Ocorre quando um sinal encontra uma superfície grande comparada ao comprimento de onda do sinal
 - Em ambientes fechados
 - Ondas se refletem em paredes e móveis
 - Em ambientes abertos
 - Ondas se refletem em prédios, casas, montanhas e carros

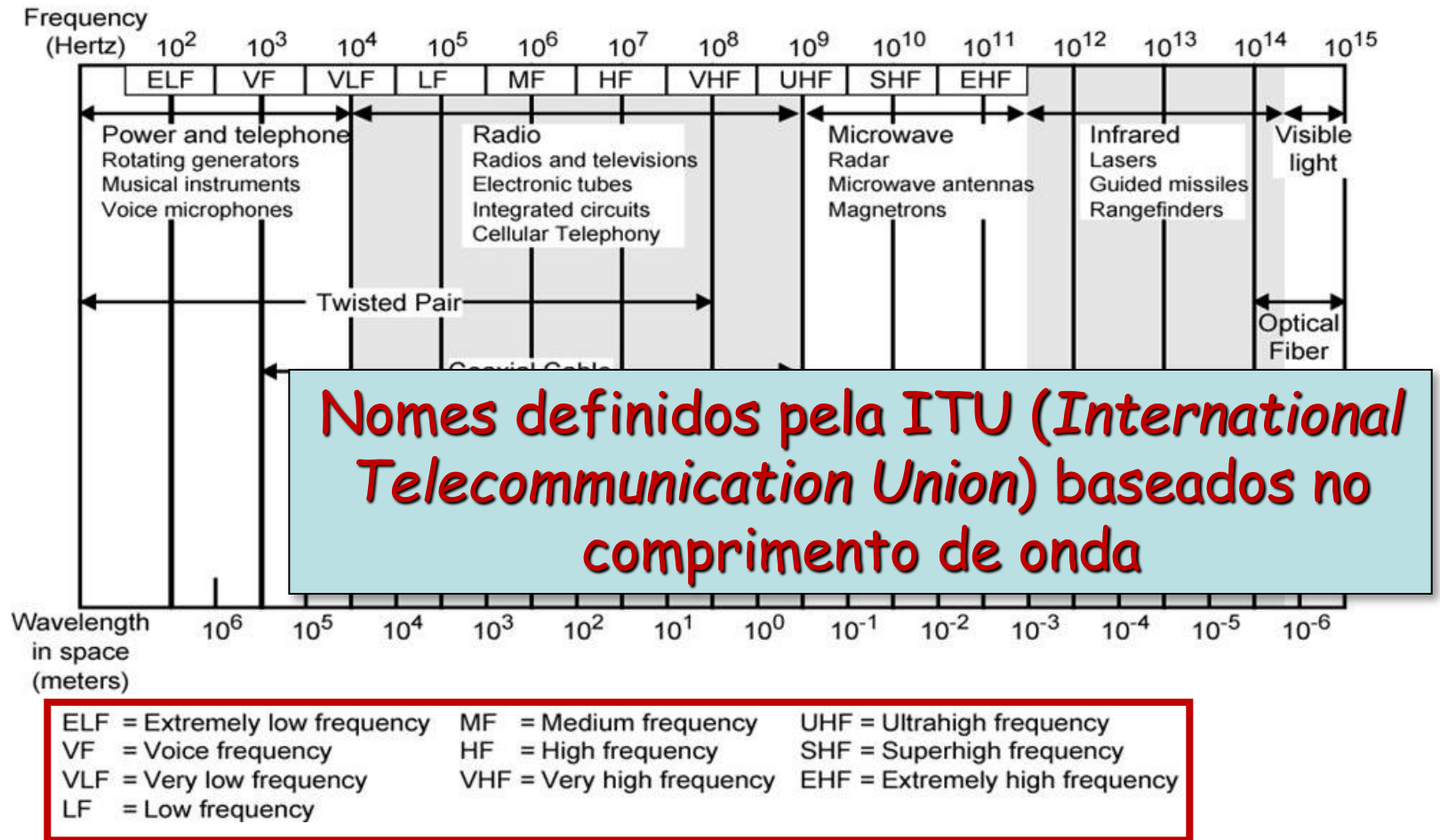
Características do Meio Físico Sem Fio

- Espectro de eletromagnético
 - Características de um sinal eletromagnético dependem da sua frequência
 - Diversas faixas de frequência podem ser usadas

Espectro Eletromagnético



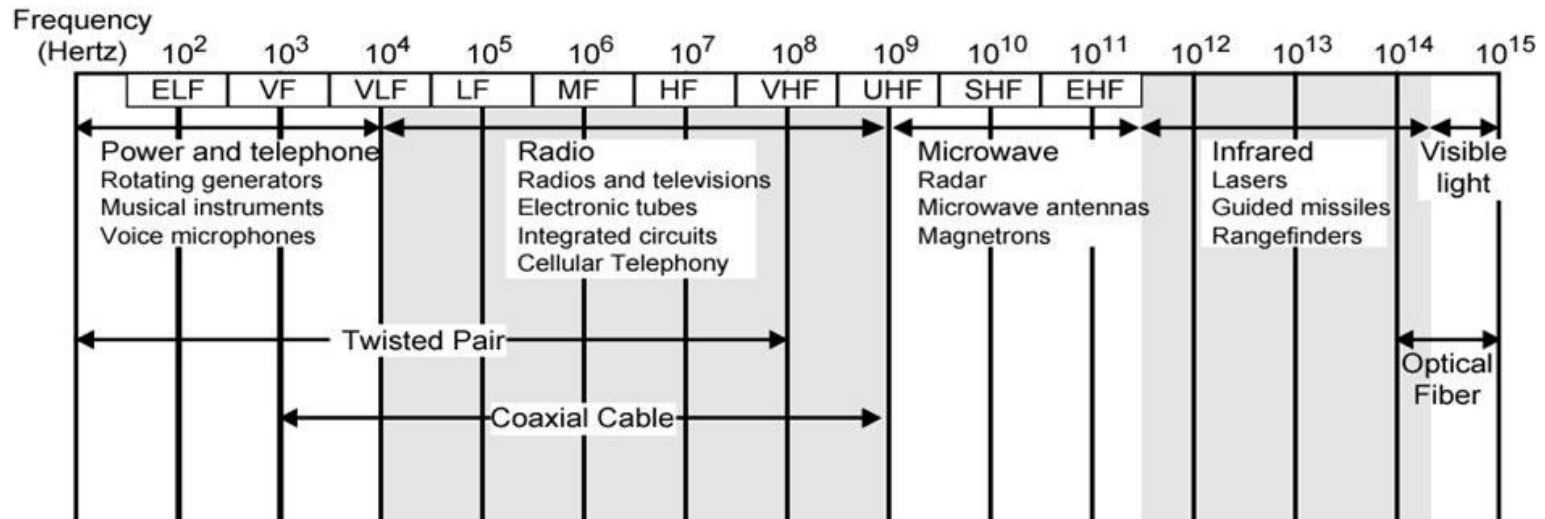
Espectro Eletromagnético



Espectro Eletromagnético

- Espectro dividido em quatro partes principais
 - Hz a 1 GHz
 - Transmissões cabeadas e de rádio
 - 1 GHz a 300 GHz
 - Micro-ondas
 - 300 GHz e 400 THz
 - Infravermelho
 - Acima de 400 THz
 - Luz visível, UV, Raios X, Raios Gama...
- Rádio (termo comum)
 - De 3 kHz a 300 GHz

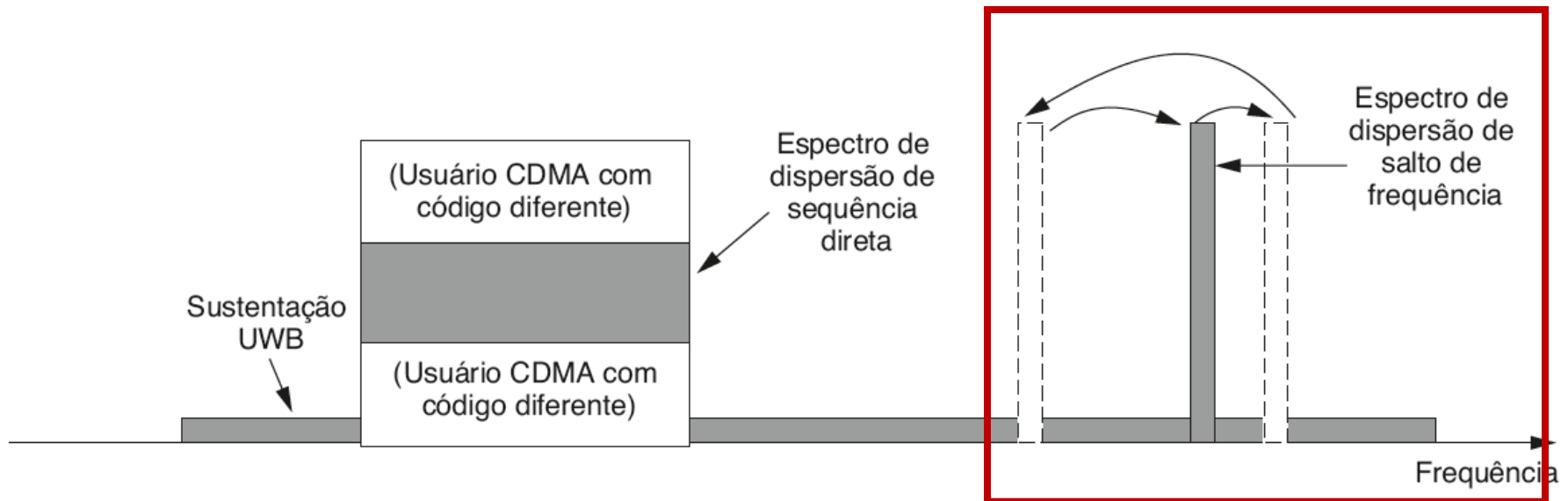
Espectro Eletromagnético



Normalmente, as transmissões utilizam uma faixa estreita de frequências ($\Delta f/f \ll 1$) para que se possa usar o espectro com maior eficiência.

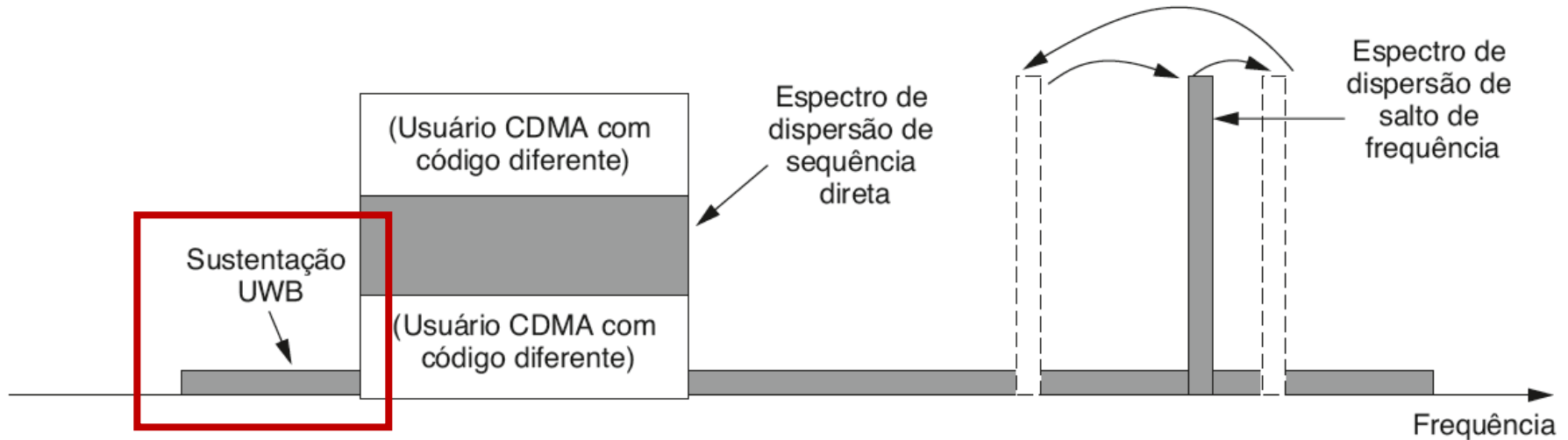
Pergunta: Será que esse método oferece robustez ao ruído, por exemplo?

Dispersão Eletromagnética



Dispersão por salto de frequência, na qual o transmissor salta de frequência centenas de vezes por segundo para dificultar a interceptação e oferecer maior robustez à atenuação por múltiplos saltos ou a ruídos de faixa estreita

Dispersão Eletromagnética



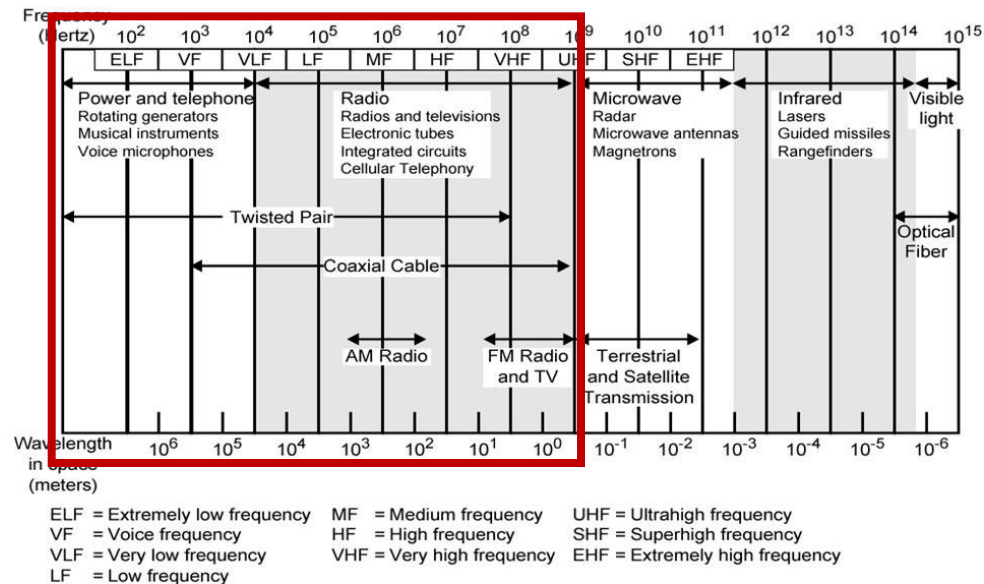
UWB (Ultra Wide-Band) que envia uma série de pulsos rápidos em diferentes posições para troca de informações. Essas rápidas variações levam o sinal a se espalhar por uma faixa larga de frequências. Seu espalhamento pode ainda oferecer maior robustez à atenuação por múltiplos saltos ou a ruídos de faixa estreita.

Transmissão por Rádio

- Pode percorrer longas distâncias
- Pode penetrar em prédios
- Pode ser utilizada tanto em ambientes abertos quanto em fechados
 - Entretanto...
- A potência cai com o quadrado da distância
- Está sujeita a interferências
- Requer licenciamento
- Em altas frequências, ainda sofrem reflexões, absorções (chuva), refração, difrações etc.

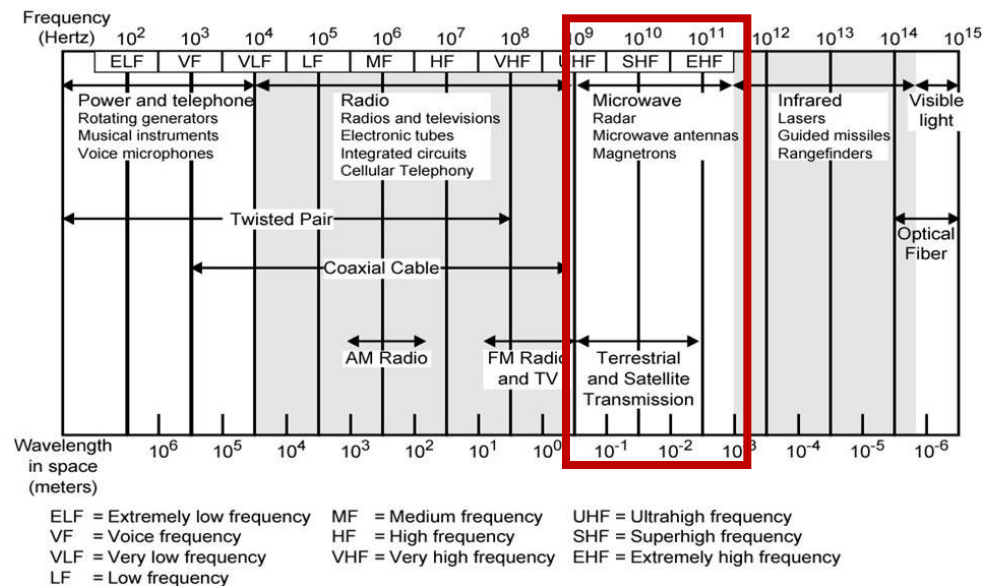
Transmissão por Rádio

- Usada em transmissões sem fio
 - Mas também em pares trançados e cabos coaxiais



Transmissão por Micro-Ondas

- Acima de 1 GHz
 - Ondas trafegam praticamente em linha reta
 - *Serve para transmissões ponto-a-ponto*
 - *Portanto, podem ser concentradas em um feixe estreito*
 - Usadas em comunicações via satélite



Transmissão por Micro-Ondas

- Acima de 1 GHz
 - Uso de antenas parabólicas para transmissão e recepção
 - Devem estar alinhadas com precisão
 - Podem ser usadas por longas distâncias
 - Necessidade de instalação de repetidores para contornar a curvatura da Terra
 - Quanto mais altas estiverem as antenas, mais longas podem ser as distâncias
 - Sofrem com atenuação por obstáculos (prédios)

Transmissão por Micro-Ondas

- Acima de 4 GHz
 - Estimuladas pela necessidade crescente de espectro
 - Entretanto, as ondas podem ser absorvidas até mesmo pela chuva
 - Uso de redundância espacial
 - Enlaces de backup são usados, caso algum enlace operacional seja afetado por maior atenuação

Transmissão por Micro-Ondas

- Em comparação à fibra óptica...
 - Pode ter menos custo e maior simplicidade de instalação
 - **As fibras podem sofrer problemas como:**
 - Direitos sobre o caminho de instalação
 - Obras em regiões de difícil acesso (áreas urbanas)
 - Arrendamento de rede de fibra de terceiros

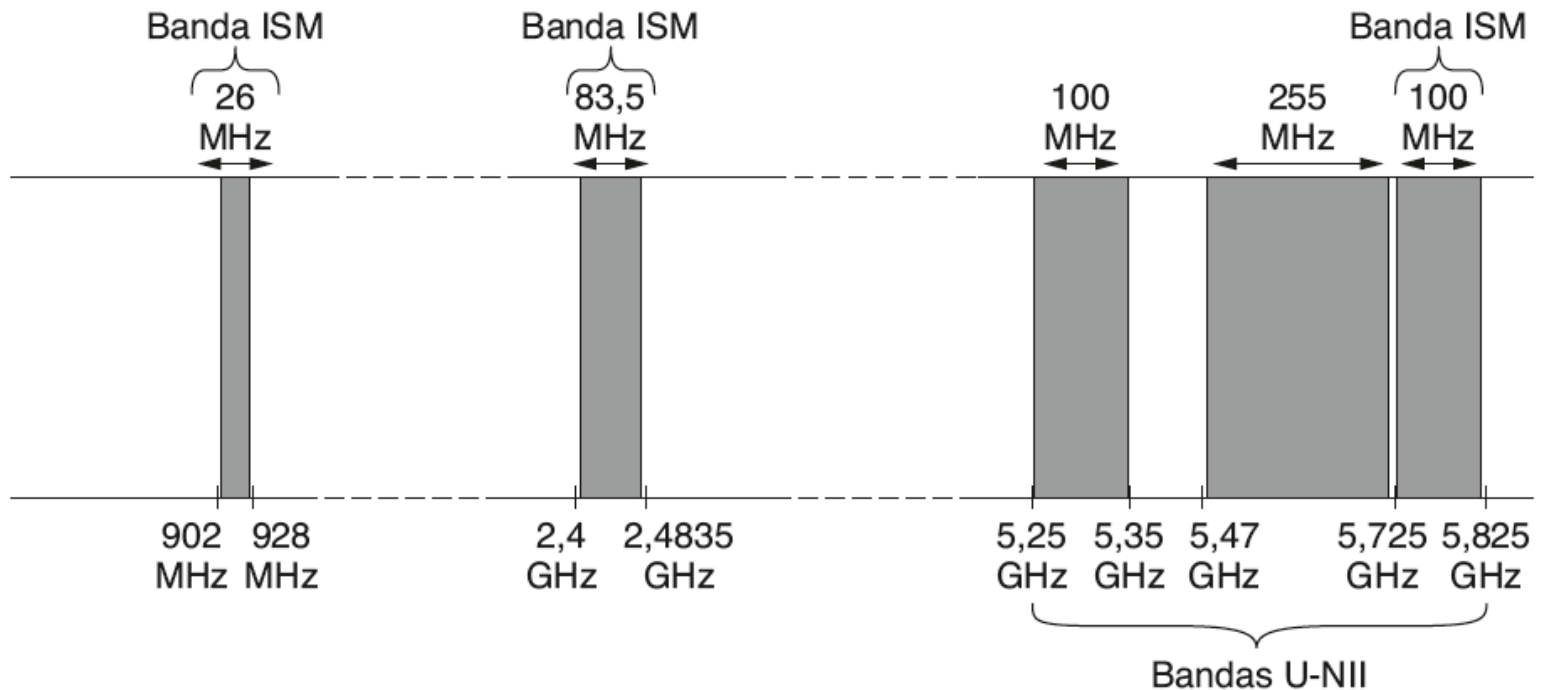
Políticas do Espectro Eletromagnético

- Bandas do espectro para rádio, televisão e telefonia celulares
 - Uso regulamentado por órgãos nacionais e internacionais
 - ITU-R: Órgão internacional
 - Regulamentação a partir de:
 - Avaliação de proposta: Possibilidade de corrupção
 - Sorteio: Possibilidade de revenda
 - Leilão

Políticas do Espectro Eletromagnético

- Bandas do espectro para rádio, televisão e telefonia celulares
 - Liberação de faixas para uso sem licença
 - As bandas ISM (U-NII nos EUA e HiperLAN na Europa)
 - Controle de potência (Máximo de 1W, por exemplo)

Políticas do Espectro Eletromagnético



Banda ISM varia de país para país...

Políticas do Espectro Eletromagnético

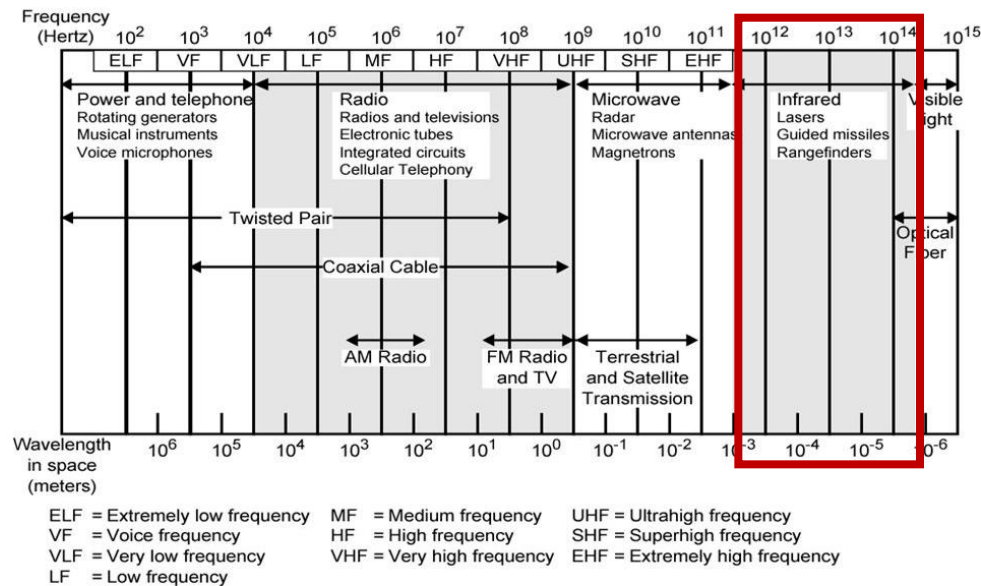
- **Sucesso das redes sem-fio:** Estimula o aumento da capacidade de transmissão pelo aumento do espectro utilizável de frequências
 - **Faixa de 700 MHz:** Alocada para a TV analógica
 - Reutilizada pelo IEEE 802.11af (WLAN) e IEEE 802.22 (WRAN)
 - Vem sendo liberada para a telefonia móvel com o desligamento da TV analógica
 - **Problema:** Dispositivos não licenciados devem ser capazes de detectar um emissor licenciado para lhe dar prioridade...

Políticas do Espectro Eletromagnético

- **Sucesso das redes sem-fio:** Estimula o aumento da capacidade de transmissão pelo aumento do espectro utilizável de frequências
 - **Faixa de 60 GHz:** Banda ISM com alta capacidade de transmissão
 - IEEE 802.11ad (WiGig)
 - **Problema:** As ondas de rádio são absorvidas até mesmo pelo oxigênio e, portanto, têm curto alcance

Transmissão em Infravermelho

- Utilizadas em comunicações de curto alcance
 - Ex. Dispositivos de controle remoto
 - Padrão IrDA (*Infrared Data Association*)
 - Taxas de até 4 Mb/s

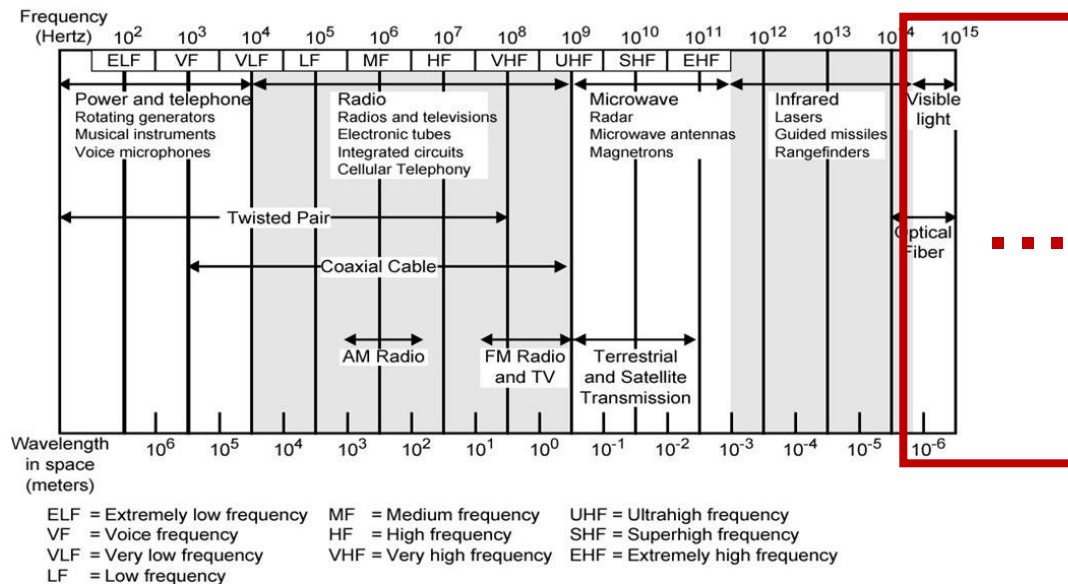


Transmissão em Infravermelho

- Vantagens:
 - Direcionais, econômicos e fáceis de montar
 - Não necessitam de licença
- Desvantagens:
 - Não atravessam objetos sólidos
 - Desvantagem também pode ser vista como vantagem já que evita interferência entre sistemas vizinhos
 - É seguro!
 - Sofre interferência da luz do dia

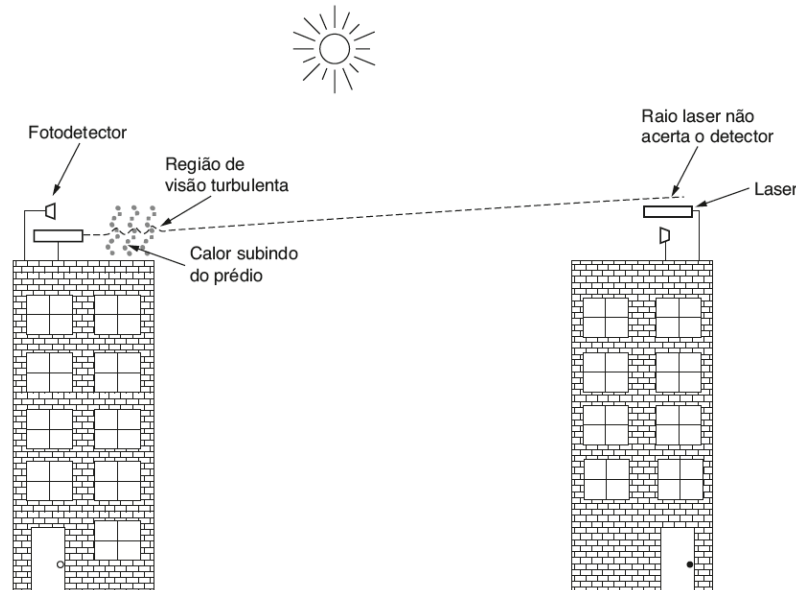
Transmissão via Luz

- Transmissão óptica não-guiada (raio laser)
 - Comunicações são unidirecionais
 - Assim como nas fibras!
 - Não necessita de licença



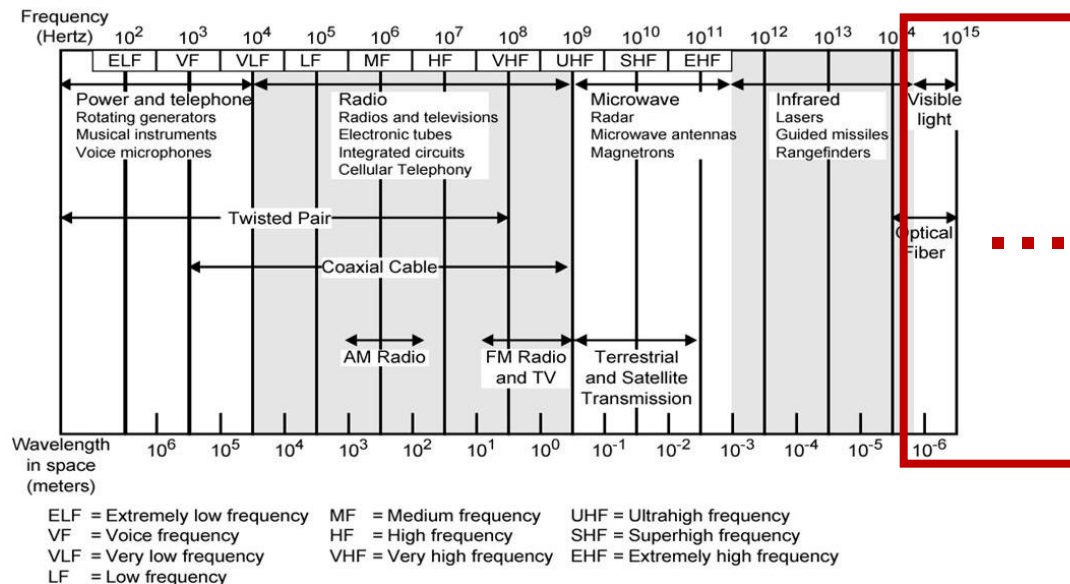
Transmissão via Luz

- Transmissão óptica não-guiada (raio laser)
 - Problemas
 - Dificuldade de manutenção do foco
 - Não atravessa chuva ou neblina
 - Ex.: A convecção do ar pode interferir na comunicação a laser



Transmissão via Luz

- Frequências acima da luz visível
 - UV, Raio X, Raio Gama não são usadas
 - Difíceis de produzir e modular
 - Fortemente atenuadas em presença de obstáculos físicos
 - Prejudicam a saúde humana



Problemas das Comunicações Sem Fio: Mais Detalhes

- Atenuação
- Perda no espaço livre
- Ruídos
- Desvanecimento
- Absorção atmosférica

Atenuação

- Potência de um sinal cai com a distância
 - Redução chamada de atenuação
- Sinal recebido deve ter uma potência suficiente para que o circuito do receptor possa detectá-lo e interpretá-lo
 - Sinal muito forte pode sobrecarregar o circuito
 - Distorção
- Sinal deve manter um nível suficientemente mais alto do que o ruído para ser recebido sem erros

Atenuação

- Após uma determinada distância, a atenuação torna-se suficiente para impedir a recepção correta do sinal
 - Usa-se repetidores
- Atenuação varia com a frequência
 - Para uma mesma distância, a atenuação é maior nas frequências mais altas
 - Técnicas para equalizar a atenuação através de uma banda de frequências são usadas

Perda no Espaço Livre

- Sinal se espalha conforme a distância aumenta
 - Atenuação aumenta conforme o sinal se afasta da antena transmissora
 - Sinal se dispersa por uma área cada vez maior
- $L = P_t / P_r = (4\pi d / \lambda)^2$
- $L_{dB} = 10 \log (P_t / P_r)$

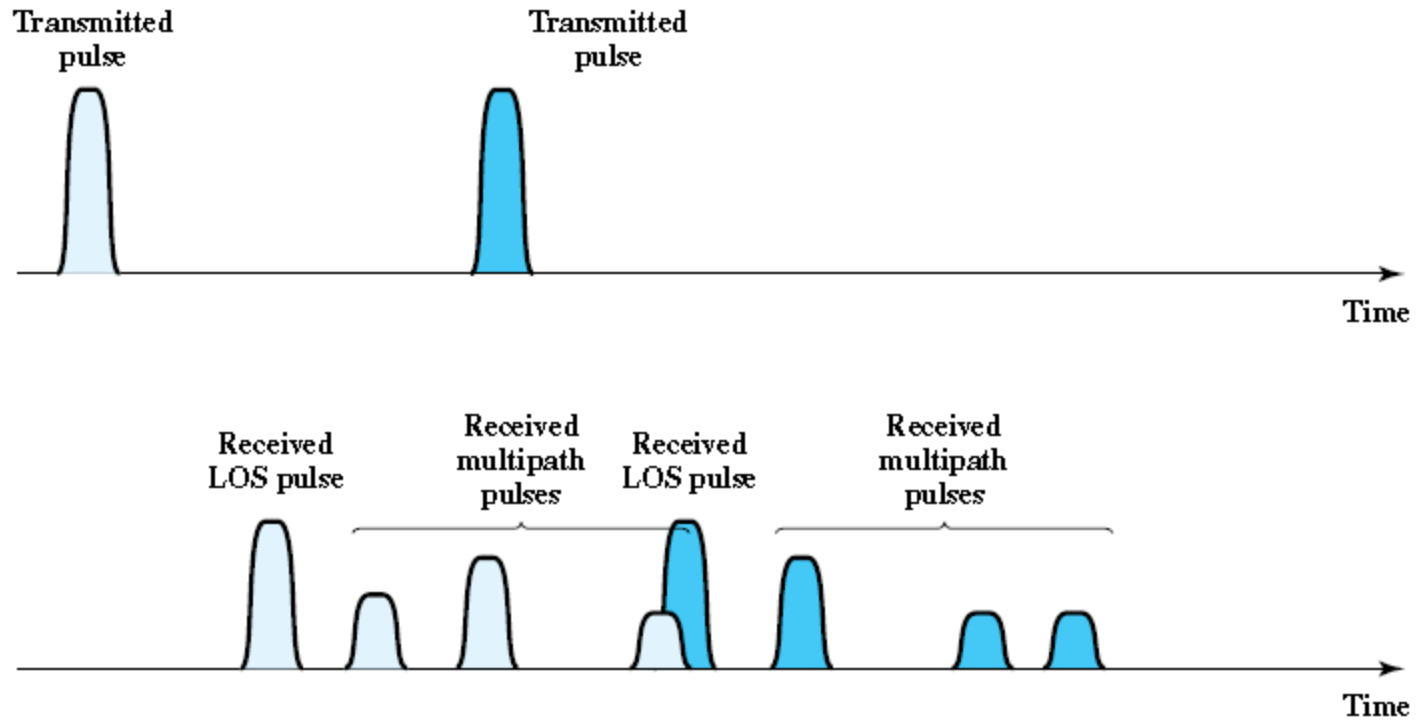
Desvanecimento (*Fading*)

- Variação temporal da potência do sinal recebido
 - Causada pelo mudanças no meio de transmissão ou no(s) caminho(s)
- Em um ambiente fixo
 - Afetado por mudanças nas condições atmosféricas
 - Ex.: chuva (*rainfall*)
- Em um ambiente móvel
 - Afetado pelas mudanças na localização relativa de vários obstáculos

Propagação por Múltiplos Caminhos

- Sinal recebido pelo receptor é composto de sinais vindo de diferentes direções e caminhos
 - Fases podem atuar de modo construtivo ou destrutivo
 - Interferência intersimbólica pode ocorrer
- Mecanismos de propagação
 - Reflexão
 - Difração
 - Dispersão

Interferência Intersimbólica



fonte: William Stallings, "Data and Computer Communications", Pearson, Practive-Hall, 8^a. Edição.

Reflexão

- Ocorre quando um sinal encontra uma superfície grande comparada ao comprimento de onda do sinal
- Sinais podem ser recebidos mesmo que não haja visada direta

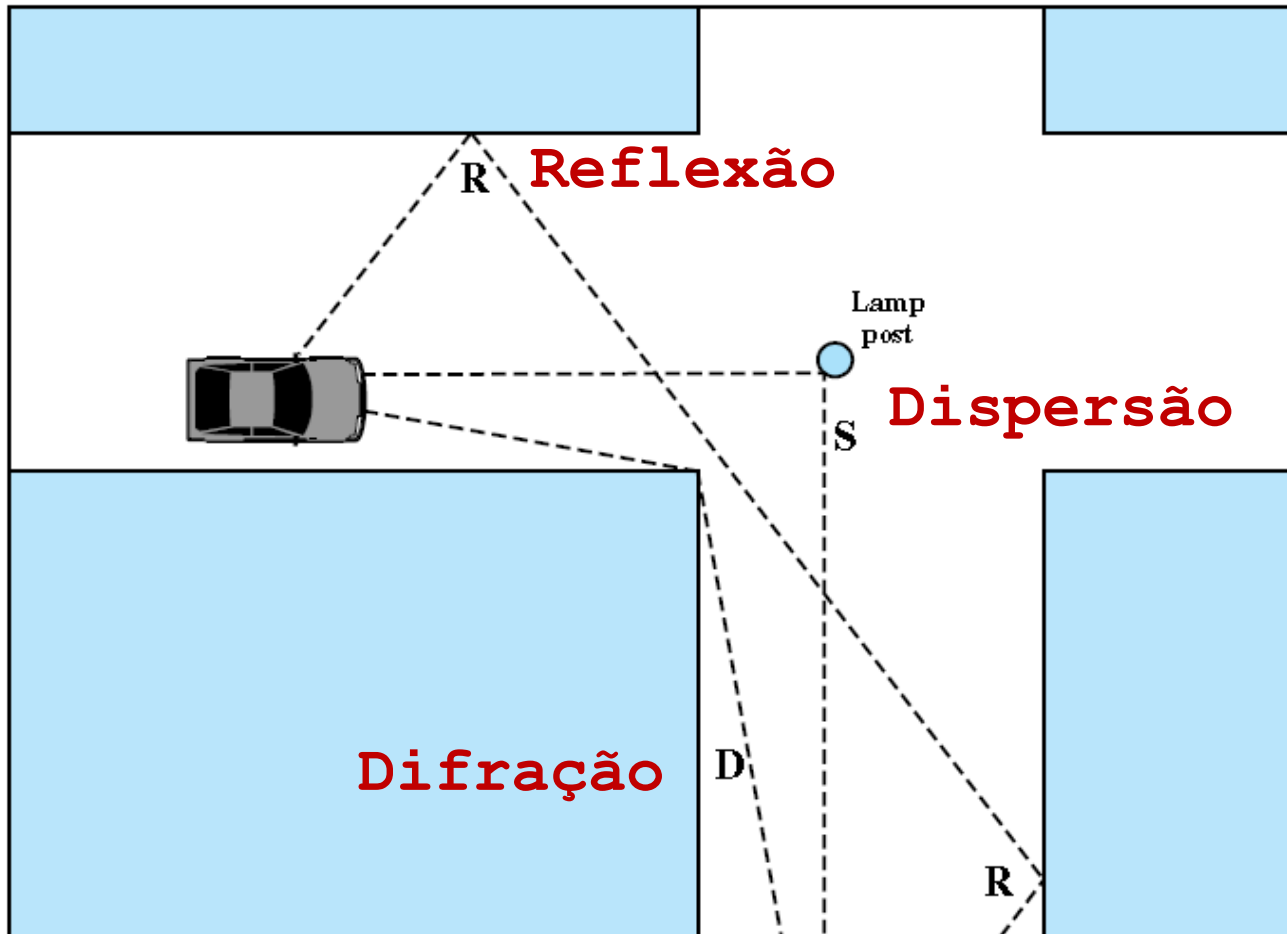
Difração

- Capacidade que as ondas possuem de contornar obstáculos
 - Princípio de Huygens: *“Cada ponto na frente de onda funciona como uma nova fonte de ondas”*
- Pode ocorrer no canto de um corpo impenetrável que obstrui a passagem do sinal
 - Canto é grande comparado ao comprimento de onda do sinal
- Sinais são recebidos mesmo sem visada direta

Dispersão ou Espalhamento

- Quando a onda encontra o corpo, se propaga em diferentes direções
 - Sinal composto por frequências diferentes sofrem reflexão e refração com ângulos diferentes
 - Fenômeno da dispersão da luz em um prisma
- Ocorre no canto de um corpo impenetrável que obstrui a passagem
 - Corpo possui tamanho comparável ao comprimento de onda do sinal ou menor
- Sinais são recebidos mesmo sem visada direta

Exemplo



fonte: William Stallings, “Data and Computer Communications”, Pearson, Practive-Hall, 8^a. Edição.

Absorção Atmosférica

- Vapor d' água e oxigênio contribuem para a atenuação
 - Vapor d' água
 - Pico de atenuação em 22 GHz
 - Atenuação menor em frequências menores que 15 GHz
 - Oxigênio
 - Pico de atenuação em 60 GHz
 - Atenuação menor em frequências menores que 30 GHz

Absorção Atmosférica

- Chuva e neblina (*fog*) causam a dispersão de ondas que gera atenuação
 - Isso pode ser uma causa principal de perdas
 - Em áreas com muita chuva...
 - Distâncias envolvidas devem ser pequenas ou
 - Bandas de frequências mais baixas devem ser usadas

Ruídos

- Alterações sofridas pelo sinal transmitido até a recepção
 - Quatro tipos principais:
 - Térmico
 - Intermodulação
 - Diafonia (*crosstalk*)
 - Impulsivo

Ruído Térmico

- Devido à agitação térmica dos elétrons
 - Uniformemente distribuído através do espectro de frequências
- Também chamado de **ruído branco**

Ruído por Intermodulação

- Devido ao compartilhamento de um mesmo meio de transmissão entre sinais de diferentes frequências
 - Produz sinais em uma frequência que é a soma ou a diferença entre as frequências originais ou entre múltiplos dessas frequências
- Ocorre quando **há não-linearidade** no transmissor, no receptor ou no sistema de transmissão interveniente
 - Não-linearidade pode ser causada por:
 - Mau funcionamento de componentes
 - Potência de sinal excessiva
 - Natureza dos amplificadores utilizados

Diafonia

- Ocorre quando o sinal transmitido em um circuito ou canal cria um efeito indesejado em outro circuito ou canal
 - Uma linha telefônica pode induzir corrente em uma linha vizinha criando o efeito da “**linha cruzada**”
- Em redes sem fio são chamados de interferência co-canal ou interferência entre canais adjacentes
 - Ocorre quando um transmissor recebe o sinal de outra comunicação na mesma frequência ou
 - Quando um transmissor recebe o sinal de uma comunicação em canal adjacente

Ruído Impulsivo

- Consiste de **pulsos ou picos irregulares de ruídos** de curta duração e relativamente grande amplitude
- Pode ser gerado por:
 - Trovões
 - Centelhamento de relés e em lâmpadas fluorescentes
 - Falhas no sistema de comunicação

Modos de Propagação

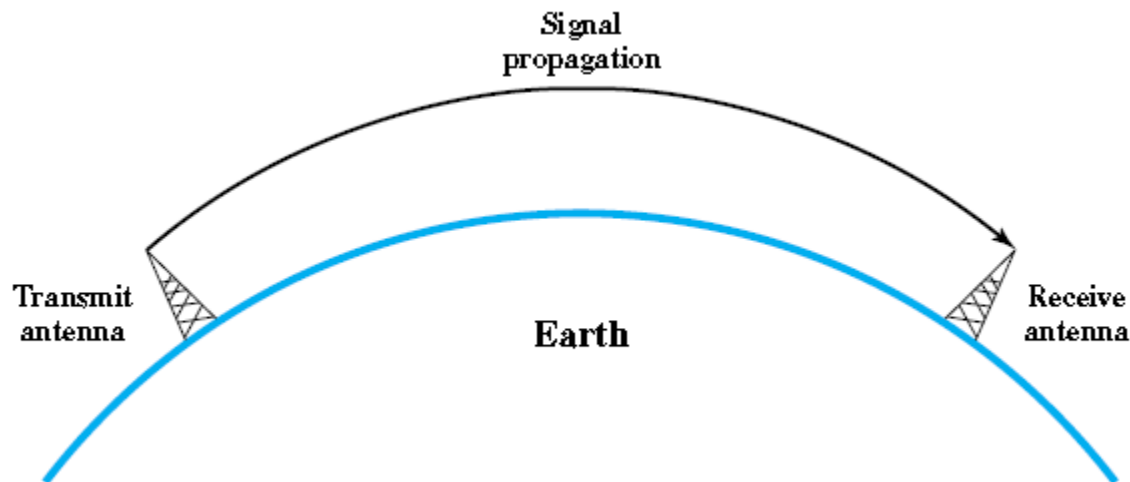
- Sinal irradiado pode se propagar de três formas:
 - Acima do solo (*ground wave*)
 - No céu (*sky wave*)
 - Através de visada direta

Modos de Propagação

- Acima do solo
 - Segue o contorno da terra
 - Pode-se propagar por distâncias consideráveis
 - Frequências até 3 MHz
 - Ondas sofrem difração na terra
 - Ondas são espalhadas pela atmosfera
 - Não penetram na atmosfera mais alta
 - Ex.: Rádio AM

Modos de Propagação

- Acima do solo



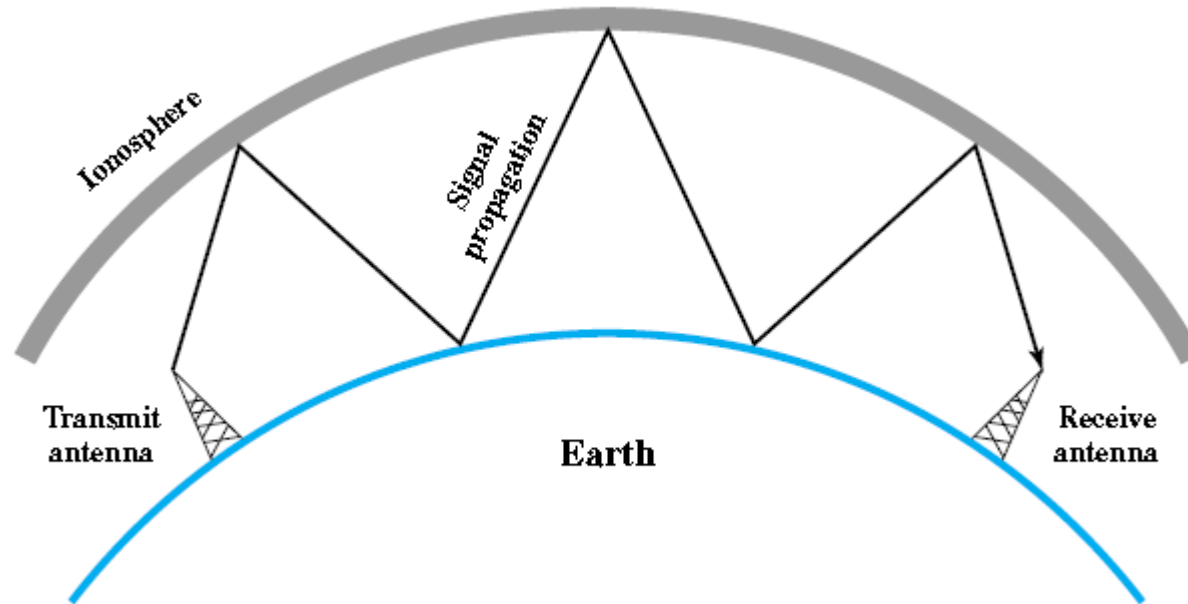
fonte: William Stallings, “Data and Computer Communications”,
Pearson, Practive-Hall, 8^a. Edição.

Modos de Propagação

- No céu
 - Sinal é refratado na ionosfera
 - Pode-se propagar por distâncias consideráveis através de saltos entre a terra e a ionosfera
 - Frequências de 3 a 30 MHz
 - Ex.: Rádio-amador

Modos de Propagação

- No céu



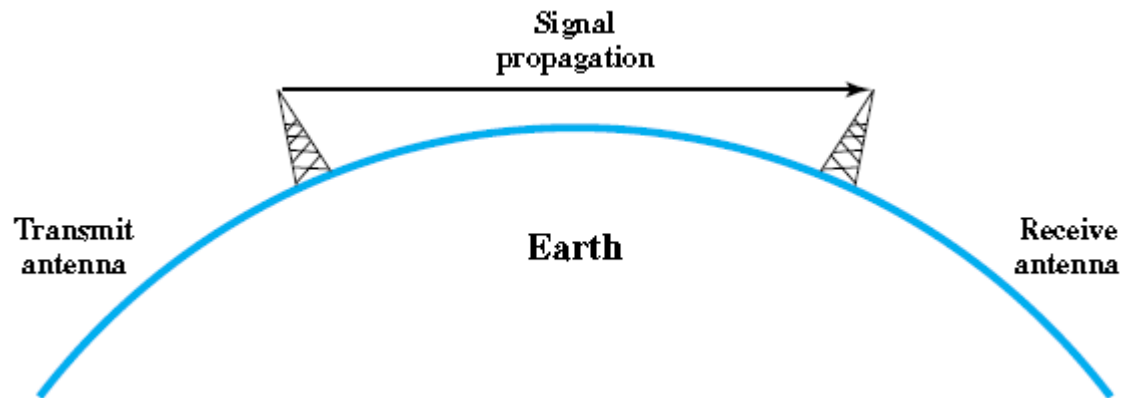
fonte: William Stallings, "Data and Computer Communications", Pearson, Practive-Hall, 8^a. Edição.

Modos de Propagação

- Visada direta
 - Antenas devem estar alinhadas
 - Comunicação via satélite: Sinais acima de 30 MHz não são refletidos na ionosfera
 - Comunicação no solo: Antenas com linha de visada efetiva devido à refração

Modos de Propagação

- Visada direta



fonte: William Stallings, "Data and Computer Communications", Pearson, Practive-Hall, 8^a. Edição.

Modos de Propagação

- Caso haja visada direta...
 - Difração e dispersão possuem efeitos menores
 - Reflexão pode ter um impacto significativo
- Caso **não** haja visada direta...
 - Difração e dispersão são os meios primários de recepção do sinal

Antenas

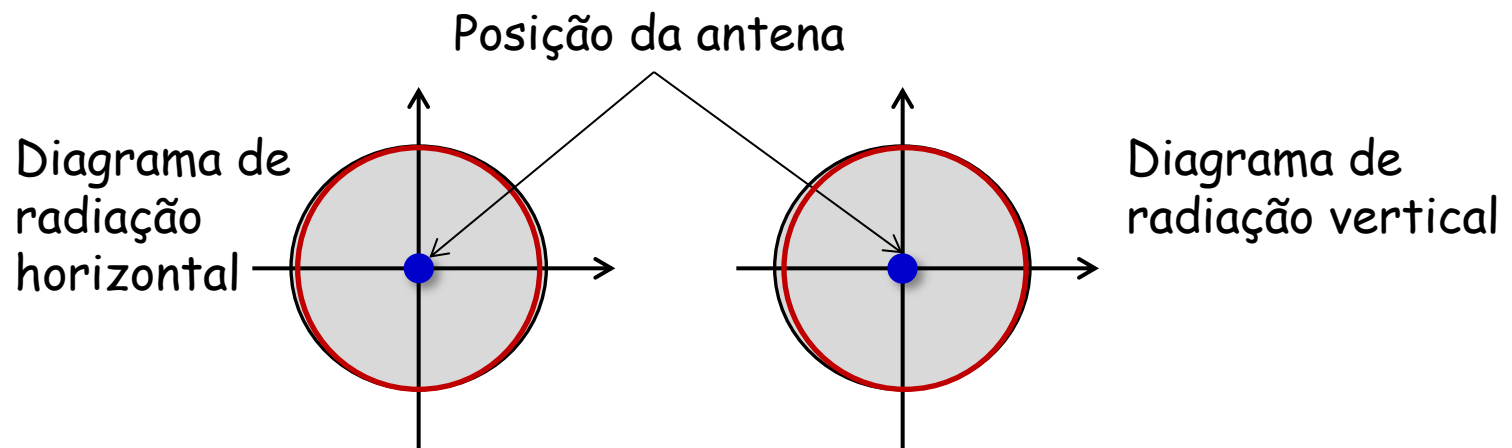
- Condutor elétrico ou um sistema de condutores
 - Necessário para a transmissão e a recepção de sinais através do ar
- Na transmissão...
 - Converte energia elétrica em energia eletromagnética
 - Irradia a energia convertida no ar
- Na recepção...
 - Capta energia eletromagnética do ar
 - Converte a energia captada em energia elétrica

Antenas

- Uma única antena pode transmitir e receber
 - Desde que não seja ao mesmo tempo
- Antena irradia potência em todas as direções
 - Mas não apresenta o mesmo desempenho em todas elas
 - **Antenas omnidirecionais Vs. antenas direcionais**
- Em geral, quanto maior a frequência, mais direcional é o feixe gerado pela antena

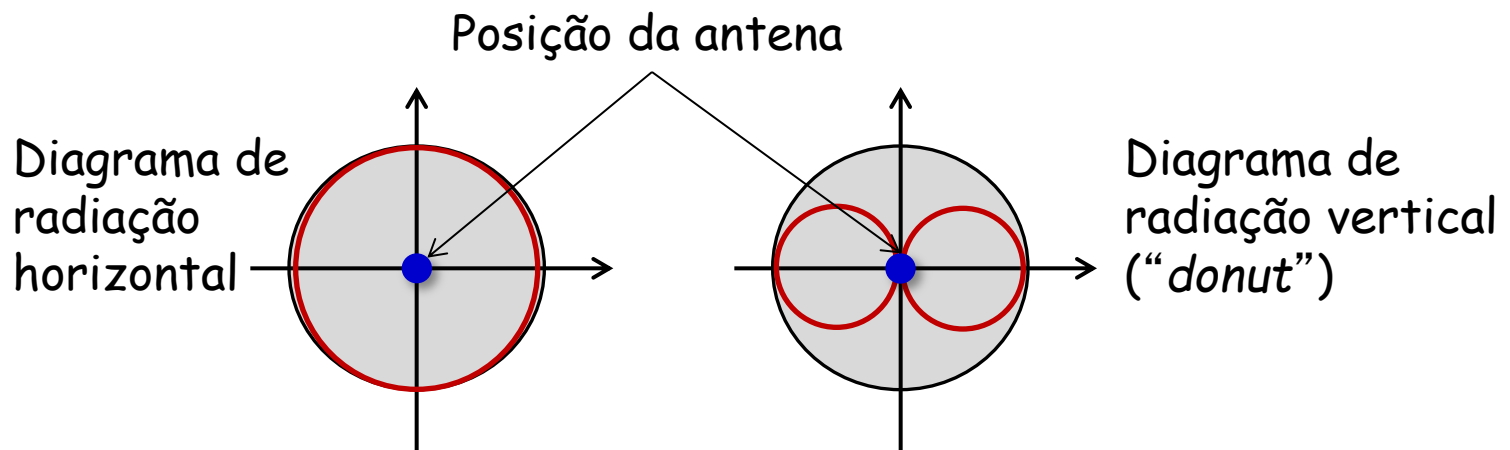
Antenas Isotrópicas

- Irradia em todas as direções igualmente
 - Antena ideal



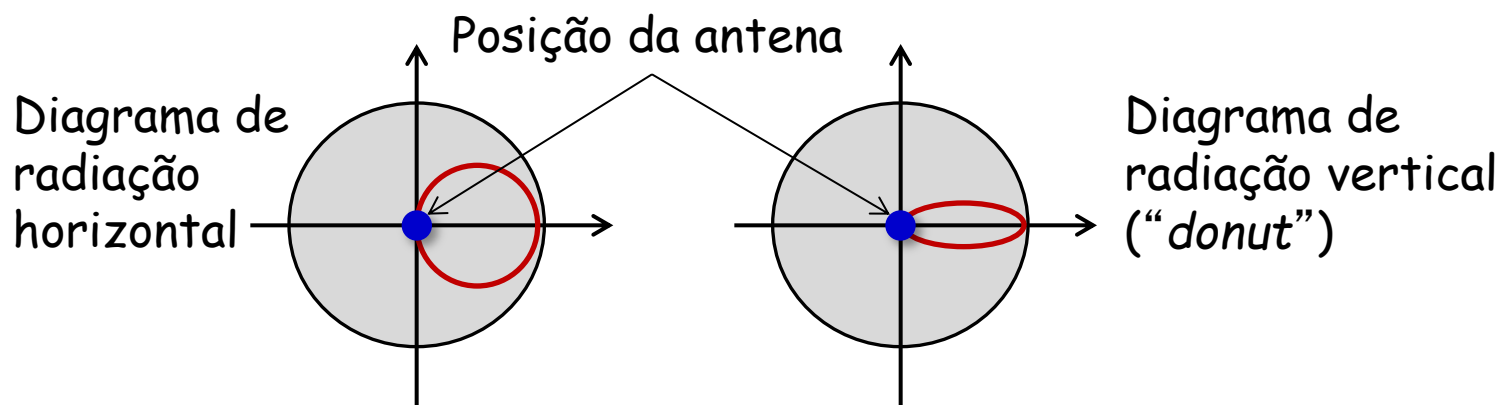
Antenas Omnidirecionais

- Alcance de transmissão cobre área circular
 - Em torno do transmissor
- Duas estações se comunicando...
 - Estações na vizinhança devem permanecer caladas para não haver interferência



Antenas Direcionais

- Pode minimizar o problema de interferência
 - Área coberta pode ser aproximada por um setor circular
 - Antena gera um feixe focado
 - Reutilização espacial pode ser mais explorada
- Ganhos de transmissão e de recepção são maiores
 - Alcance de transmissão é maior

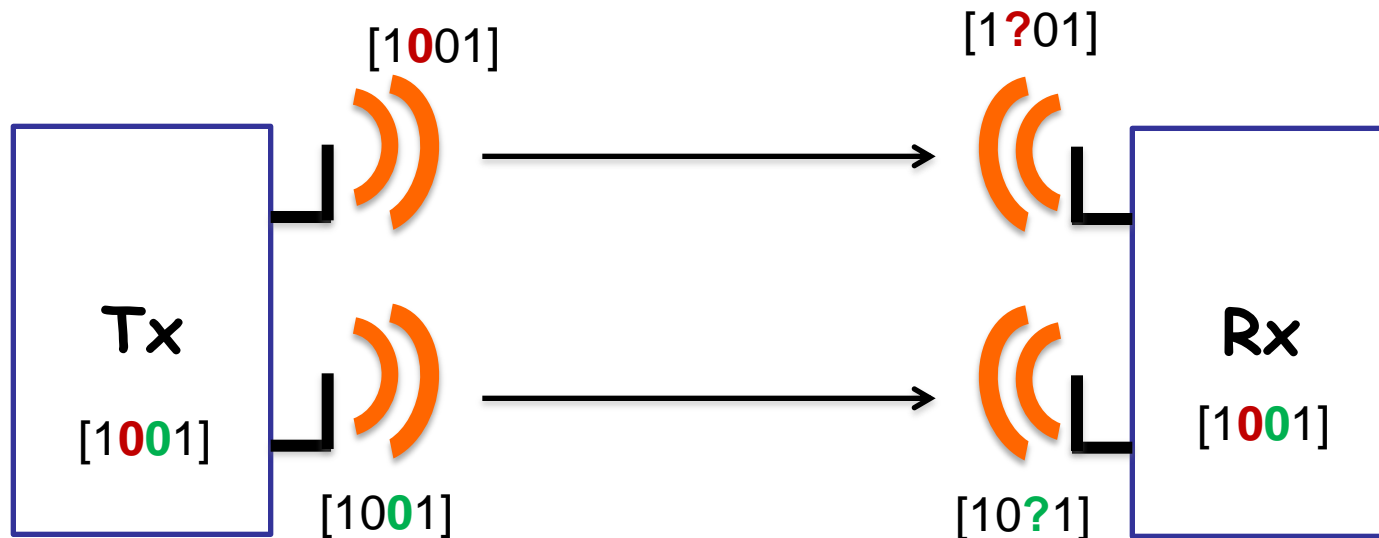


Ganho das Antenas

- Medida da direcionalidade da antena
 - Geralmente definido como a potência em uma direção particular comparada à produzida em qualquer direção por uma antena isotrópica
- Aumento em uma direção significa redução em outras
- Não se refere a obter mais potência de saída do que de entrada, mas sim à direcionalidade

Multiple Input Multiple Output (MIMO)

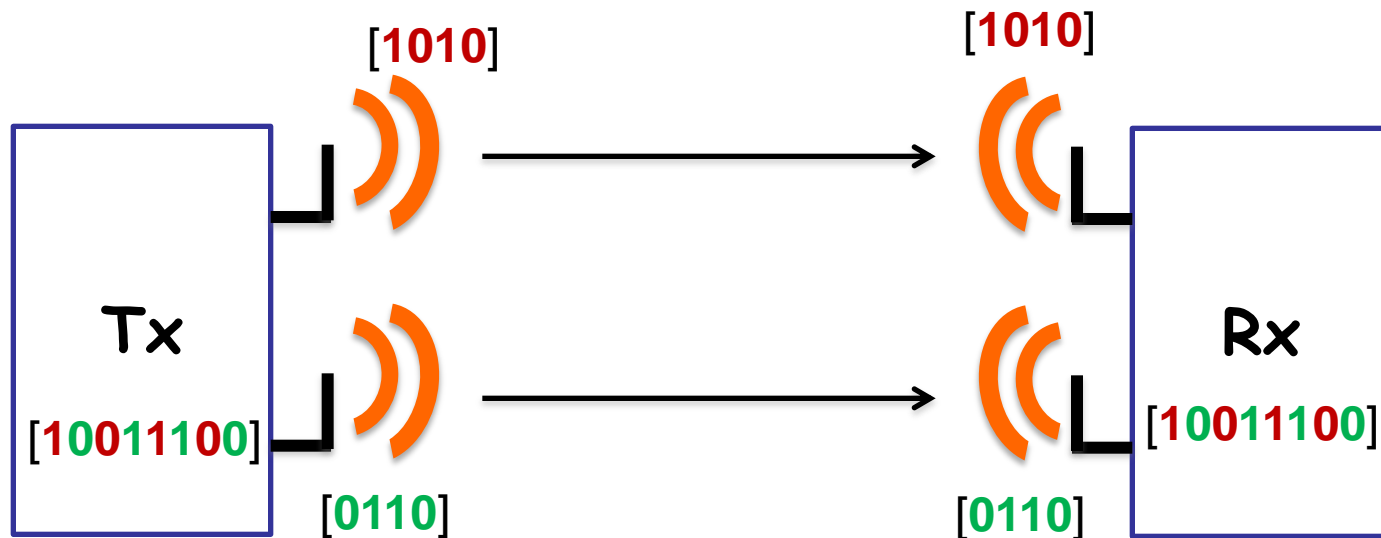
- Permite maior confiabilidade e/ou maior capacidade
 - Diversidade espacial é usada



Confiabilidade

Multiple Input Multiple Output

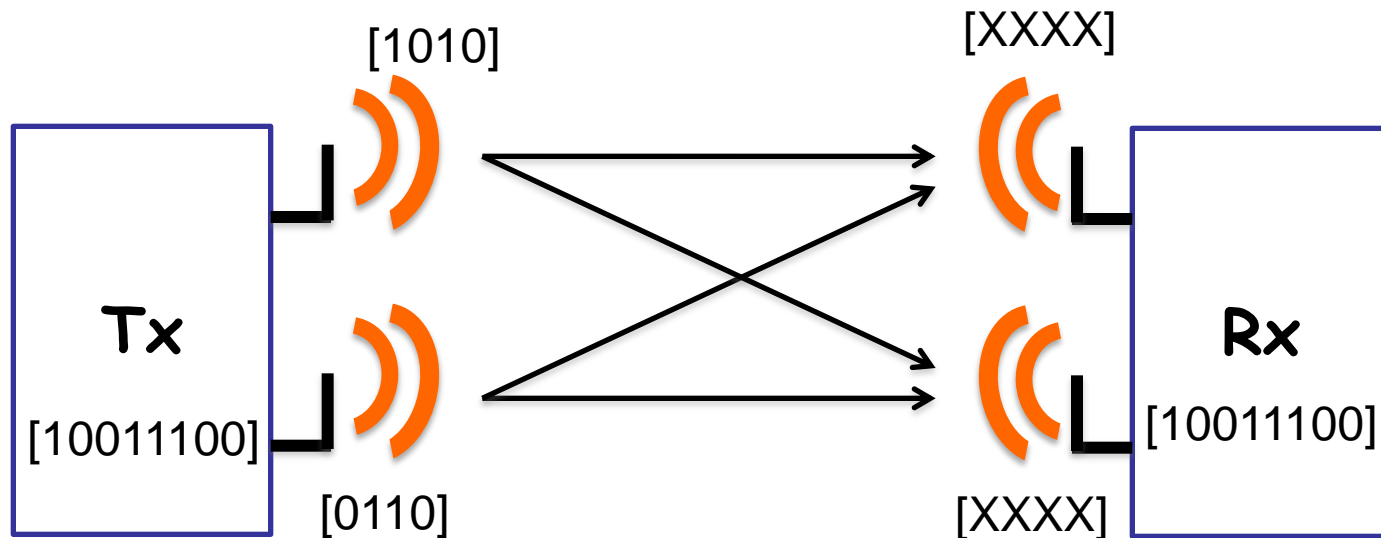
- Permite maior confiabilidade e/ou maior capacidade
 - Diversidade espacial é usada



Capacidade

Multiple Input Multiple Output

- Permite maior confiabilidade e/ou maior capacidade
 - Diversidade espacial é usada



Requer processamento de sinais para separação dos sinais recebidos

Multiple Input Multiple Output

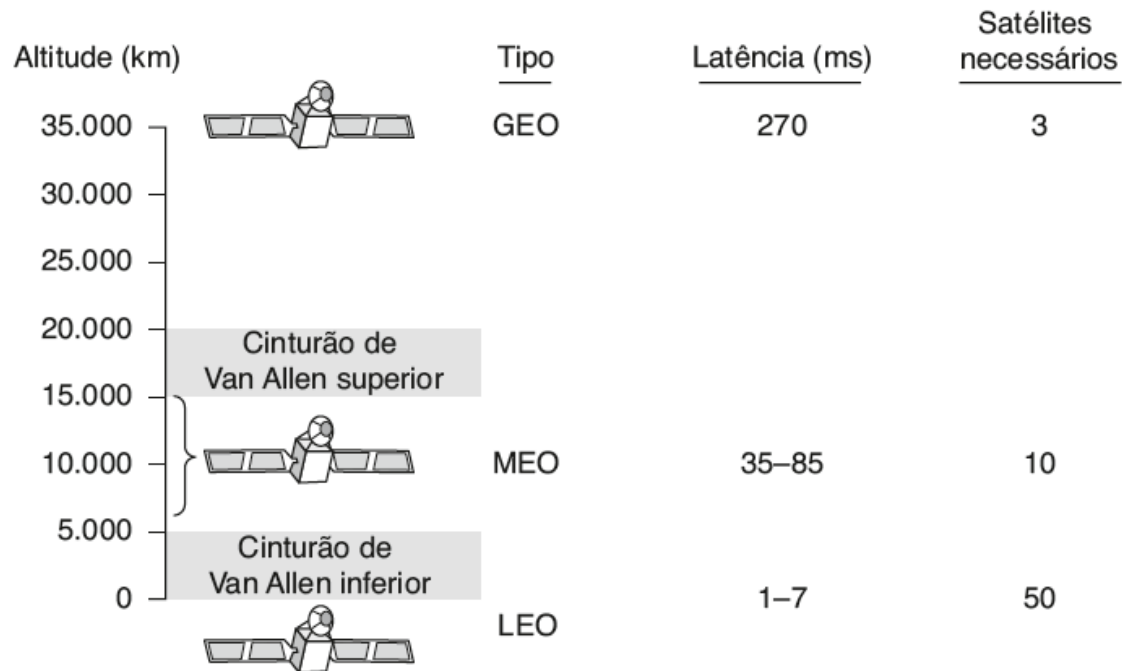
- Avanço das técnicas de processamento de sinais...
 - Permite uso de múltiplas antenas (>100)
 - **Massive MIMO**
- Uso da diversidade do sinal + antenas direcionais e alinhamento (*beamforming*)
 - Aumenta capacidade da rede e permite mobilidade

Satélites de Comunicação

- Três tipos:
 - Geoestacionários: GEO (Geostationary Earth Orbit)
 - Órbita média: MEO (Medium Earth Orbit)
 - Órbita baixa: LEO (Low Earth Orbit)
- Compostos por antenas e *transponders*
 - Cada *transponder* recebe o sinal em determinada frequência, converte para outra frequência e envia o sinal na nova frequência

Satélites de Comunicação

- Algumas propriedades:
 - Altitudes, atraso de ida e volta, número de satélites para cobertura global



Satélite Vs. Fibra Óptica

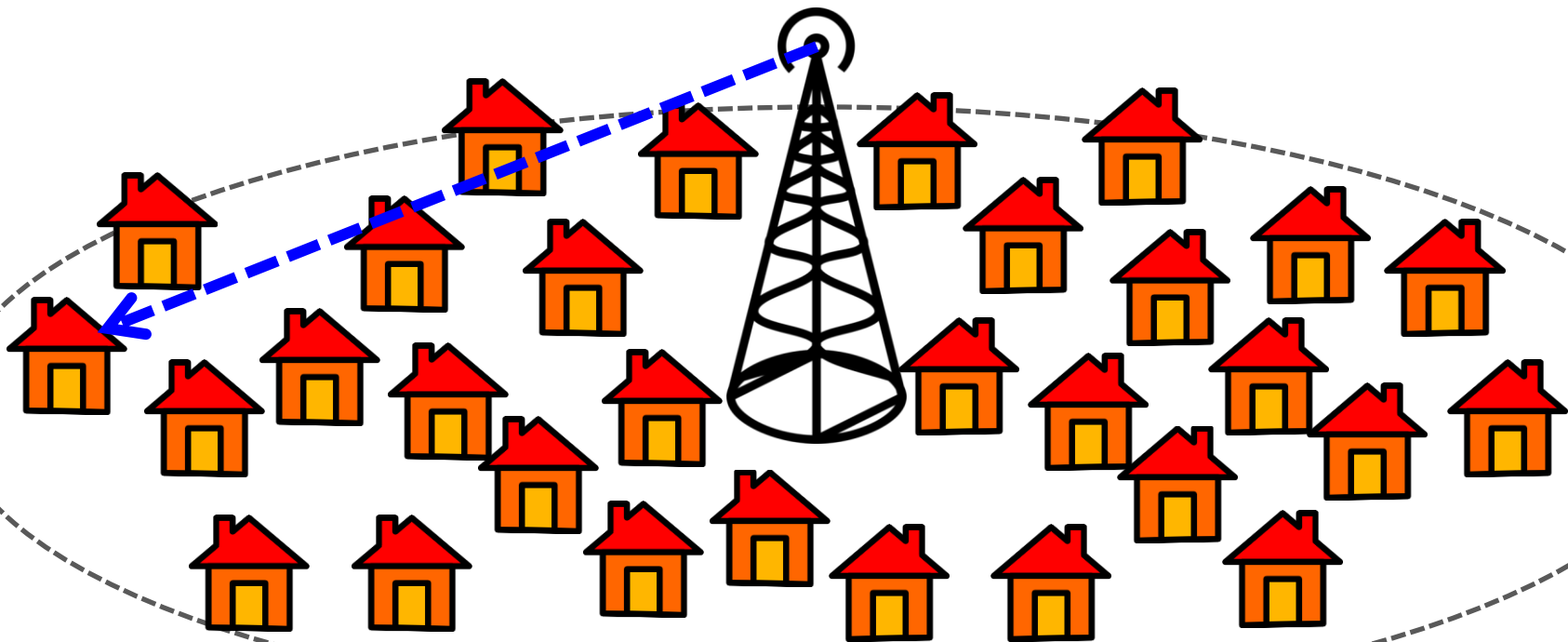
- Satélite
 - Sobrevivência melhor
 - Melhor para regiões com pouca infraestrutura
 - Exs.: Mar ou deserto
 - Melhor para comunicações por difusão
 - Mensagens recebidas por muitas estações
 - Transmissões de um satélite GEO cobrem 1/3 da Terra
- Fibra óptica
 - Infraestrutura menos cara
 - Exceto em regiões atípicas
 - Indonésia e suas muitas ilhas

Por que Usar as Redes Sem Fio?

- Transmissão sem-fio
 - Cumpre demanda de ubiquidade de acesso
 - *Usuários querem acesso “em qualquer lugar e a qualquer momento”*
 - *Par trançado, fibra, cabo coaxial não podem atender essa demanda*
- Ainda em comparação às redes cabeadas...
 - Maior facilidade de instalação

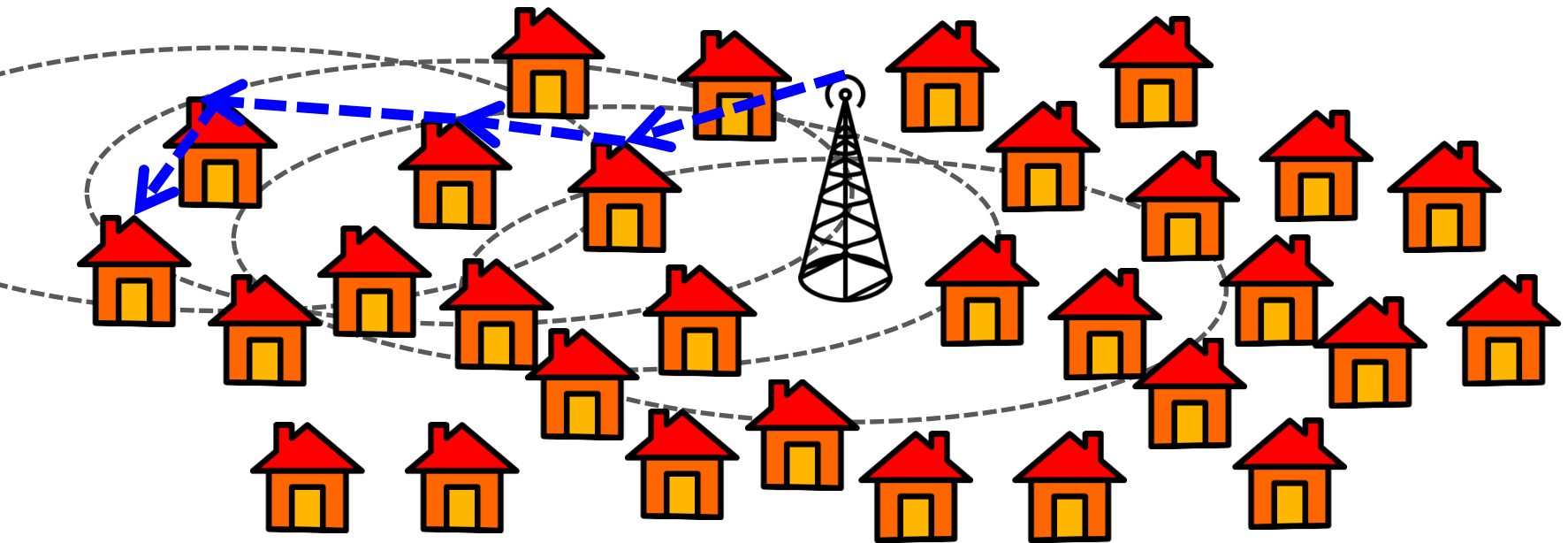
Rede Sem Fio Pode ser de Longa Distância?

- Pode! Redes sem fio podem ter alcances longos
 - Seja por transmissões a altas potências



Rede Sem Fio Pode ser de Longa Distância?

- Pode! Redes sem fio podem ter alcances longos
 - Seja por transmissões a múltiplos saltos



Leitura Recomendada

- Capítulo 2 do livro
 - Andrew S. Tanenbaum e David Wetherall, “*Redes de Computadores*”, 5ª Edição, Pearson, Prentive-Hall, 2011
- Capítulo 4 do livro
 - William Stallings, “*Data and Computer Communications*”, 8ª Edição, Pearson, Prentive-Hall