

4 Resultados Numéricos

Neste capítulo, a função distribuição de probabilidade $F_{c/i}(\alpha)$, que caracteriza o comportamento estatístico da razão *portadora - interferência agregada*, e cuja expressão analítica foi desenvolvida no Capítulo 3, é determinada para três situações (cenários) envolvendo satélites geoestacionários multi-feixe operando na Banda Ka.

Conforme ilustrado na Figura 4.1, neste tipo de sistema a comunicação é feita utilizando-se dois tipos de enlace: um enlace direto (*forward link*), correspondente a transmissões das estações do tipo *gateway* para os terminais de usuários, e um enlace reverso (*return link*), correspondente a transmissões dos terminais de usuários para as estações *gateway*.

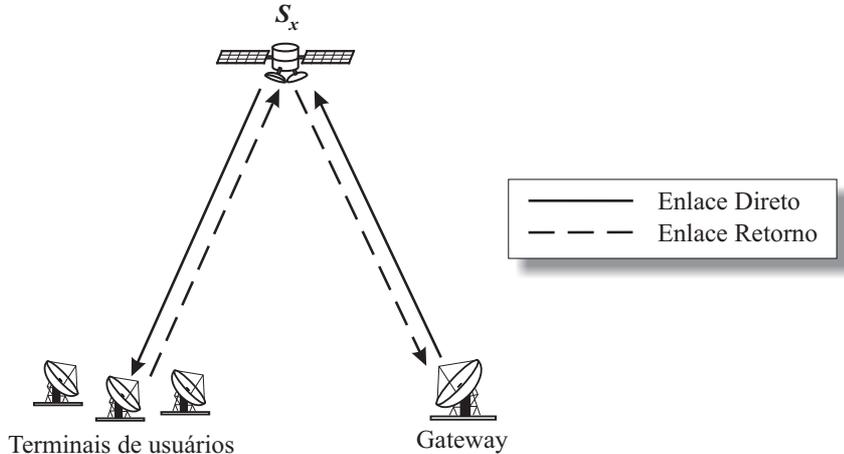


Figura 4.1: Enlace Direto e Enlace Reverso

As áreas de serviço dos sistemas multi-feixe considerados são definidas por feixes circulares com 0.7 graus de abertura, com re-uso de frequência do tipo “quatro cores”, conforme ilustrado na Figura 4.2. Nesta figura feixes da mesma cor operam na mesma faixa de frequência.

É importante observar ainda que nesses sistemas as estações *gateway* possuem a capacidade de operar em qualquer faixa de frequências, independentemente

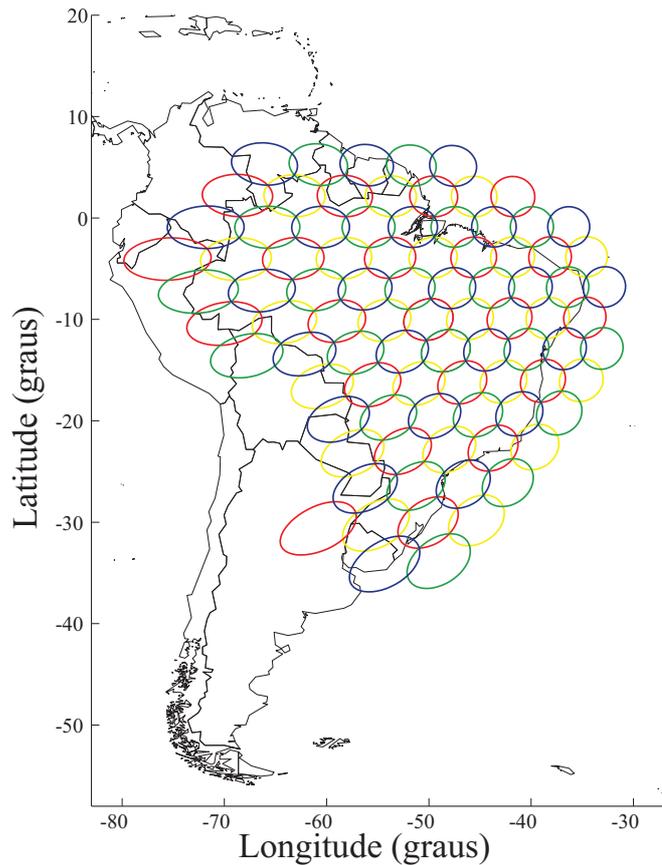


Figura 4.2: Diagrama de cobertura de feixes com código de quatro cores.

de sua cor. Cada um dos cenários considerados é descrito a seguir.

Cenário I

Neste cenário, apenas dois sistemas são considerados: um sistema vítima, com satélite S_V e um sistema interferente, com satélite S_1 ($N = 1$). A separação orbital entre os dois satélites é tomada igual a 2 graus. O comportamento estatístico da razão portadora interferência agregada correspondente à interferência produzida por 9 enlaces do sistema interferente ($M_1 = 9$) sobre o enlace do sistema vítima é determinado nas seções 4.1 a 4.3.

As figuras 4.3 e 4.4 ilustram, respectivamente, os feixes correspondentes aos nove enlaces interferentes e os feixes correspondentes ao enlace vítima. Note que os feixes de subida e descida dos nove enlaces interferentes foram escolhidos respectivamente como os vizinhos mais próximos dos feixes de subida e descida do enlace vítima (operando na mesma faixa de frequências). Nos casos em que as posições das estações terrenas dos enlaces interferentes foram consideradas não aleatórias, estas estações foram colocadas

nas posições mais desfavoráveis (em termos de interferência) de suas área de serviço. Em todos os casos analisados, as estações terrenas transmissora e receptora do sistema vítima foram colocadas no centro de suas áreas de serviço.

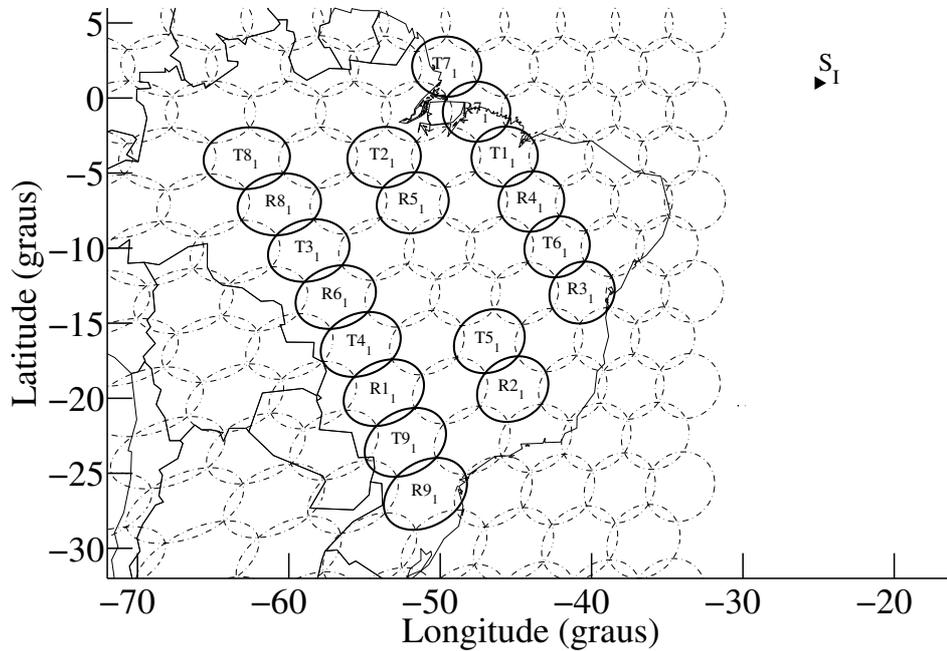


Figura 4.3: Localização das estações terrenas dos feixes do sistema interferente S_1 .

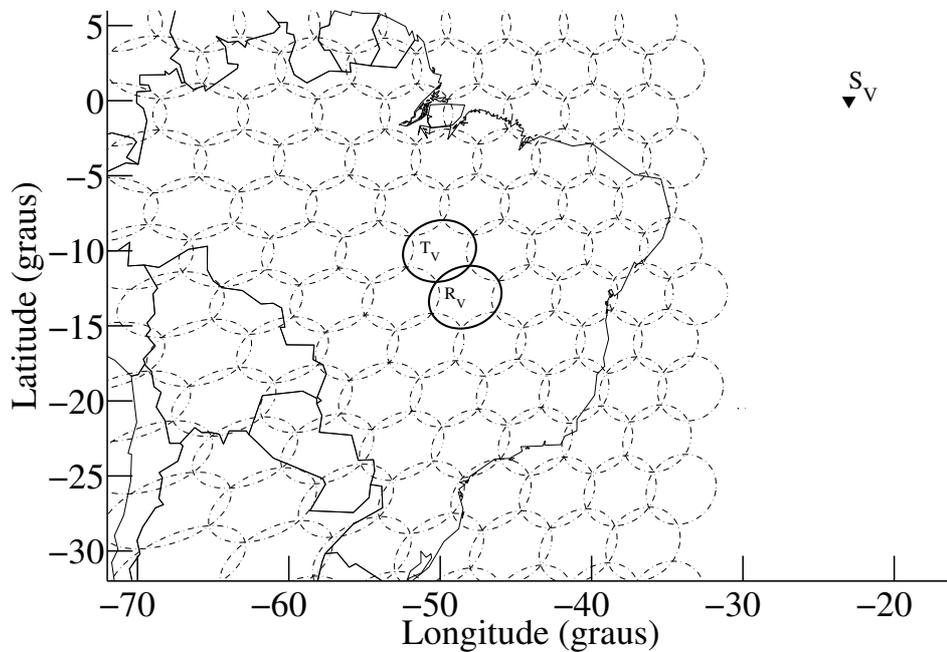


Figura 4.4: Localização das estações terrenas dos feixes do sistema vítima S_V .

Os percursos das interferências nos lances de subida e descida são ilustrados nas figuras 4.5 e 4.6, respectivamente.

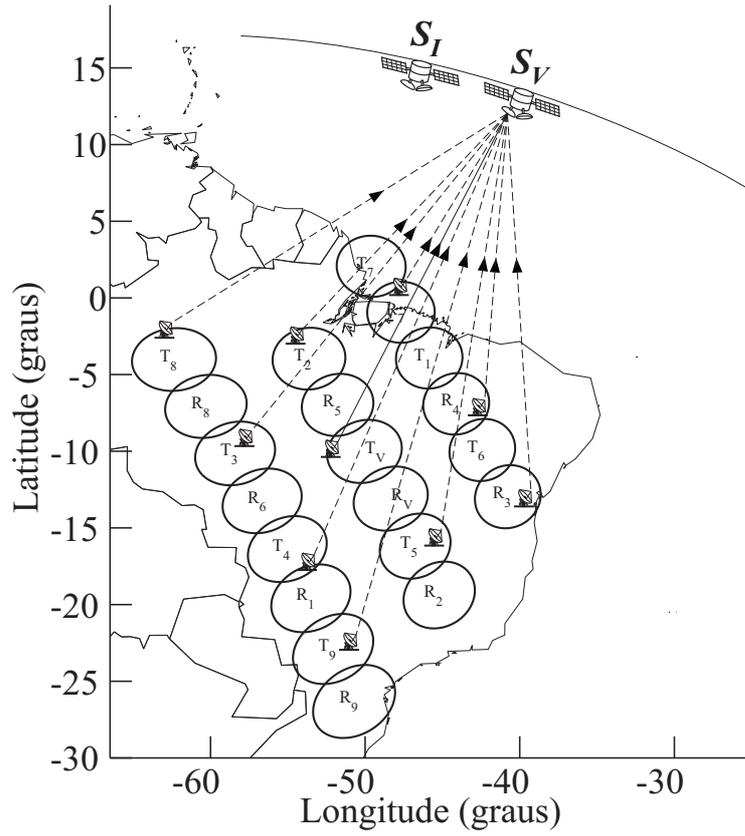


Figura 4.5: Percurso de interferência no lance de subida.

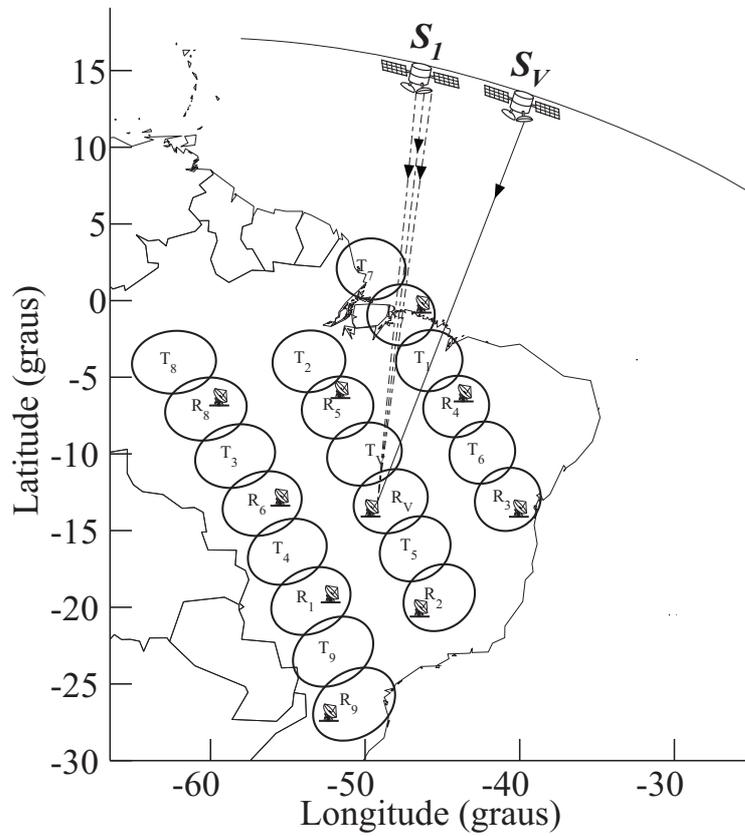


Figura 4.6: Percurso de interferência no lance de descida (Cenário I).

Cenário II

Neste cenário, três sistemas são considerados: um sistema vítima, com satélite S_V e dois sistemas interferentes S_1 e S_2 , cujas posições orbitais estão colocadas uma de cada lado da posição orbital do satélite do sistema vítima ($N = 2$). A separação orbital entre cada um dos satélites interferentes e o satélite vítima é tomada igual a 2 graus. O comportamento estatístico da razão portadora interferência agregada correspondente à interferência produzida por 18 enlaces ($M_1 = 9, M_2 = 9$) sobre o enlace do sistema vítima é determinado nas seções 4.1 a 4.3.

Como no Cenário I, os feixes correspondentes aos nove enlaces interferentes do sistema S_1 e os feixes correspondentes ao enlace vítima são os indicados nas figuras 4.3 e 4.4. Os feixes correspondentes aos nove enlaces interferentes do sistema S_2 estão ilustrados na Figura 4.7. Note que os feixes de subida e descida dos dezoito enlaces interferentes foram escolhidos como os vizinhos mais próximos (operando na mesma faixa de frequências) dos feixes de subida e descida do enlace vítima. Nos casos em que as posições das estações terrenas dos enlaces interferentes foram consideradas não aleatórias, estas estações foram colocadas nas posições mais desfavoráveis (em termos de interferência) de suas áreas de serviço. Em todos os casos analisados, as estações terrenas transmissora e receptora do sistema vítima foram colocadas no centro de suas áreas de serviço.

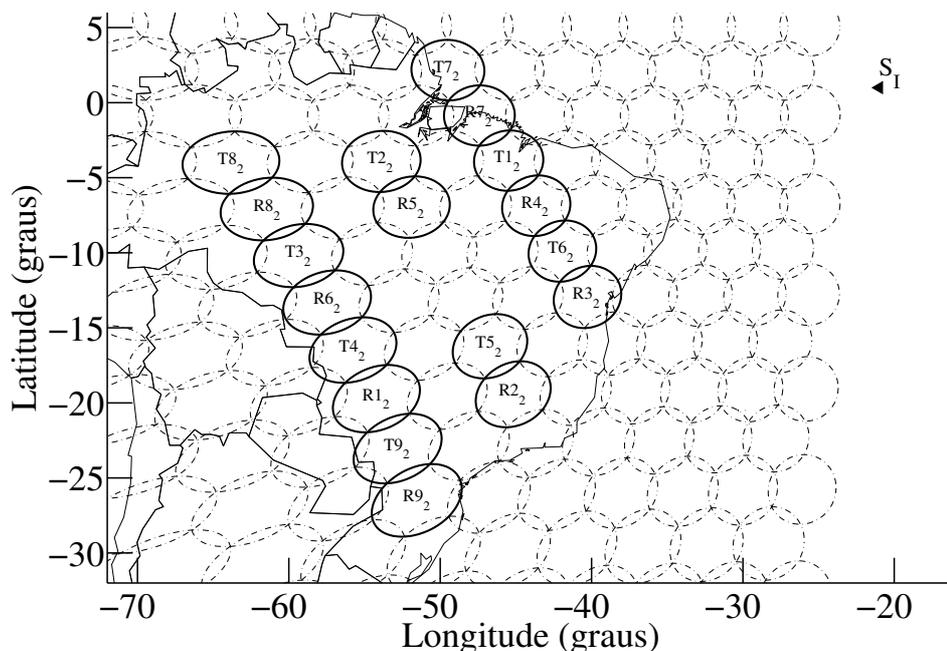


Figura 4.7: Localização das estações terrenas dos feixes do sistema interferente S_2 .

Os percursos das interferências nos lances de subida, correspondentes a cada um dos sistemas interferentes são análogos àqueles ilustrados na Figura 4.5, enquanto que os percursos de interferência correspondentes aos lances de descida são ilustrados na Figuras 4.8. 4.8.

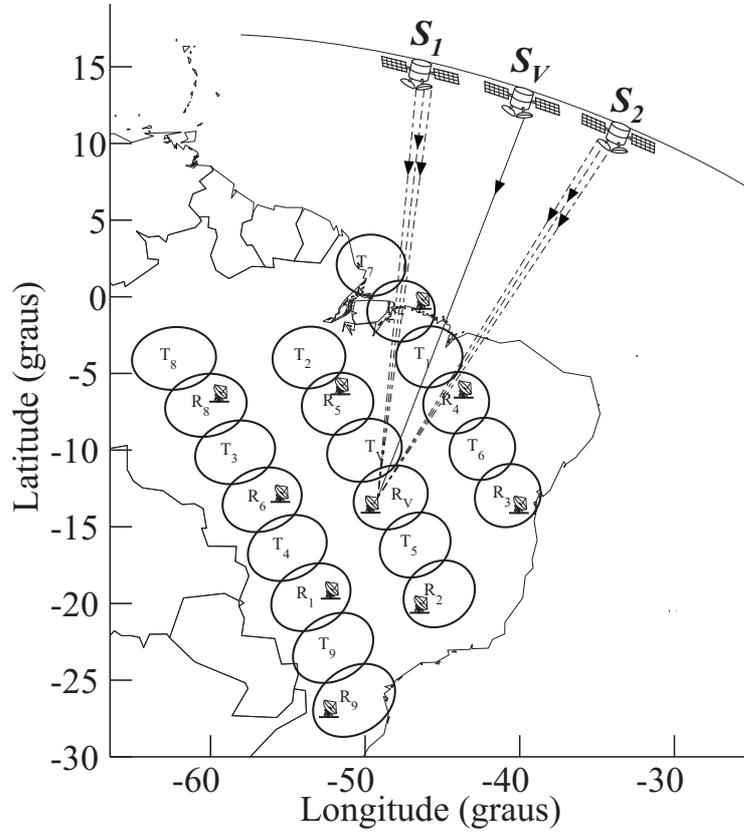


Figura 4.8: Percurso de interferência no lance de descida (Cenário II).

Cenário III

Neste cenário, cinco sistemas são considerados: um sistema vítima, com satélite S_V e quatro sistemas interferentes S_1 , S_2 , S_3 e S_4 . Dois destes sistemas estão colocados à direita e dois à esquerda da posição orbital do sistema vítima ($N = 4$). A separação orbital entre satélites vizinhos é tomada igual a 2 graus. O comportamento estatístico da razão portadora interferência agregada correspondente à interferência produzida por 36 enlaces ($M_1 = M_2 = M_3 = M_4 = 9$) sobre o enlace do sistema vítima é determinado nas seções 4.1 a 4.3.

Como no Cenário I, os feixes correspondentes aos nove enlaces interferentes do sistema S_1 e os feixes correspondentes ao enlace vítima são os indicados nas figuras 4.3 e 4.4. Os feixes correspondentes aos nove enlaces interferentes do sistema S_2 são os mesmos do Cenário II e estão ilustrados na Figura 4.7. Os feixes correspondentes aos nove enlaces interferentes do sistema S_3 e aos nove enlaces interferentes do sistema S_4 estão ilustrados, respectivamente, nas figura 4.10 e 4.9. Note que, como nos cenários anteriores, os feixes de subida e descida dos trinta e seis enlaces interferentes foram escolhidos como os vizinhos mais próximos (operando na mesma faixa de frequências) dos feixes de subida e descida do enlace vítima. Nos casos em que as posições das estações terrenas dos enlaces interferentes foram consideradas não aleatórias, estas estações foram colocadas nas posições mais desfavoráveis (em termos de interferência) de suas área de serviço. Em todos os casos analisados, as estações terrenas transmissora e receptora do sistema vítima foram colocadas no centro de suas áreas de serviço.

Os percursos das interferências nos lances de subida, correspondentes a cada um dos sistemas interferentes são análogos àqueles ilustrados na Figura 4.5, enquanto que os percursos de interferência correspondentes aos lances de descida são ilustrados na Figura 4.11.

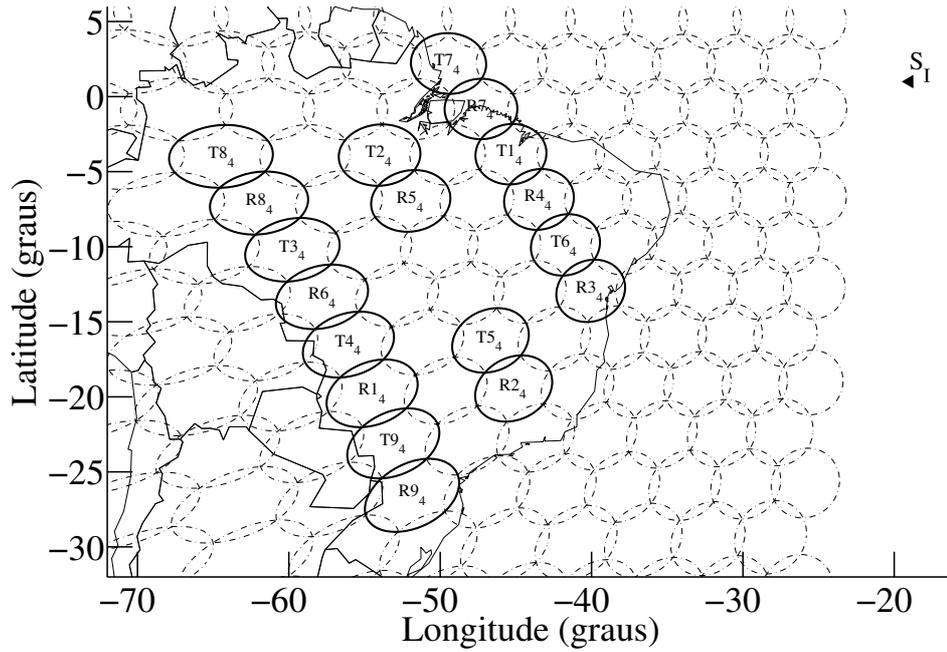


Figura 4.9: Localização das estações terrenas dos feixes do sistema interferente S_3 .

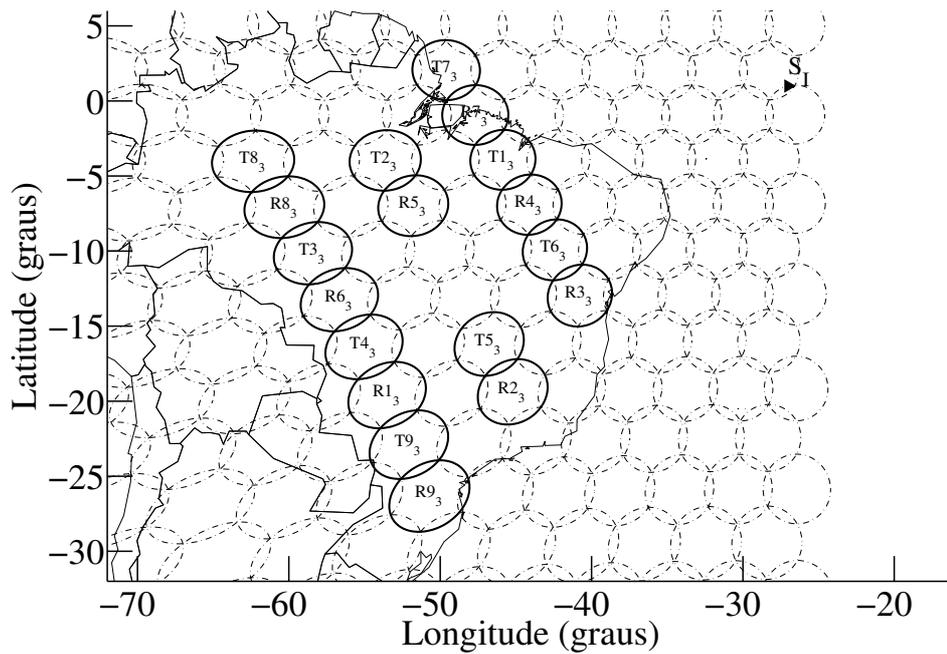


Figura 4.10: Localização das estações terrenas dos feixes do sistema interferente S_4 .

Em todos os cenários descritos os sistemas envolvidos foram considerados homogêneos tendo como parâmetros de seus enlaces direto e reverso, aqueles apresentados nas tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente.

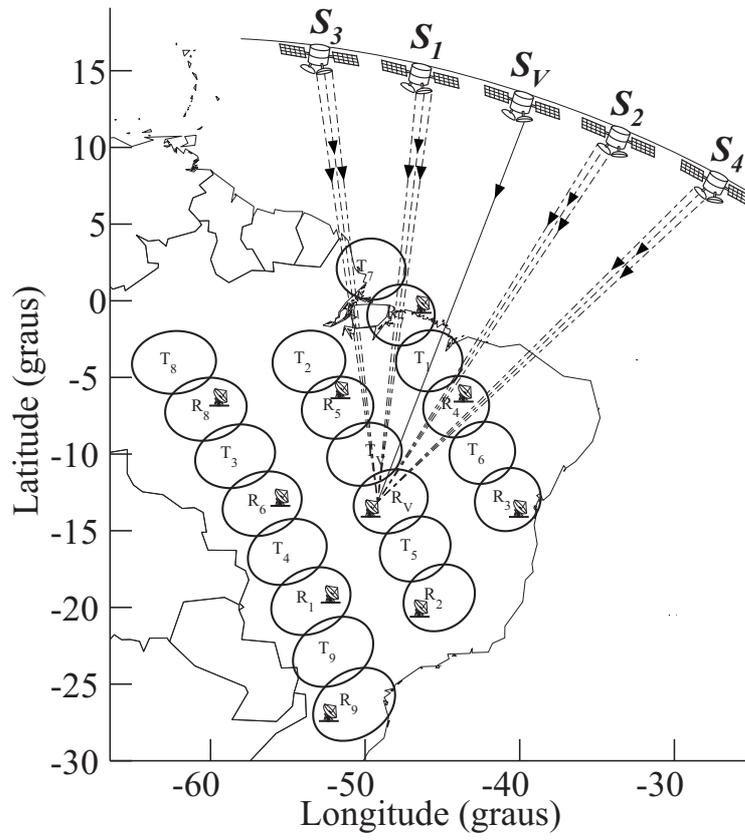


Figura 4.11: Percurso de interferência no lance de descida (Cenário II).

Tabela 4.1: Parâmetros do Enlace Direto.

Lance de subida (Up-Link)	
frequência [GHz]	28.75
diâmetro da antena da estação terrena transmissora [m]	13
ganho máximo da antena da estação terrena transmissora [dBi]	69.26
potência da estação transmissora [dBW]	23
margem para atenuação por chuva [dB]	13
atenuação atmosférica [dB]	3
temperatura de ruído do satélite [K]	500
ganho máximo da antena de receptor do satélite [dBi]	47.97
Lance de descida (Down-Link)	
frequência [GHz]	19.2
diâmetro da antena da estação terrena receptora [m]	1.2
ganho máxima da antena da estação terrena receptora [dBi]	45.05
potência em receptor do satélite [dBW]	21.14
bade off [dB]	3
margem para atenuação por chuva [dB]	10.84
atenuação atmosférica [dB]	3
temperatura de ruído do receptor [K]	241
ganho máximo da antena de transmissão do satélite [dBi]	51.47

Tabela 4.2: Parâmetros de Enlace Reverso.

Lance de subida (Up-Link)	
frequência [GHz]	29.5
diâmetro da antena da estação terrena transmissora [m]	1.2
ganho máximo da antena da estação terrena transmissora [dBi]	48.78
potência da estação transmissora [dBW]	16.0206
margem para atenuação por chuva [dB]	10
atenuação atmosférica [dB]	3
temperatura de ruído do satélite [K]	500
ganho máximo da antena de receptor do satélite [dBi]	51.47
Lance de descida (Down-Link)	
frequência [GHz]	18.7
diâmetro da antena da estação terrena receptora [m]	13
ganho máxima da antena da estação terrena receptora [dBi]	65.52
potência em receptor do satélite [dBW]	18
bade off [dB]	3
margem para atenuação por chuva [dB]	8
atenuação atmosférica [dB]	3
temperatura de ruído do receptor [K]	26914.67
ganho máximo da antena de transmissão do satélite [dBi]	47.97

Além disso o diagrama de radiação utilizado para as antenas correspondentes aos feixes de 0.7° dos satélites é aquele apresentado na Recomendação ITU-R S.1528 [20], dado por,

$$G(\Psi) = \begin{cases} G_m - 14.5(\Psi)^{1.5} \text{ dBi} & ; \quad 0^\circ \leq \Psi \leq 0.903^\circ \\ G_m - 15 \text{ dBi} & ; \quad 0.903^\circ < \Psi \leq 2.212^\circ \\ G_m - 6.38 - 25 \log(\Psi) \text{ dBi} & ; \quad 2.212^\circ < \Psi \leq \Psi_0 \\ 0 \text{ dBi} & ; \quad \Psi_0 < \Psi \leq 90 \\ G_m/4 \text{ dBi} & ; \quad 90 < \Psi \leq 180 \end{cases} \quad (4-1)$$

com

$$\Psi_0 = 2.212 \times 10^{0.04(G_m - 15)} \quad (4-2)$$

O ganho máximo G_m foi tomado igual a 51.47 dBi no caso da antena de recepção do satélite no enlace reverso e da antena de transmissão do satélite no enlace direto. No caso da antena de recepção do satélite no enlace direto e da antena de transmissão do satélite no enlace reverso, G_m foi tomado igual a 47.97 dBi.

Nas situações onde os ganhos das antenas das estações terrenas não são considerados aleatórios, utilizou-se como diagrama de radiação aquele apresentado na Recomendação ITU-R F.1245-1 [21]. Para antenas onde a razão entre o diâmetro da antena e o comprimento da onda é maior que 100 ($D/\lambda > 100$), o diagrama utilizado é dado por

$$G(\phi) = \begin{cases} G_m - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda}\phi\right)^2 & ; \quad 0^\circ \leq \phi < \phi_m \\ 2 + 15 \log(D/\lambda) & ; \quad \phi_m \leq \phi < \max(\phi_m, \phi_r) \\ 29 - 25 \log \phi & ; \quad \max(\phi_m, \phi_r) \leq \phi < 48^\circ \\ -13 & ; \quad 48^\circ \leq \phi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (4-3)$$

com

$$\phi_m = 20 \frac{\lambda}{D} \sqrt{G_m - G_1} \quad (4-4)$$

$$\phi_r = 12.02(D/\lambda)^{-0.6} \quad (4-5)$$

Para antenas com D/λ menor ou igual a 100 ($D/\lambda \leq 100$) o diagrama utilizado

é dado por

$$G(\phi) = \begin{cases} G_m - 2.5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda}\phi\right)^2 & ; \quad 0^\circ \leq \phi < \phi_m \\ 39 - 5 \log(D/\lambda) - 25 \log \phi & ; \quad \phi_m \leq \phi < 48^\circ \\ -13 & ; \quad 48^\circ \leq \phi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (4-6)$$

Em (4-3) e (4-6) os ganhos máximos G_m das antenas das estações terrenas foram tomados iguais aos apresentados nas tabelas 4.1 e 4.2.

Nos caso em que os ganhos das estações terrenas transmissoras são considerados como aleatórios, ou seja, quando estes ganhos são modelados pelas variáveis aleatórias x_{jm} , duas possibilidades são consideradas: se os ganhos correspondem a ganhos nos lóbulos laterais das antenas, as funções densidade de probabilidade das variáveis aleatórias x_{jm} são dadas por

$$p_{x_{jm}}(X) = \frac{(b_{jm})^{a_{jm}}}{\Gamma(a_{jm})} X^{(a_{jm}-1)} \exp(-b_{jm}X) \quad (4-7)$$

para os ganhos nas demais regiões da antena, a função densidade de probabilidade das variáveis aleatórias x_{jm} são dadas por

$$p_{x_{jm}}(X) = \delta(X - G_{jm}) \quad (4-8)$$

onde G_{jm} é o ganho calculado pelo diagrama de radiação em (4-3) ou (4-6).

De maneira análoga, quando y_j representa o ganho das estações terrenas receptoras na região correspondente aos seus lóbulos laterais, sua função densidade de probabilidade é dada por

$$p_{y_j}(Y) = \frac{(b_j)^{a_j}}{\Gamma(a_j)} Y^{(a_j-1)} \exp(-b_j Y) \quad (4-9)$$

para o ganho nas demais regiões da antena,

$$p_{y_j}(Y) = \delta(Y - G_j) \quad (4-10)$$

onde G_j é o ganho calculado pelo diagrama de radiação em (4-3) ou (4-6).

Em (4-7) e (4-9) a escolha da distribuição Gama para modelar os ganhos

das antenas na região de seus lóbulos laterais foi feita com base em resultados de um estudo amplo realizado para o Intelsat visando determinar a função densidade de probabilidade mais adequada para modelar os ganhos nos lóbulos laterais das antenas [18]. Neste estudo, que considerou medidas de diagrama de radiação de mais de 300 antenas, foram avaliadas as possibilidades de utilização de quatro possíveis densidades de probabilidade: exponencial, Rayleigh, Rice, Rice ao quadrado e Gama. A inclusão das densidades exponencial e Rice ao quadrado no estudo foi motivada pelos resultados em [15].

A motivação para utilizar a distribuição Gama no nosso trabalho decorreu da observação feita em [18] de que, para quase todos os dados experimentais considerados, o desvio padrão excede a média, ou seja, a razão desvio padrão-média, RDPM, maior que 1, o que não acontece com as três primeiras densidades de probabilidade consideradas. Um estudo recente [19], que avaliou o efeito da aleatoriedade dos ganhos nos lóbulos laterais das antenas no cálculo de interferências envolvendo sistemas via satélite, utilizou a função densidade de probabilidade Gama na modelagem dos ganhos das antenas.

Os parâmetros, a_{jm} e b_{jm} que aparecem em (4-7), foram definidos considerando-se diversos valores de RDPM e a condição

$$P(x_{jm} > G_{jm}) = 0.1 \quad (4-11)$$

com G_{jm} sendo o ganho da antena da estação terrena transmissora associada ao enlace m do sistema j , calculado por (4-3) ou (4-6), conforme o caso.

De maneira análoga os parâmetros, a_j e b_j que aparecem em (4-9), foram definidos considerando-se diversos valores de RDPM e a condição

$$P(y_j > G_j) = 0.1 \quad (4-12)$$

com G_j sendo o ganho da antena da estação terrena receptora do sistema j , calculado pelo diagrama de radiação em (4-3) ou (4-6), conforme o caso.

4.1

Resultados correspondentes à situação quando somente os ganhos das antenas das estações terrenas são considerados aleatórios

Neste caso, $p_z(Z)$ foi determinado utilizando (3-72) a (3-76) com $p_{x_{jm}}(X)$ e $p_{y_j}(Y)$ dados por (4-7) e (4-9). Esta situação particular, onde apenas os ganhos nos lóbulos laterais das antenas das estações terrenas são considerados aleatórios, foi analisada em detalhes em [19]. Como em [19], ao invés de implementar as convoluções múltiplas em (3-72) e (3-73), optou-se por utilizar o resultado em [22] que utiliza uma série convergente para calcular a função densidade de probabilidade da combinação linear de variáveis aleatórias com distribuição Gama.

Os resultados obtidos para cada um dos cenários, tanto para o enlace direto quanto para o reverso, são apresentados nas figuras 4.12 a 4.17. Estes resultados consideram valores da razão de desvio padrão-media que variam de 1,0 a 1,8 (RDPM = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8).

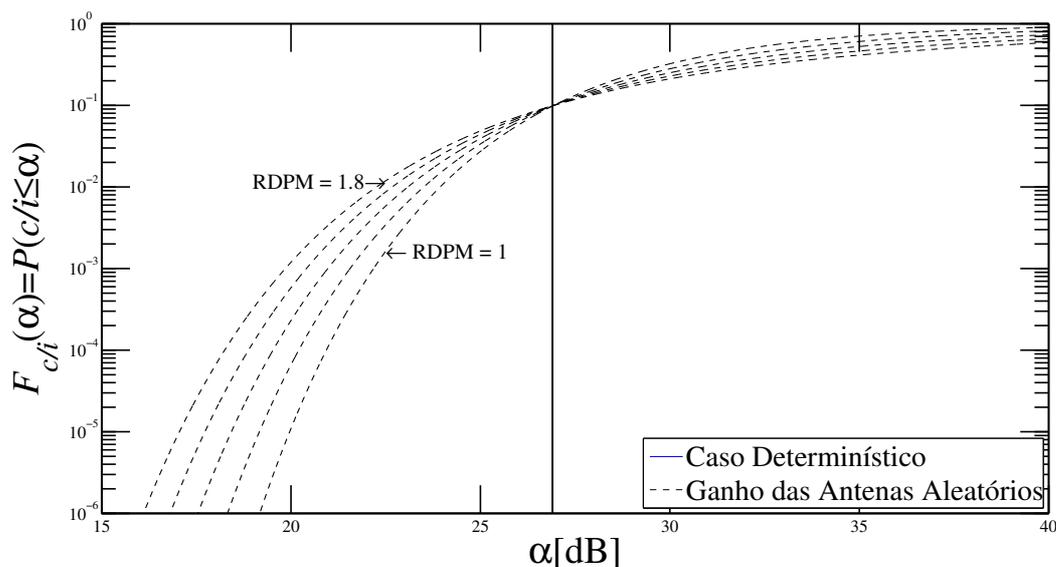


Figura 4.12: Função distribuição de probabilidade da razão *portadora - interferência agregada* para o Cenário I, enlace direto (RDPM = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8).

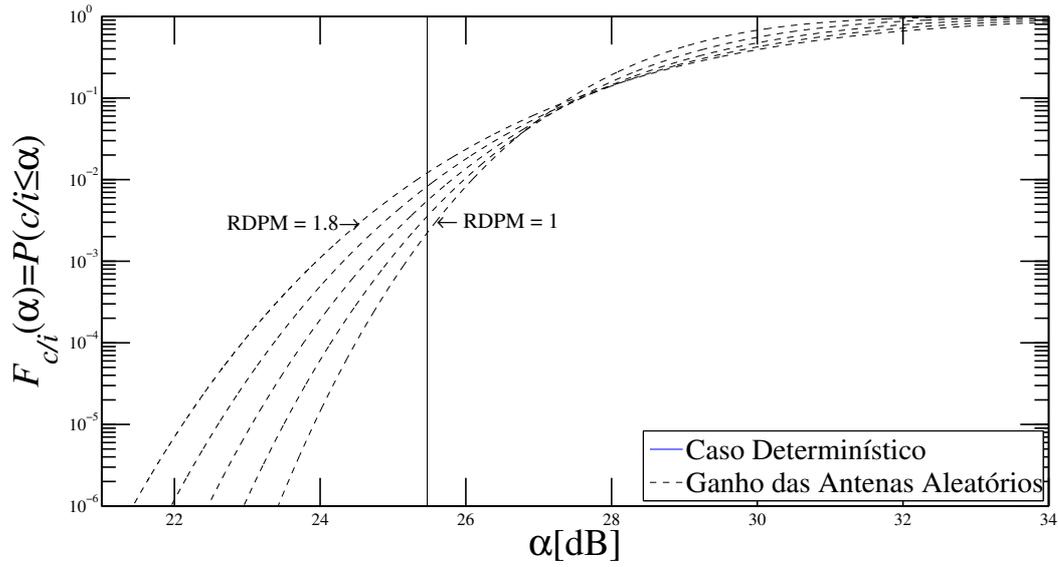


Figura 4.13: Função distribuição de probabilidade da razão *portadora - interferência agregada* para o Cenário I, enlace reverso (RDPM = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8).

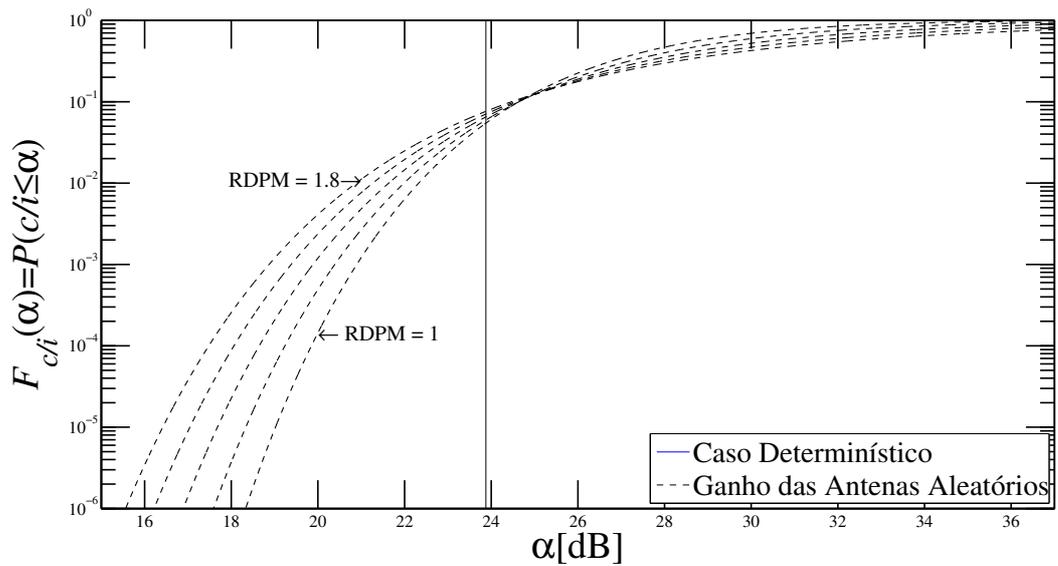


Figura 4.14: Função distribuição de probabilidade da razão *portadora - interferência agregada* para o Cenário II, enlace direto (RDPM = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8).

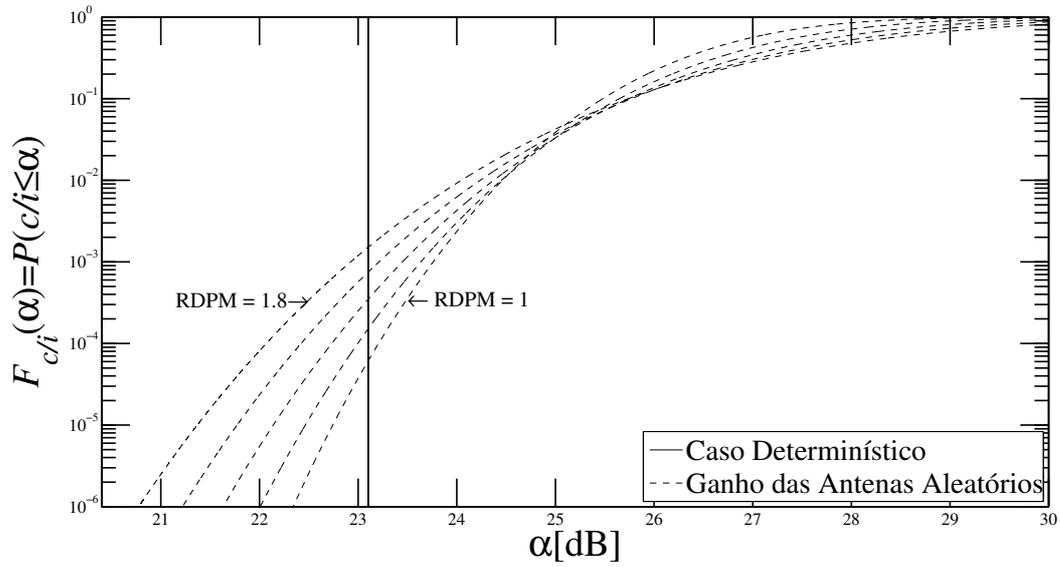


Figura 4.15: Função distribuição de probabilidade da razão *portadora - interferência agregada* para o Cenário II, enlace reverso (RDPM = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1112760/CC

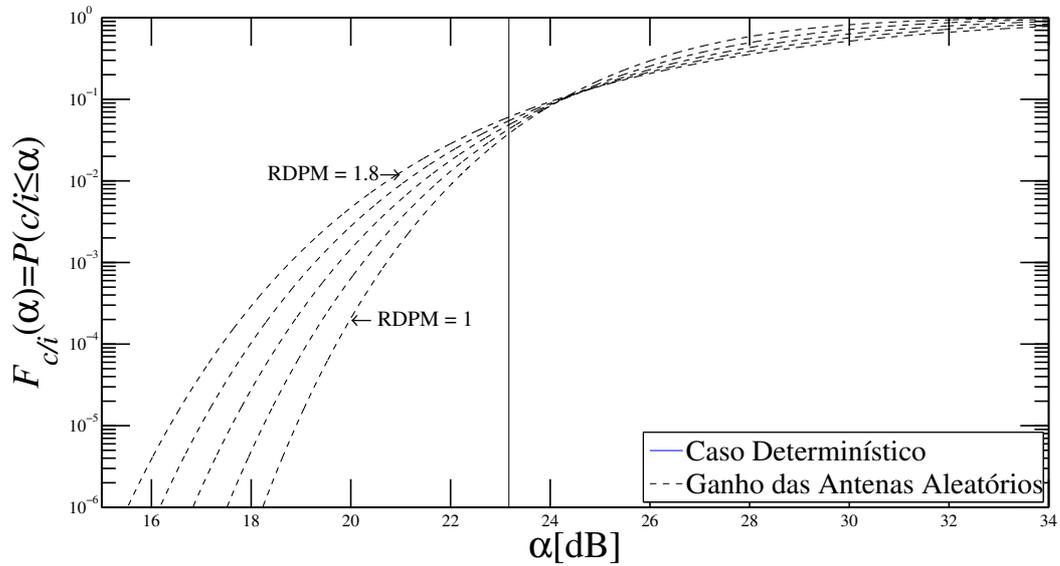


Figura 4.16: Função distribuição de probabilidade da razão *portadora - interferência agregada* para o Cenário III, enlace direto (RDPM = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8).

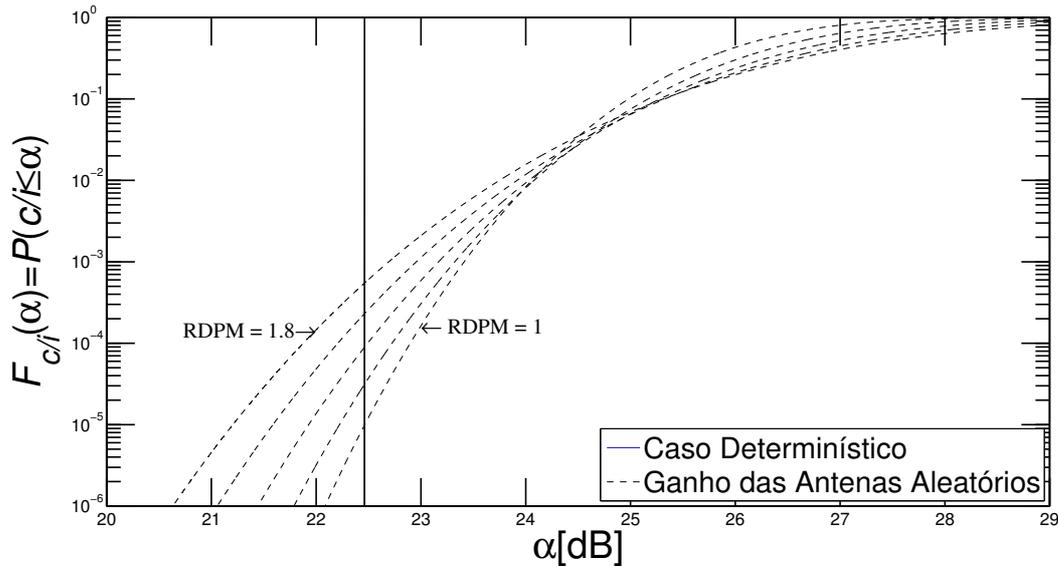


Figura 4.17: Função distribuição de probabilidade da razão *portadora - interferência agregada* para o Cenário III, enlace reverso (RDPM = 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8).

Os resultados desta seção mostram que uma modelagem mais realista dos ganhos nos lóbulos laterais das antenas das estações terrenas permite uma melhor avaliação da probabilidade de que um determinado valor requerido de c/i não seja atendido. Suponha, por exemplo, que na situação ilustrada na Figura 4.17 o valor requerido de c/i seja 23 dB. Neste caso, o cálculo determinístico indica que com probabilidade 1 este valor de c/i não é atendido. Observe, entretanto, que a modelagem mais realista na qual os ganhos nos lóbulos laterais das antenas das estações terrenas são caracterizados por variáveis aleatórias, indica que o valor requerido de 23 dB para a razão c/i não é atendido com probabilidade 2×10^{-3} para RPDM=1,8 e com probabilidade $1,5 \times 10^{-4}$ para RPDM=1,0.

4.2

Resultados correspondentes à situação onde somente as posições geográficas das estações terrenas são consideradas como aleatórias

Neste caso, $p_z(Z)$ foi determinado utilizando-se ordenadamente (3-69), (3-48) (3-70) e (3-47). A integral tripla em (3-69) é resolvida pelo método de Monte Carlo, no qual valores de \mathbf{T} , \mathbf{R} e \mathbf{V} são gerados aleatoriamente. Esta geração foi feita considerando-se que as variáveis aleatórias \mathbf{t}_{jm} , \mathbf{r}_{jm} e \mathbf{r}_V são uniformemente distribuídas na região da superfície da terra limitada pelo contorno de 3 dB dos feixes de transmissão e recepção dos satélites. Um algoritmo para a geração de valores para estas variáveis aleatórias foi

desenvolvido e encontra-se descrito no Apêndice A.

Como a determinação da integral tripla em (3-69) pelo método de Monte Carlo requer um tempo de computação elevado, optou-se por considerar \mathbf{r}_V não aleatório, colocando-se a estação terrena do enlace vítima na posição \mathbf{R}_V correspondente ao centro do feixe de transmissão do satélite vítima. Assim a integral tripla em (3-69) reduz-se uma integral dupla, cuja determinação pelo método de Monte Carlo requer um menor tempo de computação. Neste caso, a função densidade de probabilidade da variável \mathbf{r}_V de escreve

$$p_{\mathbf{r}_V}(\mathbf{V}) = \delta(\mathbf{V} - \mathbf{R}_V) \quad (4-13)$$

e, conseqüentemente, (3-69) se reduz a

$$p_{z_{jm}|y_j=Y}(\beta) = k_{\mathbf{t}_{jm}} k_{\mathbf{r}_{jm}} \int_{\mathbf{S}_{\mathbf{t}_{jm}}} \int_{\mathbf{S}_{\mathbf{r}_{jm}}} \delta(\beta - C_{jm}(\mathbf{T}, \mathbf{R}, \mathbf{R}_V, Y)) d\mathbf{T}d\mathbf{R} \quad (4-14)$$

Assim para este caso particular, $p_z(Z)$ é determinado utilizando ordenadamente (4-14), (3-48) (3-70) e (3-47).

Os resultados obtidos para este caso, são mostrados nas figuras 4.12 e 4.17, para o enlace direto e reverso, respectivamente.

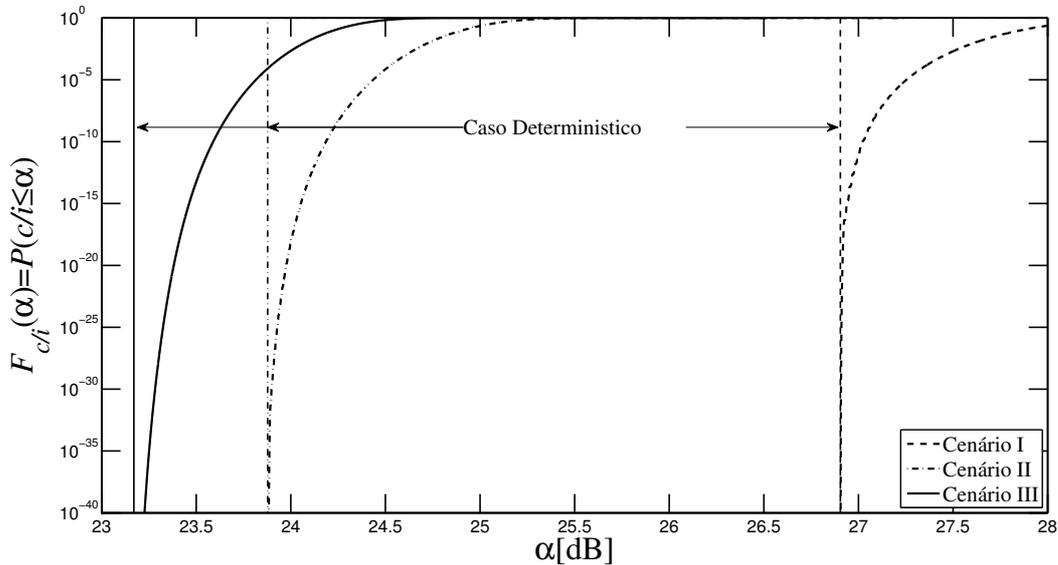


Figura 4.18: Função distribuição de probabilidade da razão *portadora - interferência agregada* do enlace direto para os Cenários I, II, III, quando só as posições geográficas das estações terrenas são consideradas aleatórias.

As curvas destas figuras permitem avaliar quantitativamente o quão pessimista é o cálculo determinístico, no qual as estações terrenas dos enlaces in-

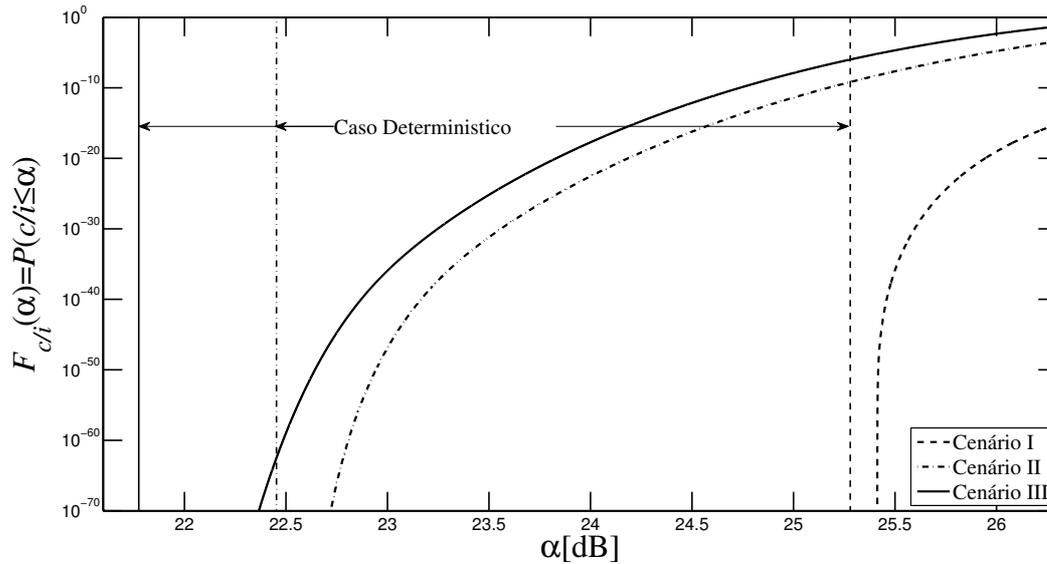


Figura 4.19: Função distribuição de probabilidade da razão *portadora - interferência agregada* do enlace reverso para os Cenários I, II, III, quando só as posições geográficas das estações terrenas são consideradas aleatórias.

terferentes são colocadas na posição mais desfavorável de suas áreas de serviço. Note por exemplo na Figura 4.18 que, no Cenário III, valores próximos do valor de c/i determinado pelo método determinístico ocorrem, na verdade, com probabilidade muito pequena (menor do que 10^{-40}). Observe ainda nesta mesma figura que, no Cenário II, o valor de $c/i = 24$ dB, que não é atendido quando o cálculo determinístico é utilizado é, na verdade, atendido com probabilidade muito próxima de 1 (probabilidade igual a $1 - 10^{-19}$). Estes resultados já eram esperados uma vez que, quando o número de enlaces interferentes é grande, é altamente improvável que todos os enlaces interferentes tenham suas estações terrenas localizadas nas posições geográficas mais desfavoráveis de suas áreas de serviço.

Já na Figura 4.19, por exemplo, no Cenário III, o valor de $c/i = 24$ dB não é atendido quando o cálculo determinístico é utilizado uma vez que este cálculo conduziu a um valor de c/i igual a 21.75 dB. Isto significa que a potência do sinal desejado teria que ser aumentada de 2.25 dB para que o valor requerido de $c/i = 24$ dB fosse atendido. Na verdade, a modelagem, probabilística das posições das estações terrenas mostra que o valor requerido de $c/i = 24$ não é atendido com uma probabilidade muito baixa ($\approx 10^{-18}$), mostrando que não necessidade de aumento da potência do sinal desejado.

4.3

Resultados correspondentes à situação onde a posição geográfica e os ganhos das antenas, das estações terrenas são considerados aleatórios

Neste caso, $p_z(Z)$ foi determinado utilizando-se ordenadamente (3-59), (3-55), (3-48), (3-49) e (3-47) como os ganhos nos lóbulos laterais das antenas das estações terrenas são também considerados aleatórios, a função densidade de probabilidade de $p_{x_{jm}}(X)$ que aparece em (3-59) é dada por (4-7). De maneira análoga, a função densidade de probabilidade $p_{y_j}(Y)$ que aparece em (3-49) é dada por (4-9).

A integral tripla em (3-55) é resolvida pelo método de Monte Carlo, no qual valores de \mathbf{T} , \mathbf{R} e \mathbf{V} são gerados aleatoriamente. Como na Seção 4.2, esta geração foi feita considerando-se que as variáveis aleatórias \mathbf{t}_{jm} , \mathbf{r}_{jm} e \mathbf{r}_V são uniformemente distribuídas na região da superfície da terra limitada pelo contorno de 3 dB dos feixes de transmissão e recepção dos satélites. Novamente, o algoritmo descrito no Apêndice A foi utilizado na geração de valores para estas variáveis aleatórias \mathbf{t}_{jm} , \mathbf{r}_{jm} e \mathbf{r}_V .

Também aqui, como a determinação da integral tripla em (3-55) pelo método de Monte Carlo requer um tempo de computação elevado, optou-se por considerar \mathbf{r}_V não aleatório, colocando-se a estação terrena do enlace vítima na posição \mathbf{R}_V correspondente ao centro do feixe de transmissão do satélite vítima. Assim a integral tripla em (3-55) reduz-se uma integral dupla, cuja determinação pelo método de Monte Carlo requer um menor tempo de computação. Neste caso, a função densidade de probabilidade da variável \mathbf{r}_V é dada por (4-13), e neste caso (3-55) se reduz a

$$p_{z_{jm}|y_j=Y}(\beta) = k_{\mathbf{t}_{jm}} k_{\mathbf{r}_{jm}} \int_{\mathbf{S}_{\mathbf{r}_{jm}}} \int_{\mathbf{S}_{\mathbf{r}_V}} p_{z_{jm}|\mathbf{t}_{jm}=\mathbf{T},\mathbf{r}_{jm}=\mathbf{R},\mathbf{r}_V=\mathbf{R}_V,y_j=Y}(\beta) d\mathbf{T} d\mathbf{R} \quad (4-15)$$

Assim para este caso particular, $p_z(Z)$ é determinado utilizando ordenadamente ((3-59), (4-15), (3-48), (3-49) e (3-47). Neste caso os resultados obtidos são mostrados nas figuras 4.20 a 4.25 para os três cenários considerados (enlaces direto e reverso).

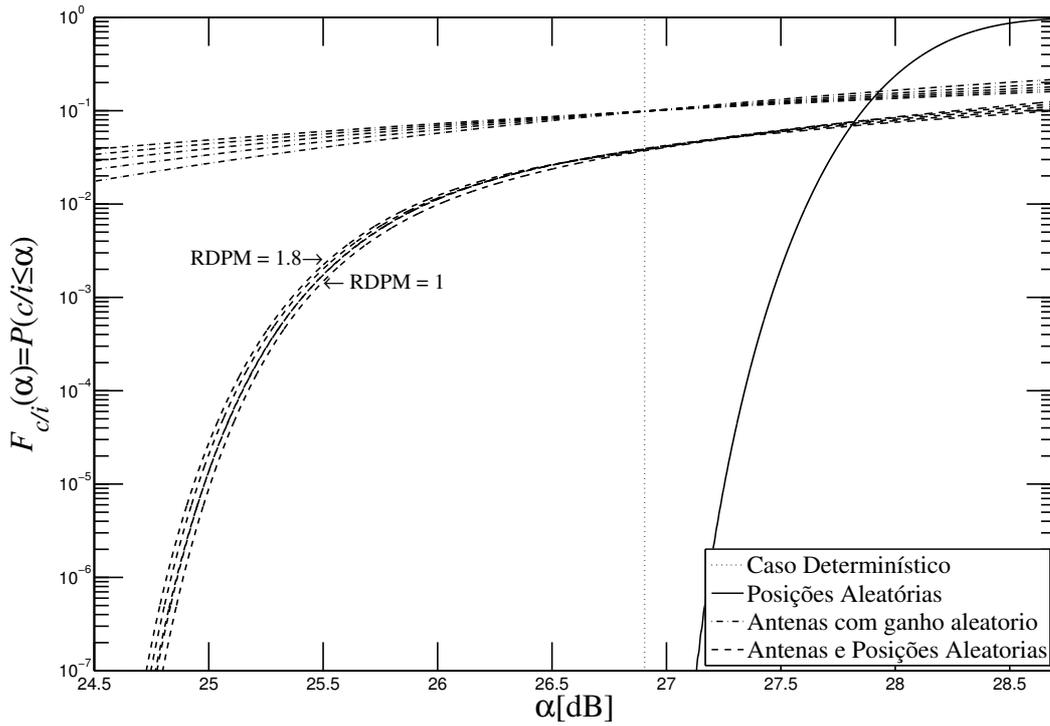


Figura 4.20: Cenário I, enlace direto e RDPM=1,...,1.8, comparação das três modelagens desenvolvidas.

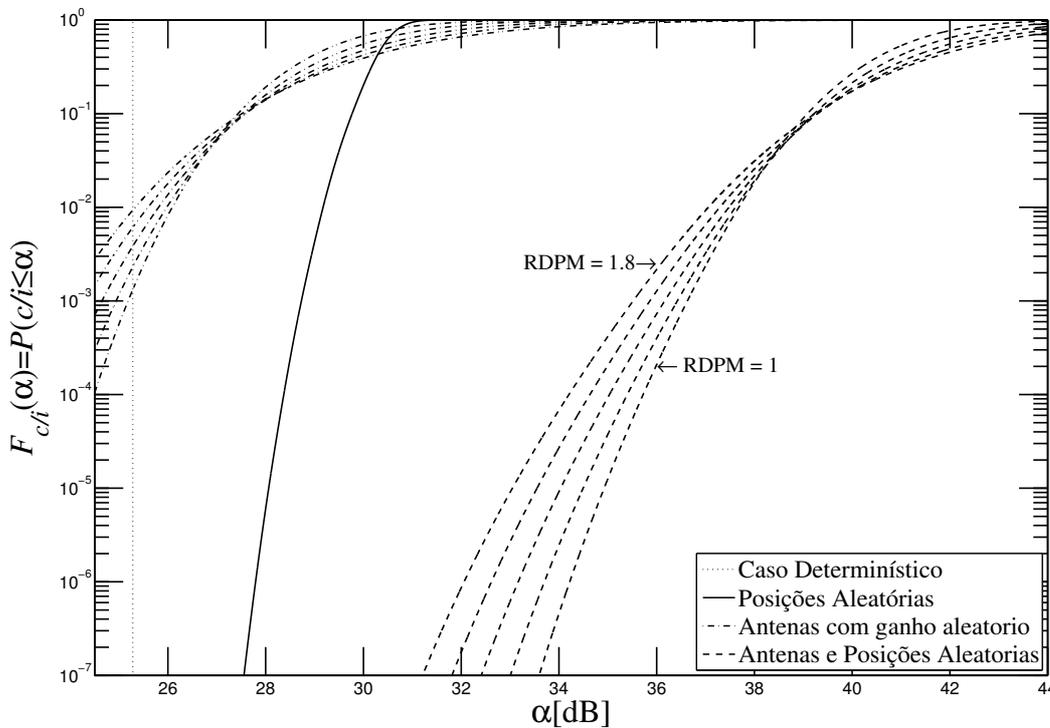


Figura 4.21: Cenário I, enlace reverso e RDPM=1,...,1.8, comparação das três modelagens desenvolvidas.

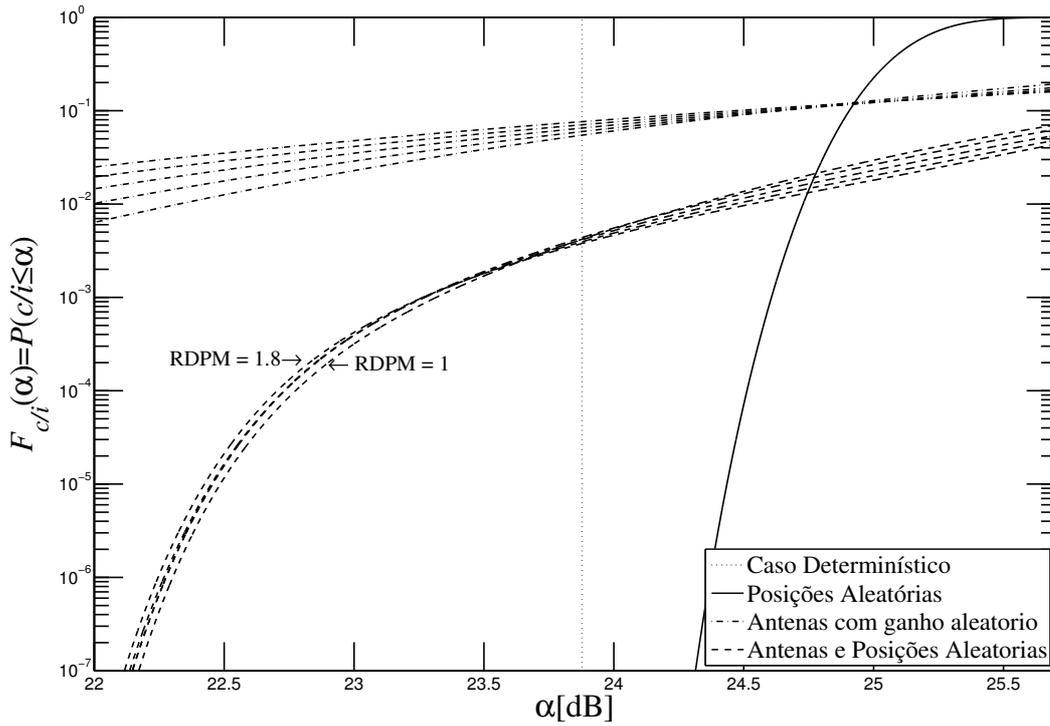


Figura 4.22: Cenário II, enlace direto e RDPM=1,...,1.8, comparação das três modelagens desenvolvidas.

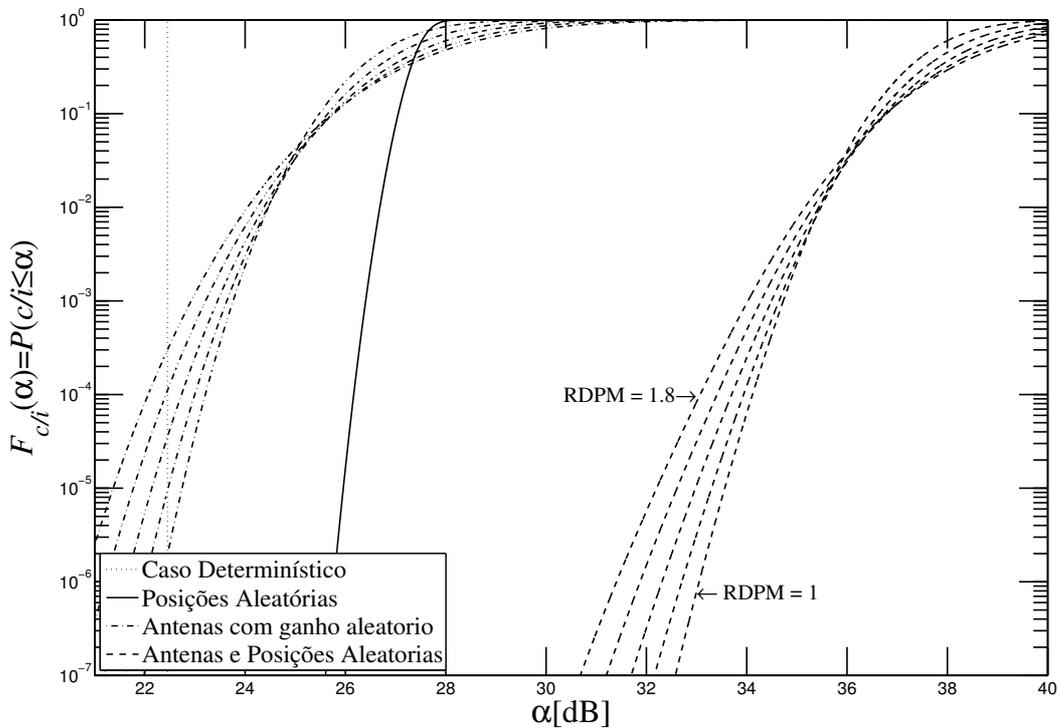


Figura 4.23: Cenário II, enlace reverso e RDPM=1,...,1.8, comparação das três modelagens desenvolvidas.

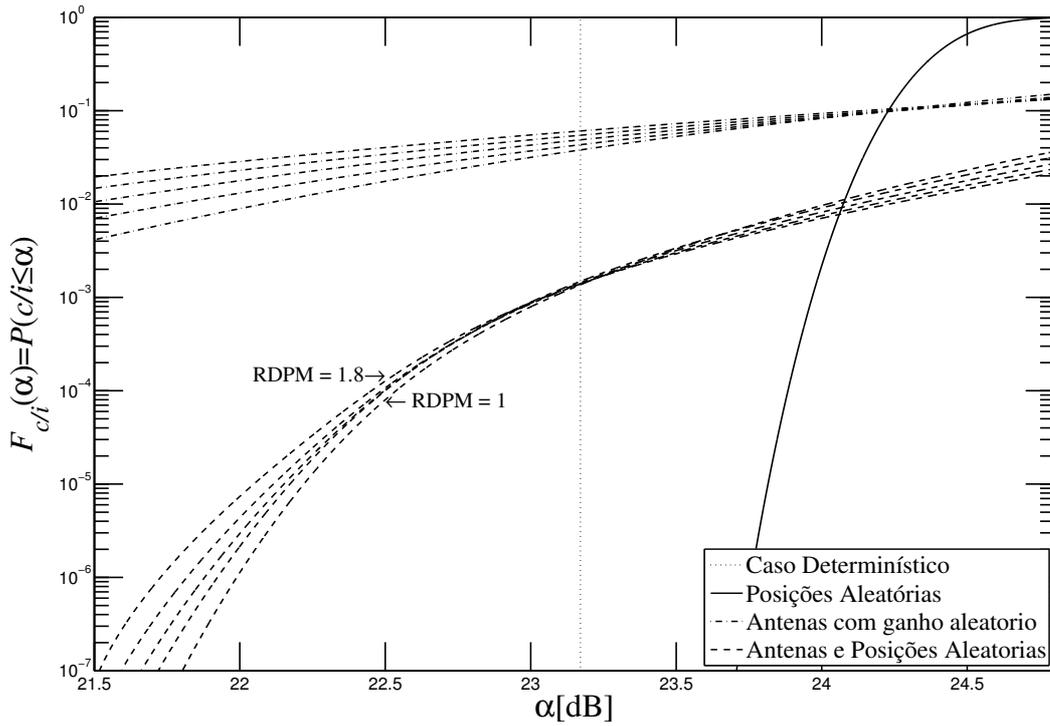


Figura 4.24: Cenário III, enlace direto e RDPM=1,...,1.8, comparação das três modelagens desenvolvidas.

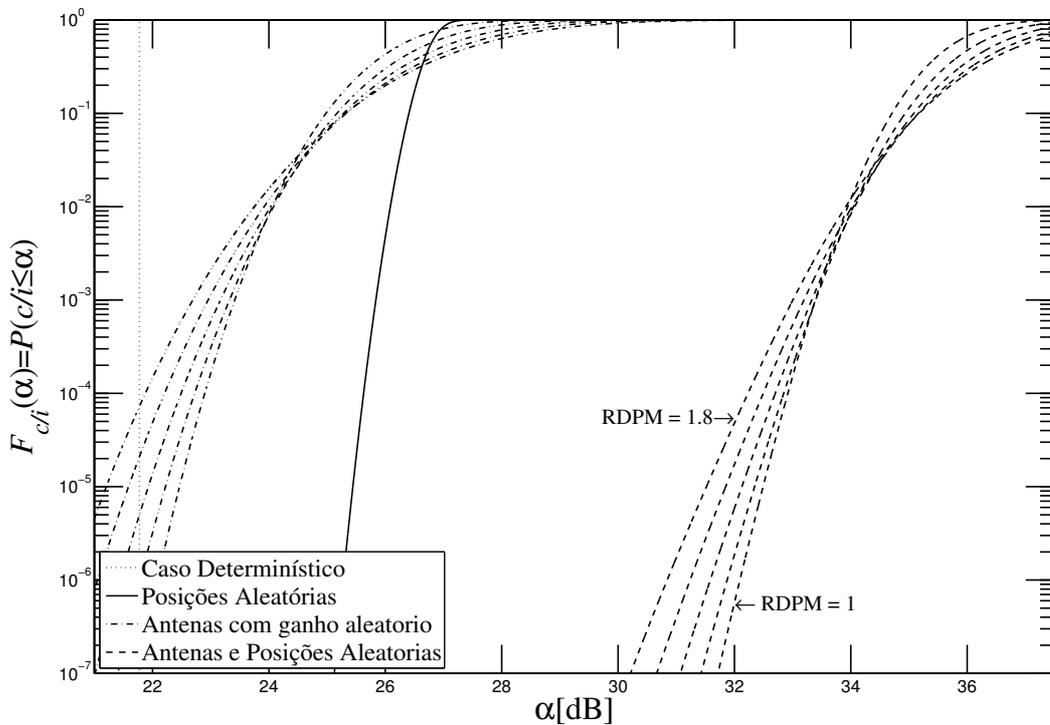


Figura 4.25: Cenário III, enlace reverso e RDPM=1,...,1.8, comparação das três modelagens desenvolvidas.

Os resultados mostrados nas figuras 4.20 a 4.25 permitem avaliar o efeito conjunto das modelagens aleatórias dos ganhos nos lóbulos laterais das estações terrenas e suas posições geográficas. Na verdade os resultados apresentados nestas figuras indicam a influência da modelagem probabilística das posições geográficas das estações terrenas nos resultados da Seção 4.1. Observe na Figura 4.20 (Cenário I, [enlace direto](#)), por exemplo, que quando apenas os ganhos das antenas são modelados probabilisticamente, o valor de $c/i = 27,5$ dB não é atendido com probabilidade $13,3 \times 10^{-2}$. O valor desta probabilidade passa a 2×10^{-3} quando as posições geográficas das estações terrenas são modeladas por variáveis aleatórias. Analogamente, observe na Figura 4.21 que quando apenas os ganhos das antenas são modelados probabilisticamente, o valor de $c/i = 25,4$ dB não é atendido com probabilidade de 10^{-2} . O valor desta probabilidade passa a ser da ordem de 10^{-64} quando as posições geográficas das estações terrenas são modeladas por variáveis aleatórias. Este tipo de comportamento é bem mais pronunciado no caso dos cenários II e III, onde o número de parcelas interferentes é bem maior.