



Universidade de Brasília
Departamento de Engenharia Elétrica
Comunicações Móveis
Professor: Higo Thaian Pereira da Silva
Data de entrega: 06 de Outubro de 2025

Leia as Instruções:

- As simulações computacionais devem ser desenvolvidas preferencialmente nas linguagens Matlab ou Python;
- As simulações devem ser implementadas de acordo com o conteúdo apresentado em sala de aula, seguindo os passos descritos nos slides;
- As simulações devem considerar a frequência da portadora em $f_c = 3 \text{ GHz}$ e $N = 100$ componentes de multipercurso;
- Os tipos de ambiente de propagação a serem estudados serão sorteados previamente em sala de aula;
- Os pontos apresentados a seguir devem ser respondidos com base nas simulações desenvolvidas;
- O aluno deve preparar um relatório técnico, descrevendo as simulações e explicando adequadamente os resultados obtidos;
- O aluno deve fornecer, por algum meio, o código das simulações. O professor não se responsabilizará por eventuais erros no código;
- Recomenda-se que o aluno disponibilize o código em um repositório no GitHub;
- O trabalho será avaliado com base no código, no relatório e na apresentação em sala de aula;
- Os produtos deste projeto devem ser entregues, impreterivelmente, até 06 de outubro, sem possibilidade de prorrogação do prazo.

1. (a) Siga os passos descritos na seção da modelagem do atraso multipercurso apresentados nos slides e gere o espalhamento de atraso do canal σ_τ e os termos de atraso τ_n .
(b) Quais são as distribuições de probabilidade que geralmente se aplicam na caracterização do espalhamento de atraso?
(c) Plote as curvas da média e do desvio padrão do espalhamento de atraso σ_τ como funções da frequência (entre 0,5 GHz e 100 GHz). Nesta figura, as estatísticas de σ_τ devem ser expressas em μs e a frequência em GHz.
(d) De acordo com os resultados do item (c), explique o motivo de a média de σ_τ diminuir com o aumento da frequência.
(e) Explique o significado físico do espalhamento de atraso σ_τ .

- (f) As componentes de atraso τ_n são geradas com base em que distribuição de probabilidade?
2. (a) Siga os passos da seção da modelagem da potência multipercurso apresentada nos slides e gere os termos de somreamento (ξ_n), de potência (α_n^2) e o fator de Rice do canal (K_R).
- (b) Como o modelo 3GPP 38.901 relaciona os termos de potência com os termos de atraso? Existe alguma correspondência física nessa relação?
- (c) Explique o significado físico do somreamento multipercurso.
- (d) O fator de Rice caracteriza qual relação entre grandezas do canal? Além disso, qual distribuição de probabilidade se aplica à modelagem do fator de Rice?
- (e) Considerando os valores gerados para α_n^2 , confira o fator de Rice a partir da expressão:

$$K_R = \frac{\alpha_1^2}{\sum_{n=2}^N \alpha_n^2} \quad (1)$$

em que α_1^2 deve representar a potência da componente de visada direta. Compare o valor calculado com o valor gerado anteriormente.

- (f) A partir dos dados de α_n^2 e τ_n , plote o perfil de atraso de potência do canal.
- (g) A partir dos dados de α_n^2 e τ_n , recalcule o espalhamento de atraso de acordo com sua definição:

$$\sigma_\tau = \sqrt{\frac{1}{\Omega_c} \sum_{n=1}^N \alpha_n^2 (\tau_n - \bar{\tau})^2}, \quad (2)$$

em que Ω_c é o ganho do canal e $\bar{\tau}$ é o atraso médio, expresso por

$$\bar{\tau} = \frac{1}{\Omega_c} \sum_{n=1}^N \tau_n \alpha_n^2. \quad (3)$$

3. (a) Siga os passos da seção da modelagem das componentes angulares apresentada nos slides e gere os termos ângulo de chegada em azimute (θ_n) e em elevação (ϕ_n).
- (b) Explique o significado físico dos espalhamentos angulares σ_θ e σ_ϕ . Quais distribuições de probabilidade geralmente se aplicam na modelagem desses parâmetros?

- (c) Plote os gráficos da dispersão da potência nos domínios dos ângulos de chegada.
 - (d) Com base nos ângulos θ_n e ϕ_n , gere os vetores de direção de chegada (\mathbf{r}_n) das componentes multipercurso. Plote uma visualização desses vetores.
4. (a) Considerando a metodologia apresentada em sala de aula, defina dois vetores velocidade, com velocidades escalares $v_{\text{rx}} = 5$ m/s e $v_{\text{rx}} = 50$ m/s para representar a mobilidade do receptor.
- (b) Com base nos vetores \mathbf{r}_n , calcule os termos de desvio Doppler ν_n do canal.
- (c) Plote os gráficos da dispersão da potência no domínio de desvio Doppler para os casos com $v_{\text{rx}} = 5$ m/s e $v_{\text{rx}} = 50$ m/s. Explique as diferenças observadas.
5. (a) Considerando a metodologia apresentada em sala de aula, gere um pulso retangular de amplitude unitária e largura δt para representar o sinal transmitido. Fixe o domínio do tempo no intervalo $t \in [0, 5 \times \delta t]$. Gere três pulsos diferentes com $\delta t \in \{10^{-7}, 10^{-5}, 10^{-3}\}$ s.
- (b) Determine o sinal recebido considerando a caracterização multipercurso gerada nos passos anteriores, considerando que o termo de fase é variante no tempo.
- (c) Plote os gráficos do sinal recebido para os três casos de sinal transmitido (considerando o mesmo canal). Explique as diferenças observadas.
6. (a) Determine a função de autocorrelação $\rho_{TT}(\kappa; \sigma)$ do canal.
- (b) Plote $\rho_{TT}(\kappa; 0)$ em função de κ (expresso em MHz) e determine a banda de coerência do canal para $\rho_B = 0.95$ e $\rho_B = 0.90$.
- (c) Plote $\rho_{TT}(0; \sigma)$ em função de σ (expresso em ms) e determine o tempo de coerência do canal para $\rho_T = 0.95$ e $\rho_T = 0.90$, considerando as velocidades $v_{\text{rx}} = 5$ m/s e $v_{\text{rx}} = 50$ m/s. Explique as diferenças observadas.