

Redes de Computadores 2

Eduardo Müller

Trabalho Grau B

Descrição do Trabalho:

Objetivo:

Desenvolver e aplicar os conceitos de codificação de canal e modulação digital estudados na disciplina de Redes de Computadores, analisando seu impacto na taxa de erro de bits (BER) e na eficiência espectral de sistemas de comunicação. O trabalho visa proporcionar ao aluno uma compreensão prática do processo de transmissão digital, desde a geração do sinal até a recuperação da informação no receptor, em condições de ruído.

Metodologia:

O trabalho deve ser realizado individualmente e consistirá na implementação de um sistema completo de transmissão digital. O aluno deve desenvolver, simular e analisar a comunicação entre transmissor e receptor, considerando a codificação de canal, a modulação, o ruído, a demodulação e a decodificação. A implementação pode ser feita em qualquer linguagem de programação.

Definição:

O aluno deve implementar e avaliar um sistema de comunicação digital que inclua:

- Gerar uma mensagem em ASCII e convertê-la em dados binários.
- Codificar de canal, por exemplo: AMI bipolar, Manchester, bifase etc.
- Escolher pelo menos duas técnicas de modulação digital, por exemplo, BPSK, QPSK, 8-PSK ou QAM.
- Adicionar ruído ao canal, por exemplo, AWGN ou em rajada.
- Demodular e decodificar os dados recebidos.
- Calcular a BER e comparar o desempenho entre os esquemas implementados.

O sistema deve gerar gráficos que representem o comportamento da BER em função da SNR (em dB), permitindo a análise dos resultados obtidos e a comparação entre as modulações e os esquemas de codificação utilizados.

Execução do Trabalho:

Trabalho realizado em Python, utilizando o Google Colab. Foi disponibilizado no GitHub a versão em .ipynb e em .py.

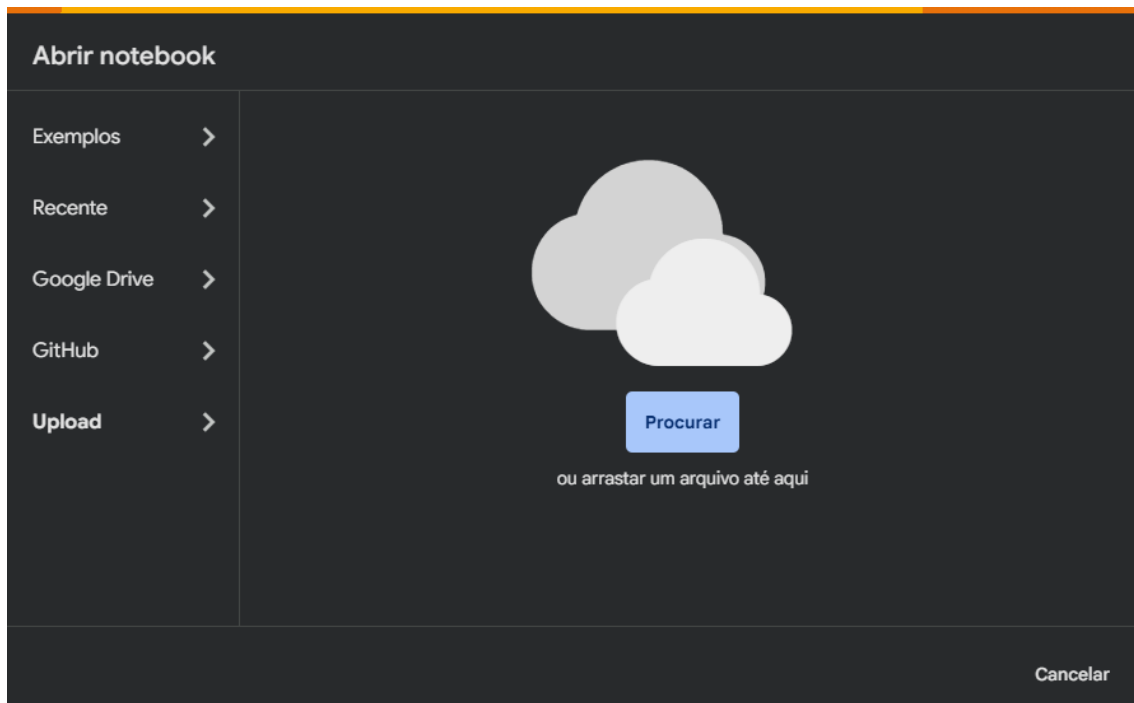
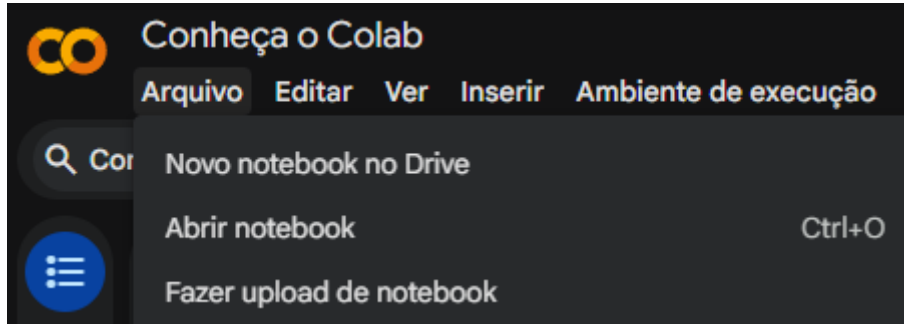
Versão .ipynb: Ideal para visualizar todas as células do trabalho (código, textos gráficos, etc.). Deve ser utilizada no Google Colab.

Versão .py: Somente o código fonte, sem todas as células extras.

É recomendado que baixe a versão .ipynb e a abra diretamente no Google Colab, facilitando a visualização do trabalho.

Passo a Passo:

1. Acesse o Colab: <https://colab.research.google.com/>
2. Faça o login
3. Clique em 'Arquivo' e em 'Fazer upload de notebook'
4. Selecione o arquivo .ipynb baixado



Após abrir o arquivo, já será possível visualizar todas as células do trabalho, incluindo código, textos, gráficos, etc. Caso os gráficos não estejam visíveis, execute todas as células de código, em ordem, de cima para baixo.

Abaixo segue uma sequência de imagens que mostram o arquivo no Google Colab:

▼ Resumo

1. Geração e Codificação

- Recebe uma String
- Converte para ASCII e depois para binário
- Implementa a codificação Manchester

2. Modulação e Demodulação

- Implementa Modulação e Demodulação BPSK
- Implementa Modulação e Demodulação QPSK

3. Canal AWGN

- Implementa AWGN (Ruído Branco)

4. Decodificação Manchester e Reconversão

- Implementa a decodificação Manchester
- Converte de volta para String

5. Métricas

- Calcula a Taxa de Erro de Bits (BER)

6. Simulação Principal

- Recebe os parâmetros utilizados (mensagem, valores de SNR e valor gerador de ruído)
- Chama as funções dos itens 1 a 5
- Armazena BERs em vetores

7. Plot dos Resultados

- Gera o gráfico BER x SNR
- Compara as modulações (BPSK e QPSK)

Testes

8. Execução Direta

- Define a mensagem que será testada
- Define os valores de SNR
- Executa a simulação
- Executa a geração do gráfico

Código

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# -----
# 1) Geração e codificação
# -----

# Converte a mensagem para binário, armazena em um vetor e o retorna
def generate_message(text):
    bits = ''.join(format(ord(c), '08b') for c in text)
    return np.array([int(b) for b in bits], dtype=int)

# Implementa codificação Manchester
# Cria um vetor com o dobro do tamanho do original
# Nos índices pares copia o bit
# Nos índices ímpares coloca o valor inverso
def encode_manchester(bits):
    # Exemplo: bit 1 -> [1,0], bit 0 -> [0,1]
    encoded = np.zeros(len(bits)*2, dtype=int)
    encoded[0::2] = bits
    encoded[1::2] = 1 - bits
    return encoded
```

```

# -----
# 2) Modulação e Demodulação
# -----

# Implementa Modulação BPSK
# Bit 0 -> -1
# Bit 1 -> +1
def modulate_bpsk(bits):
    return 2*bits - 1

# Implementa Demodulação BPSK
# Usa a parte real do sinal recebido
# Valor positivo -> 1
# Valor negativo -> 0
def demodulate_bpsk(signal):
    return (np.real(signal) > 0).astype(int)

# Implementa Modulação QPSK
# Agrupa os bits em pares
# Usa mapeamento Gray para minimizar erros
def modulate_qpsk(bits):
    n = len(bits)//2*2
    bits = bits[:n]
    s = 1/np.sqrt(2)
    mapping = {
        (0,0): s*(1+1j),
        (0,1): s*(-1+1j),
        (1,1): s*(-1-1j),
        (1,0): s*(1-1j)
    }
    symbols = np.array([mapping[(bits[i], bits[i+1])] for i in range(0, n, 2)])
    return symbols

# Implementa Demodulação QPSK
# Para cada símbolo recebido:
#   - Calcula a distância para todos os pontos da constelação
#   - Escolhe o mais próximo
#   - Devolve os bits correspondentes
def demodulate_qpsk(symbols):
    s = 1/np.sqrt(2)
    mapping = {
        (0,0): s*(1+1j),
        (0,1): s*(-1+1j),
        (1,1): s*(-1-1j),
        (1,0): s*(1-1j)
    }
    points = np.array(list(mapping.values()))
    bit_pairs = list(mapping.keys())
    bits_out = []
    for sym in symbols:
        d = np.abs(sym - points)
        idx = np.argmin(d)
        b0, b1 = bit_pairs[idx]
        bits_out.extend([b0, b1])
    return np.array(bits_out, dtype=int)

```

```

# -----
# 3) Canal AWGN (Ruído Branco)
# -----

# Converte SNR(dB) para SNR linear
# Mede a potência média do sinal
# Calcula a potência de ruído correspondente
# Gera o ruído gaussiano
# Soma o ruído ao sinal
def awgn(signal, snr_db):
    snr_linear = 10**(snr_db/10)
    power_signal = np.mean(np.abs(signal)**2)
    noise_power = power_signal / snr_linear
    noise = np.sqrt(noise_power/2) * (np.random.randn(*signal.shape) + 1j*np.random.randn(*signal.shape))
    if np.isrealobj(signal):
        return signal + np.real(noise)
    else:
        return signal + noise

```

```

# -----
# 4) Decodificação Manchester e Reconversão
# -----

# Implementa decodificação Manchester
# Divide o vetor em pares
# [0, 1] -> 0 e [1, 0] -> 1
# Detecta erros causados por ruído
# Retorna um vetor contendo os bits originais (ou -1 quando houver erro) e a quantidade de pares inválidos
def decode_manchester(encoded):
    n_pairs = len(encoded)//2
    decoded = np.zeros(n_pairs, dtype=int)
    invalid = 0
    for i in range(n_pairs):
        a = encoded[2*i]
        b = encoded[2*i + 1]
        if a == 0 and b == 1:
            decoded[i] = 0
        elif a == 1 and b == 0:
            decoded[i] = 1
        else:
            decoded[i] = -1
            invalid += 1
    return decoded, invalid

# Converte o vetor de bits para ASCII e depois para a palavra original
# Ignora os bits inválidos
# Se a quantidade de bits válidos não for múltipla de 8, descarta os bits restantes
def bits_to_text(bits):
    valid_bits = bits[bits != -1]
    if len(valid_bits) < 8:
        return ""
    n = len(valid_bits) - (len(valid_bits) % 8)
    valid_bits = valid_bits[:n]
    chars = []
    for i in range(0, len(valid_bits), 8):
        byte = valid_bits[i:i+8]
        val = int("".join(str(int(b)) for b in byte), 2)
        chars.append(chr(val))
    return "".join(chars)

# -----
# 5) Métricas
# -----

# Compara bit a bit
# Conta os erros
# Divide pelo número total de bits
def calculate_ber(bits_tx, bits_rx):
    n = min(len(bits_tx), len(bits_rx))
    if n == 0:
        return 0.0
    errors = np.sum(bits_tx[:n] != bits_rx[:n])
    return errors / n

```

```

# -----
# 6) Simulação principal
# -----

# Gera o valor do ruído
# Converte a mensagem em bits
# Codifica Manchester
# Para cada valor de SNR utilizando BPSK e QPSK:
# Modula
# Adiciona o Ruído Branco
# Demodula
# Calcula o BER
# Armazena os valores de BER em vetores
# Decodifica Manchester nos sinais demodulados do último SNR
# Converte os bits recuperados para texto
# Imprime:
# Quantidade de pares Manchester inválidos
# Mensagem decodificada por BPSK e QPSK
# Retorna os vetores de BER
# Para informações sobre cada valor BER x SNR, alterar 'verbose' para 'True'
def simulate_system(message, snr_values, seed=None, verbose=False):
    if seed is not None:
        np.random.seed(seed)

    bits = generate_message(message)
    encoded = encode_manchester(bits)

    ber_bpsk = []
    ber_qpsk = []

    noisy_bpsk = None
    noisy_qpsk = None
    demod_bpsk = None
    demod_qpsk = None

    for snr in snr_values:
        # BPSK
        mod_bpsk = modulate_bpsk(encoded)
        noisy_bpsk = awgn(mod_bpsk, snr)
        demod_bpsk = demodulate_bpsk(noisy_bpsk)
        ber_bpsk.append(calculate_ber(encoded, demod_bpsk))

        # QPSK
        mod_qpsk = modulate_qpsk(encoded)
        noisy_qpsk = awgn(mod_qpsk, snr)
        demod_qpsk = demodulate_qpsk(noisy_qpsk)
        ber_qpsk.append(calculate_ber(encoded[:len(demod_qpsk)], demod_qpsk))

    if verbose:
        print(f"SNR={snr:2d} dB: BER_BPSK={ber_bpsk[-1]:.6f}, BER_QPSK={ber_qpsk[-1]:.6f}")

    # -----
    # Decodificação Manchester e Impressão da Mensagem
    # -----
    if noisy_bpsk is not None and noisy_qpsk is not None:
        demod_bpsk_full = demodulate_bpsk(noisy_bpsk)
        decoded_bpsk, invalid_bpsk = decode_manchester(demod_bpsk_full)
        msg_bpsk = bits_to_text(decoded_bpsk)

        demod_qpsk_full = demodulate_qpsk(noisy_qpsk)
        decoded_qpsk, invalid_qpsk = decode_manchester(demod_qpsk_full)
        msg_qpsk = bits_to_text(decoded_qpsk)

        print("\n----- Decodificação da Mensagem -----")
        print(f"Quantidade de pares Manchester inválidos encontrados: BPSK={invalid_bpsk}, QPSK={invalid_qpsk}")
        print(f"Mensagem decodificada (BPSK):", msg_bpsk)
        print(f"Mensagem decodificada (QPSK):", msg_qpsk)
    else:
        print("Nenhum sinal ruidoso disponível para decodificação.")

    return ber_bpsk, ber_qpsk

```

```

# -----
# 7) Plot dos Resultados
# -----

# Gera o gráfico BER x SNR
# Compara BPSK e QPSK
# Printa o gráfico na tela
def plot_results(snr_values, ber_bpsk, ber_qpsk, outpath="ber_comparison.png"):
    plt.figure(figsize=(8,6))
    plt.semilogy(snr_values, ber_bpsk, 'o-', label='BPSK')
    plt.semilogy(snr_values, ber_qpsk, 's-', label='QPSK')
    plt.xlabel("SNR (dB)")
    plt.ylabel("BER")
    plt.title("Comparação de Desempenho - BPSK vs QPSK")
    plt.grid(True, which='both', linestyle='--', alpha=0.6)
    plt.legend()
    plt.tight_layout()
    plt.savefig(outpath)
    plt.show()

```

Testes

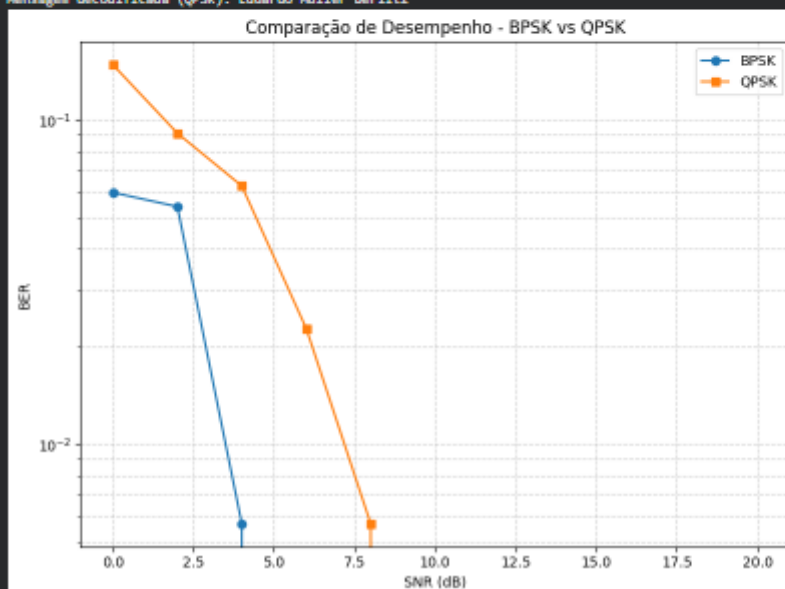
Teste 1

Parâmetros utilizados:

- Mensagem: Eduardo Muller Berlitz
- Valores SNR (SNR inicial, SNR final + 1, Intervalo entre valores): (0, 21, 2)
- Valor gerador de ruído: 42

```
# -----  
# 8) Execução direta  
# -----  
  
# Define a mensagem de teste  
# Define os valores de SNR (SNR inicial, SNR final + 1, Intervalo entre valores analisados)  
# Executa a simulação  
# Gera o gráfico  
if __name__ == "__main__":  
    message = "Eduardo Muller Berlitz"  
    snr_db_values = np.arange(0, 21, 2)  
    ber_bpsk, ber_qpsk = simulate_system(message, snr_db_values, seed=42)  
    plot_results(snr_db_values, ber_bpsk, ber_qpsk)
```

```
====  
----- Decodificação da Mensagem -----  
Quantidade de pares Manchester inválidos encontrados: BPSK=0, QPSK=0  
Mensagem decodificada (BPSK): Eduardo Muller Berlitz  
Mensagem decodificada (QPSK): Eduardo Muller Berlitz
```



Teste 2

Parâmetros utilizados:

- Mensagem: abcdefghijklmnopqrstuvwxyz0123456789ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ0123456789
- Valores SNR (SNR inicial, SNR final + 1, intervalo entre valores): (0, 21, 2)
- Valor gerador de ruído: 42

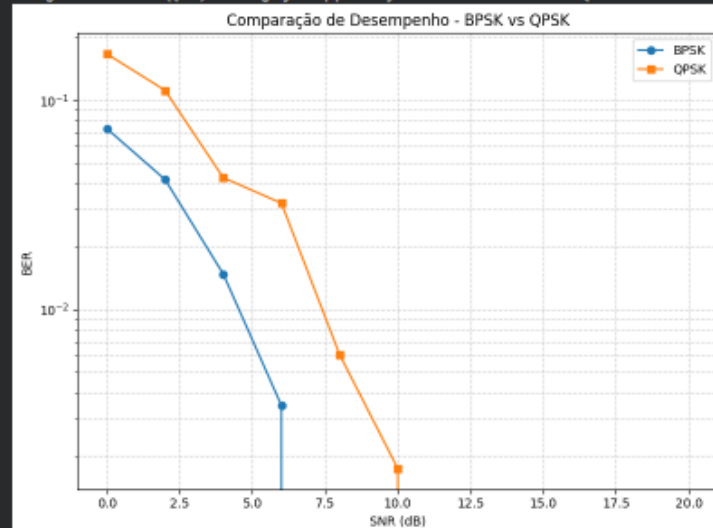
```
if __name__ == "__main__":  
    message = "abcdefghijklmnopqrstuvwxyz0123456789ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ0123456789"  
    snr_db_values = np.arange(0, 21, 2)  
    ber_bpsk, ber_qpsk = simulate_system(message, snr_db_values, seed=42)  
    plot_results(snr_db_values, ber_bpsk, ber_qpsk)
```

----- Decodificação da Mensagem -----

Quantidade de pares Manchester inválidos encontrados: BPSK=0, QPSK=0

Mensagem decodificada (BPSK): abcdefghijklmnopqrstuvwxyz0123456789ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ0123456789

Mensagem decodificada (QPSK): abcdefghijklmnopqrstuvwxyz0123456789ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ0123456789



Teste 3

Parâmetros utilizados:

- Mensagem: O trabalho deve ser realizado individualmente e consistirá na implementação de um sistema completo de transmissão digital.
- Valores SNR (SNR inicial, SNR final + 1, intervalo entre valores): (0, 21, 2)
- Valor gerador de ruído: 42

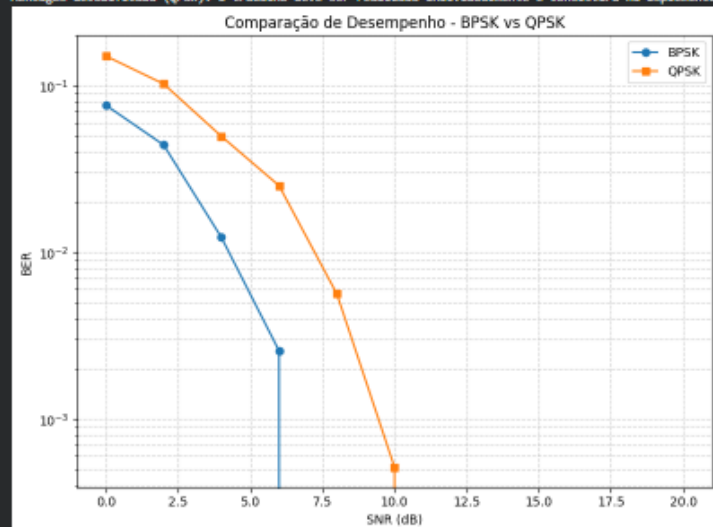
```
if __name__ == "__main__":  
    message = "O trabalho deve ser realizado individualmente e consistirá na implementação de um sistema completo de transmissão digital."  
    snr_db_values = np.arange(0, 21, 2)  
    ber_bpsk, ber_qpsk = simulate_system(message, snr_db_values, seed=42)  
    plot_results(snr_db_values, ber_bpsk, ber_qpsk)
```

----- Decodificação da Mensagem -----

Quantidade de pares Manchester inválidos encontrados: BPSK=0, QPSK=0

Mensagem decodificada (BPSK): O trabalho deve ser realizado individualmente e consistirá na implementação de um sistema completo de transmissão digital.

Mensagem decodificada (QPSK): O trabalho deve ser realizado individualmente e consistirá na implementação de um sistema completo de transmissão digital.



Teste 4

Parâmetros utilizados:

- Mensagem: Desenvolver e aplicar os conceitos de codificação de canal e modulação digital estudados na disciplina de Redes de Computadores analisando seu impacto na taxa de erro de bits (BER) e na eficiência espectral de sistemas de comunicação.
- Valores SNR (SNR inicial, SNR final + 1, Intervalo entre valores): (0, 21, 2)
- Valor gerador de ruído: 42

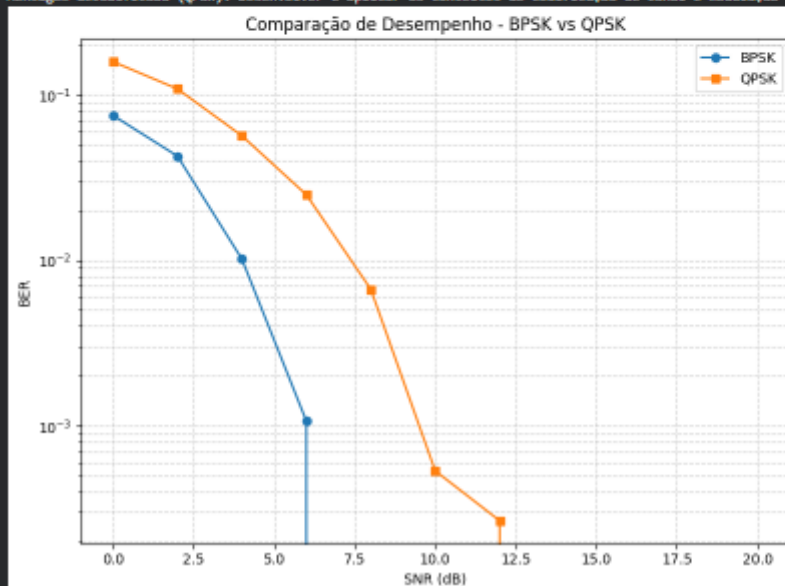
```
if __name__ == "__main__":  
    message = "Desenvolver e aplicar os conceitos de codificação de canal e modulação digital estudados na disciplina de Red  
    snr_db_values = np.arange(0, 21, 2)  
    ber_bpsk, ber_qpsk = simulate_system(message, snr_db_values, seed=42)  
    plot_results(snr_db_values, ber_bpsk, ber_qpsk)
```

----- Decodificação da Mensagem -----

Quantidade de pares Manchester inválidos encontrados: BPSK=0, QPSK=0

Mensagem decodificada (BPSK): Desenvolver e aplicar os conceitos de codificação de canal e modulação digital estudados na dis

Mensagem decodificada (QPSK): Desenvolver e aplicar os conceitos de codificação de canal e modulação digital estudados na dis



Análise dos Testes:

- Para o mesmo SNR, BPSK (azul) apresenta BER menor que QPSK (laranja).
- QPSK oferece maior eficiência espectral (2 bits por símbolo contra 1 bit por símbolo do BPSK), mas é mais sensível ao ruído.
- Para obter o mesmo BER, QPSK precisa de 2 a 6 dB a mais de SNR.
- No Teste 1, por serem poucos bits transmitidos (mensagem curta), a estimativa da Taxa de Erro de Bits (BER) pode não corresponder a realidade, sendo somente 'sorte' que nenhum bit foi corrompido, sendo um teste pouco representativo. Para os seguintes testes, foram utilizadas mensagens mais longas, deixando a estimativa de BER mais confiável.