

5

Comparação dos sistemas CDMA versus CS-CDMA combinados com as técnicas de transmissão em blocos.

Neste capítulo, serão comparados os resultados numéricos para os sistemas CDMA e CS-CDMA combinados com as técnicas de transmissão em blocos, SC (Single Carrier) e OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) obtidos nos capítulos 3 e 4, respectivamente. A Seção 5.1 apresenta condições para uma comparação justa entre os sistemas. A Seção 5.2 apresenta comparações dos desempenhos, BER versus E_b/N_0 e as curvas de desempenho, BER versus aumento da carga, para os sistemas SC CDMA e SC CS-CDMA com faixa de guarda CP. A Seção 5.3 apresenta estas comparações para o caso de faixa de guarda ZP. A Seção 5.4 apresenta comparações dos desempenhos, BER versus E_b/N_0 e as curvas de desempenho, BER versus aumento da carga, para os sistemas MC CDMA e MC CS-CDMA com faixa de guarda CP, enquanto a Seção 5.5 apresenta estas comparações para o caso de faixa de guarda ZP.

5.1

Condições para a comparação

Nas comparações de desempenho considerou-se que os dois sistemas ocupam a mesma banda de transmissão e, portanto o intervalo de tempo associado a um chip do bloco $\mathbf{c}_k$ no CDMA (Figura 3.2) é igual ao intervalo de tempo associado a um símbolo do bloco $\mathbf{b}_k$ do CS-CDMA (Figura 4.1). Considera-se também que os sistemas têm o mesmo *throughput* η , definido aqui como sendo a razão entre o tempo necessário para a transmissão de um dado bloco e o tempo necessário para a transmissão deste bloco acrescido da faixa de guarda. Tem-se, portanto, para o sistema CDMA que

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{L}{T}}, \quad (5-1)$$

e para o caso CS-CDMA, tem-se

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{L}{N}}, \quad (5-2)$$

onde L é o tamanho da faixa de guarda, T é o comprimento do código $\mathbf{c}_k$ e N é o tamanho do bloco de informação $\mathbf{b}_k$. Assim, para que os sistemas tenham igual *throughput*, supôs-se que o sistema CS-CDMA opera com $N=T=16$.

5.2

SC CDMA versus SC CS-CDMA com faixa de guarda CP

Esta seção compara o desempenho das técnicas CDMA e CS-CDMA combinadas com a técnica SC com faixa de guarda CP, obtidos nos capítulos 3 e 4, respectivamente. A Figura 5.1 apresenta as curvas da taxa de erro de bit versus E_b/N_0 para os dois sistemas, SC CDMA e SC CS-CDMA, obtidas com equalizadores ZF e MMSE e 8 usuários ativos no sistema. Percebe-se a diferença pronunciada dos desempenhos resultantes dos dois tipos de equalizadores para ambas técnicas. Ressalte-se que nos sistemas SC CS-CDMA, diferentemente do sistemas SC CDMA, há uma perfeita eliminação da IMA, e portanto as curvas de desempenho não variam com o número de usuários no sistema (até um número máximo de $K=16$ usuários). As curvas indicam, no caso de equalização MMSE, que com uma carga apenas moderada ($K/T = 1/2$) o sistema SC CDMA apresenta um desempenho significativamente inferior as SC CS-CDMA. No caso ZF, o sistema SC CDMA é ligeiramente superior e somente para valores baixos da razão sinal-ruído. A Figura 5.2 compara o comportamento do desempenho dos sistemas com o aumento da carga do sistema para um valor de $E_b/N_0 = 10dB$. No caso da técnica SC CS-CDMA o desempenho manteve-se constante, enquanto o sistema SC CDMA sofre uma degradação pronunciada devido ao aumento da IMA. Destaca-se a superioridade do SC CS-CDMA para qualquer valor da carga K/T do sistema no caso de equalização MMSE, enquanto que no ZF o SC CDMA apresenta superioridade apenas para valores relativamente baixos da carga (menor ou igual a 25 %).

5.3

SC CDMA versus SC CS-CDMA com faixa de guarda ZP

A Figura 5.3 compara as curvas da taxa de erro de bit versus E_b/N_0 para os sistemas SC CDMA e SC CS-CDMA com faixa de guarda ZP e para

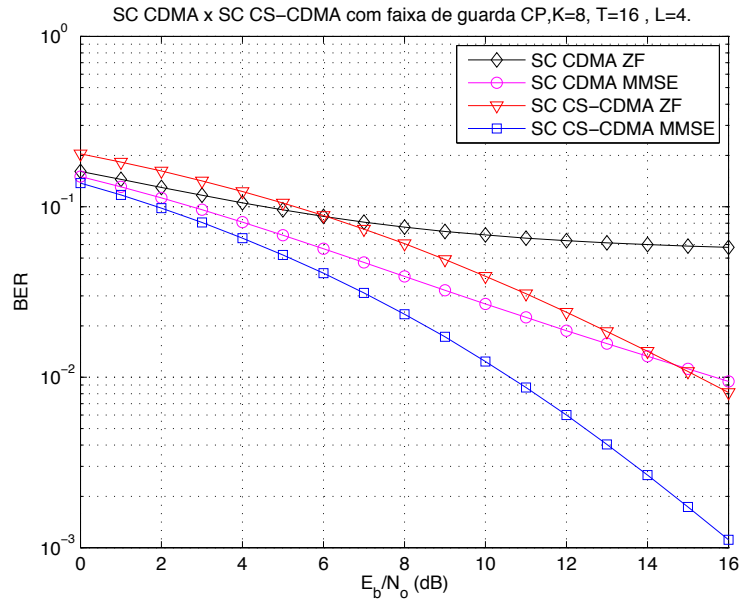


Figura 5.1: BER versus E_b/N_0 para o sistema SC CDMA versus SC CS-CDMA com faixa de guarda CP.

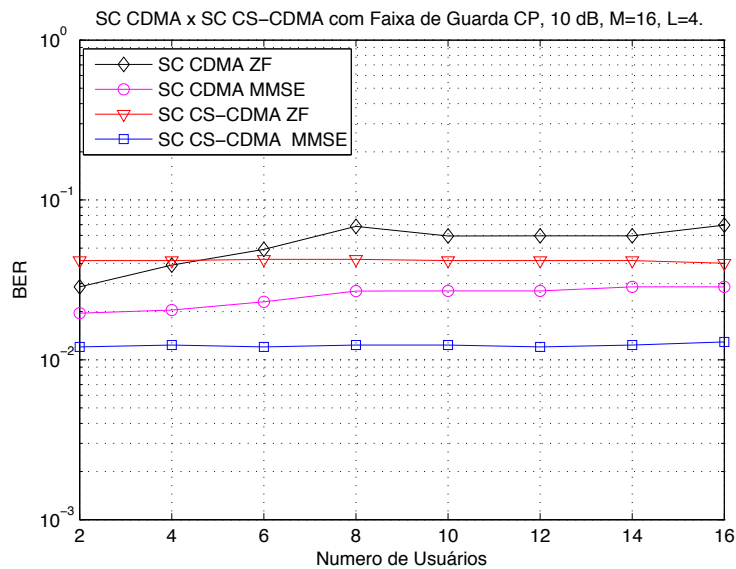


Figura 5.2: BER versus Carga para o sistema SC CDMA versus SC CS-CDMA com faixa de guarda CP, $E_b/N_0 = 10dB$ e equalização MMSE e ZF

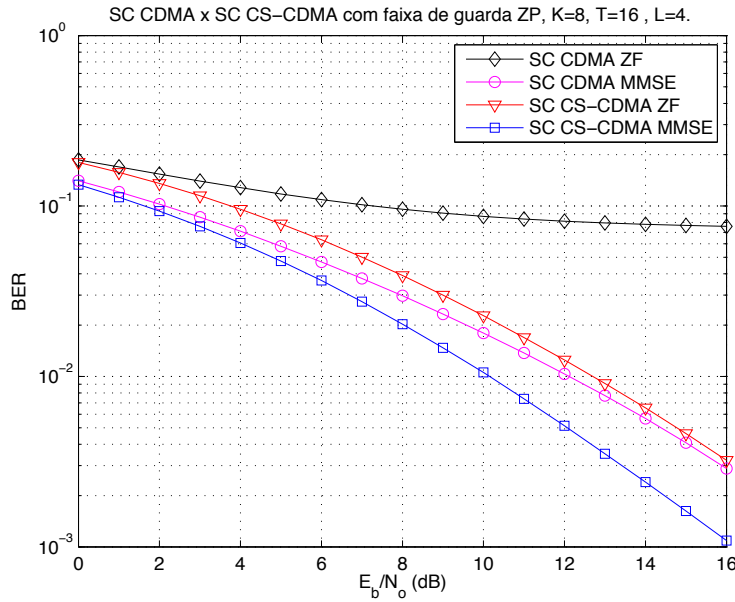


Figura 5.3: BER versus E_b/N_0 para o sistema SC CDMA versus SC CS-CDMA com faixa de guarda ZP.

os equalizadores ZF e MMSE, com 8 usuários ativos. Também aqui Percebe-se a diferença pronunciada dos desempenhos dos dois tipos de equalizadores. É importante ressaltar, que assim como na seção anterior, o sistema SC CS-CDMA apresentou desempenho superior ao de sistemas SC CDMA, tendo, entanto, uma redução no ganho do receptor MMSE quando comparado ao caso CP. A Figura 5.4 ilustra o comportamento do desempenho dos sistemas com o aumento da carga do sistema para um valor de $E_b/N_0 = 10dB$. Como esperado, o desempenho manteve-se constante no caso da técnica SC CS-CDMA, enquanto o sistema SC CDMA sofreu uma degradação pronunciada devido ao aumento da IMA. Observe-se a superioridade do SC CS-CDMA para qualquer valor da carga K/T do sistema no caso de equalização MMSE, enquanto que no ZF o SC CDMA apresenta superioridade apenas para valores relativamente baixos da carga (menor ou igual 12.5 %).

5.4

MC CDMA versus MC CS-CDMA com faixa de guarda CP

A Figura 5.5 apresenta as curvas da taxa de erro de bit versus E_b/N_0 dos sistemas MC CDMA e MC CS-CDMA com faixa de guarda CP e para os equalizadores ZF e MMSE com 8 usuários ativos. Diferentemente do caso de portadora única (SC) percebe-se agora a superioridade do desempenho do sistema MC CDMA quando os sistemas operam com equalização MMSE.

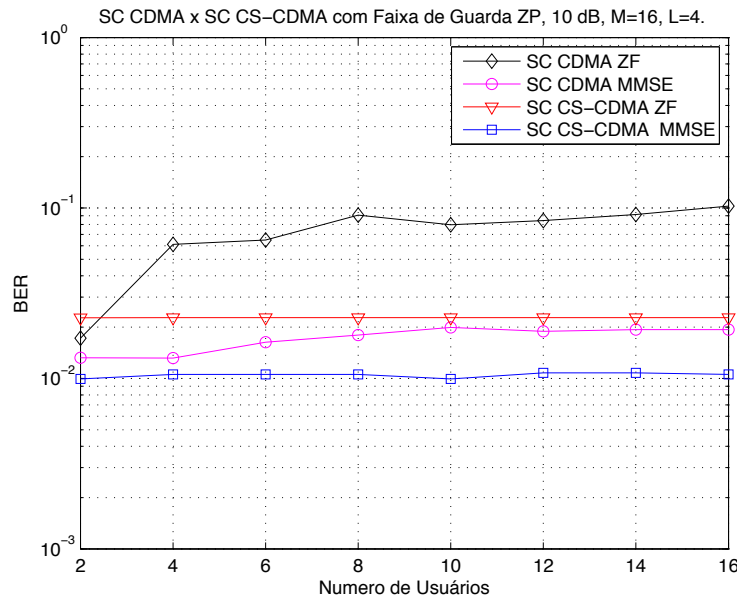


Figura 5.4: BER versus Carga para o sistema SC CDMA versus SC CS-CDMA com faixa de guarda ZP, $E_b/N_0 = 10dB$ e equalização MMSE e ZF

Quando operam com equalizador ZF, o sistema MC CS-CDMA apresenta um desempenho superior somente para valores altos de razão sinal ruído. A Figura 5.6 compara o comportamento do desempenho dos sistemas com o aumento da carga do sistema para um valor de $E_b/N_0 = 10dB$. No caso da técnica MC CS-CDMA o desempenho manteve-se constante, enquanto o sistema MC CDMA sofreu uma degradação pronunciada devido ao aumento da IMA. É novamente evidenciado o fato de que, diferentemente de SC CDMA versus SC CS-CDMA, há superioridade do sistema MC CDMA para qualquer valor da carga K/T do sistema no caso de equalização MMSE, enquanto que no ZF o MC CDMA apresenta superioridade apenas para valores baixos da carga (menor ou igual 50 %).

5.5

MC CDMA versus MC CS-CDMA com faixa de guarda ZP

A Figura 5.7 compara as curvas da taxa de erro de bit versus E_b/N_0 para os sistemas, MC CDMA e MC CS-CDMA com faixa de guarda ZP e para os equalizadores ZF e MMSE. Novamente, percebe-se a superioridade no desempenho do sistema MC MDMA quando os sistemas operam com equalização MMSE. Operando com equalizador ZF, o sistema MC CS-CDMA apresentou um desempenho superior. A Figura 5.8 compara o comportamento

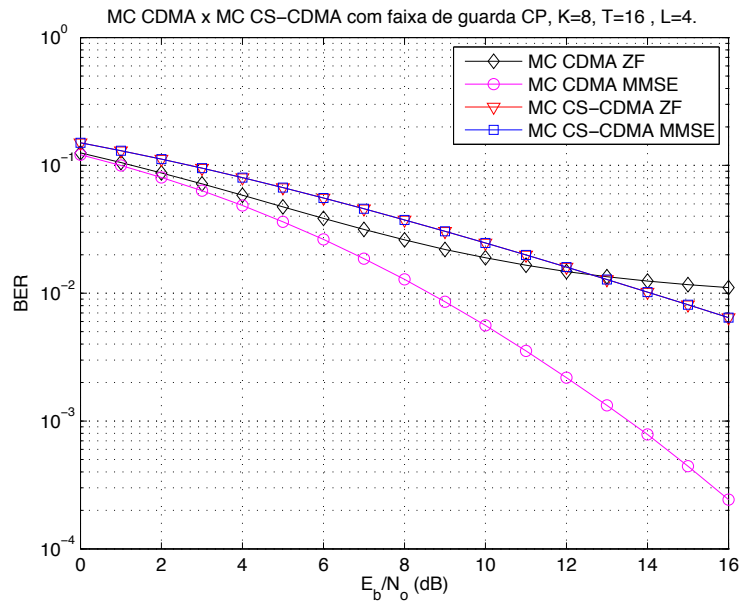


Figura 5.5: BER versus E_b/N_0 para o sistema MC CDMA versus MC CS-CDMA com faixa de guarda CP.

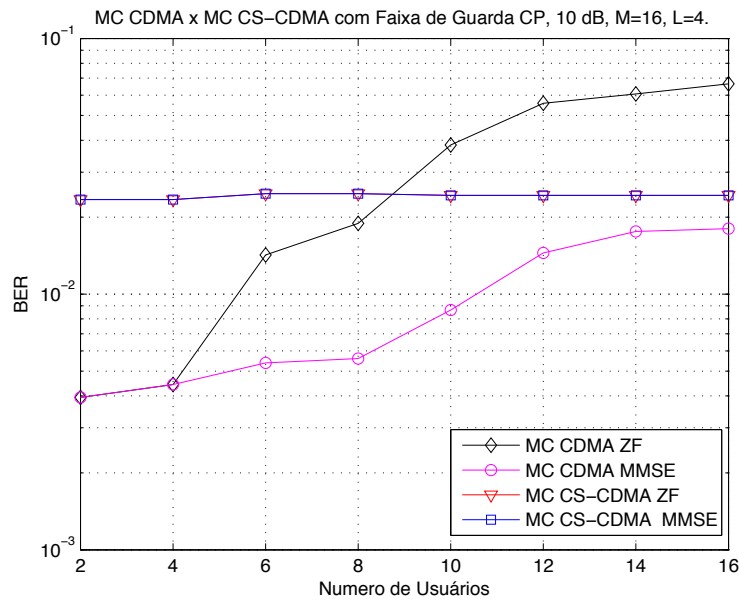


Figura 5.6: BER versus Carga para o sistema MC CDMA versus MC CS-CDMA com faixa de guarda CP, $E_b/N_0 = 10dB$ e equalização MMSE e ZF

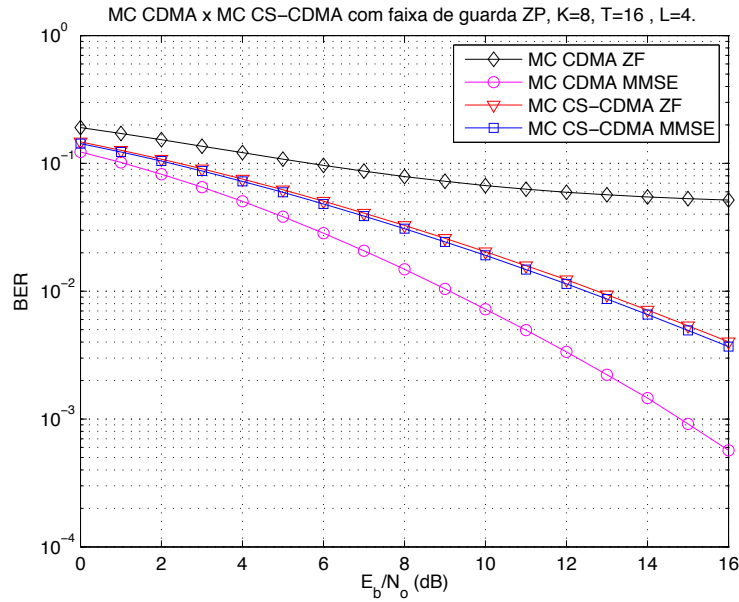


Figura 5.7: BER versus E_b/N_0 para o sistema MC CDMA versus MC CS-CDMA com faixa de guarda CP.

do desempenho dos sistemas com o aumento da carga do sistema para um valor de $E_b/N_0 = 10dB$. Como esperado o desempenho da técnica MC CS-CDMA manteve-se constante, enquanto o sistema MC CDMA sofreu uma degradação pronunciada devido ao aumento da IMA. Mesmo assim, a superioridade do sistema MC CDMA no caso de equalização MMSE foi mantida para qualquer valor da carga K/T do sistema. No caso ZF, entretanto, o MC CS-CDMA mostrou-se superior para qualquer valor da carga.

5.6

Considerações Finais

Os resultados das simulações obtidos para o enlace de subida (Estação Móvel a Estação Radio Base) e a análise de desempenho demonstraram a superioridade do sistemas CS-CDMA com relação ao sistema CDMA tradicional, no caso de transmissão em portadora única SC. No caso de CS-CDMA multiportadora e equalização ZF, o desempenho mostrou-se superior para faixa de guarda CP e com valores altos da carga. Quando as transmissões são feitas com faixa de guarda ZP a superioridade do sistema MC CDMA é mantida para qualquer valor da carga. Quando operando com equalização MMSE o sistema CDMA multiportadora, apresentou um desempenho superior ao do sistema CS-CDMA tanto para transmissões com faixa de guarda CP quanto para transmissões com faixa de guarda ZP. A Figura 5.9 ilustra a comparação do

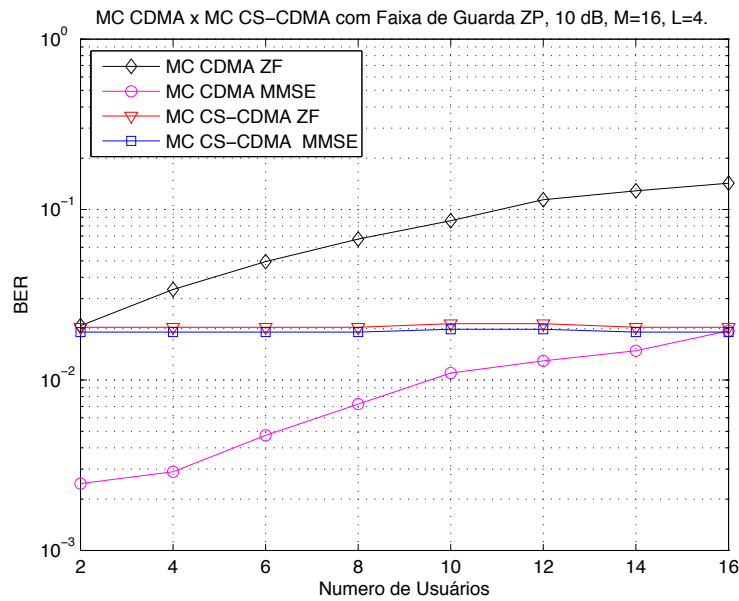


Figura 5.8: BER versus Carga para o sistema MC CDMA versus MC CS-CDMA com faixa de guarda ZP, $E_b/N_0 = 10dB$ e equalização MMSE e ZF

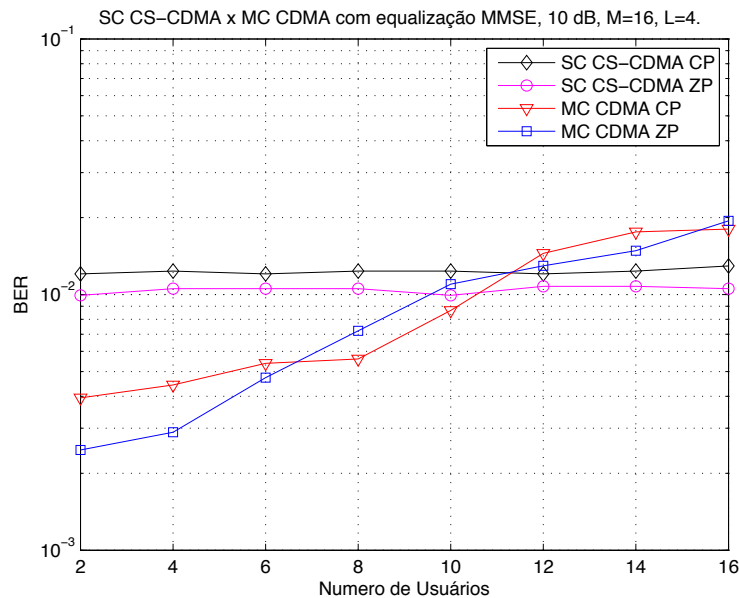


Figura 5.9: BER versus Carga para o sistema SC CS-CDMA versus MC CDMA com $E_b/N_0 = 10dB$ e equalização MMSE

desempenho para os sistemas com melhor rendimento, no caso de transmissões em portadora única o SC CS-CDMA e o MC CDMA no caso de transmissões em múltiplas portadoras. Foi considerada equalização MMSE e um valor de $E_b/N_0 = 10 \text{ dB}$ com faixas de guarda do tipo CP e do tipo ZP. Observe-se a superioridade do sistema SC CS-CDMA com relação ao sistema MC CDMA, quando o sistema opera com valores altos da carga, maior que ou igual 68.75%, para transmissões com faixa de guarda CP e maior que ou igual a 62.5%, para transmissões com faixa de guarda ZP.