

---

# Radiotransmissão - Propagação

---

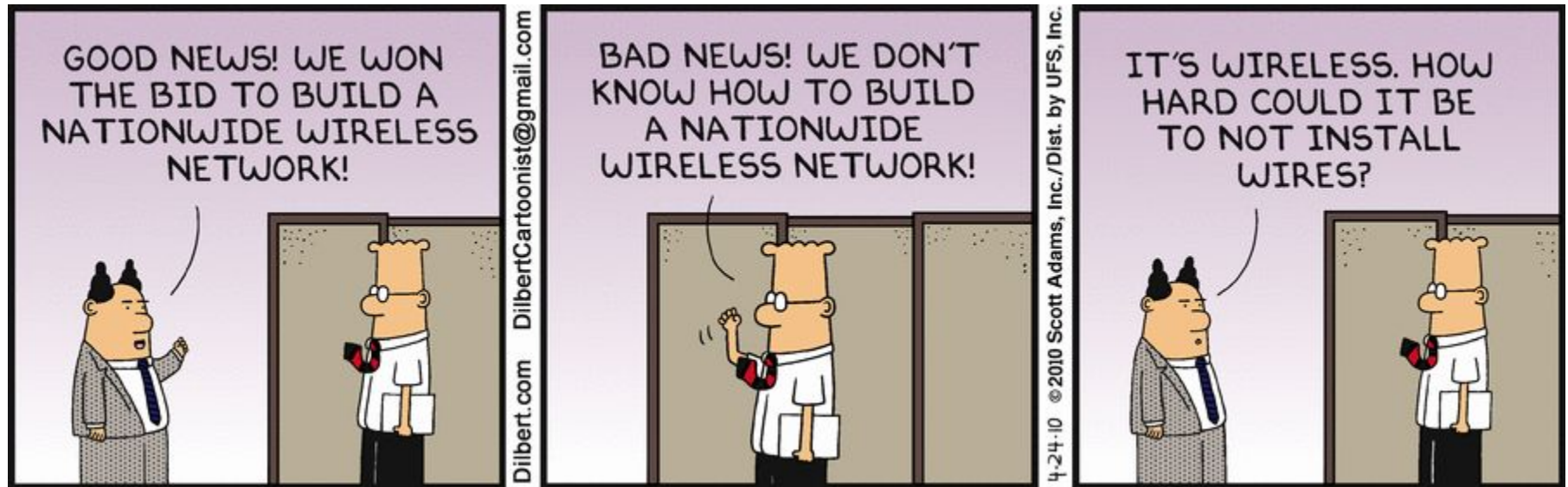
**Prof. Ana Negri**

ana.negri@ifsc.edu.br

## Introdução à Propagação

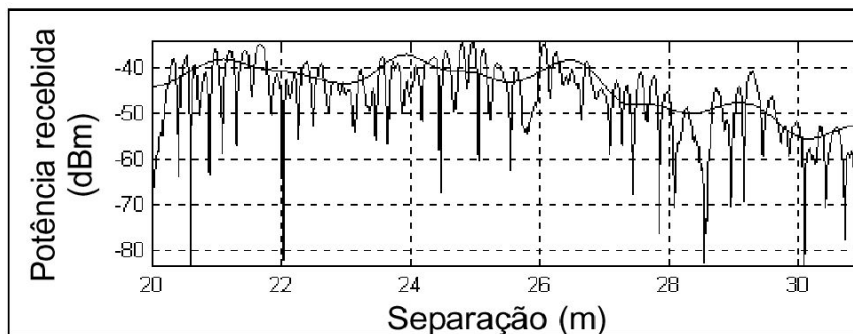
**Canal com fio:** Estacionário, portanto previsível

**Canal sem fio:** Aleatório, portanto modelagem complexa



## Introdução à Propagação

- Preveem a potência média do sinal numa distância de separação arbitrária entre transmissor e receptor (Perda de Percurso).
- Função da topologia (distância, altura, etc), da frequência de portadora, do tipo de ambiente (urbano, rural, etc), etc.
- Modelos exatos e empíricos
- Estes modelos são úteis para se estabelecer a zona de cobertura de um dado sistema de comunicação.
- Em um sistema de comunicação móvel há possibilidade de flutuações rápidas do sinal, dando origem ao *fading*.



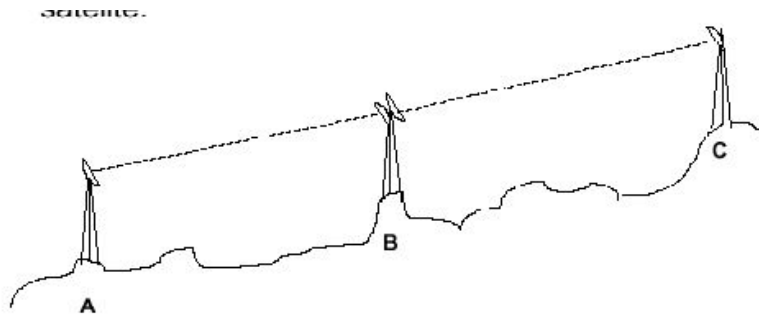
## Propagação no Espaço Livre

- Modelo utilizado para predição da potência média do sinal recebido quando não existe obstáculo algum entre a antena transmissora e receptora (nem o chão!)
- Exemplos:
  - Comunicações via Satélite
  - Enlaces de Microondas



## Propagação no Espaço Livre - Modelo de Friis

- É o modelo utilizado para prever o sinal recebido quando não há nenhum obstáculo entre o emissor e o receptor.
- É o caso quando há LVD (Linha de Visada Direta) entre emissor e receptor. Ex.: satélites e enlaces de microondas.



## Propagação no Espaço Livre - Modelo de Friis

- $P_r(d)$  é a potência recebida em função da distância;
- $P_t$  é a potência transmitida;
- $\lambda$  é o comprimento de onda do sinal;
- $d$  é a distância T-R (Transmissor-receptor);
- $G_t$  é o ganho do transmissor;
- $G_r$  é o ganho do receptor;
- $L$  representa as perdas.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f}$$

## Propagação no Espaço Livre - Modelo de Friis

- Perda de percurso

$$L(dB) = 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} \qquad \frac{P_r}{P_t} = \frac{(4\pi)^2 d^2 L}{G_t G_r \lambda^2}$$

$$L = 32,45 + 20 \log_{10}(d_{km}) + 20 \log_{10}(f_{MHz}) - G_t - G_r$$

## Propagação no Espaço Livre - Modelo de Friis

- Exemplo 1
- Dados:
  - Potência do transmissor = 50 W
  - Ganho das antenas =  $G_t = G_r = 1$  (Isotrópica)
  - Frequência da portadora  $f_c = 900\text{MHz}$
- Determinar:
  - Potência do transmissor em dBm e dBW
  - Potência recebida (dBm) para uma distância entre transmissor e receptor de 100m e 10km.



## Propagação no Espaço Livre - Modelo de Friis

- Exemplo 1
- Dados:
  - Potência do transmissor = 50 W
  - Ganho das antenas =  $G_t = G_r = 1$  (Isotrópica)
  - Frequência da portadora  $f_c = 900\text{MHz}$
- Determinar:
  - Potência do transmissor em dBm e dBW
    - Resp.: 47 dBm e 17 dBW
  - Potência recebida (dBm) para uma distância entre transmissor e receptor de 100m e 10km.
    - Resp.: -24,5 dBm e -64,5 dBm

## Mecanismos Básicos de Propagação

- Reflexão – Acontece quando a onda incide em uma superfície de dimensões bem maiores do que o seu comprimento de onda. Ocorre em edifícios, paredes
- Difração – Ocorre quando a onda é obstruída por pontas agudas, chamadas de gume de faca, este efeito causa um “curvamento” da onda, fazendo com que ela apareça em pontos fora da linha de visada.
- Espalhamento – Ocorre quando a onda encontra uma superfície cuja irregularidade é da ordem do comprimento de onda da onda incidente. Em meios de comunicação móvel tem-se folhagens, fios, etc.

## Reflexão

- Quando uma onda incide na superfície de separação de dois meios com propriedades eletromagnéticas diferentes, parte da onda é refletida para o próprio meio.
- Se os dois meios forem dielétricos perfeitos, não haverá perda de energia, e parte da onda será transmitida ao segundo meio.
- Se um deles for condutor perfeito, a onda será completamente refletida.
- O coeficiente de reflexão, depende das características eletromagnéticas dos meios, da polarização da onda eletromagnética incidente, do ângulo de incidência e da frequência da onda incidente.

## Reflexão

- Para dois meios com índices de refração iguais a  $n_1$  e  $n_2$ , as leis da reflexão e a lei de Snell da refração nos permitem escrever que:

$$\text{sen } \theta_i = \text{sen } \theta_r \quad \text{e} \quad n_1 \text{sen } \theta_i = n_2 \text{sen } \theta_T$$

- Onde  $i$  é o ângulo de incidência;  $r$  é o ângulo de reflexão e  $t$  é o ângulo de transmissão. Todos medidos em relação à normal à superfície de separação dos dois meios.

## Reflexão

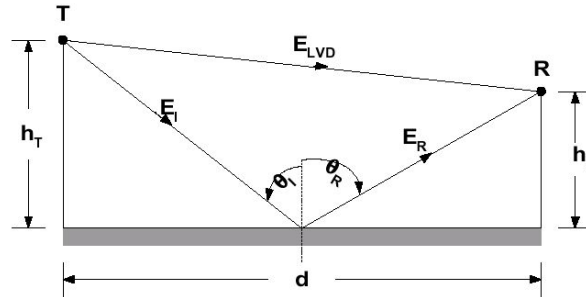
- Se o índice de refração do meio de incidência for maior do que o do meio de transmissão, existe um ângulo crítico, o qual, acima daquele ângulo, tem-se a reflexão total. Este ângulo limite é dado pela expressão:

$$\theta_c = \arcsen\left(\frac{n_{\text{transmissão}}}{n_{\text{incidência}}}\right)$$

- Quando o ângulo de incidência tende a  $90^\circ$ , o solo se torna um refletor perfeito.

## Propagação - Modelo de 2 raios

- Modelo de reflexão no solo



- O modelo de LVD dificilmente aplica-se em canais de rádio móveis. Neste caso, utiliza-se o modelo de reflexão no solo com dois raios.
- Nestes sistemas, dada a distância, podemos considerar a terra como plana.
- Para obter-se o campo na antena receptora, é importante que se tenha o módulo e a fase. Assim, podemos ter interferências construtivas ou destrutivas entre os raios em LVD e o refletido no solo.