

## 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

- Corrente elétrica gera onda eletromagnética
  - Antena instalada em um circuito elétrico pode transmitir e receber ondas eletromagnéticas

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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.

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Quiz

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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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 ruído 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")
```

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Características do Meio Físico Sem Fio

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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Características do Meio Físico Sem Fio

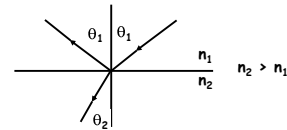
- Comprimento de onda ( $\lambda$ )
- Velocidade de propagação ( $v$ )
  - Velocidade de transmissão depende do meio e do comprimento de onda ( $\lambda$ ):  $v = \lambda \times f$ 
    - Exceção no vácuo, onde as ondas eletromagnéticas viajam na velocidade da luz, independente do  $\lambda$
    - Na fibra...
      - Velocidade da luz = 2/3 da velocidade da luz no vácuo
- Índice de refração do meio ( $n$ )
  - $n = c/v$ , onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Características do Meio Físico Sem Fio

- Propagação de uma onda em meios com índices de refração diferentes pode gerar:
  - Refração
    - $\text{sen}(\theta_2) = (n_1/n_2) \text{sen}(\theta_1)$
  - Reflexão
    - Ângulo de incidência = ângulo de reflexão ( $\theta_1$ )



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Características do Meio Físico Sem Fio

- Refração (índice:  $n = c/v$ )
  - Velocidade de uma onda eletromagnética é função do meio pela qual ela viaja
    - Vácuo:  $v = c$ 
      - Menor índice de refração
    - Ar, água, vidro e outros meios transparentes ou parcialmente transparentes:  $v < c$ 
      - Maior índice de refração

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

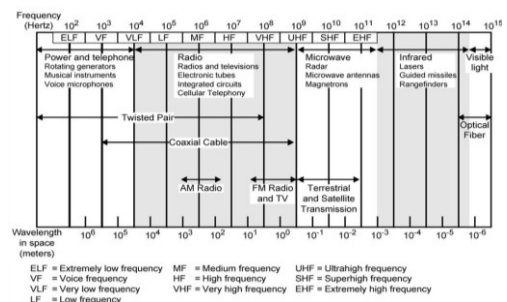
## Características do Meio Físico Sem Fio

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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

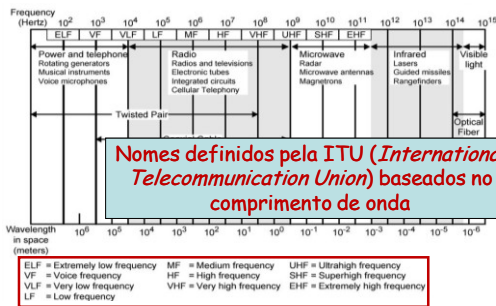
## Espectro Eletromagnético



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Espectro Eletromagnético



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

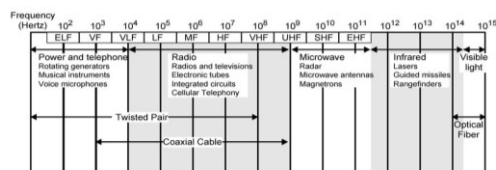
## Espectro Eletromagnético

- 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Espectro Eletromagnético



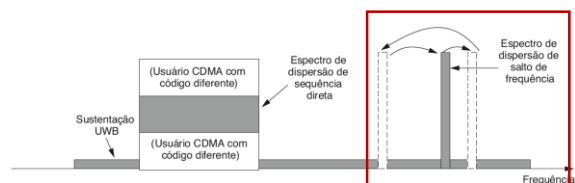
Normalmente, as transmissões utilizam uma faixa estreita de frequências ( $\Delta f/f \ll 1$ ) para que se possa usar o espectro com maior eficiência.

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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Dispersão Eletromagnética

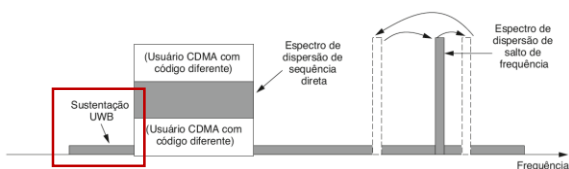


Dispersão por salto de frequência, na qual o transmissor salta de frequência centenas de vezes por segundo para dificultar a interceptação e oferecer maior robustez à atenuação por múltiplos saltos ou a ruídos de faixa estreita

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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.

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista



## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

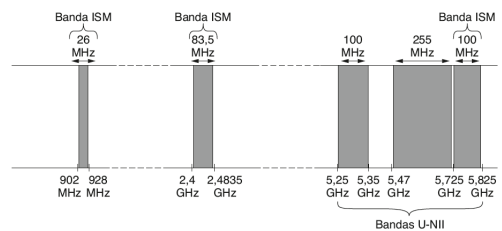
## Políticas do Espectro Eletromagnético

- 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)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Políticas do Espectro Eletromagnético



Banda ISM varia de país para país...

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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...

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Políticas do Espectro Eletromagnético

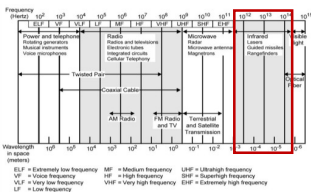
- **Sucesso das redes sem-fio:** Estimula o aumento da capacidade de transmissão pelo aumento do espectro utilizável de frequências
  - Faixa de 60 GHz: Banda ISM com alta capacidade de transmissão
    - IEEE 802.11ad (WiGig)
    - **Problema:** As ondas de rádio são absorvidas até mesmo pelo oxigênio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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Transmissão em Infravermelho

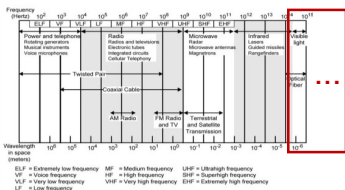
- Vantagens:
  - Direcionais, econômicos e fáceis de montar
  - Não necessitam de licença
- Desvantagens:
  - Não atravessam objetos sólidos
    - Desvantagem também pode ser vista como vantagem já que evita interferência entre sistemas vizinhos
      - É seguro!
  - Sofre interferência da luz do dia

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Transmissão via Luz

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

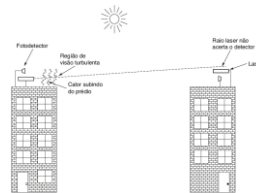


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

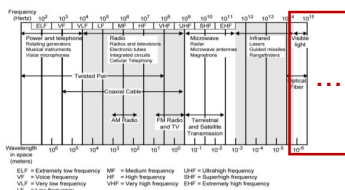


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Problemas das Comunicações Sem Fio: Mais Detalhes

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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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
- $L = P_t / P_r = (4\pi d / \lambda)^2$
- $L_{dB} = 10 \log (P_t / P_r)$

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

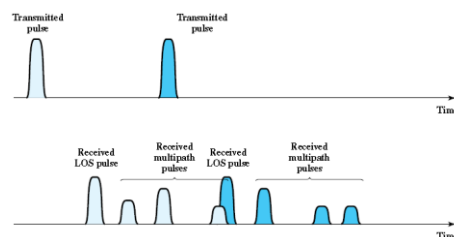
## Propagação por Múltiplos Caminhos

- 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Interferência Intersimbólica



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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista



## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

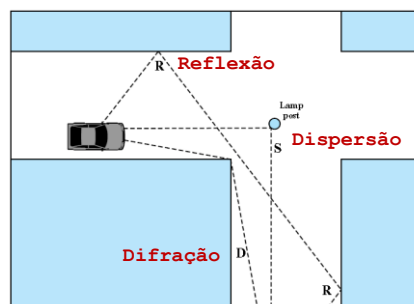
## Dispersão ou Espalhamento

- 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Exemplo



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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Ruídos

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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Ruído Térmico

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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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 interviniente
  - Não-linearidade pode ser causada por:
    - Mau funcionamento de componentes
    - Potência de sinal excessiva
    - Natureza dos amplificadores utilizados

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Modos de Propagação

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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Modos de Propagação

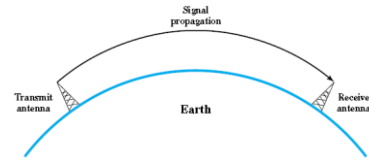
- Acima do solo
  - Segue o contorno da terra
  - Pode-se propagar por distâncias consideráveis
  - Freqüências até 3 MHz
  - Ondas sofrem difração na terra
  - Ondas são espalhadas pela atmosfera
    - Não penetram na atmosfera mais alta
  - Ex.: Rádio AM

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Modos de Propagação

- Acima do solo



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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Modos de Propagação

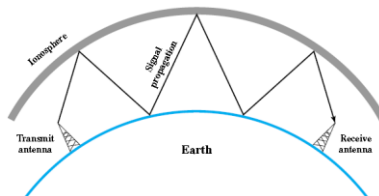
- No céu
  - Sinal é refratado na ionosfera
  - Pode-se propagar por distâncias consideráveis através de saltos entre a terra e a ionosfera
  - Freqüências de 3 a 30 MHz
  - Ex.: Rádio-amador

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Modos de Propagação

- No céu



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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Modos de Propagação

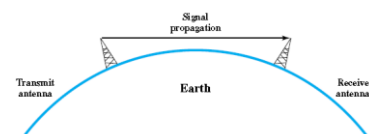
- Visada direta
  - Antenas devem estar alinhadas
    - Comunicação via satélite: Sinais acima de 30 MHz não são refletidos na ionosfera
    - Comunicação no solo: Antenas com linha de visada efetiva devido à refração

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Modos de Propagação

- Visada direta



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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Antenas

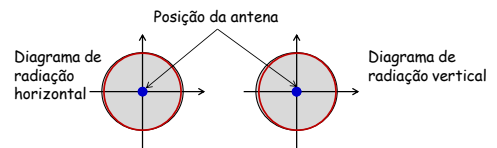
- Uma única antena pode transmitir e receber
  - Desde que não seja ao mesmo tempo
- Antena irradia potência em todas as direções
  - Mas não apresenta o mesmo desempenho em todas elas
    - Omnidirecionais Vs. Direcionais
- Em geral, quanto maior a frequência, mais direcional é o feixe gerado pela antena

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Antenas Isotrópicas

- Irradia em todas as direções igualmente
  - Antena ideal

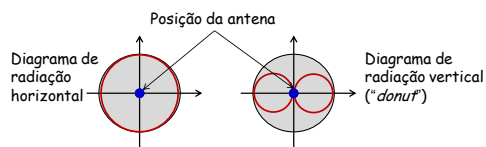


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

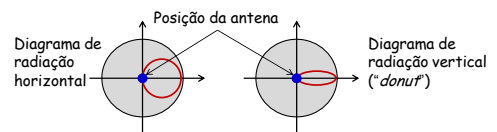


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Ganho das Antenas

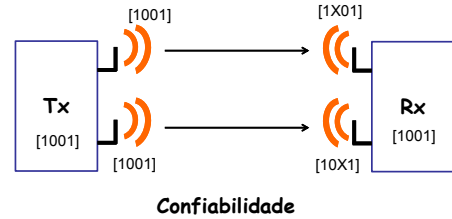
- Medida da direcionalidade da antena
  - Geralmente definido como a potência em uma direção particular comparada à produzida em qualquer direção por uma antena isotrópica
- Aumento em uma direção significa redução em outras
- Não se refere a obter mais potência de saída do que de entrada, mas sim à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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Multiple Input Multiple Output

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

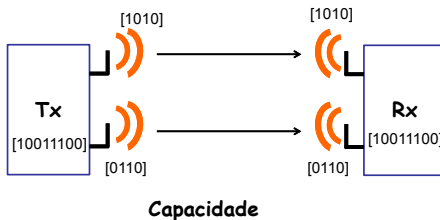


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Multiple Input Multiple Output

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

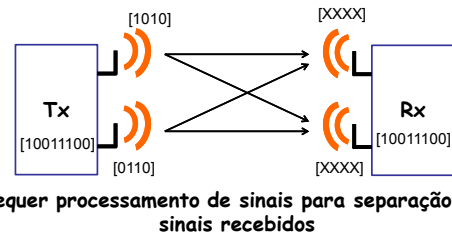


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Multiple Input Multiple Output

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



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Satélites de Comunicação

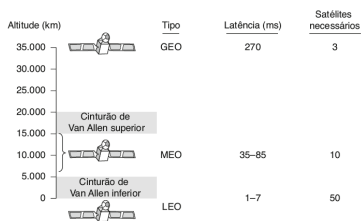
- Três tipos:
  - Geoestacionários: GEO (Geostationary Earth Orbit)
  - Órbita média: MEO (Medium Earth Orbit)
  - Órbita baixa: LEO (Low Earth Orbit)
- Compostos por antenas e *transponders*
  - Cada *transponder* recebe o sinal em determinada frequência, converte para outra frequência e envia o sinal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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Satélites de Comunicação

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



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Satélites Geoestacionários

- Satélites de altas órbitas
  - Em órbita circular equatorial, ficam estacionários em relação à Terra
- Espaçamento de no mínimo 2° entre esses satélites
  - Evita interferência entre eles
  - Número máximo limitado de satélites em órbita ao mesmo tempo (180 se espaçamento de 2°)
  - Cada *transponder* usa várias frequências e polarizações ao mesmo tempo para aumentar a largura de banda

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Satélites Geoestacionários

- Bandas de comunicação são definidas pela ITU
  - Algumas frequências podem interferir nas comunicações via micro-ondas terrestres
  - Canais de comunicação são unidirecionais
    - *Uplink e downlink*

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Satélites Geoestacionários

- Bandas de comunicação são definidas pela ITU

Banda	Downlink	Uplink	Largura de banda	Problemas
L	1,5 GHz	1,6 GHz	15 MHz	Baixa largura de banda; lotada
S	1,9 GHz	2,2 GHz	70 MHz	Baixa largura de banda; lotada
C	4,0 GHz	6,0 GHz	500 MHz	Interferência terrestre
Ku	11 GHz	14 GHz	500 MHz	Chuva
Ka	20 GHz	30 GHz	3.500 MHz	Chuva; custo do equipamento

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Satélites Geoestacionários

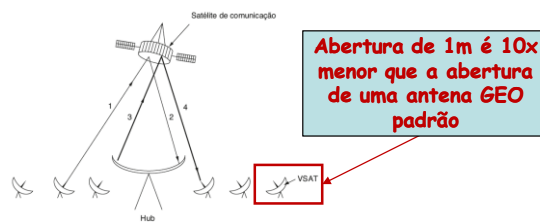
- VSATs (*Very Small Aperture Terminals*) com hub
  - Alternativa menos custosa para comunicações via satélite
    - Estações não tem energia suficiente para comunicação direta por satélite e por isso usam hubs intermediários

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Satélites Geoestacionários

- VSATs (*Very Small Aperture Terminals*) com hub



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UF RJ

Professor Miguel Campista

## Satélites Geoestacionários

- VSATs (*Very Small Aperture Terminals*) com hub
  - Problema: Atraso de propagação
    - Se o atraso típico de ida e volta das comunicações via satélite é de 270ms, mas com o hub, chega a 540ms...

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Satélites de Órbita Média

- Vistos da Terra, se deslocam em longitude
  - Demoram 6h para circular a Terra
  - Devem ser acompanhados enquanto se movem
- Área de cobertura menor que a dos GEOs
  - Exigem transmissores menos potentes para alcançá-los
- Não são usados para telecomunicações
  - Entretanto, são usados no sistema GPS (*Global Positioning System*)

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Satélites de Órbita Baixa

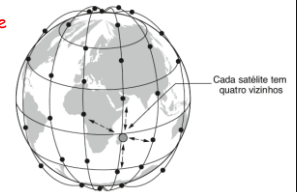
- Rápido movimento
  - Exigem mais satélites para cobertura completa
  - Podem desaparecer mais facilmente
- Em compensação...
  - Introduzem um menor atraso de ida e volta
  - Não exigem alta potência de transmissão
  - São mais baratos em termos de lançamento

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Satélites de Órbita Baixa

- Primeira iniciativa da Motorola
  - Projeto Iridium
    - 77 satélites formando seis cinturões em torno da Terra
    - 750 km de altitude
    - Caso um satélite saísse de vista, outro o substituiria

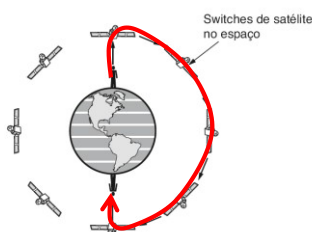


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Satélites de Órbita Baixa

- Satélites vizinhos se comunicam
  - Retransmissão no espaço

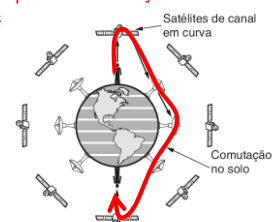


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Satélites de Órbita Baixa

- Retransmissão em terra
  - Alternativa da Globalstar
    - Mantém a tarefa mais complexa de comutação em terra para aumentar a facilidade de manutenção



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## 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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Por que Usar as Redes Sem Fio?

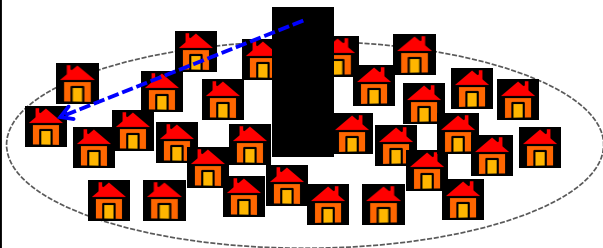
- **Transmissão sem-fio**
  - Cumpre demanda de ubiquidade de acesso
    - Usuários querem acesso "em qualquer lugar e a qualquer momento"
    - Par trançado, fibra, cabo coaxial não podem atender essa demanda
- **Ainda em comparação às redes cabeadas...**
  - Maior facilidade de instalação

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Rede Sem Fio Pode ser de Longa Distância?

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

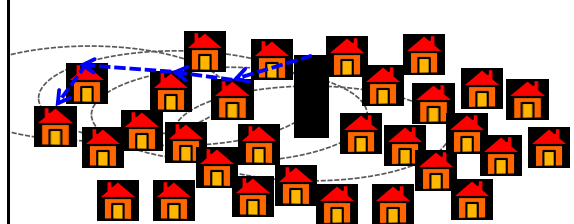


CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Rede Sem Fio Pode ser de Longa Distância?

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



CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista

## Leitura Recomendada

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

CPE710: Redes Móveis – Del-Poli/COPPE-PEE/UFRJ

Professor Miguel Campista