



UnB

Relatório do Projeto I de Comunicações Móveis

Modelagem de Canal 3GPP TR 38.901 (UMa NLoS @ 3 GHz)

Alcyone César Pereira Silva

6 de outubro de 2025

Sumário

1	Introdução	2
2	Orientações gerais	2
3	Modelo e parâmetros principais	2
4	Respostas aos questionamentos do trabalho	3
5	Resultados e discussões	5
5.1	Atraso multipercurso e PDP	5
5.2	Espalhamento de atraso vs. frequência	5
5.3	Direções de chegada (DoA)	6
5.4	Desvios Doppler	6
5.5	Pulsos transmitidos e sinal recebido (canal flat)	6
5.6	Autocorrelação temporal e tempo de coerência	6
5.7	Correlação em frequência e banda de coerência	6
6	Conclusões	6

1 Introdução

Este relatório sintetiza as simulações do *canal de comunicações sem fio* segundo o modelo 3GPP TR 38.901, cenário UMa NLoS, com frequência da portadora $f_c = 3$ GHz e $N = 100$ componentes multipercurso. As simulações foram implementadas em Python (arquivo `modelagem_de_canal_3GPP.py`) e geram automaticamente as figuras na pasta `C:\New_sharc\Graficos_Canal`. O arquivo em Python está disponível no GitHub, no seguinte link:

https://github.com/AlcyoneCesar/Com_Mov.git.

Observação:

Durante a execução desse trabalho, contei com o auxílio da inteligência artificial (ChatGPT) nos seguintes pontos:

Agilização da programação em Python;

Sugestões de adequação da formatação do relatório e da apresentação de slides; Sugestões de revisão nos textos originais de entrada.

Os resultados apresentados seguem o roteiro do projeto (atraso, potência, direções, Doppler, pulsos e correlações) e são comentados ao longo das seções.

2 Orientações gerais

Como executar. No VS Code ou terminal:

```
python modelagem_de_canal_3GPP.py
```

Saída. As figuras são salvas em `C:\New_sharc\Graficos_Canal`.

Reprodutibilidade. O gerador aleatório está fixado com `np.random.default_rng(42)`.

Versão do script: `SCRIPT_VERSION: 6`.

Convenções. Neste relatório usamos φ como **elevação** (coerente com a construção dos vetores de direção \mathbf{r}_n e do vetor de movimento $\hat{\mathbf{v}}$).

3 Modelo e parâmetros principais

Modelo 3GPP TR 38.901, cenário urbano macro (UMa), condição NLoS. A modelagem é não-geométrica estocástica. O espalhamento de atraso (RMS, σ_τ) foi calculado de acordo com os dados da Tabela 1 dos slides da aula, em escala logarítmica, e posteriormente convertido para linear, seguindo o modelo do 3GPP; os atrasos τ_n seguem exponencial, deslocados para iniciar em zero. O sombreamento multipercurso (em dB) é Gaussiano. O perfil de atraso de potência (PDP) é normalizado para soma unitária.

Definições usadas

$$\bar{\tau} = \frac{1}{\Omega_c} \sum_{n=1}^N P_n \tau_n, \quad (1)$$

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

$$\rho_T(\sigma) = \frac{1}{\Omega_c} \sum_{n=1}^N P_n e^{j2\pi f_{D,n} \sigma}, \quad \rho_B(\kappa) = \frac{1}{\Omega_c} \sum_{n=1}^N P_n e^{-j2\pi \kappa \tau_n}, \quad (3)$$

onde P_n é a potência normalizada (soma = 1) e $f_{D,n}$ os deslocamentos Doppler.

4 Respostas aos questionamentos do trabalho

Q1 — Espalhamento de atraso e estatísticas

(a) Definição e estimação. O espalhamento de atraso (RMS), denotado por σ_τ , mede a *largura efetiva* do perfil de atraso de potência (PDP). Com P_n normalizado (soma = 1) e atrasos τ_n , usamos

$$\bar{\tau} = \sum_n P_n \tau_n, \quad \sigma_\tau = \sqrt{\sum_n P_n (\tau_n - \bar{\tau})^2}.$$

No script, σ_τ é sorteado a partir de uma regressão do 3GPP (em escala \log_{10}) e depois *recalculado* a partir do PDP gerado, conferindo consistência (ver Fig. 1 e mensagem de log impressa no console).

(b) Distribuições associadas. Para larga escala, $\log_{10}(\sigma_\tau)$ segue *Gaussiana*, logo σ_τ é *lognormal* em escala linear. Para o conjunto de atrasos de *múltiplos caminhos* (curto prazo), é comum modelar τ_n com distribuição *exponencial* com média proporcional a σ_τ , enquanto flutuações de potência por caminho (em dB) seguem *Gaussiana* (sombreamento pequeno-escala).

(c) Curvas de média e desvio-padrão vs. frequência. A Fig. 2 mostra a variação da *média* de σ_τ (em μs) entre 0.5 GHz e 100 GHz, obtida da formulação do 3GPP. Observa-se a tendência de redução do espalhamento médio com o aumento de frequência, coerente com o modelo (cenário UMa NLoS).

Q2 — Geração dos parâmetros multipercurso (PDP)

A sequência seguida foi: (i) cálculo de σ_τ ; (ii) geração de $N = 100$ atrasos τ_n via exponencial e *deslocamento* para iniciar em 0; (iii) aplicação de sombreamento lognormal em dB; (iv) perfil P_n com decaimento exponencial e normalização para soma unitária. A Fig. 1 apresenta o *PDP vs. atraso*, com cauda exponencial típica e espalhamento coerente com o valor sorteado. O recálculo de σ_τ via $\{\tau_n, P_n\}$ coincide (a pequenas diferenças de amostragem) com o sorteio inicial.

Q3 — Direções de chegada (DoA)

As direções foram sintetizadas por azimute θ_n e elevação φ_n , gerando vetores unitários \mathbf{r}_n . A Fig. ??A mostra um gráfico tridimensional com as direções de chegada. Fig. 3 detalha: (i) um *leque polar* com as 100 barras de azimute (altura e cor $\propto P_n$), tornando visível a contribuição de cada chegada; (ii) a *elevação por caminho* (gráfico *stem*), onde todos os 100 componentes aparecem, mesmo com sobreposição parcial. O padrão angular é aleatório nesta realização.

Q4 — Desvios Doppler

Para velocidade v_{rx} e comprimento de onda λ_c , o desvio de cada caminho é $f_{D,n} = (v_{\text{rx}}/\lambda_c) \mathbf{r}_n \cdot \hat{\mathbf{v}}$, limitado por $|f_{D,n}| \leq f_{\text{max}} = v_{\text{rx}}/\lambda_c$. Com $v_{\text{rx}} = 10$ m/s e $f_c = 3$ GHz, temos $f_{\text{max}} \approx 100$ Hz. A massa de probabilidade concentra-se dentro de $\pm f_{\text{max}}$, variando conforme o espalhamento angular desta realização.

Q5 — Pulsos transmitidos e sinal recebido (canal flat)

No caso *narrowband*, o sinal recebido baseband é $r(t) = h(t)s(t)$, onde $h(t)$ agrega as rotações de fase Doppler ponderadas por $\sqrt{P_n}$. As figuras (a), (b) e (c) sobrepõem TX vs. RX para pulsos retangulares de larguras $\delta t \in \{10^{-3}, 10^{-5}, 10^{-7}\}$ s em janelas $[0, 5\delta t]$ (zoom), além do módulo $|h(t)|$ de referência. Observa-se que, dentro da janela do pulso, o módulo de $r(t)$ segue $|h(t)|$ (comportamento *flat*); fora da janela, $r(t) = 0$. Em δt muito pequenos, a janela é estreita, e o zoom adotado torna a comparação legível.

Q6 — Correlações e métricas de coerência (Bc, Tc)

A ACF temporal teórica do canal é (com P_n normalizado)

$$\rho_T(\sigma) = \sum_n P_n e^{j2\pi f_{D,n}\sigma},$$

enquanto a correlação em frequência (Fourier do PDP) é

$$\rho_B(\kappa) = \sum_n P_n e^{-j2\pi\kappa\tau_n}.$$

Banda de coerência. A Fig. 6 traz $|\rho_B(\kappa)|$ (eixo em MHz) e marca as bandas de coerência B_c para $\rho = \{0.95, 0.90\}$ no *primeiro cruzamento*. Os valores numéricos ficam indicados na legenda. Em termos de ordem de grandeza, regras de bolso como $B_c \approx 1/(5\sigma_\tau)$ (para correlação alta) ajudam a interpretar o resultado em função do espalhamento de atraso desta realização.

Tempo de coerência. A Fig. 5 mostra $|\rho_T(0; \sigma)|$ para $v_{\text{rx}} \in \{5, 50\}$ m/s (eixo em ms), com as linhas verticais para $\rho = \{0.95, 0.90\}$. **Os valores de T_c (para cada limiar e velocidade) já aparecem no título da figura.** Observa-se que T_c *diminui* quando a velocidade *aumenta*, pois $f_{\text{max}} = v_{\text{rx}}/\lambda_c$ cresce e a decorrelação temporal acelera. Para referência, uma aproximação clássica é $T_c \approx 0.423/f_{\text{max}}$ (ordem de grandeza).

Síntese. Os gráficos confirmam o comportamento esperado: (i) PDP com cauda exponencial e σ_τ consistente; (ii) dispersão angular visível em azimute e elevação; (iii) Doppler

limitado por f_{\max} ; (iv) no regime *flat*, $r(t)$ segue $h(t)$ dentro da janela do pulso; (v) B_c inversamente relacionado a σ_τ ; (vi) T_c inversamente relacionado a f_{\max} (logo, à velocidade).

5 Resultados e discussões

5.1 Atraso multipercurso e PDP

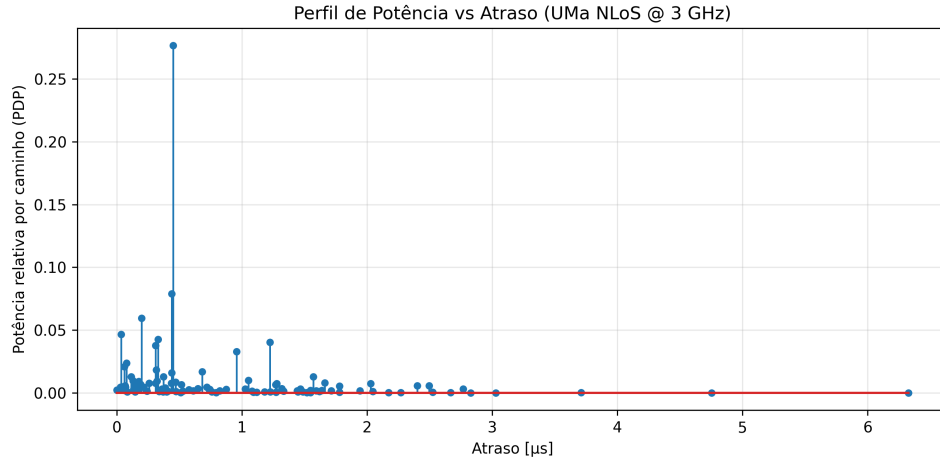


Figura 1: Perfil de potência vs. atraso (PDP).

5.2 Espalhamento de atraso vs. frequência

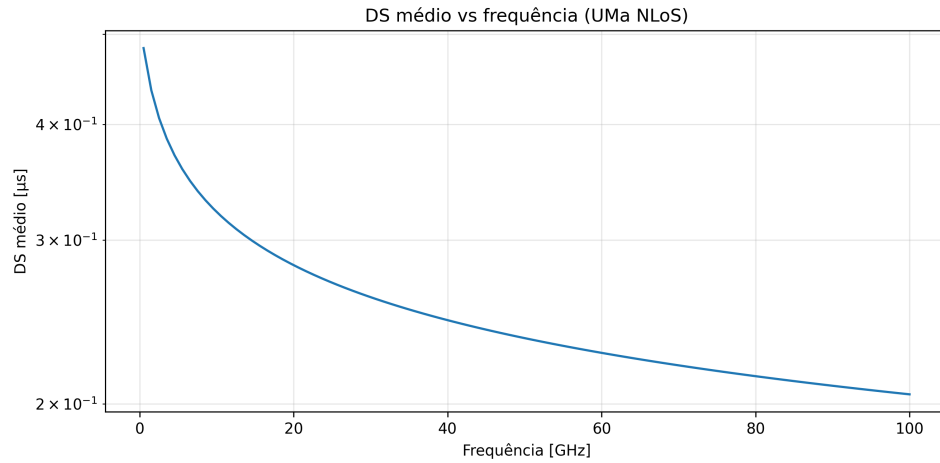


Figura 2: Média de σ_τ vs. frequência (em μs).

5.3 Direções de chegada (DoA)

5.4 Desvios Doppler

5.5 Pulsos transmitidos e sinal recebido (canal flat)

5.6 Autocorrelação temporal e tempo de coerência

ACF temporal teórica (ponderada por potência):

$$\rho_T(\sigma) = \sum_n P_n e^{j2\pi f_{D,n} \sigma}.$$

5.7 Correlação em frequência e banda de coerência

$$\rho_B(\kappa) = \sum_n P_n e^{-j2\pi \kappa \tau_n}. \quad (4)$$

6 Conclusões

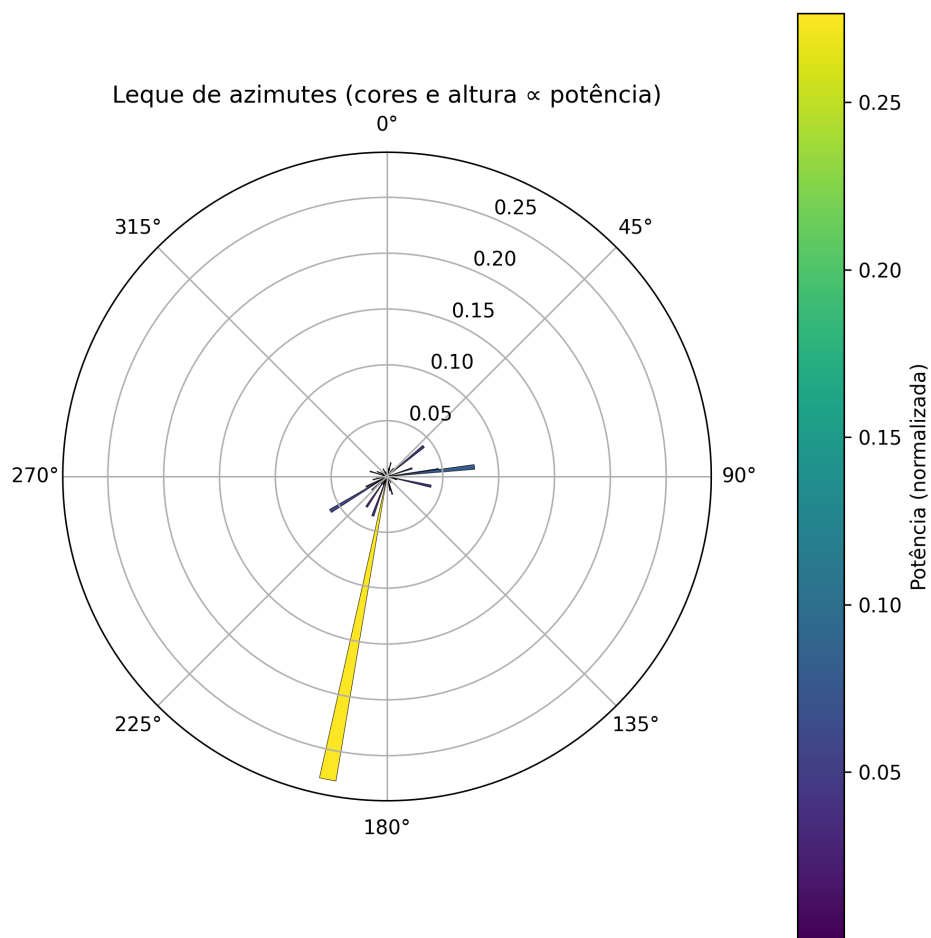
A simulação realizada demonstrou uma boa coerência com os resultados esperados, dado o cenário proposto, que foi UMa NLOS. Também como esperado, nenhuma componente multipercurso se destacou exageradamente em relação às outras, visto que não existia componente de visada direta, o que nos fez adotar o fator de Rice diretamente igual a zero. Tivemos um pouco de dificuldade para ajustar o zoom na parte que tratou dos sinais transmitidos e recebidos, pois as janelas de tempo que foram analisadas eram muito pequenas e o período do sinal ainda menor. Num próximo momento, seria interessante adaptar o código para que ele pudesse simular qualquer um dos cenários previstos na regulamentação do Modelo 3GPP TR 38.901. Infelizmente, para esse trabalho, não foi possível alcançar esse ponto.

Apêndice A — Parâmetros e anotações

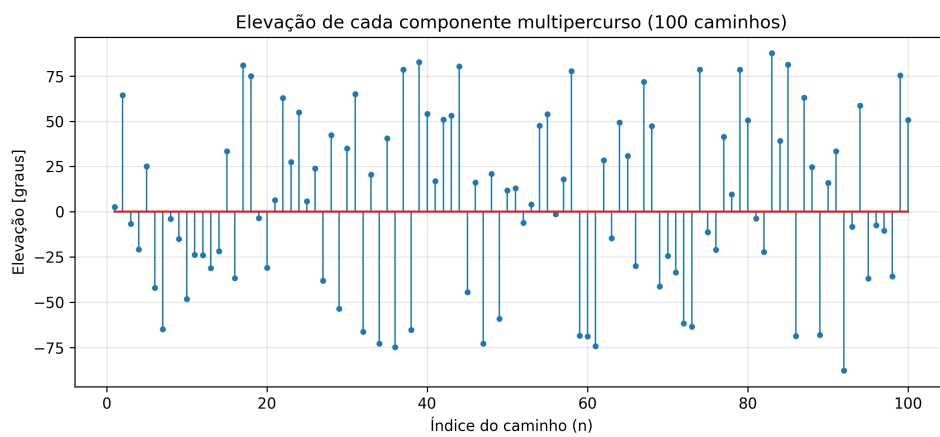
Tabela 1: Parâmetros usados (exemplo).

Parâmetro	Símbolo	Valor
Portadora	f_c	3 GHz
Componentes	N	100
Velocidades	v_{rx}	5 / 10 / 50 m/s

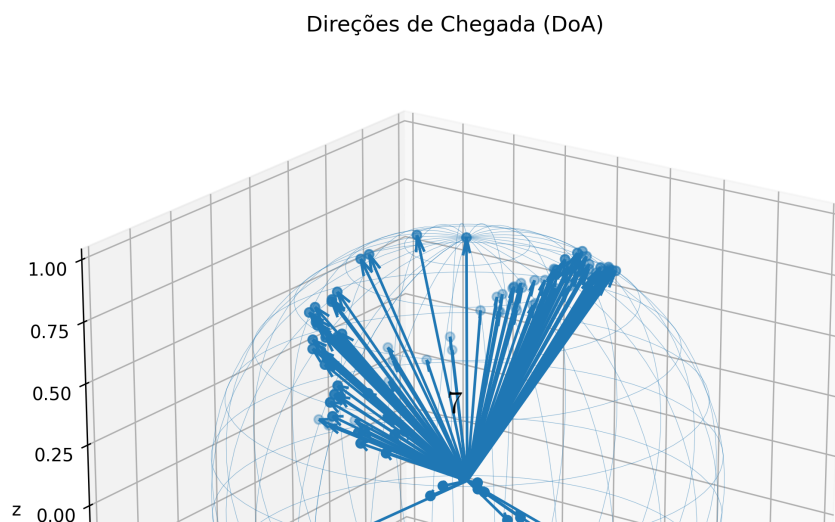
Modelo 3GPP TR 38.901 Notas de aula. ChatGPT (IA)

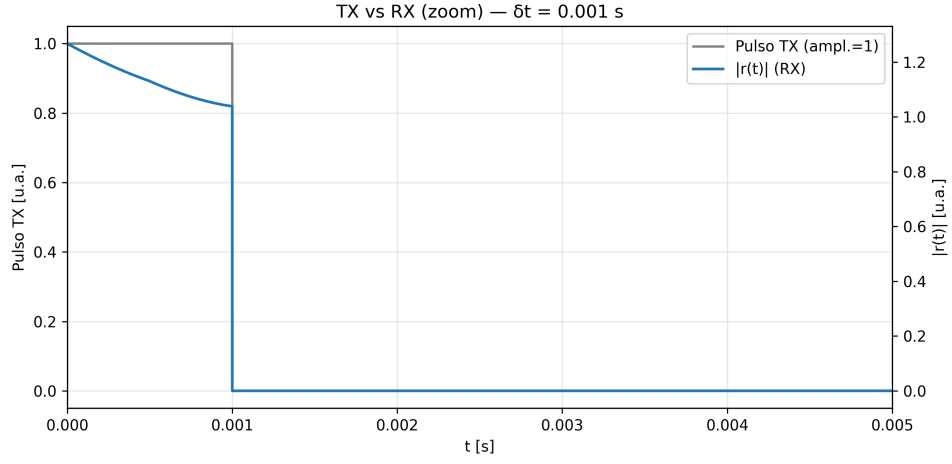


(a) Leque de azimutes (100 barras, cores $\propto P_n$).

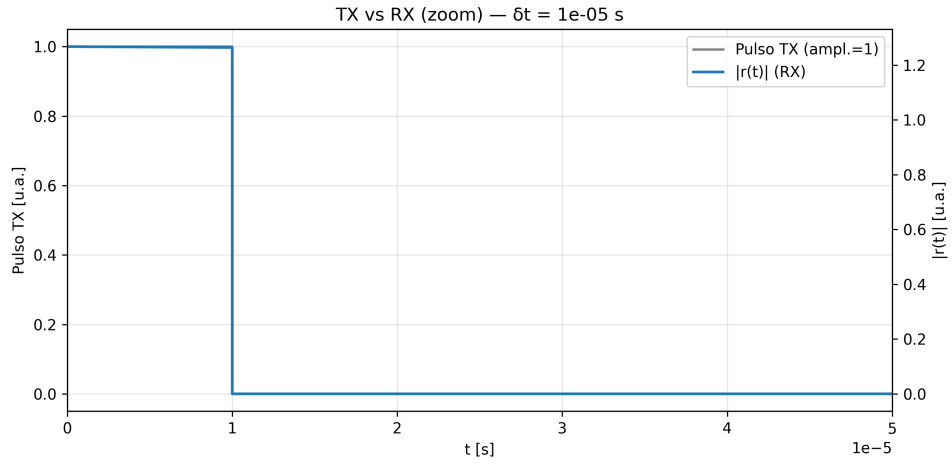


(b) Elevação por caminho (100 componentes).

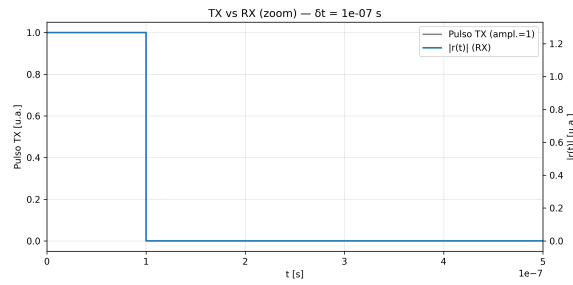




(a) $\delta t = 1 \times 10^{-3}$ s (zoom $[0, 5\delta t]$).



(b) $\delta t = 1 \times 10^{-5}$ s (zoom $[0, 5\delta t]$).



(c) $\delta t = 1 \times 10^{-7}$ s (zoom $[0, 5\delta t]$).

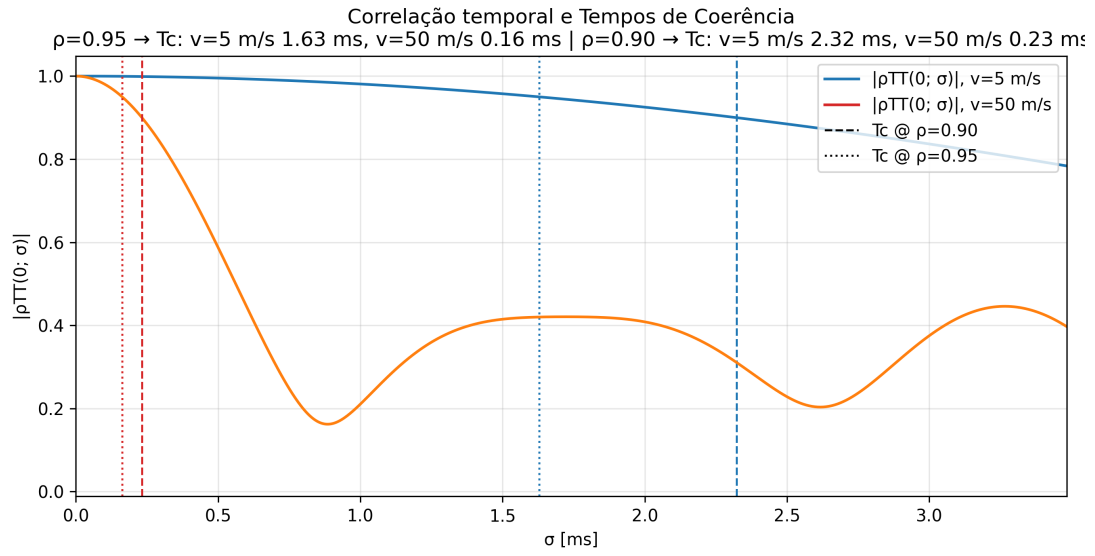


Figura 5: Correlação temporal $|\rho_T(0; \sigma)|$ e tempos de coerência (rótulo traz os valores de T_c para $\rho = \{0.95, 0.90\}$ em $v = \{5, 50\}$ m/s).

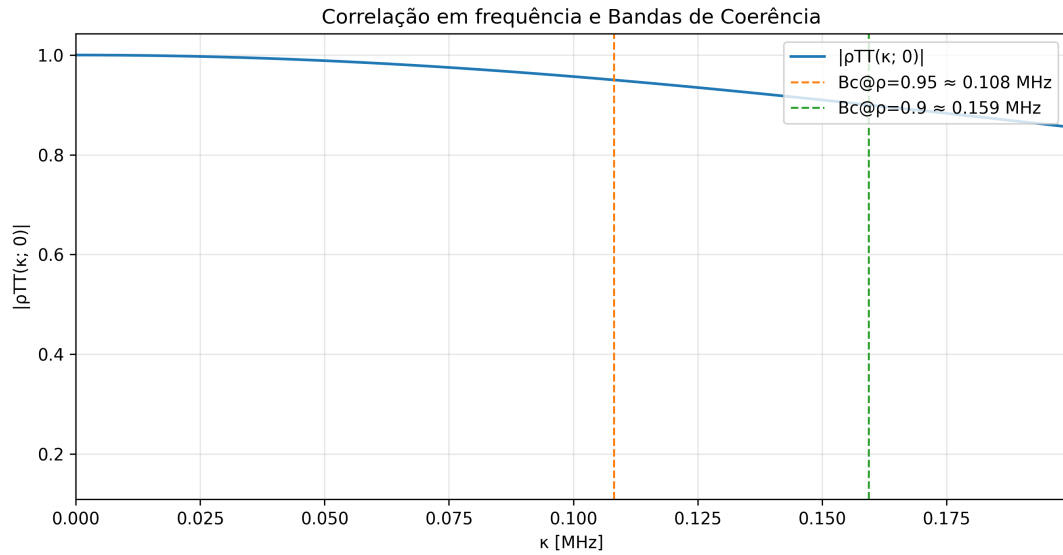


Figura 6: Correlação em frequência $|\rho_B(\kappa)|$ e bandas de coerência ($\rho = \{0.95, 0.90\}$).