

4

Resultados Numéricos

Neste capítulo, será analisado o problema do dimensionamento do enlace de comunicações móveis por satélite para alguns casos específicos. A caracterização estatística da degradação por chuvas será obtida a partir do modelo descrito em [9]. Inicialmente, será estudada a influência do diagrama de radiação da antena no comportamento dos parâmetros de desempenho. Em seguida, será realizado o dimensionamento do enlace para diversos cenários de operação, ocasião em que serão avaliadas as limitações a serem impostas ao comportamento do erro de apontamento da antena.

Em todos os cenários analisados, serão utilizados os seguintes parâmetros relativos à caracterização do comportamento da atenuação por chuvas:

- Frequência de operação (f): 14,2 GHz
- $R_{0,01\%}$: 23 mm/h
- Altitude da estação (h_s): 0 km
- Elevação da antena (θ): 25°
- Latitude da estação (ϕ): 40°
- Altitude da chuva (h_r): 3 km

Com a adoção das características acima para a localização da estação móvel, temos a FDPC da atenuação por chuvas representada na Figura 3.6. Aplicados os limitantes superior e inferior definidos na Seção 3.2, temos a FDPC da degradação por chuvas $C_x(X)$ presente na Figura 3.7.

4.1

Influência do diâmetro da antena da estação móvel no desempenho do sistema

Para avaliar a influência do diâmetro da antena da estação terrena no desempenho do sistema de comunicações móveis por satélite, serão determinados os comportamentos estatísticos das variáveis aleatórias associadas aos parâmetros de desempenho quando utilizadas antenas de diferentes diâmetros, fixando os parâmetros do erro de apontamento em $\delta = 1,75$ e $\gamma = 0,354$, e a configuração de blocagem em $N_B = 832$ e $n = 2000$.

A frequência de operação será fixada em $f = 14,2$ GHz, e o parâmetro de iluminação da antena em $n = 1$. Assim, temos que os diagramas de radiação das antenas consideradas podem ser observados na Figura 4.1.

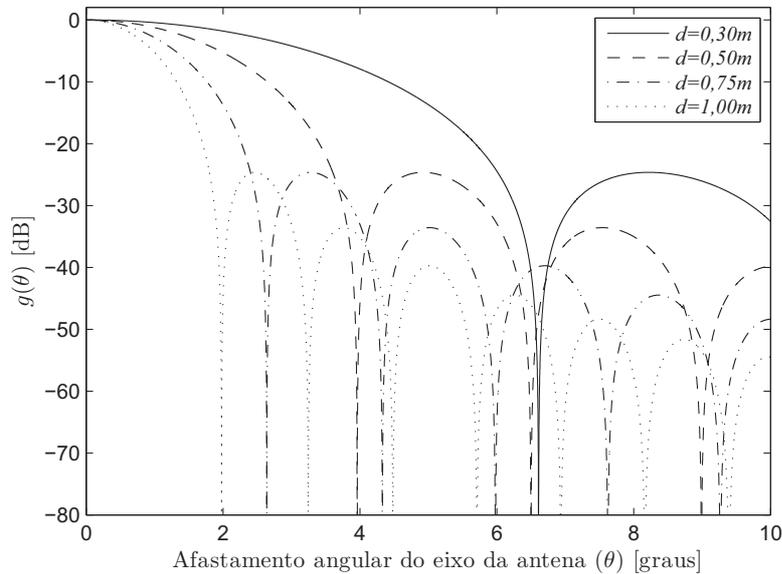


Figura 4.1: Variação do diagrama de radiação com o diâmetro da antena.

Observe que, com o aumento do diâmetro da antena, os vales do diagrama de radiação ficam mais próximos do eixo, assim como os lóbulos laterais. O valor máximo de cada lóbulo lateral, no entanto, independe do diâmetro da antena. O primeiro lóbulo lateral apresenta um valor máximo igual a $-24,6$ dB, o segundo lóbulo um valor máximo de $-33,6$ dB e o terceiro um valor máximo de $-39,7$ dB.

Na Figura 4.2 temos a FDPC da degradação conjunta $C_z(Z)$. Observe que o aumento do diâmetro da antena da estação móvel provoca um aumento significativo na degradação sofrida pela sistema. Além disso, há pontos de inflexão nas curvas causados pelos lóbulos laterais dos diagramas de radiação

das antenas. Essas inflexões ocorrem nos mesmos valores de degradação correspondentes aos valores máximos de cada lóbulo lateral.

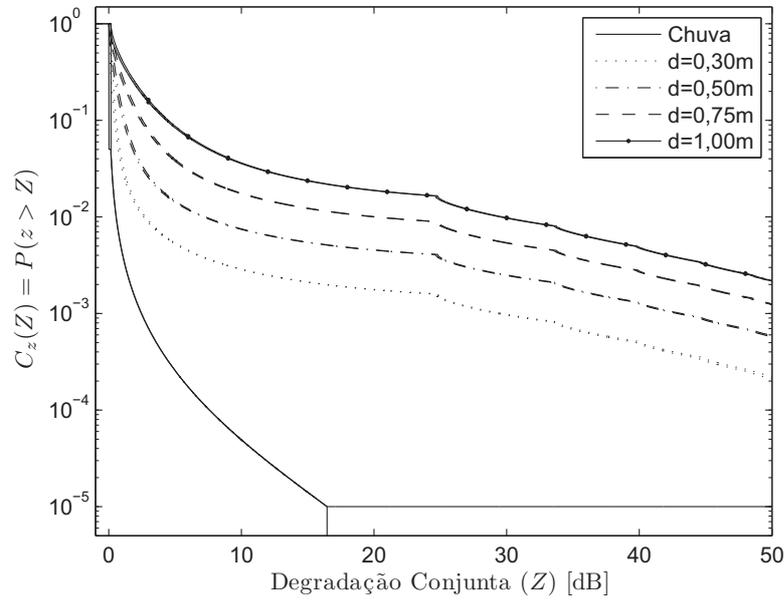
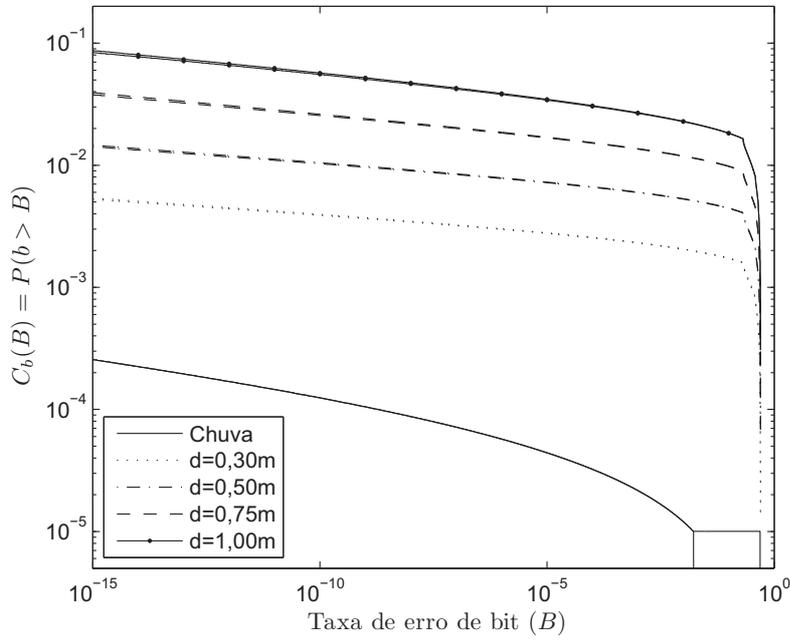
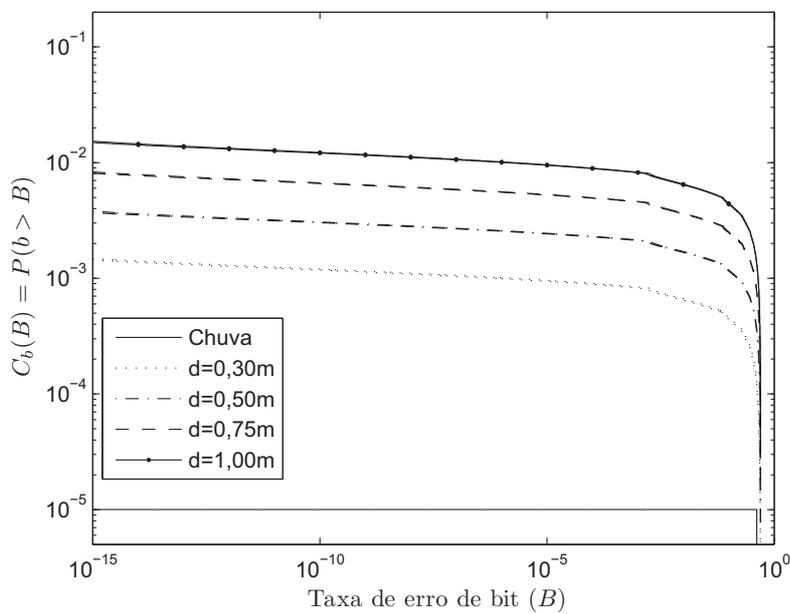


Figura 4.2: Influência do diâmetro da antena na FDPC da degradação conjunta.

Nas figuras 4.3 a 4.7, podemos observar a influência do diâmetro da antena nos comportamentos estatísticos das variáveis aleatórias associadas aos parâmetros de desempenho. Em cada figura são apresentados dois gráficos, correspondentes a dois diferentes valores da razão $(E_b/N_0)_{CS}$.

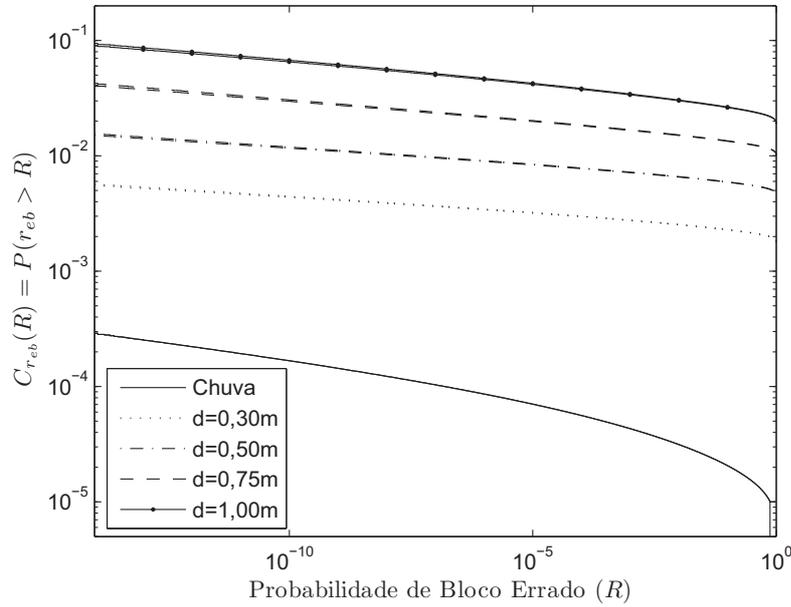


4.3(a): $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} = 20 \text{ dB}$

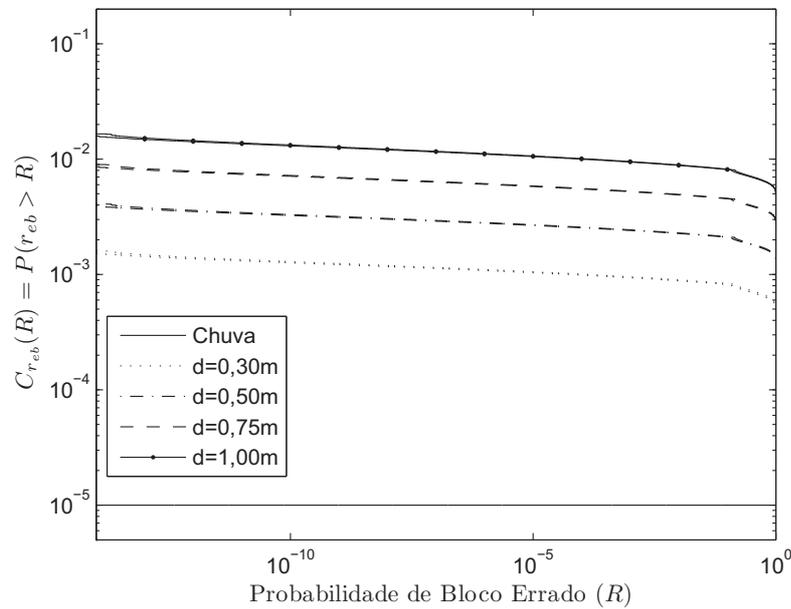


4.3(b): $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} = 40 \text{ dB}$

Figura 4.3: Influência do diâmetro da antena na FDPC da taxa de erro de bit.

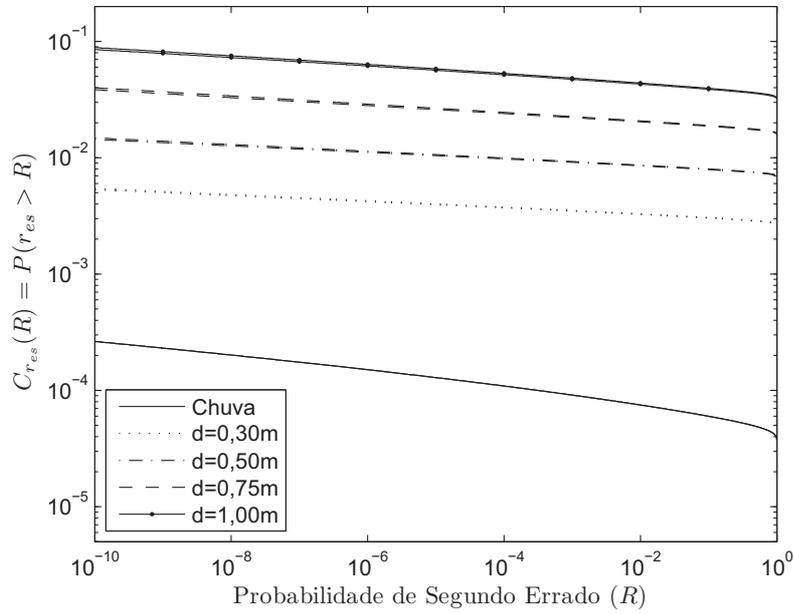


4.4(a): $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} = 20 \text{ dB}$

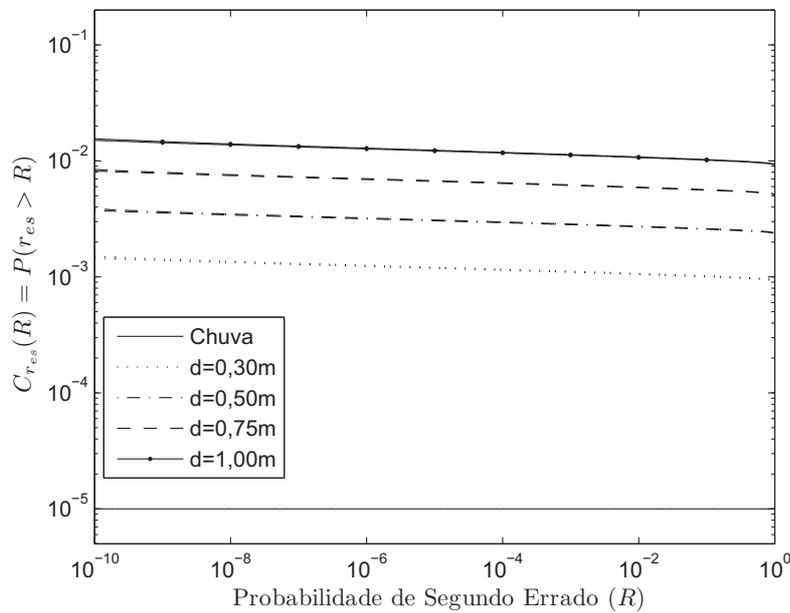


4.4(b): $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} = 40 \text{ dB}$

Figura 4.4: Influência do diâmetro da antena na FDPC da probabilidade de bloco errado.

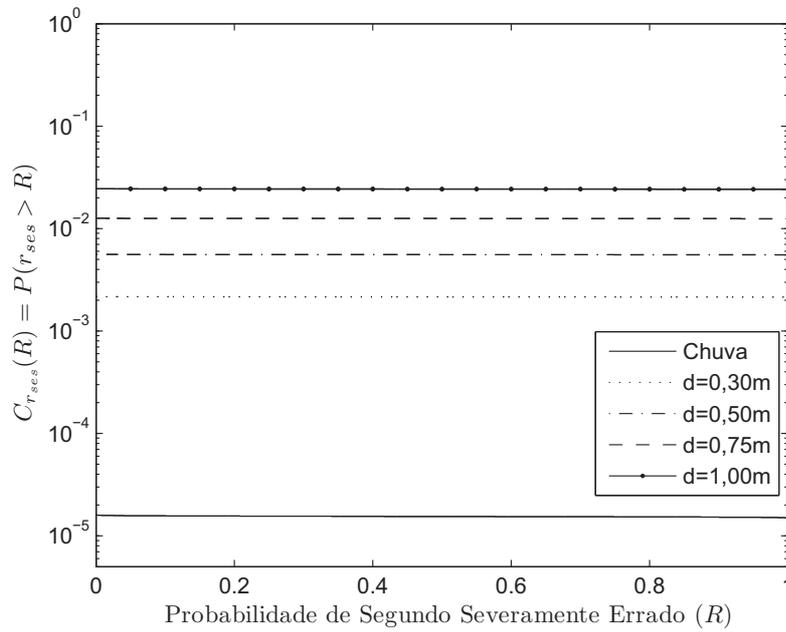


4.5(a): $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} = 20$ dB

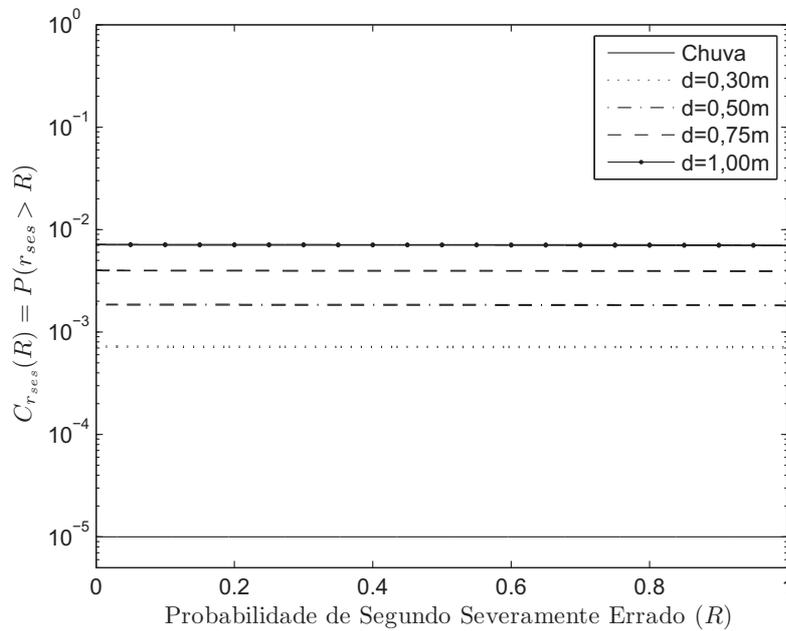


4.5(b): $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} = 40$ dB

Figura 4.5: Influência do diâmetro da antena na FDPC da probabilidade de segundo errado.

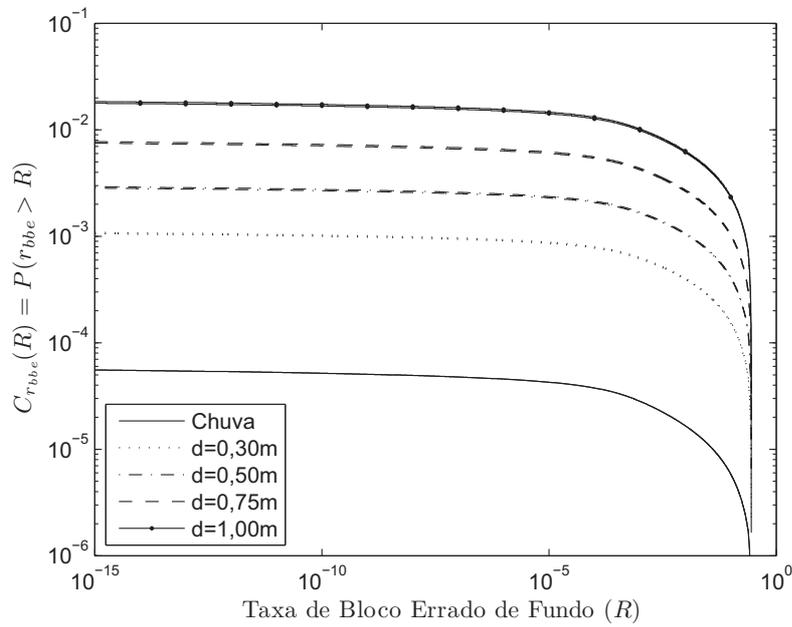


4.6(a): $(\frac{E_b}{N_0})_{CS} = 20$ dB

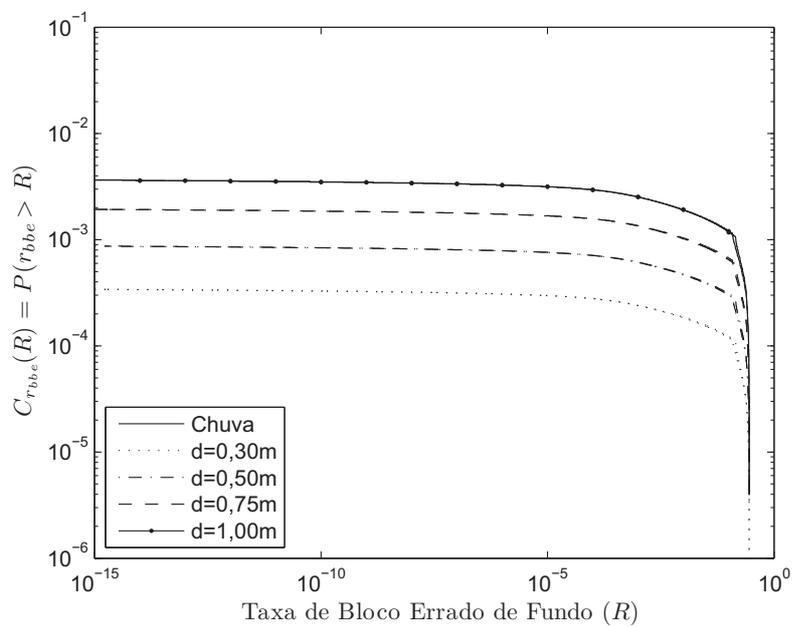


4.6(b): $(\frac{E_b}{N_0})_{CS} = 40$ dB

Figura 4.6: Influência do diâmetro da antena na FDPC da probabilidade de segundo severamente errado.



4.7(a): $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} = 20 \text{ dB}$



4.7(b): $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{CS} = 40 \text{ dB}$

Figura 4.7: Influência do diâmetro da antena na FDPC da taxa de bloco errado de fundo.

Nas figuras 4.8 a 4.12 são apresentados os valores dos parâmetros de desempenho em função da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ para os diferentes valores do diâmetro da antena da estação móvel.

Fica evidenciado, principalmente nas figuras 4.11 e 4.12, o efeito causado pelos lóbulos laterais do diagrama de radiação da antena. Quando observado o desempenho em termos da Taxa de Segundo Severamente Errado, por exemplo, quando o enlace opera sem degradação, o valor de SESR decai bruscamente quando a valor da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ é igual a 5,4 dB. Quando o enlace é submetido a degradação causada pelo erro de apontamento da antena, podemos observar inflexões na curva de desempenho para $(E_b/N_0)_{CS} = 30$ dB, ou seja, 24,6 dB acima, equivalente ao valor máximo do primeiro lóbulo lateral da antena. O mesmo ocorre para $(E_b/N_0)_{CS}$ igual a 39 dB, valor 33,6 dB maior que o original, correspondente ao segundo lóbulo lateral.

Com as quedas bruscas da Taxa de Segundo Severamente Errado, que ocorrem quando a razão $(E_b/N_0)_{CS}$ é igual a 5,4 dB, 30 dB e 39 dB, são esperados aumentos da Taxa de Bloco Errado de Fundo. Isso pode ser observado por meio da comparação entre as figuras 4.11 e 4.12. Os mesmos valores da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ que apresentam inflexão nas curvas de desempenho de SESR, apresentam variações nas curvas de BBER similares à variação inicial, quando o enlace não sofre nenhum tipo de degradação.

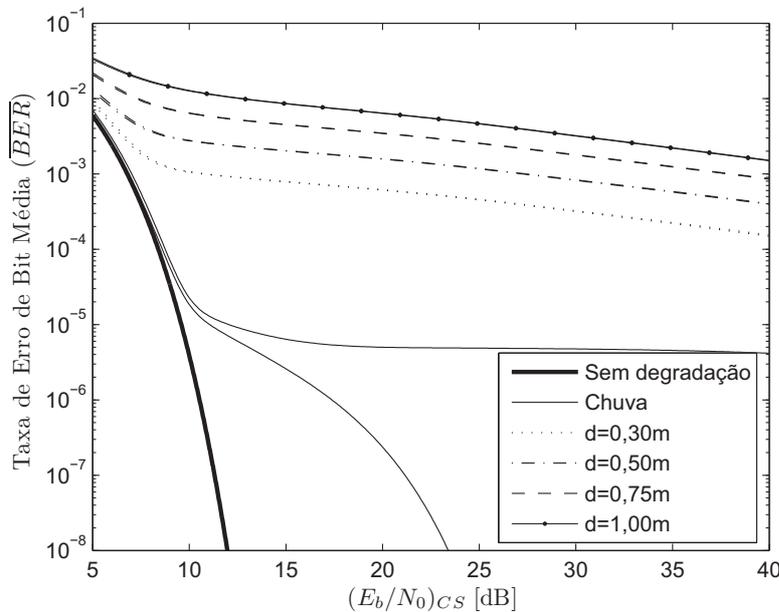


Figura 4.8: Influência do diâmetro da antena na \overline{BER} .

Observe que o aumento do diâmetro da estação móvel provoca uma degradação significativa no desempenho do sistema para todos os parâmetros considerados.

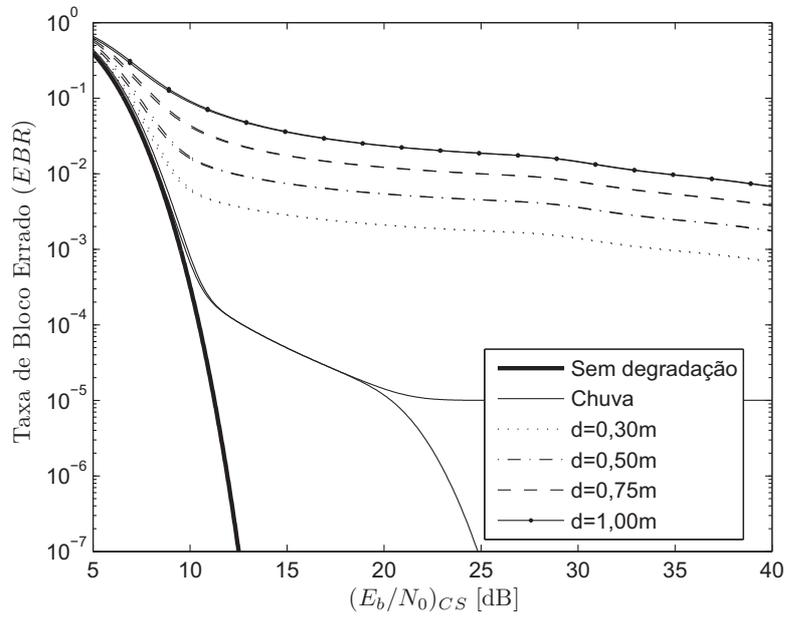


Figura 4.9: Influência do diâmetro da antena na EBR.

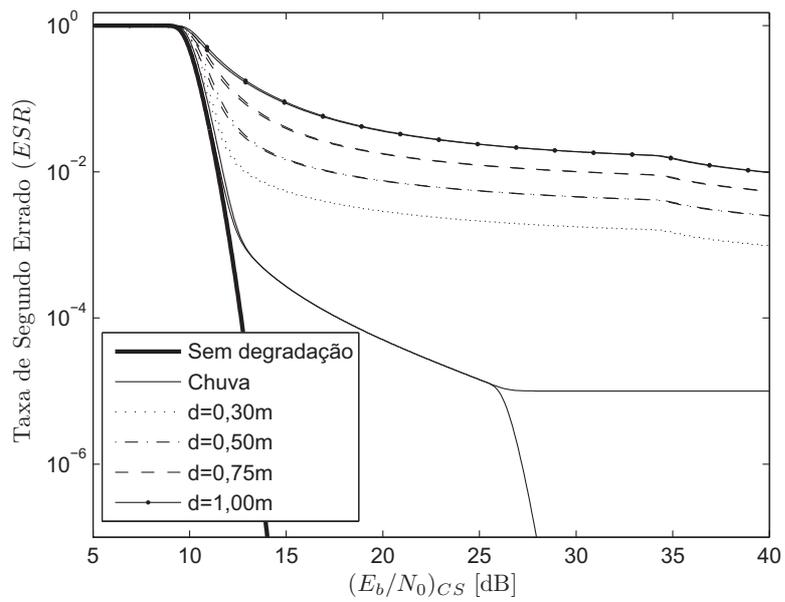


Figura 4.10: Influência do diâmetro da antena na ESR.

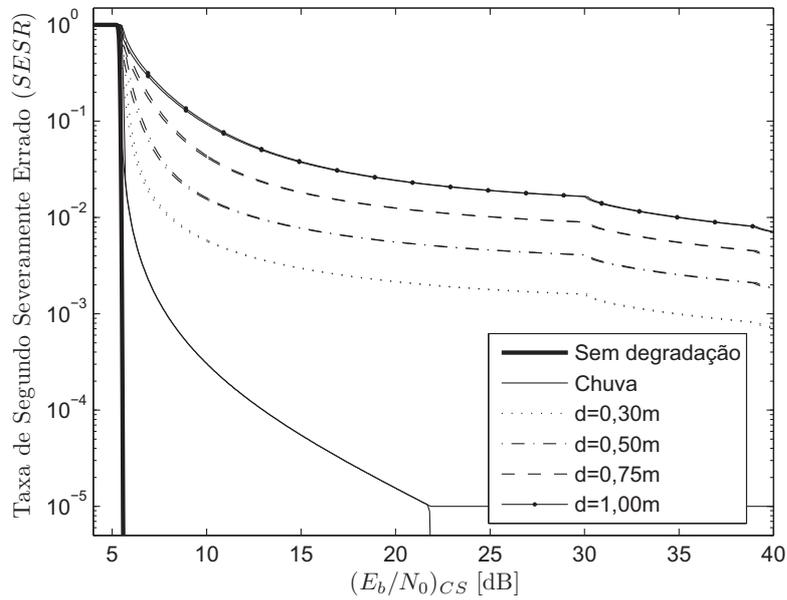


Figura 4.11: Influência do diâmetro da antena na SESR.

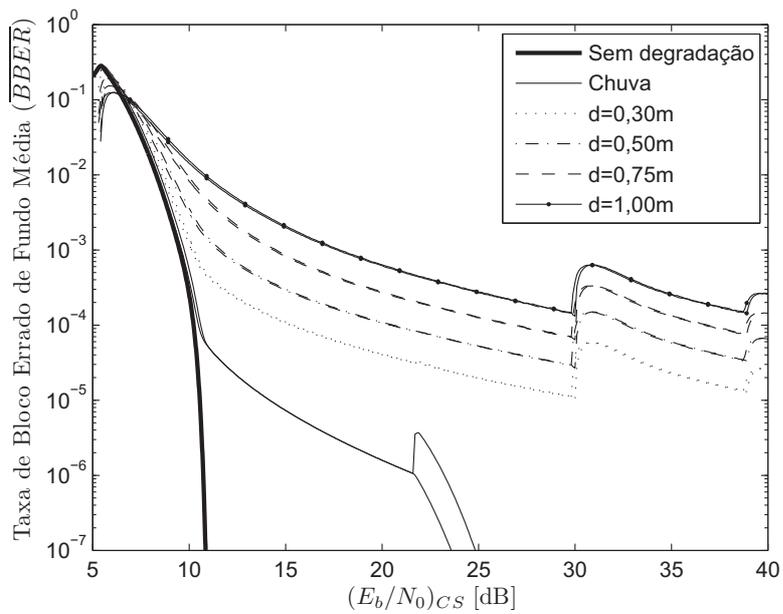


Figura 4.12: Influência do diâmetro da antena na \overline{BBER} .

4.2

Dimensionamento do enlace de comunicações móveis por satélite

A Recomendação ITU-R S.1521-1 [5] estabelece os objetivos de desempenho para enlaces por satélite baseados em Hierarquia Digital Síncrona (SDH), de acordo com as configurações de blocagem presentes na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Configurações de Blocagem definidas na Recomendação ITU-R S.1521-1.

Taxa de bits (R_b) [kbit/s]	Comprimento do bloco (N_B) [bits]	Taxa de blocos (n) [blocos/s]
1664	832	2000
2240	1120	2000
6848	3424	2000
48960	6120	8000
150336	18792	8000

Para cada uma das configurações de blocagem, a Recomendação ITU-R S.1521-1 [5] define uma máscara para o comportamento da Função Distribuição de Probabilidade Cumulativa da taxa de erro de bit, considerando o pior mês relacionado à atenuação por chuvas, especificando valores de BER que não devem ser ultrapassados em 10%, em 2% e em 0,2% do mês. No entanto, a mesma recomendação estabelece uma equivalência entre o pior mês e a média anual, da seguinte forma:

- 10% do pior mês equivale a 4% do ano,
- 2% do pior mês equivale a 0,6% do ano, e
- 0,2% do pior mês equivale a 0,04% do ano.

Como discutido no Capítulo 2, a Recomendação ITU-R S.1323 [4] estabelece que interferências variantes no tempo podem ser responsáveis por, no máximo, 10% do tempo permitido para as taxas de erro de bit especificadas nas metas de desempenho. Portanto, os objetivos a serem adotados para a máscara de BER serão de 3,6%, 0,54% e 0,036% do ano.

Os objetivos de desempenho em [5] são estabelecidos para valores da razão entre a taxa de erro de bit e o número médio de erros de bit por surto (BER/α), através de uma máscara para a FDPC $C_b(B/\alpha)$. Adotando $\alpha = 10$, temos os objetivos de desempenho definidos em [5], considerando [4], descritos na Tabela 4.2.

A Recomendação ITU-R S.1521-1 [5] estabelece também objetivos de desempenho para a Taxa de Segundo Errado (ESR), para a Taxa de Segundo

Tabela 4.2: Máscara para a FDPC da taxa de erro de bit $C_b(B)$.

Taxa de bit [kbit/s]	Porcentagem de tempo (anual)	BER/α	BER ($\alpha = 10$)
1664	0,036%	1×10^{-9}	1×10^{-8}
	0,54%	1×10^{-9}	1×10^{-8}
	3,6%	1×10^{-9}	1×10^{-8}
2240	0,036%	1×10^{-9}	1×10^{-8}
	0,54%	1×10^{-9}	1×10^{-8}
	3,6%	1×10^{-9}	1×10^{-8}
6848	0,036%	1×10^{-9}	1×10^{-8}
	0,54%	7×10^{-10}	7×10^{-9}
	3,6%	6×10^{-10}	6×10^{-9}
48960	0,036%	1×10^{-9}	1×10^{-8}
	0,54%	2×10^{-10}	2×10^{-9}
	3,6%	1×10^{-10}	1×10^{-9}
150336	0,036%	1×10^{-9}	1×10^{-8}
	0,54%	2×10^{-10}	2×10^{-9}
	3,6%	9×10^{-11}	9×10^{-10}

Severamente Errado (SESR) e para a Taxa de Bloco Errado de Fundo (BBER). Os valores desses objetivos estão relacionados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Objetivos de desempenho para um enlace internacional em termos de ESR, SESR e BBER estabelecidos na Recomendação ITU-R S.1521-1.

Taxa de bit [kbit/s]	ESR	SESR	BBER
1664	$3,5 \times 10^{-3}$	7×10^{-4}	$1,75 \times 10^{-5}$
2240	$3,5 \times 10^{-3}$	7×10^{-4}	$1,75 \times 10^{-5}$
6848	$3,5 \times 10^{-3}$	7×10^{-4}	$1,75 \times 10^{-5}$
48960	$7,0 \times 10^{-3}$	7×10^{-4}	$1,75 \times 10^{-5}$
150336	$1,4 \times 10^{-2}$	7×10^{-4}	$3,50 \times 10^{-5}$

O dimensionamento do enlace de comunicações móveis por satélite será realizado para diversos cenários de operação. Para cada cenário, serão identificados os valores da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ para os quais os objetivos de desempenho descritos na Tabela 4.2 e na Tabela 4.3 são satisfeitos.

Além disso, em cada cenário é realizado o dimensionamento para diversos valores dos parâmetros do erro de apontamento da antena. Supondo um sistema que possa ser configurado com uma razão $(E_b/N_0)_{CS}$ máxima de 40 dB, serão definidas limitações para o erro de apontamento da antena, de forma a possibilitar o cumprimento dos objetivos de desempenho.

As características do sistema em cada cenário são escolhidas para contemplar as diversas taxas de transmissão especificadas em [5]. Assim, os cenários 1, 3, 4, 5 estão relacionados a enlaces nas taxas de $R_b = 1664$ kbit/s, $R_b = 6848$ kbit/s, $R_b = 48960$ kbit/s e $R_b = 150336$ kbit/s respectivamente, e todos utilizam antenas de diâmetro $d = 0,30$ m. Para verificar o efeito do diâmetro da antena no conjunto de valores de $(E_b/N_0)_{CS}$ para os quais os objetivos de desempenho são satisfeitos, o Cenário 2 considera uma configuração idêntica à do Cenário 1, com exceção do diâmetro de antena, considerado $d = 0,50$ m. Cada um desses cenários é analisado a seguir.

Cenário 1: Diâmetro da antena $d = 0,30$ m e taxa de bits $R_b = 1664$ kbit/s.

Neste cenário, a estação móvel opera com uma antena de diâmetro $d = 0,30$ m, e uma taxa de bits $R_b = 1664$ kbit/s. Assim, temos o número bits por bloco N_B igual a 832 e o número de blocos por segundo n igual a 2000. O objetivo de desempenho em termos da BER é estabelecido em [5] como uma máscara para $C_b(B)$. São definidos três objetivos para o mesmo valor de BER, e portanto o dimensionamento será realizado considerando apenas o objetivo mais restritivo.

Dessa forma, o que se pretende é determinar o menor valor da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ para que o objetivo de desempenho seja respeitado. Da Tabela 4.2, temos que o objetivo neste cenário é $C_b(10^{-8}) = P(b > 10^{-8}) < 3,6 \times 10^{-4}$. Na Figura 4.13 é apresentado o comportamento de $C_b(10^{-8})$ em função da razão $(E_b/N_0)_{CS}$, para diferentes valores dos parâmetros do erro de apontamento. São também apresentados os desempenhos nos casos em que não há nenhum tipo de degradação e quando o enlace é sujeito apenas à degradação por chuvas. É possível ainda comparar cada curva com o objetivo de desempenho .

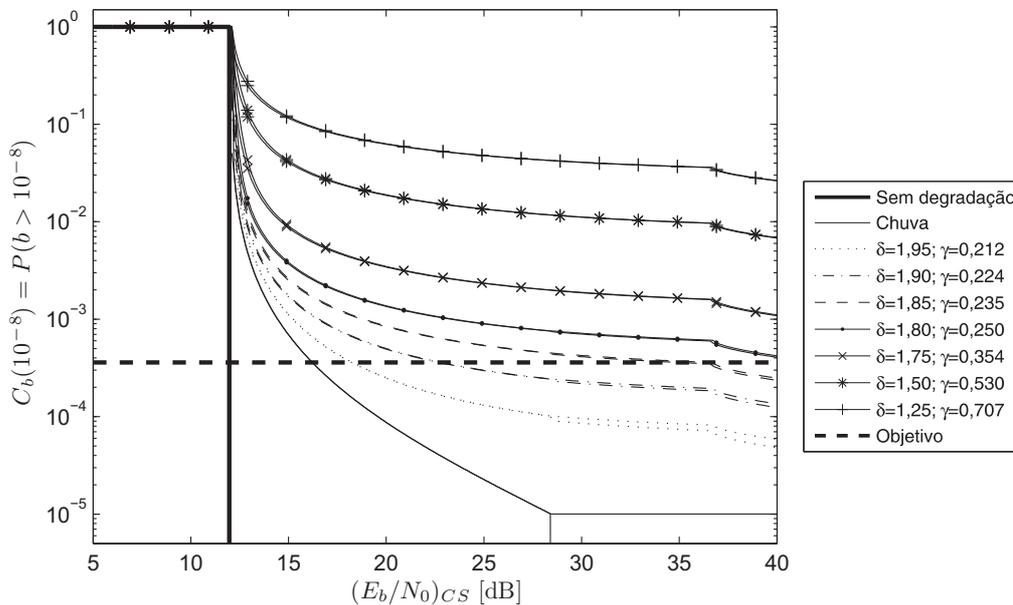


Figura 4.13: Dimensionamento pelo critério da taxa de erro de bit: $C_b(10^{-8}) < 3,6 \times 10^{-4}$ - Cenário 1: $R_b = 1664$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

Observe que, para parâmetros do erro de apontamento, dentre os avaliados, com valores iguais ou piores que $(\delta = 1,80; \gamma = 0,250)$, não é possível atender o objetivo com um sistema cuja razão $(E_b/N_0)_{CS}$ seja limitada em 40 dB. É fácil observar também que, quanto maior o erro de apontamento da

antena, maior o valor de $(E_b/N_0)_{CS}$ necessário para cumprimento do objetivo de desempenho.

Nas figuras 4.14 a 4.16 podem ser observados os desempenhos relacionados à Taxa de Segundo Errado, à Taxa de Segundo Severamente Errado e à Taxa de Bloco Errado de Fundo. Observe que as restrições impostas à FDPC da Taxa de Erro de Bit são mais significativas que as impostas aos demais parâmetros.

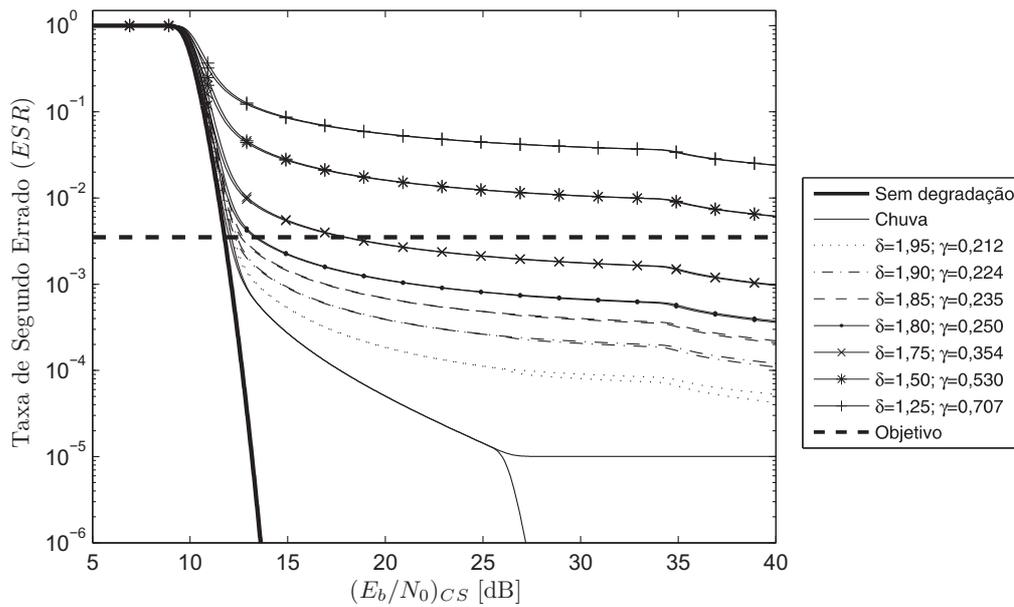


Figura 4.14: Dimensionamento pelo critério da taxa de segundo errado: $ESR < 3,5 \times 10^{-3}$ - Cenário 1: $R_b = 1664$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

Em termos da Taxa de Bloco Errado de Fundo, o objetivo é alcançado quando a razão $(E_b/N_0)_{CS}$ é igual a 26 dB para $(\delta = 1,75$ e $\gamma = 0,354)$. No entanto, devido ao efeito causado pelos lóbulos laterais do diagrama de radiação da antena, que provocam uma queda abrupta da SESR, e conseqüentemente um aumento da BBER, maiores valores de $(E_b/N_0)_{CS}$ podem prejudicar o desempenho segundo esse parâmetro.

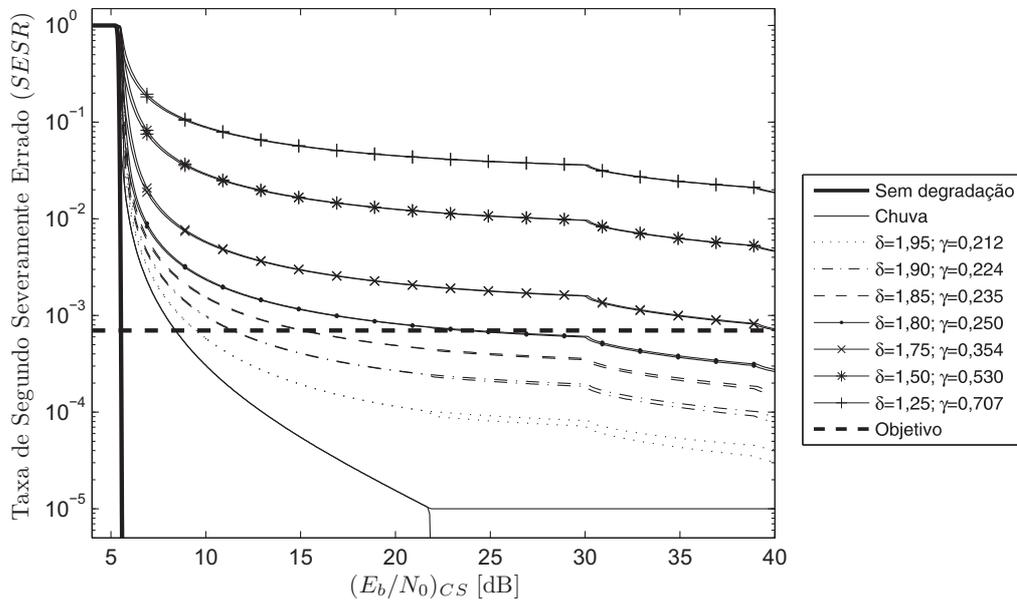


Figura 4.15: Dimensionamento pelo critério da taxa de segundo severamente errado: $SESR < 7 \times 10^{-4}$ - Cenário 1: $R_b = 1664$ kbit/s e $d = 0, 30$ m.

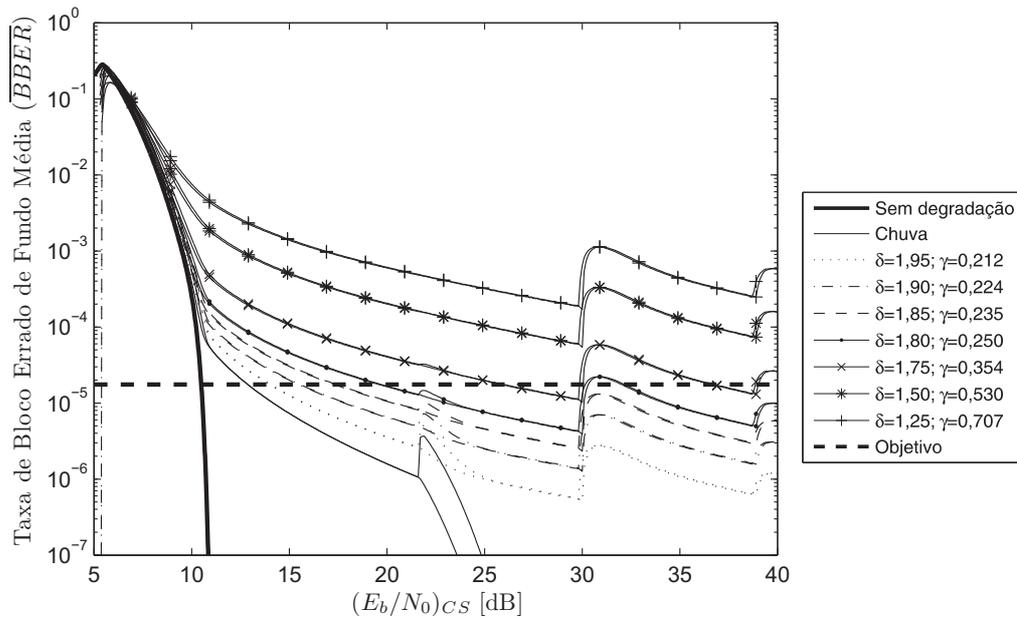


Figura 4.16: Dimensionamento pelo critério da taxa de bloco errado de fundo: $BBER < 1, 75 \times 10^{-5}$ - Cenário 1: $R_b = 1664$ kbit/s e $d = 0, 30$ m.

Na Tabela 4.4 é apresentado um resumo dos valores mínimos da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ para que cada objetivo de desempenho seja obedecido. Os parâmetros do erro de apontamento, entre os avaliados, estão limitados a $(\delta = 1,85$ e $\gamma = 0,235)$ para um sistema com razão $(E_b/N_0)_{CS}$ máxima de 40 dB.

Tabela 4.4: Dimensionamento da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ mínima para o Cenário 1: $R_b = 1664$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

Parâmetros do erro de apontamento	$C_b(10^{-8})$ $< 3,6 \times 10^{-4}$	ESR $< 3,5 \times 10^{-3}$	$SESR$ $< 7 \times 10^{-4}$	$BBER$ $< 1,75 \times 10^{-5}$
Apenas chuva	16,2	12,1	8,4	12,9
$\delta = 1,95; \gamma = 0,212$	18,3	12,3	9,5	14,1
$\delta = 1,90; \gamma = 0,224$	22,8	12,4	11,5	15,6
$\delta = 1,85; \gamma = 0,235$	36,5	12,7	15,2	17,4
$\delta = 1,80; \gamma = 0,250$	> 40	13,4	24,2	19,7
$\delta = 1,75; \gamma = 0,354$	> 40	18,0	> 40	26,0
$\delta = 1,50; \gamma = 0,530$	> 40	> 40	> 40	> 40
$\delta = 1,25; \gamma = 0,707$	> 40	> 40	> 40	> 40

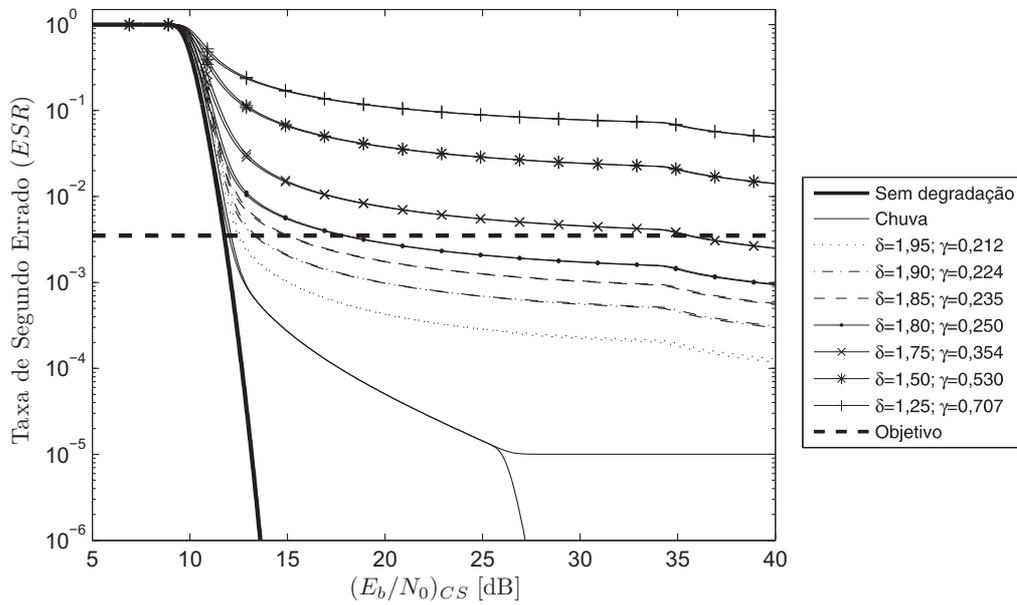


Figura 4.18: Dimensionamento pelo critério da taxa de segundo errado: $ESR < 3,5 \times 10^{-3}$ - Cenário 2: $R_b = 1664$ kbit/s e $d = 0,50$ m.

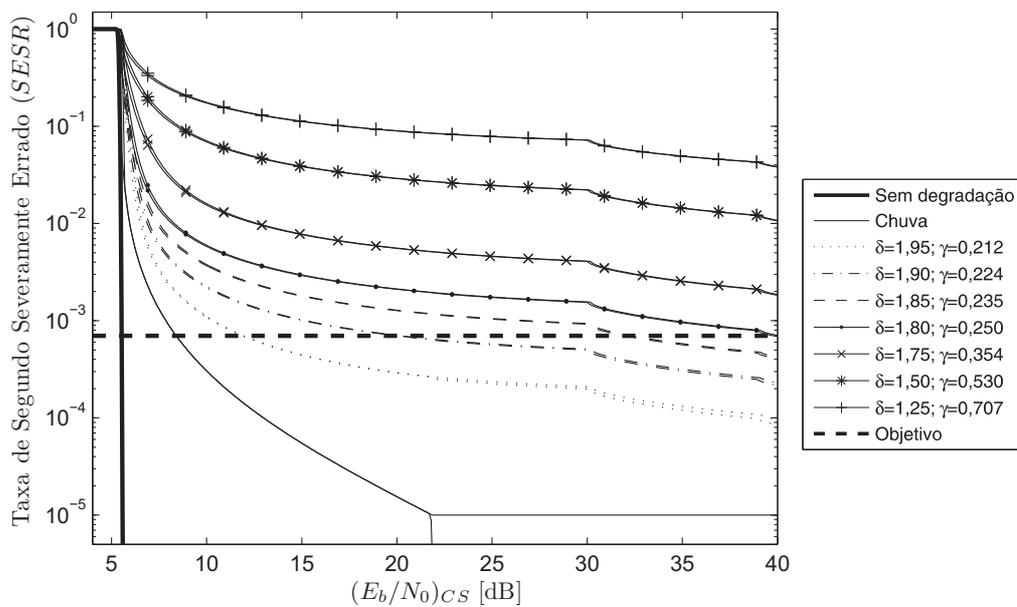


Figura 4.19: Dimensionamento pelo critério da taxa de segundo severamente errado: $SESR < 7 \times 10^{-4}$ - Cenário 2: $R_b = 1664$ kbit/s e $d = 0,50$ m.

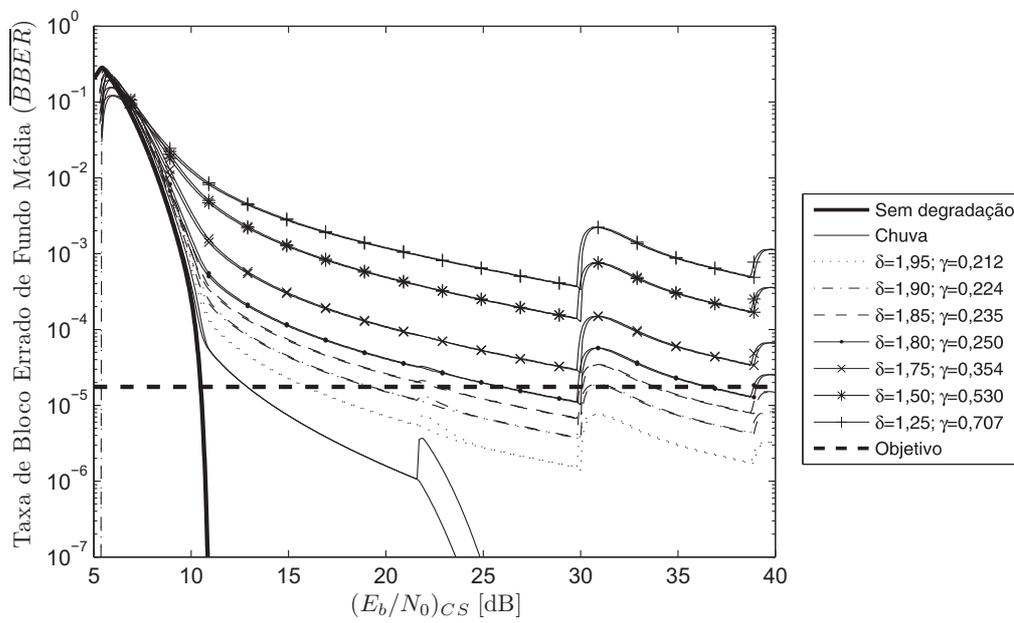


Figura 4.20: Dimensionamento pelo critério da taxa de bloco errado de fundo: $BBER < 1,75 \times 10^{-5}$ - Cenário 2: $R_b = 1664$ kbit/s e $d = 0,50$ m.

A Tabela 4.5 contém um resumo dos dimensionamentos da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ para todos os objetivos de desempenho. Dentre os parâmetros de erro de apontamento analisados, o sistema não poderá operar com valores iguais ou piores que ($\delta = 1,85$ e $\gamma = 0,235$).

Tabela 4.5: Dimensionamento da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ mínima para o Cenário 2: $R_b = 1664$ kbit/s e $d = 0,50$ m.

Parâmetros do erro de apontamento	$C_b(10^{-8})$ $< 3,6 \times 10^{-4}$	ESR $< 3,5 \times 10^{-3}$	$SESR$ $< 7 \times 10^{-4}$	$BBER$ $< 1,75 \times 10^{-5}$
Apenas chuva	16,2	12,1	8,4	12,9
$\delta = 1,95; \gamma = 0,212$	23,7	12,6	12,0	16,0
$\delta = 1,90; \gamma = 0,224$	39,6	13,4	20,2	19,3
$\delta = 1,85; \gamma = 0,235$	> 40	15,1	32,3	22,9
$\delta = 1,80; \gamma = 0,250$	> 40	18,0	40,0	26,0
$\delta = 1,75; \gamma = 0,354$	> 40	35,7	> 40	> 40
$\delta = 1,50; \gamma = 0,530$	> 40	> 40	> 40	> 40
$\delta = 1,25; \gamma = 0,707$	> 40	> 40	> 40	> 40

Cenário 3: Diâmetro da antena $d = 0,30$ m e taxa de bits $R_b = 6848$ kbit/s.

Neste cenário é analisado um sistema operando em uma maior taxa de bits, no caso, quando $R_b = 6848$ kbit/s. Assim, temos que o número de bits por bloco N_B passa a ser de 3424 bits, e a taxa de blocos n se mantém em 2000 blocos por segundo.

Dois dos três pontos da máscara da FDPC da Taxa de Erro de Bit $C_b(B/\alpha)$ são ligeiramente diferentes neste cenário. No entanto, a restrição imposta ao ponto da máscara que não é alterado é mais significativa que as impostas aos demais, e assim não há alteração do dimensionamento realizado para o Cenário 1.

Nas figuras 4.21 a 4.23 pode ser observado o desempenho do sistema no Cenário 3, em cada um dos três pontos da máscara presente na Tabela 4.2. Observe que, como o objetivo mais restritivo é similar ao do Cenário 1, não haverá alteração nas restrições à operação.

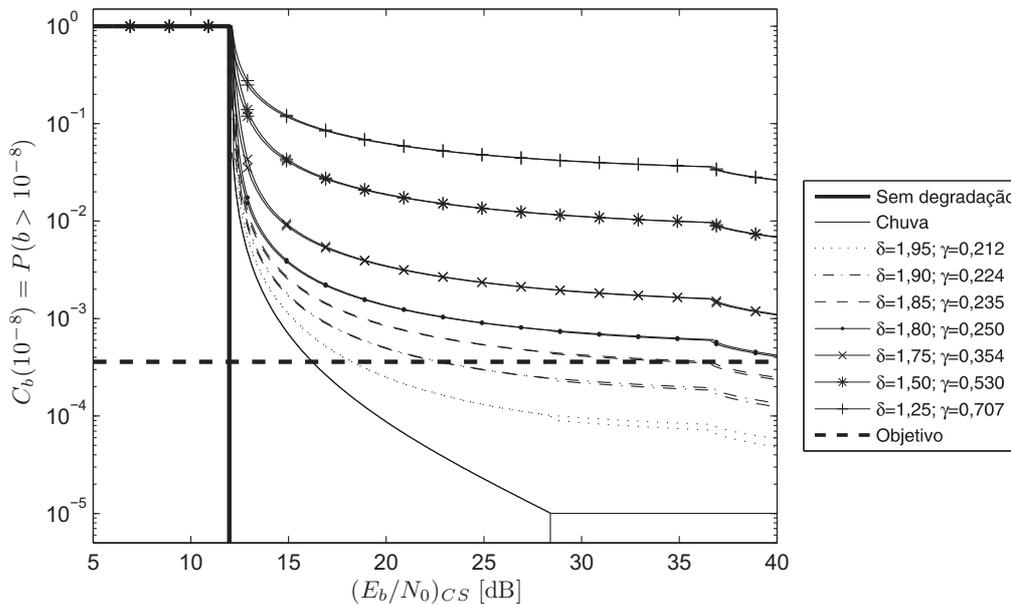


Figura 4.21: Dimensionamento pelo critério da taxa de erro de bit (primeiro ponto da máscara): $C_b(10^{-8}) < 3,6 \times 10^{-4}$ - Cenário 3: $R_b = 6848$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

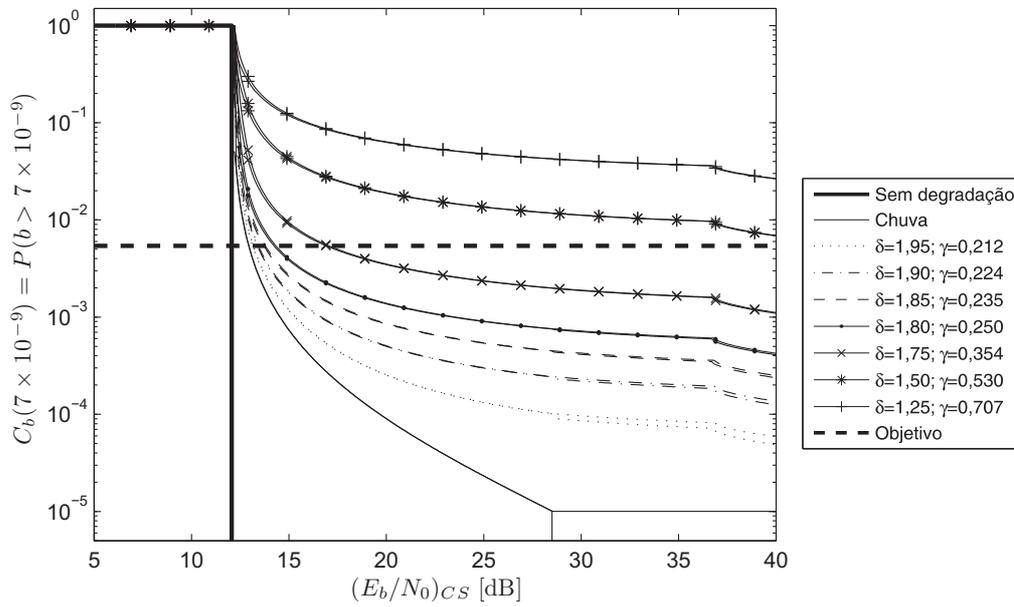


Figura 4.22: Dimensionamento pelo critério da taxa de erro de bit (segundo ponto da máscara): $C_b(7 \times 10^{-9}) < 5,4 \times 10^{-3}$ - Cenário 3: $R_b = 6848$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

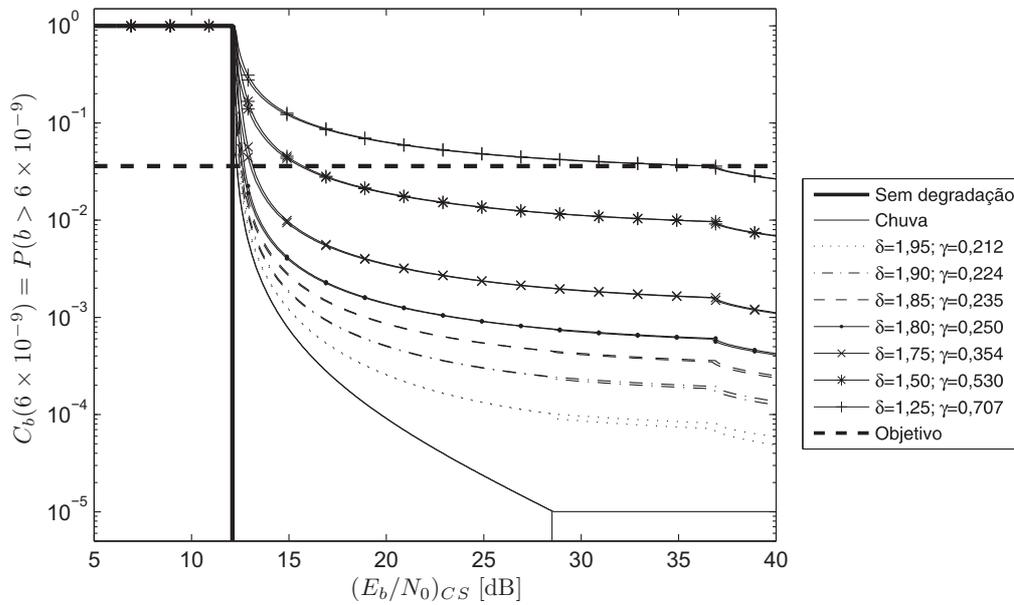


Figura 4.23: Dimensionamento pelo critério da taxa de erro de bit (terceiro ponto da máscara): $C_b(6 \times 10^{-9}) < 3,6 \times 10^{-2}$ - Cenário 3: $R_b = 6848$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

No Cenário 3, os objetivos de desempenho relacionados a ESR, SESR e BBER são os mesmos dos cenários anteriores. No entanto, como pode ser observado nas figuras 4.24 a 4.26, o desempenho do sistema sofre um deslocamento para a direita em relação ao do Cenário 1. Por isso, as restrições à operação são ligeiramente maiores neste cenário.

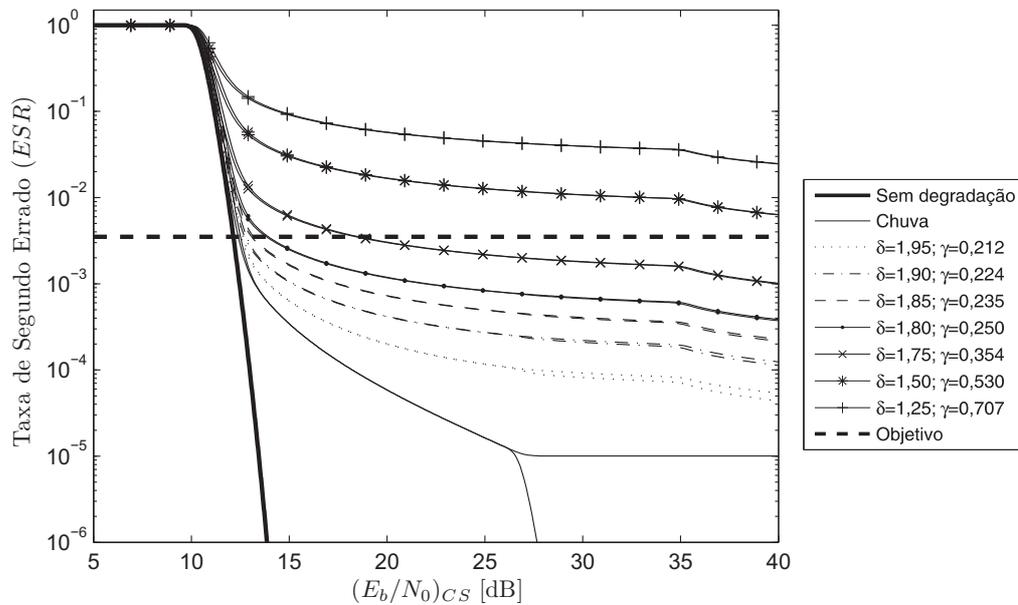


Figura 4.24: Dimensionamento pelo critério da taxa de segundo errado: $ESR < 3,5 \times 10^{-3}$ - Cenário 3: $R_b = 6848$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

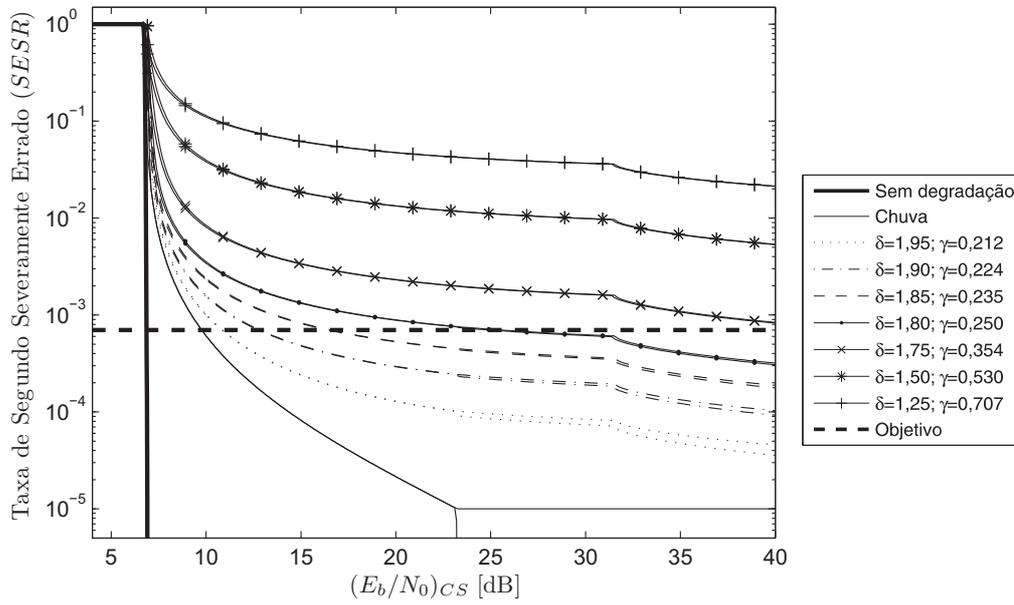


Figura 4.25: Dimensionamento pelo critério da taxa de segundo severamente errado: $SEER < 7 \times 10^{-4}$ - Cenário 3: $R_b = 6848$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

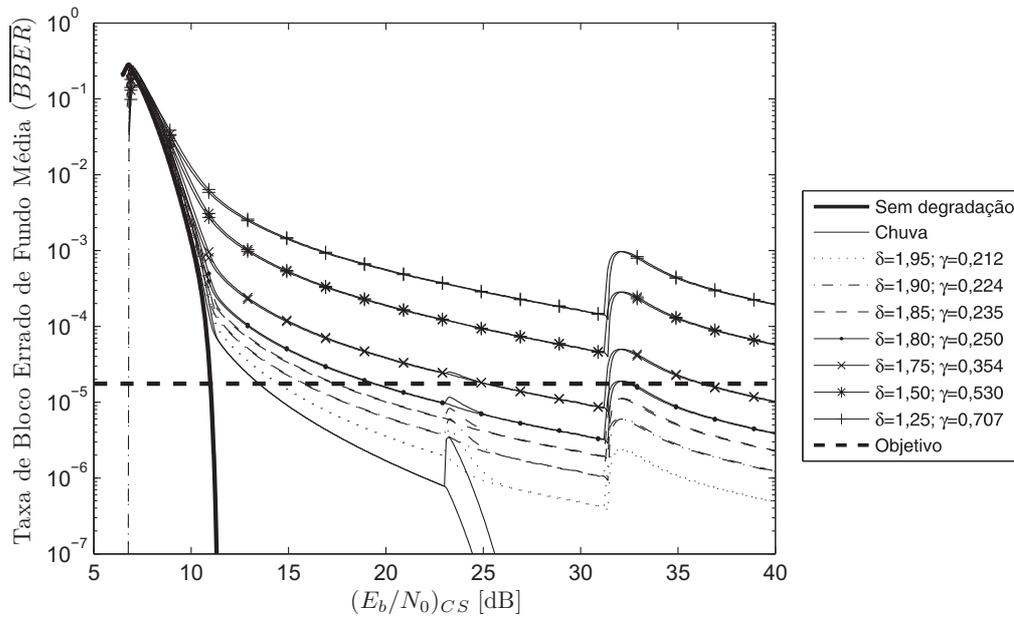


Figura 4.26: Dimensionamento pelo critério da taxa de bloco errado de fundo: $BBER < 1,75 \times 10^{-5}$ - Cenário 3: $R_b = 6848$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

O resumo dos dimensionamentos da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ no Cenário 3 para cada objetivo estabelecido para os parâmetros de desempenho está presente na Tabela 4.6. Note que, apesar do aumento dos valores necessários para cumprimento dos objetivos em termos de ESR, SESR e BBER, as restrições impostas à FDPC da BER permanecem mais significativas.

Tabela 4.6: Dimensionamento da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ mínima para o Cenário 3: $R_b = 6848$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

Parâmetros do erro de apontamento	$C_b(10^{-8})$ $< 3,6 \times 10^{-4}$	$C_b(7 \times 10^{-9})$ $< 5,4 \times 10^{-3}$	$C_b(6 \times 10^{-9})$ $< 3,6 \times 10^{-2}$
Apenas chuva	16,2	12,9	12,3
$\delta = 1,95; \gamma = 0,212$	18,3	13,2	12,5
$\delta = 1,90; \gamma = 0,224$	22,8	13,4	12,6
$\delta = 1,85; \gamma = 0,235$	36,5	13,8	12,6
$\delta = 1,80; \gamma = 0,250$	> 40	14,3	12,7
$\delta = 1,75; \gamma = 0,354$	> 40	17,1	13,2
$\delta = 1,50; \gamma = 0,530$	> 40	> 40	15,7
$\delta = 1,25; \gamma = 0,707$	> 40	> 40	36,9
Parâmetros do erro de apontamento	<i>ESR</i> $< 3,5 \times 10^{-3}$	<i>SESR</i> $< 7 \times 10^{-4}$	<i>BBER</i> $< 1,75 \times 10^{-5}$
Apenas chuva	12,5	9,8	13,5
$\delta = 1,95; \gamma = 0,212$	12,7	10,9	14,5
$\delta = 1,90; \gamma = 0,224$	12,8	12,8	15,8
$\delta = 1,85; \gamma = 0,235$	13,2	16,5	17,4
$\delta = 1,80; \gamma = 0,250$	14,0	25,5	19,5
$\delta = 1,75; \gamma = 0,354$	18,6	> 40	25,1
$\delta = 1,50; \gamma = 0,530$	> 40	> 40	> 40
$\delta = 1,25; \gamma = 0,707$	> 40	> 40	> 40

Cenário 4: Diâmetro da antena $d = 0,30$ m e taxa de bits $R_b = 48960$ kbit/s.

Neste cenário, a taxa de bits é aumentada para $R_b = 48960$ kbits/s. Assim, além do aumento do comprimento do bloco para $N_B = 6120$ bits, a taxa de blocos é ampliada para $n = 8000$ blocos/s.

Com essa configuração, novamente são alterados dois pontos da máscara da FDPC da BER, e mantido o ponto de maior valor, como pode ser observado na Tabela 4.2. Por isso, o dimensionamento segundo esse critério não será alterado com o aumento da taxa de bits. Nas figuras 4.27 a 4.29 são apresentadas as curvas de desempenho nos três pontos definidos em [5] para este cenário.

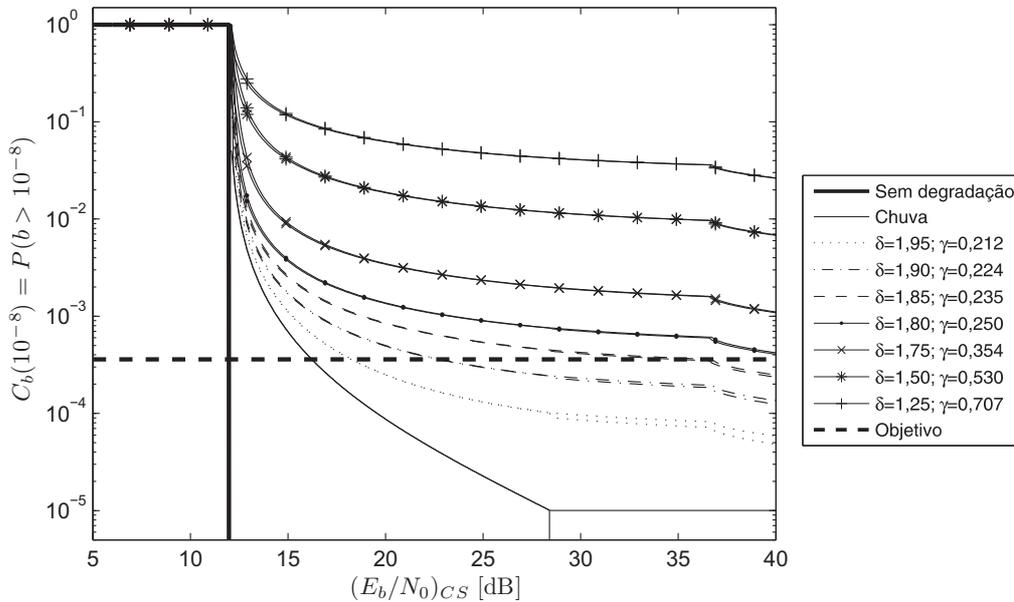


Figura 4.27: Dimensionamento pelo critério da taxa de erro de bit (primeiro ponto da máscara): $C_b(10^{-8}) < 3,6 \times 10^{-4}$ - Cenário 4: $R_b = 48960$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

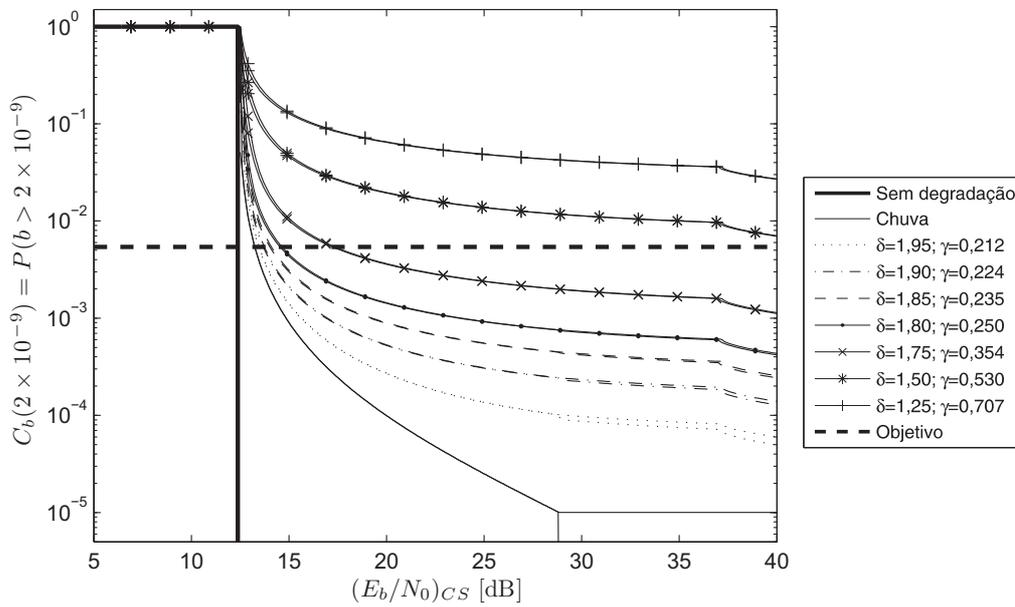


Figura 4.28: Dimensionamento pelo critério da taxa de erro de bit (segundo ponto da máscara): $C_b(2 \times 10^{-9}) < 5,4 \times 10^{-3}$ - Cenário 4: $R_b = 48960$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

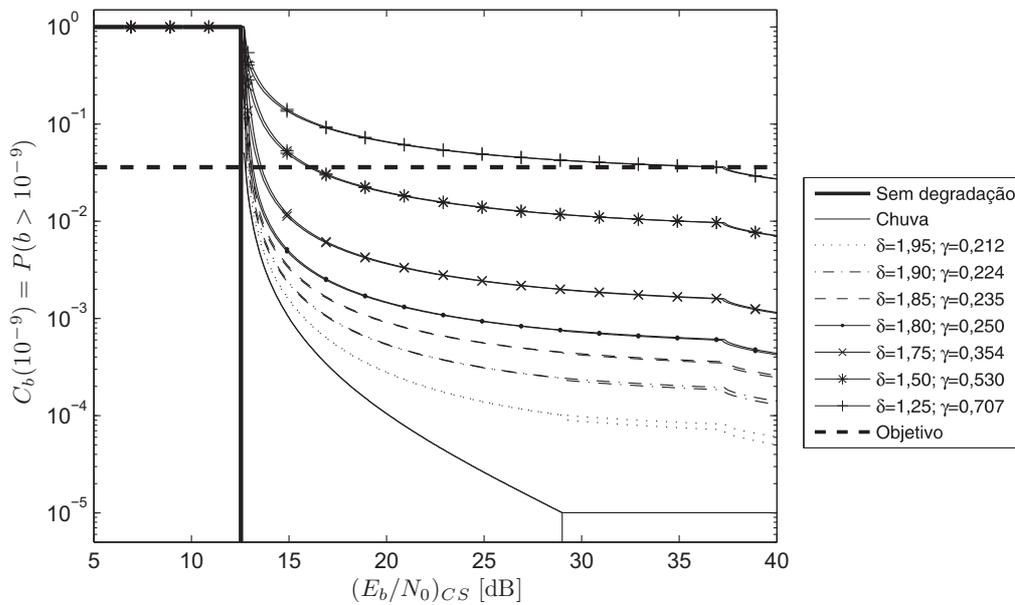


Figura 4.29: Dimensionamento pelo critério da taxa de erro de bit (terceiro ponto da máscara): $C_b(10^{-9}) < 3,6 \times 10^{-2}$ - Cenário 4: $R_b = 48960$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

As curvas de desempenho em termos de ESR, SESR e BBER para o Cenário 4 estão presentes nas figuras 4.30 a 4.32. Em relação aos cenários anteriores, todas as curvas sofrem um deslocamento para a direita. Porém, nenhum critério é mais restritivo que o primeiro ponto da máscara imposta para a FDPC da Taxa de Erro de Bit.

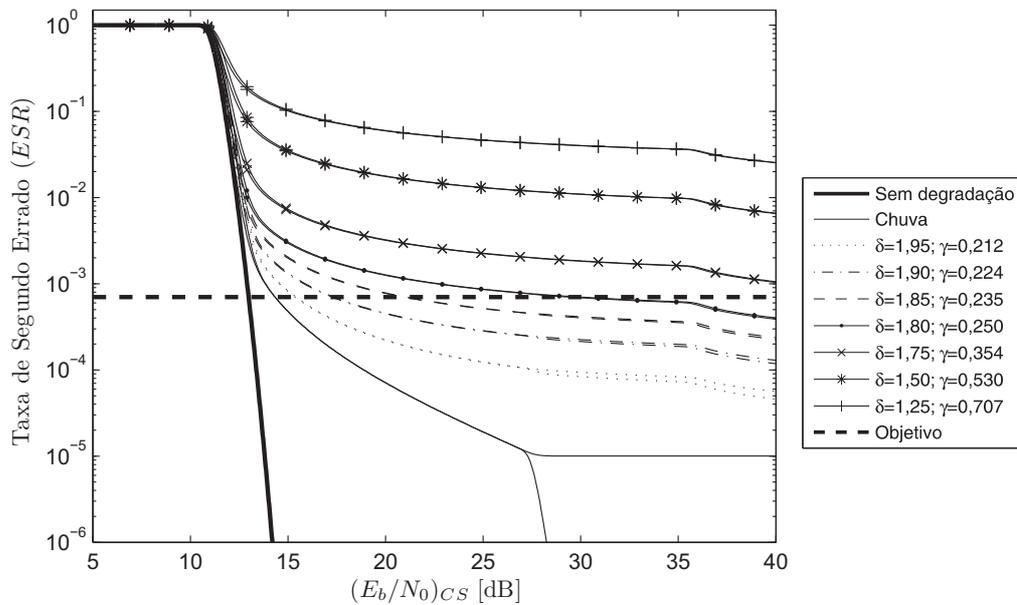


Figura 4.30: Dimensionamento pelo critério da taxa de segundo errado: $ESR < 7 \times 10^{-3}$ - Cenário 4: $R_b = 48960$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

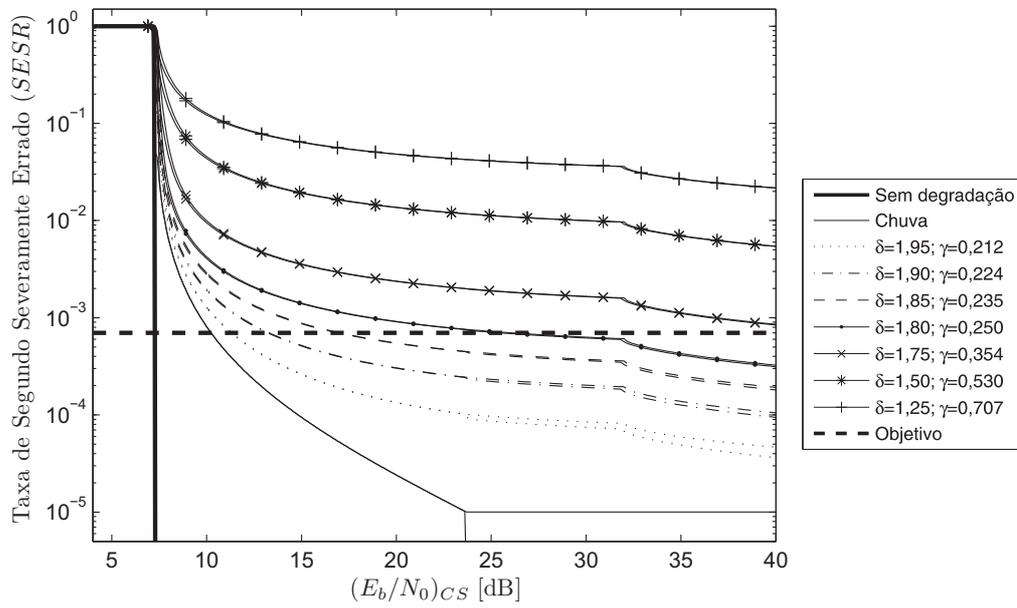


Figura 4.31: Dimensionamento pelo critério da taxa de segundo severamente errado: $SESR < 7 \times 10^{-4}$ - Cenário 4: $R_b = 48960$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

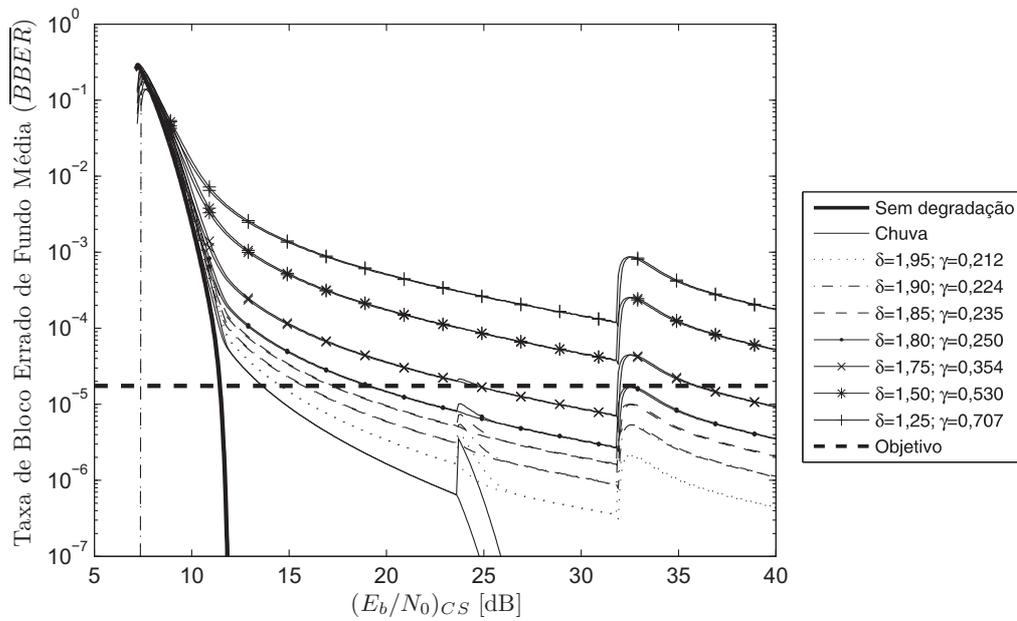


Figura 4.32: Dimensionamento pelo critério da taxa de bloco errado de fundo: $BBER < 1,75 \times 10^{-5}$ - Cenário 4: $R_b = 48960$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

A Tabela 4.7 contém o resumo dos dimensionamentos da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ para cumprimento dos objetivos estabelecidos para cada parâmetro de desempenho quando o sistema estiver operando no Cenário 4.

Tabela 4.7: Dimensionamento da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ mínima para o Cenário 4: $R_b = 48960$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

Parâmetros do erro de apontamento	$C_b(10^{-8})$ $< 3,6 \times 10^{-4}$	$C_b(2 \times 10^{-9})$ $< 5,4 \times 10^{-3}$	$C_b(10^{-9})$ $< 3,6 \times 10^{-2}$
Apenas chuva	16,2	13,3	12,8
$\delta = 1,95; \gamma = 0,212$	18,3	13,5	13,0
$\delta = 1,90; \gamma = 0,224$	22,8	13,7	13,0
$\delta = 1,85; \gamma = 0,235$	36,5	14,1	13,1
$\delta = 1,80; \gamma = 0,250$	> 40	14,6	13,2
$\delta = 1,75; \gamma = 0,354$	> 40	17,4	13,6
$\delta = 1,50; \gamma = 0,530$	> 40	> 40	16,2
$\delta = 1,25; \gamma = 0,707$	> 40	> 40	37,3
Parâmetros do erro de apontamento	ESR $< 7 \times 10^{-3}$	$SESR$ $< 7 \times 10^{-4}$	$BBER$ $< 1,75 \times 10^{-5}$
Apenas chuva	14,3	10,2	13,6
$\delta = 1,95; \gamma = 0,212$	15,4	11,3	14,6
$\delta = 1,90; \gamma = 0,224$	17,4	13,3	15,8
$\delta = 1,85; \gamma = 0,235$	21,0	17,0	17,3
$\delta = 1,80; \gamma = 0,250$	30,0	26,0	19,1
$\delta = 1,75; \gamma = 0,354$	> 40	> 40	24,7
$\delta = 1,50; \gamma = 0,530$	> 40	> 40	> 40
$\delta = 1,25; \gamma = 0,707$	> 40	> 40	> 40

Cenário 5: Diâmetro da antena $d = 0,30$ m e taxa de bits $R_b = 150336$ kbit/s.

O aumento expressivo da taxa de bits para $R_b = 150336$ kbits/s é analisado neste cenário. O comprimento do bloco é ampliado para $N_B = 18792$ bits e a taxa de blocos é mantida em $n = 8000$ blocos/s.

Assim como nos cenários anteriores, o ponto mais significativo da máscara imposta à FDPC da BER é mantido em $C_b(10^{-8}) < 3,6 \times 10^{-4}$. Em relação ao cenário anterior, apenas o menor ponto da máscara é alterado. As figuras 4.33 a 4.35 apresentam as curvas de desempenho nos três pontos da máscara descrita na Tabela 4.2.

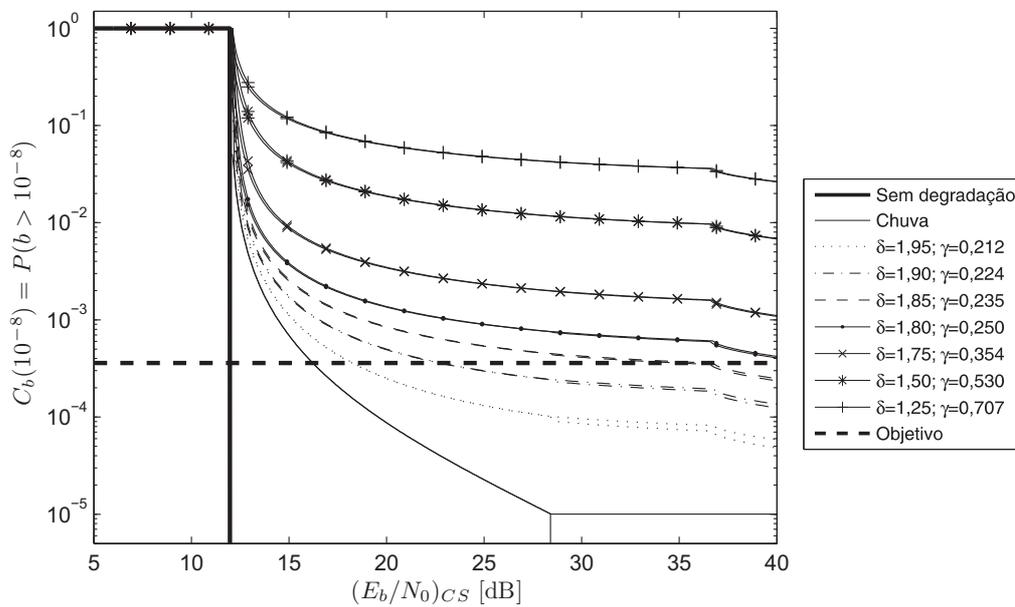


Figura 4.33: Dimensionamento pelo critério da taxa de erro de bit (primeiro ponto da máscara): $C_b(10^{-8}) < 3,6 \times 10^{-4}$ - Cenário 5: $R_b = 150336$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

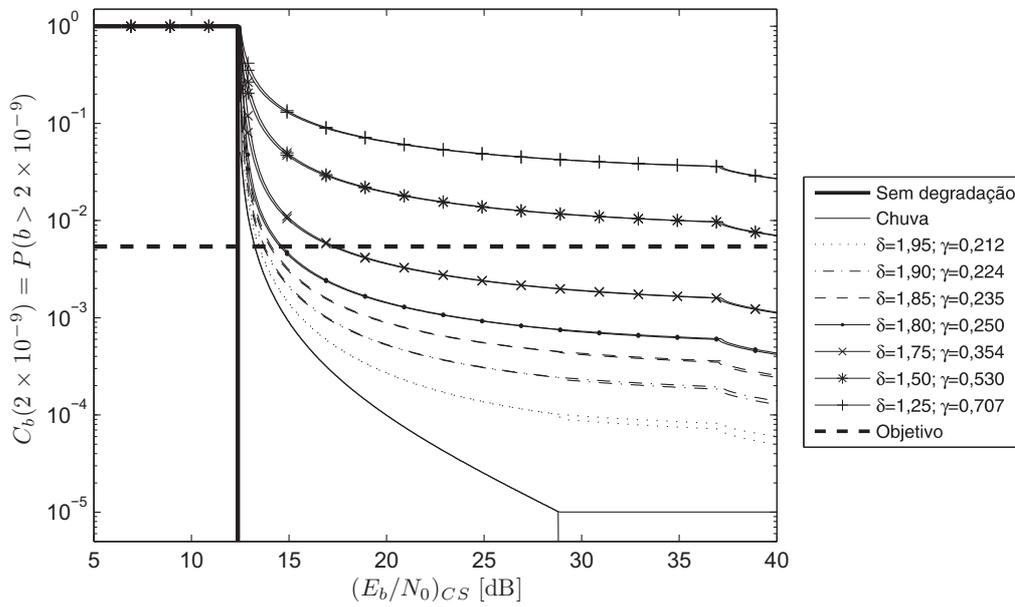


Figura 4.34: Dimensionamento pelo critério da taxa de erro de bit (segundo ponto da máscara): $C_b(2 \times 10^{-9}) < 5,4 \times 10^{-3}$ - Cenário 5: $R_b = 150336$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

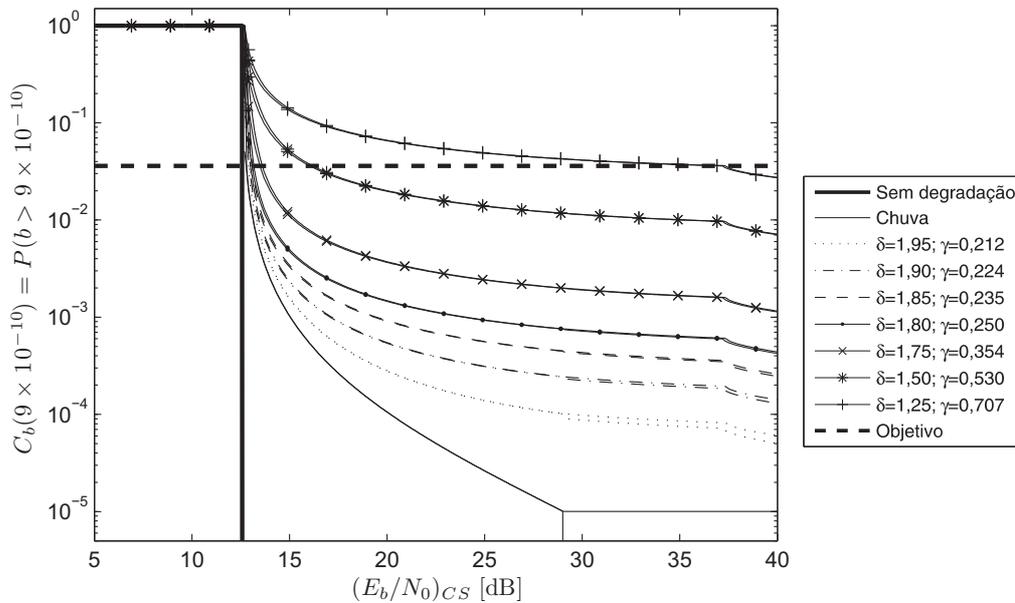


Figura 4.35: Dimensionamento pelo critério da taxa de erro de bit (terceiro ponto da máscara): $C_b(9 \times 10^{-10}) < 3,6 \times 10^{-2}$ - Cenário 5: $R_b = 150336$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

Novamente, as curvas de desempenho em termos de ESR, SESR e BBER são deslocadas para a direita com o aumento da taxa de bits, como pode ser observado nas figuras 4.36 a 4.38. Neste cenário, há redução das restrições impostas a alguns desses parâmetros de desempenho, como pode ser observado na Tabela 4.3. Assim, o primeiro ponto da máscara da FDPC da BER permanece mais restritivo que todos os demais critérios.

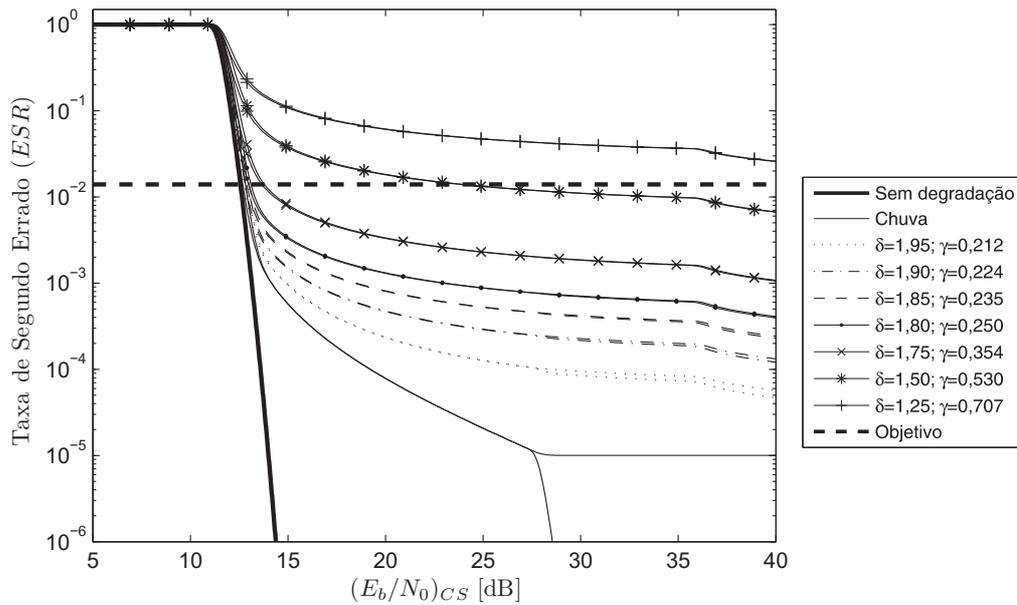


Figura 4.36: Dimensionamento pelo critério da taxa de segundo errado: $ESR < 1,4 \times 10^{-2}$ - Cenário 5: $R_b = 150336$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

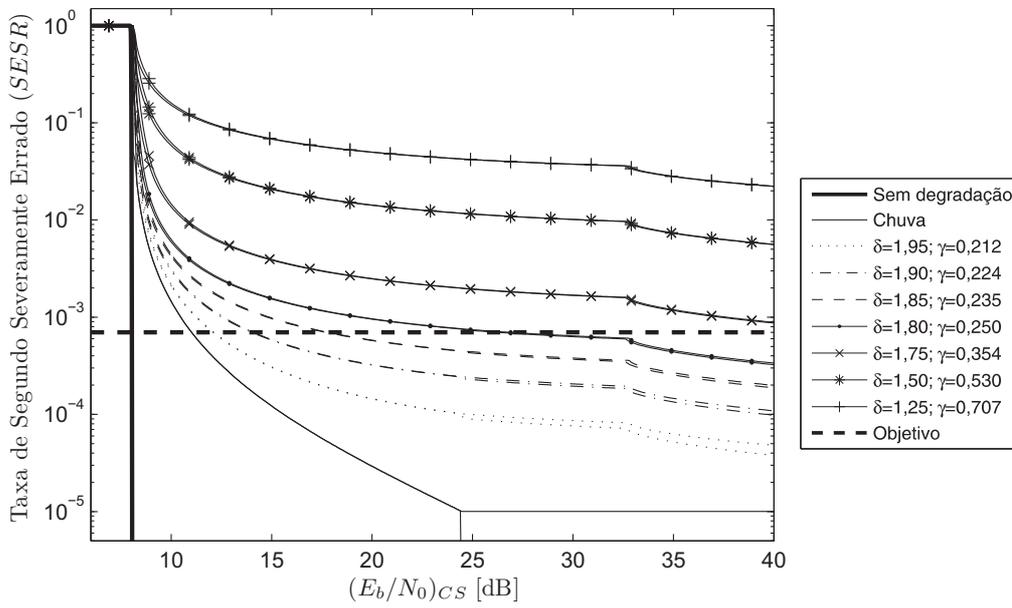


Figura 4.37: Dimensionamento pelo critério da taxa de segundo severamente errado: $SESR < 7 \times 10^{-4}$ - Cenário 5: $R_b = 150336$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

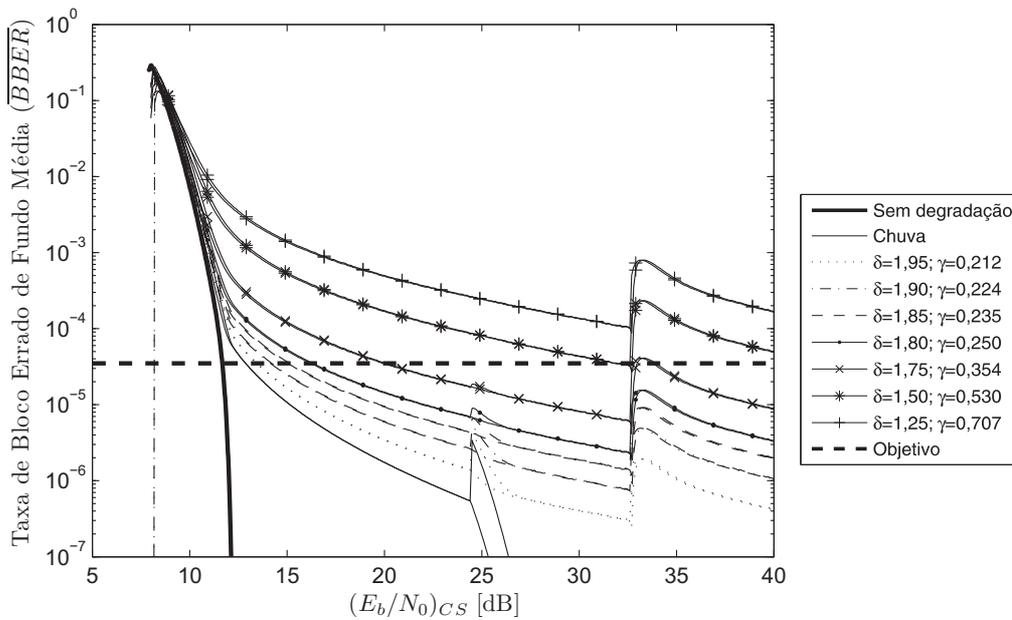


Figura 4.38: Dimensionamento pelo critério da taxa de bloco errado de fundo: $BBER < 3,5 \times 10^{-5}$ - Cenário 5: $R_b = 150336$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

As razões $(E_b/N_0)_{CS}$ mínimas para cumprimento dos objetivos de desempenho definidos para cada parâmetro no Cenário 5 são apresentadas na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Dimensionamento da razão $(E_b/N_0)_{CS}$ mínima para o Cenário 5: $R_b = 150336$ kbit/s e $d = 0,30$ m.

Parâmetros do erro de apontamento	$C_b(10^{-8})$ $< 3,6 \times 10^{-4}$	$C_b(2 \times 10^{-9})$ $< 5,4 \times 10^{-3}$	$C_b(9 \times 10^{-10})$ $< 3,6 \times 10^{-2}$
Apenas chuva	16,2	13,3	12,8
$\delta = 1,95; \gamma = 0,212$	18,3	13,5	13,0
$\delta = 1,90; \gamma = 0,224$	22,8	13,7	13,0
$\delta = 1,85; \gamma = 0,235$	36,5	14,1	13,1
$\delta = 1,80; \gamma = 0,250$	> 40	14,6	13,2
$\delta = 1,75; \gamma = 0,354$	> 40	17,4	13,6
$\delta = 1,50; \gamma = 0,530$	> 40	> 40	16,2
$\delta = 1,25; \gamma = 0,707$	> 40	> 40	37,3
Parâmetros do erro de apontamento	<i>ESR</i> $< 1,4 \times 10^{-2}$	<i>SESR</i> $< 7 \times 10^{-4}$	<i>BBER</i> $< 3,5 \times 10^{-5}$
Apenas chuva	14,3	10,2	13,6
$\delta = 1,95; \gamma = 0,212$	15,4	11,3	14,6
$\delta = 1,90; \gamma = 0,224$	17,4	13,3	15,8
$\delta = 1,85; \gamma = 0,235$	21,0	17,0	17,3
$\delta = 1,80; \gamma = 0,250$	30,0	26,0	19,1
$\delta = 1,75; \gamma = 0,354$	> 40	> 40	24,7
$\delta = 1,50; \gamma = 0,530$	> 40	> 40	> 40
$\delta = 1,25; \gamma = 0,707$	> 40	> 40	> 40